

FORWARD MODELLING METODE GAYABERAT DENGAN MODEL INTRUSI DAN PATAHAN MENGGUNAKAN OCTAVE

Muhammad Nurul*, Aisah Yuliantina, Aprillia Yulianata, Ida Bagus Suananda Yogi, dan Syamsurijal Rasimeng

Teknik Geofisika, Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumatri Brojonegoro No. 1, Lampung 35145, Indonesia

*Corresponding author. Email: mnurul21.21@gmail.com

Manuscript received: 24 May 2020; Received in revised form: 29 July 2020; Accepted: 23 September 2020

Abstrak

Metode gayaberat merupakan metode eksplorasi geofisika untuk mengukur variasi percepatan gayaberat di permukaan bumi sebagai respon variasi batuan yang ada di bawah permukaan. Pada eksplorasi gayaberat memerlukan gambaran awal sebagai acuan dari pengukuran. Penelitian ini bertujuan untuk membuat pemodelan sintetik *forward modelling* berbasis OCTAVE dengan menggunakan data sintetik struktur batuan di bawah permukaan, sehingga menghasilkan model intrusi dan patahan berdasarkan perbedaan nilai percepatan gayaberat dari satu titik ke titik lain di permukaan bumi. Pemodelan sintetik dengan pendekatan parameter geologi wilayah penelitian didasarkan pada variasi harga densitas batuan. Parameter model yang digunakan pemodelan intrusi yakni nilai densitas sebesar $2,7 \text{ g/cm}^3$ dan kedalaman 850 meter sedangkan pemodelan patahan menggunakan nilai densitas $2,7 \text{ g/cm}^3$ dengan kedalaman 350 meter dan 360 meter serta ketebalan 500 meter. Dari pemodelan intrusi didapatkan nilai gaya tarik vertikal 0,03 mGal dan pada pemodelan patahan didapatkan nilai gaya tarik vertikal 0,0565 mGal. Berdasarkan hasil pemodelan ini diperoleh kurva jarak vs respon anomali gayaberat untuk kedua kasus. Pada model batuan intrusi diperoleh model profil dengan tipe terbuka ke bawah. Sedangkan pemodelan patahan didapatkan variasi kurva profil anomali yang menyatakan bahwa pada daerah patahan dengan perubahan arah kurva yang signifikan.

Kata Kunci: *Forward modeling*; Gayaberat; Intrusi; OCTAVE; Patahan.

Abstract

The gravity method is a geophysical exploration method to measure variations in the acceleration of gravity on the surface of the earth in response to variations in rocks that exist beneath the surface. In gravity exploration requires a preliminary picture as a reference for measurement. This study aims to make forward modeling synthetic OCTAVE based using synthetic data on subsurface rock structures, so as to produce intrusion and fracture models based on differences in the value of the acceleration of gravity from one point to another on the surface of the earth. Synthetic modeling with the geological parameter approach of the study area is based on variations in the price of rock density. The model parameters used in intrusion modeling are the density value of 2.7 g/cm^3 and the depth of 850 meters while the fracture modeling uses a density value of 2.7 g/cm^3 with a depth of 350 meters and 360 meters and a thickness of 500 meters. From intrusion modeling, the gravity vertical component of attraction force is 0.03 mGal and in the fracture modeling the gravity vertical component of attraction force is 0.0565 mGal. Based on the results of this modeling, distance curve vs. gravity anomaly response is obtained for both cases. In the intrusion rock model obtained by the profile model with an open type down. While the fracture modeling is obtained anomalous profile curve variation which states that in the fracture area with a significant change in the direction of the curve.

Keywords: Forward modeling; Gravity; Intrusion; OCTAVE; Fracture.

Pendahuluan

Metode gayaberat merupakan metode yang mempunyai tingkat kepekaan akan perubahan arah lateral atau vertikal. Oleh sebab itu, metode ini banyak dipergunakan untuk menggambarkan endapan sungai purba, struktur geologi, intrusi batuan, cekungan sedimen, batuan dasar, dan lain-lain. Perbedaan pada nilai densitas bisa disebabkan oleh perbedaan antara jarak pusat bumi ke permukaan dan perbedaan topografi. Hal ini dapat menimbulkan beragam nilai medan gayaberat pada permukaan bumi (Sarkowi, 2014). Ragam spasial pada gayaberat timbul karena adanya heterogenitas massa bumi. Sedangkan, ragam temporal ditimbulkan karena adanya efek tidal atau pasang surut akibat benda di luar angkasa dan adanya pergerakan fluida dan gas di bumi (Handayani, 2017).

Semua nilai anomali gayaberat ditimbulkan karena adanya penyebaran densitas secara lateral tidak homogen. Apabila bumi tersusun atas lapisan-lapisan yang memiliki nilai densitas seragam dalam kondisi horizontal akan menyebabkan tidak timbulnya anomali gayaberat. Bentuk dan besar dari anomali gayaberat dipengaruhi oleh densitas bawah permukaan, kedalaman, luas horizontal, dan besarnya. Timbulnya nilai gayaberat anomali disebabkan oleh kepadatan kontras, kedalaman batuan, dan dimensi anomali (Murti, 2016).

Menurut Grandis (2009), guna mendapatkan distribusi sifat fisis bawah permukaan biasanya dapat melalui proses pemodelan. Dengan kata lain, model akan mewakili keadaan sifat fisik bawah permukaan yang disebabkan oleh benda anomali dengan besaran fisis dan geometri tertentu. Tujuan mewakili keadaan sifat fisik bawah permukaan menggunakan model supaya permasalahan dapat

disederhanakan dan respons model dapat dihitung secara teori dengan menggunakan teori fisika. Pada model akan mewakili besaran maupun parameter fisis yang berbeda pada posisi (variasi spasial). Model yang dipergunakan harus dapat menggambarkan distribusi spasial dari parameter fisis tersebut. Hubungan antara respon pada model dengan parameter model bawah permukaan diibaratkan dengan persamaan matematika yang didapatkan dari dasar fisika pada materi yang diamati. Contohnya dalam perhitungan gayaberat, pada suatu distribusi rapat massa dengan bentuk geometri sederhana yaitu bola homogen akan menimbulkan efek seperti anomali percepatan gayaberat di atas permukaan bumi. Parameter model merupakan nilai dari rapat massa, kedalaman bola dari permukaan bumi, dan jari-jari bola. Sedangkan respon dari model merupakan percepatan gayaberat yang diakibatkan dari bola di permukaan bumi. Respon model didapatkan pada posisi sepanjang lintasan (x) yakni variabel bebas.

Terdapat dua pemodelan yang biasanya digunakan untuk interpretasi data, yaitu pemodelan maju gayaberat dan pemodelan inversi. Pemodelan maju atau *forward modelling* merupakan pemodelan untuk menjabarkan data dari suatu pemodelan dengan menghitung respon teoritis dan distribusi sifat dari sumber anomali. Pada pemodelan inversi atau *inversion modelling* merupakan pemodelan yang dipergunakan untuk menjabarkan pemodelan dari data hasil pengukuran di lapangan dengan menganalisa kajian teoritis terhadap model yang didapatkan. Pemodelan dapat dengan mudah diselesaikan jika dilakukan penerjemahan pada suatu bahasa pemrograman. Banyak bahasa pemrograman yang bisa dipergunakan untuk mendapatkan suatu pemodelan yaitu FORTRAN, C++, OCTAVE, dan MATLAB. Tetapi bahasa pemrograman

C++ dan FORTRAN kurang interaktif guna menjabarkan kasus pemodelan (Irwansyah, 2013).

Untuk menjelaskan suatu permasalahan diperlukannya pemahaman yang bagus terkait permasalahan itu sendiri (Andrew, 1999). Hal ini diperlukan untuk memudahkan dalam mendapatkan suatu rumusan algoritma untuk memecahkan masalah. Rumusan tersebut bisa disusun kedalam bentuk *pseudo-code* maupun *flowchart* (Carrly, 1989). Setelah mendapatkan perumusan untuk menyelesaikan suatu masalah maka langkah selanjutnya yang harus dilakukan yaitu melakukan implementasi, proses ini bertujuan untuk menentukan bahasa pemrograman yang cocok serta melakukan *trial and error* mengenai bahasa pemrograman yang digunakan untuk penyelesaian masalah. Penerapan tersebut mengacu pada algoritma yang telah disusun pada langkah sebelumnya, yakni variabel-variabel yang digunakan atau alur program (Budi, 2011). Selain itu, untuk kebutuhan validasi maka penelitian ini akan dilakukan pengujian pada bahasa pemrograman yang dibuat. Guna menguji berjalan atau tidak program yang dimasukan serta memastikan jalannya program sesuai dengan yang diinginkan (Proaksis, 2000).

Pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *forward modelling*, hal ini dikarenakan data yang digunakan merupakan data sintetik. Penelitian ini penting dilakukan karena untuk mengetahui percepatan nilai gayaberat dengan menggunakan data sintetik yang dibuat, apakah data sintetik yang dibuat benar dan sesuai sehingga dapat dijalankan, serta diharapkan mendapatkan model intrusi dan patahan yang sesuai dan dapat dijalankan pada program yang digunakan. Patahan adalah bentuk struktur geologi akibat proses perubahan posisi batuan akibat bekerjanya tenaga endogen yang menekan struktur batuan keras sehingga antara

struktur batuan atau lapisan satu dan lainnya menjadi terpisah (Suntoko, 2017).

Forward modelling pada metode gayaberat didasarkan pada perhitungan medan gayaberat akibat beberapa distribusi massa maupun topografi, dalam domain spasial sehingga penelitian ini sangat bermanfaat dalam bidang keteknikan. Perubahan nilai gayaberat pada setiap titik di permukaan bumi dapat dimanfaatkan untuk melakukan interpolasi maupun prediksi pada bidang konstruksi (Hirt, 2014).

Forward modelling menunjukkan perhitungan medan gayaberat yang dihasilkan oleh beberapa distribusi massa sumber. Pondasi *forward modelling* adalah hukum gayaberat universal Newton (1687) yang menyatakan bahwa gaya tarik F antara dua benda sebanding dengan produk massa m , M dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak r :

$$F = G \frac{mM}{r^2} \quad (1)$$

dengan $G = 6,67384 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$ adalah konstanta gayaberat universal (Mohr et al., 2012).

Penelitian ini pernah dilakukan Umboh (2018), dengan target yang belum sempurna sehingga dilakukan penyempurnaan untuk dapat melihat model intrusi batuan bawah permukaan maupun struktur geologi yang berupa patahan dan nilai gaya tarik vertikalnya. Pemodelan ini dapat digunakan sebagai acuan untuk melakukan desain survei. Serta diharapkan dapat digunakan untuk melakukan *forward modelling* menggunakan suatu program OCTAVE, tidak hanya menggunakan *software* yang biasa digunakan untuk pemodelan gayaberat saja, seperti *software* Grav2dc. Program ini dapat dimodifikasi dan disesuaikan dengan kebutuhan yang tidak bisa diselesaikan dengan program yang sudah ada, misalnya ingin mengembangkan ke metode yang lebih spesifik untuk pendekatan *machine learning*.

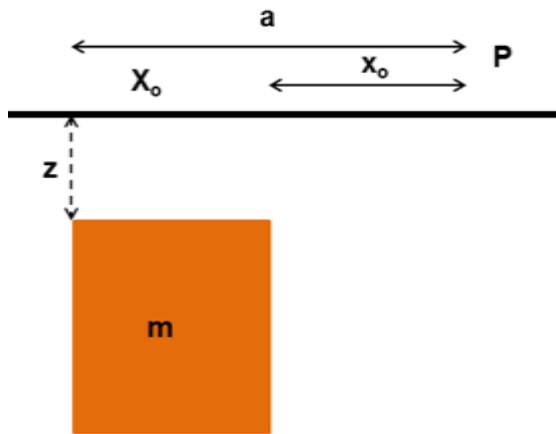
Metode Penelitian

Bahan dan Peralatan

Penelitian ini menggunakan seperangkat laptop dengan spesifikasi prosesor core i3 dengan RAM 4 GB dan diimplementasikan dalam bahasa pemrograman OCTAVE yang merupakan *software open source* untuk menjalankan komputasi program. Selain itu parameter model sintetik berupa harga densitas batuan dan kedalaman anomali menggunakan hasil pengukuran metode geomagnetik yang telah dilakukan oleh Alimuddin dkk. (2011), Rasimeng (2008), dan Rasimeng (2011). Kemudian terdapat *software* Grav2dc yang digunakan untuk validasi hasil pemrograman.

Konsep Pemodelan Intrusi

Penting untuk diketahui bahwa dalam melakukan pemodelan gayaberat tidak ada solusi yang unik. Hasilnya harus mendekati keadaan di wilayah penelitian. Berikut gambaran pemodelan intrusi (Gambar 1) yang digunakan,



Gambar 1. Model intrusi (Umboh, 2018).

Persamaan algoritma untuk model intrusi

$$gz = G\rho(a \log\left(\frac{a^2+z^2}{a^2}\right) - (b \log\left(\frac{b^2+z^2}{b^2}\right) + (2z \tan^{-1}\frac{a}{z} - \tan^{-1}\frac{b}{z}))) \quad (2)$$

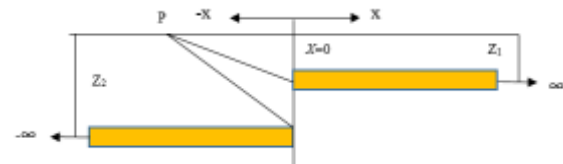
Keterangan:

- g_z = gaya tarik vertikal dalam mGal
- G = konstanta gayaberat (m^3/kgs^2)
- ρ = massa jenis batuan (gr/cm^3)

- a = setengah panjang model kotak ditambah dengan $x(i) - x_0$ (m)
- b = jarak lokasi pengukuran ke intrusi (m)
- z = kedalaman (m)

Konsep Pemodelan Patahan

Berikut adalah gambaran yang mendasari pemodelan patahan (Gambar 2).



Gambar 2. Model patahan (Thousmalani, 2010).

Persamaan algoritma untuk model patahan

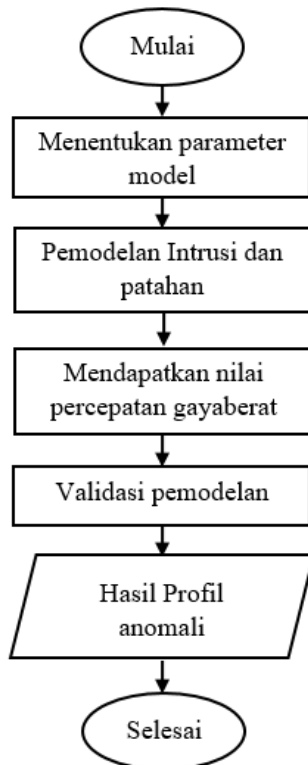
$$g_{\text{vertically faulted sheet}} = 2G \times 10^5 \times \rho_c t \left[\left(\frac{\pi}{2} + \tan^{-1}\frac{x}{z_1} \right) \left(\frac{\pi}{2} - \tan^{-1}\frac{x}{z_2} \right) \right] \quad (3)$$

Keterangan:

- x_0 = lokasi patahan
- G = konstanta gayaberat (m^3/kgs^2)
- ρ_c = massa jenis batuan (gr/cm^3)
- t = ketebalan lapisan (m)
- z_1 = kedalaman lapisan ke-1 (m)
- z_2 = kedalaman lapisan ke-2 (m)

Flowchart Penelitian

Pada penelitian ini parameter model data nilai densitas dan data kedalaman yang dipilih akan diolah kedalam program OCTAVE yang telah disiapkan. Pada program data tersebut diolah dengan algoritma model intrusi dan model patahan seperti diatas. Pengolahan akan melewati perhitungan gaya tarik vertikalnya, selanjutnya akan dilakukan proses plot nilai densitas. Setelah itu, akan dilakukan proses pemodelan dengan hasil akhir berupa gambaran profil pemodelan anomali intrusi dan anomali patahan, sehingga memodelkan keadaan bawah permukaan daerah yang diukur. Adapun *flowchart* atau diagram alir penelitian yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



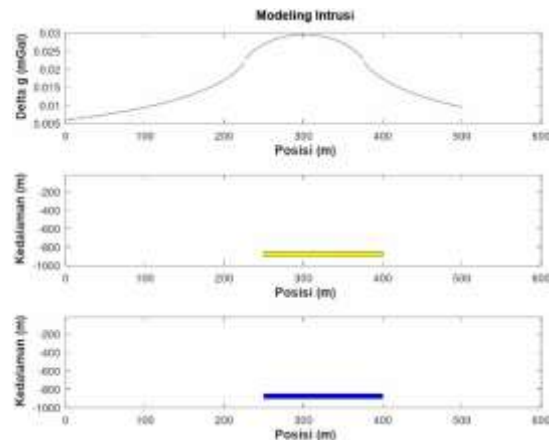
Gambar 3. Flowchart penelitian.

Hasil dan Pembahasan

Pemodelan gayaberat dengan bentuk anomali intrusi dan anomali patahan dilakukan dengan menggunakan parameter model data densitas dan kedalaman yang didapatkan dari metode geomagnetik. Nilai densitas pada penelitian ini menggunakan hasil dari penelitian yang dilakukan oleh (Alimuddin dkk., 2011). Data parameter model nilai densitas dan kedalaman dimasukkan pada pemodelan intrusi untuk membuktikan apakah program yang dibuat dapat berjalan dengan baik dan juga pemodelan dapat menggambarkan anomali bawah permukaan.

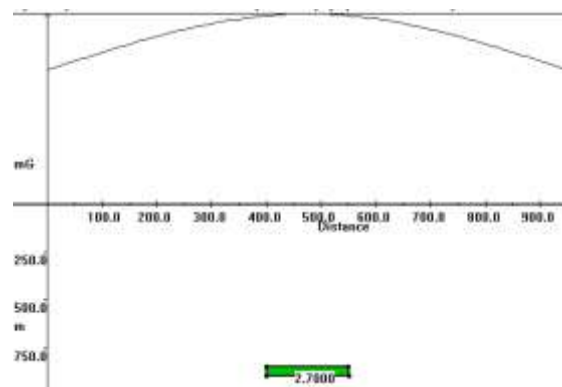
Berdasarkan pemodelan pada Gambar 4, nilai densitas batuan yang digunakan masing-masing $2,7 \text{ gr/cm}^3$ atau 2700 kg/m^3 . Kedalaman anomali batuan sebesar 850 meter dengan ketebalan lapisan batuan 50 meter. Hasil pemodelan sintetik pada profil memperlihatkan bahwa kurva batuan ke-1 terhimpit oleh kurva batuan ke-2, dan diperoleh gaya tarik vertikal sebesar $0,03 \text{ mGal}$. Pada profil pemodelan anomali

intrusi respon pada kurva naik kemudian turun menampakkan adanya anomali yang berada dibawah permukaan.



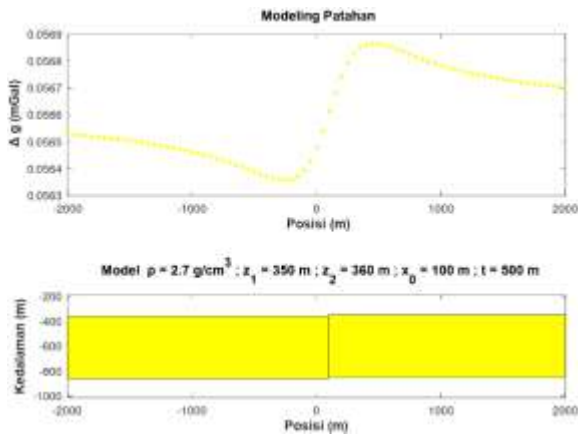
Gambar 4. Profil pemodelan anomali intrusi.

Validasi program dilakukan guna menguji apakah program dapat menggambarkan anomali intrusi dan anomali patahan dengan menggunakan data Alimuddin dkk. (2011), Rasimeng (2008), dan Rasimeng (2011). Program yang digunakan adalah *software* Grav2dc sehingga didapatkan profil penampang anomali (Gambar 5) di bawah.



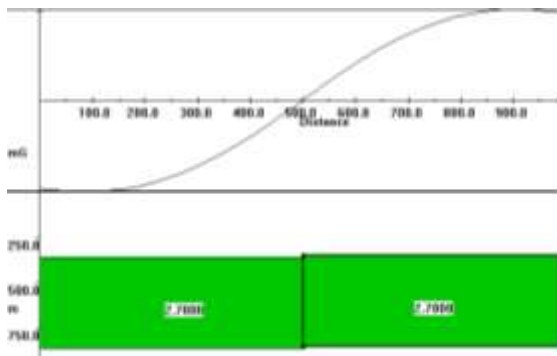
Gambar 5. Validasi pemodelan anomali patahan.

Gambar di atas merupakan profil pemodelan intrusi menggunakan *software* Grav2dc. Nilai densitas yang digunakan $2,7 \text{ gr/cm}^3$ dengan kedalaman anomali batuan sebesar 850 meter dan ketebalan lapisan batuan 50 meter. Hasil pemodelan dan kurva memiliki respon yang sama dengan hasil pemodelan program OCTAVE. Berdasarkan hal tersebut program dapat berjalan dengan baik dan berhasil.



Gambar 6. Profil pemodelan anomali patahan.

Berdasarkan pemodelan di atas (Gambar 6) nilai densitas batuan yang digunakan masing-masing $2,7 \text{ gr/cm}^3$ atau 2700 kg/m^3 . Kedalaman anomali batuan sebesar 350 meter dan patah sedalam 10 meter dengan ketebalan lapisan batuan 500 meter. Diperoleh juga nilai gaya tarik vertikal sebesar $0,0565 \text{ mGal}$ pada titik patahannya. Hasil profil pemodelan sintetik memperlihatkan bahwa kurva anomali patahan berubah arah secara signifikan yang menandakan adanya patahan.



Gambar 7. Validasi pemodelan anomali patahan.

Gambar 7 merupakan validasi profil pemodelan patahan menggunakan *software* Grav2dc. Nilai densitas yang digunakan $2,7 \text{ gr/cm}^3$ dengan kedalaman 350 meter dengan selisih patahan 10 meter. Hasil pemodelan beserta kurva memiliki respon yang memiliki kesamaan dengan hasil pemodelan program OCTAVE, dengan begitu program berjalan dengan baik.

Pada kedua model didapatkan bahwa parameter model yakni densitas dan

kedalaman memiliki peranan yang penting dalam membentuk nilai perubahan gayaberat, sebagaimana yang telah dijelaskan dalam Katrinavia dkk. (2015). Pada kedua model didapatkan perbedaan nilai percepatan gayaberat sebagaimana persamaan percepatan gayaberat sama dengan perkalian konstanta gayaberat dengan massa bumi dibagi dengan jari-jari bumi, dalam hal ini diasumsikan kedalaman. Sehingga didapatkan pemodelan patahan memiliki nilai lebih besar dari pemodelan intrusi karena kedalaman pemodelan patahan lebih dangkal daripada pemodelan intrusi. Program pemodelan ini bila menggunakan model geometri yang berbeda maka harus menggunakan formula yang disesuaikan dengan model geometri tersebut.

Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa pada profil pemodelan intrusi didapatkan bahwa respon kurva terbuka kebawah yang menandakan adanya anomali pada titik pengukuran. Dari profil pemodelan intrusi didapatkan nilai gaya tarik vertikal $0,03 \text{ mGal}$. Pada profil pemodelan patahan juga didapatkan perbedaan nilai yang menyatakan bahwa terdapat daerah patahan pada perubahan arah kurva yang signifikan dan dari profil pemodelan patahan didapatkan nilai gaya tarik vertikal $0,0565 \text{ mGal}$. Pemodelan anomali gayaberat dapat menggunakan parameter kedalaman posisi dan densitas. Program OCTAVE yang dibuat berhasil dijalankan, menandakan pemodelan ini dapat digunakan dalam memodelkan anomali gayaberat sebelum dilakukan pengukuran di lapangan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami ucapkan kepada Eureka Blessing Gracia Umboh dan teman-teman yang telah membantu banyak memberikan semangat dan masukan

sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

- Alimuddin., Rasimeng, S., dan Brotopuspito, K. S. 2011. *Pemodelan Struktur Geologi Berdasarkan Data Geomagnetik Di Daerah Prospek Geothermal Gunung Rajabasa*. In: Seminar Nasional Sains Dan Teknologi– IV. Bandar Lampung, pp.197–208.
- Andrew, K. 1999. *Basics of Matlab and Beyond*. Jakarta : Erlangga.
- Budi, R. 2011. *Pemrograman*. Bandung: Informatika Bandung.
- Carrly. 1989. *OCTAVE User's Guide*. New York: The Math Works inc.
- Grandis, H. 2009. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Handayani, L. dan Wardhana, D. D. 2017. *Eksplorasi Gayaberat untuk Airtanah dan Topografi Batuan Dasar di Daerah Serang, Banten*. Riset Geologi dan Tambang, 27(2), pp.157–167.
- Hirt, C. and Kuhn, M. 2014. *A band-limited topographic mass distribution generates a full-spectrum gravity field – gravity forward modelling in the spectral and spatial domain revisited*. Journal of Geophysical Research – Solid Earth, 119, pp.3646–3661.
- Irwansyah., Khairuman, T. dan Ismail, N. 2013. *No Design of Inversion Modelling 1-D Gravity Data Using a Method of Singular Value Decomposition (SVD) Based on Matlab Title*. Journal of The Aceh Physical Society, 2, pp.1–6.
- Katrinavia, Y. P., Setyawan, A. dan Supriyadi. 2015. *Pemodelan Anomali Gaya Berat Akibat Curah Hujan dan Dinamika Air Tanah di Daerah Semarang*. Jurnal Fisika Indonesia, 19(55), pp.42–44.
- Mohr, P. J., Taylor B.N. and Newell, D. B. 2012. *CODATA recommended values of the fundamental physical constants: 2010*. Reviews of Modern Physics, 84, pp.1527-1605.
- Murti, M. D. dan Nurhasan. 2016. *Pemodelan Dua Dimensi Data Gaya Berat (Gravity) pada Zona Sesar Lembang*. Prosiding SKF 2016. Bandung, pp.305–314.
- Bauch, G., Proaksis, J. G. and Salehi, M. 2000. *Contemporary Communication System Using Matlab*. USA : Brooks/Cole.
- Rasimeng, S. 2008. *Analisis Sesar Gunung Rajabasa Lampung Selatan Sebagai Daerah Prospek Geothermal Berdasarkan Data Anomali Medan Magnet Total*. J. Sains MIPA, 14(1), pp.67–72.
- Rasimeng, S. 2011. *Penentuan Curie Point Depth Data Anomali Geomagnetik dengan Menggunakan Analisis Spektrum (Studi Kasus: Daerah Prospek Geothermal Segmen Gunung Rajabasa Lampung)*. In: Seminar Nasional Sains Dan Teknologi – Iv. Bandar Lampung, pp.325–332.
- Sarkowi, M. 2014. *Eksplorasi Gaya Berat*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Suntoko, H. dan Wicaksono, A. B. 2017. *Identifikasi Patahan pada Batuan Sedimen Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Dipole-Dipole di Tapak RDE Serpong, Banten*. Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, 19(2), pp.81–88.
- Thoushmalani, R. 2010. *Application of Gravity Method in Fault Path Detection*. Australian Journal of Basic and Applied Science. 4(12), pp.6450-6460.
- Umboh, E. B. G., Mardhotilla, A., Faturahman, R., Sulaiman, M. I., Logis, A. A. dan Al-Baany, M. F. 2018. *Forward Modeling Metode Gravity*. Komputasi Geofisika, pp.50–59.