

Pendugaan Anomali Bawah Permukaan Daerah Gunung Tangkuban Parahu dan Sekitarnya Berdasarkan Data Gaya Berat

Atari Rizki Naulia^{1,a)} dan Enjang Jaenal Mustopa^{1,b)}

¹Kelompok Keilmuan Fisika Bumi dan Sistem Kompleks,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

^{a)}nauliatar@gmail.com (corresponding author)

^{b)}enjang@fi.itb.ac.id

Abstrak

Makalah ini bertujuan untuk mengetahui persebaran daerah sistem panas bumi dengan melihat sebaran anomali gravitasi serta memprediksi struktur bawah permukaan bumi di daerah Gunung Tangkuban Parahu dan sekitarnya dengan menggunakan metode Gaya Berat. Metode ini memanfaatkan perbedaan nilai gravitasi di setiap titik pengukuran yang diakibatkan oleh susunan batuan di bawah permukaan bumi yang memiliki nilai densitas berbeda. Data berupa nilai percepatan gravitasi diperoleh dari lapangan di daerah Gunung Tangkuban Parahu dan sekitarnya dengan menggunakan gravimeter La Coste & Romberg, data tersebut kemudian diolah dengan melakukan berbagai koreksi sehingga diperoleh nilai anomali bouger lengkap yang menunjukkan persebaran nilai anomali gravitasi pada daerah penelitian. Setelah itu dilakukan pemodelan dua dimensi dengan menggunakan metoda Talwani untuk mengetahui struktur penampang lintasan di daerah tersebut. Dari hasil pengolahan data yang dilakukan, nilai Anomali Bouger Lengkap berkisar antara 369 hingga 395 mGal. Sementara dari hasil pemodelan dua dimensi yang dilakukan, didapat tiga jenis batuan penyusun bawah permukaan, yaitu batu pasir (sandstone) dengan densitas 2.44 gr/cm^3 , batu lempung (clay) dengan densitas 2.2 gr/cm^3 , dan batu andesit dengan densitas 2.6 gr/cm^3 .

Kata Kunci : Anomali, Densitas, Gaya Berat, Panas Bumi, Pemodelan

PENDAHULUAN

Sistem panas bumi merupakan suatu sistem perpindahan panas secara alami dari sumber panas (*heat source*) yang berada di mantel bumi menuju tempat penampungan panas (*heat sink*) di kerak bumi. Perpindahan ini terjadi secara konveksi dan konduksi, secara konduksi perpindahan panas terjadi melalui batuan sementara secara konveksi perpindahan panas terjadi akibat adanya interaksi antara air dengan sumber panas[4]. Secara garis besar sistem panas bumi tersusun atas sumber panas, batuan reservoir, lapisan penutup (*cap rock*) serta daerah resapan[5]. Sumber panas pada sistem panas bumi umumnya berasal dari magma, sementara batuan reservoir merupakan batuan dengan densitas rendah dan porositas tinggi yang berfungsi sebagai wadah bagi fluida. Lapisan penutup atau *caprock* pada umumnya berupa batuan dengan permeabilitas rendah yang dapat menghalangi fluida untuk bergerak keluar dari reservoir.

Untuk menemukan sumber panas bumi perlu dilakukan eksplorasi yang terdiri dari survei geologi, survei geokimia, dan survei geofisika. Survei geologi dan survei geokimia bertujuan untuk menemukan letak sistem panas bumi, sementara survei geofisika bertujuan untuk memetakan bawah permukaan dari suatu prospek panas bumi. Pada makalah ini, kami melakukan survei geofisika dengan menggunakan metode gaya berat yang memanfaatkan perbedaan nilai percepatan gravitasi di setiap titik pengukuran. Perbedaan gravitasi ini

diakibatkan oleh adanya perbedaan densitas batuan di bawah permukaan bumi. Metode ini merupakan metode pasif karena pada proses pengambilan data tidak memberikan gangguan pada objek di bawah permukaan.

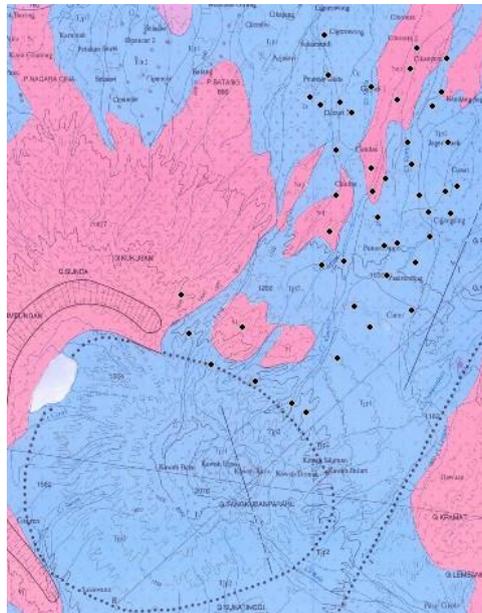
Prinsip yang digunakan pada metode ini adalah Hukum Gravitasi Newton, yaitu gaya antar dua buah benda bermassa yang terpisah jarak sejauh r akan berbanding lurus dengan perkalian kedua massa tersebut dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari kedua pusat massa. Secara matematis Hukum Gravitasi Newton dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\vec{F} = G \left(\frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \right) \hat{r} \tag{1}$$

dengan m_1 dan m_2 merupakan massa benda 1 dan benda 2, r merupakan jarak antara benda 1 dan benda 2, \hat{r} merupakan vector satuan, \vec{F} merupakan gaya tarik antara m_1 dan m_2 , dan G merupakan konstanta gravitasi yang bernilai $6.672 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$.

METODE PENELITIAN

Data nilai percepatan gravitasi pada 47 titik yang tersebar di daerah Gunung Tangkuban Parahu dan sekitarnya seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 didapat dengan menggunakan alat gravimeter *La Coste & Romberg*.



Gambar 1. Peta lokasi titik-titik pengukuran data gaya berat

Anomali Bouger Lengkap

Data yang didapat dari lapangan merupakan data percepatan gravitasi, namun data tersebut harus dikonversi terlebih dahulu ke dalam satuan mgal. Setelah didapat nilai percepatan gravitasi dalam satuan mgal kemudian dilakukan koreksi apungan (*drift correction*) dan koreksi pasang surut (*tide correction*). Koreksi apungan merupakan koreksi yang dilakukan akibat kelelahan alat, sementara koreksi pasang surut merupakan koreksi yang dilakukan karena adanya faktor tarikan massa benda luar angkasa yang mengakibatkan perubahan ketinggian air laut (pasang surut air laut). Dari koreksi ini kemudian dicari nilai gravitasi observasi :

$$g_{obs} = g_{read} + g_{tidal} - g_{drift} \tag{2}$$

Selain koreksi apungan dan koreksi pasang surut, dilakukan juga koreksi lintang, koreksi udara bebas, koreksi bouger dan koreksi terrain. Untuk melakukan koreksi bouger maka perlu dicari nilai densitas rata-rata

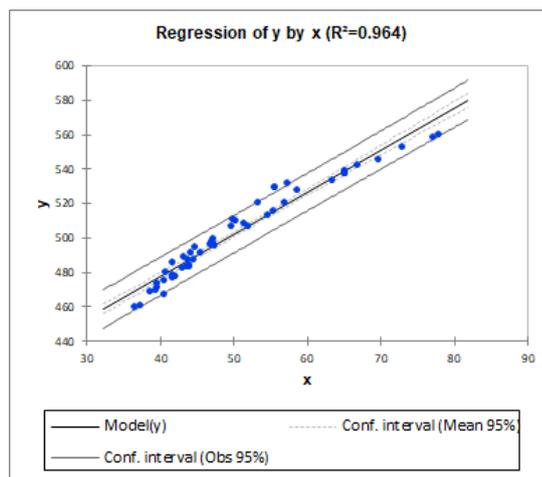
lingkungan dengan menggunakan metode parsnis, yakni dengan membuat regresi linear yang berbentuk $y = mx + c$ dari persamaan (5), dengan x merupakan ketinggian dikali 0.04191 dan nilai y merupakan nilai gravitasi observasi dikurang dengan koreksi lintang dan ditambah dengan koreksi udara bebas. Sementara m merupakan nilai dari ρ atau densitas rata-rata yang akan dicari.

$$g_{obs} - g_{latitude} + g_{fac} = BC \tag{3}$$

$$g_{obs} - g_{latitude} + g_{fac} = 2\pi G\rho h \tag{4}$$

$$g_{obs} - g_{latitude} + g_{fac} = 0.04191 \rho h \tag{5}$$

Hasil regresi linear dapat dilihat pada gambar 2, dari gambar kurva tersebut didapat persamaan yang bernilai $y = 2.44x + 380.056$. Dengan demikian didapat nilai densitas rata-rata daerah pengukuran, yaitu sebesar 2.44 gram/cm³. Nilai densitas rata-rata yang didapat kemudian digunakan untuk melakukan koreksi bouger dan koreksi terrain sehingga didapat nilai anomali bouger lengkap. Setelah didapat nilai anomali bouger lengkap kemudian dibuat peta konturnya dengan menggunakan *software* Surfer13.



Gambar 2. Kurva metode parsnis

Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Nilai anomali yang sudah didapat merupakan gabungan dari anomlai redisual dan anomali regional. Anomali residual merupakan anomali yang timbul akibat adanya tarikan batuan di daerah dangkal, sedangkan anomali regional merupakan anomali yang timbul akibat adanya tarikan batuan di daerah yang lebih dalam. Karena anomali regional dan residual saling berinteraksi dan menimbulkan anomali yang tumpang tindih maka perlu dilakukan pemisahan dengan menggunakan metode polinomial.

Metode ini menggunakan polinomial orde ke- m yaitu $y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m$ untuk mendekati himpunan data $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$. Prinsip dasar pada metode ini adalah mencari koefisien nilai 'a' pada persamaan polinomial yang digunakan dengan membuat turunan pertama dari persamaan polinomial tersebut bernilai sama dengan nol[3]. Setelah didapat nilai koefisien dari persamaan polinomial maka dapat dihitung nilai anomali regional, sementara nilai anomali residual didapat dengan mengurangi nilai anomali bouger lengkap dengan anomali regional[3]. Nilai anomali regional dan residual yang didapat kemudian dibuat peta kontur dengan menggunakan *software* Surfer13.

Pemodelan Bawah Permukaan

Setelah dibuat peta kontur anomali regional dan residual, kemudian dilakukan pemodelan dua dimensi bawah permukaan menggunakan metode Talwani. Metode ini merupakan metode pemodelan struktur geologi bawah permukaan dalam bentuk dua dimensi dengan menggunakan pendekatan poligon banyak sisi. Semakin banyak sisi pada poligon maka model yang dihasilkan akan semakin mendekati bentuk aslinya. Pemodelan yang dilakukan dapat menimbulkan ambiguitas karena banyaknya kemungkinan model yang dihasilkan. Hal

ini disebabkan oleh adanya parameter rapat massa dan kedalaman yang tidak pasti sehingga akurasi pemodelan tidak terlalu baik.

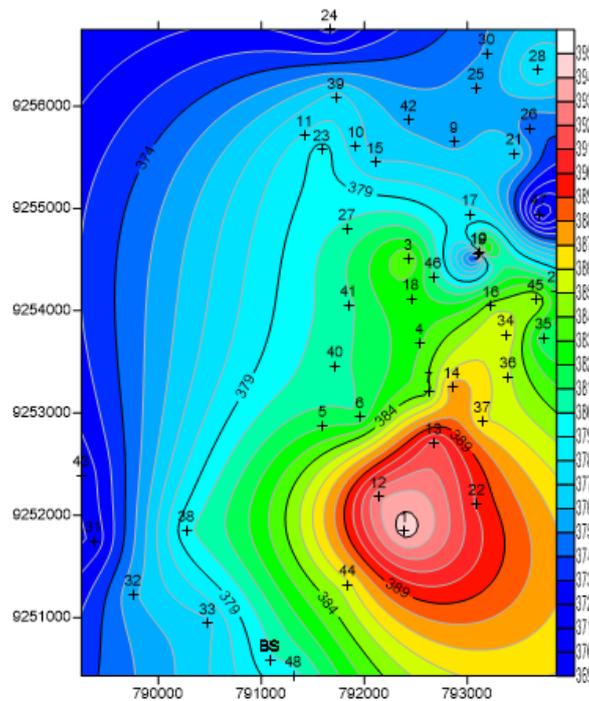
Pada pemodelan ini akan dilakukan proses *trial and error*, yaitu proses mengubah-ubah nilai parameter input yang berupa densitas dan dimensi model agar kurva respon gravitasi model mendekati kurva respon gravitasi data observasi. Jika kurva respon gravitasi model semakin mendekati kurva respon gravitasi data observasi maka model yang dihasilkan akan semakin mirip dengan struktur bawah permukaan daerah tersebut.

HASIL DAN ANALISIS

Interpretasi yang dilakukan pada makalah ini adalah interpretasi kualitatif dan interpretasi kuantitatif. Interpretasi kualitatif dilakukan dengan menganalisis persebaran anomali gravitasi dari peta kontur anomali bouger lengkap, sementara interpretasi kuantitatif dilakukan dengan menganalisis hasil pemodelan bawah permukaan pada suatu lintasan penampang tertentu.

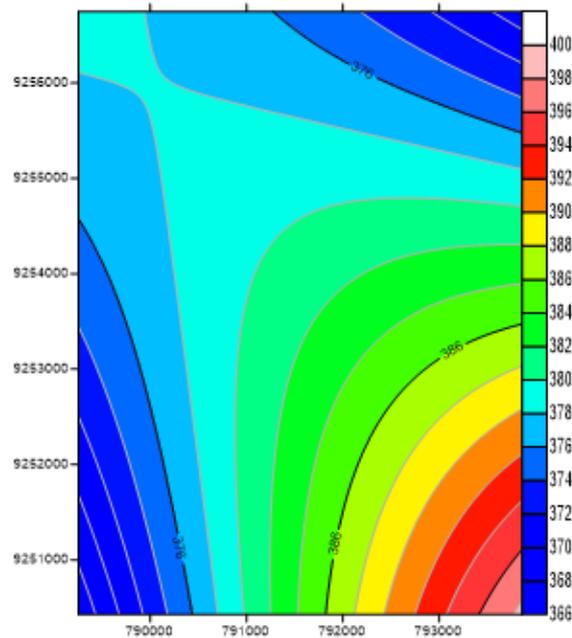
Interpretasi Kualitatif

Pada peta anomali bouger lengkap yang ditunjukkan pada gambar 3, dapat dilihat bahwa nilai anomali bouger lengkap bervariasi dari 369 hingga 395 mGal. Nilai anomali rendah yang ditunjukkan dengan warna biru tersebar dari sebelah barat hingga timur laut daerah penelitian, sementara nilai anomali tinggi yang ditunjukkan dengan warna merah berada di sebelah selatan daerah penelitian. Nilai anomali rendah pada peta kontur menunjukkan bahwa daerah tersebut memiliki densitas batuan yang lebih rendah dari daerah sekitarnya, sementara nilai anomali tinggi menunjukkan bahwa daerah tersebut memiliki densitas batuan yang lebih besar dari daerah sekitarnya. Batuan dengan densitas yang lebih rendah memiliki tingkat porositas yang tinggi sehingga memiliki prospek sebagai daerah sistem panas bumi.

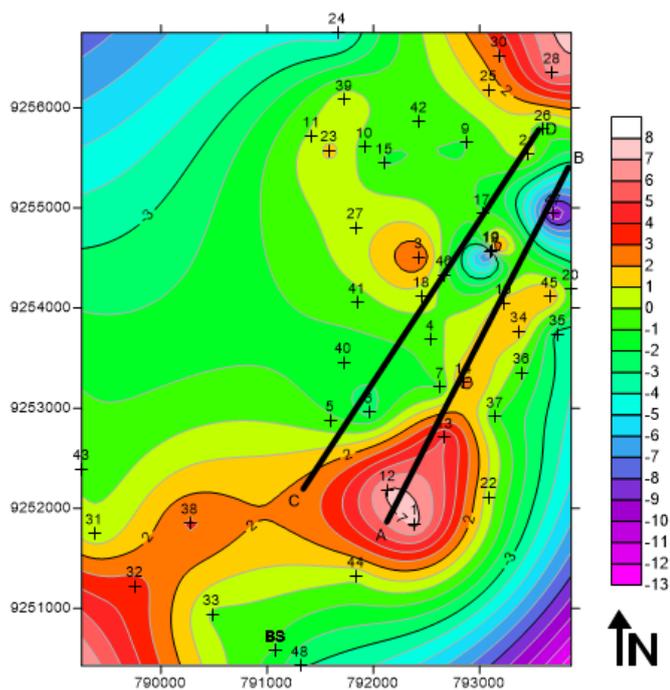


Gambar 3. Peta kontur anomali bouger lengkap

Gambar 4 menunjukkan peta kontur anomali regional orde dua, dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa nilai anomali regional bervariasi antara 366 hingga 400 mGal. Nilai anomali rendah berada di sebelah barat hingga timur laut, sementara nilai anomali tinggi berada di sebelah tenggara daerah penelitian. Peta anomali residual ditunjukkan pada gambar 5, peta ini memiliki kontur yang mirip dengan peta anomali bouger lengkap. Nilai anomali residual yang didapat berkisar antara -13 hingga 8 mGal. Pada peta anomali residual terdapat dua buah garis penampang lintasan yang akan digunakan sebagai lintasan untuk memodelkan struktur bawah permukaan.



Gambar 4. Peta kontur anomali regional orde 2



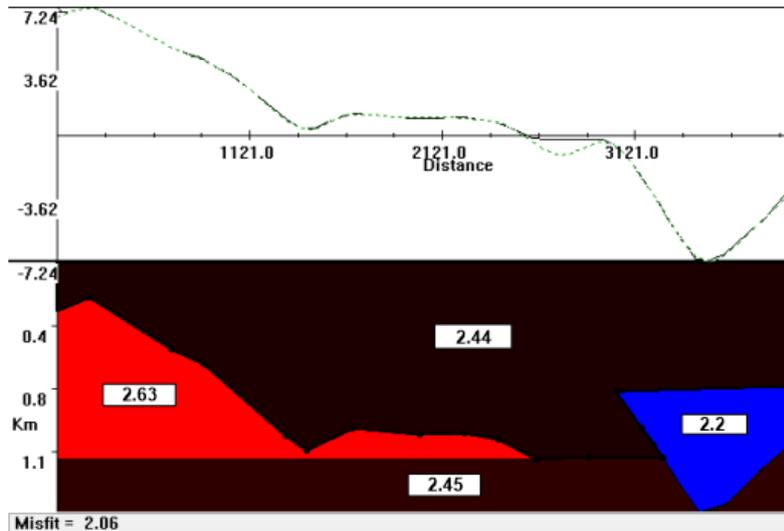
Gambar 5. Peta kontur anomali residual dengan lintasan penampang

Interpretasi Kuantitatif

Hasil pemodelan penampang lintasan AB dapat dilihat pada gambar 6. Model yang dibuat memiliki kedalaman maksimum 1500 m dengan panjang lintasan ± 3900 m. Anomali gravitasi yang dihasilkan berkisar antara 7.24 hingga -7.24 mGal. Garis putus-putus merupakan respon gravitasi berdasarkan data observasi, sementara garis kontinu merupakan respon gravitasi berdasarkan model yang dibuat. Respon gravitasi model sudah mendekati respon gravitasi data observasi dengan misfit sebesar 2.06. Dari hasil pemodelan didapat tiga jenis batuan penyusun bawah permukaan, yang pertama adalah batu pasir (*sandstone*) dengan densitas 2.44 gr/cm³ terdapat pada lapisan paling atas dan lapisan paling bawah. Pada lapisan teratas, batu pasir

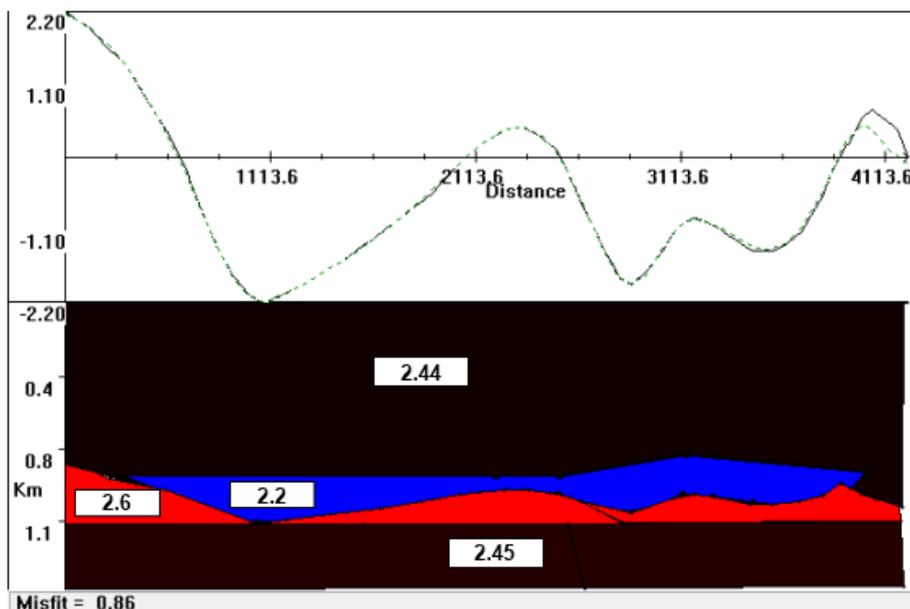
memiliki ketebalan sekitar 200 hingga 1000 meter, sementara pada lapisan paling bawah batu pasir dapat ditemukan pada kedalaman 1100 meter dari permukaan.

Jenis batuan kedua yang ditemukan adalah batu andesit dengan densitas 2.6 gr/cm^3 yang ditunjukkan dengan warna merah. Batuan ini dapat ditemukan pada daerah sebelah kiri lintasan dengan kedalaman 200 hingga 900 meter dari permukaan dan memiliki ketebalan sekitar 100 hingga 900 meter. Jenis batuan ketiga adalah batu lempung (*clay*) dengan densitas 2.2 gr/cm^3 yang terdapat di sebelah kanan lintasan dengan kedalaman sekitar 800 meter dari permukaan dan memiliki ketebalan sekitar 700 meter.



Gambar 6. Model dua dimensi penampang lintasan AB

Gambar 7 menunjukkan model penampang lintasan CD. Model yang dibuat memiliki kedalaman maksimum 1500 m dengan panjang lintasan $\pm 4200 \text{ m}$. Anomali gravitasi yang dihasilkan berkisar antara 2.20 hingga -2.20 mGal . Garis putus-putus merupakan respon gravitasi berdasarkan data observasi, sementara garis kontinu merupakan respon gravitasi berdasarkan model yang dibuat. Respon gravitasi model sudah mendekati respon gravitasi data observasi dengan misfit sebesar 0.86. Dari hasil pemodelan, penampang lintasan CD juga memiliki tiga jenis batuan penyusun bawah permukaan yang sama dengan jenis batuan yang terdapat pada penampang lintasan AB.



Gambar 7. Model dua dimensi penampang lintasa CD

Pada lintasan CD, batu pasir (*sandstone*) juga terdapat pada lapisan paling atas dan paling bawah. Batu pasir pada lapisan paling atas memiliki ketebalan sekitar 900 meter, sementara batu pasir pada lapisan paling bawah dapat ditemukan pada kedalaman 1100 meter dari permukaan. Lapisan batu lempung (*clay*) yang ditunjukkan dengan warna biru terdapat pada kedalaman sekitar 900 meter dari permukaan dengan ketebalan sekitar 200 meter. Lapisan batu andesit yang ditunjukkan dengan warna merah dapat ditemukan pada kedalaman sekitar 900 meter dari permukaan dan memiliki ketebalan sekitar 200 meter.

Dari hasil pemodelan kedua penampang lintasan, batu lempung (*clay*) yang memiliki densitas rendah namun tingkat permeabilitas dari batuan tersebut rendah sehingga batuan ini dapat diinterpretasikan sebagai lapisan penutup dalam sistem panas bumi atau biasa disebut *caprock*. Sementara batu pasir (*sandstone*) yang terdapat pada lapisan paling bawah dapat diinterpretasikan sebagai reservoir panas bumi.

KESIMPULAN

Dari hasil pengolahan data didapat nilai anomali bouger lengkap pada daerah penelitian berkisar antara 369 hingga 395 mGal. Nilai anomali rendah tersebar di sebelah barat hingga timur laut daerah penelitian, sementara nilai anomali tinggi terdapat di sebelah selatan daerah penelitian. Daerah dengan nilai anomali rendah diprediksi sebagai daerah sistem panas bumi. Dari hasil pemodelan dua dimensi didapat tiga jenis batuan penyusun bawah permukaan daerah penelitian, yaitu batu pasir (*sandstone*) dengan densitas 2.44 gr/cm^3 , batu lempung (*clay*) dengan densitas 2.2 gr/cm^3 , dan batu andesit dengan densitas 2.6 gr/cm^3 . Batu lempung diinterpretasikan sebagai lapisan penutup (*caprock*) sementara batu pasir yang terdapat pada lapisan paling bawah diinterpretasikan sebagai reservoir panas bumi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Penelitian Pengabdian pada Masyarakat dan Inovasi (P3MI) tahun 2017 yang diselenggarakan oleh ITB.

REFERENSI

1. Hinze, William J., Ralph R. B. Von Frese, dan Afif H. Saad, *Gravity and Magnetic Exploration*, Cambridge University Press, Cambridge (2013)
2. Kurniawan, Lilik Eko, Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Pincara, Sulawesi Selatan Menggunakan Metode Gaya Berat, Universitas Indonesia, Jakarta (2013)
3. Purnomo, Jarot., *Pemisahan Anomali Regional-Residual pada Metode Gravity Menggunakan Metode Moving Average, Polynomial dan Inversion*. Indonesian Journal of Applied Physics Vol. 3 No.1 (2013)
4. Reynolds, J. M., *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Wiley & Sons, Inc, New York (1997)
5. Saptadji, Nenny M., *Sekilas Tentang Panas Bumi*. Program Studi Magister Teknik Panas Bumi, Fakultas Pertambangan dan Perminyakan ITB (2012)
6. Suharno, 2010, *Pengembangan Prospek Panas Bumi Untuk Mahasiswa, Ahli Teknis, Profesional dan Birokrat*, Univesitas Lampung, Bandar Lampung.
7. Talwani, M., J. Lamar Worzel, and Mark Landisman, *Rapid Gravity Computations for Two-Dimensional Bodies with Application to The Mendocino Submarine Fracture Zone*, Columbia University, New York (1959)
8. Telford, W. M., L. P. Geldart, and R. E. Sheriff, *Applied Geophysics Second Edition*, Cambridge University Press, Cambridge (1990)