IRJE: JURNAL FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
Research & Learning in Education
https://irje.org/index.php/irje

Pemodelan Inversi Resistivitas Bawah Permukaan menggunakan Algoritma Generalized Particle Swarm Optimization (GPSO) untuk Identifikasi Keberadaan Gas Dangkall

Dinovica Chandra Prayoga[q]
Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan, Indonesia
dinovicachandra@gmail.com[1]

Abstrak

Eksplorasi Gas Dangkal memerlukan metode yang akurat dan efisien untuk menentukan keberadaan dan distribusi zona gas di bawah permukaan. Salah satu metode yang umum digunakan adalah pemodelan Inversi Resistivitas, yang bertujuan untuk merekonstruksi distribusi resistivitas berdasarkan data pengukuran lapangan. Namun, metode inversi konvensional sering mengalami kendala dalam stabilitas solusi dan waktu komputasi yang tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan Generalized Particle Swarm Optimization (GPSO) sebagai alternatif untuk mengoptimalkan proses inversi resistivitas. GPSO merupakan pengembangan dari algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) yang lebih fleksibel dalam menangani parameter inversi. Studi ini membandingkan performa GPSO dengan metode inversi konvensional dalam menginterpretasi data resistivitas bawah permukaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa GPSO mampu mempercepat konvergensi solusi, mengurangi nilai root mean square error (RMSE), serta menghasilkan pemodelan resistivitas yang lebih stabil. Selain itu, identifikasi zona gas dangkal yang dilakukan menggunakan GPSO menunjukkan korelasi yang baik dengan data lapangan.

Kata Kunci: *Inversi Resistivitas, Eksplorasi Gas Dangkal, GPSO*

Abstract

Shallow gas exploration requires accurate and efficient methods to determine the presence and distribution of gas zones beneath the surface. One commonly used method is resistivity inversion modeling, which aims to reconstruct the distribution of resistivity based on field measurement data. However, conventional inversion methods often face challenges with solution stability and high computation time. Therefore, this study applies Generalized Particle Swarm Optimization (GPSO) as an alternative to optimize the resistivity inversion process.GPSO is an enhancement of the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm that is more flexible in handling inversion parameters. This study compares the performance of GPSO with conventional inversion methods in interpreting subsurface resistivity data. The results indicate that GPSO can accelerate solution convergence, reduce the root mean square error (RMSE), and produce more stable resistivity modeling. Additionally, the identification of shallow gas zones conducted using GPSO shows a good correlation with field data.

***Key Word**: Resistivity Inversion, Shallow Gas Exploration, GPSO*

Copyright © 2022 Dinovica Chandra Prayoga

Corresponding Author:
✉ Email Adress: dinovicachandra@gmail.com (Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan – Indonesia)

e-ISSN: 2775 – 8672
p-ISSN: 2775 – 9482

PENDAHULUAN

Eksplorasi bawah permukaan menjadi aspek penting dalam berbagai bidang, terutama dalam pencarian sumber daya alam seperti gas dan minyak bumi (Adha, 2021). Salah satu metode geofisika yang digunakan untuk menganalisis struktur bawah permukaan adalah metode resistivitas listrik, yang dapat memberikan gambaran tentang distribusi tahanan jenis dari suatu lapisan tanah atau batuan (Wiyono & Migas, 2024). Dengan memahami distribusi resistivitas, peneliti dapat mengidentifikasi kemungkinan keberadaan gas dangkal yang sering ditandai dengan anomali resistivitas tertentu (Salfigo, 2024). Namun, teknik inversi resistivitas konvensional sering kali mengalami kendala dalam menemukan solusi optimal karena keterbatasan metode numerik yang digunakan.

Masalah utama dalam inversi resistivitas adalah ketidakpastian dalam menentukan parameter awal, lambatnya konvergensi, serta kemungkinan solusi yang tidak stabil (Johanis,2024). Untuk mengatasi keterbatasan ini, teknik optimasi berbasis kecerdasan buatan seperti *Particle Swarm Optimization* (PSO) mulai diterapkan dalam pemodelan geofisika (Juan L. F.M. et al, 2010). Dalam penelitian ini, dikembangkan metode inversi resistivitas menggunakan *Generalized Particle Swarm Optimization* (GPSO), yang merupakan pengembangan lebih lanjut dari algoritma PSO konvensional. Algoritma ini diharapkan dapat meningkatkan akurasi pemodelan resistivitas, mempercepat proses inversi, serta menghasilkan solusi yang lebih stabil (Grandis B ,2009).

METODE

Inversi resistivitas merupakan proses untuk merekonstruksi distribusi tahanan jenis bawah permukaan berdasarkan data pengukuran medan listrik, dengan menggunakan pemodelan matematis untuk menyesuaikan data pengukuran dengan model resistivitas yang paling sesuai. Salah satu pendekatan optimasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Generalized Particle Swarm Optimization* (GPSO), sebuah pengembangan dari algoritma PSO yang dirancang untuk meningkatkan fleksibilitas dalam pencarian solusi optimal. Persamaan GPSO melibatkan pembaruan kecepatan dan posisi partikel dengan mempertimbangkan pengaruh nilai terbaik individu dan kelompok. Implementasi GPSO dalam inversi resistivitas meliputi beberapa langkah utama, yaitu inisialisasi partikel secara acak di ruang solusi, evaluasi fitness berdasarkan kesesuaian model resistivitas terhadap data lapangan, pembaruan kecepatan dan posisi partikel, serta penghentian iterasi berdasarkan kriteria konvergensi. Selanjutnya, data resistivitas dari pengukuran lapangan diolah menggunakan dua metode inversi, yakni metode konvensional dan metode berbasis GPSO, kemudian dibandingkan berdasarkan kecepatan konvergensi, akurasi model melalui nilai RMSE, serta korelasi hasil dengan data lapangan. Langkah-langkah implementasi GPSO dalam inversi resistivitas meliputi:

1. Inisialisasi Partikel : Sejumlah partikel didefinisikan dalam ruang solusi dengan posisi awal acak.
2. Evaluasi Fitness : Setiap partikel dinilai berdasarkan seberapa baik model resistivitas yang dihasilkan dibandingkan dengan data lapangan.
3. Pembaruan Kecepatan dan Posisi : Partikel diperbarui menggunakan fungsi kecepatan yang mempertimbangkan nilai terbaik yang ditemukan secara individu maupun secara kelompok.
4. Kriteria Konvergensi : Proses iterasi berlangsung hingga ditemukan solusi optimal atau hingga batas iterasi terpenuhi. (Agustin, A.D dan Utama, W., 2017)

Pengolahan Data dan Analisis

Data resistivitas yang diperoleh dari pengukuran lapangan kemudian diproses menggunakan dua metode inversi, yaitu metode konvensional dan metode GPSO. Hasil pemodelan dibandingkan berdasarkan:

1. Kecepatan Konvergensi (jumlah iterasi yang dibutuhkan untuk mencapai solusi stabil).
2. Akurasi Model (berdasarkan nilai RMSE).
3. Korelasi dengan Data Lapangan. (Arman Y, 2013).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil penelitian tentang pemodelan bawah permukaan menggunakan inversi data VES dengan algoritma GPSO, yang diuji terlebih dahulu untuk menilai efektivitasnya. Hasil inversi dianalisis guna mengidentifikasi potensi gas dangkal sebagai langkah mitigasi di Perumahan Griya Residence, Sepinggan, Balikpapan Selatan. Data disajikan dalam tabel dan angka tanpa pengulangan, sementara pembahasan menghubungkan temuan dengan teori serta implikasinya terhadap kondisi geologi setempat. Jika ada hasil yang meragukan, faktorfaktor yang memengaruhinya dibahas secara objektif

Pengujian Data Vertical Electrical Sounding (VES) Sintetik

Sebelum diterapkan pada data lapangan, algoritma GPSO diuji menggunakan data sintetik untuk menilai validitas dan efektivitasnya. Data sintetik diperoleh melalui pemodelan ke depan dengan persamaan filter

e-ISSN: 2775 – 8672
p-ISSN: 2775 – 9482

Ghosh. Dalam penelitian ini, digunakan tiga model sintetik dengan empat lapisan untuk merepresentasikan kondisi bawah permukaan. Model pertama menunjukkan resistivitas yang meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman. Model kedua menggambarkan adanya zona anomali dengan resistivitas rendah di antara dua lapisan resistivitas tinggi. Sementara itu, model ketiga memperlihatkan kondisi sebaliknya, yaitu lapisan resistivitas tinggi yang berada di antara dua lapisan dengan resistivitas lebih rendah.

Inversi Data Vertical Electrical Sounding (VES) Sintetik menggunakan Algoritma GPSO

Penelitian ini memfokuskan pada inversi data Vertical Electrical Sounding (VES) sintetik dengan menggunakan fungsi pemodelan yang disederhanakan, yang memungkinkan proses inversi berlangsung cepat. Data yang digunakan dikendalikan oleh dua parameter utama: resistivitas (ρ) dan kedalaman (H). Pada penerapan algoritma GPSO untuk inversi, digunakan 250 partikel dengan maksimal 150 iterasi. Jumlah partikel dan iterasi dapat disesuaikan berdasarkan kompleksitas dan karakteristik data. Rentang pencarian juga ditentukan untuk memastikan pencarian menyeluruh dalam ruang parameter.

Inversi Data VES Sintetik Tanpa Gangguan Noise

Proses inversi data VES sintetik tanpa noise dilakukan dengan menggunakan algoritma GPSO. Evaluasi dilakukan dengan mengukur posterior model dalam ruang pencarian yang telah ditentukan sebelumnya. Distribusi posterior yang diperoleh menunjukkan kecenderungan memusat pada nilai tertentu, yang menandakan kualitas data yang baik dan ketidakpastian yang rendah. Hasil posterior model menunjukkan bahwa proses inversi berjalan stabil dan mampu memperkirakan parameter dengan baik.

Histogram yang ditampilkan menunjukkan kedekatan antara nilai median dan nilai sebenarnya, yang mengindikasikan akurasi algoritma GPSO dalam mengestimasi distribusi posterior. Validasi hasil inversi dilakukan dengan membandingkan model resistivitas 1-D dengan model sebenarnya. Hasilnya menunjukkan kemiripan yang tinggi, dengan similarity index mencapai lebih dari 97%, serta kesalahan rendah dan standar deviasi kecil, yang mengindikasikan ketidakpastian yang minim pada solusi inversi.

Tabel 1. Hasil inversi data VES Sintetik bebas *noise* model 3

Parameter Model		***True***	**Hasil Inversi**		
			Inverted	***Relative Error (%)***	**Standar Deviasi**
H1	m	4	3.93	1.75	0.31
H2	m	6	6.26	4.33	1.41
H3	m	3	2.81	6.33	0.93
ρ_1	Ohm.m	20	19.92	0.40	1.18
ρ_2	Ohm.m	100	95.21	4.79	11.18
ρ_3	Ohm.m	30	29.21	2.63	4.05
ρ_4	Ohm.m	40	39.99	0.025	1.68

Inversi Data VES Sintetik dengan Noise

Setelah melakukan inversi pada data VES sintetik bebas noise, penambahan noise 5% dilakukan untuk mensimulasikan kondisi data lapangan yang sering terpengaruh gangguan. Penambahan noise mengakibatkan distribusi posterior parameter model menjadi lebih tersebar dan penurunan nilai similarity index (92.66% ke 91.27%). Semakin tinggi noise, semakin sulit mendapatkan model yang akurat, yang menyebabkan peningkatan nilai error dan ketidakpastian dalam solusi inversi.

Grafik misfit error menunjukkan bahwa pada data bebas noise, proses inversi lebih eksploratif, sedangkan pada data dengan noise, konvergensi terjadi lebih cepat dan lebih rentan terhadap jebakan minimum lokal. Meskipun nilai misfit akhir meningkat pada data dengan noise (2.30% hingga 4.07%), algoritma GPSO tetap stabil dan efektif dalam menangani data yang mengandung noise, dengan perbedaan misfit error yang tidak terlalu signifikan dan similarity index yang masih cukup tinggi.

Perbandingan Inversi Data VES Sintetik dengan Algoritma PSO Konvensional dan GPSO

Perbandingan inversi data VES sintetik yang terkontaminasi noise 5% dilakukan menggunakan algoritma PSO konvensional dan GPSO. Hasil menunjukkan bahwa GPSO menghasilkan model dengan similarity index 91.27%, error 2.30%, dan uncertainty lebih besar, sementara PSO konvensional memiliki similarity index lebih rendah (85.15%) tetapi error lebih kecil (2.11%) dan uncertainty lebih rendah.

PSO konvensional lebih cepat mencapai konvergensi namun lebih rentan terhadap konvergensi dini dan minimum lokal. Sebaliknya, GPSO lebih efektif dalam eksplorasi ruang pencarian dan dapat menghasilkan solusi yang lebih optimal, terutama pada data dengan noise. GPSO lebih mampu menangani ketidakpastian data dan memberikan hasil inversi yang lebih akurat.

e-ISSN: 2775 – 8672
p-ISSN: 2775 – 9482

Uji Ketahanan (Robustness) Algoritma GPSO

Pengujian ketahanan algoritma GPSO dilakukan dengan membandingkan similarity index (SI) hasil inversi data VES sintetik tanpa noise dan dengan noise 5%. Hasilnya menunjukkan penurunan SI yang tidak signifikan, yang mengindikasikan bahwa GPSO tetap mempertahankan kualitas inversi meskipun ada gangguan data. Dengan demikian, algoritma GPSO terbukti memiliki ketahanan tinggi terhadap variasi data, baik dalam kondisi ideal maupun dengan noise.

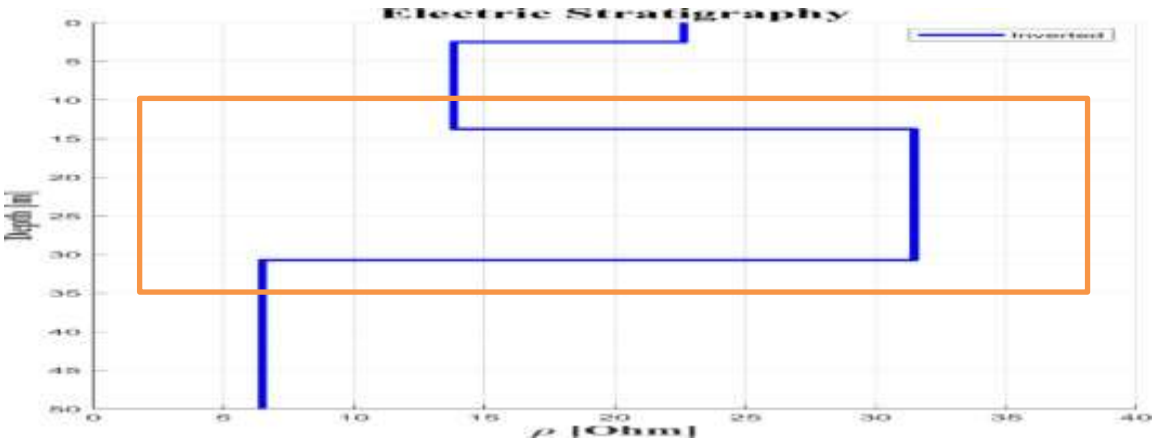
Inversi Data VES Lapangan Menggunakan Algoritma GPSO

Penelitian ini mengaplikasikan algoritma GPSO pada data VES lapangan dari Perumahan Griya Residence, Sepinggan, Balikpapan Selatan, yang terletak dekat dengan lokasi semburan gas dangkal pada 2021. Setelah berhasil menguji algoritma GPSO pada data sintetik, algoritma ini diterapkan pada data lapangan dengan menggunakan 250 partikel dan 150 iterasi.

Hasil inversi menunjukkan distribusi posterior yang stabil, dengan model resistivitas 1-D yang menunjukkan anomali resistivitas rendah di lapisan kedua. Kurva data observasi dan perhitungan hampir identik, dengan nilai rms error sebesar 1.74%, menunjukkan hasil inversi yang sangat akurat. Namun, parameter Model dengan kedalaman yang lebih dalam memperlihatkan tingkat ketidakpastian yang lebih tinggi, hal ini disebabkan oleh berkurangnya sensitivitas metode VES. pada kedalaman lebih dalam. Untuk meningkatkan akurasi, disarankan untuk menambahkan batasan atau data geologi tambahan.

Analisis Hasil Inversi Data VES di Lapangan

Hasil inversi data VES lapangan menunjukkan model resistivitas yang stabil dan konsisten, dengan akurasi dalam menggambarkan distribusi resistivitas bawah permukaan. Pemodelan ini membantu memahami struktur geologi dan memperkirakan distribusi resistivitas dengan menambahkan data geologi dan geofisika lainnya.



Gambar 1. Hasil inversi data VES lapangan

Pada Gambar 1, ditemukan anomali resistivitas tinggi di lapisan ketiga, yang terletak di antara zona resistivitas rendah. Anomali ini mungkin mengindikasikan keberadaan material dengan konduktivitas rendah seperti gas atau minyak, yang meningkatkan resistivitas. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa anomali resistivitas tinggi di kedalaman serupa dapat menandakan gas dangkal. Di penelitian ini, anomali tersebut terdeteksi pada kedalaman 14-31 meter, mendukung hipotesis adanya gas dangkal terperangkap dalam batu pasir pada rentang kedalaman tersebut. Data bor dari PT EBD di Batakan menunjukkan lapisan yang dominan batu pasir, dengan anomali resistivitas tinggi di kedalaman 14-31 meter, memperkuat dugaan adanya gas dangkal di lapisan tersebut. Interpretasi model resistivitas 1-D ini bersifat relatif dan memerlukan asumsi serta estimasi. Oleh karena itu, disarankan melibatkan ahli geofisika untuk memastikan validitas hasil dan untuk mengembangkan langkah mitigasi yang lebih efektif, guna melindungi penduduk dan lingkungan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa algoritma Generalized Particle Swarm Optimization (GPSO) dapat digunakan secara efektif untuk pemodelan inversi data VES bawah permukaan, khususnya dalam mengidentifikasi keberadaan gas dangkal. Hasil inversi data sintetik dengan menggunakan algoritma GPSO menunjukkan tingkat kemiripan (similarity index) yang sangat baik, mencapai lebih dari 90% untuk ketiga model sintetik yang diuji. Bahkan ketika data diberi noise, tingkat kemiripan tetap stabil dengan penurunan yang tidak signifikan, menunjukkan bahwa algoritma GPSO memiliki ketahanan yang tinggi terhadap

e-ISSN: 2775 – 8672
p-ISSN: 2775 – 9482

gangguan data. Hal ini membuktikan bahwa GPSO mampu menghasilkan estimasi parameter yang akurat dengan misfit error yang relatif kecil. Sebagai perbandingan, algoritma PSO menghasilkan tingkat kemiripan sebesar 85.15%, namun cenderung mengalami konvergensi dini yang mengurangi akurasi hasil inversi. GPSO terbukti lebih efektif dalam pencarian solusi optimum karena kemampuannya yang lebih eksploratif dibandingkan dengan PSO. Pada data lapangan, penerapan algoritma GPSO juga menunjukkan hasil yang memadai dengan menghasilkan model yang menggambarkan kondisi bawah permukaan secara baik. Inversi data VES lapangan memperlihatkan adanya anomali resistivitas tinggi di kedalaman 14-31 meter, yang mengindikasikan kemungkinan adanya gas dangkal pada lokasi tersebut. Model yang diperoleh memberikan gambaran yang jelas untuk interpretasi awal mengenai keberadaan gas dangkal di bawah permukaan. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa algoritma GPSO memiliki potensi besar dalam memodelkan resistivitas bawah permukaan dan dapat diandalkan untuk aplikasi identifikasi gas dangkal. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk menggunakan data yang lebih lengkap dan lebih dekat dengan lokasi penelitian untuk mengurangi ketidakpastian dalam hasil inversi. Penggunaan data geologi dan bor yang lebih relevan juga dapat meningkatkan akurasi model. Selain itu, penerapan algoritma GPSO dalam pemodelan resistivitas dalam dimensi 2D atau 3D dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai keberadaan gas dangkal di bawah permukaan.

DAFTAR REFERENSI

Adeeko, T.O., Samson, D.O., Umar, M., 2019. Geophysical Survey of Basement Complex Terrain Using Electrical Resistivity Method for Groundwater Potential.

Agustin, A.D., Utama, W., 2017. Identifikasi Letak Cracks Pada Bidang Longsor Menggunakan

Metode Resistivitas 2D. JTITS 6, 103–105. https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i1.22515

Aleardi, M., Mazzotti, A., 2017. 1D elastic full-waveform inversion and uncertainty estimation by means of a hybrid genetic algorithm-Gibbs sampler approach: FWI and uncertainty estimation. Geophysical Prospecting 65, 64–85. https://doi.org/10.1111/1365-2478.12397

Arifin, L., 2010. Distribusi lapisan batuan sedimen yang diduga mengandung gas biogenik dengan metode tahanan jenis di Pantai Saronggi, Sumenep, Madura. Indonesian J. Geosci. 5, 119–126. https://doi.org/10.17014/ijog.v5i2.97

Arman, Y., 2013. Pemodelan Zona Patahan Berdasarkan Anomali Self Potential (SP) Menggunakan Metode Algoritma Genetika.

Astawa, I.N., Setiady, D., Wijaya, P.H., Hermansyah, Gm., Saputra, M.D., 2017. Indikasi Gas Biogenik Di Perairan Delta Mahakam, Provinsi Kalimantan Timur. JGK 14. https://doi.org/10.32693/jgk.14.2.2016.354

Banks, A., Vincent, J., Anyakoha, C., 2007. A review of particle swarm optimization. Part I: background and development. Nat Comput 6, 467–484. https://doi.org/10.1007/s11047-0079049-5

Cheng, M.-Y., Prayogo, D., Wu, Y.-W., Lukito, M.M., 2016. A Hybrid Harmony Search algorithm for discrete sizing optimization of truss structure. Automation in Construction 69, 21–

33. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.023

Chunduru, R.K., Sen, M.K., Stoffa, P.L., 1996. 2-D resistivity inversion using spline parameterization and simulated annealing. GEOPHYSICS 61, 151–161. https://doi.org/10.1190/1.1443935

Darlan, Y., Sahudin, S., 2016. Gas Biogenik Dan Unsur Mineral Pada Sedimen Delta Kapuaskalimantan Barat. JGK 10, 133. https://doi.org/10.32693/jgk.10.3.2012.222

Dr.Hendra Grandis, 2009a. Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI), Jakarta