

Identifikasi sebaran reservoir geotermal di sekitar Kepahiang Provinsi Bengkulu menggunakan anomali data gravitasi GGMPlus dengan metode inversi 2D

Identification of the distribution of geothermal reservoirs around Kepahiang Bengkulu Province using GGMPlus gravity data anomalies by the 2D inversion method

Patrica A Sihombing¹, Arif Ismul Hadi^{2*}, Refrizon², dan Hilmi Zakariya³

Received 1 March 2024
Accepted 29 March 2024
Published April 2024

¹Laboratorium Fisika, Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu (UNIB), 38371 Indonesia

²Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu (UNIB), 38371 Indonesia

³Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Geofisika Kepahiang Bengkulu, 38213 Indonesia

Abstrak. Kabupaten Kepahiang terletak di wilayah perbatasan busur magmatik dan lempeng benua dengan lempeng samudra yang mengakibatkan munculnya beberapa manifestasi panas bumi di permukaan berupa solfatara, fumarole, dan batuan alterasi sehingga menjadi prospek energi panas bumi. Riset yang dilakukan memiliki tujuan untuk mengetahui sebaran reservoir panas bumi di sekitar Kepahiang. Riset ini dilakukan dengan metode gravitasi, sehingga dapat dihasilkan gambaran distribusi densitas bawah permukaan. Riset ini menggunakan data *Global Gravity Model Plus* (GGMPlus) dengan resolusi 220 meter yaitu *Free Air Anomaly* (FAA) dan topografi. Berdasarkan hasil pengolahan datanya, diperoleh Anomali Bouguer Lengkap (ABL) yang merupakan gabungan anomali regional dan anomali residual. Anomali tersebut dipisahkan melalui penggunaan metode *moving average*. Peta anomali memberikan informasi tiga pola distribusi, yakni anomali tinggi, sedang, serta rendah. Anomali residual dimodelkan menggunakan metode inversi 2D sebanyak tujuh *slice* yang diduga adanya reservoir panas bumi. Hasil penelitian menunjukkan wilayah dengan nilai ABL antara 46,7 – 50,9 mGal diduga adanya reservoir panas bumi dengan nilai densitas $< 2,5 \text{ g/cm}^3$ pada kedalaman yang berbeda-beda untuk setiap *slice*. Ketidakhadiran manifestasi panas bumi di beberapa wilayah yang memiliki reservoir di bawah permukaan diakibatkan karena adanya batuan penudung dengan nilai densitas sebesar 2,6 - 2,7 g/cm^3 .

Abstract. Kepahiang Regency is located in the border area of the magmatic arc and the continental plate with the oceanic plate which resulted in the emergence of several geothermal manifestations on the surface in the form of solfatara, fumarole, and alteration rocks so that it becomes a prospect for geothermal energy. The research conducted has the aim of knowing the distribution of geothermal reservoirs around Kepahiang. This research was conducted using the gravity method, so that a picture of the subsurface density distribution could be produced. This research uses *Global Gravity Model Plus* (GGMPlus) data with a resolution of 220 meters, namely *Free Air Anomaly* (FAA) and topography. Based on the results of the data processing, a *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) is obtained which is a combination of regional anomalies and residual anomalies. The anomalies are separated through the use of the *moving average* method. The anomaly map provides information on three distribution patterns, namely high, medium and low anomalies. Residual anomalies were modeled using 2D inversion method for seven slices suspected to have geothermal reservoirs. The results show that areas with CBA values between 46.7 - 50.9 mGal are suspected to have geothermal reservoirs with density values $< 2.5 \text{ g/cm}^3$ at different depths for each slice. The absence of geothermal manifestation in some areas that have reservoirs in the subsurface is due to the presence of host rocks with a density value of 2.6 - 2.7 g/cm^3 .

Keywords: Anomaly, Density, Geothermal Reservoir, Gravity Method, Inversion Modeling

Pendahuluan

Provinsi Bengkulu merupakan salah satu provinsi di Pulau Sumatra yang dilintasi Pegunungan Bukit Barisan. Tekanan subduksi lempeng tektonik mengakibatkan terbentuknya Pegunungan Bukit Barisan yaitu lempeng tektonik Indo-Australia pada lempeng tektonik Eurasia yang dinamakan dengan busur vulkanik. Akibat dari tekanan subduksi ini adalah patahan memanjang yang dinamakan Sesar Sumatra. Magma yang berada di sesar merembes di sekitar sesar menembus zona lemah membentuk reservoir panas bumi (Farid, *et al.*, 2021).

Hasil penelitian Hadi dan Brotopuspito (2016) menyatakan bahwa penetrasi kedalaman Sesar Sumatra Segmen Musi yang berada di Kepahiang mencapai 20,51 km.

Salah satu prospek panas bumi yang terletak di daerah perbatasan busur magmatik dan lempeng benua dengan lempeng samudra berada di Kabupaten Kepahiang. Gunungapi Kaba yang berada di sekitar kepahiang merupakan busur magmatik tersebut. Aktivitas gunung api tersebut memiliki peran yang sangat penting dalam sistem panas bumi. Munculnya beberapa manifestasi panas

bumi di Kepahiang menjadi prospek energi panas bumi (Sugianto, *et al.*, 2022). Gambar 1 menunjukkan struktur penyusun dan kondisi geologi secara detail dari Kabupaten Kepahiang.

Pemanfaatan energi panas bumi adalah salah satu usaha pemerintah dalam mengembangkan sumber energi alternatif yang akan digunakan sebagai energi nasional dalam memenuhi kebutuhan energi di masa depan (Setiawan, 2014). Salah satu contoh energi ramah lingkungan adalah energi panas bumi. Energi tersebut berasal dari cairan yang terpanaskan dalam bumi sehingga relatif baik bagi lingkungan (Sahdarani, *et al.*, 2020).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Lubis, *et al.*, (2021) menyatakan bahwa sebaran panas bumi di Kepahiang mencapai 3000 meter mulai dari Taba Tebelet hingga Pagar Gunung pada kedalaman 1,5 km – 5 km. Sugianto, *et al.*, (2022) menyatakan prospek panas bumi di Kepahiang tersebar di Babakan Bogor, Barat Wetan, Pematang Donok, Tangsi Duren, Sido Makmur dan Air Sempiang dengan kedalaman reservoir 900 m dan jenis batuan penudung yang disebut sebagai batuan gabbro. Data ini menunjukkan bahwa Kepahiang sangat potensial dijadikan sumber energi panas bumi.

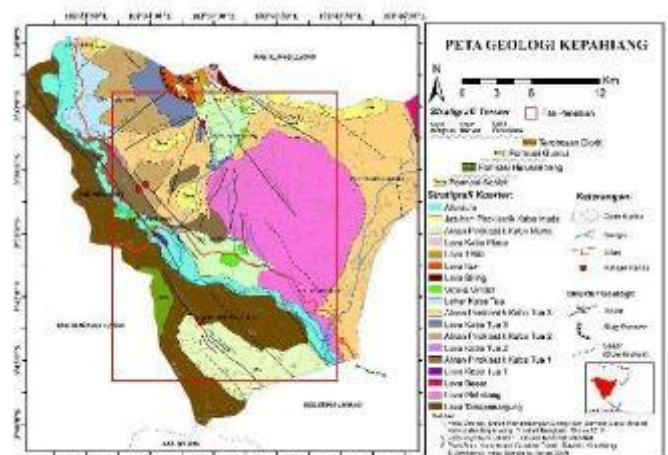
Metode gravitasi sebagai suatu metode di bidang geofisika digunakan dalam mengeksplorasi panas bumi. Metode tersebut memanfaatkan parameter percepatan gravitasi yang berbanding lurus dengan massa jenis batuan, sehingga perbedaan massa jenis merupakan representasi variasi percepatan gravitasi. Karena hal tersebut metode ini dapat memberikan gambaran bawah permukaan melalui variasi massa jenis antar batuan di sekitarnya (Amaliah, *et al.*, 2013). Riset ini menggunakan data dari *Global Gravity Model Plus* (GGMPlus) yang merupakan alternatif penyedia data gravitasi. GGMPlus menyediakan data dengan resolusi 220 meter dalam bentuk *grid* (Hirt, *et al.*, 2013).

Metodologi

Kondisi Geologi dan Titik Penelitian

Wilayah penelitian berada pada koordinat 3,763° - 3,539° S dan 102,721° - 102,545° E ditunjukkan pada Gambar 1. Data yang digunakan didapatkan dari citra satelit GGMPlus berupa *Free Air Anomaly* (FAA) dan topografi sebanyak 10.057 titik.

Berdasarkan peta geologi daerah penelitian (Gambar 1) Kepahiang dikelilingi oleh perbukitan dengan susunan batuan rombakan gunung api muda berumur kuartar yang terdiri dari reaksi gunung api, lava dan *tuff*. Kemudian bentuk permukaan yang berupa dataran hingga dataran bergelombang dihasilkan dari pelapukan batuan rombakan gunungapi muda berupa endapan (Supartoyo and Litman, 2018). Salah satu patahan yang memengaruhi keadaan geologi di Kepahiang adalah Sesar Semangko, yang membentang dari utara Sumatra Barat hingga selatan Lampung (PUSGEN, 2017).



Gambar 1 Peta geologi dan titik penelitian (modifikasi dari Irwanto, *et al.*, 2013)

Tahapan Pengolahan Data

1. Anomali Bouguer Lengkap

Untuk memperoleh Anomali Bouguer Lengkap (ABL), perlu melakukan koreksi Bouguer/Bouguer Correction (BC) menggunakan *software Microsoft Excel 2013* dengan menggunakan Persamaan 1.

$$BC = 0,04193 \rho h \quad (1)$$

dengan BC merupakan *Bouguer correction* (mGal), h merupakan topografi (m) dan ρ merupakan densitas batuan di setiap titik yang diperoleh melalui metode Parasnisi (gr/cm^3). Metode parasnisi merupakan pendekatan analitik untuk memperkirakan rata-rata kerapatan batuan (Martha, 2011).

Koreksi Bouguer yang diperoleh kemudian dikurangkan dengan data FAA untuk memperoleh Anomali Bouguer Sederhana/ABS (Leni, *et al.*, 2023).

$$ABS = FAA - BC \quad (2)$$

Keadaan bumi tidak sepenuhnya datar, maka perlu dilakukan koreksi medan/Terrain Correction (TC) menggunakan *software Oasis Montaj* dan *Global Mapper 18*. Hal ini dikarenakan nilai anomali Bouguer sederhana masih dipengaruhi oleh efek topografi. Hasil koreksi medan yang diperoleh kemudian diolah menggunakan *Microsoft Excel 2013* untuk mendapatkan nilai Anomali Bouguer Lengkap (ABL) dengan menggunakan Persamaan 3 (Karimah, Supriyadi and Suprianto, 2020).

$$ABL = ABS + TC \quad (3)$$

2. Analisis Spektrum

Analisis spektrum dapat mengidentifikasi frekuensi dominan yang terkait dengan kedalaman anomali tersebut. Lebar jendela yang diperoleh akan mempengaruhi resolusi kedalaman yang berguna untuk memisahkan anomali yang bersifat lokal (residual) dengan anomali yang lebih luas (regional). Semakin rendah nilai lebar jendela, resolusi frekuensi akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan lebar jendela menentukan seberapa banyak data frekuensi yang diikutsertakan dalam proses analisis. Jika lebar jendela besar, rentang frekuensi juga lebih luas, namun resolusi rendah. Selain penentuan lebar jendela, metode *moving*

average juga berguna dalam analisis ini yang ditunjukkan Persamaan 4. Dimana Δg_r adalah anomali regional, i adalah nomor stasiun dan N adalah lebar jendela yang digunakan (Purnomo, et al., 2013).

$$\Delta g_r = \frac{\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)}{N} \quad (4)$$

Selain untuk memisahkan anomali regional serta anomali residual, analisa spektrum juga dipergunakan dalam memperkirakan kedalaman yang dinyatakan dalam persamaan berikut (Leni, et al., 2023):

$$h = \frac{s}{4\pi} \quad (5)$$

3. Pemisahan Anomali Regional dan Anomali Residual

Anomali Bouguer merupakan anomali gravitasi yang telah dikoreksi untuk efek topografi serta gabungan anomali regional dan residual (Zaenudin, et al., 2021). Ini mencerminkan bahwa anomali Bouguer dapat dipecah menjadi dua komponen, yaitu anomali regional serta anomali residual. Hubungan ini penting untuk memahami variasi massa jenis batuan di bawah permukaan bumi. Melalui koreksi Bouguer serta analisis spektrum telah diperoleh nilai anomali Bouguer dan anomali regional. Sehingga dengan menggunakan persamaan 6 akan diperoleh anomali residual (Purnomo, et al., 2013).

$$g_{\text{residual}} = g_{\text{Bouguer}} - g_{\text{regional}} \quad (6)$$

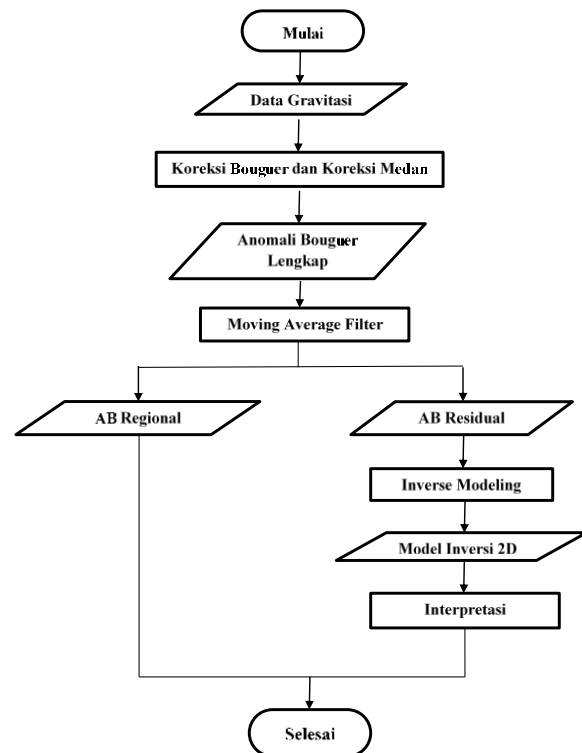
Variasi densitas batuan menyebabkan anomali Bouguer, baik batuan di dekat permukaan bumi maupun yang jauh. Anomali residual merupakan anomali batuan pada wilayah dangkal ditandai dengan anomali berfrekuensi tinggi sementara anomali regional merupakan anomali batuan dengan frekuensi lemah yang berada di wilayah dalam (Muhajirin, et al., 2020).

4. Inverse – Modeling

Dalam pemodelan inversi, parameter model diturunkan langsung dari data observasi, yang menciptakan pendekatan secara langsung untuk memahami sifat – sifat bawah permukaan bumi. kecocokan antara perhitungan inversi yang dihasilkan dalam memodelkan bawah permukaan yang representatif dengan pengamatan data. Variasi model bawah permukaan dihasilkan dari kecocokan tersebut. Ada tidaknya data, kesalahan ketika akuisisi data dan karakteristik fenomena yang sedang diteliti sangat mempengaruhi hal tersebut (Muttaqien and Nerjaman, 2021).

Pemodelan inversi akan dibuat *slice* 2D dengan menggunakan *Software ZondGM2D* pada bawah permukaan yang bersifat dangkal (anomali residual). Dengan menggunakan anomali residual, peneliti dapat lebih akurat dan lebih terfokus pada karakteristik lokal yang berkaitan dengan potensi produksi energi panas bumi. Hal ini dikarenakan zona panas yang memiliki pengaruh signifikan terhadap anomali.

Berikut tahapan pengolahan data secara garis besar:

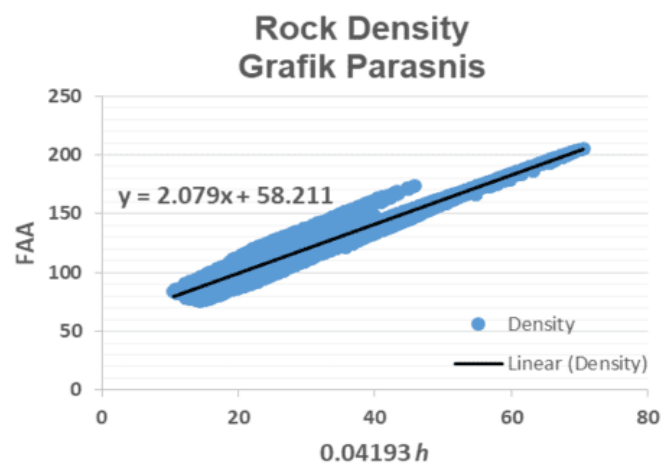


Gambar 2 Diagram Alir Pengolahan Data Gravitasi

Hasil Penelitian

Anomali Bouguer Lengkap

Untuk mengetahui distribusi densitas batuan pada wilayah penelitian diterapkan metode Parasnis seperti pada Gambar 3.

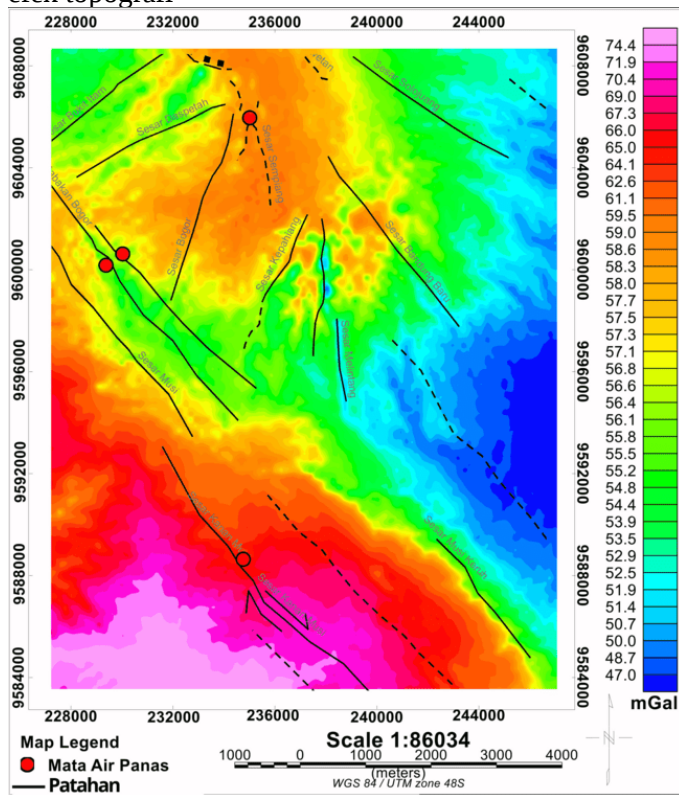


Gambar 3 Estimasi Densitas Metode Parasnis

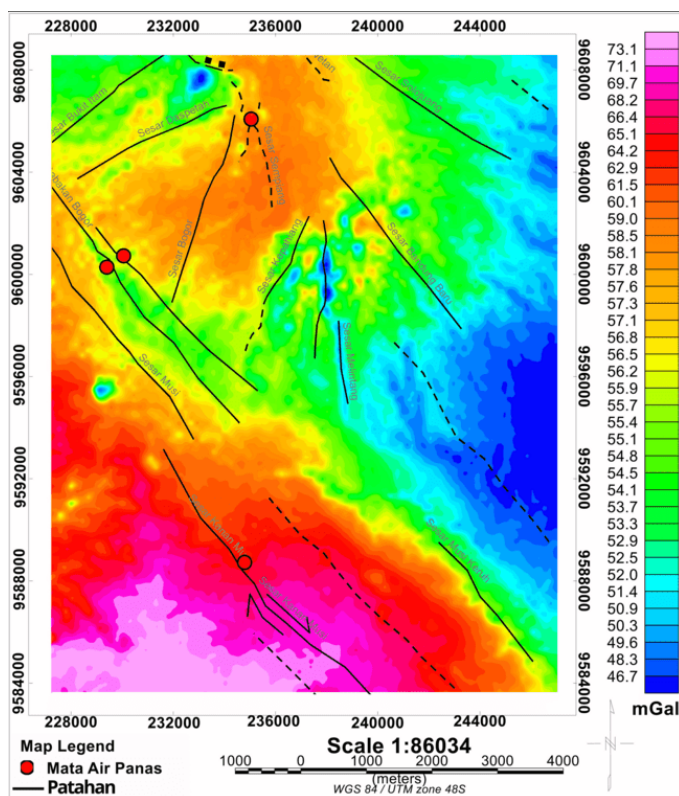
Grafik tersebut memperoleh harga densitas rata-rata sebesar 2,079 g/cm³. Menurut Wildan, et al., (2017) estimasi densitas metode Parasnis diperoleh dari gradien persamaan garis linear antara nilai *free air anomaly* terhadap elevasi dikali 0,04193 (nilai ketetapan perbedaan ketinggian gravitasi bumi). Dengan nilai estimasi densitas tersebut, maka dapat dilakukan koreksi Bouguer.

Gambar 4 dan Gambar 5 merupakan peta anomali Bouguer sederhana dan anomali Bouguer lengkap. Anomali Bouguer yang ditunjukkan Gambar 4 didapatkan setelah mengurangi koreksi Bouguer dari medan

gravitasi yang terukur dan anomali Bouguer lengkap diperoleh dari mengurangi efek topografi dari anomali Bouguer sederhana. Kedua peta ini digunakan sebagai perbandingan distribusi anomali di bawah permukaan bumi ketika masih dipengaruhi efek topografi dan tanpa efek topografi



Gambar 4 Peta Anomali Bouguer Sederhana

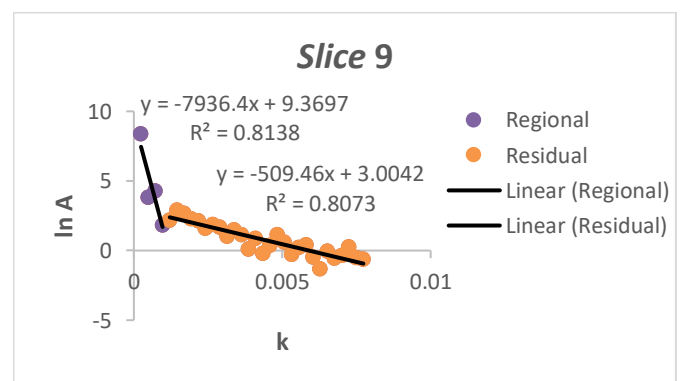


Gambar 5 Peta Anomali Bouguer Lengkap

Dengan demikian, anomali Bouguer lengkap memberikan informasi lebih detail dan akurat tentang distribusi massa di bawah permukaan tanah. Perbedaan nilai distribusi anomali dikarenakan perbedaan densitas batuan (Afni and Kusmita, 2021). Kedua peta tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dikarenakan daerah penelitian yang datar sehingga topografinya relatif seragam. Nilai interval anomali rendah dan anomali tinggi berbeda untuk tiap peta dan di peta anomali Bouguer lengkap muncul beberapa anomali rendah baru di beberapa titik di wilayah penelitian. Anomali rendah ditandai dengan kontur berwarna biru sedangkan yang tinggi berwarna kontur merah – ungu. Di peta anomali Bouguer sederhana anomali rendah berada di antara interval 47,0 – 51,4 mGal mendominasi di timur dan anomali tingginya berada di antara interval 62,6 – 74,4 mGal mendominasi di selatan. Sedangkan pada peta anomali Bouguer lengkap anomali rendah berada di antara interval 46,7 – 50,9 mGal mendominasi di timur dan anomali tingginya berada di antara interval 62,9 – 73,1 mGal mendominasi di selatan.

Analisis Spektrum

Analisis Spektrum dilakukan dengan *slicing* 11 lintasan pada peta anomali Bouguer lengkap yang mencakup seluruh daerah penelitian. Proses ini bertujuan untuk memperoleh data anomali Bouguer dari masing-masing *slicing* yang selanjutnya ditransformasi dalam bilangan gelombang dengan melakukan transformasi Fourier (Roharjo, et al., 2022). Gambar 6 merupakan salah satu contoh dari sebelas grafik analisis spektrum dengan koefisien determinasi terbaik yang ditandai dengan variabel R^2 yang mendekati 1. Koefisien determinasi adalah ukuran yang digunakan untuk mengevaluasi seberapa baik model regresi sesuai dengan data yang diamati, nilai koefisien tersebut berkisar antara 0 dan 1. Dimana semakin dekat nilai R^2 ke 1, semakin baik model dalam menjelaskan variabilitas data (Cheng, et al., 2014).



Gambar 6 Salah Satu Grafik Analisis Spektrum

Tabel 1 adalah hasil analisis spektrum berupa *cutoff*, λ dan lebar jendela yang diperlukan untuk pemisahan anomali. Rata-rata lebar jendela yang diperoleh adalah sebesar 30,07702 m dan dengan menggunakan metode *moving average* kita dapat

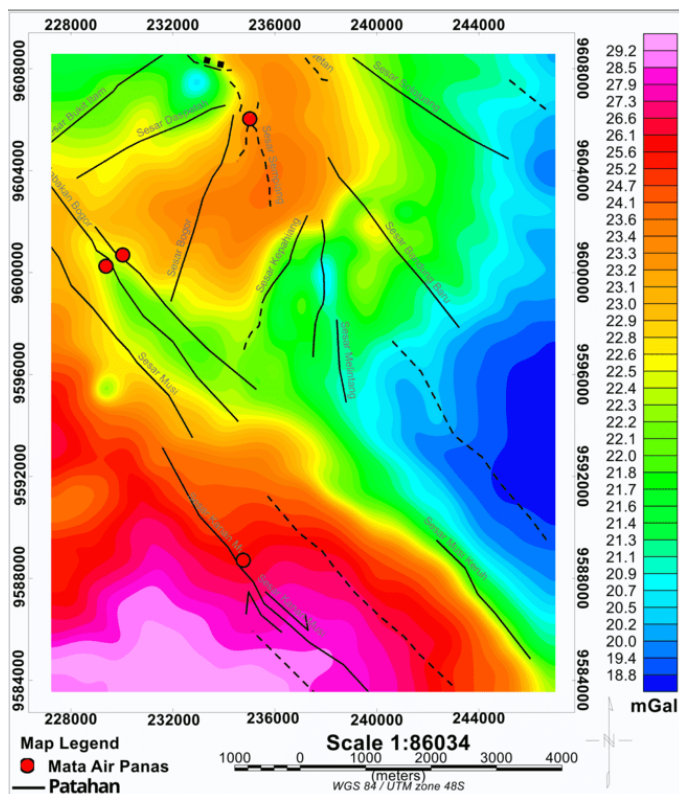
memperoleh estimasi kedalaman rata-rata pada anomali residual dan regional. Rata-rata kedalaman pada anomali residual yang diperoleh adalah sebesar 273,173 m sedangkan pada regional adalah sebesar 6092,24 m.

Tabel 1 Perhitungan Lebar Jendela

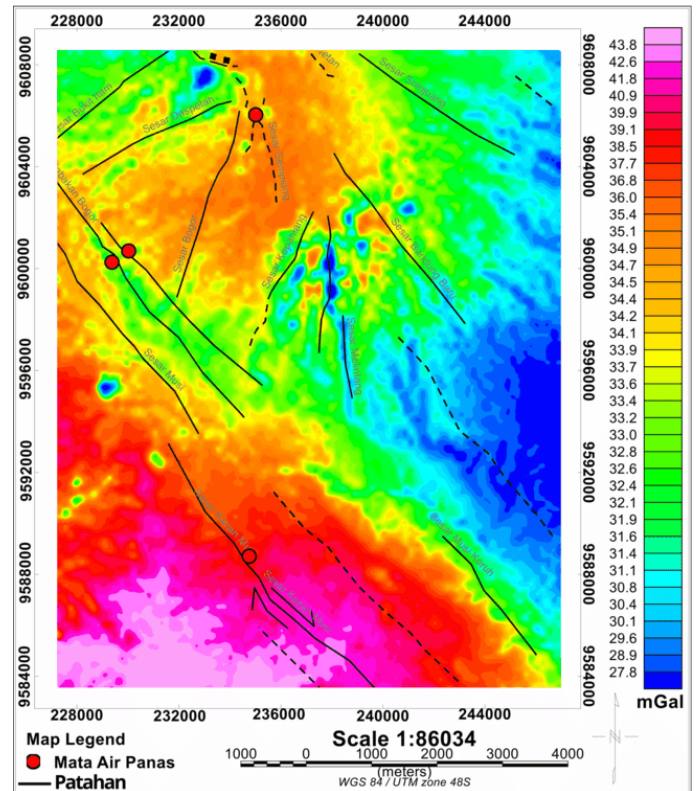
Zona Regional (m)	Zona Residual (m)	C1	C2	Δ	K	N
-6746	-361.63	8.605	1.907	0.001049	5991.841	29.95921
-7540.9	-227.99	9.173	1.8746	0.000999	6291.108	31.45554
-5060.1	-178.07	7.952	2.0124	0.001217	5161.658	25.80829
-4627.9	-218.58	7.612	2.2411	0.001218	5158.274	25.79137
-8949.6	-274.49	9.353	1.6622	0.000886	7088.908	35.44454
-6169.8	-383.32	8.137	3.133	0.000864	7269.034	36.34517
-5791.5	-217.28	8.508	3.29	0.000936	6711.094	33.55547
-4309	-217.55	8.086	3.2025	0.001193	5264.553	26.32276
-7936.4	-509.46	9.369	3.0042	0.000857	7330.899	36.6545
-4380.2	-231.89	7.223	1.5314	0.001372	4579.405	22.89703
-5503.2	-184.25	8.351	2.073	0.00118	5322.665	26.61332
-6092.24-273.137 Lebar Jendela						30.07702

Anomali Regional dan Anomali Residual

Gambar 7 dan Gambar 8 merupakan peta anomali regional dan residual. Dimana distribusi anomali peta regional memiliki nilai 18,9 - 29,8 mGal. Berdasarkan kedalamannya, anomali regional mempunyai kedalaman melampaui anomali residual. Peta ini diperoleh melalui metode *moving average*, kemudian dengan menggunakan Persamaan 6 diperoleh peta anomali residual seperti pada Gambar 8. Di sini ditunjukkan adanya nilai distribusi anomali yang berkisar antara 28,1 - 44,6 mGal.



Gambar 7 Peta Anomali Regional



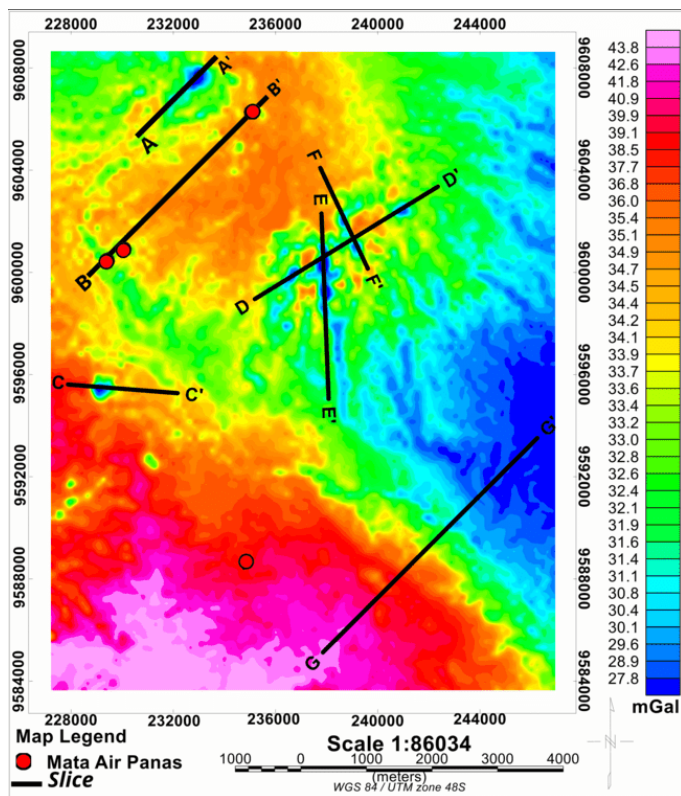
Gambar 8 Peta Anomali Residual

Pemodelan Inversi

Peta yang di-*slice* dan dimodelkan adalah peta anomali residual karena dalam konteks panas bumi, variasi distribusi panas di dalam bumi dapat mempengaruhi anomali residual dan anomali residual memberikan data distribusi permukaan yang lebih spesifik. Zona - zona dengan suhu yang lebih tinggi atau keberadaan reservoir panas dapat menciptakan perbedaan antara data pengukuran aktual dan nilai yang diharapkan (Setiadi, et al., 2014).

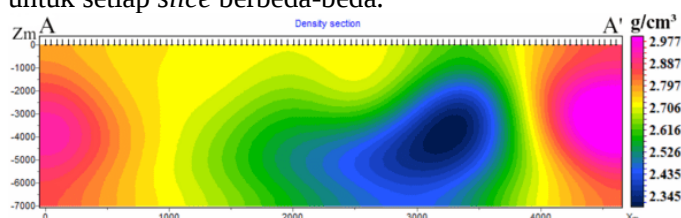
Gambar 9 merupakan peta anomali residual yang telah di-*slice*. Adanya perbedaan kontras anomali tinggi dengan anomali rendah menjadi salah satu alasan *slice* dilakukan (Gusnia and Kusmita, 2023). *Slice* ini bertujuan untuk mengambil atau menyeleksi daerah yang diindikasikan memiliki potensi panas bumi sehingga *slice* dilakukan pada zona tersebut karena adanya anomali rendah yang biasanya menandakan zona magmatik atau aktivitas hidrotermal dan jalur antara manifestasi panas bumi seperti mata air panas yang ada pada peta tersebut.

Reservoir panas bumi umumnya mempunyai porositas, permeabilitas dan kepadatan yang relatif rendah dibandingkan lingkungan sekitarnya (Schön, 2015). Dari hasil pemodelan tampak adanya keberadaan reservoir pada setiap sayatan yang ditandai dengan kontur warna biru yang menandakan wilayah yang memiliki densitas paling rendah. Keberadaan batuan vulkanik, lava, atau intrusi magmatik menyebabkan densitas yang rendah daripada batuan padat lainnya.



Gambar 9 Slice Pada Peta Anomali Residual

Menurut Sarkowi & Wibowo (2021) daerah dengan sebaran densitas rendah ($< 2,5 \text{ g/cm}^3$) diartikan sebagai daerah reservoir panas bumi dan tingginya densitas ($2,6$ sampai $2,7 \text{ g/cm}^3$) kemungkinan disebabkan oleh sisa magma yang membeku. Berikut pemodelan 2D untuk setiap slice yang menunjukkan distribusi anomali terhadap kedalaman, dengan maksimal kedalaman dan panjang untuk setiap slice berbeda-beda.



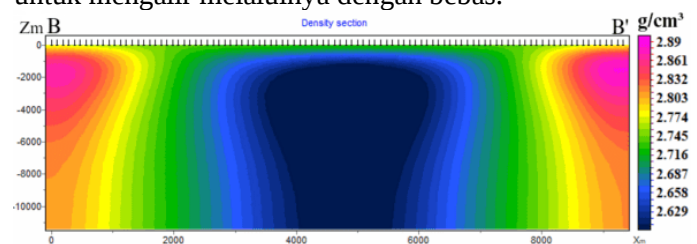
Gambar 10 Hasil Pemodelan Inversi 2D A-A'

Slice A-A' memiliki panjang lintasan $< 5 \text{ km}$ dan anomali rendahnya berada pada kedalaman $1,5 - 7 \text{ km}$ dengan densitas terendah $2,3 - 2,5 \text{ g/cm}^3$ yang diinterpretasikan sebagai reservoir panas bumi. Nilai densitas sedang yang ditandai warna hijau - kuning sebesar $2,5 - 2,7 \text{ g/cm}^3$, dan densitas tinggi ditandai dengan kontur merah memiliki nilai sebesar $2,8 - 2,9 \text{ g/cm}^3$. Namun di daerah ini tidak ditemukan adanya manifestasi panas bumi.

Tidak munculnya manifestasi disebabkan oleh sistem air panas tipe radiogenik dengan model konseptual yang terdiri dari batuan penundung, reservoir dan batuan dasar. Batuan penundung memiliki porositas rendah dan permeabilitas rendah yang mengakibatkan fluida panas bumi dari reservoir terhambat untuk keluar. Densitas sedang diindikasikan sebagai batuan granit dan densitas

tinggi yang diindikasikan sebagai batuan dasar berupa batuan diorit (Gusnia and Kusmita, 2023).

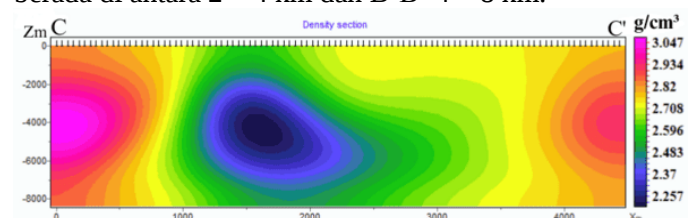
Granit adalah salah satu contoh dari batuan penundung yang memiliki sifat penghambat fluida yang baik. Sifat-sifat ini berasal dari struktur dan komposisi mineral granit yang padat dan rapat. Granit memiliki porositas yang rendah, yang berarti jumlah ruang kosong di dalamnya sangat terbatas. Hal ini membuatnya sulit bagi fluida untuk mengalir melaluinya dengan mudah. Selain porositas yang rendah, granit juga memiliki permeabilitas yang rendah. Permeabilitas mengacu pada kemampuan suatu batuan untuk memungkinkan aliran fluida melalui pori-porinya. Dalam granit, pori-porinya biasanya sangat kecil dan jarang terhubung satu sama lain sehingga fluida kesulitan untuk mengalir melaluinya dengan bebas.



Gambar 11 Hasil Pemodelan Inversi 2D B-B'

Slice B-B' anomali rendah berada pada kedalaman $500 \text{ m} - 10 \text{ km}$ dengan densitas $2,5 \text{ g/cm}^3$ yang merupakan dugaan keberadaan reservoir panas bumi, slice tersebut melintasi tiga sumber mata air panas di wilayah penelitian sepanjang $< 9 \text{ km}$ yang membuktikan bahwa ketiga sumber mata air panas ini berasal dari reservoir yang sama. Hal ini sebabkan karena ketiga sumber mata air panas tersebut berada diantara beberapa patahan (seperti yang ditunjukkan peta geologi wilayah tersebut pada Gambar 1). Patahan menyebabkan adanya manifestasi panas bumi, struktur patahan pada batuan sebagai jalur fluida yang berinteraksi dengan lapisan di atasnya (Siregar and Kurniawan, 2018).

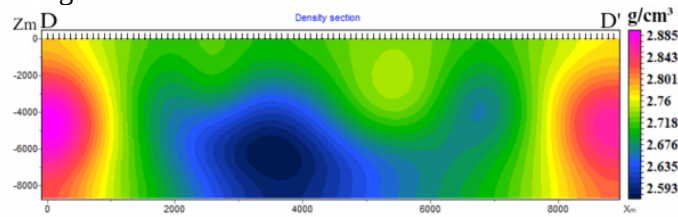
Slice B-B' sejajar dengan slice A-A' dengan jarak yang berdekatan dan slice A-A' setengah dari slice B-B', jadi memungkinkan dugaan reservoir panas bumi untuk kedua slice adalah sama dimana letak reservoir pada slice A-A' berada di antara $2 - 4 \text{ km}$ dan B-B' $4 - 8 \text{ km}$.



Gambar 12 Hasil Pemodelan Inversi 2D C-C'

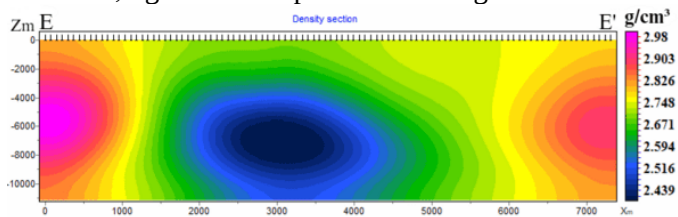
Slice C-C' memiliki panjang lintasan $< 5 \text{ km}$, dugaan reservoir panas bumi ditunjukkan oleh kontur biru pada kedalaman $1,5 - 7 \text{ km}$ dengan densitas $2,3 - 2,4 \text{ g/cm}^3$. Nilai densitas sedang yang ditandai kontur hijau - kuning sebesar $2,5 - 2,8 \text{ g/cm}^3$ diinterpretasikan sebagai batuan penundung pada kedalaman $0 - 1,5 \text{ km}$ dan densitas tinggi

memiliki nilai sebesar 2,8 - 2,9 g/cm³ diinterpretasikan sebagai batuan dasar.



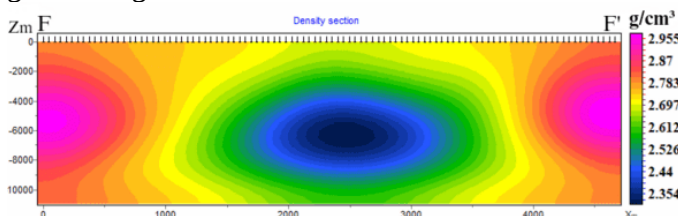
Gambar 13 Hasil Pemodelan Inversi 2D D-D'

Slice D-D' dengan panjang lintasan < 9 km, dugaan reservoirnya berada pada kedalaman 3 - 8 km dengan densitas rendah 2,5 - 2,6 g/cm³, dugaan batuan penundungnya memiliki densitas sedang sebesar 2,6 - 2,7 g/cm³ pada kedalaman 0 km- 3 km dan densitas tinggi sebesar 2,8 g/cm³ diinterpretasikan sebagai batuan dasar.



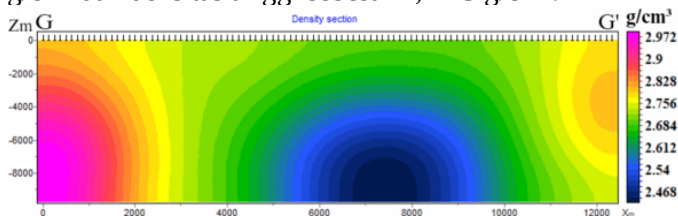
Gambar 14 Hasil Pemodelan Inversi 2D E-E'

Slice E-E' memiliki panjang lintasan < 8 km, dugaan reservoir panas bumi berada pada kedalaman 3 - 10 km dengan densitas rendah 2,4 - 2,5 g/cm³, densitas rendah sebesar 2,5 - 2,7 g/cm³ pada kedalaman 0 - 3 km sebagai batuan penundung dan densitas tinggi sebesar 2,8 - 3 g/cm³ sebagai batuan dasar.



Gambar 15 Hasil Pemodelan Inversi 2D F-F'

Panjang lintasan *slice F-F'* < 5 km, densitas rendah berada pada kedalaman 4 - 9 km sebesar 2,3 - 2,5 g/cm³, densitas sedang pada kedalaman 0 - 5 km sebesar 2,5 - 2,6 g/cm³ dan densitas tinggi sebesar 2,7 - 3 g/cm³.



Gambar 16 Hasil Pemodelan Inversi 2D G-G'

Kemudian, *slice G-G'* dengan panjang lintasan < 13 km, dugaan reservoir berada pada kedalaman 4 - 8 km dengan densitas rendah sebesar 2,4 - 2,5 g/cm³, densitas sedang sebesar 2,5 - 2,7 g/cm³ pada kedalaman 0 - 4 km dan densitas tinggi sebesar 2,8 - 3 g/cm³.

Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian disimpulkan bahwa sebaran nilai anomali Bouguer lengkap pada wilayah penelitian dapat dibedakan menjadi tiga pola yaitu anomali tinggi berkisar 62,9 - 73,1 mGal yang mendominasi di selatan dan utara, anomali sedang berkisar 52,9 - 55,4 mGal ditandai dengan kontur berwarna hijau dan anomali rendah berkisar 46,7 - 50,9 mGal. Distribusi densitas di setiap slice yang diinterpretasikan sebagai reservoir panas bumi lebih kecil dari 2,5 g/cm³ dan densitas batuan penundung yang diindikasikan sebagai batuan granit adalah 2,6 - 2,7 g/cm³. Ketujuh *slice* memiliki reservoir panas bumi yang dapat dijadikan sebagai prospek panas bumi untuk digunakan sebagai pengembangan sumber energi alternatif. Dalam hal ini, *slice B-B'* perlu diutamakan karena memiliki kedalaman reservoir yang relatif dangkal yaitu sebesar 500 m di bawah permukaan bumi dan *slice A-A'* dan *B-B'* pada kedalaman 1,5 km.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Bureau Gravimetrique International (BGI) yang telah menyediakan akses ke GGMPlus2013 (<https://bgi.obspm.fr/data-products/grids-and-models/modele-global-ggmplus2013/>) yang memuat data gravitasi.

Referensi

- Afni, G.N. and Kusmita, T. (2021) 'Identifikasi Struktur Tektonik Sistem Panas Bumi Non-Vulkanik Daerah Nyelanding Dan Permis Bangka Selatan Menggunakan Mrtode Gravity', *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, 2(1), pp. 1-6.
- Amaliah, R. et al. (2013) 'Pemodelan Anomali Gravitasi Menggunakan Metode Inversi 2D (Dua Dimensi) Pada Panas Bumi Lapangan "A"', *Universitas Hasanuddin Respository*.
- Cheng, C.-L., Shalabh and Garg, G. (2014) 'Coefficient Of Determination For Multiple Measurement Error Models', *Journal of Multivariate Analysis*, 126, pp. 137-152.
- Farid, M., Hadi, I.A. and Sari, L.P. (2021) 'Investigation of Geothermal Using Magnetotelluric Method in Babakan Bogor, Bengkulu Province, Indonesia', *Jurnal Geosains Indonesia*, 8(2), pp. 221-231.
- Gusnia, E. and Kusmita, T. (2023) 'Identifikasi Batuan Penyusun Sistem Panas Bumi Non-Vulkanik Bangka Tengah Berdasarkan Penampang 2D Anomali Gaya Berat', *JoP*, 8(3), pp. 8-13.
- Hadi, I.A. and Brotopuspito, K.S. (2016) 'Estimasi Kedalaman Bidang Batas Sesar Dari Gravitasi di Daerah Rawan Gerakan Tanah (Studi Kasus: Sesar Sumatra Segmen Musi Bengkulu)', *Simetri, Jurnal Ilmu Fisika Indonesia*, 2(2), pp. 37-42.
- Hirt, C. et al. (2013) 'New Ultrahigh-Resolution Picture Of Earth's Gravity Field', *Geophysical Research Letters*, 40(16), pp. 4279-4283.

- Irwanto, H. et al. (2013) 'Laporan Akhir Inventarisasi Mineral dan Batuan Tahun Anggaran 2013, Dinas Pertambangan Energi dan Sumber Daya Mineral (PESDM) Kabupaten Kepahiang, Kepahiang'.
- Karimah, N.A., Supriyadi and Suprianto, A. (2020) 'Korelasi Data Gravitasi Satelit Pada Daerah Panas Bumi Blawan-Ijen', *J. Sains Dasar*, 9(1), pp. 11–15.
- Leni, A.F.F.P.. et al. (2023) 'Identification of the Manna Segment Sumatran Fault Using GGMPlus Gravity Anomaly Data with the Second Vertical Derivative (SVD) Method', *Jurnal Ilmu Fisika*, 15(2), pp. 2614–7386.
- Lubis, A.M. et al. (2021) 'Preliminary 2.5D Geothermal Distribution in Kepahiang Region Deduced by INversion Magnetotelluric (MT) Data', *AIP Conference Proceedings*, 2320(1).
- Martha, A.A. (2011) *Pemodelan 3D Data Gayaberat Lapangan Panas Bumi Ulubelu, Tanggamus, Lampung*. Institut Teknologi Bandung.
- Muhajirin, Ismail, N. and Bukhari (2020) 'Perhitungan Anomali Residual dan Regional Data Metode Gravitasi Dengan Filter Polinomial Menggunakan Microsoft Excel', *Journal of Aceh Physics Society*, 9(2), pp. 37–41.
- Muttaqien, I. and Nerjaman, J. (2021) 'Two-dimensional inversion modeling og magnetotelluric (MT) synthetic data of a graben structure using SimPEG', *Riset Geologi dan Pertambangan Indonesian Journal of Geology and Mining*, 31(1), pp. 1–12.
- Purnomo, J., Koesuma, S. and Yunianto, M. (2013) 'Pemisahan Anomali Regional-Residual pada Metode Gravitasi Menggunakan Metode Moving Average, Polynomial dan Inversion', *Indonesian Journal of Applied Physics*, 3(1), p. 10.
- PUSGEN (2017) 'Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017'.
- Roharjo, S.A., Saputra, A.V. and Rahadinata, T. (2022) 'Identifikasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Berdasarkan Pemodelan 3D Data Gravitasi (Studi Kasus Daerah Potensi Panas Bumi Kepahiang)', *Jurnal Teras Fisika*, 5(2).
- Sahdarani, D.N., Ponka, M.. and Oktaviani, A.D. (2020) 'Geothermal Energy as An Alternative Source for Indonesia's Energy Security: The Prospect and Challenges', *Journal of Strategic and Global Studies*, 3(1).
- Sarkowi, M. and Wibowo, R.C. (2021) 'Geothermal Reservoir Identification based on Gravity Data Analysis in Rajabasa Area Lampung', *Indonesian Journal of Geology and Mining*, 31(2), pp. 77–97.
- Schön, J.H. (2015) *Physical Properties Of Rocks*. Volume 65,. Edited by J. Cubitt (Ed.). Germany: Elsevier.
- Setiadi, I., Diyanti, A. and Ardi, N.D. (2014) 'Intrepretasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Daerah Leuwidamar Berdasarkan Analisis Spektral Data Gaya Berat Subsurface Geological Structures Intrepretation Based On Spectral Analysis Of Gravity Data', *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 15(4), pp. 205–214.
- Setiawan, H. (2014) 'Geothermal Energy Development in Indonesia: Progress, Challenges and Prospect', *International Journal Advanced Science Engineering Information Technology*, 4(4).
- Siregar, R.N. and Kurniawan, W.B. (2018) '2D Interpretation of Subsurface Hot Spring Geothermal Structure in Nyelanding Village Through Schlumberger Geoelectricity Configuration Method', *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-BiRuni*, 7(1), pp. 81–87.
- Sugianto, N., Refrizon and Simbolon, P. (2022) '3D Deliniation of Geological Structure of Kepahiang Geothermal Area, Indonesia', *Gravitasi*, 21(2), pp. 69–80.
- Supartoyo and Litman (2018) 'Ancaman dan Potensi Gempa Bumi di Kepahiang, Provinsi Bengkulu', *Prosiding PIT ke-5 Riset Kebencanaan IABI Universitas Andalas* [Preprint].
- Wildan, D. et al. (2017) 'The Importance of Bulk Density Determination in Gravity Data Processing For Structure Interpretation', *AIP Conference Proceedings*, 1862(030175).
- Zaenudin, A. et al. (2021) 'Analisis Struktur Patahan Daerah Suoh Menggunakan Metode Gaya Berat dan Penentuan Kerapatan Patahan', *Positron*, 11(2), pp. 95–103.