

IMPLEMENTASI ALGORITMA *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (PSO) PADA INVERSI DATA RESISTIVITAS 1-D UNTUK IDENTIFIKASI GAS DANGKAL

Adinsya Yudha¹, Dharma Arung Laby¹, Abdi Suprayitno¹

¹Program Studi S1 Teknik Perminyakan, Sekolah Tinggi Teknologi MIGAS Balikpapan
e-mail: adinsya.yudha@gmail.com

Abstrak. Belakangan ini banyak terjadi insiden semburan gas dangkal di beberapa wilayah Balikpapan. Salah satu daerah di mana fenomena ini terjadi terletak di Sepinggang, Kota Balikpapan. Oleh karena itu, perlu dilakukan identifikasi gas dangkal dengan metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) untuk mendapatkan model resistivitas bawah permukaan sebagai langkah mitigasi. Salah satu tahapan untuk memperoleh model resistivitas bawah permukaan ialah melakukan proses inversi yang dapat dilakukan menggunakan *software* komersil. Akan tetapi, *software* inversi yang digunakan pada umumnya berbasis dengan pendekatan lokal (*local approach*) yang mana sangat rawan terjebak pada minimum lokal. Untuk mengakomodasi keterbatasan tersebut, perlu dilakukan inversi data resistivitas dengan pendekatan global yang mana lebih akurat dalam proses pencarian nilai optimum. Maka diusulkan implementasi algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) pada inversi data VES sebagai metode inversi dengan pendekatan global. Tahap pertama pada penelitian ini dilakukannya uji coba algoritma PSO dalam menginversi data VES sintetik dengan tujuan mengukur seberapa *robust* dan stabil algoritma ini bekerja. Pada tahap ini digunakan dua tipe data VES sintetik yaitu data sintetik *free noise* dan data terkontaminasi *noise*, kemudian dilakukan perhitungan *similarity index* dan estimasi nilai ketidakpastian (*uncertainty*) menggunakan standar deviasi. Setelah pengujian algoritma, maka algoritma PSO diimplementasikan pada data lapangan daerah Sepinggang. Dari hasil inversi data VES Sintetik menunjukkan dari ketiga model yang diuji memiliki nilai *similarity index* diatas 90%, bahkan ketika diberi *noise* tidak mengalami penurunan SI yang signifikan. Pada inversi data lapangan terdapat anomali nilai resistivitas tinggi pada kedalaman 27 – 38 m yang berada pada lapisan batupasir dan diduga sebagai potensi adanya gas dangkal.

Kata Kunci: Gas dangkal, Geolistrik, Inversi geofisika, PSO, VES.

Abstract. Recently, there have been incidents of shallow gas blowouts in several areas of Balikpapan. Therefore, it is necessary to identify shallow gas using the *Vertical Electrical Sounding* (VES) method to obtain 1-D resistivity model as a mitigation measure. One of the stages in obtaining 1-D resistivity model is the inversion process, which can be performed using commercial software. However, the inversion software commonly used is based on a local approach, which is highly prone to be trapped in local minima. To accommodate these limitations, it is necessary to perform resistivity data inversion using a global approach which is more accurate in the process of searching for the optimum value. Therefore, in this study the *Particle Swarm Optimization* (PSO) algorithm is proposed to be implemented in the inversion of VES data as a global approach. Firstly, the PSO algorithm is tested to invert synthetic VES data to assess the robustness and stability of this algorithm. Two types of synthetic VES data are utilized: synthetic data with free noise and data contaminated with noise. Then PSO algorithm is implemented on field data from the Sepinggang area. The inversion of synthetic VES data demonstrates that all three models (inversion results) have similarity index of above 90%. Furthermore, when noise is added on the data the similarity index remains unaffected significantly. On field data inversion, high resistivity anomalies are identified at depths between 27 - 38 meters. This anomaly is situated in the sandstone layer and identified as an early indication of shallow gas.

Keywords: Geoelectric, Inversion, PSO, Shallow Gas, VES.

PENDAHULUAN

Belakangan ini terjadi beberapa insiden semburan gas dangkal di Balikpapan. Salah satunya berada di Kelurahan Sepinggang, Kecamatan Balikpapan Selatan, Kota Balikpapan (Demon Daton,

2021). Semburan gas dangkal merupakan salah satu fenomena bencana geologi di mana gas alam keluar dengan tekanan yang tinggi dari dalam bumi. Fenomena semburan gas alam bisa terjadi dikarenakan perbedaan tekanan antara kondisi

bawah permukaan dengan kondisi permukaan yang memiliki tekanan yang lebih rendah (Humaida et al., 2010). Beberapa insiden semburan yang terjadi di daerah Sepinggan disebabkan oleh adanya aktivitas pengeboran sumur air oleh warga sekitar (Friastuti, 2016). Dari permasalahan ini, maka perlu diterapkan metode geofisika untuk mengetahui kondisi bawah permukaan daerah tersebut agar nantinya dapat memberikan gambaran kepada masyarakat sekitar untuk menghindari zona gas saat melakukan pengeboran. Salah satu metode geofisika yang digunakan untuk mencitrakan kondisi bawah permukaan adalah metode survei geolistrik resistivitas (Bahri, 2005).

Metode survei resistivitas telah banyak digunakan dalam studi geofisika, khususnya untuk mencitrakan kondisi bawah permukaan kedalaman dangkal (Jamaluddin and Umar, 2018). Metode geolistrik bekerja berdasarkan pada prinsip penyebaran listrik dalam media berpori yang dianggap homogen dan isotropik. Arus yang diinjeksikan melalui elektroda dan perbedaan potensial yang terukur akan menggambarkan bagaimana distribusi nilai resistivitas di bawah permukaan bumi (Philips Aizebeokhai, 2010).

Dalam geofisika, untuk mendapatkan karakteristik dari kondisi geologi bawah permukaan perlu digunakan model yang merupakan distribusi parameter-parameter fisis bawah permukaan sehingga perlu dilakukan pemodelan (Grandis, 2009). Pemodelan Geofisika harus melalui beberapa tahapan pemodelan seperti pemodelan kedepan (*forward modelling*) dan pemodelan inversi (*inverse modelling*) di mana mekanismenya memodifikasi model agar diperoleh kecocokan data perhitungan maupun pengamatan melalui proses optimasi, proses ini dapat dilakukan dengan metode optimasi lokal dan optimasi global. Namun metode optimasi lokal memiliki beberapa kelemahan, dikarenakan pada dasarnya pencarian solusi hanya didasari oleh kecenderungan fungsi obyektif pada model yang sedang ditinjau. Di mana, informasi ini hanya dapat memberikan petunjuk arah kemana solusi kemungkinan berada. Pencarian nilai minimum yang didasari oleh informasi lokal di sekitar model dapat

terjebak dalam nilai minimum lokal dan solusi yang diperoleh bukanlah model yang optimum. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dapat dilakukan dengan metode evaluasi fungsi obyektif, hal ini termasuk dalam kategori pencarian optimasi global (Grandis, 2009). Salah satu dari metode optimasi global yang dapat diterapkan pada inversi ialah metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) yang diusulkan oleh J. Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995,

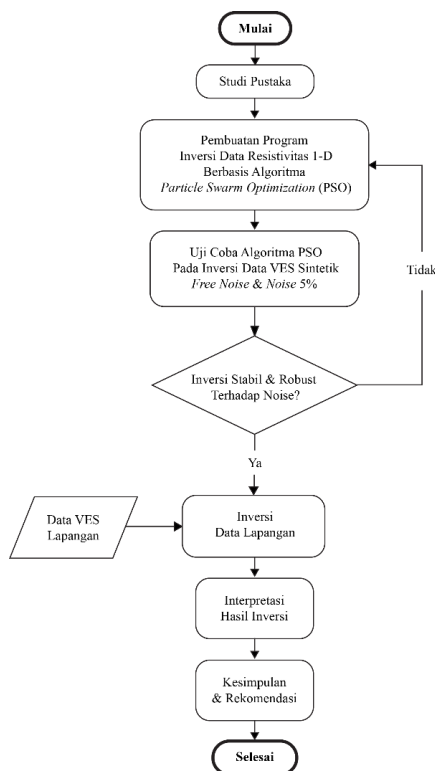
Particle Swarm Optimization (PSO) telah banyak digunakan untuk mengatasi permasalahan inversi pada beberapa bidang di dunia *engineering* (Fernandez-Martinez et al., 2008), termasuk pada permasalahan inversi geofisika. Mekanisme PSO melibatkan sekelompok partikel yang bergerak di dalam ruang pencarian solusi untuk menemukan nilai optimum dari suatu fungsi obyektif. Setiap partikel memiliki posisi dan kecepatan yang diubah berdasarkan pengalaman pribadi dan pengalaman kawanannya dalam mencari solusi terbaik. Kelebihan dari PSO adalah kemampuannya dalam menemukan solusi global secara efisien dan kecepatan konvergensi yang cepat (Fernández Martínez et al., 2010).

Dalam penelitian ini, mengusulkan PSO sebagai metode inversi resistivitas 1-D memiliki sejumlah kelebihan yang memperkuat argumen penggunaannya. Pertama, PSO dapat mengoptimalkan parameter dalam model inversi resistivitas 1-D dengan mengatur posisi dan kecepatan partikel dalam mencari solusi terbaik. Hal ini memungkinkan untuk mendapatkan model resistivitas yang akurat dengan data pengukuran. Selain itu, PSO juga mampu menemukan solusi global sehingga dapat menghindari jebakan dalam mencapai minimum lokal yang tidak diinginkan. PSO dapat menghindari masalah ketidakpastian dalam membangun model resistivitas yang tepat (Arung Laby et al., 2016). Algoritma PSO diuji terlebih dahulu pada tingkat kestabilan dan ketahanannya dengan mengimplementasikannya pada data VES sintetik tanpa *noise* dan data sintetik yang terkontaminasi *noise* sebesar 5%. Setelah dinyatakan stabil dan tahan terhadap *noise* maka

langkah selanjutnya adalah implementasi pada data riil atau data VES lapangan yang diambil di daerah semburan gas dangkal tepatnya di daerah Sepinggan. Hasil dari inversi digunakan untuk melakukan interpretasi kondisi bawah permukaan dan memperkirakan kedalaman gas dangkal pada daerah penelitian.

METODOLOGI

Alur dalam penelitian ini secara garis besar digambarkan pada Gambar 1 sebagai berikut.



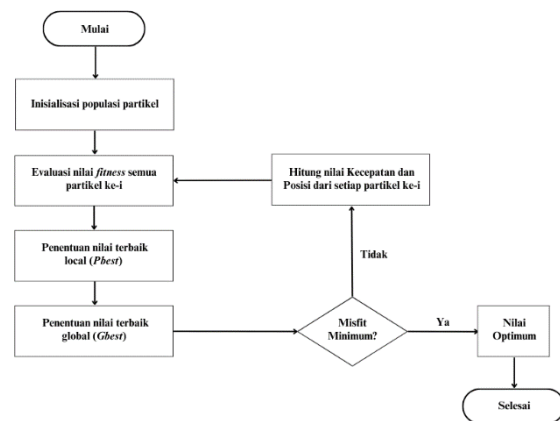
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

PSO bekerja dengan cara mengoptimalkan kumpulan partikel yang saling berinteraksi dalam suatu ruang pencarian solusi. Setiap partikel akan melakukan pergerakan dalam ruang pencarian dengan mempertimbangkan posisi terbaik yang pernah dicapai (*pBest*) dan posisi terbaik yang pernah dicapai oleh seluruh partikel (*gBest*) (Wang et al., 2018). Persamaan PSO dapat dilihat sebagai berikut:

$$V_j(k + 1) = \omega V_j(k) + r1a_g(g(k) - x_j(k)) + r2a_l(l_j(k) - x_j(k)) \tag{1}$$

$$x_j(k + 1) = V_j(k + 1) + x_j(k) \tag{2}$$

parameter tuning yang digunakan diambil dari jurnal (Carlisle and Dozier, 2001) konstanta ω : 0.729, a_g : 0.948, dan a_l : 2.041. Sedangkan, $r1$ dan $r2$ menggunakan variabel acak (Fernández Martínez et al., 2010). Tahapan implementasi PSO pada inversi data VES seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir pengembangan algoritma PSO

Langkah pertama adalah menentukan parameter model awal, algoritma PSO akan mengevaluasi respons model dengan parameter model tersebut, dan membandingkannya dengan data pengamatan. Jika terdapat kesalahan antara respons model dan data pengamatan, maka algoritma akan memodifikasi parameter model secara otomatis, dengan harapan bahwa respons model baru akan lebih dekat dengan data pengamatan. Modifikasi parameter model dilakukan dengan mengubah posisi partikel di dalam ruang pencarian. Posisi dan kecepatan partikel akan *diupdate* secara terus-menerus pada setiap iterasi, hingga ditemukan posisi yang paling optimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menguji validitas algoritma PSO dalam menginversi data VES serta menganalisis hasil inversi data lapangan gas dangkal daerah Sepinggan.

i. Pengujian Inversi Data VES Sintetik

Sebelum mengimplementasikan algoritma PSO pada data lapangan, proses inversi dilakukan

terlebih dahulu pada data sintetik. Hal ini dilakukan sebagai langkah validasi untuk menguji tingkat efektivitas metode inversi menggunakan algoritma PSO. Data sintetik yang digunakan adalah data *Vertical Electrical Sounding* (VES) yang dibuat melalui pemodelan ke depan (*forward modelling*) menggunakan persamaan Ghosh menjadi tiga model sintetik berbeda dengan karakteristik yang berbeda. Model sintetik pertama adalah model bumi dengan empat lapisan, yang merupakan model geologi yang paling umum. Dalam model ini nilai resistivitas meningkat seiring dengan kedalaman, yang berarti nilai resistivitas semakin tinggi seiring dengan semakin dalamnya lapisan bumi. Model kedua menggambarkan lapisan bumi dengan anomali resistivitas rendah di antara lapisan bumi yang memiliki resistivitas tinggi. Sedangkan, model ketiga merupakan kebalikan dari model kedua, dengan menggambarkan lapisan bumi yang memiliki anomali resistivitas tinggi di antara resistivitas yang rendah.

Proses inversi data VES dilakukan dengan mengontrol dua parameter model, yaitu ketebalan lapisan (H) dan resistivitas (ρ). Dalam tahap validasi ini digunakan tiga model sintetik dengan parameter yang tercantum dalam Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3. Rentang *search space* yang digunakan dalam inversi data VES adalah $\pm 50\%$ dari nilai model sebenarnya untuk memastikan bahwa seluruh ruang parameter yang mungkin dapat dieksplorasi. Dalam implementasi algoritma PSO pada inversi data VES, digunakan 200 partikel dalam proses optimisasi, dengan jumlah iterasi maksimal sebanyak 100. Jumlah partikel dan iterasi yang dipilih dapat disesuaikan berdasarkan kebutuhan dan kompleksitas data yang digunakan.

Tabel 1. Parameter model sintetik I beserta *search space*

Lapisan Ke -	Parameter Model Sintetik		Search Space	
	ρ ($\Omega.m$)	H (m)	ρ ($\Omega.m$)	H (m)
1	40	5	20 - 60	2.5 - 7.5
2	100	3	50 - 150	1.5 - 4.5

3	150	6	75 - 225	3 - 6
4	210	Half-space	105 - 315	Half-space

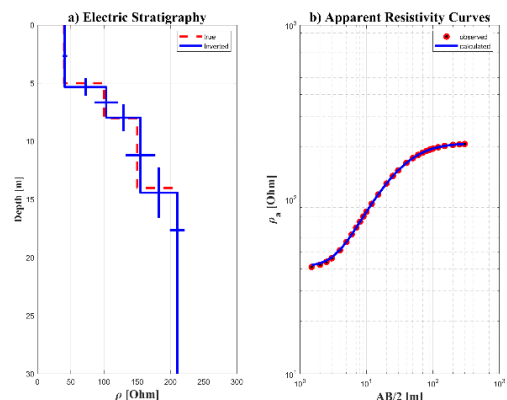
Tabel 2. Parameter model sintetik II beserta *search space*

Lapisan Ke -	Parameter Model Sintetik		Search Space	
	ρ ($\Omega.m$)	H (m)	ρ ($\Omega.m$)	H (m)
1	210	5	105 - 315	2.5 - 7.5
2	40	8	20 - 60	4 - 12
3	190	5	95 - 285	2.5 - 7.5
4	140	Half-space	70 - 210	Half-space

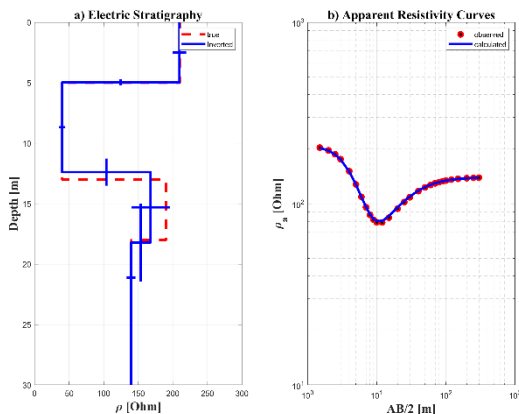
Tabel 3. Parameter model sintetik III beserta *search space*

Lapisan Ke -	Parameter Model Sintetik		Search Space	
	ρ ($\Omega.m$)	H (m)	ρ ($\Omega.m$)	H (m)
1	10	3	5 - 15	1.5 - 4.5
2	50	2	25 - 75	1 - 3
3	190	5	95 - 285	2.5 - 7.5
4	30	Half-space	70 - 210	Half-space

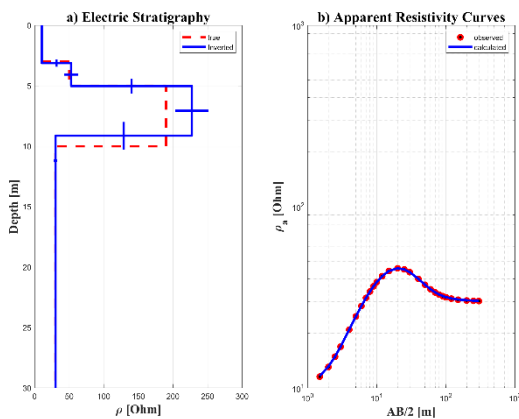
Inversi data VES menggunakan algoritma PSO diterapkan pada data sintetik bebas *noise* terlebih dahulu. Proses inversi dilakukan dengan rekonstruksi model resistivitas 1-D dan pencocokan kurva resistivitas semu.



Gambar 3. Hasil inversi data VES sintetik *free noise* model I
 a) *Electric stratigraphy* beserta *uncertainty*
 b) Kurva resistivitas semu



Gambar 4. Hasil inversi data VES sintetik *free noise* model II
 a) *Electric stratigraphy* beserta *uncertainty*
 b) Kurva resistivitas semu

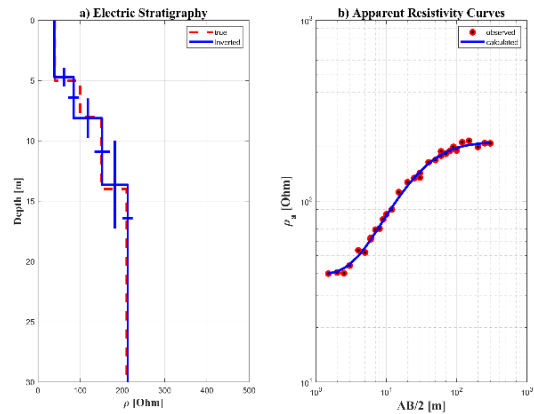


Gambar 5. Hasil inversi data VES sintetik *free noise* model III
 a) *Electric stratigraphy* beserta *uncertainty*
 b) Kurva resistivitas semu

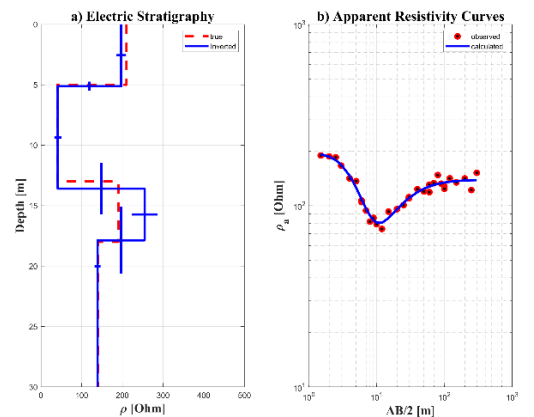
Hasil rekonstruksi menunjukkan bahwa model yang diperoleh dari proses inversi identik dengan model sebenarnya. Tingkat kemiripan atau *similarity index* antara model hasil inversi dan model sebenarnya mencapai 94.84% pada model I, 94.78% pada model II, dan 92.24% pada model III. Standar deviasi dari masing-masing model juga relatif kecil, yang menunjukkan bahwa derajat ketidakpastian solusi inversi kecil. Lebih lanjut, nilai *misfit* dari masing-masing parameter model relatif kecil. Pada model I *free noise* sebesar 0.3080, model II 0.7575,

dan pada model III 0.058. Hal ini disebabkan karena data bebas dari *noise* sehingga hasil inversi dapat menggambarkan model resistivitas 1-D dengan akurat.

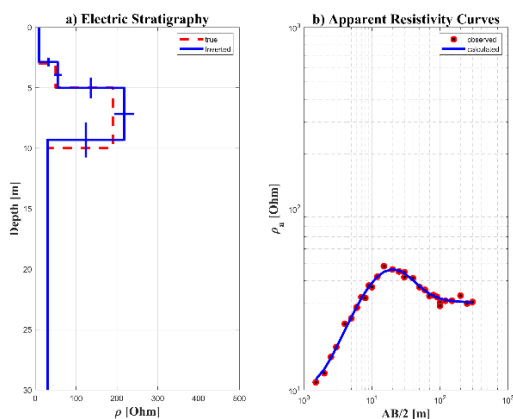
Selanjutnya dilakukan inversi data VES sintetik yang ditambahkan *noise* sebesar 5%. Hal ini untuk menguji apakah algoritma PSO tetap efektif apabila terdapat *noise* pada data.



Gambar 6. Hasil inversi data VES sintetik *noise* 5% pada model I
 a) *Electric stratigraphy* beserta *uncertainty*
 b) Kurva resistivitas semu



Gambar 7. Hasil inversi data VES sintetik *noise* 5% pada model II
 a) *Electric stratigraphy* beserta *uncertainty*
 b) Kurva resistivitas semu



Gambar 8. Hasil inversi data VES sintetik *noise* 5% pada model III

- a) *Electric stratigraphy* beserta *uncertainty*
- b) Kurva resistivitas semu

Dapat dilihat pada model I terkontaminasi *noise* mengalami penurunan nilai *similarity index* menjadi 93.04%, sedangkan model II menjadi 90.36%, dan model III menjadi 92.21%. Hal ini menandakan derajat ketidakpastian (*uncertainty*) dari solusi inversi semakin besar yang mengindikasikan bahwa semakin sulit juga untuk menemukan solusi yang akurat. Hal ini dikonfirmasi oleh hasil rekonstruksi model resistivitas 1-D beserta nilai *misfit* di mana keduanya mengalami pergeseran. Nilai *misfit* model I terkontaminasi *noise* sebesar 4.8535, model II 6.6112, dan model III 1.2705. Pada dasarnya keberadaan *noise* adalah penyebab utama ketidakpastian tersebut. Selain itu, *noise* dapat mengganggu pola data yang sebenarnya.

ii. Pengujian Tingkat *Robustness* Algoritma PSO (Uji Ketahanan)

Pengujian tingkat *robustness* algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) merupakan suatu proses yang penting dalam memvalidasi dan mengevaluasi performa serta ketahanan algoritma PSO dalam menghadapi variasi kondisi yang mungkin terjadi pada data lapangan sesungguhnya. Dalam hal ini dapat dilihat dari perbandingan antara tingkat *similarity index* dari hasil inversi data VES sintetik dari ketiga model *free noise* dan bila diberikan *noise* sebesar 5%. Di mana pada tabel perbandingan dibawah meskipun diberikan *noise* sekalipun algoritma PSO masih mampu menginversi dengan tingkat *similarity index* yang tidak mengalami penurunan secara signifikan. Hal ini, membuktikan bahwa algoritma PSO memiliki

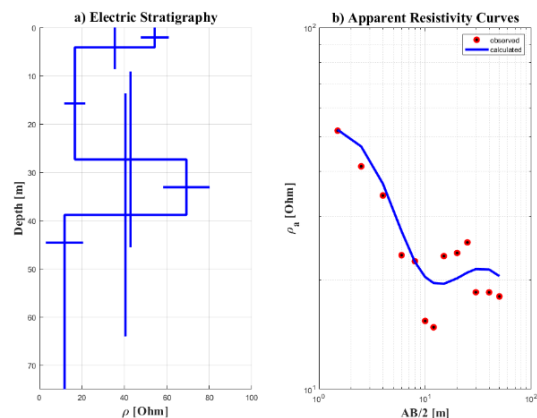
tingkat ketahanan yang tinggi walaupun data terkontaminasi oleh *noise*.

Tabel 4. Hasil *Similarity Index* data VES Sintetik model I, II, III

Data VES Sintetik	<i>Similarity index</i> (%)	
	<i>Free Noise</i>	<i>Noise</i> 5%
Model I	94.84	93.04
Model II	94.78	90.36
Model III	92.24	92.21

iii. Inversi Data VES Lapangan Menggunakan Algoritma PSO

Setelah algoritma PSO terbukti valid dalam menginversi data VES sintetik, langkah berikutnya adalah menerapkan algoritma ini pada data lapangan yang sebenarnya. Data lapangan yang digunakan adalah data VES yang diambil di daerah Sepinggan. Pada Gambar 9 diperlihatkan kurva resistivitas semu data lapangan. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, dalam proses inversi diperlukan ruang pencarian (*search space*) untuk mendapatkan solusi yang optimal. Dalam inversi data VES ini, *search space* untuk parameter tebal lapisan didasarkan pada data sumur bor di dekat daerah penelitian. Sedangkan, *search space* yang digunakan untuk parameter resistivitas dalam proses inversi didasarkan pada nilai resistivitas semu dari data lapangan. Dengan menggunakan 200 partikel dan 100 iterasi, dilakukan proses inversi data lapangan menggunakan algoritma PSO.

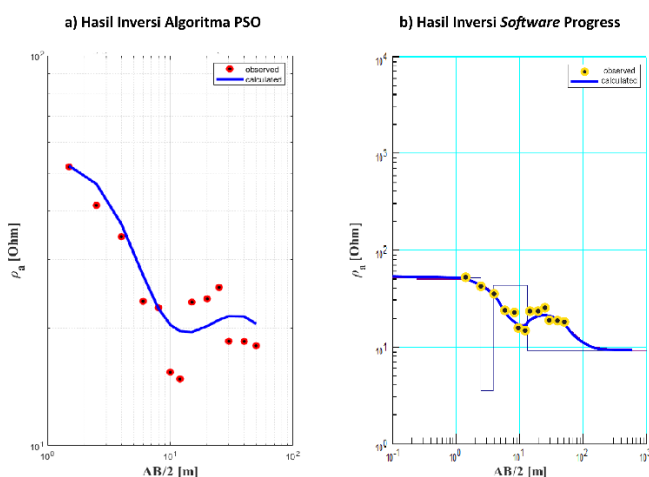


Gambar 9. Hasil inversi data VES lapangan
a) *Electric stratigraphy* beserta *uncertainty*
b) Kurva resistivitas semu

Model resistivitas 1-D menunjukkan bahwa data lapangan memiliki karakteristik resistivitas yang ditandai oleh adanya anomali resistivitas tinggi di antara zona resistivitas rendah. Khususnya, lapisan ketiga menunjukkan keberadaan anomali tersebut. Dilihat dari nilai standar deviasi, beberapa parameter model memiliki nilai yang cukup besar, terutama pada parameter yang berhubungan dengan kedalaman yang lebih dalam. Hal ini menunjukkan bahwa ketidakpastian semakin meningkat seiring dengan kedalaman lapisan. Tingginya ketidakpastian ini disebabkan oleh penurunan sensitivitas metode VES seiring dengan peningkatan kedalaman. Sementara itu, nilai akhir *rms error* sebesar 3.62 menunjukkan bahwa solusi inversi hampir mencapai tingkat optimal, menunjukkan kecocokan yang baik antara model dengan data observasi.

iv. Perbandingan Hasil Inversi menggunakan Algoritma PSO dan *software* inversi komersil

Pada tahap ini dilakukan perbandingan antara hasil inversi menggunakan algoritma PSO dan *software* inversi komersil yaitu Progress. Dalam penelitian ini, algoritma PSO menghasilkan estimasi parameter yang lebih baik dibandingkan dengan *software* Progress.



Gambar 10. Perbandingan grafik hasil inversi algoritma PSO vs *software progress*

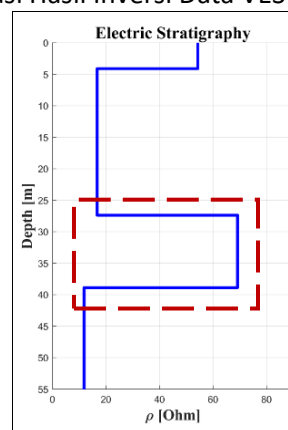
- a) Hasil inversi algoritma PSO
- b) Hasil inversi *software progress*

Tabel 5. Perbandingan nilai RMSE pada hasil inversi algoritma PSO vs *software progress*

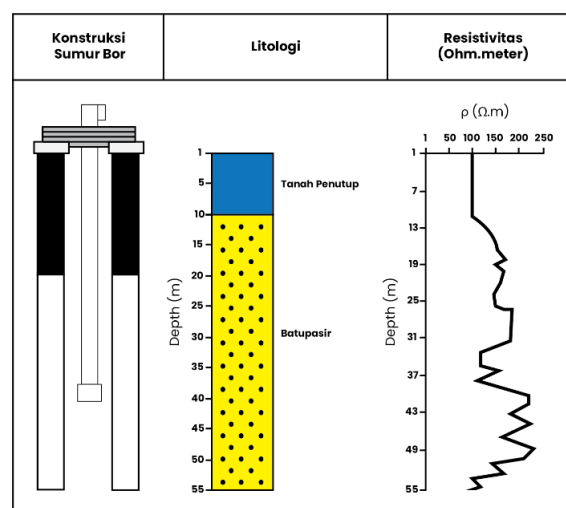
	Algoritma PSO	<i>Software Progress</i>
Data VES Lapangan	3.62	12.25

Dengan menggunakan jumlah iterasi yang sama. Hasil inversi algoritma PSO memiliki nilai *RMSE* lebih kecil daripada *software* inversi komersil, menunjukkan kemampuan algoritma PSO dalam menemukan solusi global yang lebih baik. Algoritma PSO efisien dalam eksplorasi ruang pencarian multidimensi, sedangkan *software* komersil terbatas pada model-model internalnya. PSO juga menghindari jebakan optimum lokal lebih baik daripada *software* komersil.

v. Interpretasi Hasil Inversi Data VES Lapangan



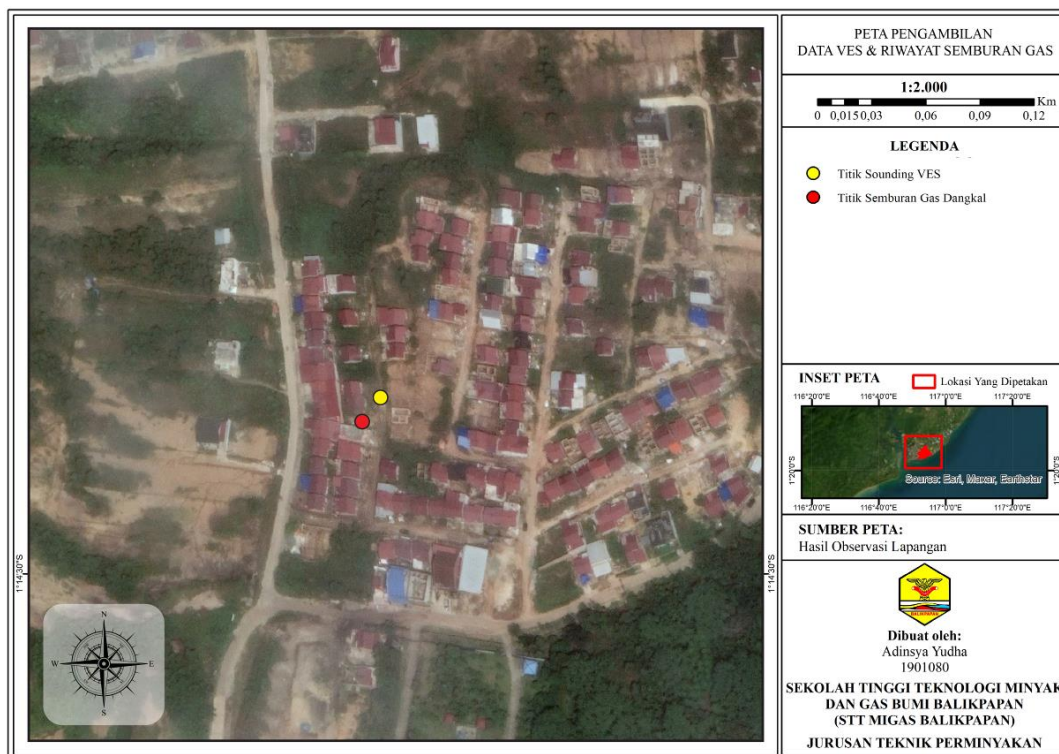
Gambar 11. Hasil Inversi data VES lapangan dan dugaan anomali gas dangkal



Gambar 12. Data sumur bor didekat daerah penelitian

Hasil Inversi

RMSE



Gambar 13. Lokasi semburan gas dangkal dan titik *sounding* VES

Pada Gambar 11 menunjukkan anomali resistivitas tinggi di lapisan ketiga, menandakan perubahan sifat resistivitas yang signifikan. Selain itu, bila dikorelasikan dengan data pada Gambar 12 ditunjukkan kedalaman lapisan dimana anomali resistivitas tinggi berada pada lapisan batupasir di kedalaman 27.36 – 38.86 meter. Kemungkinan, ini disebabkan oleh gas terperangkap dalam batuan pasir yang memiliki konduktivitas listrik lebih rendah daripada batuan sekitarnya. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya (Junaidi et al., 2022; Slater et al., 2007; Yuwanto et al., 2019) yang mengidentifikasi anomali resistivitas tinggi sebagai indikasi potensial adanya gas dangkal. Pada lokasi penelitian ditemukan juga adanya lapisan batubara yang dapat menjadi salah satu indikasi keberadaan gas dangkal, dengan potensi materi organik dalam batubara mengalami transformasi menjadi gas terperangkap di reservoir gas dangkal (Rahmad et al., 2018).

Dapat dilihat pada Gambar 13 terdapat juga laporan yang mengindikasikan adanya ledakan atau semburan gas dangkal di lokasi penelitian. Hal ini memberikan acuan yang kuat bahwa anomali resistivitas tinggi yang terdeteksi dalam inversi data VES dapat berhubungan dengan adanya gas

dangkal. Ledakan atau semburan gas dangkal sering kali terjadi karena adanya kantong gas yang terperangkap di lapisan dangkal, yang menyebabkan peningkatan tekanan dan pelepasan gas secara tiba-tiba.

Dalam konteks ini, anomali resistivitas tinggi yang terlihat dalam inversi data VES pada lapisan ketiga dapat mengindikasikan adanya kantong gas dangkal yang berkontribusi pada peristiwa semburan gas yang dilaporkan sebelumnya. Potensi adanya formasi atau lapisan dengan sifat resistivitas yang berbeda di dalam area tersebut, terutama pada lapisan ketiga mendukung hasil interpretasi ini.

PENUTUP

Simpulan

Algoritma PSO telah diuji dan diimplementasikan pada permasalahan inversi data *Vertical Electrical Sounding* (VES). Maka dari itu, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil inversi algoritma PSO pada data VES sintetik didapatkan nilai *misfit* dari model I *free noise* sebesar 0.3080, model II 0.7575, dan pada model III 0.058. Sedangkan pada model I

terkontaminasi *noise* sebesar 4.8535, model II 6.6112, dan model III 1.2705. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun data terkontaminasi oleh *noise*, hasil inversi algoritma PSO masih *robust* dan stabil.

2. Tingkat kemiripan (*similarity index*) mencapai lebih dari 90% dari ketiga model sintetik yang dibuat. Pada model I *free noise* memiliki nilai SI sebesar 94.84%, pada model I terkontaminasi *noise* 93.04%. Sedangkan pada model II *free noise* SI 94.78%, model II terkontaminasi *noise* 90.36%. pada model III *free noise* SI 92.24%, dan model III terkontaminasi *noise* 92.21%.
3. Hasil inversi menggunakan algoritma PSO mampu mengidentifikasi kedalaman gas dangkal pada lapisan ketiga yaitu pada lapisan batupasir di kedalaman 27.36 – 38.86 meter, yang ditunjukkan dengan adanya anomali resistivitas tinggi. Hal ini memiliki implikasi penting dalam dugaan awal adanya potensi gas dangkal di area penelitian.

Algoritma PSO yang dikembangkan untuk menginversi data VES dalam penelitian ini memiliki performa yang stabil, *robust*, dan memiliki derajat ketidakpastian yang kecil. Serta, mampu mengidentifikasi keberadaan gas dangkal pada daerah penelitian.

Saran

Ada beberapa hal yang menjadi pertimbangan untuk penelitian selanjutnya berdasarkan hasil dari penelitian ini. Dalam penelitian selanjutnya, direkomendasikan untuk mengimplementasikan algoritma PSO dalam pemodelan resistivitas 2D menggunakan *quasi-2D resistivity* untuk mendapatkan gambaran persebaran gas yang lebih jelas bawah permukaan di lapangan daerah penelitian. Selain itu, penting untuk mengumpulkan data geologi tambahan yang dapat mendukung atau mengkonfirmasi keberadaan gas dangkal di lapangan tersebut.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktur Riset, Teknologi, dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset Dan Teknologi. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset Dan Teknologi atas dana hibah Penelitian yang diberikan untuk melaksanakan penelitian ini. Terima kasih juga kepada LPPM, PRODI S1 Teknik Perminyakan dan PRODI S1 Teknik Geologi STT MIGAS Balikpapan yang telah mendukung penuh penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arung Laby, D., Sungkono, Santosa, B.J., Bahri, A.S., 2016. RR-PSO: Fast and robust algorithm to invert Rayleigh waves dispersion. *Contemporary Engineering Sciences* 9, 735–741. <https://doi.org/10.12988/ces.2016.6685>
- Bahri, A.S., 2005. Hand Out Mata Kuliah Geofisika Lingkungan dengan Topik Metoda Geolistrik Resistivitas. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS), Surabaya.
- Carlisle, A., Dozier, G., 2001. An off-the-shelf PSO, *Proceedings of the Workshop On particle Swarm Optimization*. Indianapolis, USA.
- Demon Daton, Z., 2021. Gas Metana Menyembur Setinggi 60 Meter dari Sumur Warga di Balikpapan [WWW Document]. URL <https://regional.kompas.com/read/2021/07/06/175933278/gas-metana-menyembur-setinggi-60-meter-dari-sumur-warga-di-balikpapan?page=all> (accessed 1.15.23).
- Fernández Martínez, J.L., García Gonzalo, E., Fernández Álvarez, J.P., Kuzma, H.A., Menéndez Pérez, C.O., 2010. PSO: A powerful algorithm to solve geophysical inverse problems Application to a 1D-DC resistivity case. *J Appl Geophy* 71, 13–25. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2010.02.001>
- Fernandez-Martinez, J., Fernández-Alvarez, J., García-Gonzalo, M., Menéndez Pérez, C., 2008. Particle Swarm Optimization (PSO): a simple and powerful algorithm family for geophysical inversion. <https://doi.org/https://doi.org/10.1190/1.3064068>
- Friastuti, R., 2016. Warga di Balikpapan Cari Air Sampai 64 Meter, yang Muncul SeWarga di Balikpapan Cari Air Sampai 64 Meter, yang Muncul Semburan Lumpur [WWW Document]. URL

<https://news.detik.com/berita/d-3230120/warga-di-balikpapan-cari-air-sampai-64-meter-yang-muncul-semburan-lumpur> (accessed 8.22.23).

- GHOSH, D.P., 1971. Inverse Filter Coefficients For The Computation of Apparent Resistivity Standard Curves for a Horizontally Stratified Earth. *Geophys Prospect* 19,769–775. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1971.tb00915.x>
- Grandis, H., 2009. Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI), Bandung.
- Humaida, H., Zaennudin, A., Euis Sutaningsih, N., Sulistiyo, Y., 2010. Semburan gas dan dampaknya terhadap lingkungan di sekitar Lumpur Sidoarjo. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi* 1, 43–58.
- J. Kennedy, R. Eberhart, 1995. In Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Neural Networks.
- Jamaluddin, Umar, E.P., 2018. Identification of subsurface layer with Wenner-Schlumberger arrays configuration geoelectrical method, in: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012006>
- Junaidi, A., Yuwanto, S.H., 2022. Identifikasi Gas Biogenik Berdasarkan Data Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Scumberger di Desa Larangan Tokol, Tlanakan, Pamekasan Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan (SEMITAN)* 1, 444–450.
- Philips Aizebeokhai, A., 2010. 2D and 3D geoelectrical resistivity imaging: Theory and field design. *Scientific Research and Essays* 5, 3592–3605.
- Rahmad, B., Raharjo, S., Widi Pramudihadi, E., Ediyanto, 2018. Rencana Pengembangan Lapangan Gas Metana Batubara Dangkal (Shallow CBM) di Daerah Ida Manggala, Rantau, Kabupaten Hulu Sungai Selatan Kalimantan Selatan. *Jurnal OFFSHORE* 2, 20–33. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.30588/jo.v2i1.351>
- Slater, L., Comas, X., Ntarlagiannis, D., Moulik, M.R., 2007. Resistivity-based monitoring of biogenic gases in peat soils. *Water Resour Res* 43. <https://doi.org/10.1029/2007WR006090>
- Wang, D., Tan, D., Liu, L., 2018. Particle swarm optimization algorithm: an overview. *Soft comput* 22, 387–408. <https://doi.org/10.1007/s00500-016-2474-6>
- Yuwanto, S.H., Wibowo, H.T., Bahar, H., Maulana Syah, P., 2019. Identifikasi Keberadaan Gas Biogenik Dengan Metode Geolistrik Sebagai Energi Alternatif Daerah Kampil dan Sekitarnya, Kecamatan Wiradesa, Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VII 201–210.