

JURNAL PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TELEKOMUNIKASI

DESEMBER 2007 VOLUME 12 - NOMOR 2

- | | |
|--|-----------|
| ▶ Simulasi Komunikasi Data MIMO OFDM pada Standar IEEE 802.11a
Henri Indriani, Agus Virgono, Rina Puji Astuti | 69 - 75 |
| ▶ Analisa Efek Inter-System Handover UMTS-GSM
Lea Beny, Sofia Naning Hertiana, Nachwan Mufti Adriansyah | 76 - 81 |
| ▶ Konfigurasi Sistem MIMO MC-CDMA pada Kanal Fading Rayleigh
Gelar Budiman, Suhartono Tjondronegoro, Rina Pudji Astuti | 82 - 88 |
| ▶ Analisis Performansi Sistem DS-UWB dengan Modulasi M-Ary PAM pada Kanal Rayleigh dan Kanal Saleh-Valenzuela
Eka Putri Rahayu, Dharu Arseno, Heroe Wijanto | 89 - 96 |
| ▶ Analisis Kinerja Adaptive Subcarrier Power Control pada Standar IEEE 802.16e
Linda Meylani, Sugihartono, Heroe Wijanto | 97 - 103 |
| ▶ Analisis Performansi Pengaruh Jumlah Subcarrier pada Sistem Multiband OFDM UWB
Nur 'Aini, Dharu Arseno, Rina Pudji Astuti | 104 - 111 |
| ▶ Manipulasi Pra-Analisis Ciri-Ciri Sinyal Squared Difference untuk Rekognisi Skema Modulasi Automatis
Heroe Wijanto, Kuspriyanto, Suhartono Tjondronegoro, Sugihartono | 112 - 118 |
| ▶ Pengenalan Wajah pada Citra Digital Menggunakan Metode Hybrid
Eko Susatio, Jangkung Raharjo, Koredianto Usman | 119 - 125 |
| ▶ Restorasi Citra Magnitude Magnetic Resonance Imaging (MRI) dengan Menggunakan Pendekatan Distribusi Maxwell-Boltzmann dan Simulated Annealing
Kusworo Adi, A. B. Suksmono, Tati L. R. Mengko | 126 - 131 |
| ▶ Text to Speech Bahasa Indonesia dengan Pembangkitan Prosodi Menggunakan Metoda Multirate Recurrent Neural Network
Iwan Iwut Tritoasmoro, Suhartono Tjondronegoro | 132 - 139 |
| ▶ Indeks Judul | |





Penanggung Jawab

Ketua STT Telkom

Pemimpin Umum

Direktur PPLMI - STT Telkom

Wakil Pemimpin Umum

Kepala Bidang Penelitian PPLMI - STT Telkom

Penyunting Ahli

Adang Suwandi Ahmad	(ITB)
Isa Setiasyah Toha	(ITB)
Suhartono Tjondronegoro	(ITB)
Soegihartono	(ITB)
Hendrawan	(ITB)
Andrian Bayu Suksmono	(ITB)
Husni Sastramihardja	(ITB)
M. Sukrisno	(ITB)
Arifin Nugroho	(ASSI)
Taufik Hasan	(Gratika)
Asep Kuswandi Supriatna	(UNPAD)
Rustam E. Siregar	(UNPAD)
Anang Zaini Gani	(STTT)
Achmad Ali Mu'ayyad	(STTT)
Rendy Munadi	(STTT)
A. T. Hanuranto	(STTT)
Miftadi Sudja'i	(STTT)
Heroe Wijanto	(STTT)
Wiyono	(STTT)
Agus Achmad Suhendra	(STTT)
Dhinta Darmantoro	(STTT)

Ketua Penyunting Pelaksana

Heroe Wijanto

Penyunting Pelaksana

Iswahyudi Hidayat
Iwan Iwut T.
Dharu Arseno
Ahmad Rizal
Muhammad Ary Murti
Saleh Dwi Mardiyanto
Adiwijaya
Florita Dianasari
Maman Abdurrahman
Murah Hartawati

Desain Cover dan Website

Nyoman Bogi Aditya Karna
Yanuar Firdaus Arie Wibowo

Pelaksana Tata Usaha

Mediana Mayang Kencana
Ani Yuliani

PENGANTAR

Pembaca yang terhormat,

Tampaknya dewasa ini cukup banyak hasil-hasil penelitian dan pengembangan karya ilmiah mutakhir yang memberikan dukungannya bagi kecenderungan perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang mengarah pada penggunaan informasi dengan kebutuhan pita spektral frekuensi yang semakin lebar, baik mengenai aplikasi pengolahan informasi maupun pada sistem infrastruktur yang menopangnya, termasuk yang bersifat nirkabel.

Pada Jurnal Telekomunikasi edisi Desember 2007 ini dikemukakan hasil-hasil penelitian dan pengembangan konsep dan rekayasa yang mendukung implementasi teknologi akses pita-lebar nirkabel beserta penanganan permasalahan yang terjadi pada berbagai standar sistem komunikasi yang menggunakan informasi dan jalur pita-lebar nirkabel tersebut, seperti terlihat pada naskah dengan topik-topik Simulasi Komunikasi Data MIMO OFDM pada Standar 802.11a, Analisa Efek *Inter-System Handover* UMTS-GSM, Konfigurasi Sistem MIMO MC-CDMA pada Kanal *Fading Rayleigh*, Analisis Performansi Sistem DS-UWB dengan Modulasi M-Ary PAM pada Kanal Rayleigh dan Kanal Saleh-Valenzuela, Analisis Kinerja *Adaptive Subcarrier Power Control* pada Standar IEEE 802.16e, dan Analisis Performansi Pengaruh Jumlah *Subcarrier* pada Sistem *Multiband* OFDM UWB.

Selain itu, adopsi konsep sistem cerdas, pengolahan sinyal digital, dan pengolahan citra digital juga diusulkan untuk sejumlah aplikasi teknologi informasi dan komunikasi yang secara umum mengemukakan tentang bagaimana suatu informasi dimanipulasi dan dikomunikasikan untuk berbagai aplikasi, baik untuk aplikasi di bidang telekomunikasi, keamanan, biomedika maupun untuk pada sistem komputer. Usulan tersebut dapat dilihat pada naskah dengan topik-topik Manipulasi Pra-Analisis Ciri-Ciri Sinyal *Squared Difference* untuk Rekognisi Skema Modulasi Otomatis, Pengenalan Wajah pada Citra Digital Menggunakan Metode *Hybrid*, Restorasi Citra *Magnitude Magnetic Resonance Imaging (MRI)* dengan Menggunakan Pendekatan Distribusi Maxwell-Boltzmann dan *Simulated Annealing*, *Text to Speech* Bahasa Indonesia dengan Pembangkitan Prosodi Menggunakan Metoda *Multirate Recurrent Neural Network*.

Kembali Redaksi mengharapkan peningkatan peran Jurnal Telekomunikasi dalam memperluas bidang wawasan ilmiah bagi para pembaca, semakin memperkaya perujukan dalam penyusunan berbagai karya ilmiah serta semakin menambah pengembangan himpunan khasanah ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang pertelekomunikasian.

Redaksi mengucapkan terima kasih kepada para kontributor naskah, para penyunting ahli, dan semua pihak yang mendukung dan membantu penerbitan jurnal ini.

Bandung, Desember 2007

Alamat Redaksi

Pusat Penelitian dan Layanan Masyarakat dan Industri Sekolah Tinggi Teknologi Telkom (PPLMI - STT Telkom)
Jl. Telekomunikasi - Bojongsoang
Bandung 40288 INDONESIA
Telp. +62-22-7564108 ext. 2082/2020
Fax. +62-22-7566345

e-mail : jurtel@sttelkom.ac.id
website: <http://www.sttelkom.ac.id/jurtel>

RESTORASI CITRA MAGNITUDE MAGNETIC RESONANCE IMAGING (MRI) DENGAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN DISTRIBUSI MAXWELL-BOLTZMANN DAN SIMULATED ANNEALING

Kusworo Adi¹, A. B. Suksmono², Tati L.R. Mengko³

^{1,2,3} Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung

¹ Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Diponegoro

¹kusworoadi@yahoo.com, ²ab_suksmono@ltrgm.itb.ac.id, ³tmengko2@itb.ac.id

Abstrak

Pendekatan mekanika statistik dengan distribusi Maxwell-Boltzmann telah diterapkan untuk restorasi citra *magnitude* menggunakan algoritma *Metropolis Hastings Markov Chain Monte Carlo* (MHMCMC). Metode ini diterapkan pada citra *magnitude magnetic resonance imaging* (MRI) yang terdegradasi oleh derau *Gaussian* dengan *simulated annealing* sebagai temperatur *scheduling*. Hasil dari proses restorasi citra *magnitude* memberikan hasil yang cukup baik dengan *signal to noise ratio* (SNR) 13,391 dB pada temperatur awal 1,18. Citra terdegradasi tersebut dapat direstorasi dengan baik pada 500 iterasi dan 800 *chain*.

Kata kunci: Algoritma MHMCMC, distribusi *Maxwell-Boltzmann*, *simulated annealing*

Abstract

Statistical mechanics with Maxwell-Boltzmann distribution approach has been applied to restore magnitude image of magnetic resonance imaging (MRI) using Metropolis Hastings Markov Chain Monte Carlo (MHMCMC) algorithm. This method was implemented to the image of magnitude MRI image degraded with gaussian noise and simulated annealing as scheduling temperature. The result of restoration process at temperature 1.18 is that good image restored with signal to noise ratio (SNR) 13.391 dB. In this simulation, the number of Markov chains (800 chains) and iteration (500 iteration) are fixed parameter.

Keywords: MHMCMC algorithm, Maxwell-Boltzmann distribution, simulated annealing

1. Pendahuluan

Derau acak pada citra digital adalah musuh besar dalam proses restorasi citra. Derau dapat mengganggu seorang dokter dalam melakukan diagnosis pada citra medik. Selain itu derau pada citra satelit yang diakibatkan oleh proses transmisi data akan mempengaruhi dalam interpretasi data oleh seorang ahli. Derau pada citra digital akan memberikan efek pada distribusi statistik nilai piksel citra tersebut, sehingga derau tersebut harus dieliminasi agar tidak menimbulkan salah interpretasi oleh seorang ahli dari citra tersebut.

Teknik pengolahan citra digital secara konvensional hanya dapat diterapkan pada derau tertentu saja dari citra yang terdegradasi. Filter linier seperti *low pass filter*, *high pass filter* dan *non linier filter* seperti median filter merupakan contoh dari filter yang digunakan untuk mengeliminasi derau pada citra. Akan tetapi teknik tersebut masih belum mampu untuk mengeliminasi derau yang sifatnya acak. Untuk mengolah citra tersebut diperlukan suatu metode yang dapat memperlakukan citra tersebut secara konsisten.

Metode mekanika statistik memungkinkan untuk memproses informasi probabilistik. Berbasis pada formulasi Bayesian, maka proses restorasi citra yang terdegradasi oleh derau acak dapat dilakukan. Distribusi tersebut diasumsikan sebagai sistem *spin*

yang direpresentasikan pada model *ising*, model Gaussian, dan distribusi *posterior*.

Pendekatan Bayesian untuk pengolahan citra, beberapa model *probabilistic* yang telah diterapkan pada mekanika statistik sangat berguna sebagai pemrosesan citra probalistik. Pengolahan citra secara *stochastic* yang berbasis pada metode Bayesian pertama kali dilakukan oleh Geman dan Besag. Aplikasi dari metode analitik dari mekanika statistik untuk proses restorasi citra dan teori *spin glass* dari mekanika statistik telah diaplikasikan untuk pengolahan informasi. Selain itu model *ising spin* telah diaplikasikan untuk restorasi citra dengan metode *replica*.

Restorasi Bayesian dari citra digital dengan menggunakan metode *Markov Chain Monte Carlo* (MCMC) telah dilakukan oleh Murthy. Metoda untuk memperbaiki citra InSAR yang dimodelkan sebagai *Complex-value Markov Random Fields* (CMRF) yang dilakukan oleh A. B. Suksmono dan A. Hirose yaitu dengan menandai bagian yang rusak oleh titik residu pada citra fasa. Proses perbaikan dengan menggunakan metode ini mempunyai efek mengurangi jumlah residu. Restorasi citra dengan menggunakan distribusi *posterior* pada citra *grayscale* telah dilakukan oleh Kusworo Adi dkk.

Pada penelitian ini yang merupakan pengembangan dari metode yang pernah dilakukan

pada citra *grayscale*, maka diusulkan suatu metode restorasi citra dengan distribusi Maxwell-Boltzmann sebagai probabilitas dari energi tiap piksel dan *simulated annealing* untuk temperatur *scheduling* pada citra terdegradasi. Untuk merealisasikan metode tersebut, maka digunakan algoritma *Metropolis Hastings Markov Chain Monte Carlo* (MH-MCMC). Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan suatu algoritma restorasi citra kompleks yang pada makalah ini difokuskan pada citra *magnitude*.

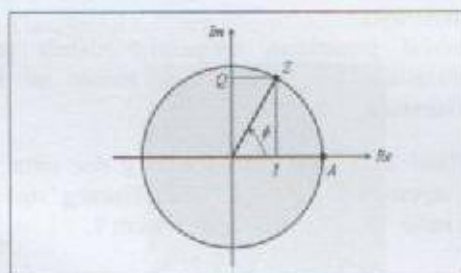
2. Model Citra Kompleks

Jika diketahui sebuah citra digital, maka citra tersebut merupakan kumpulan dari piksel dengan intensitas tertentu. Untuk citra digital dengan notasi f dengan lokasi dari piksel pada citra dengan notasi i , maka $f = \{\theta_i : i \in S\}$ disebut citra asal dengan S adalah batasan dari piksel dan θ_i adalah intensitas atau derajat keabuan piksel $i \in S$. Kemudian $f = \{\theta_i : i \in S\}$ disebut sebagai citra yang telah direstorasi dan $g = \{g_i : i \in S\}$ adalah citra yang terdegradasi oleh derau. Pada deskripsi *stochastic* citra f dianggap sebagai kumpulan dari variabel acak $\{\theta_i : i \in S\}$ [10][13].

Sebuah citra digital tersusun atas matriks piksel-piksel yang memiliki intensitas tertentu. Jika nilai intensitas piksel-pikselnya bernilai kompleks, maka citra tersebut dapat dikatakan sebagai citra kompleks. Suatu nilai kompleks Z dapat dinyatakan sebagai:

$$Z = I + iQ = A.e^{i\phi} \tag{1}$$

dimana Z adalah nilai kompleks, I adalah komponen riil, Q adalah komponen imajiner, i merupakan unit imajiner, A adalah magnitudo, sedangkan ϕ merupakan nilai fasa absolut (*unwrapped phase*).



Gambar 1. Bidang Kompleks

Hubungan komponen magnitudo dan fasa terhadap komponen riil dan imajiner diekspresikan sebagai:

$$A = |Z| = \sqrt{I^2 + Q^2} \tag{2}$$

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{Q}{I}\right) \tag{3}$$

Citra kompleks umumnya direpresentasikan dalam bentuk dua citra terpisah, baik dalam bentuk

kombinasi citra riil dan imajiner, maupun sebagai kombinasi citra *magnitude* dan citra fasa seperti pada Gambar 2a dan 2b.

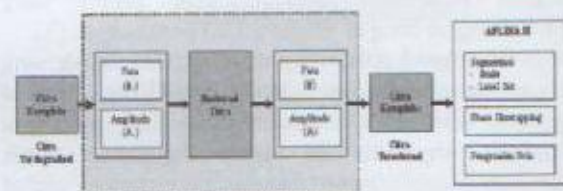


Gambar 2a. Ilustrasi Citra Kompleks MRI Citra Magnitude



Gambar 2b. Ilustrasi Citra Kompleks MRI Citra Fasa

Bentuk umum dari restorasi citra kompleks adalah seperti pada Gambar 3, pada gambar tersebut proses restorasi citra kompleks yang diolah secara terpisah baik *magnitude* maupun fasa dari citra kompleks. Setelah dilakukan proses restorasi maka dilakukan aplikasi untuk interpretasi citra kompleks tersebut, misalnya *phase unwrapping*, segmentasi (*snake algorithm* dan *level set method*) dan pengenalan pola. Jika dilihat alur proses pada bagan tersebut, maka tampak lebih jelas bahwa proses restorasi citra memegang peranan yang sangat penting untuk pemrosesan citra selanjutnya.



Gambar 3. Alur Restorasi Citra Kompleks

3. Distribusi Maxwell-Boltzmann dan Simulated Annealing

Monte carlo adalah teknik numerik yang membuat bilangan acak untuk menyelesaikan permasalahan. Dengan mengatur temperatur dan dimulai dengan inialisasi citra awal f_0 , maka akan dibangun sebuah rantai Markov yang terdiri dari citra dengan distribusi Maxwell-Boltzmann. Pada rantai Markov $f_0 \rightarrow f_1 \rightarrow \dots \rightarrow f_n$, citra f_{k+1}

tergantung hanya pada f_k dan tidak tergantung pada keadaan sebelumnya. Elemen dasar dari rantai Markov adalah dibangun oleh algoritma *Monte Carlo*. Langkah pertama adalah menghitung distribusi Maxwell-Boltzmann dari citra f_k , kemudian ditandai dengan Pr_k . Kemudian pilih piksel secara acak dari citra tersebut. Langkah kedua adalah menghitung distribusi Maxwell-Boltzmann pada piksel citra sampel dan ditandai dengan Pr_i . Langkah selanjutnya adalah proses penerimaan dan penolakan, piksel dari citra sampel akan diterima dengan probabilitas p yang diberikan oleh persamaan 4:

$$p = \min\left(1, \frac{Pr_k}{Pr_i}\right) \quad (4)$$

Probabilitas Maxwell-Boltzmann dari sebuah citra f_k seperti pada persamaan di bawah ini:

$$Pr_k = \frac{1}{Z} e^{-E_k/kT} \quad (5)$$

Sedangkan probabilitas Maxwell-Boltzmann dari sebuah citra f_i seperti pada persamaan di bawah ini:

$$Pr_i = \frac{1}{Z} e^{-E_i/kT} \quad (6)$$

dengan : E_k = Energi piksel pada citra f_k
 E_i = Energi piksel pada citra f_i
 k = Konstanta Boltzmann
 T = Temperatur
 Z = Fungsi Partisi

Kemudian untuk rasio probabilitas Pr_k/Pr_i diberikan oleh persamaan 7.

$$\begin{aligned} \frac{Pr_k}{Pr_i} &= \frac{\frac{1}{Z} e^{-E_k/kT}}{\frac{1}{Z} e^{-E_i/kT}} \\ &= e^{-E_k - E_i/kT} = e^{-\Delta E/kT} \end{aligned} \quad (7)$$

Pada algoritma MH MCMC, ketika dibandingkan bagian yang dipilih f_k dengan kandidat f_i yang berbeda dari f_k oleh satu piksel. Nilai dari $E_k - E_i$ adalah perubahan energi untuk piksel yang berhubungan dengan empat piksel bertetangga [3].

Simulated Annealing (SA) adalah salah satu algoritma untuk untuk optimisasi yang bersifat generik. Berbasiskan probabilitas dan mekanika statistik, algoritma ini dapat digunakan untuk mencari pendekatan terhadap solusi optimum global dari suatu permasalahan. Masalah yang membutuhkan pendekatan SA adalah masalah-masalah optimisasi kombinatorial, di mana ruang pencarian solusi yang ada terlalu besar, sehingga hampir tidak mungkin ditemukan solusi eksak terhadap permasalahan itu. Publikasi tentang pendekatan ini pertama kali dilakukan oleh S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt dan M. P. Vecchi, diaplikasikan pada desain optimal *hardware* komputer.

Annealing adalah satu teknik yang dikenal dalam bidang metalurgi, digunakan dalam

mempelajari proses pembentukan kristal dalam suatu materi. Agar dapat terbentuk susunan kristal yang sempurna, diperlukan pemanasan sampai suatu tingkat tertentu, kemudian dilanjutkan dengan pendinginan yang perlahan-lahan dan terkendali dari materi tersebut. Pemanasan materi di awal proses *annealing*, memberikan kesempatan pada atom-atom dalam materi itu untuk bergerak secara bebas, mengingat tingkat energi dalam kondisi panas ini cukup tinggi. Proses pendinginan yang perlahan-lahan memungkinkan atom-atom yang tadinya bergerak bebas itu, pada akhirnya menemukan tempat yang optimum, di mana energi internal yang dibutuhkan atom itu untuk mempertahankan posisinya adalah minimum.

Simulated annealing berjalan berdasarkan analogi dengan proses *annealing* yang telah dijelaskan diatas. Pada awal proses SA, dipilih suatu solusi awal, yang merepresentasikan kondisi materi sebelum proses dimulai. Gerakan bebas dari atom-atom pada materi, direpresentasikan dalam bentuk modifikasi terhadap solusi awal/solusi sementara. Pada penelitian pengaturan temperatur diberikan oleh persamaan 8:

$$T = \frac{C}{\log(s+1)} \quad (8)$$

dengan : T = Temperatur
 C = konstanta untuk mendapatkan temperatur awal
 s = iterasi

Menurut Kirkpatrick ada empat hal utama yang perlu diperhatikan dalam penggunaan SA untuk memodelkan suatu permasalahan :

- Representasi yang akurat dari konfigurasi dalam suatu permasalahan.
- Proses modifikasi, langkah acak atau perubahan yang harus dilakukan terhadap elemen-elemen konfigurasi untuk menghasilkan konfigurasi berikutnya.
- Jadwal penurunan temperatur dalam proses *annealing*, dan berapa lama proses ini harus dilakukan.

Dari citra yang terdegradasi g dan citra yang telah direstorasi f_i , maka dapat dihitung *signal to noise ratio* (SNR) dengan persamaan 9:

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\sum_{i=1}^n (f_i)^2}{\sum_{i=1}^n (f_i - f_i)^2} \text{ (dB)} \quad (9)$$

Nilai *signal to noise ratio* kecil ketika derau yang ada pada citra terdegradasi besar.

4. Simulasi Restorasi Citra Menggunakan Distribusi Maxwell-Boltzmann dan *Simulated Annealing*

Algoritma *Metropolis Hastings Markov Chain Monte Carlo* (MHMCMC) akan digunakan untuk

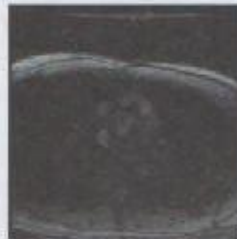
mensimulasikan restorasi citra dengan metode distribusi Maxwell-Boltzmann dan *simulated annealing*. Adapun algoritma tersebut adalah sebagai berikut:

- Inialisasi temperature awal T dan inialisasi citra dengan $f_0 = g, f_k = f_0$
- Random nilai *threshold* dan tandai dengan ft .
- Hitung $Pr_k = \frac{1}{Z} e^{-E_k/1kT}$
- Hitung $Pr_l = \frac{1}{Z} e^{-E_l/1kT}$
- Hitung rasio probabilitas untuk penolakan dan penerimaan dengan persamaan:

$$\frac{Pr_k}{Pr_l} = e^{-(E_k - E_l)/kT} = e^{-\Delta E/kT} \quad (9)$$
- Jika rasio probabilitas < 1 , maka piksel citra sampel diterima dengan $f_1 = f_k$ jika tidak $f_1 = f_0$
- Ambil f_1 sebagai piksel citra sampel f_k
- Kembali ke langkah (b)

5. Analisis Restorasi Citra Menggunakan Distribusi Maxwell-Boltzmann dan *Simulated Annealing*

Hasil restorasi citra dengan menggunakan pendekatan distribusi Maxwell-Boltzmann dan *simulated annealing* yang diimplementasikan pada citra magnitude seperti pada Gambar 5a dan 5b dan 5c, sedangkan pada Gambar 4a dan 4b memperlihatkan citra asli dan citra terdegradasi derau *Gaussian*.



Gambar 4a. Citra *Magnitude* MRI Citra Asli



Gambar 4b. Citra *Magnitude* MRI Citra Terdegradasi Derau *Gaussian*

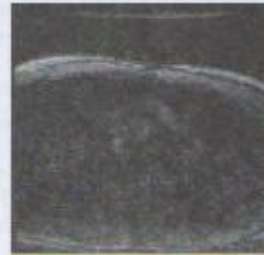
Pada Gambar 5a, 5b, dan 5c memperlihatkan hasil dari citra yang telah direstorasi dengan variasi dari temperatur awal. Secara sekilas ketiga gambar hampir sama, tetapi jika dilihat dari grafik *signal to noise ratio* (SNR) seperti pada Gambar 6a, 6b, dan 6c akan tampak berbeda dengan setiap perubahan temperatur awal.

Pada Gambar 6a, 6b, dan 6c nilai SNR untuk temperatur awal 1,18 adalah 13.391 dB, pada

temperatur awal 2,60 adalah 13.272 dB, sedangkan pada temperatur awal 4,40 adalah 13.136 dB. Jika dilihat dari hasil tersebut memperlihatkan bahwa setiap perubahan temperatur awal akan memberikan perubahan nilai SNR yang kecil. Akan tetapi pada temperature awal 1,18 memberikan nilai SNR yang tertinggi, sedangkan pada temperatur awal 2,60 dan 4,40 nilai SNR turun.



Gambar 5a. Restorasi Citra dengan Model Distribusi *Maxwell-Boltzmann* pada Temperatur Awal 1.18



Gambar 5b. Restorasi Citra dengan Model Distribusi *Maxwell-Boltzmann* pada Temperatur Awal 2.60

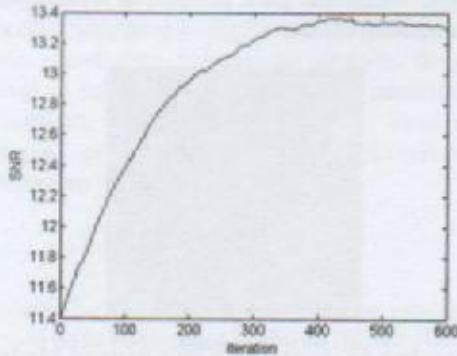


Gambar 5c. Restorasi Citra dengan Model Distribusi *Maxwell-Boltzmann* pada Temperatur Awal 4.40

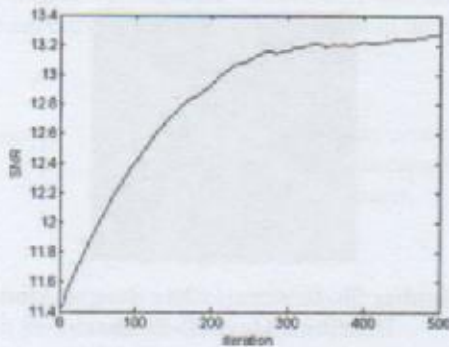
Berdasarkan grafik yang diperlihatkan pada Gambar 6a, 6b, dan 6c mengindikasikan bahwa nilai SNR akan turun ketika temperatur awal naik, hal ini disebabkan algoritma akan mengupdate piksel-piksel pada temperatur yang rendah seperti diperlihatkan pada Gambar 7a, 7b, dan 7c. Tetapi pada awal proses *annealing*, karena faktor T sebagai pembagi masih bernilai besar, probabilitas ini akan tetap cukup besar. Tidak demikian halnya setelah T menurun, dalam proses pendinginan, maka probabilitas akan semakin kecil.

Berdasarkan grafik SNR pada Gambar 6a, 6b, dan 6c pengaturan pada temperatur awal 1,18

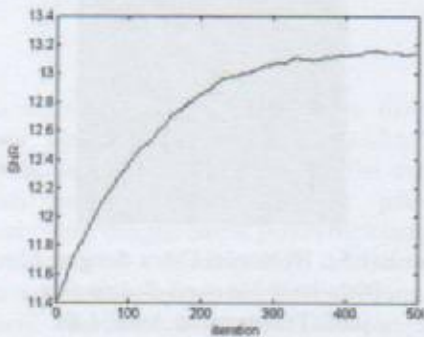
memberikan nilai SNR yang optimal. Nilai SNR yang dihasilkan pada proses restorasi citra disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu : jenis derau yang diberikan, distribusi yang digunakan sebagai fungsi update piksel, perubahan temperatur awal dan iterasi.



Gambar 6a. Grafik SNR vs Iterasi pada Temperatur Awal 1.18



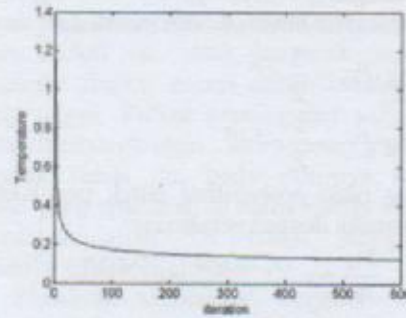
Gambar 6b. Grafik SNR vs Iterasi pada Temperatur awal 2.60



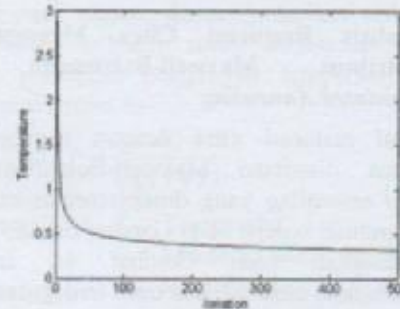
Gambar 6c. Grafik SNR vs Iterasi pada Temperatur Awal 4.40

Sedangkan pada Gambar 8a, 8b, dan 8c menunjukkan bahwa piksel yang di-update akan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya iterasi, hal ini membuktikan bahwa proses update piksel dengan menggunakan metode distribusi Maxwell-Boltzmann dan simulated annealing telah berjalan dengan baik. Akan tetapi jika dilihat dari grafik tersebut proses update piksel masih belum optimal, terbukti masih banyak piksel-piksel yang belum ter-update. Beberapa hal yang menyebabkan hal tersebut adalah sifat dari derau Gaussian yang

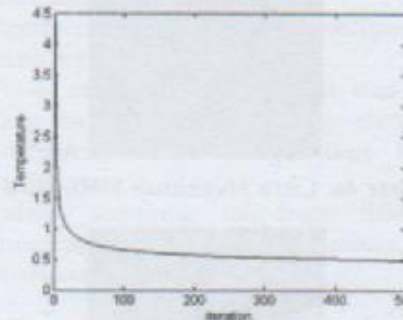
menambahkan nilai hampir semua piksel dan proses penurunan energi dari piksel-piksel sudah mencapai titik jenuh. Oleh karena itu dari keseluruhan proses restorasi citra masih perlu dilakukan pengembangan algoritma agar memberikan hasil yang lebih optimal.



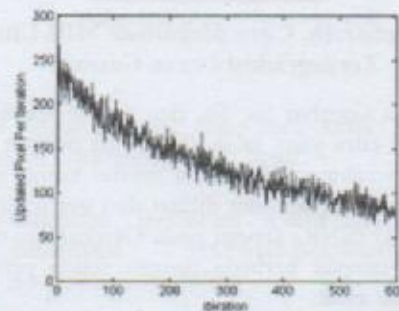
Gambar 7a. Grafik Penurunan Temperatur pada Simulated Annealing Per Iterasi pada Temperatur Awal 1.18



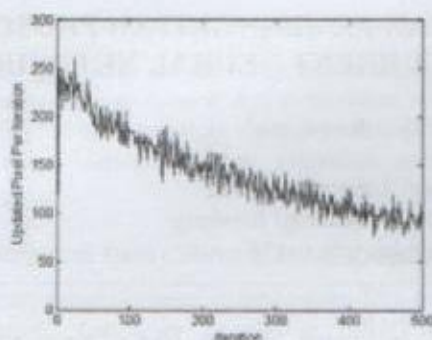
Gambar 7b. Grafik Penurunan Temperatur pada Simulated Annealing Per Iterasi pada Temperatur Awal 2.60



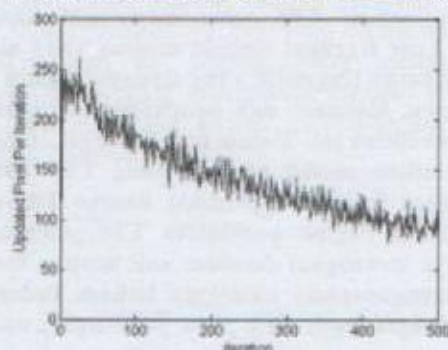
Gambar 7c. Grafik Penurunan Temperatur pada Simulated Annealing Per Iterasi pada Temperatur Awal 4.40



Gambar 8a. Grafik Piksel yang Ter-update Per Iterasi pada Temperatur Awal 1.18



Gambar 8b. Grafik Pixel yang Ter-update Per Iterasi pada Temperatur Awal 2.60



Gambar 8c. Grafik Pixel yang Ter-update Per Iterasi pada Temperatur Awal 4.40

6. Kesimpulan

Telah dilakukan pengembangan restorasi citra *magnitude* dengan menggunakan distribusi Maxwell-Boltzmann dan *simulated annealing* yang diimplementasikan pada citra yang terdegradasi oleh derau Gaussian. Pada simulasi ini didapatkan hasil yang lebih baik pada temperatur 1,18 dengan *signal to noise ratio* (SNR) 13,391 dB. Nilai *signal to noise ratio* (SNR) yang dihasilkan pada proses restorasi citra disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu: derau yang diberikan, distribusi yang digunakan sebagai fungsi *update* piksel, temperatur dan iterasi.

Daftar Pustaka

- [1] Adi, Kusworo, Tati L.R. Mengko, Andriyan Bayu Suksmono, and Donny Danudirdjo. 2006. *Digital Image Restoration Using Posterior Distribution and Updating Pixel by Self Threshold*, Accepted in SICE-ICASE International Joint Conference 2006.Korea. Oct. 18-21, 2006 in Bexco, Busan.
- [2] Besag, J. E., 1986, *On the statistical analysis of dirty pictures (with discussions)*, J. Royal Statistical Society, B 48 259
- [3] Geman, S. and D. Geman. 1984. *Stochastic Relaxation, Gibbs distributions and Bayesian Restoration*, IEEE Transactions of Pattern Analysis and Machine Intelligence, 6 721.
- [4] Hidetoshi Nishimori. 2001. *Statistical physics of spin glasses and information processing: an introduction*. Oxford. Oxford university Press.
- [5] Hidetoshi Nishimori and K. M. Y. Wong. 1999. *Statistical mechanics of image restoration and error-correcting codes*, Phys. Rev. E 60, 132.
- [6] Kirkpatrick, S. and C. D. Gelatt and M. P. Vecchi. 1983. *Optimization by Simulated Annealing*, Science, Vol 220, Number 4598, pages 671-680.
- [7] K. Tanaka, J. Inoue and Titterington D. M. 2003. *Probabilistic image processing by means of Bethe approximation for the Q-Ising model*, www.stats.gla.ac.uk/Research/TechRep2003/03-3.pdf
- [8] K. Tanaka and N Yoshiike. 2003. *Statistical-Mechanical Approach to Probabilistic Image Processing*, Workshop on Statistical Mechanical Approach to Probabilistic Information Processing.
- [9] Murthy, K. P. N., 2003. *Bayesian Restoration of Digital Images Employing Markov Chain Monte Carlo*, eprint arXiv:cs/0504037
- [10] Nicholls, G.K. and S.M. Tan. 2001. *Inverse Problems*, PHYSICS 707. The University of Auckland.
- [11] Pryce, J. M. and A. D. Bruce. 1995. *Statistical mechanics of image restoration*, J. Phys. A: Math. Gen. A 28, 511
- [12] Suksmono, A. B. & A. Hirose. 2001. *Two-dimensional Complex-valued Signal Processing: Part 1. Theory and Simulations*, IECI Chapter Japan Series, Vol. 3, No. 1, ISSN 1344-7491, pp. 62-69.
- [13] Suksmono, A. B. and A. Hirose. 2001. *Two-dimensional complex-valued signal processing: Part 2. Interferometric SAR image restoration*, IECI Chapter Japan Series, Vol. 3, No. 1,ISSN 1344-7491, pp. 70-77.s