

ANOMALI MEDAN GRAVITASI UNTUK IDENTIFIKASI PATAHAN DAERAH MANIFESTASI PANAS BUMI DI SEKITAR GUNUNG TAMPUSU

Herry J. J. S. Manik¹⁾, Cyrke A. N. Bujung²⁾, Jeane V. Tumangkeng³⁾
Prodi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Manado
email: herryjjsm@gmail.com

Abstrak. Daerah manifestasi panas bumi di sekitar Gunung Tampusu merupakan daerah yang dikelilingi oleh dataran tinggi dan dataran rendah. Keberadaan dataran tinggi dan dataran rendah tersebut memungkinkan adanya Patahan yang berada di daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui keberadaan sesar di daerah manifestasi panas bumi di sekitar Gunung Tampusu berdasarkan Metode Gravity. Dari hasil penelitian, nilai anomali bouguer tinggi berada di sebelah Tenggara dari Gunung Tampusu, dengan sebaran nilai 152,4 – 164,4 mGal (0,001524 – 0,001644 m/s^2). Sedangkan untuk daerah dengan nilai anomali bouguer rendah berada di bagian barat daya Gunung Tampusu dengan nilai 126 – 136 mGal (0,00126 – 0,00136 m/s^2). Variasi nilai anomali ini kemungkinan disebabkan oleh adanya perbedaan densitas batuan yang tersebar di Daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu. Melalui Pemetaan Nilai Anomali Bouguer, diperkirakan sesar di daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu berada di bagian tenggara Gunung Tampusu yang mengarah ke Timur Laut, dasarkan kenaikan nilai anomali bouguer secara drastis. Sesar yang berada di daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu tergolong sebagai patahan normal atau patahan turun.

Kata Kunci: Metode Gravity, Anomali Bouguer, Identifikasi Patahan, Gunung Tampusu

Abstract. Geothermal manifestation area around Tampusu Mountain is an area surrounded by highlands and lowlands. The existence of the highlands and lowlands allows the fault in the Geothermal Manifestation area around Mount Tampusu. The purpose of this study was to determine the presence of faults in the geothermal manifestation area around Tampusu Mountain based on the Gravity Method. From the results of the study, high bouguer anomaly values are located in the southeast of Tampusu Mountain, with a distribution value of 152.4 - 164.4 mGal (0,001524 – 0,001644 m/s^2). Whereas for areas with low bouguer anomaly values are in the southwestern part of Mount Tampusu with values 126 - 136 mGal (0,00126 – 0,00136 m/s^2). This anomaly variation is probably caused by differences in the density of rocks scattered in the Geothermal Manifestation Area around Tampusu Mountain. Through Bouguer Anomaly Value Mapping, it is estimated that the fault in the Geothermal Manifestation area around Mount Tampusu is in the southeastern part of Mount Tampusu which leads to the Northeast, based on the drastic increase in the value of the bouguer anomaly. Fault that is in the Geothermal Manifestation area around Mount Tampusu is classified as a normal fault or fault down.

Keywords: Gravity Method, Bouguer Anomaly, Fault Identification, Tampusu Muountain

1. PENDAHULUAN

Daerah Sulawesi Utara merupakan bagian dari Indonesia yang memiliki topografi lebih banyak dataran tinggi ketimbang dengan dataran rendahnya. Hal ini memungkinkan terbentuknya patahan di daerah Sulawesi Utara sebagai salah satu akibat dari aktifitas kedua lempeng, baik konvergen, divergen, ataupun transform dari dua lempeng yang sama (samudera – samudera, benua – benua), atau dua lempeng yang berbeda (benua – samudera). Selain itu, dengan aktifitas lempeng tersebut, maka Sulawesi Utara juga dikenal sebagai salah satu daerah yang memiliki potensi energi panas bumi yang cukup besar.

Gunung Tampusu merupakan salah satu gunung yang terletak di daerah Tondano, Kabupaten Minahasa, Provinsi Sulawesi Utara. Berdasarkan peta geologi, disekitar Gunung Tampusu, terdapat manifestasi panas bumi seperti kolam air panas dan tanah beruap. Tentunya penampakan manifestasi ini cukup menarik perhatian untuk dapat diteliti lebih lanjut, guna mengetahui gambaran bawa permukaan serta potensi panas bumi yang ada. Tetapi, ternyata belum ada penelitian bersangkutan yang dilakukan pada daerah daerah manifestasi panas bumi sekitar Gunung Tampusu untuk mengetahui gambaran bawah permukaan maupun potensi panas bumi.

Melihat belum adanya penelitian bersangkutan di daerah tersebut, maka dilakukanlah penelitian dengan fokus mengidentifikasi patahan atau sesar di daerah manifestasi panas bumi sekitar Gunung Tampusu. Untuk mengidentifikasi patahan atau sesar di daerah bersangkutan, peneliti akan menggunakan metode *gravity* yang merupakan salah satu metode geofisika.

Metode *gravity* adalah suatu metode penyelidikan geofisika yang berdasarkan pada perbedaan medan *gravity* akibat perbedaan rapat massa batuan penyusun bawah permukaan bumi. Besaran fisis yang diukur dalam metode *gravity* adalah percepatan gravitasi bumi. Data percepatan *gravity* yang didapat selama pengukuran diolah menjadi anomali percepatan gravitasi bumi. (Raehanayanti, dkk, 2013)

Dengan metode *gravity*, dapat diketahui kenampakan daerah bawah permukaan dengan pengamatan nilai hitungan besaran *gravity* (gaya berat) yang disebut dengan anomali bouguer (*bouguer anomaly*) yang satuannya dalam mGal. Metode ini juga dapat mengetahui adanya kemungkinan terbentuk Patahan di daerah bawah permukaan bumi dengan pengamatan kecenderungan nilai anomali tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi yang dijadikan sebagai lokasi penelitian ialah daerah manifestasi panas bumi sekitar Gunung Tampusu, dengan koordinat $1^{\circ}13'41.2''$ - $1^{\circ}18'35.4''$ lintang utara dan $124^{\circ}48'31.6''$ - $124^{\circ}54'21.5''$ bujur timur.

Alat dan bahan yang digunakan yaitu; laptop untuk pengolahan data dan penulisan, *software* Ms. Excel yang digunakan untuk perhitungan nilai anomali serta pengolahan data secara keseluruhan dan *software* Surfer 9 yang digunakan untuk pemetaan data. Sumber data dalam penelitian ini merupakan data sekunder, yaitu data yang berasal dari pengukuran peneliti sebelumnya di tahun 1986 oleh perusahaan PT. Pertamina Energy.

Percepatan gravitasi bervariasi dari tempat ke tempat karena bumi mempunyai bentuk mendekati bentuk *spheroid*, relief permukaannya tidak rata, berotasi, berevolusi dalam sistem matahari serta tidak homogen, sehingga variasi gravitasi disetiap titik dipermukaan bumi dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti lintang, ketinggian, topografi, pasang surut, dan variasi rapat massa bawah permukaan (Telford, 1990). Jadi, hasil data survei gravitasi perlu dikoreksi untuk mendapatkan data yang hanya dipengaruhi oleh variasi rapat massa bawah permukaan (Rezki Amaliah, 2014)

Teknik pengolahan data dalam penelitian ini dimulai dengan melakukan perhitungan koreksi terhadap data yang sudah didapat. Variabel – variabel data yang didapat, dimasukkan dalam persamaan di setiap koreksi gaya berat sesuai dengan keterkaitannya terhadap persamaan tersebut. Pengolahan atau perhitungan dari setiap koreksi gaya berat, dibantu dengan menggunakan *software* atau program Microsoft Excel.

Untuk koreksi gaya berat yang pertama, ialah koreksi pasang surut. Dalam koreksi pasang surut, data – data yang terkait dengan persamaan koreksi adalah posisi, waktu, dan ketinggian. Biasanya koreksi pasang surut ini sudah terdapat pada *drift* dari alat (Siti Pane, 2015) Setelah nilai koreksi pasang surut diperoleh, maka selanjutnya dilanjutkan untuk perhitungan koreksi kelelahan alat (*drift*).

Koreksi ini dilakukan untuk menghilangkan faktor kelelahan alat. Teknik pengukurannya dilakukan secara *looping*, yaitu dari titik amat awal kembali lagi ke titik amat awal (Siti Pane, 2015).

$$D_N = \frac{g_{st(n)} - g_{st(1)}}{T_N - T_1} \times (T_n - T_1) \text{ (mGal)}$$

Keterangan:

D_N = *Drift* pada stasiun ke-n;
 $g_{st(n)}$ = Bacaan nilai gaya berat di akhir *loop*;
 $g_{st(1)}$ = Bacaan nilai gaya berat di awal *loop*;
 T_N = Waktu pengukuran data pada akhir *loop*;
 T_1 = Waktu pengukuran data pada awal *loop*;
 T_n = Waktu pengukuran pada stasiun ke-n.

Dalam koreksi *drift*, data – data yang diperlukan adalah data nilai gaya berat, waktu, posisi, dan ketinggian. Setelah nilai koreksi *drift* diperoleh, maka kedua nilai koreksi ini dimasukkan pada sebuah persamaan untuk nantinya memperoleh nilai g_{obs} yang dikaitkan juga dengan nilai gikat.

g_{obs} merupakan nilai gravitasi observasi, hasil hitungan dari koreksi pasang surut dan koreksi kelelahan alat (*drift*). Setelah mendapatkan nilai g_{obs} , dilanjutkan dengan perhitungan koreksi lintang yang mengaitkan data posisi. Koreksi lintang adalah koreksi yang dikurangi dari gravitasi teramati (g_{obs}) yang dipengaruhi oleh bentuk elipsoid dan rotasi bumi (Siti Pane, 2015).

Dalam hal ini data posisi berupa nilai desimal dari koordinat latitude. Nilai desimal latitude dimasukkan dalam persamaan berikut, hingga memperoleh nilai koreksi lintang. Dengan lat adalah latitude.

$$g_n =$$

$$978031.846 \times (1 +$$

$$0.005304 \times \sin^2(lat) -$$

$$0.0000059 \times \sin^2(2 \times lat)) \text{ (mGal)}$$

Dengan mengaitkan nilai koreksi lintang terhadap nilai g_{obs} , maka diperoleh nilai g_n atau disebut juga nilai gravitasi normal. Selanjutnya, dilakukan perhitungan terhadap koreksi udara bebas dengan data terkaitnya, ialah data ketinggian. Setelah nilai koreksi udara bebas diperoleh, dilanjutkan dengan perhitungan koreksi Bouguer. Untuk mencari nilai koreksi Bouguer, diperlukan keterlibatan data ketinggian dan rapat massa regional. Apabila Koreksi lintang, Koreksi pasang surut, Koreksi kelelahan alat (*drift*), Koreksi udara bebas (*free air correction*) dan Koreksi bouguer (*bouguer correction*) sudah dilakukan terhadap pembacaan gravitasi pengamatan, maka akan diperoleh anomali Bouguer Sederhana untuk titik pengukuran sebagai berikut (Siti Pane, 2015):

$$BA = g_{obs} - g_n + FAC - BC \text{ (mGal)}$$

Keterangan:

BA = *bouguer anomaly* (Anomali Bouguer Sederhana)
 g_{obs} = Bacaan dalam mGal + koreksi pasang surut – koreksi *drift* (yang kemudian diikat dengan nilai gravitasi absolut);
 g_n = Gravitasi teoritis/normal;
 FAC = Koreksi udara bebas;
 BC = Koreksi Bouguer

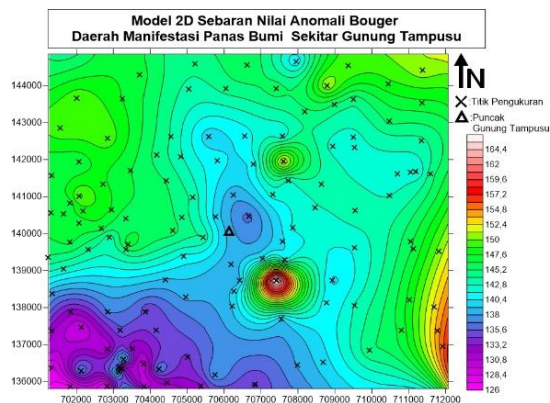
Nilai anomali Bouguer ini sudah cukup jelas untuk membantu dalam proses interpretasi dan analisis data terkait dengan kajian penelitian, yaitu mengidentifikasi keberadaan suatu sesar atau patahan. Maka selanjutnya dilakukan proses interpretasi data dengan bantuan software surfer 9. Melalui software tersebut, maka didapatlah peta kontur anomali bouguer sederhana. kemudian dilakukan analisis pada peta anomali bouguer tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sebaran Nilai Anomali Bouguer

Berdasarkan hasil pengolahan data *Gravity*, kita memperoleh nilai Anomali Bouguer sederhana yang kemudian kita petakan seperti pada gambar 1. Dapat kita lihat, gambar 1 merupakan peta sebaran nilai anomali bouguer sederhana dengan sebaran

nilai 152,4 mGal sampai 164,4 mGal ($0,001524 \text{ m/s}^2$ sampai $0,001644 \text{ m/s}^2$). Peta Sebaran nilai ini diwakili oleh gradiasi warna ungu (mewakili nilai yang lebih rendah) sampai warna putih kemerah merahan (mewakili nilai yang lebih tinggi)



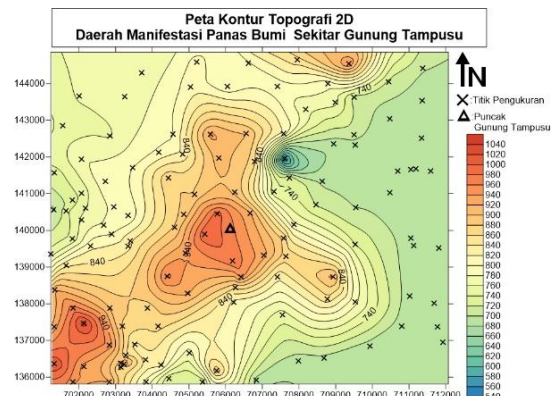
Gambar 1. Peta sebaran nilai anomali bouguer sederhana (ABS)

Berdasarkan Gambar 1 sebaran nilai Anomali Bouguer yang dimiliki oleh daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu bervariasi. Daerah dengan nilai anomali bouguer tinggi berada di sebelah Tenggara dari Gunung Tampusu, dengan sebaran nilai 152,4 – 164,4 mGal ($0,001524 - 0,001644 \text{ m/s}^2$). Sedangkan untuk daerah dengan nilai anomali bouguer rendah berada di bagian barat daya Gunung Tampusu dengan nilai 126 – 136 mGal ($0,00126 - 0,00136 \text{ m/s}^2$).

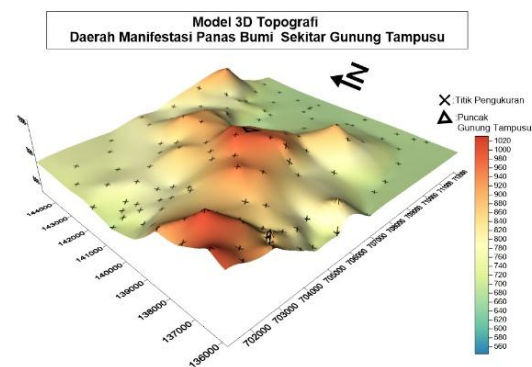
Diperkirakan variasi nilai anomali ini disebabkan oleh adanya perbedaan densitas batuan yang tersebar di Daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu. Semakin tinggi nilai densitas yang dimiliki oleh batuan, maka semakin tinggi nilai anomali bouguer dan udara bebas yang dimiliki oleh daerah tersebut. Sebaliknya, semakin rendah nilai densitas yang dimiliki oleh batuan di daerah tersebut, maka semakin rendah nilai anomali bouguer dan udara bebas.

Selain itu, variasi nilai anomali bouguer dan udara bebas diperkirakan juga dipengaruhi oleh perbedaan topografi yang ada di daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu, dimana terdapat daerah dataran tinggi dan dataran rendah. Gambar 3 merupakan peta yang menampilkan kontur topografi daerah Penelitian, yaitu

Daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu.



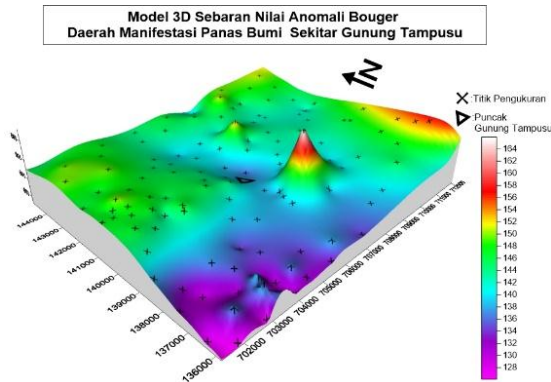
Gambar 2. Peta Topografi 2D



Gambar 3. Peta Topografi 3D

Pada Gambar 3, daerah Gunung Tampusu dan daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu termasuk dalam daerah yang memiliki nilai Topografi yang bervariasi, mulai dari 560mdpl - 1020mdpl yang kemudian daerah Puncak Gunung Tampusu bisa dilihat dengan jelas di Gambar pada bagian yang ditandai simbol segitiga.

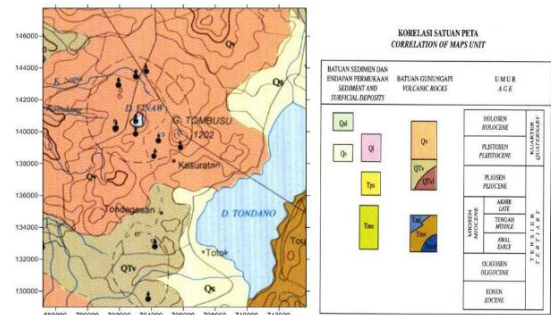
Sebaran Nilai dan Bentuk Topografi yang dimiliki oleh daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu tampak berbeda dengan Sebaran Nilai dan Bentuk Kontur Permukaan daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu berdasarkan nilai Anomali Bouguer Sederhana. Gambar 4 merupakan bentuk kontur permukaan daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu berdasarkan sebaran nilai Anomali Bouguer Sederhana.



Gambar 4. Peta sebaran nilai anomali bouguer sederhana (ABS)

Pada Gambar 4, kontur permukaan daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu berdasarkan anomali bouguer sederhana memiliki nilai menaik semakin tinggi ke arah tenggara jika ditinjau dari keseluruhan lokasi penelitian dan mengalami penurunan nilai yang cukup signifikan mulai dari bagian tengah sampai bagian barat daya area penelitian. Sedangkan berdasarkan topografi (Gambar 3), daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu memiliki bentuk permukaan yang bervariasi, dengan keberadaan topografi dengan nilai yang tinggi berada mulai dari bagian tengah area penelitian sampai bagian barat daya area penelitian.

Hal ini membuktikan bahwa topografi cenderung tidak berpengaruh terhadap variasi nilai anomali bouguer. Nilai anomali bouguer lebih dipengaruhi oleh adanya variasi nilai densitas yang dimiliki batuan di daerah tersebut. Berdasarkan hukum gravitasi yang menyatakan bahwa percepatan gravitasi suatu benda ditentukan oleh massa benda itu sendiri dengan kuadrat jarak antara benda tersebut dengan benda lainnya (Jacobs J.A, 1974). Hal ini berkaitan dengan nilai densitas yang dimiliki oleh batuan, dimana densitas merupakan perbandingan antara massa dengan volume. Semakin besar massa yang dimiliki oleh batuan, maka semakin besar densitas batuan tersebut. Begitu pun dengan percepatan gravitasi akan menjadi semakin besar.

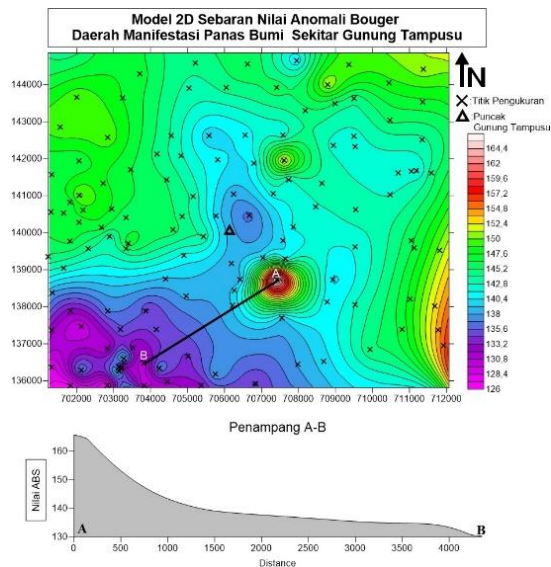


Gambar 5. Peta geologi Tondano dan sekitarnya (Lestari, dkk, 2013)

Gambar 5 menampilkan informasi mengenai geologi daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu. Batuan sebelah timur danau Tondano merupakan batuan yang tergolong sebagai batuan gunung api; seperti breksi, lava, dan tuf. Sedangkan batuan di bagian barat danau Tondano merupakan batuan yang tergolong sebagai batuan gunungapi muda; seperti Lava, bom, lapili dan abu.

B. Keberadaan Patahan di daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu Berdasarkan Anomali Bouguer

Patahan merupakan suatu kondisi dimana bagian bidang permukaan bumi telah mengalami pergeseran akibat gejala fisika yang terjadi melalui proses tumbukan antar dua buah elemen (lempeng). Dalam penentuan dan pengidentifikasian adanya sesar atau patahan, adanya Patahan ditandai dengan adanya harga anomali Bouguer yang harganya berubah turun atau naik secara drastis (curam) (Nurwidyanto, 2011). Pada daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu, keberadaan Patahan dapat diketahui melalui peta kontur sebaran nilai anomali bouguer Sederhana (ABS) yang ditampilkan pada Gambar 1. Pada Gambar 1 terdapat perubahan nilai anomali bouguer secara drastis, yaitu ketika nilai tersebut naik dari 130 mGal – 165,8 mGal ($0,00130 - 0,001658 \text{ m/s}^2$).



Gambar 6. Peta sebaran nilai anomali bouguer sederhana (ABS) dan Penampang A-B

Gambar 6 merupakan peta kontur anomali bouguer disertai dengan penampang dari garis A-B dengan nilai A = 165,8 mGal ($0,001658 \text{ m/s}^2$) dan nilai B = 130 mGal ($0,00130 \text{ m/s}^2$). Garis A-B merupakan garis yang dibuat untuk menggambarkan perubahan nilai anomali bouguer secara drastis yang kemudian dibuat sebagai penampang dari daerah tersebut.

Berdasarkan Gambar 6, keberadaan patahan dapat lebih mudah diketahui melalui penampang garis A-B yang dibuat. Patahan daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu terletak pada koordinat 707000 – 703000 yang arahnya dari titik A dengan koordinat $x=707476$, $y=138722$ (bagian Tengah area Penelitian) sampai ke Titik B dengan koordinat $x=703819$, $y=136468$ (bagian Barat Daya area Penelitian) dengan panjang patahan sekitar 4 km.

Keberadaan patahan di daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu semakin jelas oleh karena adanya informasi geologi daerah tersebut yang memberikan informasi kenampakan manifestasi geotermal yang berupa mata air panas di sekitar Lokasi Penelitian (lihat gambar 5). Kenampakan manifestasi tersebut merupakan salah satu ciri yang menggambarkan keberadaan patahan. daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu disebut juga sebagai daerah *outflow* dikarenakan oleh faktor keberadaan keluarnya manifestasi geotermal dari serangkaian sistem

geotermal. Patahan yang berada di daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu tergolong sebagai patahan normal atau patahan turun yang dapat diketahui dengan melihat penampang A-B.

3. KESIMPULAN

- Daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu memiliki sebaran nilai anomali bouguer yang bervariasi. Daerah dengan nilai anomali bouguer tinggi berada di sebelah Tenggara dari Gunung Tampusu, dengan sebaran nilai 152,4 – 164,4 mGal ($0,001524 - 0,001644 \text{ m/s}^2$). Sedangkan untuk daerah dengan nilai anomali bouguer rendah berada di bagian barat daya Gunung Tampusu dengan nilai 126 – 136 mGal ($0,00126 - 0,00136 \text{ m/s}^2$). Diperkirakan variasi nilai anomali ini disebabkan oleh adanya perbedaan densitas batuan yang tersebar di Daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu.
- Berdasarkan sebaran nilai anomali bouguer, Keberadaan Patahan daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu terletak pada koordinat 707000 – 703000 yang arahnya dari titik A dengan koordinat $x=707476$, $y=138722$ (bagian Tengah area Penelitian) sampai ke Titik B dengan koordinat $x=703819$, $y=136468$ (bagian Barat Daya area Penelitian) dengan panjang patahan sekitar 4 km (Lihat di Gambar 6). Jenis sesar di daerah Manifestasi Panas Bumi di Sekitar Gunung Tampusu tergolong sebagai sesar normal atau sesar turun.

4. REFERENSI

- Amaliah R, dkk. 2012. *Pemodelan Anomali Gravitasi Menggunakan Metode Inversi 2D (dua dimensi) Pada Area Prospek Panas Bumi Lapangan 'A'*
- Bujung, C.A.N., D.R. Wenas. 2019. Application Of Lineament Density And Gravity Methods To Detecting Fracture And Fault Lane In The Tampusu Volcanic Field (North Sulawesi,

- Indonesia). Asia Proceedings of Social Sciences 5(2). 5th ASIA International Conference 2019, KLCC, Malaysia.
- Jacobs J.A, Russel R.D, Wilson J.Tuzo. 1974. *Physics and Geology*. New York: Mc Graw-Hill Book Company
- Lestari, dkk. 2013. *analisis struktur patahan daerah panasbumi lahendong - tompaso sulawesi utara berdasarkan data second Vertical derivative (SVD) anomali gayabarat* (Seminar Nasional Sains & Teknologi V Lembaga Penelitian Universitas Lampung 19-20 November 2013)
- Nurwidyanto M, Brotopuspito K, Waluyo, Sismanto. 2011. *Studi Pendahuluan Sesar Opak dengan Metode Gravity (Studi Kasus Daerah Sekitar Kecamatan Pleret Bantul)*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada. (Jurnal Vol. 14, No. 1, Januari 2011)
- Pane S. 2015. *Aplikasi Microgravity Time-Lapse dalam Pemantauan Reservoir Panasbumi dengan Menggunakan Prisma Persegi Panjang* [skripsi]. Bandung: Program Studi Fisika, Institut Teknologi Bandung
- Raehanayati, dkk. 2013. *Studi Potensi Energi Geothermal Blawan-Ijen, Jawa Timur Berdasarkan Metode Gravity* (Jurnal Neutrino Vol. 6, No. 1 Oktober 2013)
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., 1990, *Applied Geophysics Second Edition*, Cambridge Univ. Press, Cambridge