

SAINS DAN SIBERNATIKA

Volume 17, Nomer 1, Januari 2004

Sintesis Lempung Montmorillonit Terpillar Fe_2O_3 dan Kajian Sifat-sifat Kimia Fisiknya

Studi Tentang Kandungan Raksa (Hg) pada Gastropoda di perairan Sungai Kaligarang-Semarang

Kesesuaian Lahan untuk Tanaman Kakao (*Theobroma cacao L.*) dalam Wilayah Kecamatan Buru Utara Selatan Kabupaten Buru Provinsi Maluku

Pencarian Citra dalam Basis Data Video Menggunakan Histogram Warna dan Wavelet Haar

Pembuatan Lapisan Tipis ZnO:Al pada Substrat Kaca dengan Metode DC Sputtering dan Karakterisasi Sifat Fisiknya

Sistem pengenalan Karakter Tulisan Tangan Latin dengan Menggunakan Cell matriks pada Metode Supervised Learning

Analisis 16s rDNA-mtDNA sebagai Marka Genetik Variabilitas dan Pembunuhan Ikan Kerapu Macan (*Epinephelus fuscoguttatus*) melalui Metode PCR-RFLP

Pengaruh Interval Booster terhadap Produksi Antibodi pada Ikan Dumbo (*Clarias Gariepinus*) yang Divaksin *Debris Aeromonas hydrophila*

Pengaruh Kombinasi Fotoperiode dan Salinitas pada Perkembangan Gonad Ikan Sidat (*Anguilla bicolor Mc. Clelland*)

Implementasi Metode *Simulated Annealing* untuk Menentukan Karakteristik Superkonduktor Geometri Bola

Simulasi Monte Carlo Sistem Zn^{2+} dalam Campuran Amoniak-Air

SAINS DAN SIBERNATIKA

ISSN 1693-7392

Volume 17, Nomer 1, Januari 2004

SAINS DAN SIBERNATIKA merupakan majalah ilmiah Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada sebagai media komunikasi guna melaporkan hasil penelitian program Magister (S-2) Universitas Gadjah Mada bidang Ilmu-Ilmu Sains, sebagai kelanjutan **Berkala Penelitian Pascasarjana Universitas Gadjah Mada (BPPS-UGM)**. BPPS-UGM diterbitkan pertama kali tahun 1988, 4 kali setahun dan berhenti pada Jilid 11 (4) November 1998.

Mulai Januari 1999 terbit **Teknosains** dengan frekuensi penerbitan 3 kali setahun.

*Akreditasi Berdasarkan SK Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi
No. 22/DIKTI/Kep/2002/tanggal 8 Mei 2002*

Tahun 2003 terbit 2 seri:

Teknosains Seri A: Ilmu Pengetahuan Alam

Teknosains Seri B: Ilmu Teknik

Perkembangan selanjutnya mulai tahun 2004 terbit 4 kali setahun, diubah namanya:

- Teknosains Seri A: Ilmu Pengetahuan Alam menjadi Sains dan Sibernatika.

- Teknosains Seri B: Ilmu Teknik menjadi Teknosains.

SAINS DAN SIBERNATIKA dikelola oleh Badan Pengelola yang terdiri atas:

Penanggung jawab

Direktur Program Pascasarjana

Penasehat

Asisten Direktur I Program Pascasarjana

Asisten Direktur II Program Pascasarjana

Pemimpin Umum/Pemimpin Redaksi

Nursamsi Pusposendjojo

Anggota Redaksi

Eko Sugiharto

Issirep Sumardi

Subanar

Sutanto

Sekretaris Redaksi

Sumiyarsono

Administrasi

Haryanto

Alamat

Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada

Gedung Program Pascasarjana UGM, Jalan Teknik Utara, Pogung, Yogyakarta

Telp. (0274) 901210, 564239 Fax. (0274) 564239

E-mail: pnbt_pasca@yahoo.com.au

Penulis yang naskahnya dimuat akan mendapat 10 eksemplar separata (*re-print*) tulisan. Bagi yang berminat untuk memperoleh secara kontinu dapat berhubungan dengan Bagian Administrasi Berkala Penelitian Pascasarjana UGM.

SAINS DAN SIBERNATIKA**Daftar Isi/Contents**

- Sintesis Lempung Montmorillonit Terpillar Fe_2O_3 dan Kajian Sifat-sifat Kimia Fisiknya
Synthesis of Fe_2O_3 Pillared Montmorillonite Clay and Study of It's Physico-Chemical Properties
(Widihati, I.A.G., Karna Wijaya dan M. Utoro Yahya) 1 - 12
- Studi Tentang Kandungan Raksa (Hg) pada Gastropoda di Perairan Sungai Kaligarang-Semarang
The Study of Mercury (Hg) Contain on Gastropod in the Water Body of Kaligarang-Semarang
(Luqman Hakim, Sudarmadji dan Kris Tri Basuki) 13 - 23
- Kesesuaian Lahan untuk Tanaman Kakao (*Theobroma cacao* L.) dalam Wilayah Kecamatan Buru Utara Selatan Kabupaten Buru Provinsi Maluku
*Land Suitability for Cacao (*Theobroma cacao* L.) within the Area of Southern North Buru District Buru Regency Maluku Province*
(Djafar Mey, Jamulya dan Yunianto) 25 - 41
- Pencarian Citra dalam Basis Data Video Menggunakan Histogram Warna dan Wavelet Haar
Image Searching in Video Database using Color Histogram and Haar Wavelet
(Erliansyah Nasution dan Agus Harjoko) 43 - 55
- Pembuatan Lapisan Tipis ZnO:Al pada Substrat Kaca dengan Metode DC Sputtering dan Karakterisasi Sifat Fisisnya
Preparation of ZnO :Al Thin Films on the Glass Substrate by DC Sputtering Method and Characterization of their Physical Properties
(Sri Yani Purwaningsih, Karyono dan Sudjatmoko) 57 - 73
- Sistem Pengenalan Karakter Tulisan Tangan Latin dengan Menggunakan Sel Matriks pada Metode Supervised Learning
Latin Handwritten Character Regocnition System using Matrix Cells on Supervised Learning
(Sampe Hotlan Sitorus dan Sri Hartati) 75 - 93

- Analisis 16s rDNA-mtDNA sebagai Marka Genetik Variabilitas Pertumbuhan Ikan Kerapu Macan (*Epinephelus fuscoguttatus*) melalui Metode PCR-RFLP
Analysis of 16s rDNA-mtDNA as Variability Growth Genetic Marker of Brown Marbled Grouper (Epinephelus fuscoguttatus) through PCR-RFLP Method
 (Bambang Susanto, Widya Asmara dan Haryanti) 95 - 115
- Pengaruh Interval Booster terhadap Produksi Antibodi pada Lele Dumbo (*Clarias gariepinus*) yang Divaksin Debris *Aeromonas hydrophila*
The Effect of Booster Intervals on Antibody Production in African Catfish (Clarias gariepinus) Vaccinated by Debris of Aeromonas hydrophila
 (Awik Puji Dyah Nurhayati, Rarastoeti Pratiwi dan Triyanto) 117 - 125
- Pengaruh Kombinasi Fotoperiode dan Salinitas pada Kematangan Gonad Ikan Sidat (*Anguilla bicolor* Mc. Clelland)
The Effect of Photoperiod and Salinity Combination on Sexual Maturity of Eel (Anguilla bicolor Mc. Clelland)
 (Isnani Herianti, Susilo Handari, S. dan M.P. Eddy Moeljono) 127 - 141
- Implementasi Metode *Simulated Annealing* untuk Menentukan Karakteristik Superkonduktor Geometri Bola
Implementation of Simulated Annealing Method to Determine the Spherical Superconductor Characterization
 (Supardi, Pekik Nurwantoro dan Harsoyo) 143 - 156
- Simulasi Monte Carlo Sistem Zn^{2+} dalam Campuran Amoniak-Air
Monte Carlo Simulation of Zn^{2+} in Water-Ammonia Mixed System
 (Himmatul Barroroh, M. Utoro Yahya dan Harno D. Pranowo) 157 - 174

IMPLEMENTASI METODE *SIMULATED ANNEALING* UNTUK MENENTUKAN KARAKTERISTIK SUPERKONDUKTOR GEOMETRI BOLA

Implementation of Simulated Annealing Method to Determine the Spherical Superconductor Characterization

Supardi¹, Pekik Nurwantoro² dan Harsoyo²

Program Studi Ilmu Fisika
Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada

ABSTRACT

Implementation of simulated annealing method to determine the spherical superconductor characterization has been conducted. Such method is based on the physical analogy, when temperature of system is cooled gradually, so the system will achieve its global minimum state. The method was used to minimize linearized Ginzburg-Landau functional. The optimum order parameters has been obtained through mimization process of the functional. Comparison with the other results researcher's finding showed that the result presented in the thesis are in line, eventhough a high accuracy has not been achieved yet.

Keywords : *simulated annealing, Ginzburg-Landau functional, critical field H_{c3}*

PENDAHULUAN

Metode *simulated annealing* merupakan teknik optimasi yang dapat digunakan untuk menganalisis fenomena fisis yang terjadi pada superkonduktor. Fenomena fisis tersebut ditunjukkan oleh pola-pola yang dihasilkan dari minimisasi terhadap fungsional Ginzburg-Landau yang diwakili oleh selisih rapat energi bebas Gibbs pada keadaan superkonduktif dan keadaan normalnya.

¹ Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta

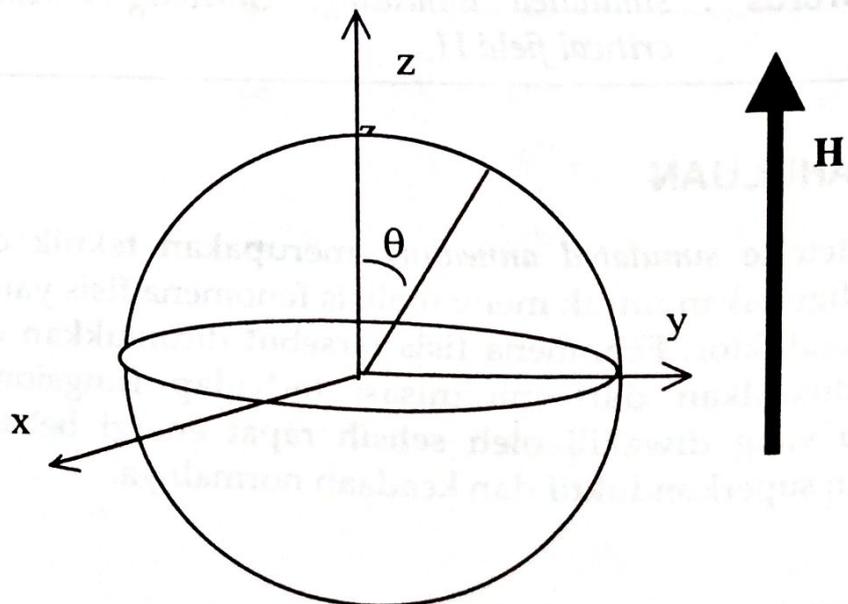
² Fakultas MIPA Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Kondisi minimum dari bentuk fungsional Ginzburg-Landau dapat memunculkan distribusi besaran-besaran fisis pada superkonduktor pada keadaan setimbang (Cyrot dan Pavuna, 1992). Untuk mensimulasikan proses *annealing* pada sistem fisika ke masalah menemukan minimum global pada sembarang fungsi multi dimensi diperlukan beberapa langkah sebagai berikut (Nurwantoro *et al.*, 2000).

1. Deskripsi terhadap konfigurasi yang muncul pada sistem yang ditinjau.
2. Fungsi objek G yang merupakan fungsi multidimensi sebagai analogi terhadap fungsional tenaga E pada faktor Boltzman.

METODE KOMPUTASI

Dari sebuah superkonduktor bergeometri bola yang dikenai medan magnet luar homogen H dengan arah sumbu z seperti terlihat pada Gambar 1. Sifat superkonduktifitas superkonduktor tersebut dapat ditentukan oleh selisih rapat tenaga bebas Gibbs pada keadaan normal dan keadaan superkonduktifnya (Tinkham, 1996). Analisis secara seksama terhadap beda tenaga tersebut memberikan gambaran lengkap terhadap besar parameter bahan yang terdistribusi di seluruh bahan, begitu pula rapat *fluks* magnet di seluruh bahan.



Gambar 1. Bahan Superkonduktor bergeometri bola dikenai medan magnet luar H sejajar dengan sumbu z

Minimisasi terhadap beda rapat tenaga Gibbs dapat dilakukan dengan menggunakan metode simulated annealing. Akan tetapi bentuk dari beda tenaga tersebut harus diubah terlebih dahulu menjadi bentuk fungsional yang dapat difahami oleh komputer. Fungsional dari beda rapat tenaga bebas Gibbs tersebut disebut fungsional Ginzburg-Landau.

Hasil yang di harapkan dari proses minimisasi terhadap fungsional Ginzburg-Landau adalah harga-harga parameter benahan yang optimum pada setiap simpul. Dalam kajian ini diambil sejumlah 66 simpul untuk menentukan parameter benahan optimum tersebut.

Bentuk eksplisit beda rapat tenaga Gibbs antara keadaan superkonduktif g_s dan keadaan normal g_n , menurut Nurwantoro (1998) adalah :

$$\Delta G(\psi, \vec{A}) = \int_{\Omega} (g_s - g_n) = \int_{\Omega} \left[\alpha(T) |\psi(\vec{r})|^2 + \frac{1}{2} \beta(T) |\psi(\vec{r})|^4 + \frac{1}{2m} \left| [-i\hbar\nabla - 2e\vec{A}(\vec{r})] \psi(\vec{r}) \right|^2 + \frac{1}{2\mu_0} \left| \vec{B}(\vec{r}) - \mu_0 H \right|^2 \right] \quad (1)$$

dengan memilih parameter benahan dalam bentuk $\psi(\vec{r}) = e^{ik_\phi\phi} G(r, \theta)$, maka (1) menjadi

$$\Delta G(\psi, \vec{A}) = \int_{\Omega} \left[r^2 \sin\theta \, dr \, d\theta \, d\phi \left(\alpha(T) |\psi(r)|^2 + \frac{1}{2} \beta(T) |\psi(r)|^4 + \frac{1}{2m} \left| [-i\hbar\nabla - 2e\vec{A}(\vec{r})] \psi(\vec{r}) \right|^2 + \frac{1}{2\mu_0} \left| \vec{B}(\vec{r}) - \mu_0 H \right|^2 \right) \right] \quad (2)$$

Menurut Fink dan Kissinger (1967), potensial vektor dapat didekati oleh ungkapan $\vec{A}(\vec{r}) = \vec{A}_H(\vec{r}) - \delta \vec{A}(\vec{r})$. Sedangkan, tera untuk potensial vektor adalah $\vec{A}(\vec{r}) = (0, 0, \mu_0 r H \sin(\theta/2))$, sehingga $A_\phi(r, \theta) \approx \mu_0 r H \sin(\theta/2) - \delta A_\phi(r, \theta)$ atau dengan bentuk sederhana adalah $(\nabla \times \delta \vec{A}(\vec{r}))^2 = 1/r^2 (d\delta A_\phi/d\theta)^2 + (d\delta A_\phi/dr)^2$. Untuk memperoleh ungkapan eksplisit dari bentuk $\frac{1}{2m} \left| [-i\hbar\nabla - 2e\vec{A}] \psi \right|^2$,

maka dengan mengingat kembali bentuk gradien fungsi $\psi(r, \theta, \varphi)$ diperoleh

$$\nabla\psi(r, \theta, \varphi) = \bar{r}e^{ik_\varphi\varphi} \frac{\partial G(r, \theta)}{\partial r} + \frac{\bar{\theta}}{r} e^{ik_\varphi\varphi} \frac{\partial G(r, \theta)}{\partial \theta} + \frac{\bar{\varphi}}{r \sin\theta} (ik_\varphi) G(r, \theta) \quad (3)$$

Sedangkan untuk menjamin bahwa $\psi(r, \theta, \varphi)$ memiliki nilai tunggal, maka harus dipilih $k_\varphi = n = 0 \pm 1 \pm 2, \dots$. Dengan memilih $\mu = \cos\theta$ dan $\rho = r/a$, maka pernyataan (4) menjadi

$$\begin{aligned} \Delta\Gamma(G, \delta A_\varphi) = & \int_{\mu=-1}^1 \int_{\rho=0}^1 2\pi a^3 d\rho d\mu \left[-|\alpha(T)|G(\rho, \mu)^2 + \frac{1}{2}\beta(T)G(\rho, \mu)^4 \right. \\ & + \frac{\hbar^2}{2ma^2} \left(\left(\frac{\partial G(\rho, \mu)}{\partial \rho} \right)^2 + \frac{1-\mu^2}{\rho^2} \left(\frac{\partial G(\rho, \mu)}{\partial \mu} \right)^2 \right) \\ & + \frac{1}{2m} \left(\frac{n\hbar}{a\rho\sqrt{1-\mu^2}} - 2ae\mu_o\rho H \sqrt{\frac{1+\mu}{2}} + 2e\delta A_\varphi(\rho, \mu) \right)^2 G(\rho, \mu)^2 \\ & \left. + \frac{1}{2\mu_o} \left(\frac{1-\mu^2}{a^2\rho^2} \left(\frac{\partial \delta A_\varphi(\rho, \mu)}{\partial \mu} \right)^2 + \frac{1}{a^2} \left(\frac{\partial \delta A_\varphi(\rho, \mu)}{\partial \rho} \right)^2 \right) \right] \quad (5) \end{aligned}$$

Selanjutnya dengan mensubstitusi bentuk-bentuk

$$g = \frac{G}{\psi_\infty}, \quad \varepsilon \equiv \frac{2m|\alpha(T)|a^2}{\hbar^2} \equiv \frac{a^2}{\xi(T)^2},$$

$$h = \frac{2\pi a^2}{\Phi_o} \mu_o H, \quad \lambda = \sqrt{\frac{m}{4\mu_o e^2 |\psi_\infty|^2}} \equiv \sqrt{\frac{m\beta}{4\mu_o e^2 |\alpha(T)|^2}}, \quad \Lambda = \frac{2e\xi(T)\sqrt{\varepsilon}}{\hbar} \delta A_\varphi(\rho, \mu),$$

$\kappa = \frac{\lambda}{\xi}, \quad \varepsilon \equiv \frac{\varepsilon}{h} = \frac{H_{c2}}{H}$ ke pernyataan (5), maka diperoleh

$$\mathfrak{R}(g, \Lambda) = \int_{\Omega} (f_n - f_s) = \int_{\mu=-1}^1 \int_{\rho=0}^1 \rho^2 d\rho d\mu \left[-\varepsilon g^2(\rho, \mu) + \frac{1}{2}\varepsilon g^4(\rho, \mu) \right]$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{2h} \left(\frac{\partial g(\rho, \mu)}{\partial \rho} \right)^2 + \frac{1}{2h} \frac{1-\mu^2}{\rho^2} \left(\frac{\partial g(\rho, \mu)}{\partial \mu} \right)^2 + \left(\sqrt{\frac{1}{2h}} \frac{n}{\rho \sqrt{1-\mu^2}} \right. \\
& \left. - \sqrt{\frac{h}{2}} \sqrt{\frac{1+\mu}{2}} + \Lambda \right)^2 g^2(\rho, \mu) + \frac{\kappa}{2h} \left(\frac{1-\mu^2}{\rho^2} \left(\frac{\partial \Lambda(\rho, \mu)}{\partial \mu} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Lambda(\rho, \mu)}{\partial \rho} \right)^2 \right) \quad (6)
\end{aligned}$$

Jika pengkajian diarahkan pada daerah transisi H_{c3} , maka bentuk fungsional Ginzburg-Landau (6) akan mengalami sedikit perubahan. Perubahan tersebut disebabkan oleh koreksi potensial vektor $\delta \vec{A}(\vec{r})$ tidak ada lagi, karena seluruh ruang dipenuhi oleh fluks medan magnet. Jadi pernyataan potensial vektor di dalam bahan dapat dinyatakan kembali menjadi $\vec{A}(\vec{r}) \approx \vec{A}_H(\vec{r})$. Oleh sebab itu, fungsional Ginzburg-Landau terlinierisasinya akan mengambil bentuk menjadi

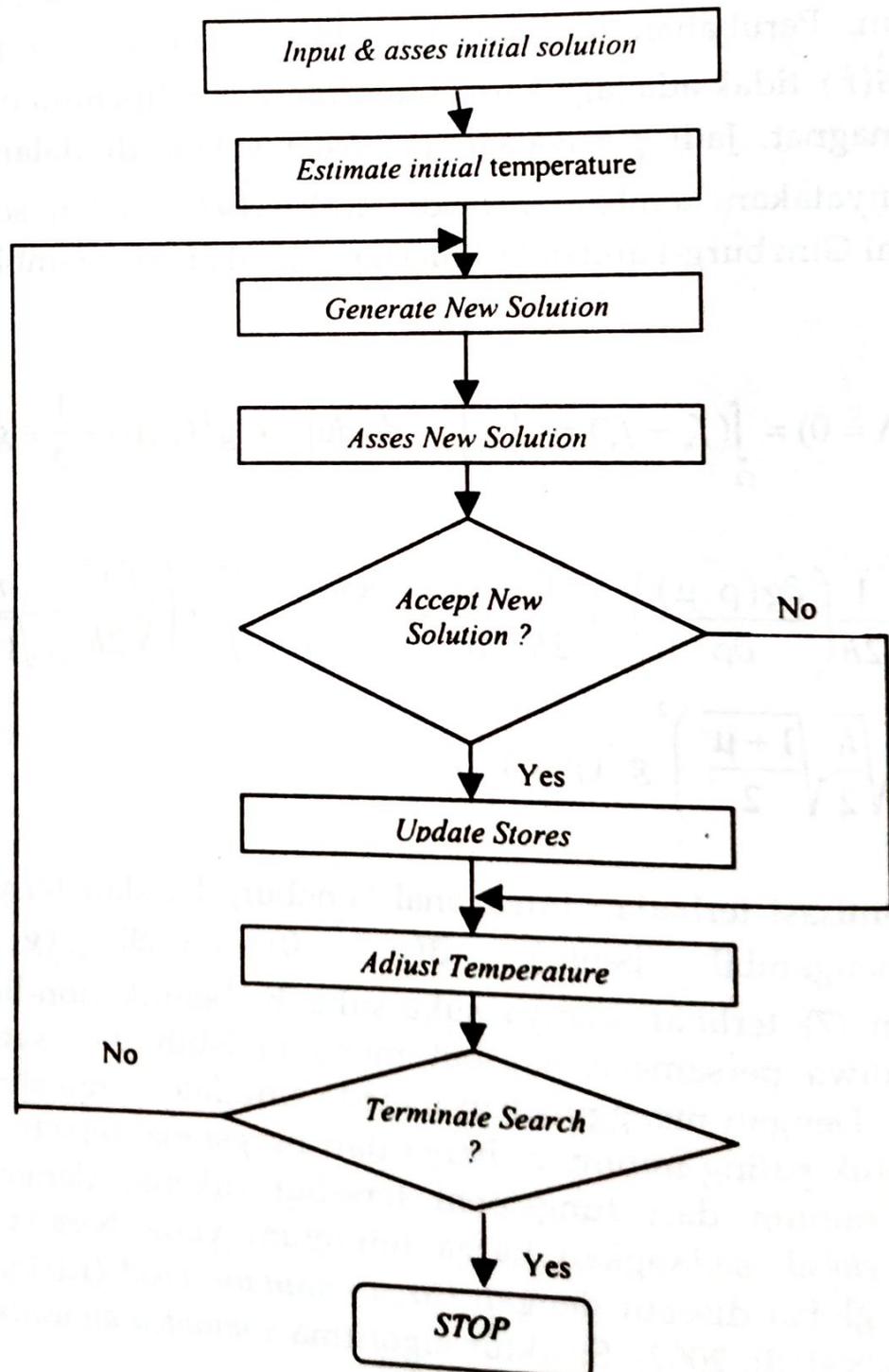
$$\begin{aligned}
\mathfrak{R}_{linier}(g, \Lambda = 0) &= \int_{\Omega} (f_n - f_s) = \int_{\mu=-1}^1 \int_{\rho=0}^1 \rho^2 d\rho d\mu \left[-\epsilon g^2(\rho, \mu) + \frac{1}{2} \epsilon g^4(\rho, \mu) \right. \\
& + \frac{1}{2h} \left(\frac{\partial g(\rho, \mu)}{\partial \rho} \right)^2 + \frac{1}{2h} \frac{1-\mu^2}{\rho^2} \left(\frac{\partial g(\rho, \mu)}{\partial \mu} \right)^2 + \left(\sqrt{\frac{1}{2h}} \frac{n}{\rho \sqrt{1-\mu^2}} \right. \\
& \left. - \sqrt{\frac{h}{2}} \sqrt{\frac{1+\mu}{2}} \right)^2 g^2(\rho, \mu) \quad (7)
\end{aligned}$$

Jadi, minimisasi terhadap fungsional Ginzburg-Landau terlinierisasi akan mengambil bentuk $\mathfrak{J}(g, \Lambda = 0) = \min\{\mathfrak{R}_{linier}(g, \Lambda = 0)\}$. Persamaan (7) terlihat adanya suku-suku berbentuk non-linier. Ini berarti bahwa persamaan tersebut memiliki lebih dari satu harga minimum. Dengan menggunakan metode simulated annealing, akan dicari bentuk paling minimum harga dari fungsional tersebut. Harga paling minimum dari fungsional tersebut dikenal dengan *harga minimum global*, sedangkan harga minimum yang berada di atas *minimum global* disebut dengan *harga minimum lokal* (Kirkpatrick et al., 1983; Locatelli, 2002). Struktur algoritma *simulated annealing* dapat dilihat pada Gambar 2.

Syarat Batas Untuk Fungsional Ginzburg-Landau

Untuk menyelesaikan bentuk fungsional Ginzburg-Landau tersebut, maka diperlukan syarat batas yang memenuhi untuk sistem bergeometri bola sebagai berikut (Nurwantoro, 1998).

1. Pada daerah ekuator bola, turunan parameter benahan terhadap ρ harus sama dengan nol atau $(\partial g(\rho, \mu) / \partial \rho) |_{\rho=1} = 0$
2. Pada daerah kutub bola, parameter benahan harus sama dengan nol atau dapat dituliskan sebagai $g(\rho, \mu) |_{\mu=\pm 1} = 0$



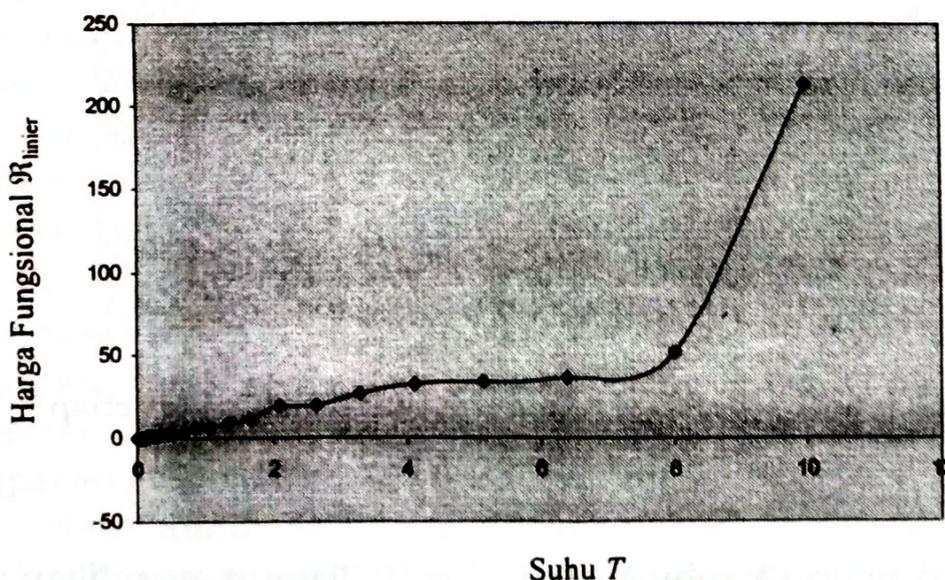
Gambar 2. Struktur algoritma simulated annealing

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk proses minimisasi terhadap fungsional Ginzburg-Landau terlinierisasi telah diambil parameter-parameter sebagai berikut. Cacah titik simpul yang dilakukan optimasi berjumlah 66 buah diperoleh dari jumlah titik simpul ke arah ρ sebanyak 6 buah dan ke arah μ sebanyak 11 buah.

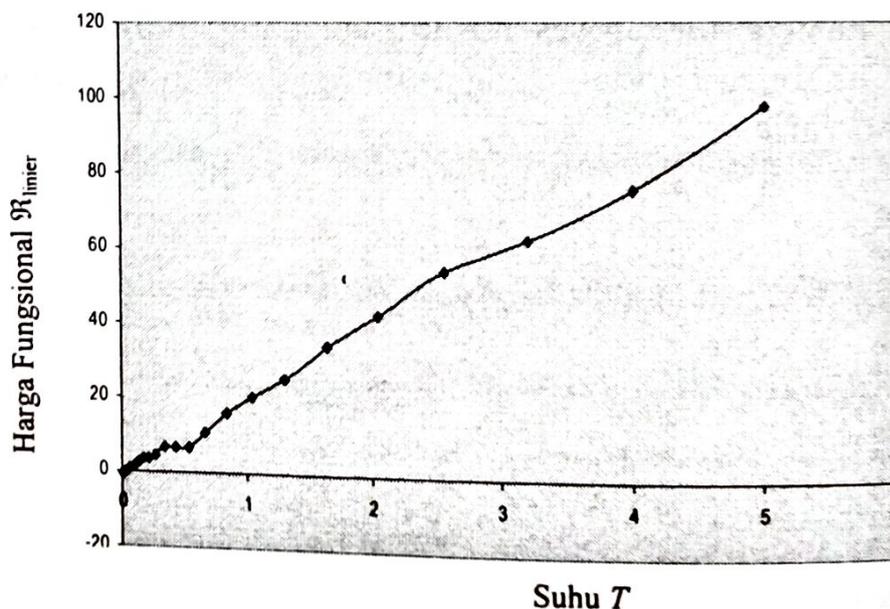
Untuk menunjukkan gejala superkonduktivitas di permukaan bola telah dipilih harga $\epsilon = 0,6$. Parameter ϵ didefinisikan sebagai perbandingan antara besarnya H_{c2} dengan harga medan magnet luar yang dikenakan pada bahan atau $\epsilon = H_{c2}/H$. Oleh sebab itu, pemilihan harga ϵ demikian dapat diartikan bahwa pengenaan medan magnet luar pada bahan sebesar $H \approx 1,695 H_{c2}$.

Grafik proses minimisasi terhadap fungsional Ginzburg-Landau terlinierisasi dengan menggunakan metode simulated annealing untuk bilangan kuantum fluks masing-masing $n = 10$ dan $n = 0$ dapat dilihat pada gambar (3) dan (4). Sedangkan gambar (6) dan (7) ditunjukkan grafik parameter benahan untuk $n = 0$ dan $n = 10$ yang merupakan hasil akhir proses minimisasi yang dilakukan terhadap fungsional Ginzburg-Landau dengan menggunakan metode *simulated annealing* dan variasi.



Gambar 3. Grafik harga minimum fungsional pada setiap penurunan suhu untuk $h = 29,0$ dan $n = 10$.

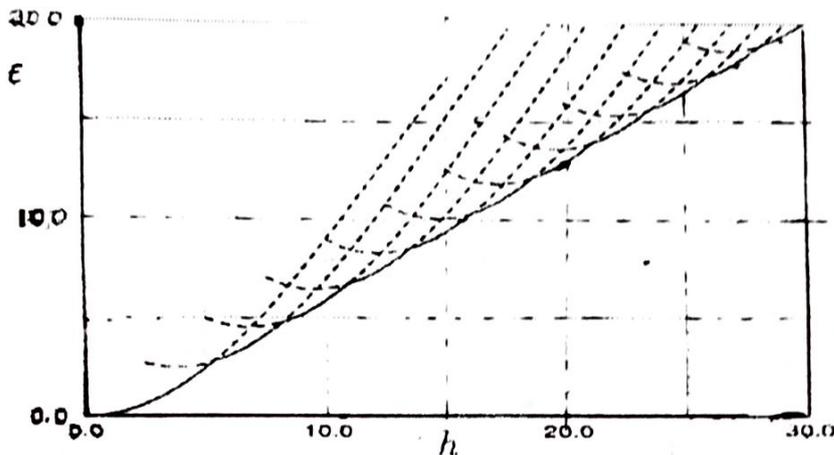
Dalam penelitian ini, pengambilan harga bilangan kuantum fluks n terhadap parameter h tidak dapat dilakukan sembarang. Hal ini telah ditunjukkan oleh Nurwantoro (1998) melalui grafik hubungan ε terhadap h seperti terlihat pada Gambar 5. Kurva hubungan ε terhadap h ditunjukkan memiliki bentuk skalop (*scalloped*). Bentuk kurva tersebut terkait dengan syarat batas yang dikenakan bahwa bagian angular parameter benahan adalah fungsi harmonik dengan periode 2π . Sedangkan harga n terkait dengan bilangan kuantum fluks dan harus berharga deskrit. Oleh sebab itu, pengambilan terhadap harga h tertentu berarti akan memiliki sederetan swanilai yang sesuai dengan keadaan-keadaan $j = 0, 1, 2, \dots, n, n + 1$. Akan tetapi, keadaan-keadaan dengan $j = 0, 1, 2, \dots, n$ berada pada keadaan metastabil dan memiliki harga-harga energi lebih tinggi dibandingkan dengan energi pada keadaan $j = n + 1$. Dalam pandangan metode optimasi simulated annealing keadaan-keadaan metastabil tersebut merupakan minimum-minimum lokal sistem (Ingber, 1989; Szu dan Hartley, 1987). Sedangkan keadaan energi pada $j = n + 1$ merupakan energi minimum global sistem.



Gambar 4. Grafik harga minimum fungsional pada setiap penurunan suhu

Masukan untuk suhu awal $T_{\text{awal}} = 10,0$ untuk pemilihan $n = 10$ dan $T_{\text{awal}} = 5,0$ untuk $n = 0$. Pada ketinggian suhu yang demikian diharapkan sistem tidak lagi terjebak kepada minimum lokal. Formasi atom-atom sistem dijamin berbentuk kristal sempurna bila penurunan

suhu dilakukan perlahan-lahan. Oleh sebab itu, pada penelitian ini telah dilakukan penurunan suhu dengan aturan $T_{baru} = 0,8T_{lama}$.



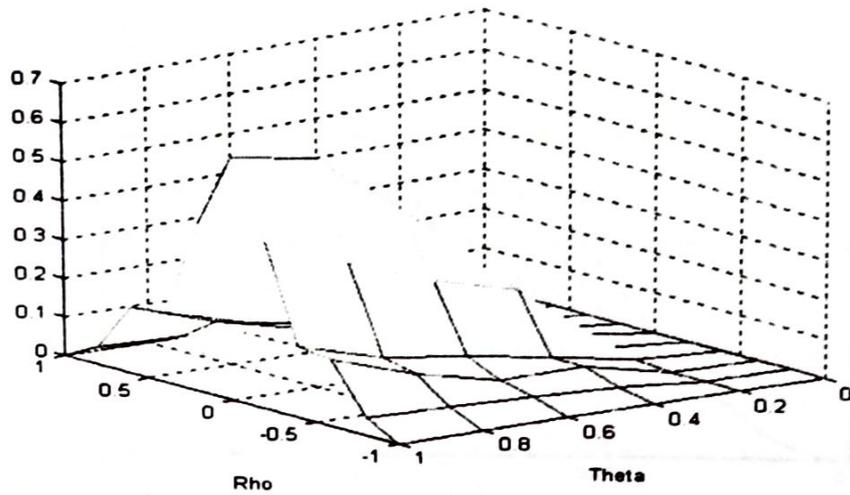
Gambar 5. Batas fase untuk superkonduktor bola dengan bilangan kuantum fluks $n = 0$ sampai $n = 10$ (Nurwantoro, 1998)

Masukan nilai awal untuk setiap variabel yang akan dioptimasi untuk kasus radius bola jauh lebih besar dari panjang koherensi adalah $\{g_{i,j}\} = 10,0$ untuk $i = 1..5, j = 2..10$. Sedangkan untuk kasus radius bola superkonduktor jauh lebih kecil dibanding panjang koherensinya masukan nilai awal $\{g_{i,j}\} = 1,0$ untuk $i = 1..5, j = 1..11$. Pada setiap suhu tertentu dilakukan pengaturan konfigurasi sebanyak 50 kali langkah acak, sehingga jumlah evaluasi terhadap fungsional Ginzburg-Landau terlinierisasi untuk setiap suhu adalah sebanyak 3300 kali. Penghentian pencarian terhadap nilai minimum dari fungsional tersebut dilakukan apabila selisih antara harga fungsional dari suhu pada langkah terakhir dengan harga fungsional pada suhu sebelumnya lebih kecil dari harga toleransi yang diberikan yaitu 1×10^{-6} .

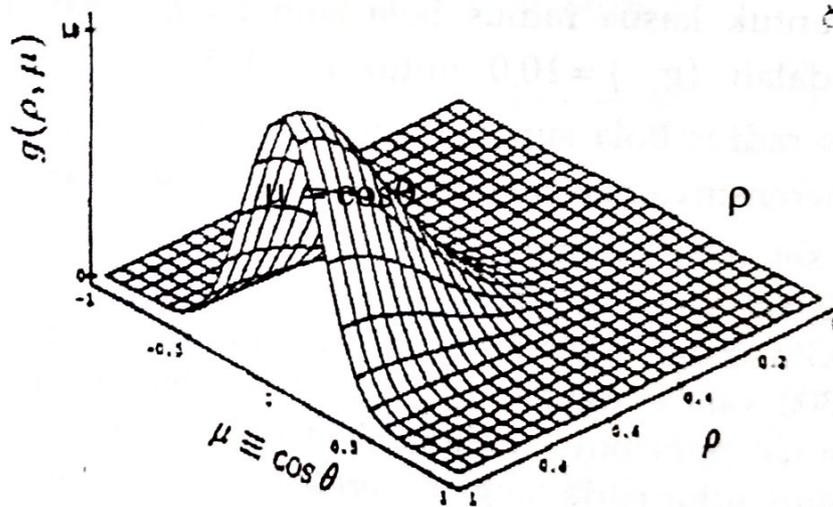
Setelah penghentian proses minimisasi dilakukan, selanjutnya harga parameter benahan untuk setiap simpul dapat diketahui. Harga parameter benahan setiap simpul pada akhir proses minimisasi merupakan harga parameter benahan yang paling optimum.

Hasil minimisasi yang dilakukan pada harga parameter $h = 29,0$ dan bilangan kuantum fluks $n = 10$ menunjukkan bahwa harga fungsional Ginzburg-Landau terlinierisasi yang diwakili oleh rapat energi bebas Gibbs berharga sekitar $\mathcal{R}(g, \Lambda)_{\min} \approx -0,011634$. Tanda minus dari harga minimum fungsional Ginzburg-Landau menunjukkan bahwa rapat energi bebas pada keadaan superkonduktif

lebih kecil dibandingkan dengan rapat energi bebas pada keadaan normal.



Gambar 6. Bentuk grafis parameter benahan superkonduktor geometri bola sebagai fungsi $\mu \equiv \cos\theta$ dan $\rho = r/a$ untuk $n=10$ dan $h=29,0$ menggunakan metode simulated annealing



Gambar 7. Bentuk grafis parameter benahan superkonduktor geometri bola sebagai fungsi $\mu \equiv \cos\theta$ dan $\rho = r/a$ untuk $n=10$ dan $h=29,0$ menggunakan metode variasi (Nurwantoro, 1998).

Gambar 6. ditunjukkan fenomena superkonduktivitas permukaan yang terjadi pada bahan superkonduktor geometri bola dengan $h = 29,0$. Jika diperhatikan secara seksama gambar tersebut terlihat bahwa parameter benahan memiliki harga maksimum di sekitar permukaan dan berangsur-angsur menghilang pada daerah

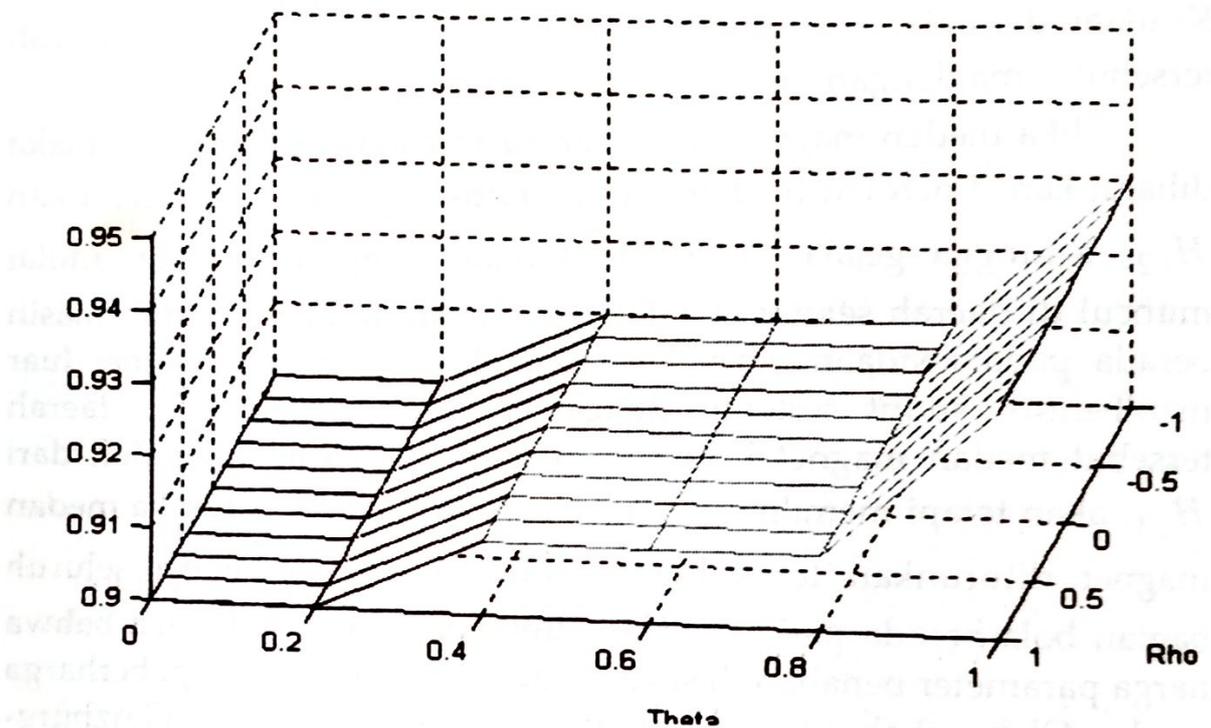
pusat bola. Selimut (*sheat*) superkonduktivitas hanya berada di daerah ekuator bola dan menghilang pada daerah kutub. Musnahnya parameter benahan di daerah kutub pada harga $n \neq 0$ diperoleh dari pengenaan syarat batas pada fungsional Ginzburg-Landau yang diberikan. Sedangkan di daerah kutub, medan magnet luar yang dikenakan pada bahan berarah tegak lurus terhadap permukaan bola. Keadaan demikian berhubungan dengan medan nukleasi pada daerah tersebut sama dengan H_{c2} .

Jika medan magnet luar diturunkan pada suhu tertentu, maka diharapkan diperoleh medan magnet kritis H_{c3} sebelum ditemukan H_{c2} , sehingga gejala superkonduktivitas yang diharapkan mulai muncul di daerah sekitar ekuator, sedangkan di daerah kutub masih berada pada keadaan normal. Di daerah lain, medan magnet luar membentuk sudut tertentu dengan permukaan bola. Di daerah tersebut medan magnet kritisnya memiliki harga lebih rendah dari H_{c3} , akan tetapi memiliki harga lebih besar dari H_{c2} . Ketika medan magnet diturunkan terus hingga ditemukan H_{c2} , maka seluruh bagian bola berada pada keadaan superkonduktif. Ini berarti bahwa harga parameter benahan di sekitar daerah tersebut tidak lagi berharga kecil. Oleh sebab itu, minimisasi terhadap fungsional Ginzburg-Landau terlinierisasi tidak berlaku lagi. Gambar 7. ditampilkan grafik parameter benahan terhadap μ dan ρ dengan metode variasi.

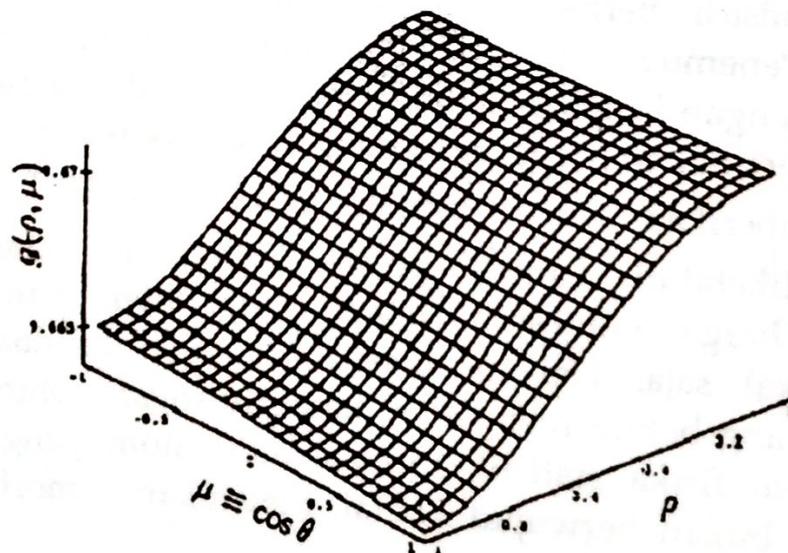
Dari Gambar 3. maupun Gambar 4. diperlihatkan bahwa proses minimisasi berhenti setelah ditemukan harga minimum globalnya. Penemuan terhadap minimum global sistem ini bersesuaian dengan keadaan stabil sistem tersebut dan diperoleh. saat suhu sistem mendekati harga sama dengan nol. Ketika masukan suhu awal T_{awal} diberikan sangat rendah, misalnya 1×10^{-3} , dari hasil komputasi diketahui bahwa proses minimisasi masih dapat menemukan harga minimum, tetapi yang ditemukan hanyalah minimum lokal saja. Hal ini disebabkan oleh keadaan-keadaan sebelumnya yang belum mengalami kesetimbangan, sehingga sesuai dengan hukum fisika statistik formasi atom-atom yang terbentuk dalam sistem bukan berwujud kristal, melainkan amorf (Press et al., 1996).

Gambar 8. diperlihatkan gambaran secara grafis bentuk parameter benahan terhadap $\mu = \cos\theta$ dan ρ untuk $h = 0,1$. Dalam kasus tersebut, sistem akan mengalami keadaan stabil apabila dipilih

$n = 0$. Jika diperhatikan, besarnya harga parameter benahan kelihatan hampir sama antara daerah ekuator dan daerah kutub untuk $n = 0$ dan $h = 0,1$. Jika dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari perhitungan dengan metode variasi seperti terlihat pada Gambar 9, maka terdapat kemiripan antara keduanya.



Gambar 8. Bentuk grafis parameter benahan superkonduktor geometri bola sebagai fungsi $\mu \equiv \cos\theta$ dan $\rho = r/a$ untuk $n = 0$ dan $h = 0.1$ menggunakan metode *simulated annealing*.



Gambar 9. Bentuk grafis parameter benahan superkonduktor geometri bola sebagai fungsi $\mu \equiv \cos\theta$ dan $\rho = r/a$ untuk $n = 0$ dan $h = 0.4$ (Nurwantoro, 1990).

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa metode *simulated annealing* mampu menyelesaikan masalah optimasi pada fungsional Ginzburg-Landau terlinierisasi yang memiliki suku-suku non-linier. Metode tersebut dapat mengatasi jebakan minimum lokal yang dimiliki fungsional itu. Hasil yang diperoleh dapat menunjukkan karakteristik superkonduktor bola pada daerah transisi H_{c3} .

Untuk penelitian lanjutan penulis menyarankan untuk dicoba menyelesaikan persamaan fungsional Ginzburg-Landau umum yang dapat menggambarkan distribusi parameter benahan dan potensial vektor pada daerah antara H_{c2} dan H_{c3} .

DAFTAR PUSTAKA

- Cyrot, M. dan Pavuna, M. 1992. *Introduction to Superconductivity and High Tc Material*, Singapore: World Scientific Publication co. Ptc. Ltd..
- Ingber, L. 1989. Very Fast Simulated Re-Annealing, *Math. Comput. Modelling*. Vol. 12 (8), 967-973.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D., Vecchi, M.P. 1983. Optimization by Simulated Annealing, *Science*, Vol. 220, no. 4598, 671-680.
- Locatelli, M. 2002. *Simulated Annealing Algorithm For Continuous Global Optimatin*, Italy: Dipartimento di Informatica Universita di Torino.
- Nurwantoro, P. 1998. *A Theoretical Study of The Surface Nucleation Field at H_{c3} and of Superconducting Surface Sheats in Isotropic Type-II Superconductors*. Ph.D's Thesis, University of Birmingham.
- Nurwantoro, P., Basarudin, T., Palupi, D.S., Utomo, B.S., Hermanto, A. 2000. *Perhitungan Efek Permukaan pada Bahan Superkonduktor Jenis ke-II Dengan Metode Simulated Annealing*, Seminar HFI XXI Cab. Jateng dan DIY, Universitas Muhammadiyah Purworejo.
- Press, H., Teulosky, S.A., Vetterling, W.T., Flannery, B.P. 1996. *Numerical Recipes In Fortran 90 2nd*, New York: Cambridge University Press.

Szu, H., Hartley, R. 1987. Fast Simulated Annealing, *Physics Letter A*,
Vol. 122 (3-4), 157-162

Tinkham M., 1996. *Introduction to Superconductivity*. Singapore:
McGraw-Hill Inc.
