

## Identifikasi Awal Keberadaan Batugamping di Cekungan Jawa Timur Utara Bagian Barat Menggunakan Metode Inversi Gravitasi 3D

Kevin Adhiatha Herlambang, Abdul Haris, Ricky  
Adi Wibowo

FMIPA Universitas Indonesia

E-mail: [kevinadhiatha@gmail.com](mailto:kevinadhiatha@gmail.com), [abdharis@sci.ui.ac.id](mailto:abdharis@sci.ui.ac.id), [rickyadiwibowo@gmail.com](mailto:rickyadiwibowo@gmail.com)

### ABSTRAK

Bagian barat Cekungan Jawa Timur Utara merupakan wilayah prospek hidrokarbon yang menghadapi tantangan eksplorasi akibat gangguan produk vulkanik Plio-Pleistosen pada pencitraan seismik. Untuk mengatasi kendala ini, penelitian ini menerapkan metode gravitasi berbasis data satelit GGMplus sebagai pendekatan pendahuluan yang efektif, sehingga dapat dilakukan identifikasi struktur bawah permukaan dan sebaran reservoir batugamping. Metode yang diterapkan meliputi pembuatan peta *Complete Bouguer Anomaly*, pemisahan anomali regional-residual melalui metode *Spectrum Analysis*, dan pemodelan 3D menggunakan metode Inversi Occam. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa terdapat tiga zona anomali gravitasi (-55 hingga 55 mGal) yang berkorelasi dengan variasi litologi dan struktur geologi bawah permukaan. Metode *Spectrum Analysis* telah mengidentifikasi batas kedalaman regional sedalam 6,336 km dan residual sedalam 0,285 km. Pemodelan inversi 3D berhasil mengidentifikasi sebaran batugamping (berdensitas 1,93-2,9 g/cm<sup>3</sup>) dengan volume ≤49.689,05 km<sup>3</sup>. Temuan ini memberikan dasar penting untuk tahap eksplorasi lanjutan dengan metode yang lebih detail seperti survei seismik dan pemboran.

**Kata Kunci:** Cekungan Jawa Timur Utara, Batugamping, Metode Gravitasi, *Complete Bouguer Anomaly*, *Occam Inversion*

### ABSTRACT

*The western part of the North East Java Basin is a hydrocarbon prospect area that faces exploration challenges due to the interference of Plio-Pleistocene volcanic products on seismic imaging. To overcome this obstacle, this study applies the GGMplus satellite data-based gravity method as an effective preliminary approach, so that the identification of subsurface structures and the distribution of limestone reservoirs can be carried out. The methods applied include the creation of a Complete Bouguer Anomaly map, separation of regional-residual anomalies using the Spectrum Analysis method, and 3D modeling using the Occam Inversion method. The results of the study revealed that there are three gravity anomaly zones (-55 to 55 mGal) that are correlated with variations in lithology and subsurface geological structures. The Spectrum Analysis method has identified a regional depth limit of 6.336 km and a residual depth of 0.285 km. 3D inversion modeling successfully identified the distribution of limestone (density 1.93-2.9 g/cm<sup>3</sup>) with a volume of ≤49,689.05 km<sup>3</sup>. These findings provide an important basis for further exploration stages with more detailed methods such as seismic surveys and drilling.*

**Keywords:** *Northeast Java Basin, Limestone, Gravity Method, Complete Bouguer Anomaly, Occam Inversion.*

## PENDAHULUAN

Cekungan Jawa Timur Utara merupakan cekungan penghasil hidrokarbon matang di Indonesia, membentang dari Semarang hingga Surabaya dengan potensi hidrokarbon pada formasi berumur Eosen hingga Pliosen. Formasi-formasi tersebut antara lain adalah Formasi Ngimbang, Kujung, Ngrayong, Wonocolo, dan Kawengan. Puncak produksi hidrokarbon pada Cekungan Jawa Timur Utara mencapai >45.000 barel minyak pada tahun 2010 (Pandito, Zainal, & Haris, 2017). Saat ini, eksplorasi geofisika difokuskan pada formasi dalam seperti Ngimbang yang terletak di Zona Rembang, di mana Formasi Ngimbang belum banyak dieksplorasi namun memiliki potensi eksplorasi yang tinggi (Darmawan & Wijaya, 2022). Kendala utama di Zona Rembang adalah gangguan produk vulkanik Plio-Pleistosen terhadap pencitraan seismik, mirip dengan kondisi di depresi Pegunungan Median Jawa (Septama dkk., 2021).

Untuk mengatasi keterbatasan ini, diperlukan metode pendahuluan yang efektif untuk meningkatkan akurasi identifikasi reservoir sebelum melakukan survei seismik dan pengeboran, sehingga dapat mengurangi pengeluaran sumber daya finansial, manusia, dan waktu. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode gravitasi, di mana data gravitasi bersumber dari data satelit GGMplus. Metode ini memungkinkan pengumpulan data tanpa perlu survei lapangan langsung, secara signifikan meningkatkan efisiensi biaya dan waktu. Data gravitasi satelit GGMplus berperan dalam mengidentifikasi variasi densitas batuan reservoir dalam skala besar melalui peta *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) dan inversi 3D berbasis Occam. Selain itu, volume batuan reservoir target juga dapat diperkirakan melalui inversi 3D berbasis Occam. Dengan menggunakan metode gravitasi ini, diharapkan dapat menjadi studi pendahuluan yang efektif untuk menentukan lokasi optimal survei seismik dan pengeboran, sehingga meningkatkan peluang keberhasilan mendeteksi target batu gamping. Penelitian menggunakan data geofisika gravitasi sebelumnya telah dilakukan di Sanggau, Kalimantan Barat, untuk memetakan sebaran potensi batuan reservoir (Indragiri & Sumarni, 2019). Hasil pemodelan tersebut memberikan informasi awal mengenai estimasi potensi hidrokarbon pada reservoir tersebut.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Bagian Barat Cekungan Jawa Timur Laut, seperti terlihat pada Gambar 1. Data gravitasi satelit yang digunakan dalam studi ini diperoleh dari situs GGMplus (<https://ddfe.blazebucha.com/models/>) dan melalui tahap pemrosesan awal serta koreksi data. Wilayah penelitian dibatasi oleh koordinat geografis tertentu (Tabel 1), yang digunakan sebagai acuan dalam mengunduh data gravitasi satelit dari platform GGMplus. Beberapa koreksi yang diterapkan pada data gravitasi yang diperoleh selama proses akuisisi meliputi koreksi drift, koreksi pasang surut, koreksi lintang dan bujur, koreksi udara bebas, koreksi medan, serta koreksi Bouguer (Telford, 1990). Setelah proses koreksi, nilai *Complete Bouguer Anomaly* dipetakan untuk menilai sebaran nilai densitas batuan area penelitian.



**Gambar 1. Peta *Complete Bouguer Anomaly* Bagian Barat Cekungan Jawa Timur Utara (Google Earth Pro, 2025)**

**Tabel 1. Koordinat Area Penelitian**

Longitude	Latitude
110°13'54.63"E	6°47'16.62"S
110°13'54.63"E	7°19'28.19"S
111°27'0.55"E	6°47'16.62"S
111°27'0.55"E	7°19'28.19"S

Metode *Spectrum Analysis* diterapkan pada data anomali Bouguer untuk memperkirakan kedalaman anomali regional dan residual. Kedalaman zona regional dan residual dihitung menggunakan nilai gradien dari garis linear, di mana kedalaman anomali regional digunakan untuk memperkirakan kedalaman model 3D (Pirttijärvi, 2004). Lebar window filter yang digunakan dalam pemisahan kedua anomali tersebut juga dapat ditentukan melalui metode ini. Proses analisis dilakukan secara satu dimensi dengan memanfaatkan deret Fourier, yang mengubah data dari domain waktu atau spasial ke domain frekuensi. Ekspansi anomali Bouguer yang terdistribusi dilakukan menggunakan transformasi Fourier, dengan persamaan matematis sebagai berikut (Blakely, 1996):

$$F(k) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-i} \quad (1)$$

Di mana:

- F(k) : Representasi Sinyal dalam Domain Frekuensi
- f(x) : Fungsi Anomali Bouguer dalam Domain Spasial
- k : Bilangan Gelombang (Frekuensi Spasial)
- i : Unit Imajiner

Metode inversi 3D digunakan untuk memodelkan struktur bawah permukaan. Dalam pembuatan model densitas 3D, data anomali gravitasi diinversi sehingga dapat menghasilkan penampang 2D atau 3D dari model yang diperoleh (Pirttijärvi, 2004). Proses ini menggabungkan menggunakan sebuah metode inversi yang dinamakan *Occam inversion*. Dalam pemodelan inversi, *Occam inversion* memanfaatkan parameter kekasaran (*roughness*) model. Metode ini mampu meminimalkan dan menciptakan kesalahan yang kecil antara data observasi dan hasil perhitungan, baik dalam hal nilai densitas maupun

dimensi. Secara matematis, *Occam inversion* dapat dinyatakan sebagai berikut (Constable, Parker, dan Constable, 1987):

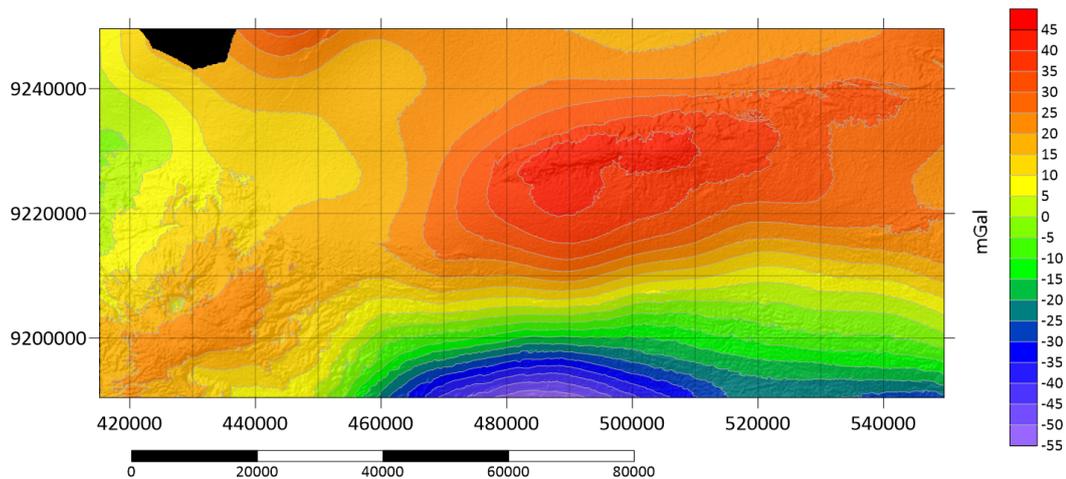
$$U = \|\partial m\|^2 + \mu^{-1} \{ \|Wd - WGm\|^2 - X_*^2 \}$$

Di mana:

- $\|\partial m\|^2$  : Kekasaran (*roughness*)
- $\mu^{-1}$  : *Lagrange multiplier*
- $\|Wd - WGm\|^2$  : *Misfit*
- $X_*^2$  : error

### HASIL DAN PEMBAHASAN

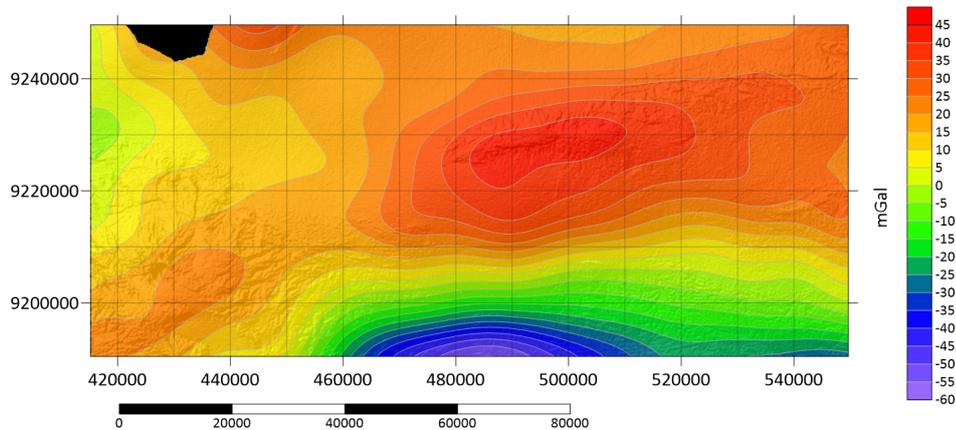
Peta *Complete Bouguer Anomaly* (Gambar 2) memperlihatkan variasi pola kontur yang dapat dikelompokkan menjadi tiga zona anomali berdasarkan besaran nilai. Zona anomali rendah dengan kisaran -55 hingga -20 mGal teridentifikasi di bagian selatan peta yang ditandai dengan dominasi warna ungu sampai biru. Anomali sedang berkisar antara -21 sampai 15 mGal menyebar di wilayah selatan-tenggara hingga bagian barat, divisualisasikan melalui gradasi warna hijau hingga kuning. Sementara itu, anomali tinggi dengan nilai 16-55 mGal mendominasi area barat daya hingga timur laut yang ditunjukkan oleh spektrum warna jingga sampai merah. Variasi nilai densitas ini mencerminkan kontras rapat massa batuan bawah permukaan yang dipengaruhi oleh perbedaan komposisi litologi maupun keberadaan struktur geologi seperti sistem patahan di daerah penelitian.



**Gambar 2. Peta *Complete Bouguer Anomaly* Bagian Barat Cekungan Jawa Timur Utara**

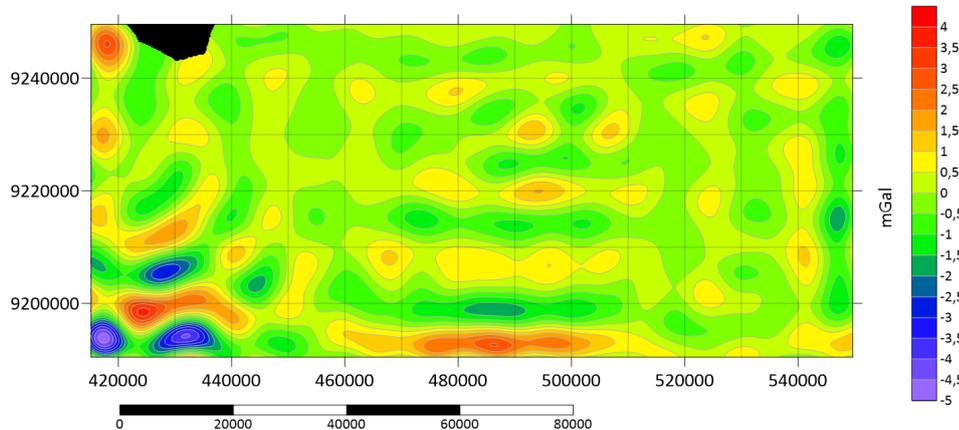
Analisis pemisahan anomali menggunakan metode *Spectrum Analysis* mengungkapkan pola anomali regional yang cukup seragam. Anomali regional ini mencerminkan variasi densitas batuan pada kedalaman dengan pola yang halus dan merata, sementara anomali residual menampilkan pola yang lebih tidak beraturan dan detail. Kedua pola anomali ini secara jelas menggambarkan kondisi geologi lokal, di mana bentuk lengkungan kurva yang terbentuk selaras dengan ciri geologi khas daerah penelitian (Gambar 3). Hasil perhitungan metode *Spectrum Analysis* menunjukkan bahwa anomali regional memiliki rentang nilai antara -60 hingga 50 mGal. Pada peta, zona anomali rendah teridentifikasi di bagian selatan dengan warna dominan ungu sampai biru. Wilayah selatan, tenggara, dan barat menunjukkan anomali sedang yang ditampilkan dalam gradasi warna

hijau hingga kuning. Sedangkan zona anomali tinggi, yang ditandai dengan warna jingga sampai merah, mendominasi area yang membentang dari barat daya hingga timur laut peta. Variasi nilai anomali ini secara jelas merefleksikan perbedaan karakteristik batuan bawah permukaan di daerah studi.



**Gambar 3. Peta Anomali Regional Bagian Barat Cekungan Jawa Timur Utara**

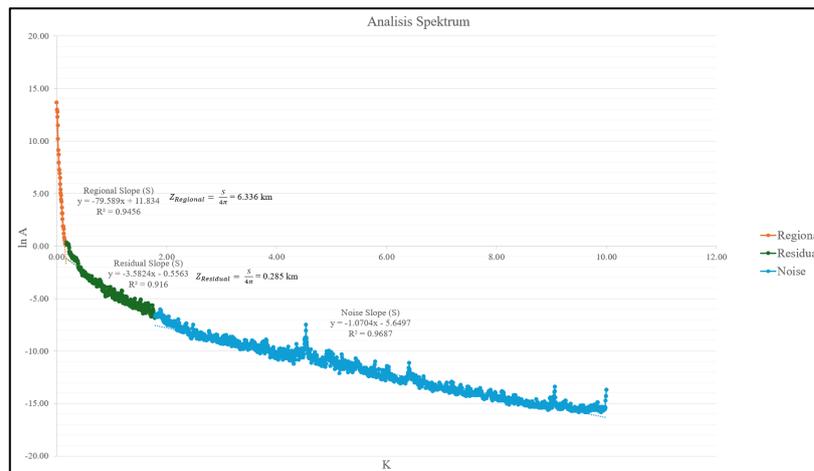
Metode *Spectrum Analysis* mampu menggambarkan kondisi geologi nyata secara akurat karena tidak hanya memisahkan anomali regional dan residual, tetapi juga melakukan penyaringan noise dari anomali residual. Pada peta kontur anomali residual hasil pengolahan *Spectrum Analysis* (Gambar 4), teridentifikasi sebaran anomali dengan intensitas sedang hingga tinggi yang berarah barat-selatan pada bagian Tengah peta. Pola sebaran ini dapat mengindikasikan adanya struktur patahan di daerah tersebut.



**Gambar 4. Peta Anomali Residual Bagian Barat Cekungan Jawa Timur Utara**

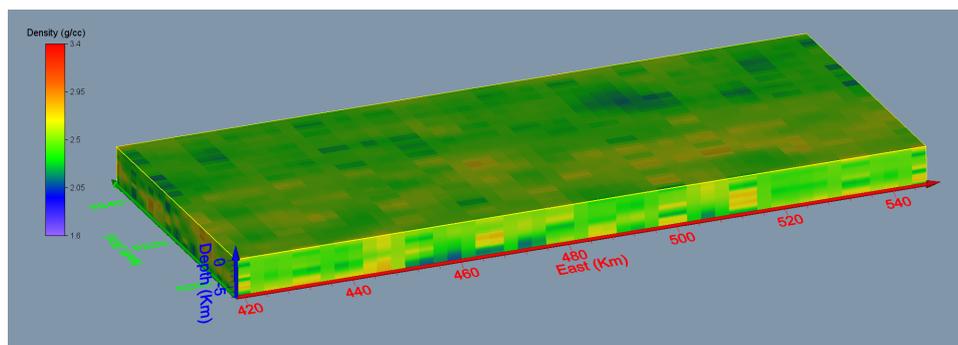
*Spectrum Analysis* dilakukan untuk memperkirakan kedalaman batuan dangkal (residual) dan batuan dalam (regional), di mana grafik *Spectrum Analysis* ditunjukkan pada Gambar 5. Grafik tersebut menampilkan plot antara logaritma natural dari energi anomali ( $\ln A$ ) terhadap bilangan gelombang ( $k$ ). Data warna oranye menunjukkan zona regional, data hijau menunjukkan zona residual, dan warna biru menunjukkan noise data. Dalam *Spectrum Analysis*, dihasilkan perkiraan nilai kedalaman diskontinuitas pada zona regional dan zona residual. Gradien pada garis lurus menunjukkan estimasi kedalaman. Berdasarkan grafik *Spectrum Analysis*, batas kedalaman anomali regional adalah 6.336 km di bawah

permukaan, sedangkan batas kedalaman anomali residual adalah 0.285 km di bawah permukaan.

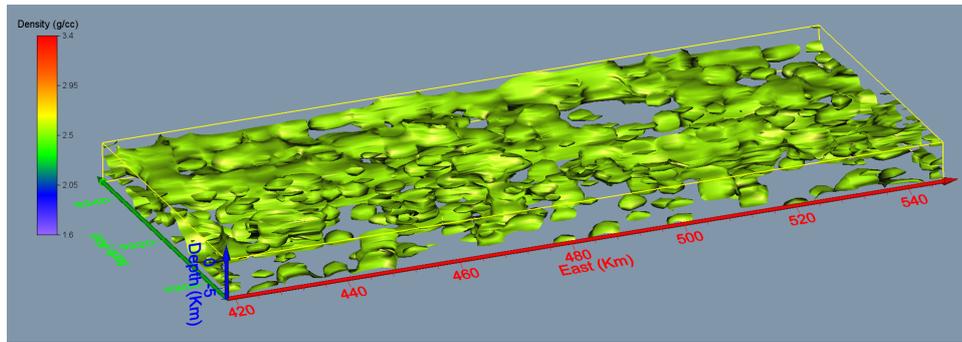


**Gambar 5. Grafik *Spectrum Analysis***

Proses inversi peta Anomali Residual dilakukan dengan nilai parameter densitas  $2,164 \text{ g/cm}^3$  dan rentang skala densitas antara  $1,6\text{--}3,4 \text{ g/cm}^3$ . Inversi ini melibatkan beberapa tahap optimasi, yaitu optimasi dasar (*Base*), densitas (*Density*), metode Occam untuk densitas (*Occam-d*), tinggi blok (*Heights*), dan metode Occam untuk tinggi blok (*Occam-h*). Hasil inversi berupa penampang 2D densitas pada setiap kedalaman kemudian digabungkan menjadi model 3D, di mana model 3D densitas ini merepresentasikan sebaran densitas batuan di daerah tersebut (Gambar 6). Densitas batugamping berkisar antara  $1,93\text{--}2,9 \text{ g/cm}^3$ , ditunjukkan oleh warna dari biru hingga oranye. Untuk menghitung volume batugamping, digunakan densitas rata-rata sebesar  $2,55 \text{ g/cm}^3$ . Volume batugamping dengan densitas  $2,55 \text{ g/cm}^3$  diperkirakan  $\leq 49.689,05 \text{ km}^3$ , dengan sebarannya ditampilkan pada Gambar 7.



**Gambar 6. Model Penampang Inversi Gravitasi 3D Bagian Barat Cekungan Jawa Timur Utara**



**Gambar 7. Model 3D Volumetrik dari Sebaran Batugamping di Cekungan Jawa Timur Utara**

### KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peta *Complete Bouguer Anomaly* mengidentifikasi tiga zona anomali dengan karakteristik yang berbeda, yakni anomali rendah (-55 hingga -20 mGal) di selatan, anomali sedang (-21 sampai 15 mGal) di selatan-tenggara hingga barat, dan anomali tinggi (16-55 mGal) di barat daya hingga timur laut, yang mencerminkan variasi densitas batuan bawah permukaan akibat perbedaan litologi dan struktur geologi seperti patahan. Metode *Spectrum Analysis* berhasil memisahkan anomali regional dengan anomali residual, dengan kedalaman regional mencapai 6,336 km dan residual 0,285 km, serta mengindikasikan adanya struktur patahan di bagian tengah peta berdasarkan pola sebaran dari peta anomali residual. Pemodelan inversi 3D dengan parameter densitas 2,164 g/cm<sup>3</sup> dan rentang skala densitas 1,6-3,4 g/cm<sup>3</sup> melalui tahapan optimasi *Base*, *Density*, *Occam-d*, *Heights*, dan *Occam-h*, sehingga menghasilkan model 3D yang menunjukkan sebaran batugamping (1,93-2,9 g/cm<sup>3</sup>). Perhitungan volumetrik menggunakan densitas rata-rata 2,55 g/cm<sup>3</sup> menghasilkan sebaran batugamping (1,93–2,9 g/cm<sup>3</sup>) dengan volume  $\leq 49.689,05$  km<sup>3</sup>. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memberikan gambaran awal mengenai struktur geologi bawah permukaan melalui pendekatan metode gravitasi. Temuan ini bersifat preliminar namun penting sebagai dasar untuk tahap eksplorasi lebih lanjut dengan menggunakan metode geofisika yang lain seperti Seismik dan Log Sumur.

## REFERENSI

- Blakely, R. J. (1996). Potential theory in gravity and magnetic applications. Cambridge university press.
- Constable, S. C., Parker, R. L., & Constable, C. G. (1987). Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data. *Geophysics*, 52(3), 289-300.
- Darmawan, H. I., & Wijaya, A. K. (2022). Characteristics of Eocene Carbonate Reservoir– A Case Study of Ngimbang Carbonate in North Madura Platform, East Java Basin. Forty-Sixth Annual Convention & Exhibition, Indonesian Petroleum Association.
- Indragiri, Noor & Sumarni. (2019). Inversion Modelling 3D Gravity for Hydrocarbon Identification at Sanggau, West Borneo. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 318. 012025. 10.1088/1755-1315/318/1/012025.
- Pandito, R. H., Zainal, R. M., & Haris, I. R. A. (2017). New Perspective for Exploration: Hydrocarbon Potential of Ngimbang Formation-Northeast Java Basin. Joint Convention Malang 2017, HAGI – IAGI – IAFMI – IATMI (JCM2017).
- Pirttijärvi, M. (2004). GRABLOX: Gravity interpretation and modeling software based on a 3-D block model. Geological Survey of Finland.
- Septama, Erlangga & Prasetyadi, C. & Abdurrokhim, Abdurrokhim & Setiawan, T. & Mulawarman, A. & Haryanto, Iyan & Rachman, Muhammad & Novianto, A. & Setiawan, J. & Sutadiwiria, Yarra & Syaifudin, M. & Ryacudu, R. & Adhiperdhana, B. & Wardaya, Pongga & Rossa, V. & Pratama, Rossy. (2021). Java volcanic arc: what lies beneath? the overlooked subvolcanic petroleum potential in Java Island. 1-6. 10.3997/2214-4609.202171011.
- Telford, W. M., Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). Applied geophysics. Cambridge University Press.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).