

Anomali Bouguer Lengkap untuk Mengidentifikasi Sistem Panas Bumi Gunung Pandan Jawa Timur

^{1*}Irma Risvana Dewi, ²Dara Puspita Anggraeni ³Dwi Kartika Risfianty, ⁴Irna Il Sanuriza

^{1,2}Matematika, FMIPA, Universitas Nahdlatul Wathan Mataram, Mataram

^{3,4}Biologi, FMIPA, Universitas Nahdlatul Wathan Mataram, Mataram

*irmarisvanadewi@unwmataram.ac.id

Abstract

The world population is predicted to continue increasing. Therefore, discovering another energy resource instead of fossil oil is essential. The geothermal resource can be used as alternative renewable energy. To identify the complex geothermal system in East Java as alternative renewable energy based on the gravity anomaly. This research investigated the Gunung Pandan geothermal system. The geophysical method was used which is the gravity method. The subsurface information was investigated using the Bouger Gravity Anomaly (ABL) method. The results show that the distribution of the gravitational anomaly in the Mount Pandan complex has a residual anomaly value of -3.2 mgal to 11.7 mgal. The residual anomalous contours represent positive clusters identified as intrusive rocks that heated the fluid around the fault and the suspected reservoir. thus, forming the manifestation of Banyukuning and Selogajah with the flow zone of each manifestation classified as an outflow zone for the manifestation of Banyukuning and upflow for the manifestation of Selogajah.

Keywords: *energy resource; geothermal; gravitational anomaly*

Abstrak

Pencarian sumber energi terbarukan harus dilakukan mengingat peningkatan jumlah populasi dunia yang signifikan. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi sistem panasbumi di Kompleks Gunung Pandan, Jawa Timur sehingga dapat digunakan sebagai alternatif energi terbarukan untuk wilayah Jawa Timur. Tujuan dari penelitian ini mengidentifikasi sistem panasbumi kompleks Gunung Pandan Jawa Timur berdasarkan anomali graviy sehingga dapat digunakan sebagai alternatif energi terbarukan untuk wilayah Jawa Timur. Metode yang digunakan yaitu metode geofisika, salah satunya adalah metode gravitasi, dengan metode ini mengaji informasi bawah permukaan menggunakan metode Anomali Gaya Berat Bouguer (ABL). Adapun hasil yang didapatkan persebaran anomali gravitasi di kompleks Gunung Pandan memiliki nilai anomali residual -3,2 mgal hingga 11,7 mgal. Kontur anomali residual tersebut menggambarkan klostur positif yang diidentifikasi sebagai batuan intrusi yang memanaskan fluida disekitar patahan dan reservoir terduga. sehingga membentuk manifestasi Banyukuning dan Selogajah dengan zona aliran masing-masing manifestasi tergolong zona outflow untuk manifestasi Banyukuning dan upflow untuk manifestasi Selogajah.

Kata kunci: energi terbarukan; panas bumi; anomali gravity

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk dan usaha dibidang industri menyebabkan konsumsi energi semakin meningkat terutama energi listrik. Ketergantungan energi hingga saat ini masih bersumber dari bahan bakar fosil yaitu minyak, gas dan batubara. Namun seperti yang kita

ketahui produksi bahan bakar tersebut semakin menipis dan bahkan dalam kurun waktu kurang dari 70 tahun energi tersebut akan habis (Setyaningsih, 2011). Menghadapai krisis energi yang akan terjadi maka diperlukan berbagai solusi berupa energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan untuk mengatasi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil tersebut. Salah satu energi terbarukan yang berpotensi untuk dikembangkan adalah energi panasbumi (Geothermal). Energi panasbumi adalah energi yang tersimpan dalam bentuk air atau uap panas pada kondisi geologi tertentu pada kedalaman beberapa kilometer di dalam kerak bumi. Energi panasbumi ini adalah energi yang bersih, terbarukan dan merupakan energi berkelanjutan serta tidak menambah emisi dunia. Indonesia menjadi negara yang memiliki potensi sumber energi panasbumi yang cukup besar, hal ini disebabkan posisi Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama yaitu, lempeng Eurasia, Indo-Australia dan Pasifik. Potensi panasbumi di Indonesia diperkirakan mencapai lebih dari 27.000 Mw atau setara 219 juta barel minyak bumi dan merupakan 40% dari potensi panasbumi dunia (Maryanto, 2017). Penelitian mengenai sistem panasbumi di wilayah Gunung Pandan telah dilakukan dengan metode penelitian berupa pemetaan geologi yang didukung oleh analisis struktur petrografi dan geologi yang dilakukan oleh Thoha, et al (2014). Studi yang dilakukan berfokus pada lereng Utara Gunung Pandan dan sekitarnya, yang terletak di Desa Klino, Kecamatan Ngambon. Hasil yang didapatkan yaitu, unit batuan vulkanik yang membangun daerah penelitian dapat di bagi menjadi empat yaitu: satuan batuan vulkanik Gunung Nangka, satuan vulkanik Gunung Telogo Gebang, satuan vulkanik Gunung Lawang dan satuan vulkanik Gunung Pandan. Penelitian di wilayah kompleks Gunung Pandan belum banyak dilakukan, terutama berkaitan dengan sistem panasbumi wilayah tersebut. Oleh sebab itu penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi sistem panasbumi di Kompleks Gunung Pandan, Jawa Timur sehingga dapat digunakan sebagai alternatif energi terbarukan untuk wilayah Jawa Timur. Metode yang digunakan yaitu metode geofisika, salah satunya adalah metode gravitasi, dengan metode ini mengaji informasi bawah permukaan menggunakan metode Anomali Gaya Berat Bouger (ABL). Anomali gaya berat bouguer (ABL) merupakan peta anomali gaya berat yang sudah dilakukan berbagai proses reduksi sehingga variasi nilai anomali percepatan gaya berat yang dihasilkan hanya dipengaruhi oleh variasi rapat massa dari bantuan di bawah permukaan. Nilai ABL ini adalah nilai total anomali yang ditimbulkan oleh pengaruh rapat massa batuan dari inti sampai permukaan bumi yang selanjutnya akan dipisahkan menjadi anomali regional dan residual. Interpretasi secara kualitatif dilakukan terhadap penyebaran daerah anomali residual di daerah penelitian yang dihubungkan dengan kondisi geologi dekat permukaan (Liana.,dkk, 2020). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan sebaran anomali Bouguer data gaya berat untuk menentukan sistem panas bumi dengan studi kasus Kompleks Gunung Pandan, Jawa Timur.

METODE

Pengukuran gaya berat dalam penelitian ini dilakukan pada 80 titik pengukuran yang tersebar di kompleks gunung pandan jawa timur. Pengukuran sebaran percepatan gravitasi dengan gravimeter lacoste-romberg G-1053 dilakukan pada keseluruhan titik dengan sistem looping yaitu dengan memulai pengukuran pada titik ikat yang telah diketahui nilai gravitasi mutlaknya, dilanjutkan dengan pengukuran pada titik-titik yang telah ditentukan, dan terakhir kembali

melakukan pengukuran pada titik ikat yang sama. Pengolahan data dan koreksi terhadap nilai analisis Bouguer menggunakan software Microsoft Excel untuk perhitungan matematis, sedangkan pengolahan data dalam membuat kontur anomaly Bouguer menggunakan software Oasis Montaj 8.4

Metode gaya berat merupakan salah satu metode geofisika yang memanfaatkan medan gravitasi Bumi akibat variasi rapat massa batuan di bawah permukaan tanah. Prinsip dasar dari metode ini adalah mengukur variasi nilai percepatan gravitasi yang ditimbulkan oleh adanya perbedaan rapat massa batuan yang berada di bawah permukaan Bumi (Yan et al., 2020).

Pengukuran gaya berat di lapangan banyak mengandung nilai-nilai yang bukan berasal dari refleksi bawah permukaan. Oleh karena itu sebelum data diolah dan diinterpretasikan lebih jauh diperlukan suatu proses reduksi yang berupa koreksi-koreksi terhadap nilai gaya berat hasil pengukuran lapangan. Koreksi-koreksi tersebut terdiri dari: (1) koreksi pasang surut, (2) koreksi apungan, (3) koreksi udara bebas, (4) koreksi Bouguer, (5) koreksi lintang, dan (6) koreksi medan (Araffa et al., 2015).

Data yang dihasilkan oleh alat gravitimeter dikoreksi awal menggunakan koreksi pasang surut dan koreksi apungan. Data yang telah dikoreksi kemudian diolah untuk mendapatkan nilai BA lengkap dengan cara melakukan koreksi lanjut berupa koreksi lintang, koreksi medan, serta koreksi ketinggian. Koreksi lintang digunakan untuk mengoreksi perbedaan gaya berat setiap lintang geografis karena adanya gaya sentrifugal dan bentuk elipsoide. Umumnya koreksi lintang dilakukan untuk mendapatkan nilai gaya berat teoritis (Latifah, 2010). Koreksi ketinggian meliputi FAC dan BC. Secara matematis FAC dinyatakan oleh Persamaan 1.

$$FAC = 0,3086.h \quad (1)$$

Dengan h ketinggian titik pengukuran di atas permukaan laut. Nilai FAC digunakan untuk menentukan FAA yaitu selisih harga gaya berat pengamatan dengan harga gaya berat teoritis dan koreksi udara bebas sesuai Persamaan 2.

$$FAA = g_{obs} - (g_n - FAC) \quad (2)$$

Dengan g_{obs} adalah nilai percepatan gravitasi observasi, g_n adalah nilai percepatan gravitasi normal dihitung dengan Persamaan 3 (Yan et al., 2020).

$$g_n = 978,0318 (1 + 0,0053024 \sin^2\phi - 0,0000058 \sin^2 2\phi) \text{ gal} \quad (3)$$

Koreksi Bouguer merupakan koreksi yang dilakukan untuk menghilangkan perbedaan ketinggian dengan tidak mengabaikan massa di bawahnya. Perbedaan ketinggian akan mempengaruhi besarnya percepatan gaya berat titik yang diamati diperoleh. Koreksi Bouguer (BC) diperoleh melalui Persamaan 4.

$$BC = 0.04191.\rho h \quad (4)$$

Dengan ρ adalah background density yang besarnya 2.67 gr/cc dan h adalah ketinggian stasiun pengamatan. Pada dasarnya anomali Bouguer adalah selisih antara nilai gaya berat pengukuran

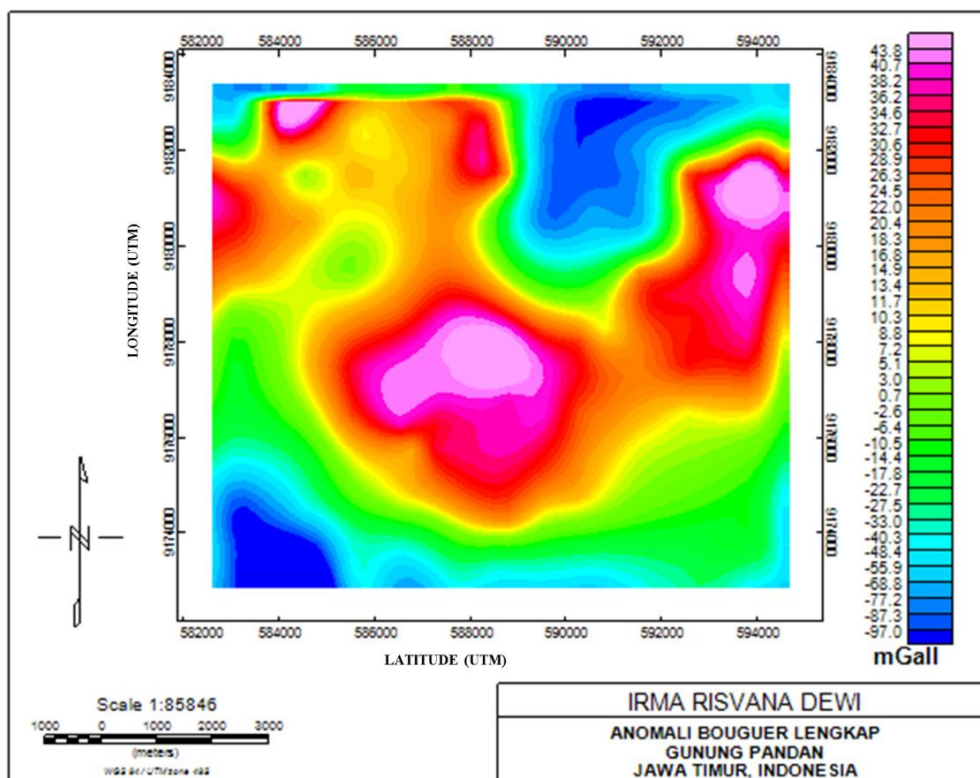
yang telah direduksi kebidang referensi ukuran dengan nilai gaya berat teoritis pada bidang referensi hitungan tertentu di suatu titik. Secara matematis anomali Bouguer dihitung dengan menggunakan Persamaan 5 (Telford, W.M., Sheriff, & Keys, 2016).

$$BA = g_{obs} + FAC - BC + TC - gn \quad (5)$$

Anomali Bouguer yang diperoleh akan dijadikan sebagai dasar dalam pemodelan untuk interpretasi kuantitatif..

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengolahan data gravity diperoleh peta kontur anomali bpuguer lengkap seperti gambar berikut.



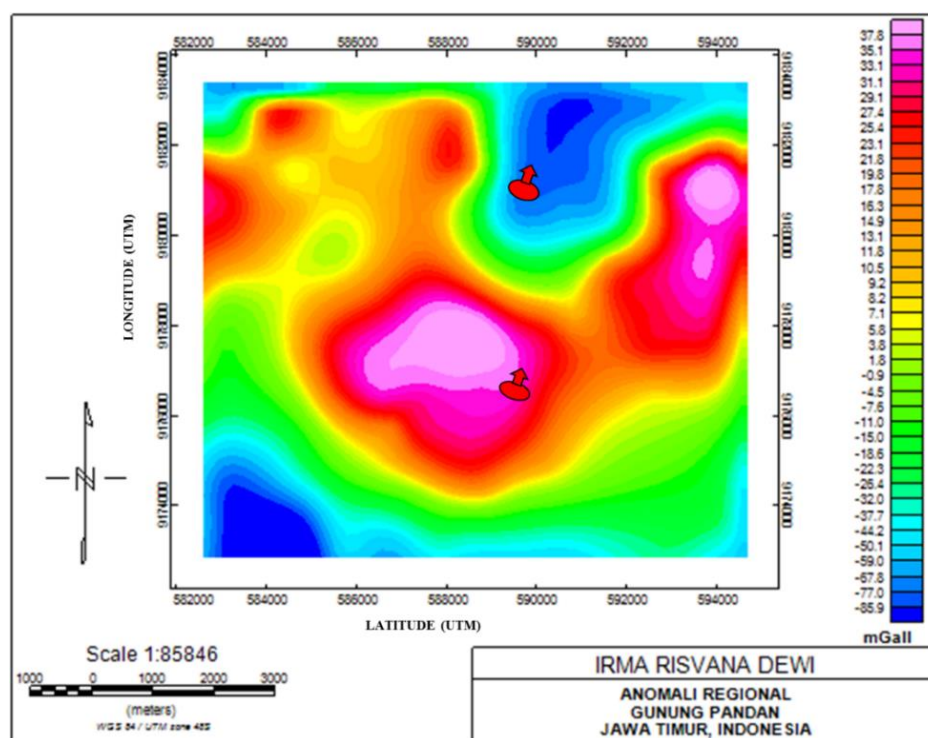
Gambar 1.Peta Kontur Anomali *Bouguer*

Gambar 1 menunjukkan peta kontur anomali Bouguer di wilayah gunung pandan dengan skala 1 : 85846 hasil pengolahan data menggunakan software Oasis Montaj 8.4 Berdasarkan gambar 1. di atas, anomali *Bouguer* lengkap memiliki nilai dengan rentang nilai -97,0 mgal hingga 43,8 mgal. Perbedaan nilai tersebut disebabkan oleh adanya variasi denistas di bawah permukaan bumi serta letak dan kedalaman batuan tersebut di bawah permukaan. Berdasarkan nilai tersebut, maka dapat dikelompokkan menjadi anomali rendah, sedang dan tinggi. Anomali rendah memiliki rentang nilai -97,0 mgal hingga -2,6 mgal yang di tunjukkan dengan warna biru muda hingga hijau muda yang berada di bagian Timur laut dan Barat daya wilayah penelitian. Anomali sedang memiliki rentang nilai 0,7 mgal hingga 20,4 mgal di tunjukkan dnegan warna

hijau hingga jingga dan untuk anomali tinggi 22,0 mgal hingga 43,8 mgal di tunjukkan dengan warna orange hingga merah muda yang terpapar dari Barat laut, memanjang hingga ke Timur laut. Nilai anomali Bouguer yang tinggi mengindikasikan struktur batuan dengan densitas yang tinggi dibanding daerah sekitarnya, dan sebaliknya nilai anomali yang rendah memiliki struktur batuan dengan densitas yang rendah.

Hasil pengolahan data gravitasi dengan *software* Oasis Montaj 8.4, didapatkan perbedaan nilai anomali *Bouguer*. Maka untuk mempermudah interpretasi nilai anomali gravitasi dikelompokkan menjadi anomali tinggi, sedang dan rendah. Variasi nilai anomali tersebut disebabkan oleh adanya variasi densitas batuan, letak, dan kedalaman batuan bawah permukaan. Pola kontur anomali regional memperlihatkan karakteristik dari anomali regional yang bersifat luas dan dalam, yang ditandai dengan diameter garis pola yang besar.

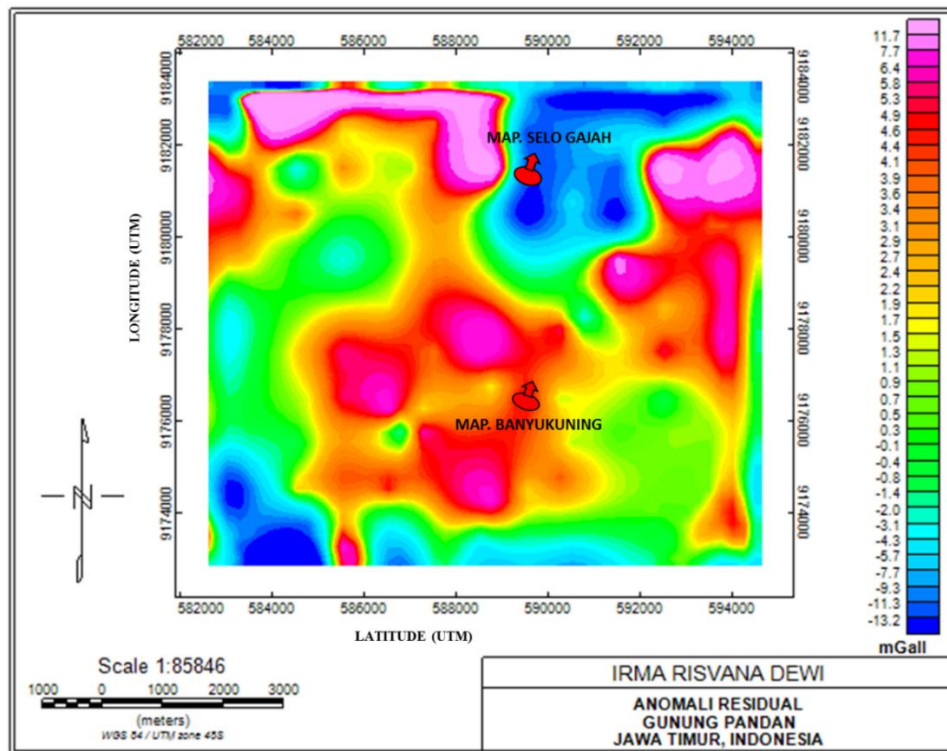
Peta penyebaran anomali regional merupakan tampilan hasil pengolahan atau penyaringan data anomali *Bouguer* lengkap (CBA) dengan melakukan kontinuasi ke atas pada ketinggian 150 m. Kontinuasi ke atas (*upward continuation*) merupakan proses pengubahan data anomali *Bouguer* lengkap pada level yang lebih tinggi. Proses ini menghasilkan nilai anomali regional. Gambar 2 di bawah ini menunjukkan pola kontur anomali regional yang dihasilkan dari proses kontinuasi ke atas.



Gambar 2.1 Peta Kontur Anomali Regional

Pola tersebut memperlihatkan karakteristik dari anomali regional yang bersifat luas dan dalam yang ditandai dengan diameter garis pola yang lebih besar. Rentang nilai anomali regional berkisar antara -85,9 mgal hingga 37,8 mgal. Nilai anomali regional yang rendah

memperlihatkan karakteristik filter ke atas yang memperkuat sinyal frekuensi rendah dan melemahkan sinyal frekuensi tinggi.



Gambar 3. Kontur Anomali Residual

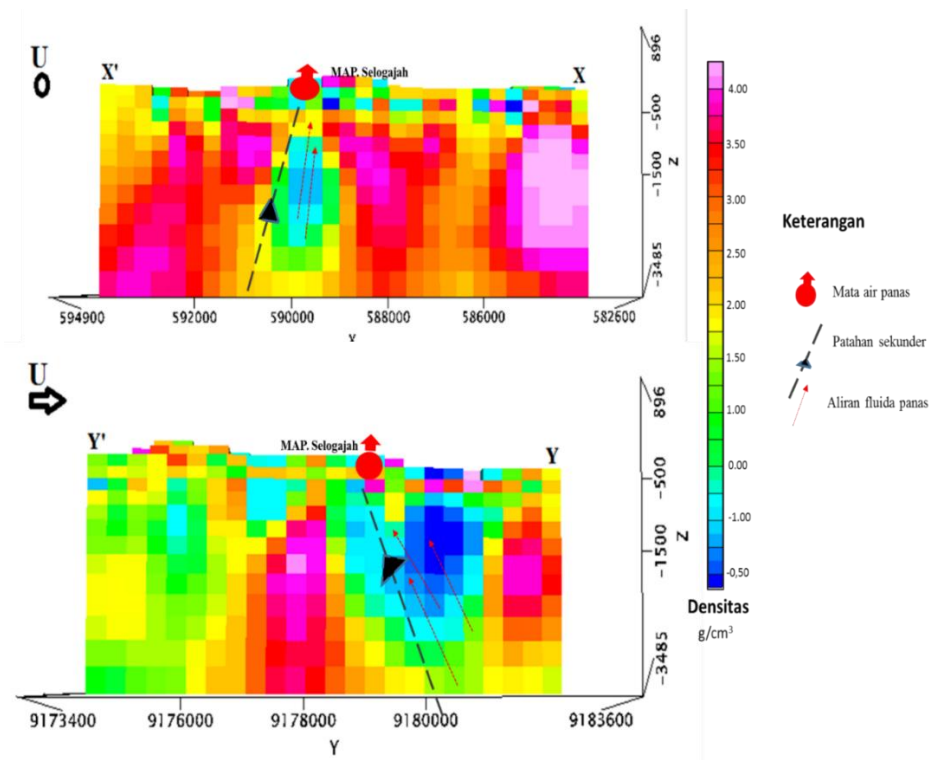
Anomali residual diperoleh sebagai hasil dari pengurangan anomali *Bouguer* lengkap dengan anomali regional. Anomali ini digunakan sebagai dasar dalam pembuatan pemodelan. Berdasarkan gambar di atas gambar 3, pola kontur anomali residual cenderung memiliki diameter kecil dibanding anomali regional yang memperlihatkan bahwa anomali tersebut bersifat lokal dan dangkal. Rentang nilai anomali residual yaitu -13,2 mgal hingga 11,7 mgal.

Nilai anomali residual dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok yaitu kelompok anomali residual tinggi, anomali residual sedang dan anomali residual rendah. Anomali residual tinggi yang ditunjukkan oleh warna orange sampai merah muda memiliki nilai positif dengan rentang 1,06 mgal hingga 11,93 mgal. Anomali residual sedang ditunjukkan oleh warna hijau hingga kuning memiliki rentang nilai negatif hingga positif dengan nilai -6,48mgal hingga 0,82 mgal. Sedangkan untuk anomali rendah ditunjukkan oleh warna biru tua hingga biru muda dengan rentang nilai -6,37 mgal hingga -2,93 mgal.

Pola kontur anomali residual cenderung memiliki diameter kecil, yang memperlihatkan bahwa anomali tersebut bersifat lokal dan dangkal. Anomali residual dikelompokkan menjadi anomali residual tinggi, rendah dan sedang. Pada anomai residual tinggi terdapat pola klostur positif yang sangat rapat, hal ini disebabkan oleh keberadaan batuan bawah permukaan yang memiliki

densitas tinggi pada kedalaman yang dangkal. Untuk anomali residual sedang, disebabkan oleh batuan ubahan yang memiliki densitas sedang yang berada di permukaan. Sedangkan untuk anomali residual rendah, disebabkan oleh adanya densitas rendah dibawah permukaan yang memiliki volume yang besar. Klostur negatif yang berada di Timur laut daerah peneitian, tepatnya di wilayah manifestasi Selogajah, diindikasikan dibentuk oleh anomali dengan densitas rendah. Anomali rendah ini merupakan indikasi keberadaan sumber panas dan reservoir sistem panasbumi yang ada di wilayah penelitian.

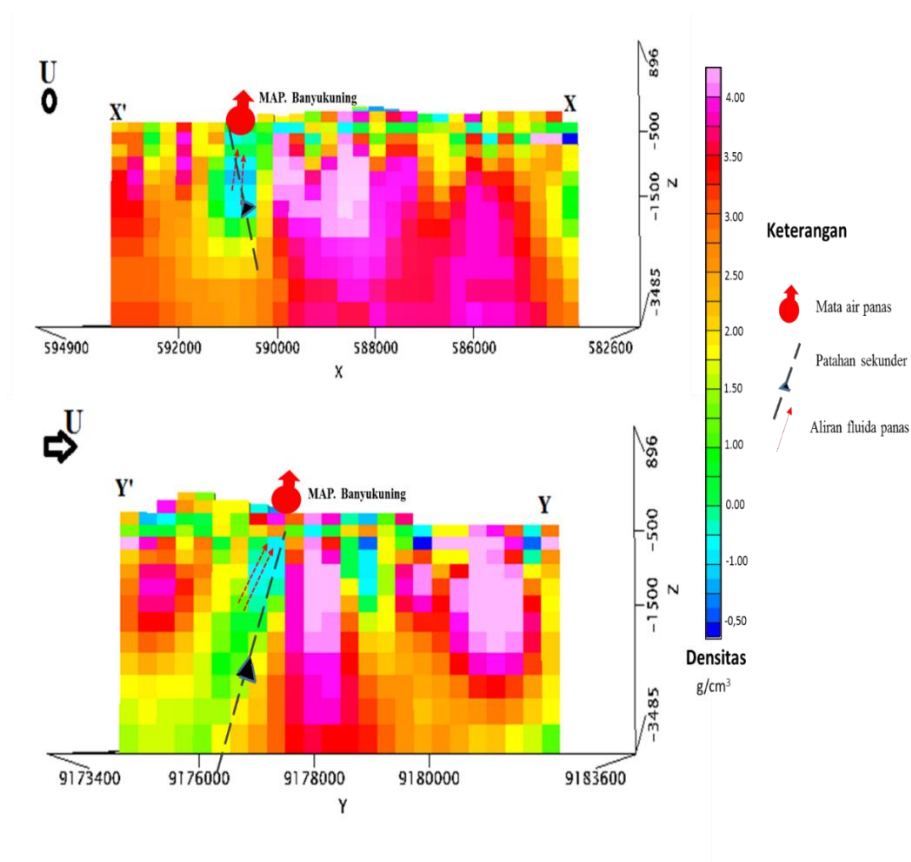
Pemodelan inversi dilakukan terhadap anomali gravitasi residual untuk mendapatkan persebaran nilai densitas bawah permukaan yang mencakup luasan 90 km² yang berorientasi arah Utara-Selatan dan Timur –Barat. Pada penelitian ini, disajikan pula empat penampang sayatan seperti terlihat pada gambar 3. pemodelan inversi data gravitasi dilakukan dengan lintasan berarah Timur-Barat dan Utara Selatan Hasil pemodelan 3D selanjutnya ditampilkan dalam bentuk sayatan penampang densitas 2D. Penampang tersebut menggambarkan densitas batuan secara vertikal hasil sayatan mode 3D. Adapun hasil pemodelan inversi 3D data gravitasi memperlihatkan bahwa blok batuan berdensitas tinggi antara 2,50 g/cm³ hingga 4 g/cm³, yang membentuk pola penerobosan permukaan pada kedalaman 2 km hingga 3 km yang diduga sebagai jenis batuan intrusi. Sedangkan untuk nilai denistas rendah (warna biru muda), dengan nilai denistas berkisar 1 g/cm³ hingga 2 g/cm³ yang ada dikedalaman 3 km dan menerobos ke permukaan diduga berasal dari jenis batuan reservoir.



Gambar 4. Hasil Pemodelan Inversi 2D Manifestasi Selogajah

Sayatan kompleks manifestasi SG X-X' berorientasi Timur ke Barat dan gambar sayatan dilihat dari arah Selatan, dan manifestasi SGY-Y' berorientasi Utara Selatan yang dilihat dari arah Barat (gambar 4) tidak jauh berbeda dengan hasil pada pemodelan 2012. Penampang model 2D hasil sayatan yang terlihat pada gambar 4 menunjukkan anomali pada sayatan ini adalah 11,7 mgal hingga -13,2 mgal. Kedalaman pada pemodelan ini yaitu 3 km dari permukaan. Pada hasil pemodelan sayatan arah SGX-X' terlihat lapisan dengan jenis densitas rendah berada di bawah manifestasi Selogajah di kedalaman 0,6 km dari permukaan.

Hasil pemodelan sayatan pada manifestasi Selogajah diduga pola aliran naik (*upflow*), yang diindikasikan dengan jenis batuan dengan densitas rendah yang menerobos ke permukaan. Berdasarkan hasil penelitian oleh Thoha, *et al* (2014), Sumber panas pada sistem panasbumi dari manifestasi Selogajah dikontrol oleh sesar lateral kali jati dimana sesar tersebut memotong dari arah tenggara hingga Utara wilayah manifestasi Selogajah.



Gambar 5. Hasil Pemodelan inversi 2D manifestasi Banyukuning

Penampang model 2D hasil sayatan (gambar 5) menunjukkan sayatan pada manifestasi mata air panas Banyukuning arah Timur ke Barat (BK-X'X) yang dilihat dari arah Selatan dan sayatan pada arah Utara ke Selatan (BK-Y'Y), yang dilihat dari arah Barat. Pada pemodelan BK-XX' terlihat bahwa batuan dengan densitas yang kecil berada di kedalaman 1,5 km dari permukaan, sedangkan densitas tinggi menerobos ke permukaan. begitu pula dengan pemodelan BK-YY', batuan dengan densitas rendah berada di atas batuan dengan densitas sedang. Hal ini

mengindikasikan bahwa keberadaan manifestasi Banyukuning berasal dari jenis batuan sedimen yang bersifat permeabel. Manifestasi Banyukuning, hasil sayatan inversi 3D terdapat batuan dengan densitas rendah berada di atas batuan dengan densitas sedang. Hal ini mengindikasikan bahwa keberadaan manifestasi Banyukuning berasal dari jenis batuan sedimen yang bersifat permeabel sehingga membentuk zona arus yang keluar (*outflow*). Berdasarkan penelitian Thoha *et al*, (2014) Keberadaan manifestasi Banyukuning dikontrol oleh sesar banjar.

KESIMPULAN

Hasil pengolahan data gravitasi dengan *software* Oasis Montaj 8.4, didapatkan perbedaan nilai anomali *Bouguer* lengkap dengan rentang nilai -97,0 mgal hingga 43,8 mgal, persebaran anomali gravitasi di kompleks Gunung Pandan memiliki nilai anomali residual -3,2 mgal hingga 11,7 mgal dengan anomali rendah terdapat di bagian timur laut dan anomali tinggi mendominasi bagian tengah, utara-barat laut dan timur laut-tenggara. Hasil kontur anomali residual, kontur tersebut menggambarkan klostur positif yang diidentifikasi sebagai batuan intrusi yang memanaskan fluida disekitar patahan dan reservoir terduga. Sehingga membentuk manifestasi Banyukuning dan Selogajah dengan zona aliran masing-masing manifestasi tergolong *zona outflow* untuk manifestasi Banyukuning dan *upflow* untuk manifestasi Selogajah

SARAN

Berdasarkan penelitian ini maka saran penelitian selanjutnya, dilakukan akuisisi data dengan metode geofisika yang lain terutama berkaitan dengan keberadaan manifestasi dan patahan pembentuk manifestasi wilayah penelitian.

REFERENSI

- Araffa, S. A. S., Helaly, A. S., Khozium, A., Lala, A. M. S., Soliman, S. A., & Hassan, N. M. (2015). Delineating groundwater and subsurface structures by using 2D resistivity, gravity and 3D magnetic data interpretation around Cairo–Belbies Desert road, Egypt. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 4(1), 134–146. <https://doi.org/10.1016/j.nrjag.2015.06.0.04>
- Latifah, I. (2010). Penentuan Anomali Bouguer dan Densitas Rata- Rata Batuan Berdasarkan Data Gravitasi di Daerah Semarang.
- Maryanto, S. (2017) 'Geo Techno Park potential at Arjuno-Welirang Volcano hosted *geothermal* area, Batu, East Java, Indonesia (Multi geophysical approach)', *AIP Conference Proceedings*, 1908. doi: 10.1063/1.5012712.
- Setyaningsih, wahyu, (2011). Potensi Lapangan Panasbumi Gedongsongo Sebagai Sumber Energi Alternatif dan Penunjang Perekonomian Daerah. *Jurnal geograf* Vol.8 No. ISSN 2085-191X
- Telford, W.M., L. P. G., Sheriff, R. E., & Keys, D. A. (2016). *Applied Geophysics*. Cambridge: University Press,
- Thoha, M. *et al*. (2014) 'Geology and *Geothermal* Manifestations of Mount Pandan , East Java', (June), pp. 1–13.
- Liana,rima Yeni.,dkk (2020). Analisis anomali bouguer data gaya berat studi kasus di kota lama serang', *jurnal riset sains dan teknologi* vol.4 no.2 63-68 p-JISSN:2579-9118

Yan, M., Zhang, Y., Bocobo, G. A., Su, Q., Zhu, K., Zhang, Q., & Tan, J. (2020). A novel tissue separation method for determining upper trunk center of gravity in patients with thoracolumbar kyphosis using MIMICS. *Clinical Biomechanics*, 71(March 2019), 101–106. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2019.11.002>