

INTISARI

Analisis Tensor Gradien Gravitasi Lengkap dan Data Magnetik Bumi Untuk Pemodelan Geologi Bawah Permukaan Sistem Panas Bumi Di Desa Suli dan Tulehu Kabupaten Maluku Tengah

Oleh

Richard Lewerissa
14/372790/SPA/495

Provinsi Maluku khususnya kepulauan Ambon dan Seram memiliki potensi energi panas bumi yang dapat dikembangkan sebagai sumber energi alternatif terbarukan. Potensi panas bumi ini tersebar merata di pulau Ambon, Haruku, Saparua, Nusalaut dan Seram yang pada umumnya muncul pada jalur patahan aktif. Pada awal tahun 2017, telah dilakukan pengambilan data lapangan gravitasi dan magnetik bumi untuk mempelajari sistem panas bumi di Suli dan Tulehu, kabupaten Maluku Tengah yang diketahui memiliki potensi energi perkiraan sebesar ± 100 Mwe. Secara keseluruhan manifestasi panas bumi di Suli dan Tulehu berada pada jalur patahan yaitu patahan Banda-Hatuasa, Banda, dan Huwe yang berarah Baratdaya ke Timurlaut. Beberapa penelitian dan eksplorasi sumur bor TLU-01 telah dilakukan pada daerah panas bumi Suli dan Tulehu, namun belum dapat menjelaskan secara detail dan tegas tentang keberadaan struktur geologi seperti patahan yang mempengaruhi sistem panas bumi ini, sehingga perlu dilakukan penelitian lain yang terkait untuk mengatasi keterbatasan tersebut.

Penelitian disertasi ini menggunakan metode gravitasi dan magnetik yang dibagi menjadi dua bagian yaitu: kajian lokal tentang struktur bawah permukaan sistem panas bumi di Suli dan Tulehu dan kajian regional tentang struktur bawah permukaan daerah pulau Ambon dan sekitarnya untuk mengetahui hubungan setiap titik potensi panas bumi. Kajian gravitasi bumi di Suli dan Tulehu dikembangkan melalui analisis dan pemodelan inversi tiga dimensi (3-D) anomali dan tensor gradien gravitasi bumi lengkap serta pemodelan inversi tiga dimensi (3-D) medan magnetik bumi, yang terlebih dahulu dilakukan uji pemodelan ke depan berdasarkan model prisma segiempat tunggal dan kombinasinya. Nilai tensor gradien gravitasi bumi lengkap didapatkan berdasarkan model bawah permukaan hasil inversi anomali gravitasi residual, yang dihitung menggunakan transformasi Fourier cepat (FFT). Penerapan transformasi Fourier cepat memungkinkan komponen tensor gradien gravitasi bumi dapat ditentukan dari nilai pengukuran medan gravitasi di darat (g_z). Pemodelan anomali dan tensor gradien gravitasi memungkinkan pencitraan struktur dan sumber anomali bawah permukaan dapat lebih detail dan tajam, bila dibandingkan dengan pemodelan anomali dari pengukuran gravitasi konvensional.

Hasil pengolahan data menunjukkan anomali Bouguer lengkap di Suli dan Tulehu bernilai positif berkisar antara 93 mGal hingga 105 mGal, berarah

Baratdaya-Timurlaut dengan anomali tinggi di Suli dan berkurang ke arah Tulehu yang mengindikasikan adanya intrusi masif batuan beku di Suli. Anomali gravitasi sedang terdapat di gunung Eriwakang dan sebagian besar Tulehu berasosiasi dengan batu gamping koral, sedangkan anomali gravitasi rendah terdapat di Utara hingga Timurlaut daerah Tulehu, diduga berasosiasi dengan alluvium. Perhitungan tensor gradien gravitasi menghasilkan nilai negatif hingga positif dari -150 mGal/km hingga 134 mGal/km. Hasil pemodelan inversi anomali dan tensor gradien gravitasi memperlihatkan perbandingan anomali hasil komputasi dan observasi yang hampir sama diantara keduanya dengan nilai *RMS error* dari data sebesar 0,03 ($\pm 3\%$), *RMS error* dari data total gradien sebesar 0,070 ($\pm 7\%$), dan *RMS error* dari model sebesar 0,050 ($\pm 5\%$). Secara umum tensor gradien gravitasi hasil komputasi memiliki kesamaan pola dengan tensor gradien observasi.

Pemodelan inversi anomali dan tensor gradien gravitasi menghasilkan nilai kontras densitas rata-rata untuk keseluruhan model sebesar 0,02258 gr.cm⁻³. Nilai kontras densitas positif tinggi diperkirakan berasosiasi dengan batuan piroklastik Eriwakang (Tpve) yang tersusun oleh tuf, batuan piroklastik Simalopu (Tpvsi) yang tersusun dari tuf, andesit dan dasit, serta breksi dengan fragmen diorit yang diperkirakan berumur Pliosen tengah – Pliosen akhir. Nilai kontras densitas rendah hingga negatif diduga merupakan hasil interaksi dari lapisan batuan dengan sumber panas bumi pada suhu dan tekanan yang tinggi, yangmana diduga merupakan lapisan reservoir panas bumi. Model bawah permukaan terdiri dari empat perlapisan batuan dengan ketebalan lapisan membesar sejalan dengan bertambahnya kedalaman. Tiap lapisan memberikan informasi yang lebih jelas dan tegas tentang sistem panas bumi di desa Suli dan Tulehu yaitu keberadaan struktur patahan sebagai jalur keluarnya fluida panas bumi, lapisan penudung (*cap rock*), lapisan reservoir, dan batuan sumber panas bumi. Model inversi anomali dan tensor gradien gravitasi memberikan hasil yang lebih baik dan tajam bila dibandingkan dengan hasil inversi anomali residual.

Pengolahan data medan magnetik menghasilkan anomali medan magnetik total di Suli dan Tulehu bernilai negatif hingga positif dengan kisaran nilai antara -656 nT hingga 310 nT berarah Baratdaya-Timurlaut dengan sebaran nilai terendah terdapat di daerah Suli kemudian mengalami peningkatan nilai anomali di daerah Tulehu. Anomali magnetik residual reduksi ke kutub bernilai antara -885,52 nT hingga 810,67 nT yang sebaran anomalnya membentuk pola yang lebih kompleks dengan kontur tertutup. Pemodelan inversi menghasilkan nilai kontras suseptibilitas batuan berkisar antara -0,042 SI hingga 0,043 SI. Model bawah permukaan hasil inversi anomali magnetik bersesuaian dan mendukung hasil model inversi anomali dan tensor gradien gravitasi serta penelitian lainnya seperti metode MT. Berdasarkan hasil pemodelan inversi anomali dan tensor gradien gravitasi serta magnetik bumi, telah dibuat model konseptual sistem panas bumi di daerah Suli dan Tulehu, kabupaten Maluku Tengah yang dikombinasikan dengan hasil model dari metode MT dan analisis sumur eksplorasi TLU-01. Model konseptual tersebut menggambarkan seluruh proses kejadian dan sirkulasi panas bumi di wilayah kajian.

Studi skala regional telah dilakukan untuk mengetahui hubungan tiap potensi panas bumi di pulau Ambon dan Seram melalui analisis data sekunder gravitasi

WGM 2012 dan data magnetik EMAG2-V3, serta data CRUST 1.0 sebagai konstrain model. Pemodelan inversi anomali gravitasi WGM 2012 menghasilkan model bawah permukaan yang menunjukkan adanya intrusi batuan beku ultramafik secara masif di bawah pulau Ambon dan sekitarnya dengan nilai densitas batuan berkisar antara $1,86 \text{ gr.cm}^{-3}$ hingga $3,17 \text{ gr.cm}^{-3}$. Nilai densitas ini diperkirakan berasosiasi dengan batuan beku seperti Basalt, Gabbro, Peridotite hingga Pyroxenite yang merupakan fragmen dari kerak oceanik dan mantel bagian atas. Hasil analisis power spektrum radial data magnetik EMAG2-V3 menunjukkan kedalaman rata-rata batuan *basement* mencapai $\pm 22 \text{ km}$ dengan intrusi maksimum berada pada kedalaman $\pm 10 \text{ km}$. Kedalaman ini diduga merupakan kedalaman suhu Curie sebagai sumber magnetik dimana terjadi perubahan sifat kemagnetan batuan. Pemodelan inversi magnetik EMAG2-V3 menghasilkan model yang bersesuaian dengan model bawah permukaan dari inversi gravitasi yang menunjukkan secara jelas adanya intrusi batuan beku secara masif di bawah pulau Ambon dan sekitarnya.

Kata Kunci: Suli dan Tulehu, Ambon, Panas Bumi, Gravitasi, Geomagnetik, Tensor Gradien Gravitasi, WGM 2012, EMAG2-V3, Pemodelan Inversi.

Abstract

Complete Gravity Gradient Tensor and Geomagnetic Data Analysis for Subsurface Geological Modeling of Geothermal System in Suli and Tulehu Central Maluku

By

Richard Lewerissa
14/372790/SPA/495

Maluku Province, especially in Ambon and Seram has the geothermal potential which can be developed as an alternative renewable energy source. This potential is spread almost evenly on Ambon, Haruku, Saparua, Nusalaut and Seram which generally appear on the active fault. In early 2017, gravity and magnetic field data were collected to learn about the geothermal systems in Suli and Tulehu, Central Maluku. Suli and Tulehu are one of the geothermal fields that have the largest estimated energy of 100 Mwe. Overall, the geothermal manifestations in Suli and Tulehu are in faults pathway such as Banda, Banda-Hatuasa and Huwe faults from Southwest to Northeast. Several studies and exploration well (TLU-01) have been conducted in the study area, but have not been able to explain in detail about the existence of geological structures, so other research is needed to overcome these limitations.

This research has used a gravity and magnetic methods which are divided into two parts: The local study of the subsurface structure of geothermal systems in Suli and Tulehu, and the regional studies of the subsurface in Ambon and surrounding islands to determine the relationship of each geothermal manifestation. The gravity method was developed through 3-D inversion modeling of gravity anomaly, complete gravity gradient tensor, and magnetic data, which is preceded by a forward modeling test using a rectangular prism and its combination. Complete gravity gradient tensor is calculated based on the results of the inversion model of residual gravity anomaly using Fast Fourier Transform (FFT). The FFT method allows the tensor component of the earth's gravity gradient to be determined from measurements of the gravitational field on land (g_z). Anomaly and gravity gradient tensor inversion modeling allows images of subsurface to be sharper and more detailed, compared to conventional modeling.

The results of data processing show that the complete Bouguer anomalies in Suli and Tulehu have positive values ranging from 93 mGal to 105 mGal with Southwest-Northeast direction, which high anomaly found in Suli and decreases towards Tulehu, which indicated a massive intrusion. Intermediate gravity anomaly is found on Mount Eriwakang and most of Tulehu regions is associated with coral limestone, while low gravity anomalies are North to Northeast of Tulehu associated with alluvium.

Calculation of gravity gradient tensor produces negative to positive values ranging from -150 mGal/km to 134 mGal/km. The results of anomalies and gravity gradient tensor inversion show similarities between observation and computational data with data error of 0.03 (3%), a model error of 0.05 (5%), and gradient error of 0.07 (7%). This inversion modeling produces an average density contrast of rocks for the whole model of 0.02258 gr.cm-3. Positive density contrast is thought to be associated Erywakang pyroclastic rocks consisting of tuff, Simalopu pyroclastic rocks consisting of tuff, andesite, dan dacite, then breccias fragmented diorite from middle Pliocene to late Pliocene. Low-density contrast is thought to be the interactions of rock layers with geothermal sources at high temperatures and pressures, which are thought to be geothermal reservoirs. The subsurface model consists of four rock layers with enlarged layer thickness as depth increases. Each layer provides clearer and more explicit information about geothermal systems in Suli and Tulehu about the presence of faults as the pathways for geothermal fluids, cap rock, reservoir layers, and geothermal source rocks. The anomaly and gravity gradient tensor inversion model gives better and sharper results when compared with residual anomaly inversion.

The processing of magnetic data produces a total magnetic anomaly in Suli and Tulehu having negative to positive values ranging from -656 nT to 310 nT. This anomaly is trending Southwest-Northeast with a low anomaly distribution found in Suli, then increasing towards Tulehu. The reduction to pole (RTP) of residual magnetic anomaly has values ranging from -885.52 nT to 810.67 nT, which have open contours with more complex shapes. Magnetic inversion modeling produces contrast values of rock susceptibility ranging from -0.042 SI to 0.043 SI. The subsurface model from 3-D magnetic inversion corresponding and supporting the results of gravity anomaly and tensor inversion and other studies in this area. Based on the result of gravity gradient tensor and magnetic inversion, the conceptual model of geothermal systems has been created combine with the results of MT method and eksplorasi wells (S.TLU-01) information. The conceptual model describes the whole process of geothermal circulation in the study area.

Regional studies have been conducted to determine the relationship of each geothermal potential on Ambon and Seram based on WGM 2012 model and EMAG2-V3 data, and CRUST 1.0. The gravity inversion modeling shows a massive ultramafic igneous intrusion under Ambon and its surrounding islands with rock density values ranging from 1.86 gr.cm-3 to 3.17 gr.cm-3. This density value is estimated to be associated with igneous rocks such as Basalt, Gabbro, Peridotite to Pyroxenite which is fragments of oceanic crust and upper mantle. The radial spectrum analysis of EMAG2-V3 shows a depth of basement rocks of 22 km with maximum intrusion of 10 km. EMAG2-V3 magnetic inversion produces a model that corresponds to the subsurface model of gravity inversion which shows clearly the existence of massive igneous intrusion under Ambon and its surrounding islands.

Key Words: Suli and Tulehu, Ambon, Geothermal, Gravity, Geomagnetic, Gravity Gradient Tensor, WGM 2012, EMAG2-V3, Inversion Modeling.