

# Kajian Model Ising 2 Dimensi untuk Bahan Antiferromagnet

A. R. U. Fadlilah, R. N. Safitri, D. Darmawan,  
*Program Studi Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia*

Juli 2012

## Abstrak

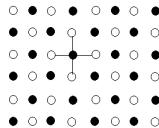
Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh suhu dan medan magnet luar terhadap magnetisasi dan energi pada bahan antiferromagnet. Geometri kekisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah persegi. Simulasi pada penelitian ini menggunakan model Ising 2 dimensi dengan memanfaatkan metode Monte Carlo. Metode ini menggunakan algoritma Metropolis. Kekuatannya interaksi antar titik kekisi sama, sehingga tidak terjadi kompetisi interaksi dalam sistem. Hasil yang diperoleh dari simulasi ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu, terdapat perubahan energi yang drastis saat mencapai suhu kritis dan magnetisasinya semakin kecil kemudian hilang setelah melewati suhu kritis (suhu Neel). Energi bernilai tetap setelah suhu kritis dan bahan berubah menjadi paramagnet. Medan magnet luar mempengaruhi magnetisasi dan energi yaitu semakin besar medan magnet luar, proses terjadinya perubahan fase semakin lambat dan energi pada suhu awal bertambah sebesar  $-B$ .

**Kata kunci:** *Ising, antiferromagnet, Monte Carlo.*

## I. PENDAHULUAN

Magnet merupakan bahan yang memiliki medan magnet. Bahan dapat berwujud magnet tetap atau tidak tetap. Magnet tetap tidak memerlukan tenaga dari luar untuk memunculkan sifat kemagnetannya. Magnet tidak tetap tergantung medan magnet luar untuk menghasilkan medan magnet bahan itu. Berdasarkan sifat kemagnetannya, bahan magnet dapat diklasifikasikan ke dalam diamagnet, paramagnet, ferromagnet, antiferromagnet dan ferrimagnet. Momen magnet mempengaruhi jenis bahan magnet, dan konfigurasi spin mempengaruhi momen magnet. Pengkajian terhadap pengaruh

bahan magnet dapat menggunakan beberapa model, seperti model Heisenberg dan Ising. Model Heisenberg adalah bentuk penyelesaian yang lebih rumit daripada model Ising, hal ini ditinjau dari keterkaitan komponen yang digunakan. Pengkajian dengan menggunakan model Ising telah banyak dilakukan, hal tersebut dikaji oleh para peneliti seperti Fricke (2006), Trohidou & Vasilakaki (2004) dan Mellor (2010) mengenai pengaruh konfigurasi spin terhadap sistem pada bahan ferromagnet. Billoire, et al. (1993), Wessel (2010) mengkaji bahan antiferromagnet secara simulasi tanpa adanya pengaruh medan magnet luar dengan model Heisenberg, sedangkan eksperimen dilakukan oleh Tsurkan et al. (2006). Kajian ini dilakukan dengan simulasi menggunakan model Ising dan metode Monte Carlo untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap magnetisasi & energi, dan pengaruh medan magnet luar terhadap bahan antiferromagnet dengan bentuk kekisi persegi, yang interaksinya dapat dimisalkan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1: Interaksi pada kekisi berbentuk persegi.

## II. MODEL ISING

Model Ising merupakan bentuk penyederhanaan dari model Heisenberg. Model Ising mempertimbangkan jumlah titik kekisi  $N$  dan berasumsi bahwa setiap titik kekisi memiliki keterkaitan dengan spin ( $\sigma$ ), dengan  $\sigma = \pm 1$ . Sifat makroskopik sistem dapat ditentukan dari sifat mikroskopiknya, oleh karenanya perlu diketahui nilai energi yang bergantung konfigurasi spin, yaitu:

$$\hat{H} = -J \sum_{\langle ij \rangle} \sigma_i \sigma_j - B \sum_i \sigma_i. \quad (1)$$

Besarnya magnetisasi dapat ditentukan dari:

$$M = \sum_{\langle ij \rangle} \sigma_{ij}. \quad (2)$$

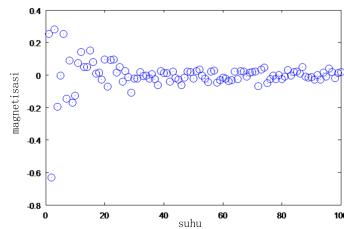
Ferromagnet memiliki spin dengan arah yang sama sebanyak titik kekisi  $N$ , pada antiferromagnet spin menunjuk arah berlawanan sebanyak titik kekisi  $N$ . Uraian tersebut adalah dasar dalam model Ising untuk ferromagnet dan antiferromagnet. Secara matematis, untuk menghitung nilai energi pada model Ising diberikan seperti pada Persamaan(1). Dalam perhitungan energi keduanya mempertimbangkan nilai interaksi tukar  $J$ . Interaksi tukar  $J$  merupakan ukuran kekuatan interaksi antara spin dengan tetangga terdekatnya. Jika  $J > 0$ , pada keadaan spin  $\uparrow\uparrow$  dan  $\downarrow\downarrow$  energi yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan keadaan  $\uparrow\downarrow$  dan  $\downarrow\uparrow$ . Keadaan ini terdapat pada ferromagnet, karena spin pada semua titik kekisi memiliki arah yang sama. Jika  $J < 0$ , pada keadaan spin  $\uparrow\downarrow$  dan  $\downarrow\uparrow$ , maka energi yang dimiliki rendah, ini merupakan keadaan antiferromagnet karena arah spin saling berlawanan.

Metode Monte Carlo dimanfaatkan untuk menghasilkan bilangan acak. Salah satu teknik simulasi komputer dalam metode ini yaitu algoritma Metropolis. Algoritma Metropolis dilibatkan sebagai syarat dalam penerimaan suatu nilai dengan probabilitas, terkait suhu dan energi sistem. probabilitas tersebut dikenal dengan probabilitas distribusi Boltzman.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

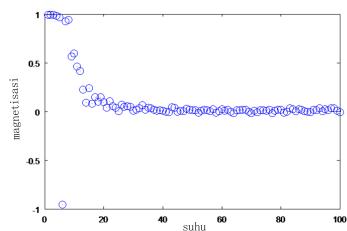
Dengan menerapkan persamaan 1 dan 2 akan diperoleh grafik magnetisasi dan energi dengan pengaruh medan magnet luar  $B$  dan suhu. Berikut beberapa hasilnya.

#### 1. Tanpa $B$ .



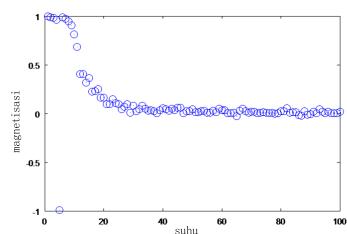
Gambar 2: Grafik magnetisasi terhadap suhu pada antiferromagnet  $B$ .

2. Untuk  $B = 0,5$ .



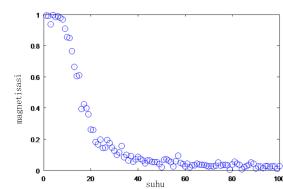
Gambar 3: Grafik magnetisasi terhadap suhu pada antiferromagnet,  $B = 0,5$ .

3. Untuk  $B = 1$ .



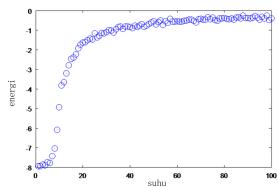
Gambar 4: Grafik magnetisasi terhadap suhu pada antiferromagnet,  $B = 1$ .

4. Untuk  $B = 2$ .



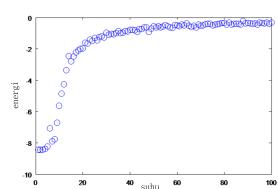
Gambar 5: Grafik magnetisasi terhadap suhu pada antiferromagnet,  $B = 2$ .

1. Tanpa  $B$ .



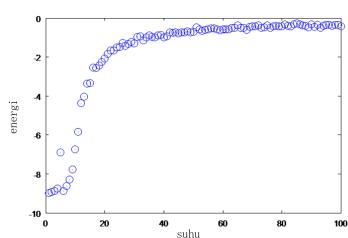
Gambar 6: Grafik energi terhadap suhu pada antiferromagnet tanpa  $B$ .

2. Untuk  $B = 0,5$ .



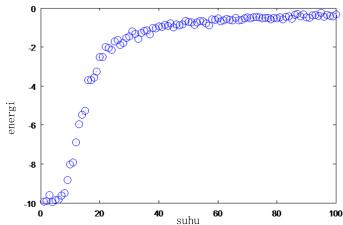
Gambar 7: Grafik energi terhadap suhu pada antiferromagnet,  $B = 0,5$ .

3. Untuk  $B = 1$ .



Gambar 8: Grafik energi terhadap suhu pada antiferromagnet,  $B = 1$ .

4. Untuk  $B = 2$ .



Gambar 9: Grafik energi terhadap suhu pada antiferromagnet,  $B = 2$ .

Hasil tersebut memperlihatkan beberapa keadaan yang kemudian dapat disimpulkan keterkaitan antara grafik magnetisasi dan energi dengan pengaruh  $B$  dan suhu, yaitu pada suhu kritis yang sama, magnetisasi dan energi menunjukkan perubahan fasenya. Pada grafik magnetisasi, nilai magnetisasinya maksimum, dengan bertambahnya suhu mengalami penurunan yang drastis kemudian hilang, sedangkan pada grafik energi, mengalami perubahan yang drastis dengan semakin besar kemudian konstan. Hal tersebut menunjukkan bahan pada penelitian ini telah mengalami perubahan fase dari antiferromagnet ke paramagnet, karena setelah melewati suhu kritis nilai magnetisasi bahan paramagnet adalah 0 dan energi menunjukkan nilai konstan.  $B$  juga mempengaruhi proses terjadinya perubahan fase, semakin besar  $B$  yang diberikan, proses perubahan fase semakin lambat.

#### IV. KESIMPULAN

1. Dengan bertambahnya suhu, nilai magnetisasi mengalami penurunan yang drastis, kemudian setelah melewati suhu kritis, nilai magnetisasi hilang karena bahan berubah menjadi paramagnet.
2. Dengan bertambahnya suhu, nilai energi mengalami kenaikan dengan perubahan yang drastis kemudian setelah melewati suhu kritis, energi konstan karena bahan telah berubah menjadi paramagnet.
3. Semakin besar medan magnet luar yang diberikan, proses terjadinya perubahan fase semakin lambat dan memberikan tambahan energi pada suhu awal sebesar  $-B$ .

## **Referensi**

- [1] Billoire, et al. 1993. *Critical Behavior of the Antiferromagnetic Heisenberg Model On a Stacked Triangular Lattice.* Los Alamos National Laboratory.
- [2] Fricke, Tobin. 2006. *Monte Carlo investigation of the Ising model.*
- [3] Gould, H., Tobochnik, J., Christian, W. 2007. *An Introduction To Computer Simulation methods Applications to Physical Systems Third Edition.* USA : Pearson Addison Wesley.
- [4] Krauth, Werner. (1998). *Introduction To Monte Carlo Algorithms.* France : Paris Cedex 05.
- [5] Larrimore, lisa. (2002). *Monte Carlo Simulation of the 2D Ising Model.* Physics 114 Final Project.
- [6] Trohidou, K., & Vasilakaki, M. *Monte Carlo Studies of Magnetic Nanoparticles.* Athens : National Center of Scientific Research.
- [7] Tsurkan, et al. 2006. *Experimental evidence for competition between antiferromagnetic and ferromagnetic correlations in HgCr<sub>2</sub>S<sub>4</sub>.* Germany : University of Augsburg.
- [8] Wessel, Stefan. 2010. *Critical Entropy of Quantum Heisenberg Magnets on Simple-Cubic Lattices.* Stuttgart, Germany : Universitat Stuttgart.