Jurnal Fisika Unand (JFU)
Vol. 14, No. 2, Maret 2025, hal. 177 – 183
ISSN: 2302-8491 (Print); 2686-2433 (Online)
https://doi.org/10.25077/jfu.142.2.177-183.2025

Open Access

Identifikasi Batuan Reservoir Panas Bumi di Daerah Tambang Sawah, Lebong Provinsi Bengkulu menggunakan Data Gravitasi Satelit GGMPlus dengan Inversi 2D

Meno Hardianza[1], Arif Ismul Hadi[1*], Hilmi Zakariya[2]
[1]Program Studi Geofisika FMIPA, Universitas Bengkulu
[2]Stasiun Geofisika Kepahiang-BMKG Bengkulu

Info Artikel

Histori Artikel:
Diajukan: 2 Januari 2025
Direvisi:16 Februari 2025
Diterima: 20 Maret 2025

Kata kunci:
Anomali Bouguer Lengkap
Data Gravitasi
Reservoir Panas Bumi

ABSTRAK

Daerah Tambang Sawah terletak di Kabupaten Lebong, Provinsi Bengkulu merupakan salah satu daerah dengan potensi energi panas bumi yang ada di Indonesia. Daerah ini berkaitan dengan aktivitas tektonik di pegunungan bukit barisan yang ditunjukan dengan kemunculan mata air panas dan fumarol. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui batuan reservoir panas bumi di Tambang Sawah, Lebong, Provinsi Bengkulu. Penelitian ini menggunakan data *gravitasi Global Gravity Model* (GGM), berupa data *Free Air Anomaly* (FAA) dengan resolusi 220 meter dan *shuttle radar topography mission* (SRTM2Gravity) sebagai data koreksi medan kontemporer berupa data *fullscalegravity*. Data FAA kemudian dikurangkan dengan data *fullscalegravity* untuk mendapatkan anomali bouger lengkap (ABL). ABL dilakukan analisis spektrum untuk mengetahui estimasi kedalaman kemudian dilakukan pemisahan untuk mendapatkan anomali regional dan residual menggunakan metode *moving avarage*. Terdapat tiga pola distribusi sebaran anomali yaitu rendah sedang dan tinggi. Hasil penelitian menunjukan pada peta ABL daerah dengan anomali sedang diduga memiliki reservoir panas bumi dengan densitas $< 2{,}53$ g/cm^3 pada kedalaman yang berbeda.

Keywords:
Gravity Data
Complete Bouguer Anomaly
Geothermal Reservoir

Penulis Korespondensi:
Arif Ismul Hadi
Email: ismulhadi@unib.ac.id

The Tambang Sawah geothermal field located in Lebong Regency, Bengkulu Province, is one of the geothermal energy potentials in Indonesia. The area is associated with tectonic activity in the bukit barisan mountain range which is indicated by the appearance of hot springs and fumaroles. This research uses Global Gravity Model (GGM) gravity data, in the form of Free Air Anomaly (FAA) data with a resolution of 220 metres and shuttle radar topography mission (SRTM2Gravity) as contemporary terrain correction data in the form of fullscalegravity data. The FAA data was then subtracted from the fullscalegravity data to obtain the complete Bouger anomaly (CBA). The CBA was subjected to spectrum analysis to determine the depth estimate and then separated to obtain regional and residual anomalies using the moving average method. There are three distribution patterns of anomaly distribution, namely low, medium and high. The results showed that on the CBA map, areas with moderate anomalies were thought to have geothermal reservoirs with densities < 2.53 g/cm^3 different depths.

Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Ketergantungan terhadap energi fosil tidak dapat terbantahkan. Menurut (Setyono et al., 2021) cadangan minyak bumi Indonesia pada tahun 2019 sebesar 3,8 miliar barel, dengan rasio stok ke produksi (R/P) sebesar 9 tahun, dan cadangan gas bumi sebesar 13,8 miliar barel, dengan rasio R/P sebesar 22 tahun. Sumber energi panas bumi tersebar di seluruh Indonesia, dengan lebih dari 300 titik yang diidentifikasi. Energi panas bumi adalah salah satu Energi Baru Terbarukan (EBT) yang dapat digunakan untuk mengatasi krisis energi yang akan datang (Hakim et al., 2022). Potensi energi panas bumi Indonesia mencapai 29 gigawat, menjadikannya potensi terbesar di dunia. Tambang Sawah yang terletak di Kabupaten Lebong, Provinsi Bengkulu, merupakan salah satu sumber energi panas bumi yang potensial di Indonesia. Pergerakan Sesar dapat menyebabkan zona hancuran dan rekahan di batuan, yang menghasilkan jalur fluida panas bumi yang naik ke permukaan (Iswahyudi et al., 2019). Mata air panas, batuan yang teralterasi, dan fumarol yang muncul di permukaan menunjukkan manifestasi panas bumi di Tambang Sawah. Penelitian sebelumnya tentang potensi panas bumi di Tambang Sawah telah dilakukan, Beberapa dari mereka (Fahmi et al., 2017) melakukan penelitian tentang kontrol struktur geologi terhadap sistem panas bumi di daerah Lebong Utara. Lestari et al., (2022), melakukan pemetaan panas bumi menggunakan metode magnetik. Kemudian, penelitian menggunakan metode magnetotellurik dilakukan di Tambang Sawah oleh (Al Ansory et al., 2023). Penelitian ini perlu dilakukan pengembangan dengan menggunakan metode geofisika lainnya. Metode pendukung untuk dapat mengetahui potensi panas bumi dengan menggunakan metode gravitasi. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Global Gravity Model* (GGM) dan *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM2gravity) yang merupakan koreksi medan gravitasi kontemporer. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui batuan reservoir panas bumi daerah Tambang Sawah, Lebong, Provinsi Bengkulu.

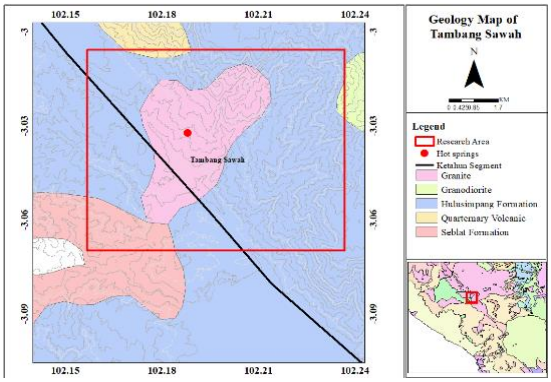
II. METODE

2.1 Metode Gravitasi

Metode gravitasi mengukur perbedaan potensial yang berbanding lurus dengan massa jenis batuan, metode ini dapat menggambarkan sebaran jenis batuan bawah permukaan melalui variasi massa jenis batuan (Sihombing et al., 2024). Batuan resrvoir panas bumi umumnya memiliki distribusi massa jenis batuan yang lebih rendah dengan permeabilitas dan porositas yang tinggi untuk menyimpan dan mengalirkan fluida panas (Sarkowi & Wibowo, 2021).

2.2 Geologi Regional Wilayah Penelitian

Tambang Sawah berada di jalur Segmen Ketahun yang merupakan Segmen dari zona Sesar Sumatra. Sesar Sumatra termasuk jenis Sesar geser mendatar, dan Segmen Ketahun adalah jenis Sesar geser mendatar ke kanan, Sebagai hasil dari gerakan mendatar ke kanan maka terbentuk area menurun yang dikenal dengan istilah *pull apart basin* (Nurseto et al., 2021). Daerah Tambang Sawah berada di sebelah timur dari cekungan Bengkulu, sedimentasi cekungan Bengkulu membentuk stratigrafi daerah ini yang tersusun atas formasi Hulusimpang, formasi Seblat. Ditemukan juga batuan terobosan granit yang mengindikasikan adanya aktivitas tektonik di daerah penelitian (Bemmelen, 1949).



Gambar 1 Peta Geologi Tambang Sawah (S. Gafoer & Pardede, 2007)

2.3 Pengumpulan Data

Data gravitasi dari *Global Gravity Model* (GGM) merupakan model gravitasi ultra tinggi dengan resolusi 220m (Hirt et al., 2013). Data dapat di unduh di internet melalui website http://ddfe.curtin.edu.au/gravitymodels/GGMplus/data. Berupa data *Free Air Anomaly* (FAA) dan elevasi daerah penelitian. Untuk menghitung anomali bouguer lengkap di wilayah penelitian menggunakan koreksi medan terbaru dari *SRTM2gravity*. *SRTM2gravity* adalah koreksi medan gravitasi kontemporer yang memperhitungkan tarikan gravitasi massa topografi bumi dengan resolusi 90m (Hirt et al., 2019). Data koreksi berupa data *fullscalegravity* yang diunduh melalui laman http://ddfe.curtin.edu.au/models/SRTM2gravity2018. Wilayah penelitian ini berada pada koordinat 102.13°E-102.23°E dan 3.08°S-3°S. Data gravitasi dan koreksi medan yang telah diunduh diekstrak dengan *software MatLab*.

2.4 Pengolahan Data

2.4.1 Anomali Bouguer Lengkap (ABL)

Nilai ABL didapatkan dengan data gravitasi berupa data FAA perlu dilakukan koreksi topografi. Koreksi topografi pada penelitian ini menggunakan data *SRTM2gravity* yang merupakan koreksi topografi kontemporer berupa data *fullscalegravity*, Di mana data FAA dikurangkan dengan data *fullscalegravity*. Proses ini menghapus efek gravitasi dari topografi sehingga yang tersisa nanti adalah anomali gravitasi yang mencerminkan variasi densitas bawah permukaan.

$$ABL = FAA - Fullscalegravity \tag{1}$$

2.4.2 Analisis Spektrum

Prinsip transformasi fourier digunakan dalam analisis spektrum, dimana data gravitasi diubah menjadi domain frekuensi yang berguna untuk menghitung lebar jendela pada saat pemisahan anomali bouguer dan kedalaman sumber massa anomali gravitasi. Dalam analisis spektrum terdapat Koefisien determinasi yang ditandai dengan variabel R^2, Koefisien determinasi adalah nilai yang digunakan untuk mengetahui seberapa baik model regresi data yang diamati. Dimana semakin dekat nilai R^2 ke 1 maka semakin baik model dalam menjelaskan variabilitas data (Cheng et al., 2014).

2.4.3 Moving Average

ABL dipisahkan menjadi anomali regional dan residual melalui filter *moving avarage*. Filter ini dilakukan dengan cara merata-ratakan nilai anomalinya. Hasil dari perataan ini berupa anomali regional (Purnomo et al., 2016). Anomali residual didapat dengan cara mengurangkan ABL dengan anomali regional. Secara matematis filter *moving average* menggunakan persamaan (2):

$$\Delta T_{reg}(i, j) = \frac{(\Delta T(i-n, j-n) + ... + \Delta T(i, j) + ... + \Delta T(i+n, j+n))}{N} \tag{2}$$

Di mana $n = \frac{N-1}{2}$, Nilai anomali residual dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut setelah mengetahui anomali regional:

$$\Delta T_{residual} = \Delta T - \Delta T_{reg} \tag{3}$$

dimana $\Delta T_{residual}$ merupakan anomali residual, ΔT adalah anomali Bouguer dan ΔT_{reg} adalaha anomali regional.

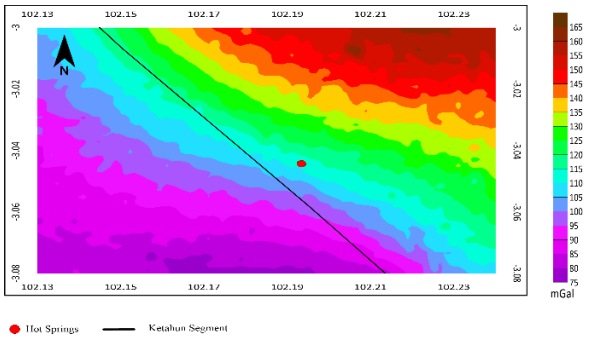
2.4.4 Inversi 2 D

Dalam pemodelan geofisika, inversi digunakan untuk memperkirakan parameter model data perhitungan sebagai respons model data observasi di lapangan, yang menciptakan pendekatan secara langsung untuk memahami karakteristik bawah permukaan (Muttaqien & Nurjaman, 2021). Pengukuran data dan perhitungan respons model dilakukan di sepanjang penampang yang dianggap tegak lurus dengan arah struktur dalam pemodelan gravitasi 2D agar data yang didapatkan tidak homogen sehingga model 2D terlihat lebih jelas. Pemodelan inversi dibuat menggunakan *software ZondGM2D* pada peta anomali residual, karena anomali residual menggambarkan karakteristik lokal yang berkaitan dengan potensi energi panas bumi.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Anomali Bouguer Lengkap (ABL)

Peta ABL (Gambar 2) yang memberikan informasi distribusi massa batuan bawah permukaan yang berbanding lurus dengan nilai anomali gravitasi (Afni & Kusmita, 2022). Pada peta ABL, rentan anomali berkisar antara 165 mGal dan 75 mGal. Timur laut daerah penelitian menunjukkan anomali tinggi dengan nilai 165 mGal hingga 135 mGal daerah tengah menunjukkan anomali sedang dengan nilai 135 mGal hingga 105 mGal daerah barat daya penelitian menunjukkan anomali rendah.



Gambar 2 Peta Anomali Bouguer Lengkap

3.2 Analisis Spektrum

Analisis spektrum dilakukan dengan membuat sayatan 16 lintasan pada ABL. Sayatan dibuat dengan *Software Surfer 15.*

Tabel 1 Perhitungan lebar jendela dan estimaasi kedalaman anomali

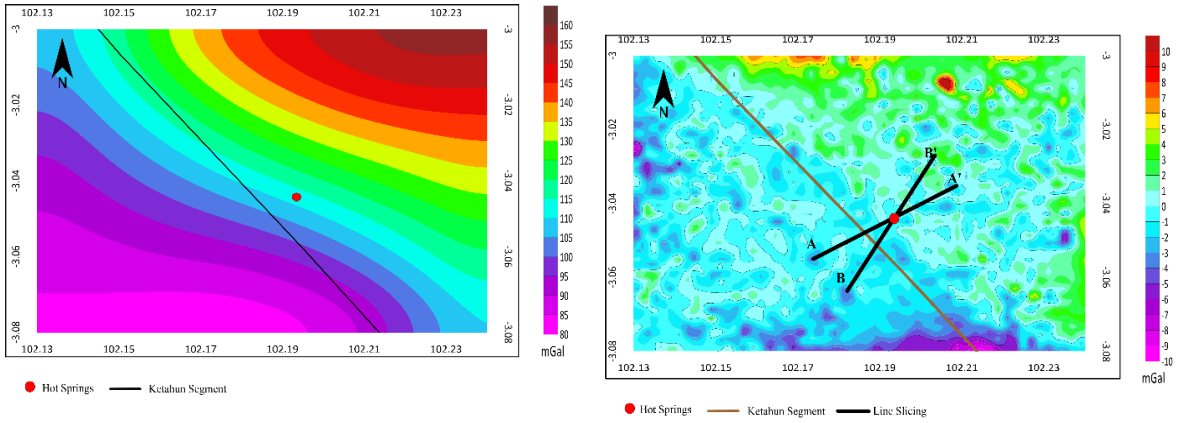
Regional	Residual	C1	C2	Δ	K	N
-5529	-242	9,356	4,217	0,009	6463	32,31
-5086	-264	9,334	4,554	0,009	6339	31,69
-4779	-241	9,354	4,768	0,001	6216	31,08
-4742	-240	9,458	4,950	0,001	6276	31,38
-3603	-203	9,995	4,797	0,001	5090	25,45
-4769	-238	9,583	5,070	0,009	6308	31,54
-3703	-214	9,102	4,927	0,001	5251	26,25
-4735	-238	9,568	5,010	0,001	6199	30,99
-4974	-235	9,632	4,938	0,009	6342	31,71
-5197	-240	9,661	4,719	0,009	6302	31,51
-5197	-245	9,639	4,771	0,009	6391	31,95
-4842	-246	9,450	4,767	0,001	6164	30,82
-5243	-235	9,477	4,443	0,001	6250	31,25
-5335	-236	9,286	4,271	0,009	6388	31,94
-8193	-271	10,24	4,221	0,007	8267	41,33
-6535	-225	9,260	3,108	0,009	6507	32,53
-5154	-238					32

Hasil analisis spektrum, rata-rata lebar jendela yang diperoleh adalah 32, dengan menggunakan metode *moving average* dapat kita estimasi kedalaman rata-rata pada anomali regional adalah 5154 m dan anomali residual 238 m. Estimasi kedalaman lapisan digunakan untuk memisahkan dan menginterpretasi anomali regional yang berhubungan dengan struktur geologi yang besar dan dalam, seperti batuan dasar yang berfungsi sebagai batuan sumber panas. Dan anomali residual berhubungan dengan struktur geologi dangkal dan dapat berfungsi untuk mengidentifikasi jalur pergerakan fluida serta distribusi reservoir panas bumi

3.3 Anomali Regional dan Residual

ABL dipisahkan menjadi anomali regional dan residual menggunakan metode *moving average.* Gambar 3A dan Gambar 3B adalah peta anomali regional dan residual. Pada peta anomali regional rentan nilai anomali berkisar 160 mGal-80 mGal dimana sebaran nilai anomalinya sama dengan anomali ABL. Peta anomali residual memiliki rentan nilai 10 mGal sampai -10 mGal, anomali bernilai positif

menunjukkan daerah dengan massa batuan tinggi sedangkan anomali negatif menunjukkan daerah dengan massa batuan yang lebih rendah. Area dengan anomali negatif diduga merupakan zona hancuran yang diakibatkan oleh aktivitas tektonik dari Segmen Ketahun. Anomali negatif juga mengindikasikan bahwa daerah ini memiliki permeabilitas tinggi sehingga memungkinkan aliran fluida dari bawah permukaan untuk naik ke atas sehingga memunculkan manifestasi panas bumi di daerah penelitian.

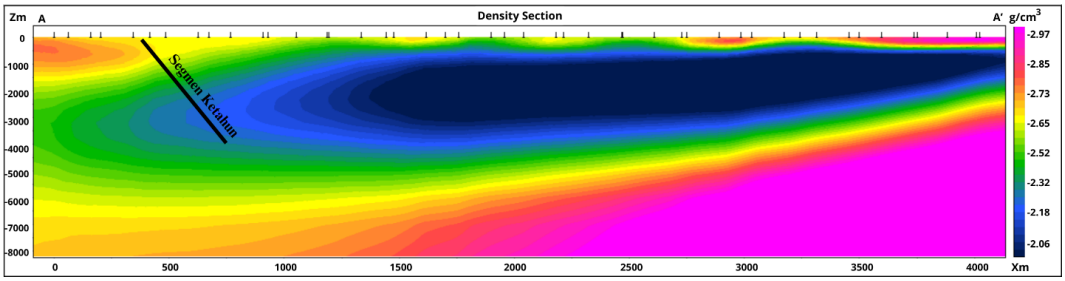


(a) (b)

Gambar 3 a) Anomali regional A b) Anomali residual B

3.4 Pemodelan Inversi 2 Dimensi

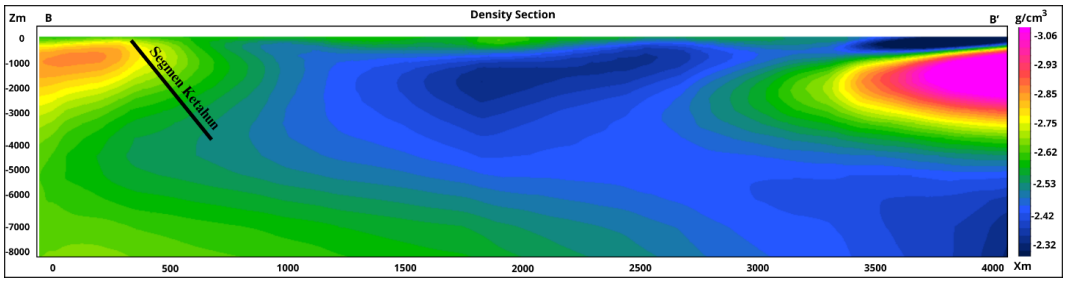
Pemodelan 2D dilakukan sebanyak dua sayatan A-A', B-B' pada peta anomali residual. Pemodelan 2D dilakukan untuk melihat persebaran densitas batuan bawah permukaan. Sayatan dilakukan dengan memotong manifestasi panas bumi dan Segmen Ketahun karena daerah ini mempunyai nilai densitas rendah sehingga berpotensi sebagai sumber panas bumi, sayatan dapat dilihat pada peta anomali residual . Sistem panas bumi di Sumatra umumnya dikontrol oleh aktivitas tektonik dari Sistem Sesar Sumatra (SFS), di mana reservoir panas bumi terdapat di dalam batuan sedimen yang mengalami perubahan akibat aktivitas tektonik dan menghasilkan porositas dan permeabilitas sekunder (Saptadji, 2009). Pada batuan sedimen, densitas batuan mengalami penurunan dengan peningkatan porositas dan permeabilitas batuan (Schon, 2019). Gambar 4 adalah adalah hasil pemodelan 2D untuk sayatan A-A, yang panjang lintasannya kurang dari 5 km. Pada kedalaman 1–4 km, menunjukkan nilai densitas rendah dengan nilai 2,06–2,32 g/cm^3, densitas sedang 2,32–2,65 g/cm^3 dan densitas tinggi 2,65–2,97 g/cm^3. Nilai dengan densitas rendah, dikorelasikan dengan geologi daerah Tambang Sawah, Densitas rendah dianggap sebagai reservoir panas bumi dengan jenis batuan breksi vulkanik dan batuan tufaan ubahan yang memiliki porositas dan permeabilitas tinggi. Densitas sedang diinterpretasikan sebagai *caprock* dengan batuan lava andesit, dan batuan basalt yang mempunyai permeabilitas rendah sehingga bersifat *impermeable*. Sedangkan densitas tinggi diinterpretasikan sebagai *hotrock* dengan batuan granit yang merupakan batuan dasar dan memiliki sifat panas yang baik.



Gambar 4 Pemodalan 2D pada sayatan A-A'

Pemodelan 2D pada Gambar 5 sayatan B-B' dengan panjang lintasan < 5 km dengan densitas rendah dengan nilai 2,32 – 2,53 g/cm^3 pada kedalaman 1-8 km diinterpretasikan sebagai reservoir panas

bumi dengan jenis batuan breksi vulkanik dan tuff ubahan, densitas sedang 2,53 – 2,75 g/cm^3, sebagai *caprock* dengan jenis batuan lava andesit dan basalt dan densitas tinggi 2,85 – 3,06 g/cm^3 diartikan sebagai *hotrock* dengan jenis batuan granit.



Gambar 5 Pemodalan 2D pada sayatan B-B'

4 KESIMPULAN

Pada peta ABL daerah penelitian, terlihat tiga pola anomali, anomali tinggi mendominasi wilayah timur laut, anomali sedang berada di tengah, dan anomali rendah berada di barat daya. Anomali residual bernilai negatif ditemukan di lokasi di mana terdapat manifestasi panas bumi, dianggap sebagai zona hancuran akibat aktivitas tektonik Segmen Ketahun. Hasil pemodelan dari setiap sayatan menunjukkan bahwa batuan dengan densitas rendah adalah reservoir panas bumi dengan jenis batuan tuff ubahan dan breksi vulkanik, densitas sedang dianggap sebagai *caprock* dengan jenis batuan lava andesit dan basalt, dan densitas tinggi dengan jenis batuan granit dianggap sebagai batuan *hotrock*. Kedua sayatan memiliki reservoir panas bumi yang berpotensi sebagai prospek pengembangan sumber energi alternatif.

DAFTAR PUSTAKA

Afni, G. N., & Kusmita, T. (2022). Identifikasi Struktur Tektonik Sistem Geothermal Non-Vulkanik Daerah Nyelanding dan Permis Bangka Selatan Menggunakan Metode Gravity. *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, *2*(2), 26–30.

Al Ansory, A. R., Hana Raihana, Pritama, V. L., Saputri, W., Maghribi, F. B., Muchammad Farid, Arif Ismul Hadi, Halauddin, Harlianto, B., & Sugianto, N. (2023). Delineasi Nilai Resistivitas Di Lapangan Panas Bumi Tambang Sawah Menggunakan Metode Magnetotellurik. *Buletin Sumber Daya Geologi*, *18*(3), 145–154. https://doi.org/10.47599/bsdg.v18i3.386

Bemmelen, R. . Van. (1949). The Geology of Indonesia. In *Bureau of Mines Indonesia* (Vol. 85, hal. 219–230). https://doi.org/10.1385/0-89603-489-5:219

Cheng, C. L., Shalabh, & Garg, G. (2014). Coefficient of determination for multiple measurement error models. *Journal of Multivariate Analysis*, *126*, 137–152. https://doi.org/10.1016/j.jmva.2014.01.006

Fahmi, F. L., Husein, S., & Nukman, M. (2017). *Kontrol Struktur Geologi terhadap Sistem Hidrotermal di Lebong Utara, Bengkulu*. Dalam Thesis

Hakim, A. F., Sholihah, F., Ismawati, R., Nuryunita Dewantari, D., Pendidikan IPA Universitas Tidar, P., & Kunci Panas bumi, K. (2022). Potensi dan Pemanfaatan Energi Panas Bumi di Indonesia. *Indonesian Journal of Conservation*, *11*(2), 71–77. https://doi.org/10.15294/ijc.v11i2.40599

Hirt, C., Claessens, S., Fecher, T., Kuhn, M., Pail, R., & Rexer, M. (2013). New ultrahigh-resolution picture of Earth's gravity field. *Geophysical Research Letters*, *40*(16), 4279–4283. https://doi.org/10.1002/grl.50838

Hirt, C., Yang, M., Kuhn, M., Bucha, B., Kurzmann, A., & Pail, R. (2019). SRTM2gravity: An Ultrahigh Resolution Global Model of Gravimetric Terrain Corrections. *Geophysical Research Letters*, *46*(9), 4618–4627. https://doi.org/10.1029/2019GL082521

Iswahyudi, S., Pamungkas, M. A., Sunan, H. L., & Aditama, M. R. (2019). Kontrol Struktur Geologi Pada Kemunculan Mata Air Panas Bumi Daerah Subang, Jawa Barat. *Jurnal Geosaintek*, *5*(3), 113. https://doi.org/10.12962/j25023659.v5i3.6237

Lestari, S. E., Yunita, A., Rahman, R. A., Refrizon, & Sugianto, N. (2022). Aplikasi Metode Magnetik Pada Pemetaan Sumber Panas Bumi di Kawasan Wisata Air Putih, Lebong, Bengkulu. *Newton-Maxwell Journal of Physics*, *3*(2), 71–76.

Muttaqien, I., & Nurjaman, J. (2021). Two Dimensional Inversion Modeling of Magnetotelluric (MT) Synthetic Data of A Graben Structure Using SimPEG. *RISET Geologi dan Pertambangan*, *31*(1), 1. https://doi.org/10.14203/risetgeotam2021.v31.1121

Nurseto, S. T., Arifin, M. T., Pratama, G. R., Nusantara, V. D., Thamrin, M. H., & Suryantini. (2021). Structural Geology and Volcanism in Hululais Geothermal Area, Bengkulu, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *732*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/732/1/012004

Purnomo, J., Koesuma, S., & Yunianto, M. (2016). Pemisahan Anomali Regional-Residual pada Metode Gravitasi Menggunakan Metode Moving Average, Polynomial dan Inversion. *Indonesian Journal of Applied Physics*, *3*(01), 10. https://doi.org/10.13057/ijap.v3i01.1208

S. Gafoer, T. C. A., & Pardede, R. (2007). *Peta_Geologi_Lembar_Bengkulu*.

Saptadji, N. M. (2009). Karakterisasi Reservoir Panas Bumi. *Bandung: Institut Teknologi Bandung*, *Juli*, 6–17.

Sarkowi, M., & Wibowo, R. C. (2021). Geothermal Reservoir Identification based on Gravity Data Analysis in Rajabasa Area- Lampung. *RISET Geologi dan Pertambangan*, *31*(2), 77. https://doi.org/10.14203/risetgeotam2021.v31.1164

Schon, J. H. (2019). *Physical Properties of Rocks Handbook Of Petroleum Exploration And Production*.

Setyono, A. E., & Kiono, B. F. T. (2021). Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, *2*(3), 154–162. https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11157

Sihombing, P. A., Hadi, A. I., Refrizon, R., & Zakariya, H. (2024). Identification of the distribution of geothermal reservoirs around Kepahiang Bengkulu Province using GGMPlus gravity data anomalies by the 2D inversion method. *Journal of Aceh Physics Society*, *13*(1), 1–8. https://doi.org/10.24815/jacps.v13i1.37642