

# Kajian Sistem Terfrustasi pada Bahan Antiferromagnet dengan Model Ising 2D

R. N. Safitri, A. R. U. Fadlilah, D. Darmawan, R. Y. A. Sari  
Lab. Fisika Komputasi, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta  
email: rikanoor@gmail.com

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menyimulasikan energi dasar dan magnetisasi bahan antiferromagnet dengan pengaruh suhu dan nilai kompetisi interaksi. Kompetisi interaksi terjadi antara tetangga terdekat dengan tetangga terdekat berikutnya. Penyelesaian kasus antiferromagnet berikut menggunakan model Ising 2 dimensi dengan metode Monte Carlo. Hasil penelitian menunjukkan bahwa energi dasar mengalami peningkatan secara signifikan pada suhu kritis (suhu Neel). Semakin besar kompetisi interaksi, energi dasar pada suhu awal mengalami penurunan. Berdasarkan nilai magnetisasi, bahan antiferromagnet yang terfrustasi mengalami perubahan fase menjadi paramagnet ketika suhunya dinaikkan. Dengan memperbesar kompetisi interaksi, perubahan fase terjadi pada suhu Neel yang lebih tinggi.

## 1. Pendahuluan

Sistem mengalami frustasi ketika terjadi persaingan antar spin untuk menghasilkan interaksi dengan energi terendah. Biasanya, frustasi geometri mengarah pada terbentuknya bermacam-macam keadaan dasar [1]. Pada geometri tertentu memiliki jarak antar spin bervariasi maka pada bahan tersebut memiliki nilai  $J$  (konstanta tukar) yang berbeda pula, sehingga menimbulkan kompetisi interaksi pada spin-spinnya. Umumnya, kompetisi interaksi terjadi pada bahan antiferromagnet [2]. Kekisi yang terfrustasi paling sederhana terjadi pada kekisi segitiga dan persegi. Karena energi pada sistem bergantung pada keteraturan level mikroskopis, frustasi dapat mengakibatkan ketidakteraturan yang mengarah pada *spin glass* [3]. Pengaruh

suhu pada bahan antiferromagnet dengan dimensi yang semakin tinggi, magnetisasi akan berada pada nilai 0 untuk dimensi 2 dan 4 [4]. Kajian bahan antiferromagnet yang terfrustasi dengan pengaruh suhu banyak menggunakan model Ising karena ketika bahan dipanaskan maka spin akan saling terbalik sehingga tinjauan model Ising akan lebih menguntungkan [3]-[6].

Semakin tinggi suhu, spin semakin tidak teratur sehingga terjadi perubahan fase dari antiferromagnet menjadi paramagnet [3]-[4]. Pada pengamatan bahan  $\text{CuCrO}_2$  dengan pengaruh medan magnet luar, karena perubahan sudut spin, fluktuasi kuantum menggeser batas antara fase koliner dan nonkoliner dan membuka gap antar dua fase nonkoliner [5].

## 2. Metode

Penggunaan model Ising pada awalnya diterapkan Ising untuk menyelesaikan kasus ferromagnet 1 dimensi, namun tidak dapat menunjukkan terjadinya perubahan fase pada bahan [7]. Ilmuwan lain, Onsager, mencoba mengembangkan model tersebut pada dimensi yang lebih tinggi dan ternyata menunjukkan adanya perubahan fase. Dalam kajian yang menggunakan model Ising, spin hanya dipandang memiliki keadaan *up* dan *down*. Untuk kasus antiferromagnet yang terfrustasi, persamaan Hamiltonian dari sistem dinyatakan sebagai:

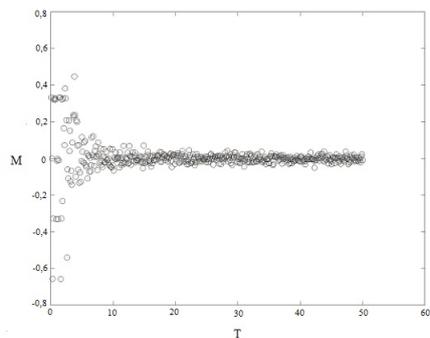
$$E = -J_1 \sum_{ij} \sigma_i \sigma_j - J_2 \sum_{kl} \sigma_k \sigma_l \quad (1)$$

Secara simulasi, kasus antiferromagnet terfrustasi yang dikaji dengan model Ising, dapat diselesaikan dengan menggunakan metode Monte Carlo yang melibatkan algoritma Metropolis. Langkah pertama adalah memilih spin secara acak diantara  $N$  titik kekisi kemudian spin tersebut dibalik. Kemudian menghitung energi yang baru. Jika energi yang baru lebih rendah daripada sebelumnya maka pembalikan diterima, jika sebaliknya maka perlu diperhitungkan penerimaan berdasarkan probabilitas. Jika bilangan random yang diperoleh lebih kecil daripada faktor Boltzman yang diperoleh dari selisih energinya, maka keadaan yang baru juga diterima. Jika tidak, maka keadaan yang baru ditolak dan digunakan keadaan yang lama [8].

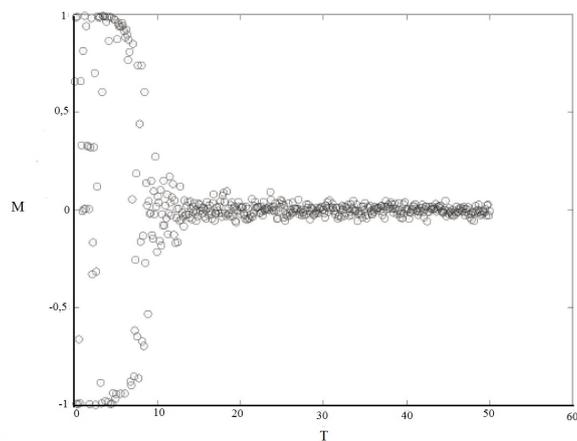
Simulasi dikerjakan pada kekisi segitiga dengan titik kekisi  $6 \times 6$  dan dengan menerapkan syarat batas. Simulasi dilakukan dengan memvariasi suhu dan rasio kompetisi interaksi sebesar 0; 0,3; 0,5; 1; dan 2.

### 3. Hasil dan Pembahasan

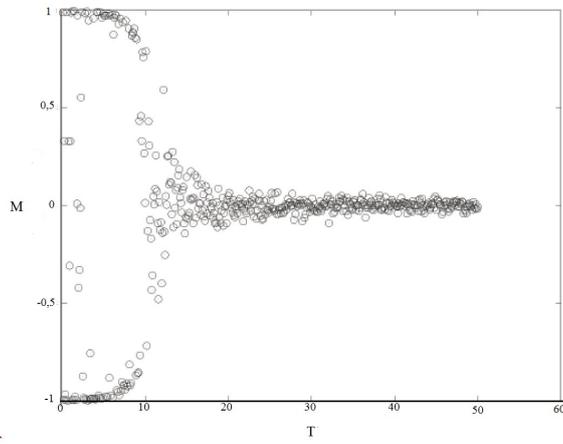
Hasil simulasi pada kekisi segitiga dengan titik kekisi  $6 \times 6$  adalah:



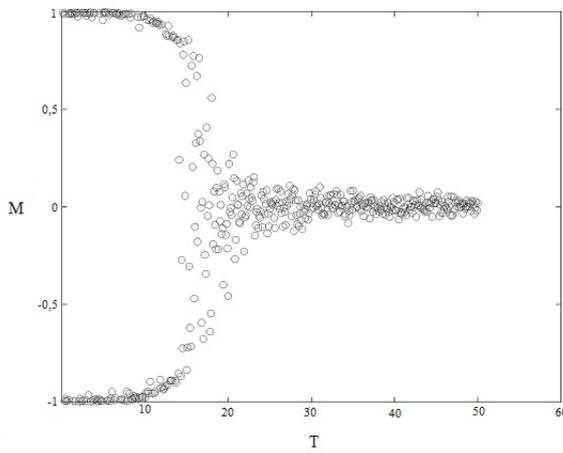
Gambar 1: Grafik Magnetisasi Terhadap Suhu untuk  $J_2 = 0$



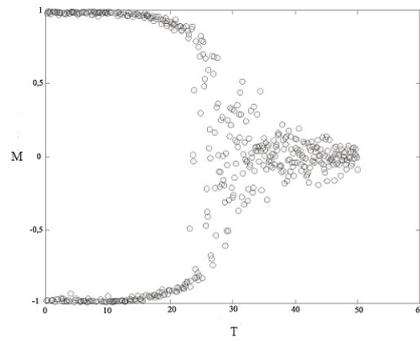
Gambar 2: Grafik Magnetisasi Terhadap Suhu untuk  $J_2/J_1 = 0,3$



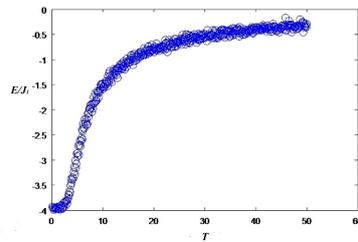
Gambar 3: Grafik Magnetisasi Terhadap Suhu untuk  $J_2/J_1 = 0,5$



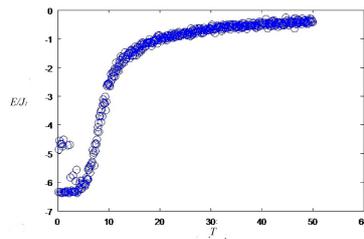
Gambar 4: Grafik Magnetisasi Terhadap Suhu untuk  $J_2/J_1 = 1$



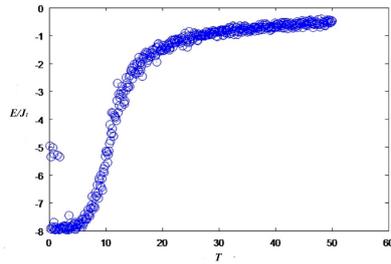
Gambar 5: Grafik Magnetisasi Terhadap Suhu untuk  $J_2/J_1 = 2$



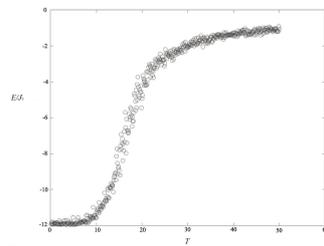
Gambar 6: Grafik Energi Terhadap Suhu untuk  $J_2 = 0$



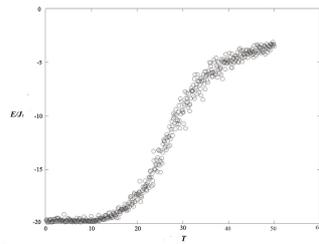
Gambar 7: Grafik Energi Terhadap Suhu untuk  $J_2/J_1 = 0,3$



Gambar 8: Grafik Energi Terhadap Suhu untuk  $J_2/J_1 = 0,5$



Gambar 9: Grafik Energi Terhadap Suhu untuk  $J_2/J_1 = 1$



Gambar 10: Grafik Energi Terhadap Suhu untuk  $J_2/J_1 = 2$

Berdasarkan grafik magnetisasi, dapat dilihat bahwa akibat pengaruh suhu yang diberikan, tidak terjadi perubahan nilai magnetisasi pada bahan (Gambar 1–5). Dari grafik energi Gambar 6–10 diperoleh bahwa energi

awalnya tetap namun setelah melewati suhu kritis (suhu Neel), energi meningkat secara drastis. Hal ini disebabkan karena spin banyak yang terbalik sehingga ketika berinteraksi menghasilkan nilai energi yang semakin besar. Berdasarkan kondisi spin yang tidak teratur maka dapat dinyatakan bahwa bahan antiferromagnet ketika dipanaskan akan berubah fase menjadi paramagnet. Dengan memvariasi rasio kompetisi interaksi, semakin besar rasio kompetisi interaksi maka perubahan fase terjadi pada suhu kritis yang lebih tinggi. Kompetisi interaksi seolah-olah seperti pengikat keteraturan sistem, semakin besar nilai kompetisi interaksi maka pengikat keteraturan semakin besar, sehingga diperlukan energi yang lebih besar untuk merusak sistem.

## 5. Kesimpulan

Energi tingkat dasar (*ground state*) kekisi antiferromagnet terfrustasi berubah sebagai fungsi suhu. Saat terjadi peningkatan energi secara drastis maka sistem tersebut mengalami perubahan fase dari antiferromagnet menjadi paramagnet. Semakin besar nilai kompetisi interaksi, energi sistem pada suhu awal menjadi semakin kecil namun perubahan fase terjadi pada suhu yang lebih tinggi.

## Pustaka

- [1] Moessner, Roderich dan Ramirez, Arthur O. (2006). Geometrical Frustration. *American Institute of Physics*, S-0031-9228-0602-010-2. Hlm. 24-29
- [2] Diep, H. T. & Giacomini, H., Diep, H. T. (eds). (2004). *Frustrated Spin System*. USA: Worlds Scientific Publishing Co. Pte. Ltd
- [3] Takengny, et.al. (2012). Frustration in 2D-Antiferromagnet Triangular Ising Spin Lattice: A Monte Carlo Study. *The African Review of Physics*, 7: 0006. Hlm. 37-44
- [4] Olivi, N. dan Tran. (2009). Numerical Study of The Antiferromagnetic Ising Model in Hyperdimension. *Adv. Studies Theor. Phys.* Vol. 3, No. 12. Hlm 481-488
- [5] Randy S. F. (2011). Quantum Spin Fluctuations and Ellipticity for a Triangular-Lattice Antiferromagnet. *Physical review*. 1098-0121/2011/84(5)/052405(4). Hlm. 1

- [6] Xian Z. W. & Jai S. K. The Critical Line of an Ising Antiferromagnet on Square and Honeycomb Lattices. (1997). *Physical Review Letters*. [S0031-9007(96)02173-4]. Hlm. 413
- [7] E. Ising
- [8] Gould, H., Tobochnik, J., dan Christian, W. (2006). *An Introduction to Computer Simulation Methods : Application to Physical System*. 3rd. San Fransisco: Addison Wesley