

## IDENTIFIKASI SUMBER PANAS (*HEAT SOURCE*) PADA SISTEM GEOTERMAL KAMPUNG MOSSO DISTRIK MUARA TAMI, KOTA JAYAPURA MENGGUNAKAN METODE GRAVITASI

Alin Sharina Dwi Yampy\*<sup>1</sup>, Bangkit Sudrajad<sup>2</sup>, Noper Tulak<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Geofisika, FMIPA Universitas Cenderawasih

Email: [alinsharina@gmail.com](mailto:alinsharina@gmail.com)

### ABSTRACT

*Kampung Mosso exhibits geothermal manifestations in the form of hot springs. One of the geothermal exploration methods is gravity anomaly analysis, which provides information about subsurface structures and rock density distribution. Through 3D modeling based on gravity data, subsurface geological structures can be interpreted to identify heat sources and the depth of geothermal reservoirs. Secondary data from GGM Plus is used as the source of gravity anomaly data. The data is then processed using Oasis Montaj for initial visualization and geophysical data processing, Surfer for interpolation and contour map generation, and Bloxer for 3D modeling of subsurface density distribution. The modeling process employs an inversion method, where an initial model is constructed and iterated until a final model with minimal error is obtained. This model is then analyzed to determine the subsurface structure and identify the heat source within the Kampung Mosso geothermal system. This study aims to develop a 3D model of subsurface structures based on gravity anomaly data, identify heat sources in the Kampung Mosso geothermal system based on the model, and determine the depth of the heat source. The results of this study are expected to illustrate the distribution of gravity anomalies in the Kampung Mosso hot spring area.*

**Keywords:** Gravity Anomaly, Bloxer, GGM Plus, Kampung Mosso, Oasis Montaj, 3D Modeling, Geothermal System, Surfer, Inversion Method,

### ABSTRAK

Kampung Mosso memiliki manifestasi sumber panas bumi berupa sumber mata air panas. Salah satu metode eksplorasi panas bumi adalah analisis anomali gravitasi, yang dapat memberikan informasi tentang struktur bawah permukaan dan distribusi densitas batuan. Dengan pemodelan 3D berbasis data gravitasi, struktur geologi bawah permukaan dapat diinterpretasikan untuk mengidentifikasi sumber panas dan kedalaman reservoir panas bumi. Data sekunder GGM Plus digunakan sebagai sumber data anomali gravitasi. Kemudian diolah dalam Oasis Montaj untuk visualisasi awal dan pemrosesan data geofisika, Surfer untuk interpolasi serta pembuatan peta kontur, dan Bloxer untuk pemodelan 3D distribusi densitas bawah permukaan. Pemodelan dilakukan dengan metode

inversi. Model ini kemudian dianalisis untuk menentukan struktur bawah permukaan serta mengidentifikasi sumber panas pada sistem panas bumi Kampung Mosso. Penelitian ini bertujuan untuk membuat model 3D struktur bawah permukaan berdasarkan data anomali gravitasi, mengidentifikasi sumber panas pada sistem panas bumi Kampung Mosso berdasarkan model tersebut, serta menentukan kedalaman sumber panasnya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai persebaran anomali gravitasi di sumber mata air panas Kampung Mosso, memberikan informasi kepada masyarakat mengenai sistem geotermal berdasarkan analisis gravitasi, serta menjadi referensi bagi penelitian lebih lanjut terkait panas bumi di wilayah tersebut.

**Kata Kunci:** Anomali Gravitasi, Bloxer, GGM Plus, Kampung Mosso, Oasis Montaj, Pemodelan 3D, Sistem Panas bumi, SurferMetode Inversi,

## PENDAHULUAN

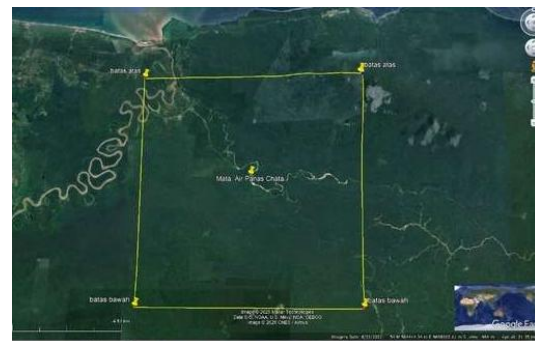
Kebutuhan energi nasional yang terus meningkat mendorong eksplorasi sumber energi terbarukan, termasuk panas bumi. Sistem geotermal di wilayah timur Indonesia umumnya bersifat non-vulkanik dan dikontrol oleh aktivitas tektonik. Salah satu manifestasi panas bumi terdapat di Kampung Mosso, Distrik Muara Tami, Kota Jayapura, berupa sumber air panas yang diduga berasosiasi dengan struktur geologi aktif. Penelitian ini dilakukan untuk memetakan struktur bawah permukaan menggunakan metode gravitasi dan mengidentifikasi sumber panas utama yang mengontrol sistem geotermal di wilayah tersebut.

## METODE

### Lokasi Penelitian

penelitian ini dilakukan di Kampung Mosso dengan radius 50 km<sup>2</sup> dari titik lokasi mata air panas pada koordinat 2,679481° LS 140,960170° BT, dan luasan sebesar 100 km<sup>2</sup> dengan koordinat 2,638133° - 2,731858 LS dan 140,915177°-141,005140° BT. Lokasi ini dipilih

karena adanya indikasi anomali gravitasi berdasarkan studi sebelumnya, serta karakteristik geologi yang memungkinkan adanya struktur bawah permukaan yang memungkinkan adanya heatsource. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Luasan Target Penelitian di Lokasi Panas Bumi Kampung Mosso

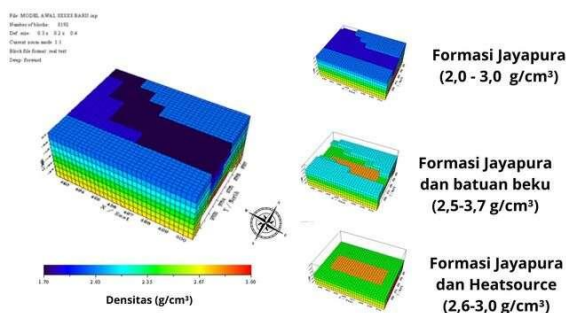
Penelitian dilakukan menggunakan data sekunder dari GGMPPlus beresolusi tinggi. Data anomali gravitasi diolah melalui beberapa tahap koreksi, termasuk koreksi Bouguer, koreksi medan, reduksi bidang datar, serta pemisahan anomali regional dan lokal dengan metode upward

continuation. Proses pengolahan dilakukan menggunakan Oasis Montaj, Surfer, dan Matlab, sementara pemodelan 3D dilakukan dengan Bloxer 1.6 menggunakan metode inversi Occam density. Nilai densitas batuan diambil berdasarkan pengukuran laboratorium dan literatur Telford (1990), dengan rentang 1,7–3,0 g/cm<sup>3</sup>. Model akhir ditentukan berdasarkan nilai root mean square error (RMS) terkecil sebesar 1,37%.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pemodelan 3 Dimensi

#### a. Model awal



Gambar 2. Model Awal 3D Bawah Permukaan

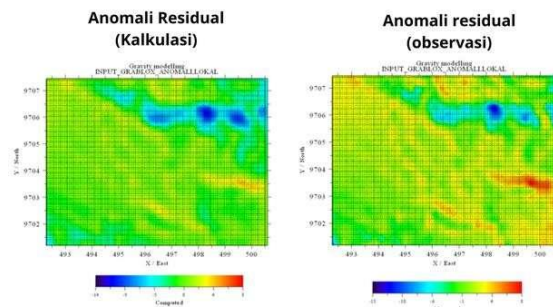
Pemodelan dilakukan untuk mengetahui atau menginterpretasi secara kuantitatif bentuk model 3D bawah permukaan di wilayah penelitian, sehingga diketahui kondisi struktur bawah permukaan dari wilayah penelitian. Pemodelan yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan pemodelan inversi 3D. Pemodelan inversi 3D dilakukan menggunakan program bloxer 1.6 dan grablox 1.6. Pemodelan inversi 3D dilakukan berdasarkan nilai densitas

batuan yang diperoleh dari hasil pengukuran densitas sampel batuan di laboratorium, dan data anomali gravitasi residual yang didapatkan. Dari parameter tersebut, data lalu diinversikan untuk mendapatkan model yang sesuai dengan data hasil kalkulasi nilai anomali gravitasi.

Tahap pemodelan dilakukan terlebih dahulu dengan membangun model awal menggunakan program bloxer, yang dibuat berdasarkan informasi pendukung seperti informasi batas litologi, stratigrafi batuan, data densitas batuan, dan data anomali lokal (Sudrajad, 2018). Informasi densitas disesuaikan dengan nilai densitas batuan yang disusun oleh Telford (1990). Hal ini dilakukan untuk menentukan batasan nilai densitas minimum dan maksimum batuan di wilayah penelitian, serta untuk menyusun blok-blok minor dengan densitas yang sesuai dengan formasi batuan. Model awal didasarkan pada hasil pengukuran densitas penelitian sebelumnya, yaitu untuk Formasi Aluvial dan endapan pantai adalah sebesar 1,77 gram/cm<sup>3</sup>; Formasi Jayapura (Qpj) sebesar 2,78 gram/cm<sup>3</sup>; Gamping Coral (Qcl) sebesar 2,14 gram/cm<sup>3</sup>; dan Formasi Nubai (Tomn) sebesar 2,04 gram/cm<sup>3</sup>. Geometri blok tersusun dari 32 blok dalam arah x (dx) dan 32 blok dalam arah y (dy), sehingga membentuk 1.024 blok minor pada setiap lapisan. Blok model awal ini dibuat terdiri dari 8 lapisan. Sehingga keseluruhan bentuk model ini terdiri dari 8.192 blok. Kedalaman blok model adalah 0,2 km. (sudrajad)

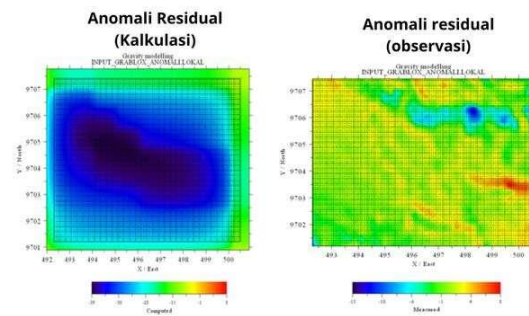
### a. Inversi Model

Model awal 3D dan anomaly gravitasi residual diinversi untuk mendapatkan nilai parameter model dan bentuk model. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan algoritma inversi occam density dan didapatkan error sebesar 1,37%. Perbandingan data anomaly gravitasi residual dari hasil observasi dengan data anomaly gravitasi residual hasil kalkulasi dapat dilihat pada gambar 2.



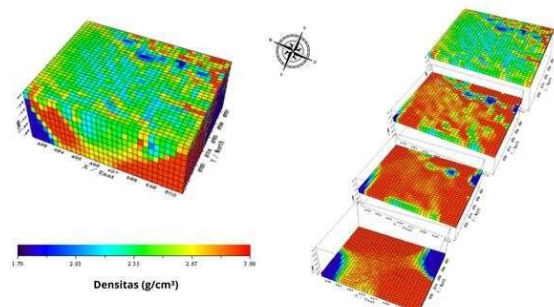
Gambar 1. Perbandingan Antara Data Kalkulasi Model Awal (kiri) dan Data Observasi Anomali Lokal (Kanan)

Setelah itu, model 3D awal diinversikan dengan anomaly residual observasi. Proses inversi menggunakan algoritma occam density. Lalu dilakukan iterasi sampai nilai error bernilai 1,37%. Dari gambar dapat dilihat bahwa tidak adanya perbedaan mencolok antara anomaly residual hasil observasi dan kalkulasi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa model dapat merepresentasikan kondisi bawah permukaan daerah penelitian.



Gambar 2. Perbandingan Antara Data Kalkulasi Model Akhir (kiri) dan Data Observasi Anomali Lokal (kanan)

### b. Interpretasi Model 3D Densitas Bawah Permukaan



Gambar 3. Model Densitas 3D Struktur Bawah Permukaan Hasil Inversi

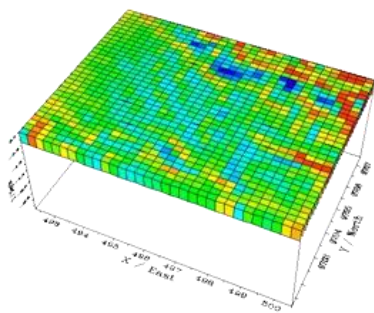
Pada model blok 3D yang dihasilkan memiliki dimensi horizontal  $512 \text{ m} \times 672 \text{ m}$  dan vertikal hingga kedalaman  $64 \text{ m}$  dengan resolusi spasial  $16 \text{ m} \times 16 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ . Nilai densitas tiap blok bervariasi antara  $2,3 \text{ g/cm}^3$  hingga  $3,0 \text{ g/cm}^3$ .

Untuk memahami distribusi vertikal dari densitas bawah permukaan dan mengidentifikasi zona-zona potensial sebagai sumber panas (*heat source*), interpretasi dilakukan

secara stratigrafis terhadap beberapa layer penting dalam model.

### Layer 1–2 (Kedalaman 0–4 m)

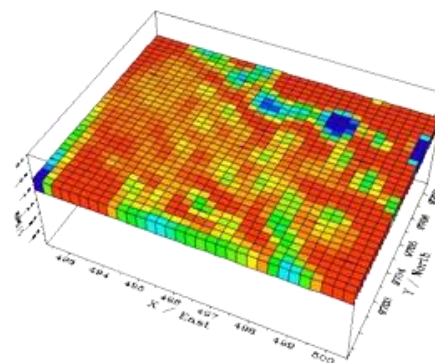
Lapisan paling atas didominasi oleh nilai densitas rendah berkisar 2,3–2,5 g/cm<sup>3</sup> yang tersebar merata di seluruh area studi. Karakter ini mengindikasikan keberadaan lapisan penutup berupa batuan sedimen lepas atau tanah pelapukan yang memiliki densitas relatif rendah. Tidak ditemukan indikasi keberadaan anomali densitas tinggi pada lapisan ini.



Gambar 4. Lapisan Kedalaman 400 Meter

### Layer 3–5 (Kedalaman 6–10 m)

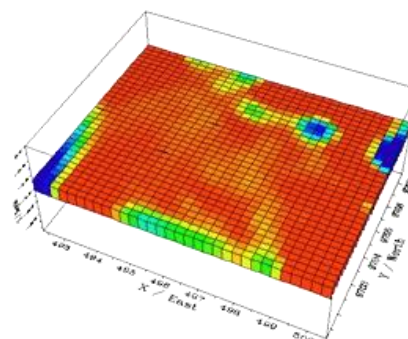
Pada kedalaman menengah ini mulai muncul zona dengan densitas tinggi (hingga 2,9–3,0 g/cm<sup>3</sup>) yang terkonsentrasi di bagian utara. Zona ini muncul pertama kali pada layer ke-3 dan menunjukkan ekspansi lateral dan vertikal pada layer ke-4 (Gambar 4.8), lalu mencapai puncaknya di layer ke-5. Konsistensi vertikal dan konsentrasi nilai densitas tinggi mengindikasikan adanya tubuh intrusi berdensitas tinggi yang menerobos lapisan di atasnya.



Gambar 5. Lapisan 2 Kedalaman 800 Meter

### Layer 6–8 (Kedalaman 12–16 m)

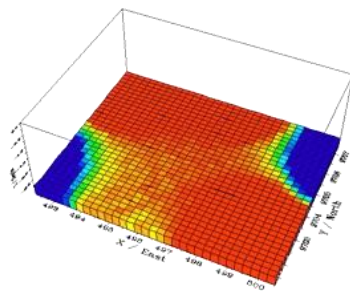
Zona densitas tinggi dari lapisan sebelumnya masih terdeteksi pada layer ke-6, meskipun menunjukkan sedikit pergeseran lateral dan penurunan nilai densitas. Hal ini menunjukkan bahwa tubuh intrusi tersebut memiliki geometri yang memipih atau mulai meluruh di kedalaman ini. Zona-zona lain yang muncul bersifat sporadis dan tidak terhubung secara vertikal, sehingga kecil kemungkinannya berasosiasi dengan sistem termal aktif.



Gambar 6. Lapisan 5 Kedalaman 2000 Meter

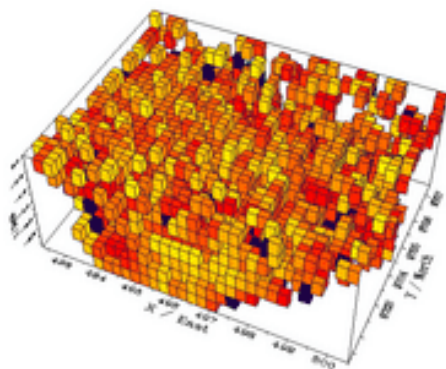
**Layer 9 ke bawah (Kedalaman >18 m)**

Lapisan-lapisan yang lebih dalam umumnya kembali menunjukkan nilai densitas sedang (2,6–2,7 g/cm<sup>3</sup>) yang tersebar merata. Tidak ditemukan pola vertikal densitas tinggi yang signifikan, sehingga interpretasi terhadap keberadaan heat source difokuskan pada anomali yang muncul pada layer 3–6.



Gambar 7. Lapisan 8 Kedalaman 3200 meter

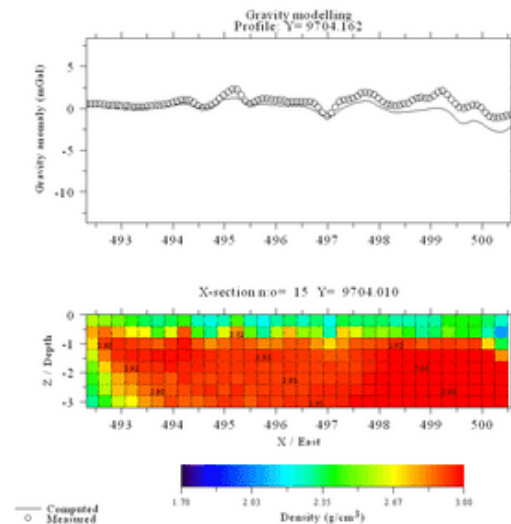
**c. Indikasi Heat Source dari Model Grablox**



Gambar 8. Batuan Berdensitas Tinggi

Keberadaan tubuh dengan nilai densitas tinggi ( $\geq 2,9$  g/cm<sup>3</sup>) yang muncul secara vertikal berlapis dari layer 3 hingga 6 mengindikasikan

adanya intrusi dangkal yang berpotensi sebagai sumber panas (*heat source*). Nilai densitas tersebut konsisten dengan batuan beku atau intrusi mafik–intermediet yang umum ditemukan sebagai *heat source* dalam sistem geotermal. Orientasi vertikal dari tubuh ini juga mendukung hipotesis bahwa panas naik melalui tubuh intrusi yang memotong formasi sedimen di sekitarnya.



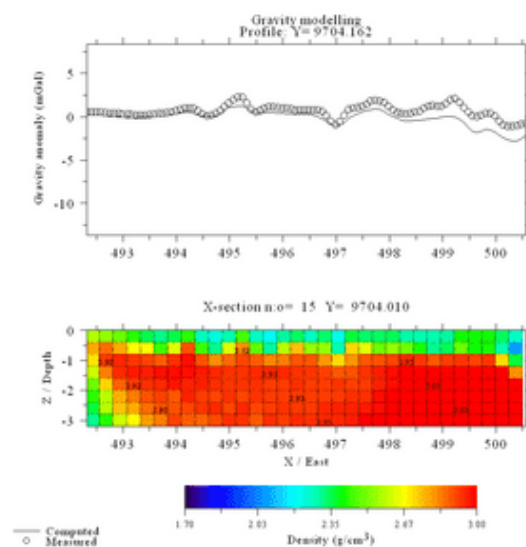
Gambar 9. Penampang Melintang Bawah Permukaan Model 3D yang melalui Mata Air Panas pada X=495,247 km

Berdasarkan pemodelan gravitasi pada profil X = 495.321 km dan Y-section 12 (Y  $\approx$  9704.14 km), terlihat adanya anomali gravitasi negatif dan zona densitas lebih rendah ( $\approx 2.93$ – $2.94$  g/cm<sup>3</sup>) tepat di bawah lokasi mata air panas. Hal ini mengindikasikan kemungkinan adanya zona rekahan atau alterasi hidrotermal yang berperan sebagai jalur migrasi fluida panas.

Pada penampang pertama, profil pemodelan dilakukan secara vertikal terhadap sumbu Y, yaitu profil X = 495,321 km. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa nilai anomali gravitasi berkisar antara -8 hingga +5 mGal. Di sekitar koordinat Y = 9704 km, nilai anomali gravitasi menunjukkan kecenderungan negatif dengan nilai mendekati -3 hingga -4 mGal. Zona ini juga berhubungan dengan distribusi densitas bawah permukaan yang lebih rendah, yaitu sekitar 2,67–2,82 g/cm<sup>3</sup> pada kedalaman 1–2 km. Warna hijau hingga kuning dalam model densitas tersebut mengindikasikan adanya batuan yang lebih ringan, yang dapat ditafsirkan sebagai zona rekahan atau alterasi hidrotermal yang memungkinkan migrasi fluida panas bumi ke permukaan.

Penampang kedua, yaitu profil Y=9704,162 km, merupakan penampang horizontal terhadap sumbu X dan melintasi langsung lokasi mata air panas. Model menunjukkan bahwa pada sekitar X = 495–496 km, anomali gravitasi kembali menunjukkan nilai negatif dengan magnitudo -2 hingga -4 mGal. Model densitas bawah permukaan di area ini juga memperlihatkan anomali densitas rendah dengan nilai sekitar 2,67–2,82 g/cm<sup>3</sup>, yang tampak cukup kontras terhadap zona sekitarnya yang memiliki densitas lebih tinggi ( $\pm 2,95$ –3,00 g/cm<sup>3</sup>). Hal ini menguatkan dugaan adanya jalur migrasi fluida panas bumi yang mengarah ke permukaan, terutama karena zona ini berada sangat dekat dengan manifestasi mata air panas.

Secara umum, zona anomali negatif pada data gravitasi, yang disertai dengan zona densitas rendah dalam model bawah permukaan, mengindikasikan adanya struktur rekahan atau zona alterasi batuan akibat aktivitas hidrotermal. Keberadaan nilai densitas yang lebih rendah dibandingkan batuan sekitarnya dapat disebabkan oleh proses pelapukan, alterasi mineral oleh fluida panas, atau keberadaan pori yang terisi oleh uap dan air panas. Kedua penampang menunjukkan konsistensi terhadap keberadaan zona rendah densitas yang memanjang dan berpotensi menjadi jalur aliran fluida dari reservoir panas bumi menuju ke permukaan, yang ditandai dengan keberadaan manifestasi mata air panas



Gambar 10. PENampang Membujur Bawah Permukaan Model 3D yang Melalui Mata Air Panas pada Y=9704,4 km

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan.

1. Dari proses pemodelan 3D data anomali gravitasi dihasilkan model akhir 3D dengan RMS error 5,91% atau kecocokan model 94,09%.
2. Berdasarkan hasil interpretasi model akhir 3D, teridentifikasi bahwa sumber panas atau heatsource pada Panas Bumi Kampung Mosso kemungkinan adalah batuan berdensitas tinggi sekitar 2,90 – 3,00 g/cm<sup>3</sup> sebagai intrusi magma.
3. Dari hasil magma interpretasi model 3D, batuan sumber panas (*heatsource*) berada pada kedalaman 500-800 meter di bawah mata air panas.

## SARAN

Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan penggunaan data suhu bawah permukaan untuk membantu memperkuat hasil interpretasi dari metode gravitasi, terutama dalam mengidentifikasi zona heat source. Data suhu dapat menjadi acuan tambahan yang berguna untuk melihat apakah anomali densitas yang muncul memang berkaitan dengan peningkatan temperatur di bawah permukaan. Selain itu, penggunaan metode geofisika lain seperti magnetik, resistivitas, atau magnetotellurik (MT) juga dapat dipertimbangkan. Dengan menggabungkan beberapa metode, hasil pemodelan dapat menjadi lebih rinci dan memberikan gambaran yang

lebih jelas tentang kondisi bawah permukaan di daerah panasbumi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Atef, H., Abd El-Gawad, A. M. S., Abdel Zaher, M., & Farag, K. S. I. (2016). The contribution of gravity method in geothermal exploration of southern part of the Gulf of Suez–Sinai region, Egypt. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 5(1), 173–185. <https://doi.org/10.1016/j.nrjag.2016.02.005>
- Baruna, E. S., & Indarwati, F. (2018). Ministry Of Energy and Mineral Resources Republic of Indonesia. *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia Final Edition*.
- BMKG, B. S. T. (2023). *Ulasan Guncangan Tanah Akibat Gempa Jayapura Papua*.
- DiPippo, R. (2012). Geothermal power plants: Principles, applications, case studies and environmental impact. In *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact*. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-05384-X>
- DiPippo, R. (2016). Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact.
- Grandis, H. (2009). Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika. In *Himpunan Ahli Geofisika*

- Indonesia* (Issue 80).
- Hochstein, M. P., & Sudarman, S. (1992). Classification of Geothermal Systems in Indonesia.
- Huenges, E. (2010). *Geothermal Energy Systems* (E. Huenges (ed.)).
- Kasbani, K. (2009). Tipe Sistem Panas Bumi Di Indonesia Dan Estimasi Potensi Energinya. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 4(3), 23–30.  
<https://doi.org/10.47599/bsdg.v4i3.184>
- Lowrie, W. (2007). Fundamentals Of Geophysics, Second Edition. In *Cambridge University Press*.
- Manrulu, R. H., & Wahyudi. (2014). Anomali Gravitasi Magma Gunungapi Merapi Dengan. *Prosding Seminar Nasional*, 01(01), 1–9.
- Raharjo, I. B. (2012). Geophysical Signatures of Volcano-Hosted Geothermal Systems. *University of Utah, May*.
- Saptadji, N. M. (2001a). *Teknik Panas Bumi*. 1–306.
- Saptadji, N. M. (2001b). *Teknik Pansbumi*. 1, 17–18.
- Software, G. (2015). *Full User ' s Guide*.
- Stocks, N. (2016). *BLOXER*. 1–23.
- Sudrajad, B., Sutarman, T., Sinaga, E. S., & Ngaderman, H. (2024). Identifikasi Patahan Seismo-Tektonik Jayapura Berdasarkan Pemodelan Inversi 3D Data Gravitasi. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 10(1), 47–64.  
<https://doi.org/10.23960/jge.v10i1.372>
- Suparno, S. (2009). Energi Panasbumi: A Present From The Heart of The Earth. *Jurnal Edisi Pertama*
- Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional. (2019). Indonesia Energy Out Look 2019. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Toth, A., & Bobok, E. (2016). Flow and Heat Transfer in Geothermal Systems: Basic Equations for Describing and Modeling Geothermal Phenomena and Technologies. In *Flow and Heat Transfer in Geothermal Systems: Basic Equations for Describing and Modeling Geothermal Phenomena and Technologies*.
- Toth, A., & Bobok, E. (2017). Geothermal Energy: From Theoretical Models to Exploration and Development.
- W.M Telford, L.P. Geldart, R. E. S. (2004). *Applied Geophysics, Second Edition by W. M. Telford, L. P. Geldart, R. E. Sheriff (z-lib.org).pdf* (p. 751).
- Whitehead, N. (2008). *Oasis montaj Viewer 7.0*. 107.
- Wowa, F., & Wiloso, D. A. (2017). Studi geokimia untuk pendugaan

suhu reservoir panas bumi berdasarkan analisis solute geothermometer di desa pablengan, kecamatan matesih, kabupaten karanganyar, provinsi jawa tengah. *Seminar Nasional Kebumian Ke-10 Peran Penelitian Ilmu Kebumian Dalam Pembangunan Infrastruktur Di Indonesia, September, 1499–1532.*

Wisriansyah, et al. (2020). Sistem Panas Bumi Pulau Sumatera

Zona EBT. (2023). Menggali Potensi Energi Panas Bumi: Komponen Utama yang Perlu Diketahui.