

Pemodelan Zona Patahan Berdasarkan Anomali Self Potential (SP) Menggunakan Metode Monte Carlo Algoritma Metropolis

Theresia Oktatriani¹⁾, Yudha Arman¹⁾, Joko Sampurno¹⁾

¹⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Tanjungpura, Pontianak
Email: oktavi.yani@yahoo.co.id

Abstrak

Pada penelitian ini dibangun suatu model inversi menggunakan metode Monte Carlo Algoritma Metropolis. Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi parameter zona patahan pada data anomali *self potensial* (SP). Data yang digunakan dari data sintetik yang berbeda akan diterapkan untuk satu struktur bidang sesar dan tiga struktur bidang sesar. Untuk satu struktur bidang sesar ada delapan parameter model yang diukur dengan luas daerah pengukuran 13x13 km dan jumlah data 169. Parameter model yang digunakan yaitu panjang sesar (l), lebar sesar (t), *strike* (α), *dip* (δ), koordinat origin sesar (x_0, y_0, z_0), dan potensial bidang sesar (F_0). Model sintetik yang digunakan akan ditambah dengan bilangan acak berdistribusi normal, agar data yang digunakan dapat dianggap mewakili data sintetik. Hasil dari simulasi diperoleh bahwa model hasil inversi yang didapat mendekati model sintetik akan diplot kedalam bentuk kontur berdasarkan nilai SP. Untuk satu struktur bidang sesar diperoleh RMS *error* relatif sebesar 2,3120. Pada tiga struktur bidang sesar diperoleh nilai RMS *error* relatif sebesar 8,655.

Kata kunci : *Self Potential* (SP), *Metode Monte Carlo Algoritma Metropolis*

1. Pendahuluan

Prospek *geothermal* secara umum ditentukan oleh keberadaan sesar dan anomali parameter fisis di permukaan. Anomali ini diakibatkan oleh suhu permukaan yang meningkat dan vegetasi lahan. Suhu permukaan yang meningkat menyebabkan parameter fisis seperti *self potensial* (SP) mengalami perubahan yang signifikan. Hal ini didasarkan pada mekanisme *thermoelectric* yaitu panas dari bawah permukaan yang mengalami transport ke permukaan mengubah potensial diri struktur batuan yang dilewatinya. Struktur perlapisan geologi yang selaras tanpa adanya prospek *geothermal* memiliki kontras nilai SP yang tidak besar. Prospek *geothermal* ditandai dengan adanya kontras nilai yang besar atau anomali SP di daerah pengukuran tersebut.

Penentuan keberadaan prospek di bawah permukaan yang ditandai dengan adanya anomali pada saat pengukuran merupakan proses pemodelan geofisika. Dalam pemodelan geofisika masalah yang selalu dihadapi yaitu mencari suatu model optimum yang berasosiasi dengan minimum fungsi objektif. Akan tetapi solusi yang diperoleh sering kali terjebak pada minimum lokal. Hal ini terjadi dikarenakan model awal yang dipilih tidak tepat sehingga mengantar pemodelan terjebak pada hal tersebut.

Pada penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan berhubungan dengan penelitian ini membahas tentang anomali SP yang berasosiasi

prospek *geothermal* berdasarkan mekanisme *Thermoelectric* diduga anomali SP pada bidang vertikal (Fitterman, 1979a). Bidang vertical tersebut memiliki sudut kemiringan tertentu dan diskontinuitas potensial listrik total dapat ditulis kedalam bentuk fungsi *Green* (Fitterman, 1979b, 1983). Besarnya anomali SP berdasarkan mekanisme *thermoelectric* untuk setiap titik dinyatakan oleh intensitas potensial sumber dan sudut padat (*solid angle*) yang dibentuk geometri sumber (Fitterman, 1984). Penentuan geometri dan intensitas sumber berdasarkan model tersebut salah satunya dapat dilakukan dengan pemodelan inversi non-linier dengan pendekatan linier (Arman, 2002).

Permasalahan yang muncul dari inversi non-linier tersebut adalah metode ini sangat sensitif terhadap pemilihan model awal. Metode tersebut dalam pencarian solusi sangat rentan terjebak pada minimum lokal yang mana untuk menjadi solusi sangat terbatas karena model yang dievaluasi terbatas pada model yang cukup dekat dengan model awal.

Pada penelitian ini, metode pencarian solusi akan dilakukan menggunakan metode Monte Carlo Algoritma Metropolis. Kelebihan dari metode ini adalah ruang model yang akan diseleksi lebih besar jika dibandingkan dengan metode inversi non-linier, sehingga proses pencarian solusi dapat terhindar dari minimum lokal. Metode ini juga telah digunakan sebelumnya

untuk permasalahan keluaran bilangan random terhadap probabilitas *outcome* (Cahyo, 2008), perhitungan dinamika fluida berbasis teori medan dengan formulasi teori *gauge* pada kisi ruang waktu diskrit (Hartanto, 2006), Penentuan Nilai jual/beli Saham (Muniroh, 2008) dan proses pembuatan Nanomaterial menggunakan *Ball-Mill* (Diana, 2010). Kesesuaian permasalahan pada penelitian ini dengan lingkup objek penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa metode ini sangat baik untuk diterapkan pada pencarian parameter model anomali zona patahan berdasarkan mekanisme *thermoelectric*.

2. Landasan Teori

2.1 Metode Monte Carlo

Metode pencarian acak adalah suatu metode dengan solusi dicari secara acak dan diulang hingga menghasilkan solusi yang diharapkan. Misalnya dicari suatu angka antara 0 sampai dengan 100, maka angka-angka antara 0 dan 100 diacak sehingga diperoleh angka yang dimaksud. Metode tersebut tampak sangat sederhana karena memerlukan cara suatu solusi dinyatakan, lalu mengacak nilainya sehingga diperoleh nilai yang diharapkan dari model solusi yang telah ada. Metode pencarian acak itu menjadi tidak menarik karena hasilnya memang tidak bagus, tetapi merupakan konsep dasar yang menarik untuk dibahas.

Metode Monte Carlo memperbaiki metode pencarian acak. Sehingga metode tersebut menjadi metode simulasi yang banyak digunakan. Metode Monte Carlo merupakan metode pencarian acak dengan perbaikan tidak semua nilai pada solusi diacak ulang (Basuki, dkk.,2004).

2.2 Algoritma Mertopolis

Algoritma Metropolis merupakan algoritma yang sederhana untuk mensimulasikan perubahan temperatur benda terhadap lingkungannya. dengan menampilkan tingkat dari simulasi pada temperatur *T*. Simulasi reaksi pada partikel suatu sistem fisis digambarkan sebagai keadaan mikro dalam mekanika statistik. Mekanika statistik merupakan aplikasi teori probabilitas yang menerapkan fungsi matematika untuk menganalisis keadaan mikro dalam fisika (Gould, dk,1939).

Sistem fisis dalam tingkat dengan energi *E* yang sesuai dengan fungsi *Gibs-Boltzmann* yaitu, $e^{-E/kT}$ dimana *T* < 0 adalah temperatur dan *k* < 0 adalah konstanta *Boltzmann*. Setiap temperatur fungsi pada *T* menurun secara terus - menerus pada energi *E*, sehingga tingkat yang berada pada

sistem fisis tampak seperti penurunan energi, dari energi tingkat sebelumnya. Efek dari temperatur *T* ketika nilai *T* kecil adalah probabilitas energi tingkat yang rendah lebih besar dari pada energi tingkat yang tinggi. Dengan demikian, apabila nilai temperatur besar, maka perbedaan antara dua probabilitas itu sangat kecil dan sistem menjadi lebih serupa dalam kondisi tingkat apapun.

Apabila diberikan tingkat awal yaitu *i* dengan energi *E_i*, maka tingkat selanjutnya adalah *j* diperoleh dengan mengaplikasikan suatu mekanisme acak untuk mengubah tingkat awal *i* menjadi tingkat selanjutnya *j*. Sebagai contoh adalah pertukaran partikel-partikelnya. Energi dari tingkat selanjutnya adalah *E_j*. Perubahan energi *E_j – E_i* di sebut ΔE . Nilai ΔE diperoleh dari nilai kuadrat terkecil atau RMS (*root minimum square*) model baru diselisihkan dengan model awal. Nilai β adalah $1/kT$ dimana β adalah sebagai variabel termodinamika.

T dinotasikan sebagai temperatur pada ruang dan *k_B* adalah konstanta *Boltzmann*. Untuk lebih sederhana $k_B T$ didefinisikan sebagai β yaitu: (Gould,dkk., 1939).

$$k_B T = \beta \tag{1}$$

2.3 Forward Modelling Self-Potensial (SP)

Pemodelan kedepan (*Forward Modelling*) menyatakan proses perhitungan data yang secara teoritis akan teramati di permukaan bumi jika diketahui harga parameter model bawah permukaan. Perhitungan data teoritis tersebut menggunakan persamaan matematik yang diturunkan dari konsep fisika yang mendasari fenomena yang ditinjau. Dalam pemodelan data geofisika, dicari suatu model yang menghasilkan respon yang cocok dengan data pengamatan atau data lapangan. Dengan demikian, model tersebut dapat dianggap mewakili kondisi bawah permukaan di tempat pengukuran (Grandis, 2009).

Perumusan *forward modelling* (SP) menurut persamaan *Laplace*. Persamaan tersebut memiliki kondisi batas yang pertama adalah aliran arus listrik normal kontinu pada batas konduktivitas. Kondisi batas ke dua yaitu diskontinuitas potensial listrik total melalui sumber SP. Solusi yang dihasilkan dari pemodelan kedepan dapat ditulis ke dalam fungsi *Green* yaitu (Fitterman dalam Arman, 2002):

$$\psi(r) = \int_{s'} F(r') G(r,r') ds' \tag{2}$$

dengan:

Ψ = potensial listrik total

$G(r,r')$ = fungsi Green,

S' = bidang sumber,

$F(r')$ = intensitas sumber.

Hubungan fungsi Green dengan solusi permasalahan potensial dc adalah (Fitterman dalam Arman, 2002):

$$G(r,r') = \frac{\sigma}{j} n \cdot \nabla' \phi(r,r') \quad (3)$$

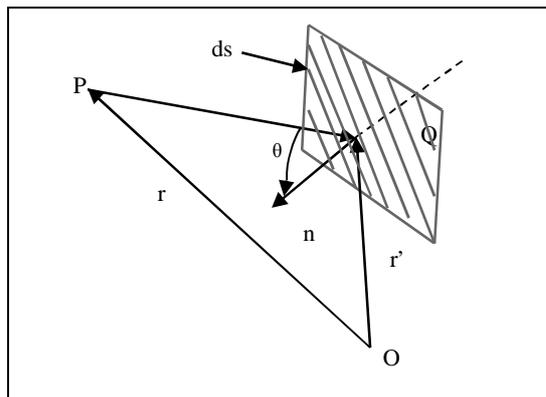
Yaitu : $\phi(r,r')$ adalah potensial di titik r berhubungan dengan intensitas arus J yang diinjeksi pada titik r' . σ adalah Konduktivitas medium. $F(r')$ menyatakan perubahan potensial listrik total yang akan terjadi apabila sumber dilalui arus listrik pada arah normal suatu bidang. Jadi fungsi Green untuk seluruh ruang yaitu (Fitterman dalam Arman, 2002):

$$G(r,r') = n \cdot \nabla' \frac{1}{4\pi |r-r'|} \quad (4)$$

Sehingga energi potensial listrik total nya:

$$\begin{aligned} \psi(r) &= \frac{1}{4\pi} \int_{S'} F(r') n \cdot \nabla' \frac{1}{|r-r'|} \\ &= \frac{-1}{4\pi} \int_{S'} F(r') \frac{\cos \theta}{|r-r'|^2} dS' \\ &= \frac{-1}{4\pi} \int_{S'} F(r') d\Omega \end{aligned} \quad (5)$$

dengan $d\Omega$ adalah elemen diferensial solid angle, θ yaitu sudut antara normal bidang n dan $r'-r$, seperti terlihat pada gambar (1).



Gambar 1. Geometri sumber titik (Fitterman dalam Arman, 2002)

dengan:

Q = Geometri sumber titik

P = titik observasi

n = unit normal dari ds.

O = titik koordinat asal.

Pada Persamaan 5 menunjukkan potensial listrik total yaitu perbandingan antara solid angle yang mana dibentuk oleh sumber pada titik pengukuran dan solid angle seluruh ruangan (4π). Apabila arah magnetisasi paralel terhadap n , potensial listrik diberi bobot fungsi distribusi intensitas sumber, yang ekuivalen terhadap potensial skalar magnetik. Apabila intensitas sumbernya konstan maka Persamaan 5 menjadi: (Fitterman dalam Arman, 2002).

$$\psi(r) = \frac{-F_0}{4\pi} \Omega(r,r') \quad (6)$$

Saat titik pengukuran mendekati bidang S' (r sangat dekat r'), sumber akan terlihat seperti bidang tak terhingga. Pada posisi tersebut solid angle mencapai nilai $\pm 2\pi$ tetapi masih bergantung pada sisi yang didekati sumber. Pada potensial listrik total sisi bidang sumber yang saling berlawanan dengan nilai $\pm F_0/2$.

Batas setengah ruangan diperoleh dari penggunaan sumber bayangan (image source) di atas. Total potensial listrik setengah ruang untuk seluruh sumber yang berada di dalamnya kemudian menjadi: (Fitterman dalam Arman, 2002).

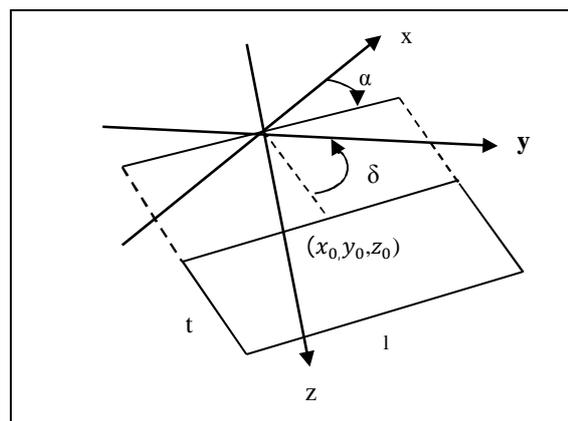
$$\psi(r) = \frac{-F_0}{4\pi} [\Omega(r,r') + \Omega(r,r'')] \quad (7)$$

dengan :

$r' = (x',y',z')$

$r'' = (x',y',-z')$

merupakan vektor pada sistem koordinat, pada persamaan di atas yang terlihat pada Gambar 2.



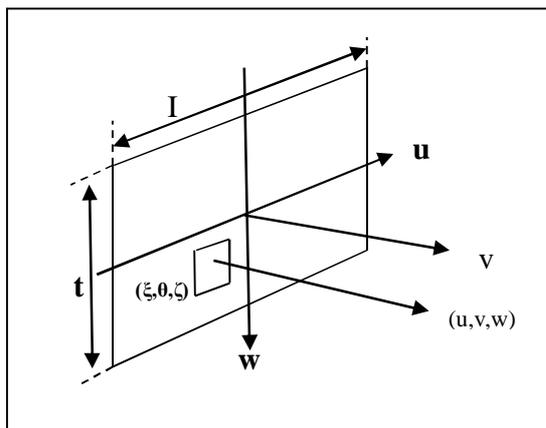
Gambar 2. Geometri sumber miring (Fitterman dalam Arman, 2002)

dengan α adalah sudut strike dan δ adalah dip. (x_0, y_0, z_0) pada bagian tengah atas sumber (Fitterman dalam Arman, 2002).

Titik pengukuran yang berada di permukaan setengah ruang dinyatakan dengan $(z = 0)$. Sehingga kedua *solid angle* pada Persamaan 7, bernilai sama dan potensial listrik total menjadi: (Fitterman dalam Arman, 2002).

$$\psi(r) = \frac{-F_0}{2\pi} \Omega(r, r') \quad (8)$$

Sumber anomali SP didefinisikan sebagai bidang miring yang merupakan kontak antara dua medium dengan perbedaan sifat-sifat *thermoelectric*, yaitu medium dengan temperatur yang berbeda terhadap temperatur sekitar. Bidang sumber memiliki sudut *strike* α dan *dip* δ serta panjang *strike* l dan ketebalan pada arah kemiringan *dip* t , kedalaman bidang sumber adalah z *solid angle* dari bidang sumber persegi empat di titik pengukuran (u, v, w) dihitung pada koordinat yang berpusat pada bidang sumber Gambar 3.



Gambar 3. Sistem koordinat dalam perhitungan *solid angle* (Fitterman dalam Arman, 2002)

Sistem koordinat yang di atas pada gambar 3 di gunakan dalam perhitungan *solid angle* untuk sumber dari persegi empat. Koordinat tersebut ditranslasikan dan dirotasikan dengan sistem koordinat global seperti yang terlihat pada gambar 2. Untuk *solid angle* di titik (u, v, w) dapat dirumuskan (Fitterman dalam Arman, 2002):

$$\Omega(u, v, w) = \int_{-1/2}^{1/2} d\xi \int_{-1/2}^{1/2} d\zeta \frac{\cos \theta}{r^3} = \int_{-1/2}^{1/2} d\xi \int_{-1/2}^{1/2} d\zeta \frac{v}{r^3} \quad (9)$$

dengan:

$$\cos \theta = \frac{-v}{r} \quad r^2 = (\xi - u)^2 + v^2 + (\zeta - w)^2$$

dengan menggunakan hubungan:

$$\frac{d}{d\zeta} \left[\frac{\zeta - w}{r} \right] = \frac{1}{r} - \frac{(\zeta - w)}{r^3} = \frac{(\xi - u)^2 + v^2}{r^3} \quad (10)$$

Sehingga di peroleh:

$$\frac{1}{r^3} = \frac{1}{(\xi - u)^2 + v^2} \frac{d}{d\zeta} \left(\frac{\zeta - w}{r} \right) \quad (11)$$

Substitusi Persamaan (10) ke dalam Persamaan (8) sehingga diperoleh:

$$\Omega(u, v, w) = - \int_{-1/2}^{1/2} d\xi \frac{v}{\xi - u^2 + v^2} \frac{\zeta - w}{r} \Big|_{\xi = -t/2}^{t/2} = - \int_{-1/2}^{1/2} d\xi \frac{v}{(\xi - u)^2 + v^2} \left\{ \frac{\frac{t}{2} - w}{[(\xi - u)^2 + v^2 + (\frac{t}{2} - w)^2]^{1/2}} + \frac{\frac{t}{2} + w}{[(\xi - u)^2 + v^2 + (\frac{t}{2} + w)^2]^{1/2}} \right\} \quad (12)$$

dengan bantuan integral definite menghasilkan:

$$\int \frac{vw}{u^2 + v^2} \frac{du}{\rho} = \tan^{-1} \frac{uw}{v\rho}$$

Dengan

$$\rho^2 = u^2 + v^2 + z^2, \text{ Persamaan (11) menjadi } \Omega(u, v, w) = -f(u, v, w; 1/2, t/2) + f(u, v, w; -1/2, t/2) + f(u, v, w; 1/2, -t/2) - f(u, v, w; -1/2, -t/2) \quad (13)$$

dengan :

$$f(u, v, w, a, b) = \tan^{-1} \left[\frac{(u-a)(w-b)}{v[(u-a)^2 + v^2 + (w-b)^2]^{1/2}} \right] \quad (14)$$

Sistem koordinat lokal (u, v, w) dengan sistem koordinat global (x, y, z) dihubungkan kemudian di rumuskan sebagai sistem matriks sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sin \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \delta \sin \alpha & \sin \delta \cos \alpha & -\cos \delta \\ -\cos \delta \sin \alpha & \cos \delta \cos \alpha & \sin \delta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} \quad (15)$$

dengan :

$$x' = x - x_0 + \frac{t}{2} \cos \delta \sin \alpha \quad (16a)$$

$$y' = y - y_0 - \frac{t}{2} \cos \delta \cos \alpha \quad (16b)$$

$$z' = z - z_0 - \frac{t}{2} \sin \delta, \quad (16c)$$

Perhitungan di mulai dengan menghitung translasi dan rotasi dari sistem koordinat (x,y,z) ke sistem koordinat (u,v,w) . selanjutnya dilakukan perhitungan *solid angle* sebagai fungsi dari parameter model $(x_0,y_0,z_0,t,l,\alpha,\delta,F_0)$ pada sistem koordinat (u,v,w) . Hasil dari perhitungan *Solid angle* untuk menghitung potensial yaitu sebagai fungsi parameter model (Fitterman dalam Arman, 2002).

3 Metodologi

Data yang digunakan adalah data anomali SP berupa data sintetik yang diperoleh dari hasil *forward modeling* (FM). Untuk data sintetik 1, luas daerah pengukuran 13 x 13 km arah utara searah sumbu y positif dengan jumlah data 169. Data sintetik 2 dengan luas daerah pengukuran 13 x 13 km arah utara searah sumbu x positif dengan jumlah data 169.

4 Hasil dan Diskusi

4.1 pemodelan data sintetik 1

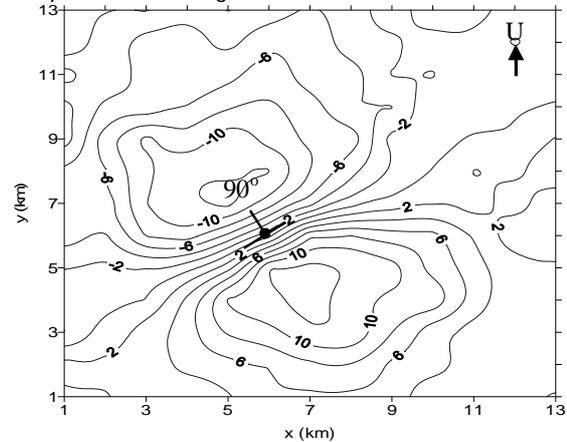
Model sintetik satu digunakan untuk satu struktur bidang patahan (sesar) yang terdiri dari delapan parameter yaitu panjang sesar (l), lebar sesar (t), *strike* (α), *dip* (δ), koordinat origin sesar (x_0,y_0,z_0) , serta potensial bidang sesar (F_0). Nilai parameter model yang digunakan kemudian dibangkitkan dengan pemodelan kedepan sebagai data sintetik satu bidang sesar, dengan pengukuran daerah 13 x 13 km dengan jumlah data 169. Tabel tersebut menampilkan hasil inversi data sintetik 1 yang terdiri dari delapan parameter model. Pada hasil inversi adanya sesar pada koordinat (5,87;5,57). Nilai parameter model yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil inversi data sintetik satu sesar

Parameter	Model Sintetik	Model Awal	Hasil Inversi
L (km)	4	10	7.85
T (km)	0.7	1	1.36
α (°)	60	90	68.05
δ (°)	90	30	87.55
X0 (km)	6	3	5.87
Y0 (km)	6	7	5.57
Z0 (km)	2	1	1.52
F0 (mV)	500	500	422.36

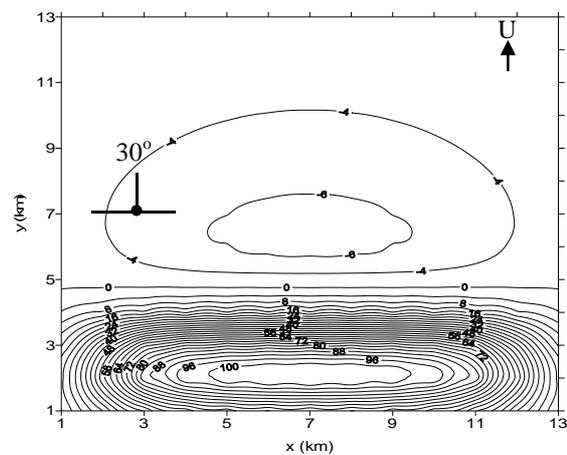
Gambar 4 memperlihatkan kontur model sintetik yang diperoleh dari data sintetik 1 sesar, yang mana model sintetik ini digunakan sebagai data lapangan ditambah dengan nilai acak berdistribusi normal. Ini bertujuan agar data yang dihasilkan dapat dianggap mewakili data

lapangan. Pada kontur model sintetik satu sesar menghasilkan range potensial listrik -12 mV sampai 12 mV, dengan interval 2 mV.



Gambar 4. Kontur model sintetik interval 2mV

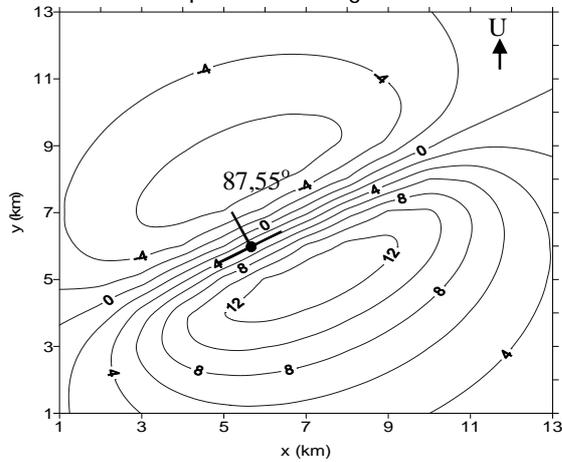
Pada Gambar 4 menampilkan kontur hasil model awal dengan range potensial listrik yang dihasilkan dari model awal berkisar dari -6 mV sampai dengan 100 mV, intervalnya 2 mV. Model awal ini yang akan digunakan dalam proses inversi.



Gambar 5. Kontur model awal interval 2 mV

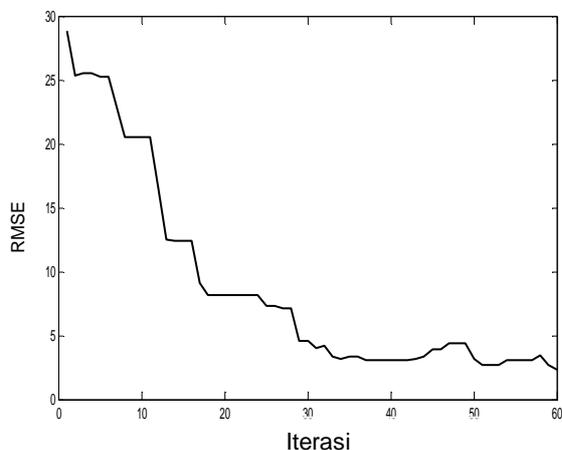
Penetapan model awal yang digunakan jauh dengan model sintetik. Ini bertujuan untuk menguji keakuratan program dengan metode Monte Carlo Algoritma Metropolis. Pada pencarian solusi dengan inversi non-linier, semakin jauh penetapan model awal dengan model sintetiknya mengakibatkan hasil inversi cenderung terjebak pada minimum lokal. Tetapi dengan metode Monte Carlo Algoritma Metropolis proses pencarian solusi dapat terhindar dari minimum lokal.

Gambar 6 menampilkan kontur hasil pemodelan menggunakan metode Monte Carlo Algoritma Metropolis, dengan jangkauan potensial listrik -6 mV sampai 12 mV dengan interval 2 mV



Gambar 6. Kontur hasil inversi interval 2 mV

Walaupun penetapan model awalnya cukup jauh dari model sintetik, proses iterasi yang dilakukan tidak terlalu panjang. Pada iterasi 60, hasil yang diperoleh cukup dekat dengan model sintetik. Pada grafik 7 dengan *rms error* dapat dilihat bahwa hasil inversi dengan solusi mendekati model sintetik pada *rms error* sebesar 2,312.



Gambar 7. Grafik rms error relatif untuk fungsi iterasi

4.2 Inversi data sintetik 2

Model sintetik 2 yaitu model sintetik untuk tiga struktur bidang sesar. Satu struktur bidang sesar terdiri dari delapan parameter diantaranya panjang sesar (l), lebar sesar (t), *strike* (α), *dip* (δ), koordinat origin sesar (x_0, y_0, z_0), serta potensial bidang sesar (F_0). Luas daerah

pengukuran 13 km x 13 km dengan arah utara searah dengan sumbu y positif. Nilai parameter model tersebut dibangkitkan dengan pemodelan kedepan sebagai data sintetik. Pada hasil inversi keberadaan sesar terletak pada koordinat (3,48;4,94), (7,83;10,12), (10,93;2,22). Parameter model yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

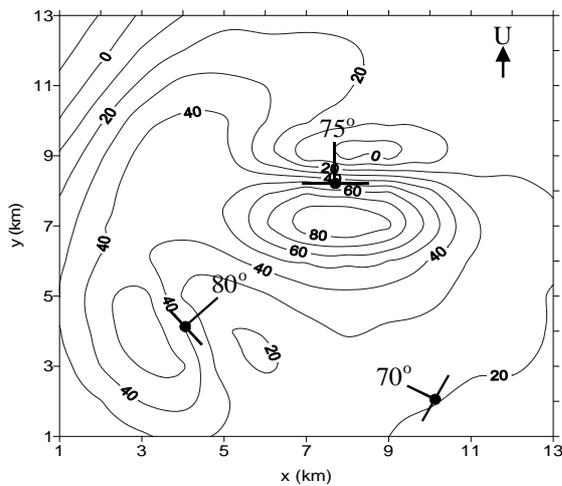
Tabel 2. Hasil inversi data sintetik 2.

Parameter sesar 1	Model Sintetik	Model Awal	Hasil Inversi
L(km)	4	5	4.76
T(km)	0.5	2	1.46
α (°)	150	140	151.31
δ (°)	80	60	58.62
X0 (km)	4	5	3.48
Y0 (km)	4	6	4.94
Z0 (km)	1	2	1.39
F0 (mV)	500	501	380.28

Parameter sesar 2	Model Sintetik	Model Awal	Hasil Inversi
L(km)	4	5	3.52
T(km)	0.5	1	0.63
α (°)	90	85	65.85
δ (°)	75	70	75.03
X0 (km)	8	10	7.83
Y0 (km)	8	9	10.12
Z0 (km)	0.1	1	0.93
F0 (mV)	400	405	389.09

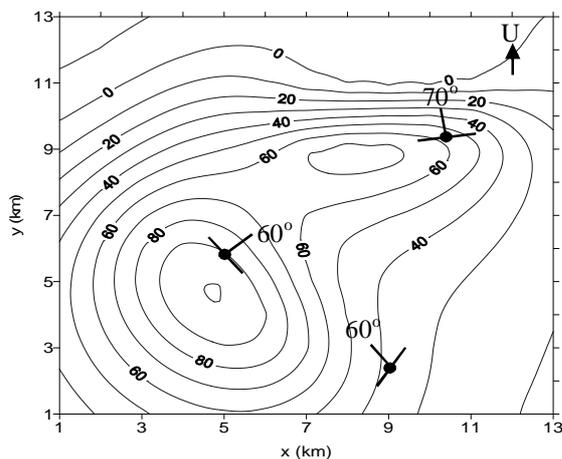
Parameter sesar3	Model Sintetik	Model Awal	Hasil Inversi
L(km)	4.5	5	3.61
T(km)	9.5	7	10.33
α (°)	30	40	22.57
δ (°)	70	60	43.31
X0 (km)	10	9	10.93
Y0 (km)	2	3	2.22
Z0 (km)	2.5	3	3.13
F0 (mV)	500	505	575.27

Gambar 8 merupakan kontur model sintetik tiga struktur bidang sesar, hasil dari penyelesaian pemodelan kedepan (*forward modelling*) dengan penjumlahan dari parameter sesar 1, parameter sesar 2, dan parameter sesar 3 sebagai masukan. Data tersebut kemudian digunakan sebagai data lapangan yang telah ditambah dengan nilai acak berdistribusi normal.



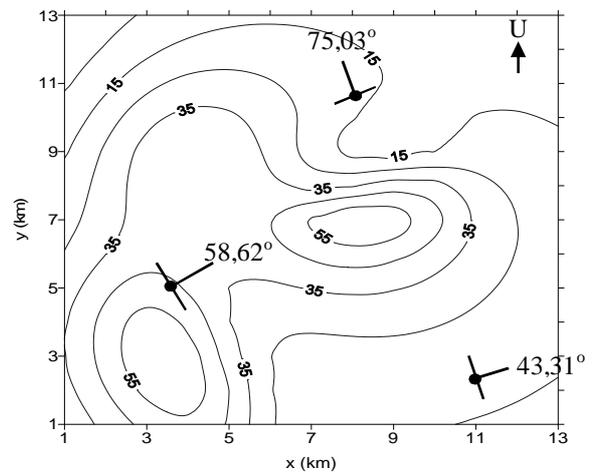
Gambar 8. Kontur model sintetik interval 10 mV

Pada gambar 8 dapat dilihat pola kontur parameter model sintetik dengan respon potensial listriknya dari -10 mV sampai dengan 80 mV dan intervalnya sebesar 10 mV. Adanya sesar/patahan dapat dilihat dari respon model yang dihasilkan berupa pola lingkaran yang terlihat pada gambar. Adanya titik koordinat origin permukaan sesar pada arah x dan y maka dapat ditentukan model awal yang akan digunakan. Gambar 9 memperlihatkan kontur model awal yang digunakan untuk proses inversi. Nilai respon potensial berkisar -10 mV sampai 90 mV dengan interval 10 mV.



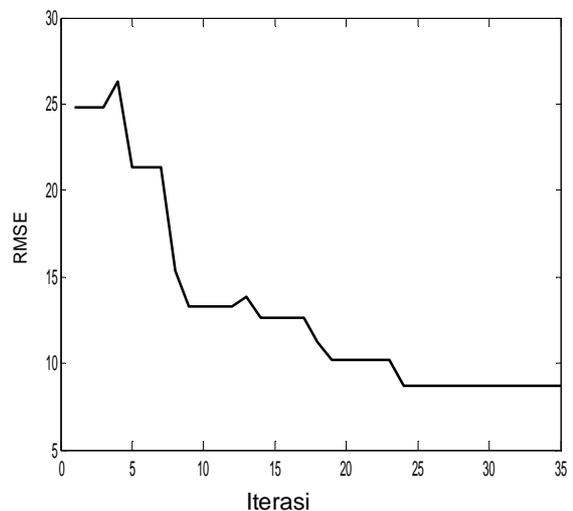
Gambar 9. Kontur model awal interval 10 mV

Gambar 10 menampilkan kontur hasil inversi model sintetik dengan range potensial dari 0 mV sampai 60 mV dan intervalnya 10 mV.



Gambar 10. Kontur hasil inversi interval 10 mV

Meskipun parameter model pada tiga struktur bidang sesar cukup banyak dengan keseluruhan ada 24 parameter tetapi proses kerja program tidak lama dan tidak memerlukan waktu yang panjang. Parameter model awal yang dipilih tidak jauh dengan parameter model sintetik, sehingga proses kerja program yang diperlukan tidak terlalu lama dan pada iterasi 35 dengan *rms error* relatif sebesar 8,655. Solusi yang diperoleh cukup dekat dengan model sintetik.



Gambar 11. Grafik rms error relatif sebagai fungsi iterasi

5. Kesimpulan

1. Pada data sintetik 1 untuk hasil inversi adanya sesar terletak pada koordinat (5,87;5,57) dan untuk data sintetik 2 pada hasil inversi keberadaan sesar terletak pada koordinat (3,48;4,94), (7,83;10,12), (10,93;2,22).
2. Nilai rms *error* relatif yang dihasilkan pada pemodelan ini untuk satu struktur bidang sebesar 2,312 dan rms *error* relatif untuk tiga struktur bidang sesar sebesar 8,655. ini menunjukkan bahwa pemodelan dengan metode Monte Carlo Algoritma Metropolis dapat dikatakan berhasil.

Daftar Pustaka

- Arman, Y., 2002, "*Pemodelan Zona Patahan Berdasarkan Anomali Self Potensial (SP)*," Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, Institut Teknologi Bandung.
- Basuki, A., dkk., 2004, *modeling dan simulasi*, Iptaq Mulia Media, jakarta.
- Cahyo, W.N., 2008, "*Pendekatan Simulasi Monte Carlo Untuk Pemilihan Alternatif Dengan Decision Tree Pada Nilai Outcome Yang Probabilistik*", Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Diana, F.N., 2010, "*Simulasi Dengan Metode Monte Carlo Untuk Proses Pembuatan Nanomaterial Menggunakan Ball-Mill*", Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Depok.
- Fitterman, D.V., 1979a, Calculations of self-potential anomalies near vertical contacts : *Geophysics*, v.44, p.195-205.
- Fitterman, D.V., 1979b, Relationship of the self-potential Green's function to solutions of controlled-source direct-current potential problems : *Geophysics*, v.44, no.11, p.1879-1881.
- Fitterman, D.V., 1983, Modeling of the self-potential anomalies near vertical dikes : *Geophysics*, v.48, no.2, p.171-180.
- Fitterman, D.V., 1984, Thermoelectrical self-potential anomalies and their relationship to the solid angle subtended by the source region: *Geophysics*, v.49, no.2, p.165-170s.
- Grandis, H., 2009, "*Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*", Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI), Jakarta 12540.
- Gould, H., dkk., 1939, *An introduction to computer simulation methods: Applications to Physical Systems*.
- Hartanto, H.B., 2006 "*Perhitungan Dinamika Fluida Berbasis Teori Medan Dengan Lattice Gauge Theory*" Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Depok.
- Muniroh, W.S., 2008 "*Simulasi Monte Carlo Dalam Menentukan Nilai Opsi Saham*" Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Malang, Malang.