

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi kuantum telah menjadi salah satu fokus utama dalam riset dan pengembangan di berbagai negara. Negara-negara maju seperti Amerika Serikat, Cina, dan negara-negara Eropa terus berinvestasi dalam pengembangan teknologi kuantum (Acín, 2018). Berbagai institusi penelitian dan perusahaan teknologi global bersaing untuk memanfaatkan potensi teknologi ini, termasuk dalam pengembangan komputer kuantum. Komputer kuantum dianggap sebagai salah satu pencapaian teknologi paling revolusioner di abad ini, dengan potensi untuk menyelesaikan masalah-masalah yang sulit atau bahkan tidak dapat dipecahkan oleh komputer klasik (Aaronson, 2008). Komputer kuantum menawarkan manfaat yang sangat besar dan luas di berbagai bidang (Rasool, 2023), termasuk kriptografi, optimalisasi reaksi kimia, kesehatan, kecerdasan buatan, simulasi molekuler yang kompleks (Kassal, 2011), dan masih banyak lagi. Salah satu manfaat komputer kuantum yang akan saya bahas pada penelitian ini adalah di bidang simulasi molekuler.

Dalam bidang ini, simulasi molekuler memiliki peran penting, misalnya untuk memahami reaksi kimia, merancang obat-obatan, atau mengembangkan material baru (Vivo, 2016). Pada simulasi molekuler memerlukan penggunaan daya komputasi yang besar, bahkan melebihi kemampuan komputer klasik (Valiev, 2010). komputer kuantum mampu mengatasi hambatan ini dengan menggunakan prinsip-prinsip mekanika kuantum seperti *entanglement* dan superposisi (Rietsche, 2022), yang memungkinkan pengolahan informasi secara eksponensial lebih cepat dibandingkan komputer klasik (Aaronson, 2008). Salah satu algoritma kuantum di bidang simulasi molekuler adalah *Variational Quantum Eigensolver* (VQE), yang digunakan untuk menghitung energi keadaan dasar molekul secara efisien menggunakan pendekatan hibrid kuantum-klasik (Cerezo, 2022). Namun, komputer kuantum saat ini masih dalam era *Noisy Intermediate-Scale Quantum* (NISQ), di mana keberadaan *noise* menjadi tantangan utama karena mengurangi akurasi hasil komputasi

(Preskill, 1998). Dua jenis *noise* yang paling sering terjadi adalah *depolarizing channel noise* dan *amplitude damping noise*, yang dapat menyebabkan hilangnya informasi pada sistem kuantum dan kesalahan dalam estimasi energi molekul (Yashodamma, 2014).

Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan teknik mitigasi *error* atau *quantum error mitigation*. Teknik ini bertujuan untuk mengurangi dampak *noise* dalam sistem kuantum tanpa memerlukan perangkat keras tambahan yang signifikan. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah *Zero Noise Extrapolation* (ZNE), yang memungkinkan hasil simulasi mendekati keadaan ideal meskipun terdapat *noise* (Giurgica-Tiron, 2020). Metode ini bekerja dengan mensimulasikan sistem pada tingkat *noise* yang lebih tinggi, lalu melakukan ekstrapolasi ke kondisi ideal tanpa *noise* (Patil, 2023). Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada analisis efektivitas metode mitigasi *noise* dalam simulasi kuantum, khususnya dalam penerapan algoritma VQE untuk menghitung *ground state energy* molekul. Dua jenis *noise* utama yang sering terjadi pada komputer kuantum, yaitu *depolarizing channel noise* dan *amplitude damping noise*, memiliki karakteristik berbeda yang memengaruhi akurasi perhitungan. Dengan mengkaji efektivitas berbagai teknik ekstrapolasi pada intensitas *noise* yang berbeda, penelitian ini bertujuan untuk menentukan metode mitigasi yang paling optimal guna memperoleh hasil perhitungan yang mendekati nilai referensi, yaitu energi FCI untuk molekul Hidrogen Fluorida sebesar -98,600168414463 Hartree.

Penelitian yang dilakukan oleh Urbanek et al. (2021) membandingkan berbagai teknik mitigasi error pada simulasi kimia kuantum, termasuk ZNE, PEC, dan *Symmetry Verification*, namun tidak membahas secara rinci perbedaan performa ZNE berdasarkan jenis dan tingkat *noise*, maupun perbandingan antara *linear regression* dan Richardson. Penelitian saya mengisi celah ini dengan mengklasifikasikan tingkat *noise* (rendah, sedang, tinggi), menganalisis efektivitas ZNE (*linear vs Richardson*) untuk tiap jenis *noise* (*depolarizing* dan *amplitude damping*), serta memberikan rekomendasi berbasis data mengenai kapan masing-masing metode ZNE lebih optimal. Selain itu, penelitian ini secara khusus mengaitkan hasil mitigasi dengan perhitungan energi dalam VQE, sehingga lebih aplikatif bagi simulasi kimia

kuantum pada perangkat NISQ.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini terdapat batasan rumusan masalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh *noise depolarizing* dan *amplitude damping* terhadap akurasi perhitungan energi keadaan dasar molekul Hidrogen Fluorida menggunakan algoritma *Variational Quantum Eigensolver* (VQE) pada komputer kuantum di era NISQ?
- b. Bagaimana penerapan teknik mitigasi *error* (*Zero Noise Extrapolation*) untuk meningkatkan akurasi hasil perhitungan energi keadaan dasar molekul Hidrogen Fluorida menggunakan algoritma *Variational Quantum Eigensolver* (VQE) pada komputer kuantum di era NISQ?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan sebagai berikut:

- a. Untuk mengetahui pengaruh *noise* (*depolarizing* dan *amplitude damping*) terhadap perhitungan energi keadaan dasar molekul Hidrogen Fluorida menggunakan algoritma kuantum VQE.
- b. Untuk mengetahui efektivitas teknik mitigasi *error* (*zero-noise extrapolation*) dalam meningkatkan akurasi perhitungan energi keadaan dasar molekul HF yang terpengaruh oleh *noise depolarizing* dan *amplitude damping* pada algoritma VQE.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Teoretis

Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya literatur mengenai algoritma kuantum, khususnya *Variational Quantum Eigensolver* (VQE), dengan menambahkan analisis teoretis tentang pengaruh *noise* pada hasil perhitungan kuantum. Hal ini akan memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang bagaimana algoritma kuantum dapat digunakan untuk sistem dengan *noise*, serta bagaimana performanya dapat ditingkatkan. Dengan mengkaji pengaruh *noise* terhadap algoritma VQE dan menggunakan ZNE sebagai teknik mitigasi, penelitian ini dapat memberikan pemahaman

yang lebih dalam tentang bagaimana *noise* memengaruhi hasil komputasi kuantum dan seberapa jauh *noise* dapat dikelola untuk mencapai hasil komputasi yang lebih akurat.

1.4.2 Manfaat Praktis

Penelitian ini dapat memberikan solusi praktis untuk meningkatkan akurasi hasil perhitungan pada komputer kuantum yang masih mengalami *noise*, seperti yang ada pada era NISQ. Algoritma VQE yang diperbaiki dengan teknik ZNE dapat digunakan untuk mempercepat simulasi kuantum dalam bidang sains, seperti perhitungan energi dasar molekul yang sangat penting untuk desain obat atau penemuan material baru. Peningkatan akurasi perhitungan kuantum ini akan berdampak langsung pada efisiensi dan kualitas hasil penelitian di bidang kimia dan fisika.

