



**UNIVERSITAS PERTAHANAN RI**

**IMPLEMENTASI *ZERO NOISE EXTRAPOLATION* PADA ALGORITMA  
*VARIATIONAL QUANTUM EIGENSOLVER* UNTUK MITIGASI *ERROR*  
DALAM SIMULASI KOMPUTER KUANTUM**

**SALWA AQILAH AZZAHRA 320210304022**

**Skripsi yang Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam  
Mendapatkan Gelar Sarjana**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM MILITER  
PROGRAM STUDI FISIKA**

**BOGOR, 2025**

## LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

Nama : Salwa Aqilah Azzahra  
NIM : 320210304022  
Program Studi : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer  
Judul Skripsi : Implementasi *Zero Noise Extrapolation* Pada  
Algoritma *Variational Quantum Eigensolver* untuk  
Mitigasi *Error* dalam Simulasi Komputer Kuantum

Dosen Pembimbing I,



Khazali Fahmi, S.Pd., M.Si.  
NIP. 199208142022031002  
Tanggal: 8/7/2025

Dosen Pembimbing II,



Gagus Ketut Sunnardianto, Ph.D.  
NIP. 198611052019021002  
Tanggal: 7/7/2025

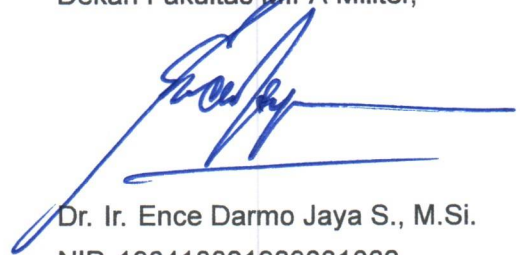
Mengetahui,

Ketua Program Studi Fisika,



M. Zuhni P., S.Si., M.Eng.  
Kolonel Tek. NRP. 522657  
Tanggal: 4/8/2025

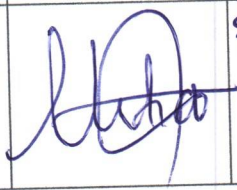
Dekan Fakultas MIPA Militer,



Dr. Ir. Ence Darmo Jaya S., M.Si.  
NIP. 196410021989031002  
Tanggal: 11/8/2025

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Nama : Salwa Aqilah Azzahra  
 NIM : 320210304022  
 Program Studi : Fisika  
 Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer  
 Judul Skripsi : Implementasi *Zero Noise Extrapolation* Pada  
 Algoritma *Variational Quantum Eigensolver* untuk  
 Mitigasi *Error* dalam Simulasi Komputer Kuantum

| No | Nama                                                                                   | Tanda Tangan                                                                         | Tanggal  |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1. | Dosen Pembimbing 1 :<br>Khazali Fahmi, S.Pd., M.Si.<br>NIP. 199208142022031002         |   | 8/7/2025 |
| 2. | Dosen Pembimbing 2 :<br>Gagus Ketut Sunnardianto, Ph.D.<br>NIP. 198611052019021002     |  | 7/7/2025 |
| 3. | Dosen Penguji 1 :<br>Nur Asriyani, S.Si., M.Si.<br>NUPTK. 1144775676230153             |  | 8/7/2025 |
| 4. | Dosen Penguji 2 :<br>Dr. Mutia Meireni, S.ST., M.Sc., M.Si.<br>NIP. 198905242022032003 |  | 9/7/2025 |

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya atau bagian karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan jenjang apapun di suatu Perguruan Tinggi; dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat istilah, frasa, kalimat, paragraf, subbab atau bab dari karya yang pernah ditulis atau diterbitkan; kecuali yang secara tertulis diajukan dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Referensi.

Apabila di kemudian hari terbukti bahwa terdapat plagiat dalam skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang terdapat pada peraturan/undang-undang yang berlaku.

Bogor, 25 Juli 2025



Salwa Aqilah Azzahra

## LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Salwa Aqilah Azzahra  
NIM : 320210304022  
Program Studi : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pertahanan Republik Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalti-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Implementasi *Zero Noise Extrapolation* pada Algoritma *Variational Quantum Eigensolver* untuk Mitigasi *Error* dalam Simulasi Komputer Kuantum**

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pertahanan Republik Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Bogor  
Pada tanggal : 6 Agustus 2025

Yang menyatakan,



**Salwa Aqilah Azzahra**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur peneliti panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulisan skripsi dengan judul: “Implementasi *Zero Noise Extrapolation* pada Algoritma *Variational Quantum Eigensolver* untuk Mitigasi *Error* dalam Simulasi Komputer Kuantum” dapat diselesaikan. Penyusunan skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer, Universitas Pertahanan RI. Penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, pada kesempatan ini Kadet Mahasiswa mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kesempatan dan kesehatan kepada penulis untuk pelaksanaan dan penyelesaian penelitian, serta penyelesaian naskah skripsi dengan lancar
2. Jenderal TNI (Purn.) Prabowo Subianto selaku Presiden Republik Indonesia dan salah satu pemrakarsa berdirinya Program S1 Universitas Pertahanan RI
3. Kolonel (Tek) M. Zuhair P., S.Si., M.Eng. selaku Kepala Prodi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer, Universitas Pertahanan RI
4. Bapak Khazali Fahmi, S.Pd., M.Si. selaku dosen pembimbing internal yang telah mengarahkan dan membimbing penulis dalam penulisan naskah skripsi ini
5. Bapak Agus K. Sunnardianto, Ph.D., sebagai dosen pembimbing kedua sekaligus mentor penelitian yang selalu memberikan ilmu, wawasan, dan bimbingan dalam menyelesaikan penelitian ini mulai dari awal penelitian hingga penelitian selesai, sehingga naskah skripsi ini dapat tersusun dengan baik
6. Kedua orang tua penulis (Bapak Sugeng Supriyanto dan Ibu Anik Yuli Mardiani) serta keluarga besar yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan dalam penyelesaian skripsi
7. Rekan-rekan dan keluarga asuh penulis (Keluarga asuh Kirchoff dan Ekalawya) yang telah mendukung dalam penulisan skripsi.

8. Terima kasih kepada Pemerintah Indonesia dan seluruh rakyat Indonesia yang dengan sukarela membayarkan pajaknya serta sudah membiayai dan mendukung saya dalam mengikuti pendidikan, sebuah kebanggaan dan sebuah beban tanggung jawab yang saya pegang saat ini untuk memastikan bahwa dana yang sudah dialokasikan oleh negara untuk membiayai saya kuliah itu tidak akan sia-sia
9. Seorang pria yang telah tertulis di dalam *lauhul mahfudz*, yang selalu penulis ucapkan dalam doa di 1/3 malam terakhir. Tanpa disadari, kamu menjadi salah satu sumber semangat penulis untuk terus memantaskan diri, meningkatkan *value*, berjuang, berikhtiar, pantang menyerah, selalu menjadi versi terbaik dari sebelumnya, serta tetap teguh mempertahankan prinsip "Menjauh untuk Menjaga" dan "yang Menjaga Hanya untuk yang Terjaga". Manusia punya cinta, tapi Allah punya aturan. Semoga kita bertemu di versi terbaik kita masing-masing
10. Dan terakhir, untuk diri saya sendiri. Terima kasih sudah menepikan ego, memilih untuk bangkit dan memutuskan untuk tidak menyerah dalam melalui banyak hal untuk sampai di titik ini.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan-kebaikan berbagai pihak atas bantuannya.

Saya menyadari bahwa skripsi ini masih kurang sempurna, oleh karena itu dengan kerendahan hati mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif demi kesempurnaan skripsi ini.

Akhirnya, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan bermanfaat bagi pemangku kepentingan dalam upaya pengembangan teknologi kuantum di Indonesia dan dunia.

Bogor, Juli 2025  
Salwa Aqilah Azzahra

## ABSTRAK

### IMPLEMENTASI ZERO NOISE EXTRAPOLATION PADA ALGORITMA VARIATIONAL QUANTUM EIGENSOLVER UNTUK MITIGASI ERROR DALAM SIMULASI KOMPUTER KUANTUM

Perkembangan teknologi kuantum khususnya komputer kuantum membuka peluang baru dalam bidang simulasi molekuler, terutama dalam menghitung energi keadaan dasar molekul secara efisien. Namun, tantangan utama di era NISQ (*Noisy Intermediate Scale Quantum*) adalah keberadaan *noise* yang dapat menurunkan akurasi perhitungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh dua jenis *noise* yang sering terjadi, yaitu *Depolarizing Channel Noise* dan *Amplitude Damping Noise* terhadap hasil perhitungan energi keadaan dasar molekul Hidrogen Fluorida (HF) menggunakan algoritma *Variational Quantum Eigensolver* (VQE), serta mengevaluasi efektivitas metode mitigasi *noise* yaitu *Zero Noise Extrapolation* (ZNE) dalam meningkatkan akurasi hasil simulasi. Simulasi dilakukan dengan PennyLane, memodelkan *noise* pada tiga tingkat (rendah, sedang, tinggi), dan menguji dua metode ZNE: *Linear Regression* dan *Richardson Extrapolation*. Hasil menunjukkan *Linear Regression* lebih efektif untuk *noise* rendah, sementara *Richardson Extrapolation* lebih unggul untuk *noise* sedang hingga tinggi, terutama pada *amplitude damping noise* yang bersifat non-linear. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa ZNE secara signifikan meningkatkan akurasi hasil simulasi, dengan performa optimal bergantung pada jenis dan intensitas *noise*. Temuan ini berkontribusi pada pemahaman teknik mitigasi *noise* di era NISQ dan mendukung akurasi simulasi molekuler kuantum yang lebih tinggi tanpa perlu perangkat keras tambahan.

**Kata Kunci:** VQE, *Ground State Energy*, FCI, *Noise*, ZNE

## **ABSTRACT**

### **IMPLEMENTATION OF ZERO NOISE EXTRAPOLATION IN THE VARIATIONAL QUANTUM EIGENSOLVER ALGORITHM FOR ERROR MITIGATION IN QUANTUM COMPUTER SIMULATION**

*The development of quantum technology, especially quantum computers, opens up new opportunities in the field of molecular simulation, especially in calculating the ground state energy of molecules efficiently. However, the main challenge in the NISQ (Noisy Intermediate Scale Quantum) era is the the presence of noise that can degrade calculation accuracy. This study aims to analyze the effect of two types of noise that often occur, namely Depolarizing Channel Noise and Amplitude Damping Noise on the calculation results of the ground state energy of Hydrogen Fluoride (HF) molecules using the Variational Quantum Eigensolver (VQE) algorithm, and evaluate the effectiveness of the Zero Noise Extrapolation (ZNE) noise mitigation method in improving the accuracy of simulation results. Simulations were performed with PennyLane, modeling noise at three levels (low, medium, high), and testing two ZNE methods: Linear Regression and Richardson Extrapolation. Results show Linear Regression is more effective for low noise, while Richardson is superior for medium to high noise, especially in non-linear noise amplitude damping. This research also shows that ZNE significantly improves the accuracy of simulation results, with optimal performance depending on the type and intensity of noise. These findings contribute to the understanding of noise mitigation techniques in the NISQ era and support higher accuracy quantum molecular simulations without the need for additional hardware.*

**Keywords:** VQE, Ground State Energy, FCI, Noise, ZNE

## DAFTAR ISI

|                                                                   |      |
|-------------------------------------------------------------------|------|
| SAMPUL DEPAN.....                                                 | i    |
| LEMBAR PERSETUJUAN SIDANG SKRIPSI .....                           | ii   |
| LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....                                   | iii  |
| PERNYATAAN ORISINALITAS .....                                     | iv   |
| LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....        | v    |
| KATA PENGANTAR.....                                               | vi   |
| ABSTRAK .....                                                     | viii |
| ABSTRACT.....                                                     | ix   |
| DAFTAR ISI.....                                                   | x    |
| DAFTAR GAMBAR.....                                                | xiv  |
| DAFTAR TABEL.....                                                 | xvi  |
| BAB I PENDAHULUAN .....                                           | 1    |
| 1.1 Latar Belakang.....                                           | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                         | 3    |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                                       | 3    |
| 1.4 Manfaat Penelitian.....                                       | 3    |
| 1.4.1 Manfaat Teoretis .....                                      | 3    |
| 1.4.2 Manfaat Praktis.....                                        | 4    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....                                     | 5    |
| 2.1 Landasan Teori .....                                          | 5    |
| 2.1.1 Teknologi Kuantum.....                                      | 5    |
| 2.1.2 Prinsip Dasar Komputasi Kuantum .....                       | 6    |
| 2.1.3 Hamiltonian Molekuler dan Energi Keadaan Dasar Molekul..... | 9    |
| 2.1.4 Algoritma <i>Variational Quantum Eigensolver</i> (VQE) ...  | 11   |
| 2.1.5 <i>Active Orbital</i> dan <i>Active Electron</i> .....      | 13   |
| 2.1.6 Molekul Hidrogen Fluorida (HF).....                         | 13   |
| 2.1.7 <i>Noise</i> dalam Komputasi Kuantum .....                  | 14   |

|         |                                                                                                                                |    |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.8   | Teknik Mitigasi Noise ( <i>Quantum Error Mitigation</i> ):<br><i>Zero Noise Extrapolation</i> (ZNE).....                       | 16 |
| 2.2     | Hasil Penelitian Terdahulu .....                                                                                               | 21 |
| 2.3     | Kerangka Berpikir .....                                                                                                        | 23 |
| 2.4     | Hipotesis .....                                                                                                                | 25 |
| BAB III | METODE PENELITIAN.....                                                                                                         | 26 |
| 3.1     | Metode dan Desain Penelitian.....                                                                                              | 26 |
| 3.2     | Tempat dan Waktu Penelitian.....                                                                                               | 27 |
| 3.3     | Alat dan Bahan .....                                                                                                           | 27 |
| 3.3.1   | Perangkat Keras .....                                                                                                          | 27 |
| 3.3.2   | Perangkat lunak .....                                                                                                          | 28 |
| 3.4     | Variabel Penelitian.....                                                                                                       | 28 |
| 3.4.1   | Variabel Terikat .....                                                                                                         | 28 |
| 3.4.2   | Variabel Bebas .....                                                                                                           | 28 |
| 3.4.3   | Variabel Kontrol .....                                                                                                         | 29 |
| 3.5     | Prosedur Penelitian .....                                                                                                      | 31 |
| 3.5.1   | Studi Literatur .....                                                                                                          | 31 |
| 3.5.2   | Implementasi Algoritma VQE untuk Menghitung<br><i>Ground State Energy</i> dan <i>Benchmarking Active</i><br><i>Space</i> ..... | 31 |
| 3.5.3   | Analisis Pengaruh <i>Noise</i> Pada Simulasi Kuantum ....                                                                      | 31 |
| 3.5.4   | Penerapan Teknik Mitigasi <i>Noise</i> : <i>Zero Noise</i><br><i>Extrapolation</i> (ZNE) dan Variasi Jenis Ekstrapolasi ...    | 32 |
| 3.6     | Metode Analisis .....                                                                                                          | 33 |
| BAB IV  | HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....                                                                                          | 35 |
| 4.1     | <i>Benchmarking Active Space</i> Molekul Hidrogen Fluorida .....                                                               | 35 |
| 4.1.1   | <i>Potential Energy Surface</i> (PES) dari Hidrogen<br>Fluorida Menggunakan <i>Active Space</i> yang<br>Teroptimasi .....      | 38 |
| 4.2     | Perhitungan Total Energi dari Molekul Hidrogen Fluorida<br>dengan <i>Noise</i> .....                                           | 39 |
| 4.2.1   | Depolarizing Channel Noise .....                                                                                               | 39 |

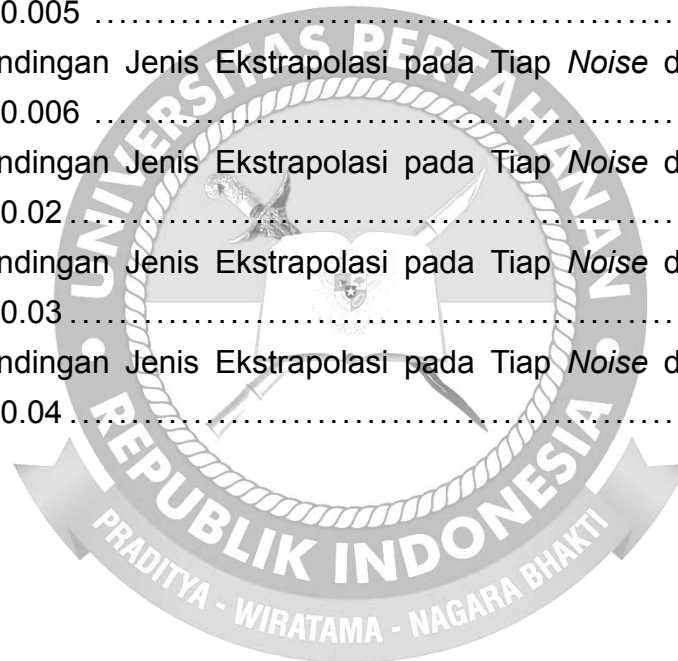
|                |                                                                                                                                             |    |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.2          | <i>Amplitude damping Noise</i> .....                                                                                                        | 41 |
| 4.2.3          | Variasi <i>Noise Value</i> dengan Jenis <i>Noise</i> Berbeda ....                                                                           | 43 |
| 4.3            | Implementasi Teknik Mitigasi <i>Noise</i> : <i>Zero Noise Extrapolation</i> (ZNE) .....                                                     | 44 |
| 4.3.1          | <i>Linear Regression</i> .....                                                                                                              | 45 |
| 4.3.2          | <i>Richardson Extrapolation</i> .....                                                                                                       | 49 |
| 4.4            | Variasi Tingkat <i>Noise</i> .....                                                                                                          | 52 |
| 4.5            | Efektivitas <i>Zero Noise Extrapolation</i> (ZNE).....                                                                                      | 57 |
| 4.5.1          | Perbandingan Sebelum dan Setelah Penerapan Teknik Mitigasi <i>Noise</i> ZNE.....                                                            | 60 |
| BAB V          | KESIMPULAN DAN SARAN .....                                                                                                                  | 62 |
| 5.1            | Kesimpulan .....                                                                                                                            | 62 |
| 5.2            | Saran .....                                                                                                                                 | 63 |
| DAFTAR PUSTAKA | .....                                                                                                                                       | 63 |
| LAMPIRAN A     | .....                                                                                                                                       | 67 |
| A.1            | Nilai Referensi FCI molekul HF.....                                                                                                         | 67 |
| A.2            | Kode menemukan <i>ground state energy</i> molekul HF menggunakan <i>Adaptive VQE</i> ( <i>Active space</i> sudah yang paling optimal) ..... | 67 |
| A.3            | Kode PES VQE untuk masing-masing <i>bondlength</i> .....                                                                                    | 69 |
| A.4            | Kode <i>Depolarizing Noise</i> dan <i>Amplitude Damping Noise</i> ....                                                                      | 71 |
| A.5            | Variasi <i>Noise Value</i> dengan Jenis <i>Noise</i> Berbeda .....                                                                          | 71 |
| A.6            | ZNE- <i>Linear Regression</i> .....                                                                                                         | 73 |
| A.7            | ZNE- <i>Richardson Extrapolation</i> .....                                                                                                  | 75 |
| LAMPIRAN B     | Tabel Keseluruhan Variasi Tingkat <i>Noise</i> dengan ZNE dan Grafik Perbandingan Jenis Ekstrapolasi pada Tiap <i>Noise Value</i> .....     | 76 |
| LAMPIRAN C     | Perhitungan Regresi Linear (Nilai R) .....                                                                                                  | 85 |
| C.1            | 0.0006 (Perwakilan <i>noise</i> rendah) .....                                                                                               | 85 |
| C.1.1          | <i>Depolarizing</i> .....                                                                                                                   | 85 |
| C.1.2          | <i>Amplitude</i> .....                                                                                                                      | 86 |
| C.2            | 0.006 (Perwakilan <i>noise</i> sedang) .....                                                                                                | 88 |

|            |                                                 |     |
|------------|-------------------------------------------------|-----|
| C.2.1      | <i>Depolarizing</i> .....                       | 88  |
| C.2.2      | <i>Amplitude</i> .....                          | 89  |
| C.3        | 0.01 (Perwakilan <i>noise</i> tinggi) .....     | 90  |
| C.3.1      | <i>Depolarizing</i> .....                       | 90  |
| C.3.2      | <i>Amplitude</i> .....                          | 91  |
| C.4        | 0.1 (Perwakilan <i>noise</i> tinggi).....       | 92  |
| C.4.1      | <i>Depolarizing</i> .....                       | 92  |
| C.4.2      | <i>Amplitude</i> .....                          | 94  |
| LAMPIRAN D | Perhitungan Regresi Linear (Nilai $y(0)$ )..... | 95  |
| D.1        | 0.0006 (Perwakilan <i>noise</i> rendah) .....   | 95  |
| D.1.1      | <i>Depolarizing</i> .....                       | 95  |
| D.1.2      | <i>Amplitude</i> .....                          | 96  |
| D.2        | 0.006 (Perwakilan <i>Noise</i> Sedang).....     | 97  |
| D.2.1      | <i>Depolarizing</i> .....                       | 97  |
| D.2.2      | <i>Amplitude</i> .....                          | 99  |
| D.3        | 0.01 (Perwakilan <i>Noise</i> Tinggi).....      | 100 |
| D.3.1      | <i>Depolarizing</i> .....                       | 100 |
| D.3.2      | <i>Amplitude</i> .....                          | 101 |

## DAFTAR GAMBAR

|      |                                                                                                                                      |    |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1  | Keadaan Spin dalam Bola Bloch .....                                                                                                  | 8  |
| 2.2  | Representasi Skematis dari <i>Variational Quantum Circuit</i> .....                                                                  | 11 |
| 2.3  | Molekul Hidrogen Fluorida Pada <i>Software</i> Avogadro .....                                                                        | 14 |
| 2.4  | Komputasi Kuantum dari Nilai Ekspektasi dari Sebuah Observasi (a)<br>Tanpa Mitigasi Kesalahan Kuantum (QEM) dan (b) dengan QEM ..... | 17 |
| 2.5  | Skema Kerangka Berpikir Penelitian .....                                                                                             | 25 |
| 3.1  | Logo PennyLane .....                                                                                                                 | 30 |
| 3.2  | Diagram Alir Penelitian .....                                                                                                        | 33 |
| 4.1  | <i>Ground State Energy</i> Molekul Hidrogen Fluorida .....                                                                           | 37 |
| 4.2  | PES FCI - PES VQE Molekul HF .....                                                                                                   | 38 |
| 4.3  | Noise Depolarizing Channel 0,02 .....                                                                                                | 41 |
| 4.4  | Noise Amplitude Damping 0,02 .....                                                                                                   | 43 |
| 4.5  | Noise dengan Variasi Nilai .....                                                                                                     | 44 |
| 4.6  | Penerapan ZNE Pada <i>Depolarizing Noise</i> 0.01 .....                                                                              | 46 |
| 4.7  | Penerapan ZNE Pada <i>Amplitude Damping Noise</i> 0.01 .....                                                                         | 48 |
| 4.8  | Penerapan ZNE-Richardson Pada <i>Depolarizing Noise</i> 0.01 .....                                                                   | 50 |
| 4.9  | Penerapan ZNE-Richardson Pada <i>Amplitude Damping Noise</i> 0,01 ....                                                               | 51 |
| 4.10 | Perbandingan Jenis Ekstrapolasi pada Tiap <i>Noise</i> dengan <i>Noise</i><br><i>Value</i> 0,0006 .....                              | 57 |
| 4.11 | Perbandingan Jenis Ekstrapolasi pada Tiap <i>Noise</i> dengan <i>Noise</i><br><i>Value</i> 0,002 .....                               | 58 |
| 4.12 | Perbandingan Jenis Ekstrapolasi pada Tiap <i>Noise</i> dengan <i>Noise</i><br><i>Value</i> 0.003 .....                               | 58 |
| 4.13 | Perbandingan Jenis Ekstrapolasi pada Tiap <i>Noise</i> dengan <i>Noise</i><br><i>Value</i> 0,009 .....                               | 59 |
| 4.14 | Perbandingan Jenis Ekstrapolasi pada Tiap <i>Noise</i> dengan <i>Noise</i><br><i>Value</i> 0,01 .....                                | 59 |
| 4.15 | Perbandingan Jenis Ekstrapolasi pada Tiap <i>Noise</i> dengan <i>Noise</i><br><i>Value</i> 0,1 .....                                 | 59 |

|     |                                                                                                  |    |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| B.1 | Perbandingan Jenis Ekstrapolasi pada Tiap <i>Noise</i> dengan <i>Noise</i><br>Value 0.0008 ..... | 83 |
| B.2 | Perbandingan Jenis Ekstrapolasi pada Tiap <i>Noise</i> dengan <i>Noise</i><br>Value 0.001 .....  | 83 |
| B.3 | Perbandingan Jenis Ekstrapolasi pada Tiap <i>Noise</i> dengan <i>Noise</i><br>Value 0.004 .....  | 83 |
| B.4 | Perbandingan Jenis Ekstrapolasi pada Tiap <i>Noise</i> dengan <i>Noise</i><br>Value 0.005 .....  | 83 |
| B.5 | Perbandingan Jenis Ekstrapolasi pada Tiap <i>Noise</i> dengan <i>Noise</i><br>Value 0.006 .....  | 84 |
| B.6 | Perbandingan Jenis Ekstrapolasi pada Tiap <i>Noise</i> dengan <i>Noise</i><br>Value 0.02 .....   | 84 |
| B.7 | Perbandingan Jenis Ekstrapolasi pada Tiap <i>Noise</i> dengan <i>Noise</i><br>Value 0.03 .....   | 84 |
| B.8 | Perbandingan Jenis Ekstrapolasi pada Tiap <i>Noise</i> dengan <i>Noise</i><br>Value 0.04 .....   | 84 |



## DAFTAR TABEL

|      |                                                                                  |    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1  | Tabel Penelitian Terdahulu .....                                                 | 21 |
| 3.1  | Jadwal Kegiatan Skripsi .....                                                    | 27 |
| 4.1  | Variasi Perhitungan <i>Active Space</i> dan % <i>Error</i> yang dihasilkan ..... | 36 |
| 4.2  | Pengaruh <i>Noise</i> dari Nilai yang Divariasikan .....                         | 44 |
| 4.3  | ZNE pada <i>Noise Level</i> 0,0006 .....                                         | 54 |
| 4.4  | ZNE pada <i>Noise Level</i> 0,002 .....                                          | 54 |
| 4.5  | ZNE pada <i>Noise Level</i> 0,003 .....                                          | 55 |
| 4.6  | ZNE pada <i>Noise Level</i> 0,009 .....                                          | 55 |
| 4.7  | ZNE pada <i>Noise Level</i> 0,01 .....                                           | 56 |
| 4.8  | ZNE pada <i>Noise Level</i> 0,1 .....                                            | 56 |
| 4.9  | Tabel Perbandingan <i>Noise</i> Sebelum dan Setelah diterapkan ZNE .....         | 60 |
| B.1  | ZNE pada <i>Noise Level</i> 0.0006 .....                                         | 76 |
| B.2  | ZNE pada <i>Noise Level</i> 0.0008 .....                                         | 76 |
| B.3  | ZNE pada <i>Noise Level</i> 0.001 .....                                          | 77 |
| B.4  | ZNE pada <i>Noise Level</i> 0.002 .....                                          | 77 |
| B.5  | ZNE pada <i>Noise Level</i> 0.003 .....                                          | 78 |
| B.6  | ZNE pada <i>Noise Level</i> 0.004 .....                                          | 78 |
| B.7  | ZNE pada <i>Noise Level</i> 0.005 .....                                          | 79 |
| B.8  | ZNE pada <i>Noise Level</i> 0.006 .....                                          | 79 |
| B.9  | ZNE pada <i>Noise Level</i> 0.009 .....                                          | 80 |
| B.10 | ZNE pada <i>Noise Level</i> 0.01 .....                                           | 80 |
| B.11 | ZNE pada <i>Noise Level</i> 0.02 .....                                           | 81 |
| B.12 | ZNE pada <i>Noise Level</i> 0.03 .....                                           | 81 |
| B.13 | ZNE pada <i>Noise Level</i> 0.04 .....                                           | 82 |
| B.14 | ZNE pada <i>Noise Level</i> 0.1 .....                                            | 82 |
| C.1  | Energi sistem sebagai fungsi dari <i>scale factor</i> $x$ .....                  | 85 |