

Pengembangan Algoritma Genetika Untuk Inversi Data Gravitasi

Al Rubaiyn¹, Jamhir Safani^{1*}, La Hamimu¹

¹Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia

Alamat e-mail: jamhir.safani@uho.ac.id

Abstrak

Inversi data gravitasi untuk interpretasi 2D struktur bawah permukaan merupakan proses penting dalam pemodelan anomali medan gravitasi. Metode algoritma genetika (AG) telah dikembangkan untuk inversi data gravitasi. Teknik optimasi ini memadukan konsep genetika biologi dengan fungsi optimasi yang bertujuan untuk memaksimalkan fungsi *fitness* melalui proses evolusi buatan. Pengujian akurasi metode ini dilakukan dengan menggunakan medan gravitasi sintetis dari dua model. Hasil inversi menunjukkan model inversi sesuai dengan model sintetis dengan nilai kesalahan rata-rata untuk solusi terbaik dibawah $9,62 \times 10^{-4}$. Untuk inversi dengan panjang *string* 1 *bit* mampu memodelkan anomali homogen benda/struktur bawah permukaan. Anomali dengan densitas bervariasi mampu dimodelkan dengan sangat akurat melalui inversi algoritma genetika untuk panjang *string* 8 *bit*.

Kata kunci: algoritma genetika, inversi gravitasi, densitas.

Abstract. Gravity data inversion for interpretation of subsurface structures is most important stage in gravity method. Genetic algorithm (GA) method has been developed, for inversion of gravity data. This optimization combines the biology genetic concept and optimization function that maximize the *fitness* with artificial evolution process. Testing the accuracy of this method is done by using a synthetic gravitational field of two models. The data is complete Bouguer anomaly at irregular surface. The result inversion shows a clear correlation between a model inversion and synthetic model with an average error value for the best solution under. Inversion with *bit string* of 1 is able to model homogeneous anomaly objects / structures subsurface. Anomaly with varying density capable modelled very accurately through genetic algorithm inversion *bit string* of 8. Interpretation of local Bouguer anomaly shows near surface structure beneath the survey area.

Key words: Genetic algorithm, gravity inversion, density.

1. Pendahuluan

Metode gravitasi merupakan salah satu metode geofisika yang digunakan untuk mengetahui struktur-struktur geologi bawah permukaan (Nabighian dkk, 2005). Penelitian gravitasi merupakan pengukuran terhadap variasi medan gravitasi bumi yang ada secara alami. Sebagai bagian dari densitas batuan, variasi-variasi lokal di dekat permukaan bumi menimbulkan perubahan kecil pada medan gravitasi utama. Variasi densitas yang relatif kecil dan seragam tersebut mengakibatkan anomali gravitasi yang dihasilkan juga kecil dan halus. (Telford dkk, 1990).

Metode inversi gravitasi bervariasi tergantung pada jenis parameter model yang dipilih, yang mungkin dari densitas atau parameter geometri dari sumber anomali gravitasi (Mantesino, 2003). Grandis (2009) dalam inversi linear data gravitasi menyebutkan bahwa jika geometri dianggap sebagai parameter model, maka inversinya menjadi non-linear.

Pendekatan untuk memecahkan fungsi non-linear dapat dilakukan dengan cara melinearkan persamaan non-linear atau dengan cara melakukan pendekatan secara global. Berdasarkan informasi tersebut selanjutnya dilakukan modifikasi model hingga ditemukan suatu model yang menghasilkan harga fungsi objektif yang mempunyai nilai minimum. Kelemahan pendekatan linear pada fungsi objektif yang non-linear ini adalah ketergantungannya pada model awal dan memiliki kemungkinan yang besar untuk konvergen menuju minimum lokal (Grandis, 2009). Teknik optimasi global melalui metode eksplorasi (acak atau sistematis) dari ruang model merupakan alternatif yang baik. Dalam hal ini, teknik optimasi berdasarkan algoritma genetika telah membuka kemungkinan baru untuk memecahkan masalah inversi dalam konteks non-linear di beberapa daerah geofisika (Mantesinos, 2003).

Algoritma genetika adalah metode pencarian yang menggunakan proses di dalam evolusi alam secara biologi. Metode optimasi ini memadukan konsep genetika biologi dengan fungsi optimasi yang bertujuan untuk memaksimumkan fungsi *fitness* melalui proses evolusi buatan (Wahyudi, 2009). Grandis (2009) menyebutkan bahwa algoritma genetika merupakan salah satu metode optimasi global yang secara praktis lebih sesuai digunakan dalam inversi geofisika yang memiliki non-linearitas tinggi.

Metode algoritma genetika terbaru (*new genetic algorithm*) oleh Hamimu (2011) dalam inversi kecepatan gelombang bawah permukaan (*surface wave phase velocity*) dikembangkan dalam penelitian ini untuk mengkaji keakuratan metode AG dalam penyelesaian inversi gravitasi. Selanjutnya metode AG terbaru ini dimanfaatkan untuk inversi data anomali gravitasi lokal Kota Kendari sehingga dapat diperoleh distribusi yang merepresentasikan struktur geologi bawah permukaan.

2. Teori Dasar

Algoritma genetika adalah metode pencarian yang menggunakan proses di dalam evolusi alam secara biologi. Metode optimasi ini memadukan konsep genetika biologi dengan fungsi optimasi yang bertujuan untuk memaksimumkan fungsi *fitness* melalui proses evolusi buatan. Dalam algoritma genetika populasi atau kumpulan individu direpresentasikan oleh sejumlah model, sedangkan konsep *fitness* dinyatakan oleh kesesuaian antara respon model dengan data. Anggota suatu populasi dalam algoritma genetika dipilih berdasarkan *fitness*-nya dan jumlah populasi dalam suatu generasi dibuat tetap (Grandis, 2009). Prosedur-prosedur dasar dalam algoritma genetika adalah pengkodean, seleksi, persilangan dan mutasi (Sen, 2013).

2.1. Pengkodean

Umumnya untuk setiap algoritma genetika, diskretisasi dari sejumlah parameter model selalu menggunakan skema pengkodean biner yang menghasilkan analog kromosom. Orde tertinggi dan

skema pengkodean direpresentasikan dalam bentuk yang lebih kompleks seperti kromosom diploid dan kromosom ganda. Konsep dasar dari pengkodean parameter-parameter fisis dengan menggunakan representasi biner mencakup tiga hal utama, yaitu: membatasi ruang pencarian, mendefinisikan resolusi setiap parameter model, dan membatasi jumlah model yang dapat diterima.

2.2. Seleksi

Seleksi memasang model-model individu untuk melakukan reproduksi berdasarkan pada nilai *fitnes*nya atau beberapa fungsi *fitnes*. Model dengan nilai *fitnes* yang lebih tinggi lebih sering dipilih dibandingkan model dengan nilai *fitnes* yang lebih rendah..

Metode seleksi yang paling dasar menggunakan perbandingan fungsi *fitnes* masing-masing model dengan jumlah *fitnes* semua model dalam populasi untuk menentukan probabilitas seleksinya. Untuk model j (individu j), fungsi *misfit* ϕ_j , yang merupakan akar rata-rata dari perbedaan antara data observasi, $U_o(T_i)$, dan data perhitungan, $U_c(T_i)$ dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\phi_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{U_o(T_i) - U_c(T_i)}{\sigma(T_i)} \right\}^2 \dots\dots\dots (1)$$

dengan N adalah jumlah data observasi dan σ adalah standar deviasi data observasi pada periode (Hamimu, 2011).

2.3. Persilangan

Persilangan adalah mekanisme yang memungkinkan informasi genetika antara model-model pasangan dapat bersama-sama terpakai. Dalam terminologi inversi geofisika, persilangan menyebabkan pertukaran informasi antara model-model pasangan, sehingga menghasilkan pasangan-pasangan model baru.

2.4. Mutasi

Mutasi adalah perubahan acak sebuah *bit*. Hal ini dapat dilakukan selama proses persilangan. Probabilitas mutasi yang rendah akan memperlambat laju pengacakan dalam ruang model, sedangkan probabilitas mutasi yang tinggi akan menghasilkan laju pengacakan yang cepat tetapi dapat menunda konvergensi dari algoritma untuk mencapai model *fit* yang optimal. Titik mutasi diseleksi secara acak dan nilai *bit*nya diganti berdasarkan pada sebuah probabilitas mutasi berhingga tertentu. Operasi ini membantu menjelaskan keseragaman dalam populasi.

2.5. Algoritma Genetika Bercabang

Algoritma genetika bercabang (AGB) merupakan salah satu jenis AG yang mampu mengatasi banyak masalah AG yang sulit diselesaikan oleh AG konvensional. AGB juga menggunakan *string* biner yang membagi seluruh ruang pencarian menjadi sub-ruang (percabangan) tergantung pada status konvergensi dari populasi dan solusi yang diinginkan. Dalam skema AGB, proses populasi selama proses evolusi akan melalui proses percabangan yang memungkinkan pencarian simultan dalam dua sub-populasi yang berbeda (populasi percabangan). Keadaan konvergensi dari populasi ini dideteksi dengan menerapkan skema populasi percabangan. Setiap sub-populasi akan mencari sub-bidang non-overlapping dalam ruang pencarian

3. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan pengembangan metode algoritma genetika yang di adopsi dari Hamimu (2011) pada metode gravitasi. Anomali medan gravitasi sintetik digunakan sebagai masukan program yang telah dikembangkan. Anomali medan gravitasi ini merupakan respon distribusi densitas dari model 2-D dimensi yang diadopsi dari Last dan Kubik (1983).

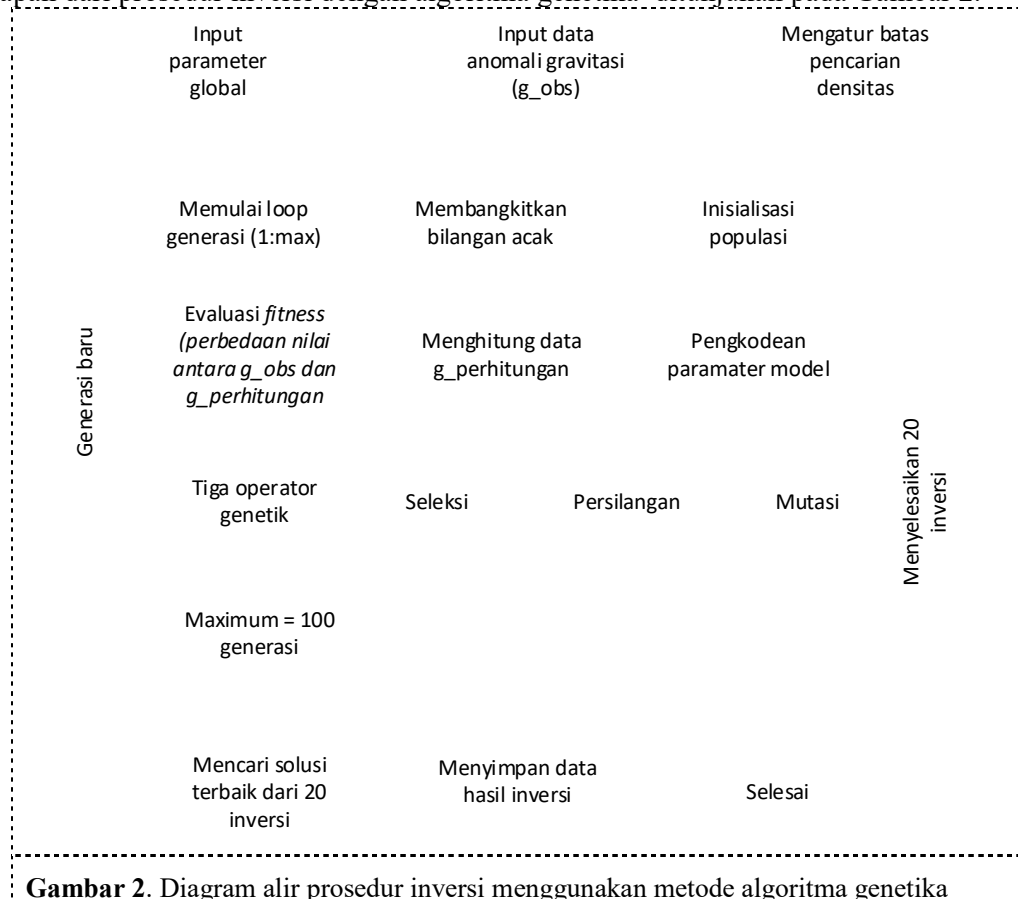
Nilai kesalahan rata-rata (root mean square error) digunakan untuk menguji keakurasian hasil inversi dari metode yang telah dikembangkan. Nilai kesalahan rata-rata sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$E_{rms} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (g_i^{obs} - g_i^{inv})^2} \quad (2)$$

dengan g_i^{obs} adalah data medan gravitasi observasi di titik ke-I, g_i^{inv} adalah respon medan gravitasi inversi di titik ke-I, dan M adalah jumlah titik pengukuran.

Model distribusi densitas meyerupai patahan model sintetik sederhana yang digunakan untuk menguji keakurasi metode inversi dengan panjang string yang berbeda. Algoritma program AG yang telah dikembangkan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.

Tahapan dari prosedur inversi dengan algoritma genetika ditunjukkan pada Gambar 2.

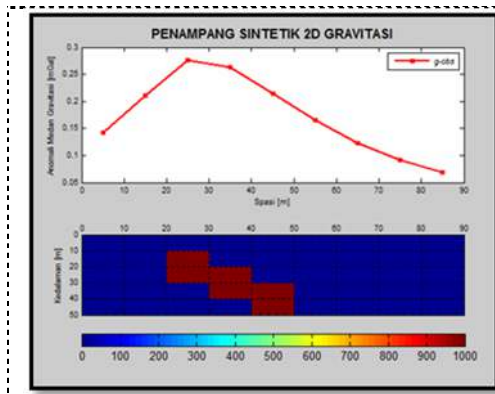


4. Hasil Dan Pembahasan

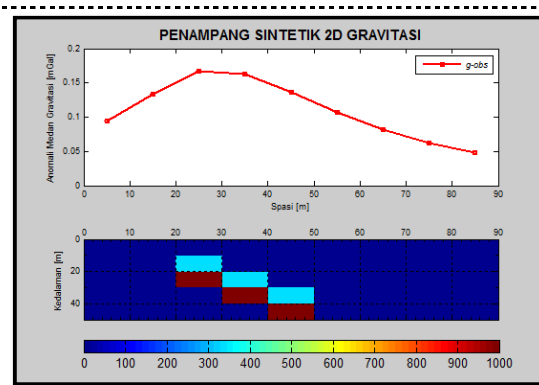
4.1. Pemodelan ke Depan

Kode-kode program forward *modelling* diimplementasikan dalam bahasa pemrograman MATLAB yang dinamakan forward_grav.m. Hasil eksekusi dari program tersebut untuk model homogen dan heterogen sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Model pertama (Gambar 3) terdiri dari model geometri (meshgrid) yang dibuat dengan panjang lintasan 90 m dengan kedalaman 50 m dan model geologi (benda anomali) dengan densitas 1000 serta densitas disekitaran model ini adalah 0. Efek medan gravitasi dihitung pada bidang datar di 10 titik amat dengan interval 10 m dari satu titik ketitik lainnya. Selanjutnya model kedua (Gambar 4) dibuat menyerupai model homogen dengan variasi densitas pada benda anomaly.



Gambar 3. Respon anomali medan gravitasi sintetis (sisi atas) dan model sintetis homogen (sisi bawah)



Gambar 3. Respon anomali medan gravitasi sintetis (sisi atas) dan model sintetis berbentuk heterogen (sisi bawah)

4.2. Pemodelan Inversi

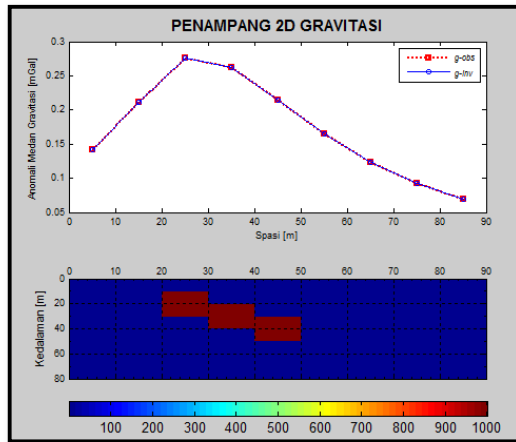
Inversi dengan menggunakan algoritma genetika ini bertujuan untuk meminimumkan fungsi obyektif dari parameter model terbatas untuk mendapatkan suatu model distribusi densitas bawah permukaan secara 2D yang merupakan representasi kondisi geologi bawah permukaan. Fungsi obyektif yang diminimumkan merupakan fungsi (root mean square error). Kode-kode program inversi modeling diimplementasikan dalam bahasa pemrograman *MATLAB*. Output forward modeling merupakan data anomali medan gravitasi observasi untuk input inversi modeling.

Penyajian solusi wilayah pencarian model di buat dalam bentuk mesh 2D yang terdiri dari sel-sel kotak (meshgrid) berukuran seragam. Panjang lintasan meshgrid yaitu 90 m dan kedalaman dibuat lebih dalam dari model geometri sintetis yaitu 60 m. Setiap sel memiliki panjang dan lebar yaitu $10m \times 10m$ serta jumlah grid dalam arah x dan z yaitu 9×6 . Selama proses inversi, ukuran meshgrid akan tetap dengan nilai densitas yang berubah-ubah mengikuti perturbasi model dan fungsi obyektif inversi. Batas pencarian densitas diatur antara 0 sampai 1000, jumlah model yang diterima tiap generasi yaitu 100 model, dan jumlah maksimum generasi yaitu 2000. Selanjutnya dilakukan proses inversi dengan panjang *string* 1 *bit* untuk model homogen dan 8 *bit* untuk model heterogen.

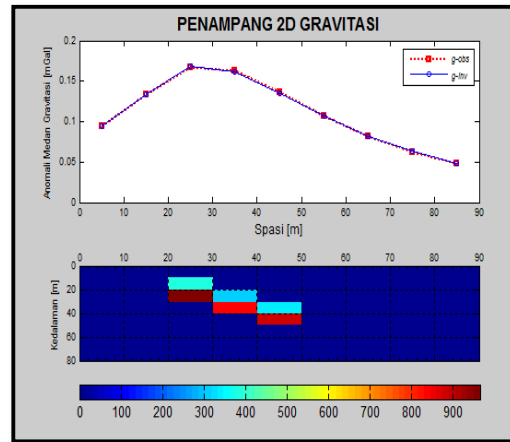
Sebagai proses awal dibangun suatu populasi yang terdiri dari sekumpulan individu (model) secara acak (random). Sekumpulan individu ini dikodekan sebagai bilangan biner yang merupakan populasi awal. Individu dalam bilangan biner ini selanjutnya dikonversi dalam bilangan riil sesuai dengan resolusi densitas dan dihitung nilai respon gravitasinya. Berdasarkan kecocokan nilai medan gravitasi inversi dan medan gravitasi observasi (*misfit*) didapatkan individu terbaik (individu dengan *misfit* yang paling kecil). Kemudian, individu-individu terbaik dipilih dalam proses seleksi untuk bereproduksi (persilangan dan mutasi). Dalam proses persilangan (*crossover*) dan mutasi, 20% (nilai probabilitas *crossover*) individu baru (*offspring*) merupakan hasil persilangan dan 20% (nilai probabilitas mutasi) bagian kromosom *offspring* yang diambil setelah *crossover* mengalami perubahan. Untuk penentuan nilai probabilitas yang berbeda akan menyajikan hasil yang berbeda. Hasil inversi sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4 dan 5.

Gambar 4 memperlihatkan kesesuaian yang signifikan dengan kurva anomali medan gravitasi forward modeling dengan nilai misfit atau Ekurva (eror kurva) sebesar $1,97 \times 10^{-6} \text{ mGal}$.

Inversi dengan panjang *string* 8 bit memperlihatkan kesesuaian yang signifikan dengan kurva anomali medan gravitasi forward modeling dengan nilai misfit atau Ekurva (eror kurva) $7,12 \times 10^{-4} \text{ mGal}$.



Gambar 4. Perbandingan kurva g_{obs} dan g_{inversi} (sisi atas) dan hasil inversi panjang *string* 1 bit model homogen (sisi bawah)



Gambar 5. Perbandingan kurva g_{obs} dan g_{inversi} (sisi atas) dan hasil inversi panjang *string* 8 bit model heterogen (sisi bawah)

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis serta pembahasan yang telah dipaparkan sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil penelitian dari pengembangan metode algoritma genetika untuk inversi data gravitasi dengan program inversi dalam bahasa MATLAB menunjukkan model hasil inversi sesuai dengan model sintetik. Model terbaik berasosiasi dengan misfit terendah. Hasil uji coba pada 4 jenis model berbeda menunjukkan nilai kesalahan rata-rata estimasi anomali medan gravitasi untuk solusi terbaik dibawah $9,62 \times 10^{-4} \text{ mGal}$.
2. Penyajian solusi inversi dipengaruhi oleh tiga hal yaitu pembatasan ruang pencarian, penentuan jumlah *bit*, dan pembatasan jumlah model.
3. Inversi Untuk inversi dengan panjang *string* 1 bit mampu memodelkan anomali homogen benda/struktur bawah permukaan. Anomali dengan densitas bervariasi mampu dimodelkan dengan sangat akurat melalui inversi algoritma genetika untuk panjang *string* 8 bit.

6. Daftar Pustaka

- [1]. Blakely, V. Potensial Theory in Gravity and Magnetic Application. Second Edition, Cambridge University Press, USA, (1996)
- [2]. Dermawan, Airlangga, Rekonseptualisasi dan Pemrograman Reduksi Data Gravitasi serta Pemetaan ke Koordinat Teratur (gridding) Menggunakan Bahasa Pemrograman Visual Basic, Sikripsi S-1, Jurusan Fisika Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta (2010).

- [3].Grandis, H.,*Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*, Himpunan Ahli Geofisika (HAGI), Bandung (2009).
- [4].Krahenbuhl, R.A., Yaoguo Li, Hybrid Optimization for Lithologic Inversion and Time-Lapse Monitoring Using a Binary Formulation, *Geophysics* Vol. 74, No 6(2009).
- [5].Krahenbuhl, R.A., *Binary Inversion of Gravity Data for Salt Imaging*, Department of Geophysics Colorado School of Mines (2005).
- [6].Krahenbuhl, R.A., Yaoguo Li, Gravity inversion using a binary formulation, *Soc. Expl. Geophys* (2002).
- [7].La Hamimu, Inversion Of Surface Wave Phase Velocity Using New Genetic Tecnique For Geotechnical Site Investigation, Universitas Sains Malaysia, Malaysia (2011).
- [8].La Hamimu, Safani, J., La Ode Ngkoimani, Muhammd Nawawi, Developing a New Inversion Procedure of Resistivity Data Based on Genetic Algorithm Technique For Electrical Imaging of The Subsurface. Final Report International Research Collaboration and Scientific Publication Universitas Halu Oleo dan Universitas Sains Malaysia (2013).
- [9].Last, B.J., and Kubik, K., Compact Gravity Inversion, *Geophysics* Vol.48 74, p.713-721 (1983)
- [10].Mantisinis, F.G., Arnoso, J., Vierra, R., Using a Genetic Algorithm for 3-D Inversion of Gravity Data in Fuerteventura (Canary Islands). *Int J Earth Sci* (Geol Rundsch) (2005)
- [11].Safani, Jamhir, 2000, *Analisis Anomali Medan Gravitasi di Atas Sferoid Referensi*, Thesis s-2, Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta (2000).
- [12].Sen M.K, Stoffa PL. Global Optimization Methods in Geophysical Inversion. Second Edition, Camridge University Press, New York(2013)
- [13].Telford WM, Geldart LP, Sheriff RR. *Aplied Geophysics. Second Edition*, Camridge University , New York (1990)
- [14].Tsutsui, S., Fujimoto, Y. and Ghosh, A., Forking GAs: GAs with search space division schemes. *Evolutionary Computation*, Vol 5(1), 61-80 (1997).
- [15].Wahyudi, E.J., 2 Bit Inversion of 4D Gravity Data Using Genetic Algorithm to Characterize Injection and Production Zone in Permeable Layer, Proceedings JCM, Makassar, 26 – 29 September 2011 (2011).
- [16].Wahyudi, E.J., Inversi Data Gayabarat Permukaan dan Lubang Bor Menggunakan Algoritma Genetika untuk Karakterisasi Pergerakan Kontak Fluida, Thesis S-2, Pascasarjana Institut Teknologi Bandung, Bandung (2009)

