

Pembangkitan dan Pemulihan Citra Biner *Markov Random Field* (MRF) secara Stokastik Dengan Algoritma *Markov Chain Monte Carlo* (MCMC)

Kusworo Adi¹ dan Andrian Bayu Suksmono²

Jurusan Fisika - FMIPA, Universitas Diponegoro

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung

Alamat e-mail korespondensi penulis : kusworoadi@undip.ac.id

Abstract

Ising model or the Spin Glass is a model used to solve the magnetic properties of materials and the occurrence of phase transitions from paramagnetic to ferromagnetic properties. Magnetization of the material comes from the vortex that has two kinds of electron spin, ie $\{-1 / 2, +1 / 2\}$. Both spin gives the direction of magnetization (North-South) that opposite. Two-dimensional Ising model (2D), often called a Markov Random Field (MRF). This model is a stochastic model that can represent the image texture. Result binary image generation MRF much affected by changes in temperature, the spin direction will be random if the environment inside a high enough temperature, ie above the critical tempertaur (or Currie temperature) T_c , at this keadaan paramagnetic material. Conversely, if the environmental temperature below T_c , then the material would be ferromagnetic. As for binary image restoration MRF is affected by noise levels and the number of iterations, the best results the image restoration process at the level of noise from 0 to 0.5.

Keywords: image restoration, markov random field, stochastic

Abstrak

Model Ising atau Spin Glass adalah suatu model yang digunakan untuk menyelesaikan sifat magnetik bahan dan terjadinya transisi fasa dari sifat paramagnetik menjadi ferromagnetik. Magnetisasi bahan berasal dari pusaran elektron yang memiliki dua macam spin, yaitu $\{-1/2, +1/2\}$. Kedua spin ini memberi arah magnetisasi (Utara-Selatan) yang berlawanan. Model Ising dimensi dua (2D) sering disebut dengan Markov Random Field (MRF). Model ini merupakan model stokastik citra yang mampu merepresentasikan tekstur. Hasil pembangkitan citra biner MRF banyak terpengaruh oleh perubahan temperatur, arah spin akan acak jika berada didalam lingkungan temperatur yang cukup tinggi, yaitu diatas tempertaur kritis (atau temperatur Currie) T_c , pada keadaan ini bahan bersifat paramagnetik. Sebaliknya jika suhu lingkungan dibawah T_c , maka bahan akan bersifat ferromagnetik. Sedangkan untuk pemulihan citra biner MRF sangat dipengaruhi oleh level derau dan jumlah iterasi, hasil terbaik proses pemulihan citra berada pada level derau 0 sampai dengan 0,5.

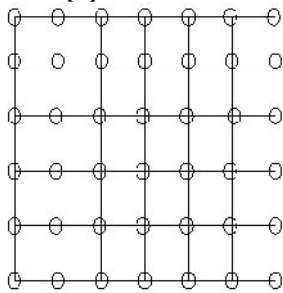
Kata kunci: pemulihan citra, markov random field, stokastik

PENDAHULUAN

Markov Random Field (MRF) secara umum didefinisikan sebagai koleksi piksel pada suatu kisi terbatas dengan dimensi $\{N * M\} = D$. Nilai masing-masing piksel diasumsikan dengan kuantitas acak, dengan nilai-nilai yang terdistribusi secara *uniform* pada kisaran $f_{i,j} \in \{0, 1, 2, \dots, L-1\}$, dimana L adalah jumlah level pada suatu citra. Gambar.1 menunjukkan suatu bidang

acak, lingkaran yang kecil menggambarkan lokasi piksel dengan nilai $L \in \lambda$,. Bidang konfigurasi didefinisikan sebagai $S = \lambda^D$ dan deskripsi secara statistik dari suatu citra yang dimodelkan akan menggambarkan hubungan dari tiap piksel di atas kisi, yaitu $P(F_{i,j} = f_{i,j} | F_{k,l} = f_{k,l}, (k,l) \in D)$, dimana F adalah contoh bidang acak dan f adalah nilai yang diasumsikan sebagai

piksel. Untuk mendapatkan suatu representasi statistik dari citra, maka probabilitas di atas D merupakan keseluruhan dari kisi dengan ukuran yang terbatas pada D . Oleh karena itu perlu model *markovian* dari citra yang merupakan perluasan bidang dua dimensi dari satu dimensi proses *markov*, sehingga pemodelan citra dengan cara ini membuat representasi secara statistik dari suatu citra akan lebih mudah [1].



Gambar 1. Contoh grid MRF [1]

Pada tahun 1993 oleh Regazzoni melakukan perbaikan citra dengan pendekatan multilevel *Gibbs-Markov Random Fields* (GMRF) yang diaplikasikan untuk perbaikan dan segmentasi citra [2]. Kemudian pengembangan dari MRF dilakukan oleh Smith dan Roberts dengan melakukan pendekatan Bayesian dengan menggunakan metoda *Gibbs Sampler* dan MCMC. Pada penelitian ini dilakukan pengembangan fungsi sampling secara acak dengan menggunakan metoda MCMC. *Markov chain* adalah generalisasi pertama dari peristiwa bebas, probabilitas dari peristiwa pada waktu $n + 1$ merupakan fungsi yang hanya menghasilkan peristiwa pada waktu n . Pada tahun 1994 penelitian ini dikembangkan oleh mereka dengan melihat konvergensi dari algoritma *Metropolis-Hastings* sebagai fungsi keputusan dari distribusi piksel untuk restorasi citra [3,4]. Pada tahun 1994 Belotserovsky dkk melakukan pemulihan citra radar secara stokastik dengan menggunakan transformasi

fourier untuk mereduksi jumlah gelombang [5].

Proses restorasi citra secara stokastik terus mengalami banyak kemajuan terutama dengan mengaplikasikan teknik MRF dan *Monte Carlo* untuk analisis pada citra biner maupun *gray scale* [6,7]. Kemudian pemrosesan informasi secara Bayesian dengan menggunakan *Reversible Jump Markov Chain Monte Carlo* (MCMC) dilakukan oleh Robert yang merupakan pengembangan dari metode MCMC [8]. Metode pengolahan citra secara stokastik mempunyai kelebihan dalam mengolah citra secara probabilistik yang dapat dimanfaatkan untuk klasifikasi, segmentasi dan restorasi citra. Teknik tersebut dilakukan dengan menggunakan metode MCMC sebagai fungsi sampling.

Studi *Spin Glass Markov Random Field* (MRF)

Model Ising atau Spin Glass adalah suatu model yang digunakan untuk menyelesaikan sifat magnetik bahan dan terjadinya transisi fasa dari sifat paramagnetik menjadi feromagnetik. Magnetisasi bahan berasal dari pusaran elektron yang memiliki dua macam spin, yaitu $\{-1/2, +1/2\}$. Kedua spin ini memberi arah magnetisasi (Utara-Selatan) yang berlawanan. Model Ising dimensi dua (2D) sering disebut dengan *Markov Random Field* (MRF). Model ini merupakan model stokastik citra yang mampu merepresentasikan tekstur. Model MRF adalah larik dimensi 2 yang terdiri dari $D = M \times N$ tempat. Hal penting yang harus digali adalah hubungannya dengan sistem yang tidak teratur, seperti pada tipe Sherrington-Kirkpatrick, dan secara umum terlihat bahwa sangat penting untuk memperkirakan secara teori dan praktek tentang problem estimasi seperti yang pernah dilakukan oleh M'ezard, Parisi dan Zecchina. Pada penelitian ini akan dibahas tentang teori dari *spin*

glass dengan simulasi pada MRF, perubahan energi dengan temperatur, dan kemagnetan dengan temperatur. Selain itu kemungkinan aplikasi dari model *spin glass* untuk pemulihan citra digital yang terdegradasi oleh derau [9,10,11].

Seperti pada bahan feromagnetik, bentuk umum dari model *spin glass* bidang rata-rata didefinisikan dengan variabel *Ising spin* $\sigma_i = \pm 1$, yang diberikan untuk setiap lokasi $i = 1, 2, \dots, N$. Akan tetapi untuk meredam ketidakteraturan tersebut dengan variabel bebas $N(N-1)/2$ dan variabel acak terdistribusi J_{ij} , definisi untuk setiap unit Gaussian dengan rata-rata $E(J_{ij}) = 0$, $E(J_{ij}^2) = 1$. Dengan adanya redaman ketidakteraturan tersebut berarti bahwa J mempunyai energi stokastik eksternal pada sistem, tanpa adanya keseimbangan temperatur [12]. Jika model Hamiltonian dari model *spin glass* pada bidang rerata adalah :

$$H_N(\sigma, h, J) = -\frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{(i,j)} J_{ij} \sigma_i \sigma_j - h \sum_i \sigma_i \quad (1)$$

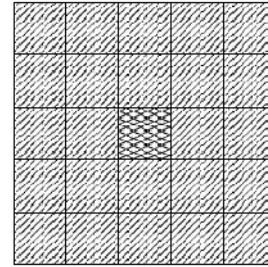
Pada persamaan di atas merupakan penjumlahan persamaan untuk semua lokasi kopel, dan penjumlahan kedua untuk semua lokasi. Sedangkan \sqrt{N} sangat penting untuk memastikan keadaan termodinamika pada energi bebas.

Pemodelan citra dengan cara ini membuat representasi secara statistik dari suatu citra menjadi lebih mudah. Gambar 2 menunjukkan tipikal dari MRF dimana pusat piksel hanya tergantung pada nilai-nilai piksel yang bertetangga. Sehingga dapat didefinisikan secara matematis sebagai berikut [9] :

$$N_{i,j} = \{(k,l) \in D, (k,l) \neq (i,j), k^2 + l^2 \leq 1\} \quad (2)$$

Dengan cara yang sama pada kondisi (k,l) dapat dimodifikasi untuk sistem tetangga yang berbeda. Pada sistem

tetangga lokal akan menjadi $P(F_{i,j} = f_{i,j} | F_{k,l} = f_{k,l} (k,l) \in N_{i,j})$.



Gambar 2. Bentuk MRF [12]

Diberikan kisi terbatas D dan suatu sistem tetangga N , distribusi *Gibbs* adalah probabilitas pengukuran π diatas $\{D, N\}$ adalah :

$$\pi(x) = \frac{1}{Z} e^{-H(x)/T} \quad (3)$$

dengan Z dan T adalah konstan dan H adalah fungsi energi yang diberikan oleh :

$$H(x) = \sum_{c \in C} V_c(x) \quad (4)$$

dimana subset $c \subseteq D$ adalah suatu anggota tiap pasangan piksel pada c adalah tetangga, C disebut anggota. $\{V_c, C \in C\}$ disebut potensial *clique*, Z adalah fungsi partisi dan diberikan oleh :

$$Z := \sum_{\omega} e^{-H(x)/T} \quad (5)$$

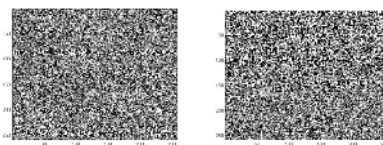
HASIL DAN ANALISIS

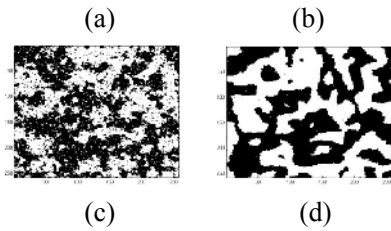
Pembangkitan Citra MRF

Berikut ini adalah hasil simulasi dari MRF dengan menggunakan Algoritma MCMC. Adapun hasil simulasi dengan menggunakan metode-metode tersebut sebagai berikut :

1. Simulasi *Markov Random Field* (MRF)

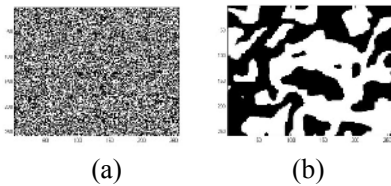
a. Parameter tetap $\alpha = 0$, $\beta = -0,9$ dan iterasi = 40





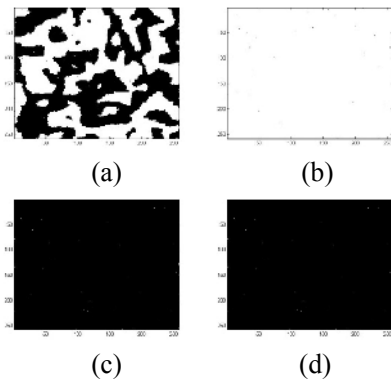
Gambar 3. Hasil Simulasi MRF dengan perubahan temperatur
 a. Temperatur 40 b. Temperatur 8
 c. Temperatur 2 d. Temperatur 1

b. Parameter tetap $\alpha = 0$, Temperatur = 1 dan iterasi = 40



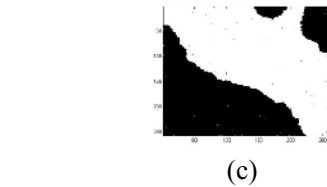
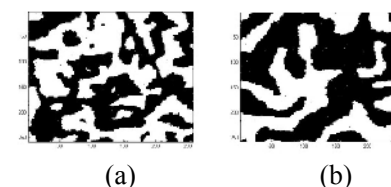
Gambar 4. Hasil Simulasi MRF dengan perubahan parameter β
 a. $\beta = -0,1$ b. $\beta = -5$

c. Parameter tetap $\beta = -0,9$ Temperatur = 1 dan iterasi = 40



Gambar 5. Hasil Simulasi MRF dengan perubahan parameter α
 a. $\alpha = 0$ b. $\alpha = -0,5$ c. $\alpha = 1$ d. $\alpha = 0,5$

d. Parameter tetap $\alpha = 0$, $\beta = -0,9$ dan Temperatur = 1



Gambar 6. Hasil Simulasi MRF dengan perubahan iterasi
 a. iterasi = 40 b. iterasi = 100 c. iterasi = 1000

Gambar 3 memperlihatkan hasil simulasi MRF dengan berbagai perubahan temperatur dan parameter tetap $\alpha = 0$, $\beta = -0,9$ serta iterasi = 40. Pada temperatur 1 dan 2 dari hasil simulasi MRF memperlihatkan struktur magnetik tampak lebih stabil, sedangkan pada temperatur 8 struktur magnetik menjadi tidak teratur. Kemudian ketika temperatur dinaikan menjadi 40 struktur magnetiknya tampak sangat rapat dan sangat tidak teratur, hal ini berarti dengan naiknya temperatur akan memberikan efek struktur magnetik yang tidak teratur dan tidak stabil. Arah spin akan acak jika berada didalam lingkungan temperatur yang cukup tinggi, yaitu diatas tempertaur kritis (atau temperatur Currie) T_c , pada keadaan ini bahan bersifat paramagnetik. Sebaliknya jika suhu lingkungan dibawah T_c , maka bahan akan bersifat feromagnetik.

Sedangkan Gambar 4 memperlihatkan efek kerapatan pada struktur magnetis dengan perubahan parameter β . Hal ini membuktikan bahwa perubahan parameter β akan menjadi signifikan jika β semakin turun, maka struktur magnetiknya akan semakin acak karena parameter β akan memberikan efek interaksi pada struktur magnetis. Gambar 5 memperlihatkan struktur magnetik dengan perubahan parameter α . Tampak bahwa dengan nilai $\alpha=0$ memberikan efek pada struktur magnetik yang acak, sebaliknya dengan nilai α yang negatif atau positif akan memberikan efek pada struktur magnetik yang homogen. Selanjutnya

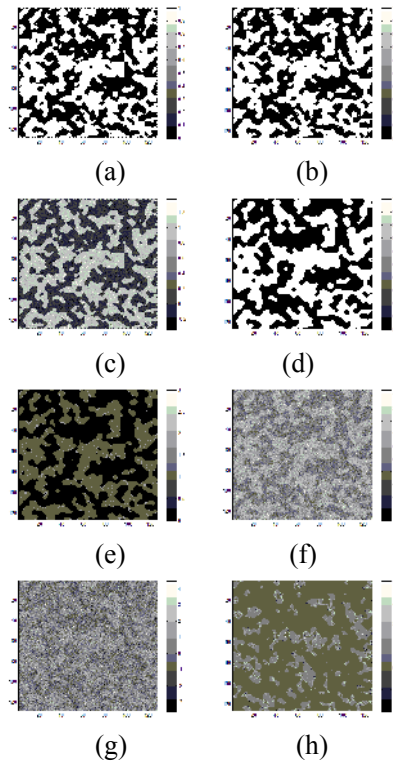
Gambar 6 memperlihatkan hasil simulasi MRF dengan berbagai perubahan iterasi, perubahan iterasi akan memberikan efek pada distribusi struktur magnetis yang semakin homogen dengan semakin naiknya iterasi.

2. Pemulihan Citra Biner Markov Random Field (MRF)

Dari hasil simulasi pembangkitan MRF seperti yang sudah dipaparkan pada bagian sebelumnya, maka pada bagian ini dilakukan simulasi dan eksperimen pemulihan citra biner MRF secara stokastik. Proses pemulihan ini dilakukan dengan memperhatikan beberapa parameter, yaitu : ukuran citra (128 x 128), level derau relatif terhadap nilai piksel (derau gaussian dengan level 0 - 1), temperatur (dilakukan dengan temperatur 1). Pada pembahasan ini digunakan hasil simulasi dan eksperimen pemulihan citra biner MRF menggunakan ukuran citra 128 x 128 dengan level derau 1, 0.5, 0.1, dan 0.

Dari hasil simulasi seperti pada Gambar 7 tampak bahwa untuk derau 0 sampai dengan 0,5 hasil pemulihan sesuai dengan citra aslinya, hal ini menunjukkan bahwa pemulihan secara stokastik dengan Algoritma MCMC untuk derau tersebut dapat berjalan dengan baik dengan nilai PSNR yang cukup tinggi, yaitu pada kisaran 19,0 dB sampai tak terhingga. Pada derau 0 dihasilkan nilai MSE dan RMSE sama dengan 0, hal ini menunjukkan bahwa tingkat kemiripan citra asli dengan hasil pemulihan citra sangat tinggi. Sedangkan untuk derau 1 hasil pemulihan citra kurang baik, hal ini dapat dibuktikan secara visual dan nilai PSNR = 13,7 dB, hasil pemulihan pada derau ini kurang mempunyai kemiripan dengan aslinya. Akan tetapi pada derau 0,5 hasil pemulihan menjadi lebih baik dan mempunyai kemiripan yang cukup baik. Dari hasil tersebut dapat diambil suatu kesimpulan bahwa pada rentang

derau 0 sampai 0,5 metode ini mengupdate piksel lebih baik karena bebarapa faktor, yaitu : level derau, proses penghitungan energi dan jumlah iterasi.

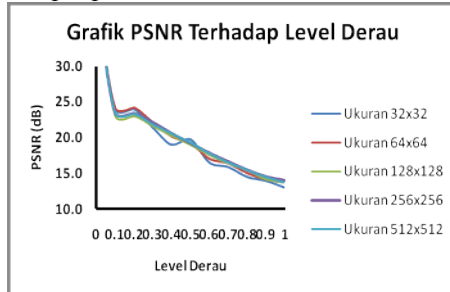


Gambar 7. Hasil Pemulihan Citra MRF

- a. Citra dengan derau = 0
- b. Hasil restorasi citra a
- c. Citra dengan derau = 0,1
- d. Hasil restorasi citra c
- e. Citra dengan derau = 0,5
- f. Hasil restorasi citra e
- g. Citra dengan derau = 1
- h. Hasil restorasi citra g

Iterasi pada simulasi ini mempunyai peranan yang sangat penting, jika tidak dapat menentukan jumlah iterasi yang tepat maka hasil pemulihan akan menjadi kurang baik. Hal ini disebabkan oleh metode MRF tidak hanya mereduksi derau, tetapi juga akan mengupdate piksel-piksel yang seharusnya tidak diupdate. Akan tetapi sebagai studi pendahuluan pemulihan citra MRF secara stokastik ini sudah berjalan dengan baik. Sebaliknya

pemulihan citra MRF secara stokastik mempunyai keterbatasan dalam memulihkan citra dengan baik hanya sampai pada level derau 0,5.



Gambar 8. Grafik PSNR terhadap level derau dari berbagai ukuran citra

Sedangkan Gambar 8 menunjukkan performansi pemulihan citra MRF yang ditunjukkan dengan PSNR terhadap level derau untuk berbagai ukuran citra. Tampak bahwa nilai PSNR mempunyai hasil lebih baik pada derau 0 sampai dengan 0,5, seandainya pada derau diatas 0,5 nilai PSNR cenderung turun. Dari hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa metode ini dapat merestorasi dengan baik pada level derau 0 sampai dengan 0,5. Ukuran citra pada simulasi ini tidak berpengaruh banyak terhadap PSNR yang dihasilkan, hal ini ditunjukkan pada grafik tersebut untuk berbagai ukuran citra PSNR yang dihasilkan cenderung sama dan mempunyai sifat penurunan yang sama.

KESIMPULAN

Hasil simulasi pembangkitan dan pemulihan citra biner MRF secara stokastik dengan Algoritma MCMC dapat dilakukan dengan baik, faktor-faktor yang mempengaruhi hasil simulasi adalah : level derau, jumlah iterasi, dan ukuran citra. Untuk level derau dan iterasi berpengaruh pada hasil PSNR, sedangkan ukuran citra berpengaruh pada waktu proses. Hasil simulasi restorasi dengan metode MRF menghasilkan hasil yang cukup baik pada level derau 0 – 0,5.

DAFTAR PUSTAKA :

- [1]. Bhatt, M.R. dan Desai, U.B., 1994, "Robust Image Restoration Algorithm Using Markov Random Field Models", CVGIP: Graphical Models and Image Processing, Volume 56, Issue 1, pp. 61 – 74
- [2]. Regazzoni, C. S., Arduini, F. dan Vernazza, G., 1993, "A multilevel GMRF-based approach to image segmentation and restoration", Signal Processing, Volume 34, Issue 1, pp. 43-67
- [3]. Smith, A.F.M. dan Roberts, G.O., 1993, "Bayesian Computation Via the Gibbs Sampler and Related Markov Chain Monte Carlo Methods", J. R. Statist. Soc. B. 55, No. 1, pp. 3-23
- [4]. Roberts, G.O. dan Smith, A.F.M., 1994, "Simple Conditions For Convergence of The Gibbs Sampler and Metropolis-Hastings Algorithm", Stoch. Proc. Appl. 49, pp. 207–216
- [5]. Belotsercovsky, A.V., Uyeda, H. dan Kikuchi, K., 1994, "Radar imagery nowcasting using adaptive stochastic models", Atmospheric Research, Volume 34, Issues 1-4, pp. 249-257
- [6]. Zhu, S. C., 1995, "Embedding gestalt laws in markov random fields", IEEE Trans on PAMI, Vol 17, No. 11, pp 1170-1187
- [7]. Winkler, G., 1995, "Image Analysis, Random fields and Dynamic Monte Carlo Methods", Application of Mathematics, Vol. 27 Springer, Heidelberg
- [8]. Robert, C. P., Ryd'en, T., dan Titterington, D. M., 2000, "Bayesian inference in hidden Markov models through the reversible jump Markov chain Monte Carlo method", Journal of the Royal Statistical Society, series B, 62(1): pp.7–75

- [9]. M'ezard, M., Parisi, G. dan Zecchina, R., 2002, "Analytic and Algorithmic Solution of Random Satisfiability Problems", *Science* 297, pp. 812–815
- [10]. Sherrington, D. dan Kirkpatrick, S., 1975, "Solvable Model of a Spin-Glass", *Phys. Rev. Lett.* 35 pp. 1792—1796
- [11]. Kirkpatrick, S. dan Sherrington, D., 1978, "Infinite-ranged models of spin-glasses", *Phys. Rev. B*, Vol. 17, N. 11, pp. 4384 – 4403
- [12]. Bates, R.H.T., 1976, "A Stochastic image restoration procedure", *Optics Communications*, Volume 19, Issue 2, pp. 240-244.

