

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Material magnetik mempunyai peranan penting dalam berbagai kehidupan seperti pada sensor medan magnet, perangkat elektronik, hingga sistem pembangkit energi. Sifat magnetik suatu material bergantung pada interaksi antar spin atom penyusun. Ketika suhu meningkat, orientasi spin yang semula teratur dapat berubah menjadi acak sehingga material kehilangan sifat magnetiknya. Perubahan dari keadaan teratur (*feromagnetik*) menjadi acak (*paramagnetik*) inilah yang dikenal sebagai transisi fasa magnetik (Kumar, 2020). Fenomena ini penting dipelajari karena dapat menjelaskan bagaimana suhu memengaruhi perilaku magnetik suatu bahan serta menjadi dasar dalam pengembangan teknologi.

Dalam memahami fenomena tersebut, salah satu pendekatan teoritis yang banyak digunakan adalah model Ising dua dimensi (2D). Model ini menggambarkan sistem magnetik dalam bentuk kisi dua dimensi yang terdiri atas spin-spin dengan dua kemungkinan oriesntasi yaitu keatas (+1) dan kebawah (-1). Interaksi antar spin diatur oleh konstanta pertukaran energi J yang menentukan apakah sistem bersifat feromaegnetik atau paramagnetik. Model Ising dapat menjelaskan perubahan sifat magnetik akibat interaksi antar spin serta pengaruh suhu terhadap kestabilan sistem (Onsager, 1944). Namun penyelesaian analitik model Ising menjadi sangat terbatas jika diterapkan pada sistem kompleks, misalnya pada struktur kisi tak beraturan dimana posisi spin dan hubungan antar tetangga tidak seragam. Ketidakteraturan struktur ini dapat menyebabkan pergeseran suhu kritis dan mengubah karakteristik transisi fasa dibandingkan dengan sistem pada kisi teratur. Beberapa penelitian numerik juga menunjukkan bahwa struktur tak beraturan dapat mengubah perilaku eksponen kritis dan memperlebar wilayah trasnsisi fasa sehingga sistem memerlukan waktu lebih lama untuk mencapai kestabilan (Landau, 2021).

Untuk menganalisis sistem magnetik yang kompleks seperti model Ising dua dimensi, penelitian ini menggunakan pendekatan komputasi berbasis metode Monte

Carlo. Metode ini merupakan teknik statistik yang memanfaatkan proses acak untuk memperkirakan perilaku sistem fisis melalui pengambilan sampel dari berbagai konfigurasi spin. Salah satu algoritma yang paling umum digunakan adalah algoritma Metropolis, yang menentukan apakah suatu perubahan konfigurasi spin diterima atau ditolak berdasarkan probabilitas Boltzmann sehingga sistem dapat berevolusi menuju keadaan kesetimbangan termal (Liu, 2020). Perubahan magnetisasi terhadap suhu berkaitan dengan fenomena transisi fasa yaitu peralihan dari fasa feromagnetik ke fasa paramagnetik yang terjadi pada suhu kritis dimana magnetisasi sistem menurun secara signifikan dan mendekati nol. Untuk model Ising dua dimensi suhu kritis teoritis berada di sekitar 2.269, oleh karena itu rentang suhu 1.5 hingga 3.5 dipilih karena mencakup fasa feromagnetik, daerah transisi fasa di sekitar suhu kritis, serta fasa paramagnetik, sehingga memungkinkan penentuan suhu optimum dimana perubahan magnetisasi dan fluktuasi sistem paling jelas diamati. Algoritma Metropolis lebih stabil dan efisien secara komputasi sehingga mampu memberikan hasil simulasi yang akurat pada suhu tersebut. Algoritma tersebut dipilih dibandingkan algoritma wolff, atau swendsen-wang karena lebih mudah diimplementasikan pada kisi teratur maupun tak teratur, serta lebih sesuai untuk analisis dasar transisi fasa dan perbandingan kestabilan hasil simulasi pada jumlah iterasi terbatas (Demir Vatansever, 2024).

Selain untuk mempelajari transisi fasa, simulasi Monte Carlo pada model Ising juga banyak digunakan dalam penelitian material magnetik modern. Simulasi ini berperan dalam memahami perilaku spin yang menjadi dasar pengembangan teknologi spintronik, media penyimpanan magnetik (*magnetic storage*), dan *quantum materials*. Oleh karena itu, penelitian mengenai transisi fasa tidak hanya penting dari sisi teori tetapi juga mendukung pengembangan material dan perangkat berbasis magnetik (Binder, 2021). Sejumlah penelitian terdahulu telah menunjukkan efektivitas metode Monte Carlo dan Algoritma Metropolis dalam mengkaji model Ising. Penelitian oleh (Demir Vatansever, 2024) menggunakan metode Monte Carlo untuk mempelajari *kinetic Ising model* dengan medan magnet tidak simetris. Penelitian tersebut menggunakan jenis Algoritma Monte Carlo dengan prinsip yang serupa dengan

algoritma Metropolis, dimana proses pembaruan spin dilakukan secara acak berbasis probabilitas energi. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem tetap mengalami transisi fasa dinamis meskipun dipengaruhi medan magnet eksternal yang kompleks. Hasil penelitian tersebut secara umum telah memenuhi tujuan kajian transisi fasa pada model Ising, tetapi belum membahas aspek perbandingan struktur kisi serta pengaruh jumlah iterasi simulasi sebagaimana difokuskan dalam penelitian ini (Demir Vatansever, 2024).

Berdasarkan celah penelitian yang telah dilakukan, penelitian ini menggunakan metode Monte Carlo berbasis algoritma Metropolis untuk menganalisis transisi fasa pada model Ising 2D, khususnya dengan membandingkan perilaku magnetisasi pada kisi teratur dan tak teratur serta melihat pengaruh variasi jumlah iterasi terhadap kestabilan simulasi. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi peneliti lain dalam kajian numerik model Ising dua dimensi berbasis metode Monte Carlo.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana perbedaan perilaku magnetisasi sistem Ising dua dimensi antara kisi teratur (*regular lattice*) dan kisi tak teratur (*unregular lattice*)?
2. Bagaimana pengaruh jumlah iterasi simulasi (10.000 dan 20.000) terhadap kestabilan hasil magnetisasi dan energi sistem Ising 2D?
3. Berapa suhu optimum yang menunjukkan terjadinya transisi fasa dari fase feromagnetik ke fase paramagnetik pada sistem Ising 2D?

1.3 Tujuan

1. Menganalisis perilaku magnetisasi sistem Ising 2D pada kisi teratur dan kisi tak teratur menggunakan metode Monte Carlo berbasis algoritma Metropolis
2. Mengetahui pengaruh jumlah iterasi (10.000 dan 20.000) terhadap kestabilan hasil simulasi sistem Ising dua dimensi
3. Menentukan suhu kritis (titik transisi fasa) yang menunjukkan perubahan fase feromagnetik menjadi paramagnetik pada masing-masing jenis kisi

1.4 Manfaat

1. Memberikan pemahaman tentang pengaruh struktur kisi terhadap sifat magnetik dan perilaku transisi fasa pada sistem Ising dua dimensi
2. Menunjukkan pentingnya jumlah iterasi simulasi dalam menentukan kestabilan hasil perhitungan metode Monte Carlo

1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian ini menggunakan metode Monte Carlo dengan algoritma Metropolis sebagai pendekatan simulasi, dengan jumlah iterasi yang dibatasi pada 10.000 dan 20.000 karena keterbatasan *device*.

1.6 Hipotesis

1. Semakin teratur struktur kisi yang digunakan maka semakin stabil nilai magnetisasi sistem ising 2D dibandingkan dengan kisi tak teratur.
2. Semakin banyak jumlah iterasi simulasi yang dilakukan, maka semakin stabil dan mendekati keadaan tunak nilai magnetisasi dan energi yang dihasilkan.
3. Semakin mendekati suhu kritis maka magnetisasi sistem akan semakin menurun hingga akhirnya mencapai nilai mendekati nol saat transisi dari fase feromagnetik ke paramagnetik terjadi.