



Implementasi Algoritma Genetika untuk Optimasi Parameter *Self Potential* pada Sebaran Mineral PasirBesi

Siti Diah Ayu Febriani^{*}, Risqa Daniyati

Teknik Energi Terbarukan, Politeknik Negeri Jember

Email korespondensi : siti_diah@polije.ac.id

Submitted 16 Januari 2018, Accepted 24 Maret 2018

ABSTRACT—Salah satu cara untuk mengetahui potensi mineral adalah mengoptimalkan parameter *Self - Potential* secara global dengan menggunakan pemodelan Algoritma Genetika. Metode ini memiliki kelebihan dalam memberikan informasi yang lebih komprehensif dan terpadu agar lebih memastikan bahwa di daerah Kepanjen, Jember memiliki potensi mineral pasir besi dan Algoritma Genetika yang dikembangkan dengan fungsi fitness yang dibangun pada model residu. Program pemodelan numerik menggunakan MATLAB. Proses Algoritma Genetika bekerja dengan memilih model tebakan acak dalam satu populasi, menghasilkan model inversi yang mendekati model data primer dan dapat dianggap sebagai solusi parameter optimum momen dipol listrik (k), kedalaman ke pusat bola atau silinder. (h), sudut polarisasi (θ) dan (q). Berdasarkan hasil penelitian dengan menggunakan data primer, didapatkan pola distribusi pasir besi dengan anomali self potential sebesar $-291,7$ mV yang mengindikasikan butiran mineral pasir besi paling optimum pada lintasan dua dan nilai fitness terbesar pemodelan algoritma genetika pada probabilitas cross cover dan mutasi adalah 0,9 dan 0,05 dengan RMS 2,6% dan parameter Self -Potential optimal pada 202,15 (k), 4,98 (h), 1,5 (q), 29,96 (θ).

KEYWORD : Algoritma Genetika, Optimasi, Mineral PasirBesi, Self-Potential

DOI: <http://dx.doi.org/10.20527/flux.v15i1.4194>

I. PENDAHULUAN

Self Potential (SP) adalah pengukuran pasif berdasarkan potensi listrik yang berasal dari kopling beberapa mekanisme kekuatan seperti kimia, termal dan hidrolik (Indriana 2007). Pengukuran SP memiliki hubungan dengan medan listrik alami dan sumber arus di bawah tanah. Mekanisme sumber telah menjelaskan bahwa pola waktu dan ruang di bidang SP. Untuk anomali SP yang terdeteksi sederhana atau kurang pada keadaan polarisasi listrik. Masalah inversi SP terdiri dari penentuan lokasi dan geometri pengukuran potensial listrik di bawah tanah (Patella 2003). Permasalahan di bidang pemodelan geofisika adalah sulitnya untuk menemukan model optimum dengan tujuan asosiatif minimum dengan solusi yang terjebak pada nilai minimum lokal.

Interpretasi anomali SP telah dilakukan penelitian yang pertama: pendekatan grafis didasarkan pada penggunaan nomogram dan kurva karakteristik (Agarwal 1984 dan Sundarajan and Srinivas 1996), kedua: pendekatan numerik dengan menggunakan fungsi probabilitas dipole (Revil *et al.* 2001 dan Luliano *et al.* 2002) dan ketiga: pendekatan tomografi menemukan sumber SP dalam probabilitas muatan listrik (Patella 1997). SP telah diinterpretasikan dengan menggunakan korelasi visual dengan pengamatan, titik karakteristik dan kurva pencocokan logaritma. Untuk estimasi parameter sumber menggunakan model sumber geometris, titik pengisian, bola, silinder dan garis.

Prediksi merupakan alat yang sangat penting diterapkan di berbagai sektor atau bidang seperti konsumsi energi, ramalan cuaca dan pengembangan ilmu pengetahuan

dan teknologi. Penelitian tentang kecerdasan buatan dikembangkan untuk mendapatkan solusi terbaik dari beberapa solusi yang mungkin ditawarkan seperti algoritma genetika yaitu sistem algoritma pencarian yang meniru mekanisme genetika alami untuk mendapatkan estimasi solusi optimal dari satu variabel atau multi variabel. Fungsi fitness adalah fungsi yang menunjukkan perkiraan kinerja. Metode penskalaan kebugaran meliputi: Skala Linear, Transfer Kebugaran, Pemotongan Sigma, Skala Hukum Daya dan Boltzmann (Minsley 1997).

Pada penelitian ini, penentuan parameter merupakan hal penting dalam suatu metode geofisika. Walaupun prosedur penentuan parameternya sederhana, tetapi *tuning* parameter-parameter SP yaitu (k , h , q , θ) untuk memperoleh nilai yang optimal tidak mudah. Penggunaan algoritma genetik diharapkan dapat memudahkan dalam menghasilkan nilai estimasi terbaik untuk masing-masing parameter *self-potential*.

1.1 Algoritma Genetika

Secara Umum algoritma genetik menitikberatkan pada ruang solusi dan akan mencari solusi terbaik dari ruang solusi yang ada. Algoritma Genetika adalah algoritma yang memanfaatkan proses seleksi alamiah sehingga dikenal sebagai teori evolusi. Seleksi alam disini yakni proses penyesuaian gen secara terus-menerus dengan lingkungannya, sehingga pada akhirnya hanya individu yang kuat yang mampu bertahan. Dalam permodelan Algoritma Genetika, permasalahan direpresentasikan dalam bentuk kromosom. Faktor penting dalam Algoritma Genetika yakni nilai fitness, representasi genetika dan operasi genetika (Nugraha and Mahmudy 2015).

Algoritma genetic diawali dengan dibentuknya himpunan solusi secara random yang disebut populasi. Setiap individu dalam populasi disebut kromosom yang mempresentasikan sebuah solusi. Kromosom berkembang melalui iterasi beruntun yang disebut *generations*. Pada setiap generasi

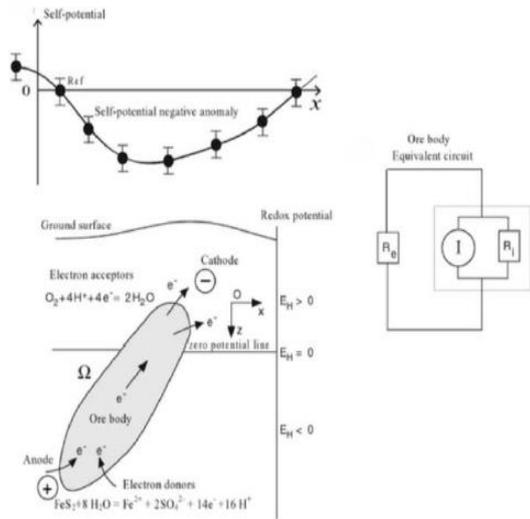
kromosom dievaluasi dengan menggunakan alat tertentu (*Fitness Function*). Untuk menghasilkan keturunan berikutnya, kromosom baru dihasilkan dengan cara perkawinan silang dan mutasi kromosom. Setelah terbentuk beberapa generasi maka algoritma genetika akan menghasilkan solusi yang mengarah pada solusi terbaik.

1.2 Metode SP

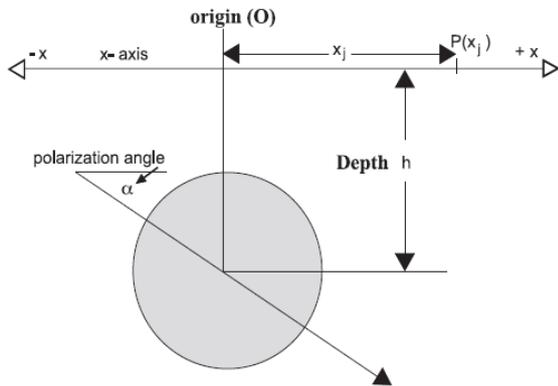
SP merupakan perbedaan potensial yang terjadi secara alami antara titik-titik di permukaan tanah. Perbedaan potensial dihasilkan di dalam bumi atau di dalam batuan yang teralterasi oleh kegiatan manusia maupun alam. Potensial alami terjadi akibat ketidaksamaan atau perbedaan material-material, dekat larutan elektrolit dengan perbedaan konsentrasi dan karena aliran fluida di bawah permukaan. Selain itu, hal lain yang mengakibatkan terjadinya potensial diri di bawah permukaan yaitu dapat dihasilkan oleh perbedaan perlapisan tubuh mineral sulfida (*weathering of sulphide mineral body*), perubahan dalam sifat-sifat batuan (kandungan mineral) pada daerah kontak-kontak geologi, aktifitas bioelektrik dari material organik, korosi, perbedaan suhu dan tekanan dalam fluida di bawah permukaan dan fenomena-fenomena alam lainnya. SP ini berhubungan dengan lapisan mineral yang mengandung sulfide, sifat batuan pada daerah kontak geologi, aktivitas bioelektrik material organik, korosi dan fenomena lainnya.

Daerah sulfide merupakan pengantar yang baik untuk dapat membawa electron dari kedalaman tertentu ke daerah dekat permukaan. SP dapat muncul karena adanya aktivitas elektrokimia dan mekanik didalam bumi, factor pengontrol dari aktivitas tersebut adalah air tanah. Besarnya efek SP keseluruhan ditentukan oleh perbedaan potensial oksidasi antara larutan pada dua setengah-sel. Mekanisme ini diilustrasikan pada Gambar 1 yang menunjukkan aliran elektron dan ion yang meninggalkan permukaan atas bermuatan negatif,

sedangkan yang lebih rendah bermuatan positif (Telford 1990).



Gambar 1. Sketsa model geobattery klasik dari Sato dan Money untuk tubuh bijih



Gambar 2. Geometri pada silinder 2D

1.3 Optimasi Parameter SP dengan AG

Teknik optimasi yang dikembangkan dengan menggunakan algoritma genetika ini adalah menghasilkan suatu nilai yang dijadikan sebagai kriteria untuk menentukan nilai parameter model sistem. Keluaran dari proses algoritma genetik adalah nilai *fitness* yang optimum. Pemilihan nilai parameter pada penelitian ini dilakukan secara *imple random sampling* dengan interval Psilang=0.6-1 dan Pmutasi=0.01-0.1. Data yang digunakan sebagai gen pembentuk kromosom pada penelitian ini yaitu data parameter SP yakni k, h, q, θ dengan bervariasi Psilang dan Pmutasi sebanyak 10 pasang dengan

dilakukan run sebanyak 10 kali pada setiap pergantian pasang data.

Analisa parameter SP dengan menggunakan metode *Quasi Minimal Residual (QMR)*, *Levenberg Marquardt*, *Single Value Decomposition (SVD)*.

$$V = k \times \frac{\cos \theta + h \sin \theta}{(x^2 + h^2)^q} \quad (1)$$

dengan standar deviasi:

$$\sigma = \sqrt{\sum \left(\frac{(d_{obs} - d_{calc})^2}{(n - 1)} \right)} \quad (2)$$

Dengan σ sebagai standar deviasi, *d_{obs}* sebagai nilai yang diberikan, *d_{calc}* sebagai nilai hasil perhitungan, dan n jumlah data. Standar deviasi ini menunjukkan seberapa dekat nilai yang didapat (*d_{calc}*) sesuai dengan nilai sebenarnya (*d_{obs}*). Jika standar deviasi kecil, maka nilai yang didapat (*d_{calc}*) mendekati nilai sebenarnya (*d_{obs}*). Hal tersebut menunjukkan pula bahwa nilai pada “psilang” dan “pmutasi” merupakan nilai tepat untuk menghasilkan parameter model optimum.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

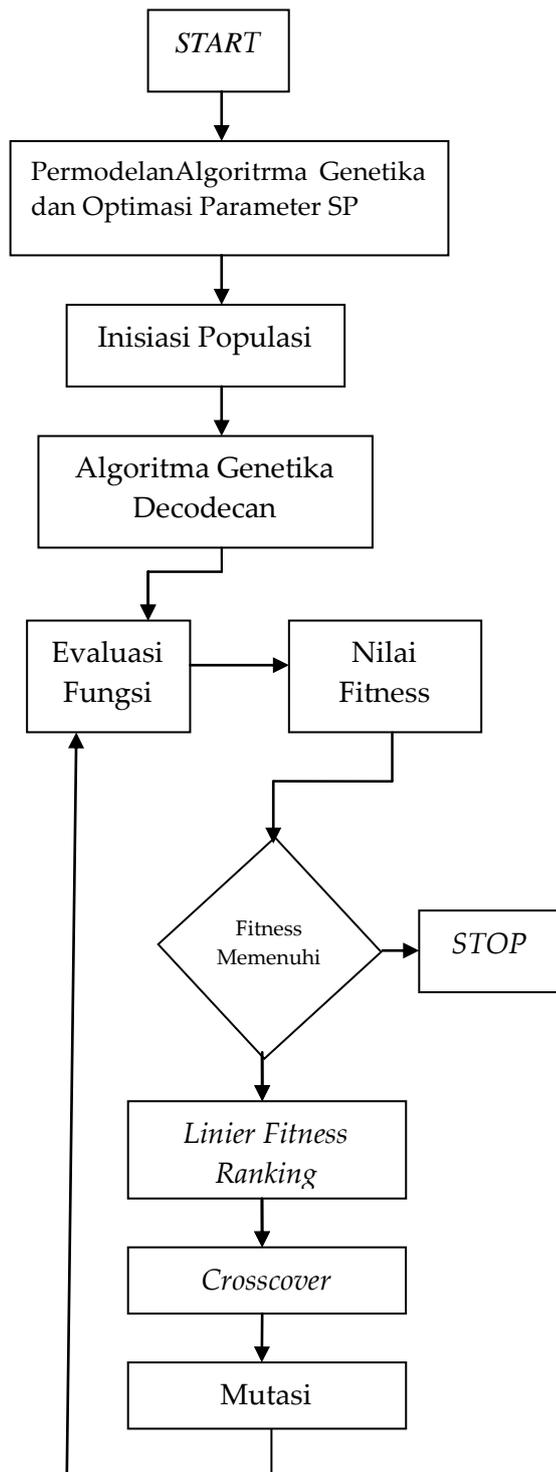
Model Genetika

Menentukan suatu pengkodean *initial* populasi yang dibentuk secara acak dengan 1 bit kromosom sebagai kandidat solusi masalah dengan komponen k, h, q, θ. Pemilihan pengkodean parameter SP untuk mempresentasikan langsung pada masalah riil. Pada kasus ini akan terjadi banyak iterasi/pengulangan. Untuk mendapatkan kandidat model, maka masukan dan keluaran parameter SP diidentifikasi menggunakan toolbox pada MATLAB dengan basis data yang dibangun dari komponen utama parameter SP yakni k=200, h=5, q= 1.5 dan θ= 30.

Inisiasi Populasi

Inisiasi populasi berisi data yang mendukung parameter SP. Ukuran panjang dari populasi bergantung pada banyaknya gen yang ada, pada kasus ini setiap gen

mempresentasikan jumlah variabel parameter SP yang diujikan.



Gambar 3. Tahapan Penelitian untuk permodelan Algoritma Genetika pada data SP

Algoritma Genetika Decodecan

Pada tahap ini dilakukan pengkodean inisiasi dari biner menjadi real. Kode Biner memberikan banyak kemungkinan untuk kromosom walaupun dengan jumlah nilai yang mungkin terjadi pada satu gen

sedangkan kode real dapat dengan cepat diperoleh solusi yang optimum. Dalam proses decodecan ini selalu ada batas atas dan batas bawah ruang model, dimana memerlukan deskripsi berapa bit yang digunakan untuk mendeskripsikan satu variabel yang dicari. Pada kasus ini digunakan $x_1=-1000$ $x_2=1000$. Fungsi decodecan berisi jumlah kromosom, I_0 , h_i , bit.

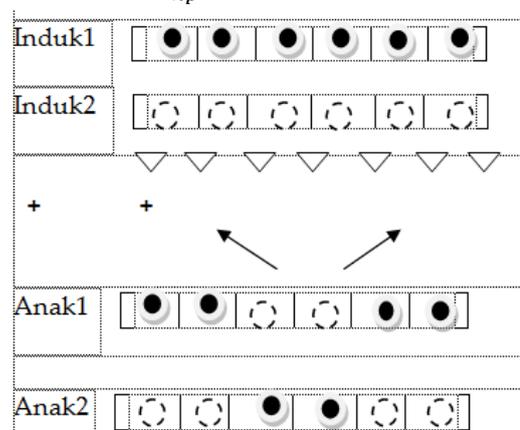
Evaluasi Fungsi Fitness

Mengevaluasi *fitness* dengan menghitung *fitness* $f(x)$ dari setiap kromosom x dalam populasi.

Linier Fitness Ranking dan Seleksi

Proses ini digunakan untuk menghindari kecenderungan konvengen pada optimum *local* atau yang memiliki variansi tinggi. Pada seleksi *roulette*, semakin tinggi nilai *fitness* maka semakin besar kemungkinan untuk terpilih menjadi induk (Goldberg 1989). Prosedur seleksi merupakan kemungkinan individu untuk dipilih secara proporsional pada *fitness* individu. Pada penggunaan Algoritma Genetika secara teori, individu sebagai a memiliki r_j berdasarkan fungsi *fitness* S_j , jika $r=np$ (np : *number of population*) maka *fitness* S' memiliki formula:

$$S'_j = \frac{np-rj+1}{np}, S'_j \in [0,1] \tag{3}$$



Gambar 4. Mekanisme *Crossover* dua point

Fitness relative kemudian digunakan untuk pengukuran probabilitas seleksi pada algoritma roulette wheel.

Crossover

Proses ini memilih secara acak satu posisi dalam kromosom untuk kemudian saling menukar gen. Penukaran gen juga

dilakukan pengecekan apakah individu baru yang terbentuk sudah sesuai dengan aturan yang berlaku. Ada tiga tipe operasi *crosscover* yang digunakan: satu point, dua point, dan point seragam.

Mutasi

Tercipta populasi generasi ke dua dari proses mutasi dimana penggantian satu gen yang terpilih secara acak dengan nilai baru yang didapat secara acak. Proses mutasi mengenalkan modifikasi secara random. Selama mutasi dengan probabilitas rendah, sebuah porsi individu baru akan tergenerasi pada sebuah bit baru. Pada konjungsi dengan skema decode decimal, satu point seragam dimasukkan pada algoritma genetika (Charbonneauv 2002). Permasalahan ini muncul, bila suatu populasi solusi ujicoba relatif baik disempurnakan terutama oleh aksi mutasi. Proses mutasi digunakan untuk mengatasi masalah seperti itu dengan cara yang sederhana. Sekali digit telah ditargetkan untuk mutasi, digit yang sesuai akan bertambah atau dikurangi dengan probabilitas yang sama. Tingkat pengelompokan populasi dihitung sebagai ukuran, perbedaan fitness normal antara individu terbaik dan median (sesuai dengan peringkat berdasarkan fitness). Pengelompokan dalam penelitian ini diukur dengan menggunakan jarak metrik antara yang terbaik dan median sebagai berikut:

$$\Delta d = \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n (x^{max} - x^{med})^2 \right)^{1/2} \quad (4)$$

dengan n adalah nomor parameter pada solusi vector x (tiga parameter: factor bentuk, kedalaman, dan sudut polarisasi), sehingga mutasi berdasarkan variasi berikut:

$$P_M = \begin{cases} Pm \times \delta & \text{jika } \Delta \leq \Delta_{rendah} \\ Pm & \text{jika } \Delta_{rendah} < \Delta < \Delta_{tinggi} \\ Pm \times \delta & \text{jika } \Delta \geq \Delta_{low} \end{cases} \quad (5)$$

dengan $\delta=1.5$, $\Delta_{rendah}=0.05$, $\Delta_{tinggi}=0.25$

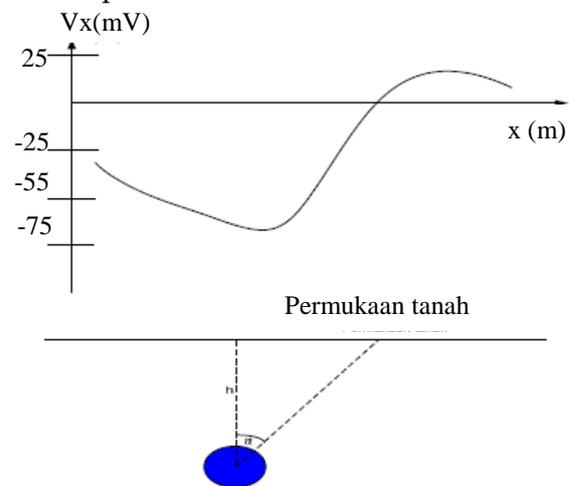
2.2 Pengambilan data SP lapangan

Metode SP

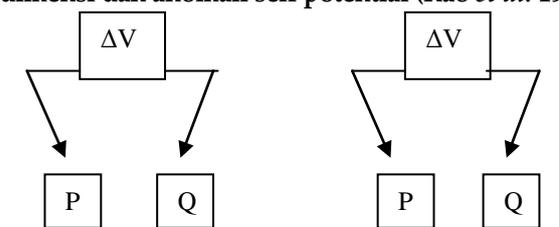
Pada metode SP terdapat dua konfigurasi yaitu gradient potensial dan metode amplitude potensial. Gradien

potensial menggunakan dua buah elektroda yang dipindah dengan jarak yang tetap sp[edangkan metode amplitude potensial menggunakan dua buah elektroda yang dipindah sepanjang garis acuan pada jarak tetap yang selanjutnya diukur beda potensial. Pada penelitian ini dilakukan pada 3 lintasan dengan panjang lintasan 100 m, spasi 1m, dan jarak antar lintasan 20m.

Data SP yang diperoleh adalah gabungan berdasarkan tiga komponen data yakni potensial diri noise dengan karakter panjang gelombang yang pendek dan gradient yang curam dikarenakan potensial aliran skala kecil, potensial aliran difusi, efek topografi dan SP sisa. Pengukuran SP dengan arah naik mengindikasikan bahwa harga potensial yang semakin positif dan pengukuran pada arah turun berkurang. Model penyebab anomali dibawah permukaan bumi dapat menggunakan model bola seperti Gambar 4.



Gambar 5. Parameter mineral untuk bola dua dimensi dan anomali self potential (Rao et al. 1983)



Gambar 6. Pengambilan data SP diri

2.3 Tahap akuisisi, Prosesing Data dan Interpretasi Data

Tahap akuisisi data dilakukan untuk mengakuisisi data secara akurat yang

diperoleh dilapangan daerah Paseban menggunakan alat ukur multitester dalam volt, kemudian data yang diperoleh diproses untuk mengubah data mentah yang masih dalam domain waktu menjadi domain frekuensi. *Prosesing data* pada permodelan 2 dimensi dilakukan dengan menggunakan *software* Surfer untuk mendapatkan kenampakan dua dimensi potensi mineral pasir besi dari daerah Kepanjen berdasarkan data nilai tegangan dan koordinat wilayah Selanjutnya *interpretasi data* dilakukan untuk menginterpretasikan gambaran dua dimensi struktur bawah permukaan berupa nilai beda potensial dengan data geologi yang ada, sifat fisis batuan, sebagai manifestasi kawasan potensi sumber panas bumi secara lebih akurat.

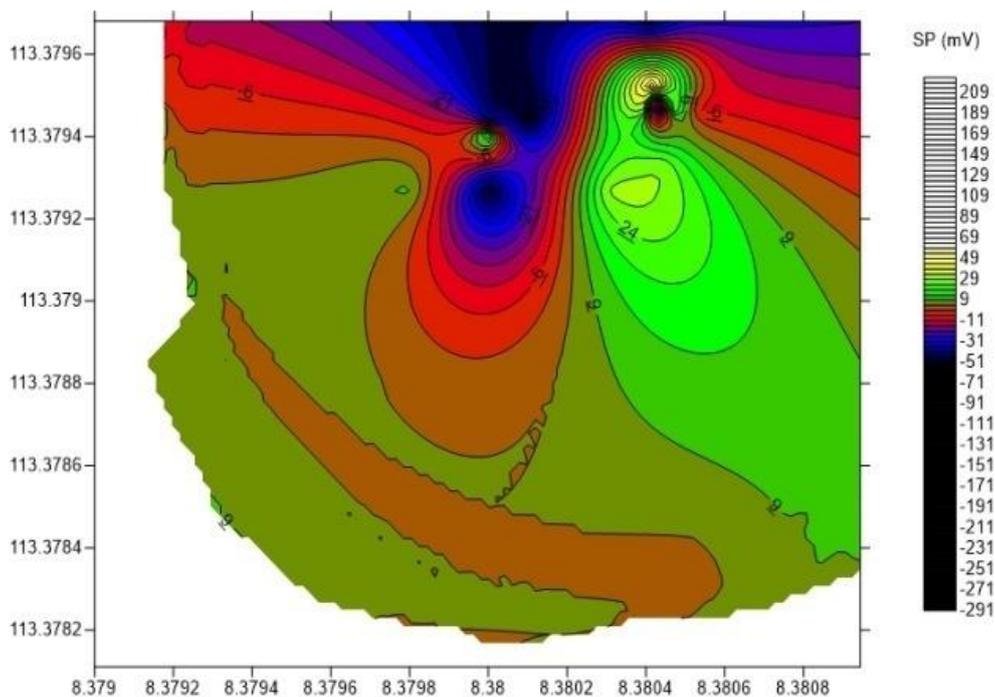
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 SP lapangan

Penelitian untuk memperoleh data SP primer (keluaran sistem) yang selanjutnya dikorelasikan dengan hasil permodelan menggunakan Algoritma Genetika telah

dilakukan di Desa Kepanjen, Gumukmas Jember, dimana daerah tersebut merupakan salah satu daerah manifestasi mineral pasir besi di Jawa Timur yang masih belum banyak dilakukan penelitian terkait pengembangan baik skala mikro maupun makro sumber daya alam tersebut.

Dari hasil pengukuran potensial diri di lokasi penelitian diperoleh data sebanyak 300 titik pengukuran. Data tersebut kemudian dilakukan *smoothing* dengan program excel, selanjutnya dilakukan pengolahan menggunakan program surfer untuk memperoleh peta kontur isopotensial yang menunjukkan pola sebaran nilai potensial diri. Profil anomali potensial menggambarkan nilai potensial pada masing-masing jarak *offset* dari lintasan pengukuran. Nilai anomali potensial yang terjadi diinterpretasikan secara kualitatif dengan nilai terendah. Nilai anomali potensial pada masing-masing profil lintasan diasiasikan sebagai mineral bijih besi adalah nilai potensial antara -100- sampai 1000 mV (Reynold 1997).



Gambar 7. Kontur isopotensial yang dihasilkan dari lintasan satu sampai tiga

Berdasarkan peta kontur isopotensial diperoleh data pengukuran berupa titik pengukuran X dan Y dan nilai beda potensial ΔV kemudian dapat diinterpretasikan

anomali mineral pasir besi yang terdapat di lintasan 2 dengan nilai isopotensial -291.7 mV, tampak adanya anomali potensial di bawah permukaan, hal ini terlihat dari pola

kontur equipotensial yang memiliki harga lebih rendah dari daerah sekitar dan mempunyai kerapatan kontur potensial lebih tinggi. Anomali tersebut juga dapat dilihat dari perbedaan warna kontur, dimana daerah yang memiliki warna yang sama, nilai beda potensial di daerah tersebut juga sama. Pada kontur terlihat pada lintasan 1 dan 2 warnanya terdapat pusat anomali yang ditunjukkan dengan warna yang semakin pekat dengan rentang nilai beda potensial -15 mV sampai -291.7 mV yang merupakan nilai terendah jika dibandingkan dengan daerah sekitarnya. Jika ditinjau dari segi geologi daerah Kepanjen merupakan daerah yang memiliki potensi sumber daya mineral. Berdasarkan referensi (Reynold 1997) tentang geologi dan jenis anomali, maka anomali potensial yang terukur di daerah Kepanjen diindikasikan potensial mineralisasi pasir besi.

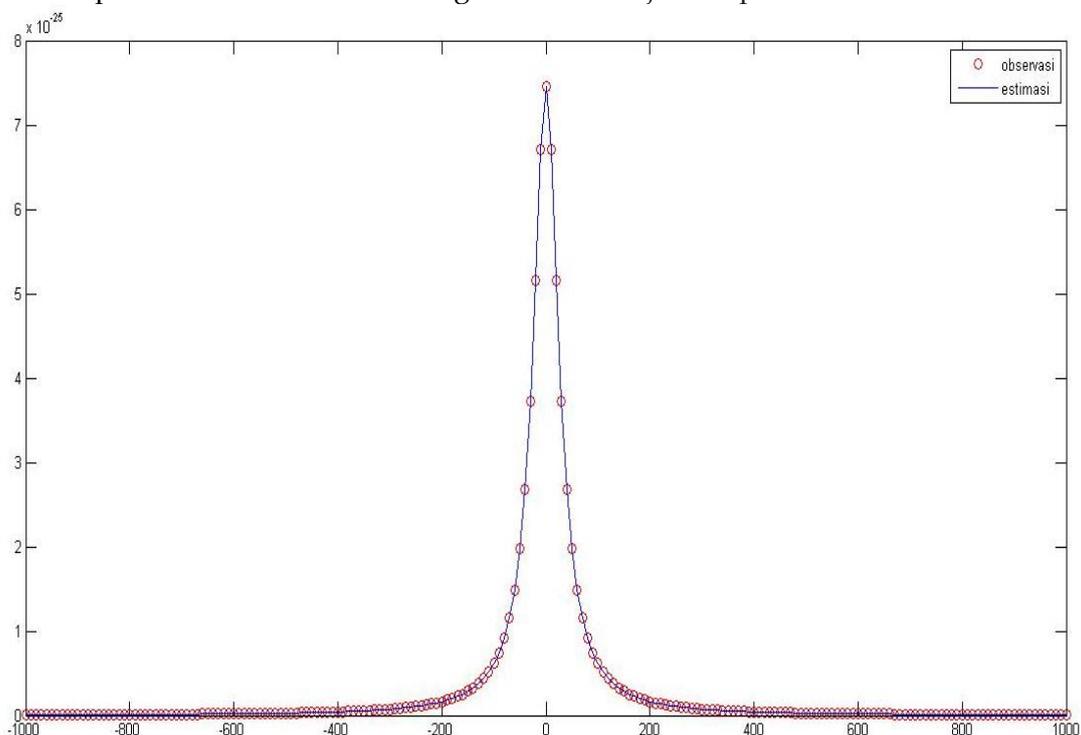
3.2 Pembentukan Generasi Awal

Model dibangkitkan melalui mekanisme permodelan ke depan yang diberi bias. Model ini dapat digunakan pada data lapangan (observasi) yang merupakan hasil penamabahan permodelan kedepan menggunakan parameter model dan bilangan

acak terdistribusi normal. Pada proses optimasi digunakan model tebakan yang telah dibentuk secara acak dan dibuat dekat dengan data observasi. Sebanyak 10 model untuk satu populasi yang tersusun dari 4 parameter model yakni momen dipol listrik (k), kedalaman ke pusat bola atau silinder. (h), sudut polarisasi (θ) dan (q). Model tebakan awal dilakukan uji kelayakan untum dijadikan solusi melalui proses seleksi model, proses persilangan (*crosscover*) dan mutasi dan evaluasi sehingga diperoleh hasil inverse dengan menggunakan metode algoritma genetika yang dekat dengan model observasi.

3.3 Permodelan Algoritma Genetika

Pada kasus ini, model awal cukup dekat dengan model observasi. Jika model awal jauh dari parameter anomali akan menghasilkan parameter model yang tidak sesuai dengan kondisi awalnya dan selanjutnya kan berdampak pada proses iterasi dengan algoritma genetika yang panjang dan cenderung program tidak stabil. Anomali potensial diri telah dihitung untuk parameter berikut: (θ)=29,96°, momen dipole listrik $k=202,14$ pada kedalaman $h=4,98$ dan $q=1,49$. Hasil pengolahan permodelan dengan algoritma genetika ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil Inversi data SP Kepanjen, Jember

Hasil permodelan kedepan digunakan sebagai data lapangan yang ditambah dengan nilai acak terdistribusi normal dengan interval 2mV dan interval potensial listrik -10 mV sampai 20mV dengan pola yang tidak beraturan. Profil anomali data primer didigitasi sebanyak 300 titik dengan interval 10 m baik pada lintasan 1, 2 dan 3 diperoleh nilai anomali parameter dengan kedalaman h 4,98 m, momen dipole listrik k, 202,14, *shape factor* q 1,49, dan sudut polarisasi θ 29,95°. Hasil proses inversi yang dilakukan diperoleh RMS error 2,6 % untuk data primer SP Kepanjen. Hasil ini sesuai dengan anomali ayng terdapat di Kepanjen yang merupakan daerah manifestasi mineral pasir besi.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa RMS error pada data observasi dan permodelan dibawah 10%, hal ini membuktikan bahwa program dapat diterapkan pada data lapangan dengan proses kerja program dan iterasi cukup singkat. Permodelan dengan menggunakan Algoritma Genetika sangat sensitif terhadap pemilihan model awal karena cenderung terjebak di minimum local dan sumber anomali pasir besi di daerah Kepanjen diinterpretasikan pada lintasan 2 dengan nilai SP -291.7mV.

IV. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih pada P3M (Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat) Politeknik Negeri Jember telah mendanai penelitian ini.

V. DAFTAR PUSTAKA

Agarwal, B.N.P., 1984. *Quantitative interpretation of self-potential anomalies*. Expanded Abstract Volume of the 54th SEG Annual Meeting Exposition. Atlanta: 154-157

Charbonneau, P., 2002. *Release notes for PIKAIA 1.2 NCR/NT-451+STR*. NCR TECHINCAL Note. Boulder, Colorado.

Goldberg, D. E., 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Mechine Learning*. New York: Addison Welsey Publishing Company. INC.

Indriana, R. D., 2007. Interpretasi Bawah Permukaan dengan Metode Self Potential Daerah Bledug Kuwu Kradenan Grobogan. *Berkala Fisika* 10 (3), 155-162.

Luliano, T., Mauriello, P., Patella, D., 2002. Looking Inside Mount Vesuvius by Potential Fields Integrated Probability Tomographies. *J. Volcano. Geotherm. Res*, 113, 363-378.

Minsley, B. J. 1997. *Modeling and Inversion of Self Potential Data*. B.S Applied Physics, Perdue University.

Nugraha, D. C., dan Mahmudy, W. F., 2015. *Optimasi Vehicle Routing Problem with Time Windows pada Distribusi Katering Menggunakan Algoritma Genetika*. (ITS), Seminar Nasional Sistem Informasi Indonesia (SESINDO), Surabaya, 2-3 November, 275-282.

Patella, D., 1997. *Introduction to Ground Surface Self-Potential Tomography*. *Geophys, Prospect*. 45, 653-681.

Patella, D., 2003. *Principle of Electrography applied to Self-Potential sources and hydrogeological application*. *Water Resources Research*, 39: 5SBH3-2-SBH3-15.

Rao, B.S.R., Murthy. I.V.R., Readdy, S.J., 1970. Interpretation of Self Potential Anomalies of Some Simple Geometrical Bodies. *Pure Appl. Geophysics*, 78. 60-77.

Revil, A., Ehourane, L, Thyreault, E., 2001. Tomography of Self-Potential Anomalies of Electrochemical nature. *Geophys. Res. Lett*, 28, 4363-4366.

Reynold, J. M., 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. England: John Wiley and Sons Ltd.

Sundarajan, N., and Srinivas, Y., 1996. A Modified Hilbert Transform and its

application to self-potential interpretation. *J. Appl. Geophysics*, 3, 137-143.

Telford, W. M., Geldart, L. P, and R.E Sheriff, R.E., 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press.