

**LAPORAN KERJA PRAKTIK**

**SIMULATION OF TWO-DIMENSIONAL MOS<sub>2</sub>  
FOR GAS SENSING APPLICATIONS (O<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O)**

Bertempat di  
**PUSAT RISET FISIKA KUANTUM**  
**BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL (BRIN)**



**Telkom**  
**University**  
*Creating the Future*

**Disusun Oleh:**

**Arsy Syamil Hananan Taqiyah**

**NIM. 101042330067**

**PROGRAM STUDI TEKNIK FISIKA**

**FAKULTAS TEKNIK ELEKTRO**

**TELKOM UNIVERSITY**

**2025**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**LAPORAN KERJA PRAKTIK**  
**PUSAT RISET FISIKA KUANTUM, BADAN RISET DAN INOVASI**  
**NASIONAL (BRIN)**

**Periode 12 Januari 2026 - 12 Februari 2026**

**Disusun oleh:**

Arsy Syamil Hananan Taqiyah  
NIM. 101042330067



Pembimbing Akademik

Pembimbing Lapangan

Tri Ayodha Ajiwiguna, Ph.D

Dr. Ahmad Ridwan Tresna Nugraha

NIP. 14860028

NIP. 198709202019021002

Pembimbing Akademik

Pembimbing Lapangan

## ABSTRAK

Kegiatan Kerja Praktik ini mengeksplorasi potensi *machine learning* kuantum untuk prediksi curah hujan dengan membandingkan kinerja model *hybrid* klasik dan kuantum. Penelitian ini mengimplementasikan dua arsitektur utama, yaitu *Random Forest - Long Short-Term Memory* (RF-LSTM) dan *Random Forest - Quantum Long Short-Term Memory* (RF-QLSTM), yang dibangun di atas data cuaca multivariabel dari BMKG. Proses penelitian mencakup persiapan infrastruktur komputasi intensif, pra-pemrosesan data yang teliti, dan implementasi model dengan pendekatan yang berbeda untuk setiap domain (klasik dan kuantum).

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa model RF-LSTM secara signifikan mengungguli model *hybrid* RF-QLSTM dengan metrik kinerja yang lebih baik, di mana RF-LSTM mencapai nilai *Root Mean Squared Error* (RMSE) sebesar 0.059404 dan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0.3364, jauh melampaui RF-QLSTM yang mencatat RMSE 0.064153 dan  $R^2$  0.1073. Analisis kurva *loss* dan plot prediksi juga mengonfirmasi bahwa model klasik mampu menggeneralisasi dengan stabil, sementara model *hybrid* kuantum-klasik menunjukkan ketidakstabilan dan prediksi yang kurang akurat. Meskipun demikian, proyek ini berhasil membangun fondasi teoretis dan teknis yang kuat, sekaligus membuka wawasan tentang tantangan dan peluang penerapan *quantum machine learning* dalam lingkungan *Noisy Intermediate-Scale Quantum* (NISQ) untuk penelitian di masa depan.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, berkat rahmat dan karunia-Nya, Laporan Kerja Praktik dengan judul “Pembelajaran Mesin Model Hibrida Kuantum-Klasik dan Klasik untuk Prediksi Curah Hujan” ini dapat diselesaikan dengan baik sebagai wujud pertanggungjawaban atas kegiatan yang telah dilaksanakan di Pusat Riset Fisika Kuantum, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Penyelesaian laporan ini tidak terlepas dari dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

- Bapak Dr. Ahmad Ridwan Tresna Nugraha, selaku Pembimbing Lapangan di BRIN, dan Bapak Tri Ayodha Ajiwiguna, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik, atas bimbingan dan arahan yang berharga selama pelaksanaan proyek.
- Seluruh tim dan rekan-rekan peneliti di Pusat Riset Fisika Kuantum, BRIN, atas lingkungan kerja yang kolaboratif dan suportif.
- Jajaran pimpinan Program Studi Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Telkom University, atas kesempatan yang diberikan untuk melaksanakan Kerja Praktik ini.
- Keluarga tercinta yang senantiasa memberikan doa, motivasi, dan dukungan penuh.
- Semua pihak yang telah membantu dan berkontribusi secara langsung maupun tidak langsung dalam proses penyusunan laporan ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat, baik bagi penulis maupun bagi para pembaca.

Tangerang Selatan, 17 Agustus 2025

Muh Zaidan Fauzan

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISTILAH .....</b>	<b>viii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Penugasan .....	1
1.1.1 Lingkup Penugasan .....	2
1.2 Target Pemecahan Masalah .....	3
1.3 Metode Pelaksanaan Tugas.....	3
<b>BAB II PROFIL INSTITUSI KERJA PRAKTIK .....</b>	<b>5</b>
2.1 Sejarah Badan Riset dan Inovasi Nasional .....	5
2.2 Struktur Organisasi Badan Riset dan Inovasi Nasional....	5
2.3 Visi, Misi, Tujuan dan Sasaran Badan Riset dan Inovasi Nasional .....	5
2.3.1 Visi BRIN .....	6
2.3.2 Misi BRIN.....	6
2.3.3 Tujuan BRIN.....	7
2.3.4 Sasaran Strategis BRIN .....	7
2.3.5 Logo .....	8
2.4 Pusat Riset Fisika Kuantum .....	8
2.5 Kelompok Riset Informasi dan Komputasi Kuantum .....	9

<b>BAB III KEGIATAN DAN PEMBAHASAN KRITIS .....</b>	<b>10</b>
3.1 Deskripsi Keterlibatan dan Peran Mahasiswa .....	10
3.1.1 Penyiapan Infrastruktur Komputasi dan Perangkat Lunak .....	10
3.1.2 Penguatan Landasan Teori dan Diseminasi.....	13
3.1.3 Pelaksanaan Simulasi dan Pengambilan Data.....	17
3.2 Analisis Data dan Pembahasan Hasil Simulasi .....	19
3.2.1 Analisis Energi Adsorpsi ( $E_{ads}$ ) .....	19
3.2.2 Analisis Geometri dan Visualisasi Struktur .....	20
3.2.3 Analisis Struktur Elektronik (DOS dan Band Structure) .....	21
3.3 Pembahasan Kritis .....	22
<b>BAB IV Simpulan &amp; Saran.....</b>	<b>24</b>
4.1 SIMPULAN .....	24
4.2 SARAN .....	24
4.2.1 Saran untuk Instansi/Perusahaan (BRIN) dan Proyek/Kegiatan .....	24
4.2.2 Saran untuk Pengembangan Keilmuan Program Studi (Teknik Fisika Telkom University).....	25
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>25</b>
<b>Lampiran .....</b>	<b>xi</b>

## DAFTAR GAMBAR

2.1 Struktur Organisasi Badan Riset dan Inovasi Nasional .....	5
2.2 Logo BRIN berwarna merah dengan lima simbol elemen ekosistem dan biodiversitas .....	8
3.1 Tampilan lingkungan kerja pada sistem operasi <i>Linux Debian</i> ...	11
3.2 Verifikasi instalasi <i>Quantum ESPRESSO</i> pada terminal Linux. ...	12
3.3 Akses terminal ke server HPC BRIN menggunakan SSH.....	13
3.4 Materi studi literatur mengenai struktur pita energi dan DOS <i>MoS<sub>2</sub></i> .....	14
3.5 Materi studi literatur tentang persamaan dasar <i>Density Functional Theory</i> . ....	15
3.6 Visualisasi struktur <i>supercell</i> 4×4 <i>MoS<sub>2</sub></i> yang dibangun di VESTA.	16
3.7 Sesi diskusi internal untuk validasi parameter simulasi dan konfigurasi <i>supercell</i> .....	17
3.8 Tampilan antarmuka terminal saat memantau proses simulasi di HPC. ....	18
3.9 Visualisasi konfigurasi molekul gas pada permukaan <i>MoS<sub>2</sub></i> (a) <i>O<sub>2</sub></i> , (b) <i>NO</i> , (c) <i>NO<sub>2</sub></i> .....	20
3.10 Perbandingan Density of States (DOS) untuk (a) <i>O<sub>2</sub></i> , (b) <i>NO</i> , (c) <i>H<sub>2</sub></i> , (d) <i>NO<sub>2</sub></i> . ....	22

## **DAFTAR TABEL**

3.1 Data Energi Adsorpsi dan Situs Paling Stabil Hasil Simulasi ..... 19

## DAFTAR ISTILAH

- Angle Encoding** Teknik yang digunakan dalam komputasi kuantum untuk memetakan data klasik ke dalam status kuantum dengan mengubah nilai fitur data menjadi sudut rotasi qubit.
- Ansatz** Dalam komputasi kuantum, sirkuit kuantum terparametrisasi yang dapat dilatih dan disesuaikan untuk memecahkan masalah tertentu.
- BusyBox** Lingkungan minimal yang digunakan pada sistem embedded atau selama proses boot (*initramfs*) yang berisi utilitas UNIX esensial.
- Dropout** Metode regularisasi yang digunakan dalam jaringan saraf untuk mencegah *overfitting* dengan secara acak 'menonaktifkan' sejumlah unit pada setiap iterasi pelatihan.
- HPC** Akronim dari *High-Performance Computing*, merujuk pada pemrosesan data kompleks menggunakan superkomputer atau klaster komputer.
- Hybrid** Model gabungan yang mengintegrasikan metode dari dua domain berbeda, seperti komputasi klasik dan kuantum.
- Imputasi (Imputation)** Proses mengisi nilai yang hilang atau tidak tersedia dalam suatu dataset. Metode yang digunakan termasuk *linear interpolation*, *forward fill*, *backward fill*, dan *moving average*.
- Inisialisasi (Initialization)** Proses menyiapkan lingkungan komputasi untuk menjalankan program atau proyek, termasuk instalasi perangkat lunak dan konfigurasi dependensi.
- LSTM** Akronim dari *Long Short-Term Memory*, jenis arsitektur jaringan saraf berulang yang dirancang khusus untuk memproses dan memprediksi data deret waktu dengan mengingat informasi dari sekuens yang lebih panjang.
- Machine Learning** Sub-bidang kecerdasan buatan yang memungkinkan sistem belajar dari data dan membuat prediksi atau keputusan tanpa diprogram secara eksplisit.
- MSE** Akronim dari *Mean Squared Error*, metrik evaluasi yang mengukur rata-rata selisih kuadrat antara nilai prediksi dan nilai aktual dalam suatu model regresi.

**NFS** Akronim dari *Network File System*, protokol yang memungkinkan satu komputer untuk mengakses file yang disimpan di komputer lain melalui jaringan.

**NISQ** Akronim dari *Noisy Intermediate-Scale Quantum*, era komputasi kuantum saat ini di mana perangkat keras memiliki jumlah qubit terbatas dan rentan terhadap *noise*.

**Overfitting** Masalah dalam *machine learning* di mana model belajar terlalu baik dari data pelatihan sehingga tidak dapat menggeneralisasi dengan baik pada data baru.

**PXE** Akronim dari *Preboot Execution Environment*, standar untuk *booting* komputer dari jaringan tanpa media penyimpanan lokal.

**Qiskit** Pustaka perangkat lunak *open-source* yang dikembangkan oleh IBM untuk bekerja dengan komputasi kuantum pada tingkat sirkuit.

**Quantum Computing** Bidang komputasi yang memanfaatkan fenomena mekanika kuantum seperti superposisi dan entangelmen untuk memecahkan masalah yang rumit bagi komputer klasik.

**Quantum Machine Learning (QML)** Sub-bidang yang mengeksplorasi penggunaan prinsip-prinsip komputasi kuantum untuk meningkatkan algoritma *machine learning*.

**Qubit** Satuan dasar informasi dalam komputasi kuantum, setara dengan bit pada komputer klasik. *Qubit* dapat berada dalam keadaan 0, 1, atau superposisi dari keduanya.

**R<sup>2</sup>** Akronim dari *R-squared* atau Koefisien Determinasi, metrik statistik yang menunjukkan seberapa baik suatu model regresi mampu menjelaskan variabilitas data.

**Raspberry Pi** Komputer mini yang sering digunakan untuk tujuan pendidikan atau proyek komputasi skala kecil, termasuk klaster mini.

**RMSE** Akronim dari *Root Mean Squared Error*, metrik yang menghitung akar kuadrat dari *MSE*, memberikan pengukuran rata-rata kesalahan prediksi dalam unit yang sama dengan variabel yang diprediksi.

**Random Forest (RF)** Algoritma *machine learning* yang bekerja dengan membangun banyak pohon keputusan dan menggabungkan hasilnya untuk meningkatkan akurasi dan stabilitas.

**Secure Shell (SSH)** Protokol jaringan yang digunakan untuk mengamankan koneksi ke komputer jarak jauh.

**Slurm** Manajer beban kerja dan penjadwal pekerjaan *open-source* yang digunakan pada klaster komputer.

**TensorFlow** Pustaka *open-source* yang digunakan untuk *machine learning* dan pengembangan model jaringan saraf.

**Variational Quantum Circuits** Sirkuit kuantum yang parameternya dapat disesuaikan untuk mengoptimalkan solusi.

**Virtual Environment (Venv)** Lingkungan yang terisolasi yang memungkinkan pengguna untuk mengelola dependensi proyek Python yang berbeda secara terpisah tanpa ada konflik.

**WSL** Akronim dari *Windows Subsystem for Linux*, lapisan kompatibilitas yang memungkinkan pengguna menjalankan lingkungan Linux langsung di dalam Windows.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Penugasan

Kerja Praktik (KP) merupakan mata kuliah wajib di Telkom University yang dirancang untuk menjembatani teori dan praktik. Melalui KP, mahasiswa memperoleh kesempatan untuk mengaplikasikan konsep-konsep yang telah dipelajari selama perkuliahan ke dalam lingkungan kerja nyata, khususnya dalam konteks penelitian dan pengembangan teknologi. Kegiatan ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan analisis, pemecahan masalah, komunikasi ilmiah, serta adaptasi terhadap dinamika profesional di institusi riset.

Pemilihan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), khususnya Pusat Riset Fisika Kuantum, sebagai tempat pelaksanaan KP didasarkan pada kesesuaian antara bidang riset yang dikembangkan dengan kompetensi akademik di bidang Teknik Fisika, terutama dalam aspek komputasi material dan simulasi numerik berbasis teori kuantum. Lingkungan riset di BRIN memberikan kesempatan untuk terlibat langsung dalam penelitian komputasi material dua dimensi menggunakan pendekatan *Density Functional Theory* (DFT).

Perkembangan material dua dimensi, seperti monolayer MoS<sub>2</sub>, telah menarik perhatian luas dalam bidang nanoteknologi karena sifat elektronik dan strukturalnya yang unik. MoS<sub>2</sub> merupakan semikonduktor dua dimensi dengan *band gap* langsung, luas permukaan yang besar, serta sensitivitas tinggi terhadap perubahan lingkungan sekitarnya. Karakteristik ini menjadikannya kandidat potensial sebagai material nanosensor gas.

Deteksi gas berbahaya seperti NO<sub>2</sub>, CO, dan O<sub>2</sub> menjadi isu penting dalam pemantauan kualitas udara dan keselamatan lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan pemahaman mendalam mengenai mekanisme interaksi antara molekul gas dan permukaan material pada skala atomistik. Pendekatan komputasi berbasis DFT memungkinkan analisis energi adsorpsi, transfer muatan, serta perubahan struktur elektronik akibat proses adsorpsi secara teoritis sebelum dilakukan validasi eksperimental.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penugasan Kerja Praktik ini difokuskan pada studi simulasi interaksi molekul gas terhadap monolayer MoS<sub>2</sub> menggunakan perangkat lunak *Quantum ESPRESSO*. Penelitian ini

diharapkan dapat memberikan pemahaman ilmiah mengenai potensi MoS<sub>2</sub> sebagai material sensor gas serta memperkuat kompetensi mahasiswa dalam bidang komputasi material berbasis teori kuantum.

### 1.1.1 Lingkup Penugasan

Kerja Praktik ini dilaksanakan di Pusat Riset Fisika Kuantum, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), sebagai Asisten Peneliti, dimulai pada tanggal 30 Juni 2025 dan berakhir pada 08 Agustus 2025. Penugasan difokuskan pada studi komputasi material dua dimensi berbasis *Density Functional Theory* (DFT) untuk menganalisis potensi monolayer MoS<sub>2</sub> sebagai material nanosensor gas.

Lingkup pekerjaan mencakup pemodelan struktur atomik MoS<sub>2</sub> dalam konfigurasi supercell 4×4 dengan lapisan vakum sebesar 20 Å untuk merepresentasikan sistem dua dimensi. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak *Quantum ESPRESSO* pada lingkungan komputasi berperforma tinggi (High Performance Computing/HPC).

Penelitian berfokus pada analisis interaksi beberapa molekul gas, yaitu H<sub>2</sub>, CO, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>O terhadap permukaan MoS<sub>2</sub>. Studi dilakukan melalui perhitungan energi adsorpsi, optimasi geometri, serta analisis perubahan struktur elektronik menggunakan *band structure* dan *Density of States* (DOS).

Secara rinci, lingkup penugasan meliputi:

1. Studi literatur mengenai material dua dimensi, mekanisme adsorpsi gas, dan teori DFT.
2. Pemodelan dan optimasi struktur monolayer MoS<sub>2</sub> serta sistem MoS<sub>2</sub> yang teradsorpsi molekul gas.
3. Penentuan parameter komputasi yang terkonvergensi, termasuk *k-point sampling* dan *energy cutoff*.
4. Perhitungan energi adsorpsi untuk menentukan konfigurasi paling stabil dari masing-masing molekul gas.
5. Analisis perubahan struktur elektronik akibat adsorpsi untuk mengevaluasi potensi sensitivitas dan selektivitas sensor.
6. Dokumentasi hasil simulasi dan penyusunan laporan ilmiah sesuai standar akademik.

## 1.2 Target Pemecahan Masalah

Permasalahan utama yang diangkat dalam penugasan ini adalah memahami mekanisme interaksi antara molekul gas dengan material dua dimensi monolayer MoS<sub>2</sub> secara atomistik. Interaksi ini bersifat kompleks karena melibatkan fenomena kuantum seperti transfer muatan, perubahan struktur pita energi, dan modifikasi kerapatan keadaan elektronik. Selain itu, belum semua jenis gas menunjukkan respons yang sama terhadap material MoS<sub>2</sub>, sehingga diperlukan analisis komputasi untuk mengevaluasi sensitivitas dan selektivitasnya sebagai nanosensor gas.

Target utama dari penelitian ini adalah memperoleh pemahaman komprehensif mengenai energi adsorpsi dan perubahan sifat elektronik MoS<sub>2</sub> akibat adsorpsi berbagai molekul gas. Target-target spesifik yang diharapkan tercapai meliputi:

### 1. Model Sistem yang Valid

Berhasil membangun model monolayer MoS<sub>2</sub> dalam bentuk supercell 4×4 dengan parameter komputasi yang terkonvergensi menggunakan metode DFT.

### 2. Perhitungan Energi Adsorpsi

Menghitung energi adsorpsi untuk setiap molekul gas dan menentukan konfigurasi adsorpsi paling stabil berdasarkan energi minimum.

### 3. Analisis Perubahan Struktur Elektronik

Mengevaluasi perubahan *band structure* dan *Density of States* (DOS) untuk mengidentifikasi munculnya *impurity states* atau perubahan *band gap* akibat adsorpsi.

### 4. Identifikasi Potensi Sensor

Mengidentifikasi jenis gas yang menunjukkan interaksi paling signifikan serta menilai implikasinya terhadap sensitivitas dan waktu pemulihan (recovery time) sensor berbasis MoS<sub>2</sub>.

## 1.3 Metode Pelaksanaan Tugas

Metode pelaksanaan tugas mengadopsi pendekatan penelitian komputasi berbasis teori fungsional kerapatan (DFT) yang sistematis, didukung oleh studi literatur dan implementasi simulasi numerik. Metode ini dirancang untuk memastikan setiap tahapan simulasi dilakukan secara terstruktur dan

menghasilkan data yang dapat dianalisis secara ilmiah. Berikut adalah alur kerja yang diterapkan:

1. Studi Literatur dan Penguasaan Teori

Mendalami konsep dasar material dua dimensi, mekanisme adsorpsi gas, teori DFT, serta parameter komputasi yang digunakan dalam simulasi material. Proses ini dilakukan melalui pembacaan jurnal ilmiah dan diskusi dengan pembimbing lapangan.

2. Pemodelan Struktur Sistem

Membangun struktur monolayer MoS<sub>2</sub> dalam konfigurasi supercell 4×4 dengan lapisan vakum 20 Å untuk menghindari interaksi antar-layer periodik. Penentuan parameter seperti *k-point sampling* dan *energy cutoff* dilakukan untuk memastikan konvergensi perhitungan.

3. Simulasi DFT Menggunakan Quantum ESPRESSO

Melakukan perhitungan Self-Consistent Field (SCF), Non-SCF, serta perhitungan *band structure* dan *Density of States* (DOS) untuk sistem MoS<sub>2</sub> murni dan sistem MoS<sub>2</sub> yang teradsorpsi molekul gas.

4. Perhitungan Energi Adsorpsi

Menghitung energi adsorpsi berdasarkan selisih energi total sistem gabungan dengan energi masing-masing komponen, serta menentukan konfigurasi adsorpsi paling stabil.

5. Analisis dan Interpretasi Data

Menganalisis perubahan struktur elektronik, kemungkinan transfer muatan, serta implikasi terhadap mekanisme sensing. Hasil simulasi dibandingkan dengan literatur untuk memvalidasi temuan.

6. Dokumentasi dan Pelaporan

Seluruh tahapan penelitian didokumentasikan dalam laporan kerja praktik serta dipresentasikan secara berkala kepada pembimbing di BRIN. Laporan akhir disusun secara sistematis sesuai format akademik yang berlaku.

## BAB II

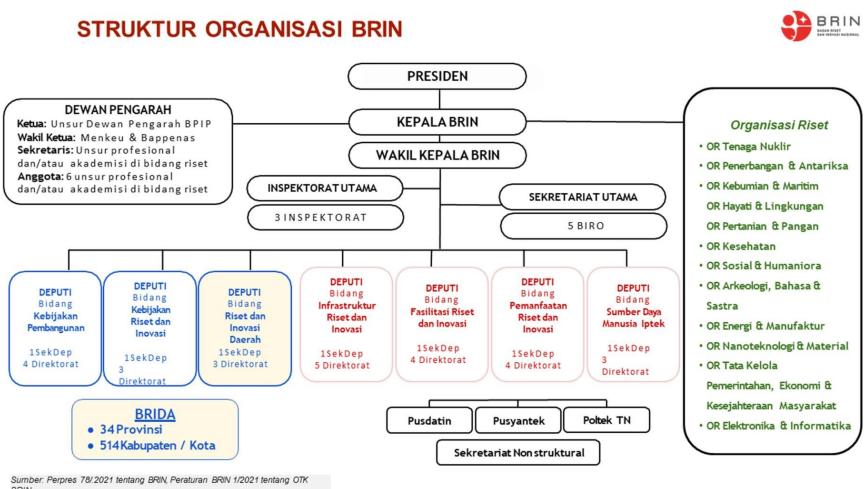
### PROFIL INSTITUSI KERJA PRAKTIK

#### 2.1 Sejarah Badan Riset dan Inovasi Nasional

Badan Riset dan Inovasi Nasional merupakan kumpulan badan riset yang dijadikan menjadi satu kesatuan badan. Pada awalnya lembaga penelitian Indonesia seperti Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), dan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) berdiri secara terpisah. Namun pada tanggal 5 Mei 2021, Joko Widodo menandatangani Peraturan Presiden nomor 33 tahun 2021 yang menetapkan BRIN sebagai satu satunya badan penelitian nasional.

#### 2.2 Struktur Organisasi Badan Riset dan Inovasi Nasional

Seperti dengan badan organisasi lainnya, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) memiliki struktur organisasi. Berikut merupakan struktur organisasi dari BRIN:



Gambar 2.1. Struktur Organisasi Badan Riset dan Inovasi Nasional

#### 2.3 Visi, Misi, Tujuan dan Sasaran Badan Riset dan Inovasi Nasional

Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) adalah lembaga pemerintah nonkementerian yang secara langsung bertanggung jawab kepada Presiden

Indonesia melalui menteri yang memiliki wewenang dalam urusan pemerintahan di bidang riset dan teknologi.

### 2.3.1 Visi BRIN

Pada periode 2025 ini BRIN memiliki visi sebagai berikut:

*“Terwujudnya Badan Riset dan Inovasi Nasional yang andal, profesional, inovatif, dan berintegritas dalam pelayanan kepada Presiden dan Wakil Presiden, untuk mewujudkan Visi dan Misi Presiden : Indonesia Maju yang Berdaulat, Mandiri, dan Berkepribadian berlandaskan Gotong Royong”.*

Berdasarkan visi yang disampaikan dapat disimpulkan bahwa BRIN bertekad untuk menjadi lembaga penelitian yang profesional, dan inovatif dalam menciptakan teknologi. Selain itu BRIN juga bertekad untuk mewujudkan Visi dan Misi presiden untuk memajukan bangsa dengan asas gotong royong.

### 2.3.2 Misi BRIN

Untuk mewujudkan visi yang telah ditetapkan, Badan Riset dan Inovasi Nasional menetapkan misi sebagai berikut:

1. Memberikan dukungan teknis dan administrasi serta analisis yang cepat, akurat dan responsif, kepada Presiden dan Wakil Presiden dalam menyelenggarakan penelitian, pengembangan, pengkajian dan penerapan, serta invensi dan inovasi, penyelenggaraan ketenaganukliran, dan penyelenggaraan keantarkesaan secara nasional yang terintegrasi serta melakukan *monitoring* pengendalian dan evaluasi terhadap pelaksanaan tugas dan fungsi BRIDA
2. Meningkatkan kualitas sumber daya manusia dan prasarana riset dan inovasi penyelenggaraan ketenaganukliran, dan keantarkesaan secara nasional yang terintegrasi dan pembinaan terhadap pelaksanaan tugas dan fungsi BRIDA
3. Menyelenggarakan pelayanan yang efektif dan efisien di bidang pengawasan, administrasi umum, informasi, dan hubungan kelembagaan

Pada misi yang telah dipaparkan, dapat disimpulkan bahwa BRIN akan memberikan dukungan teknis administrasi serta analisis yang cepat, responsif kepada Presiden dan Wakil Presiden dalam menyelenggarakan

penelitian. BRIN juga akan hadir dalam masyarakat untuk meningkatkan kualitas sumber daya manusia dan juga menyelenggarakan pelayanan efektif.

### **2.3.3 Tujuan BRIN**

Untuk mencapai visi dan melaksanakan misi Badan Riset dan Inovasi Nasional, tujuan strategis yang harus dicapai adalah:

1. Terwujudnya temuan, terobosan dan pembaharuan ilmu pengetahuan dari hasil penelitian, pengembangan, pengkajian dan penerapan, serta invensi dan inovasi, penyelenggaraan ketenaganukliran, dan penyelenggaraan keantariksaan dalam rangka peningkatan produktivitas dan daya saing, peningkatan kualitas lingkungan hidup dan ketahanan bencana, serta iklim.
2. Terwujudnya sumber daya manusia, infrastruktur, fasilitasi dan pemanfaatan riset dan inovasi yang unggul dan kompetitif.
3. Terwujudnya Tata Kelola Pemerintahan di Badan Riset dan Inovasi Nasional yang baik dan bersih.

Tujuan strategis ini dirancang untuk menanggapi permasalahan yang dihadapi dan untuk mewujudkan visi serta melaksanakan misi Badan Riset dan Inovasi Nasional.

### **2.3.4 Sasaran Strategis BRIN**

Sasaran strategis yang dirancang bertujuan mengatasi berbagai permasalahan yang ada. Berikut merupakan sasaran strategis dari BRIN:

1. Meningkatnya keunggulan riset dan inovasi ilmu pengetahuan dan teknologi, serta dapat dijadikan kebijakan berbasis bukti yang selaras dengan arah pembangunan berkelanjutan.
2. Meningkatnya kolaborasi dalam pengembangan dan pemanfaatan produk ilmu pengetahuan berdasarkan prioritas pembangunan berkelanjutan.
3. Meningkatnya produktivitas dan daya saing sumber daya riset dan inovasi BRIN.

4. Meningkatnya penerapan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk mendukung kualitas lingkungan hidup, ketahanan bencana, dan kerentanan iklim.
5. Tata kelola BRIN yang efektif, efisien dan akuntabel.

### 2.3.5 Logo

Logo BRIN terdiri dari logograf dan logotipe bertuliskan "BRIN" yang modern dan mudah dibaca, memperkuat citra BRIN sebagai institusi yang visioner, tegas, dan tangkas. Warna merah pada logo mencerminkan optimisme, kepercayaan diri, dan kesiapan BRIN dalam menghadapi masa depan.



Gambar 2.2. Logo BRIN berwarna merah dengan lima simbol elemen ekosistem dan biodiversitas

Logo ini menggabungkan abstraksi simbol lima elemen ekosistem dan biodiversitas yang saling terkoneksi, yaitu manusia, ilmu pengetahuan, persatuan, flora, dan fauna. Simbol-simbol ini terdiri dari daun yang mewakili flora, bintang yang melambangkan angkasa dan ilmu pengetahuan, ikan yang mewakili fauna, manusia, dan biodiversitas yang menunjukkan persatuan tanah air.

### 2.4 Pusat Riset Fisika Kuantum

Pusat Riset Fisika Kuantum BRIN adalah pusat riset nasional yang didirikan pada tahun 2022 oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), dengan tujuan utama untuk penelitian dasar-dasar fisika kuantum dan aplikasinya untuk teknologi masa depan. Dalam konteks visi Indonesia untuk mencapai masa keemasan pada tahun 2045, pusat riset ini juga bertujuan untuk mempersiapkan negara dengan pengetahuan dan infrastruktur yang memadai untuk revolusi industri kuantum.

Pusat Riset Fisika Kuantum memiliki tujuh kelompok riset: (1) Kelompok Riset Fisika Energi Tinggi Teoretis, (2) Kelompok Riset Fisika Energi Tinggi Eksperimental, (3) Fisika Non-Perturbatif, (4) Kelompok Riset Teori Materi Kuantum, (5) Kelompok Riset Informasi dan Komputasi Kuantum, (6) Kelompok Riset Simulasi Kuantum, dan (7) Kelompok Riset Perangkat & Teknologi Kuantum.

## 2.5 Kelompok Riset Informasi dan Komputasi Kuantum

Kelompok Riset Informasi dan Komputasi Kuantum di Pusat Riset Fisika Kuantum BRIN berfokus pada pengembangan riset berbasis teori kuantum dan simulasi numerik untuk memahami fenomena fisika pada skala atomistik dan nanoskopik. Kegiatan riset yang dilakukan mencakup studi teoretis, pemodelan material, simulasi komputasi berbasis *Density Functional Theory* (DFT), serta analisis struktur elektronik material maju.

Dalam lingkup kerja praktik ini, penugasan berada pada bidang komputasi material dua dimensi, khususnya analisis potensi monolayer MoS<sub>2</sub> sebagai nanosensor gas. Penelitian dilakukan melalui pendekatan simulasi ab-initio untuk mempelajari mekanisme adsorpsi molekul gas terhadap permukaan material dan dampaknya terhadap sifat elektronik sistem.

Kegiatan utama yang dilakukan meliputi pemanfaatan fasilitas *High Performance Computing* (HPC) untuk menjalankan perhitungan DFT menggunakan perangkat lunak *Quantum ESPRESSO*. Proses komputasi mencakup optimasi struktur, perhitungan Self-Consistent Field (SCF), Non-SCF, serta analisis *band structure* dan *Density of States* (DOS).

Selain itu, dilakukan eksplorasi variasi konfigurasi adsorpsi molekul gas (H<sub>2</sub>, CO, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>O) pada beberapa situs aktif permukaan MoS<sub>2</sub> untuk menentukan konfigurasi paling stabil berdasarkan energi adsorpsi. Analisis hasil difokuskan pada identifikasi perubahan struktur pita energi, kemunculan *impurity states*, serta indikasi transfer muatan yang berpengaruh terhadap mekanisme sensing.

Tujuan akhir dari penelitian ini adalah memperoleh pemahaman komprehensif mengenai interaksi gas-material pada skala atomistik serta mengevaluasi potensi MoS<sub>2</sub> sebagai material sensor gas berbasis nanosistem.

## **BAB III**

### **KEGIATAN DAN PEMBAHASAN KRITIS**

#### **3.1 Deskripsi Keterlibatan dan Peran Mahasiswa**

Kerja Praktik (KP) dilaksanakan oleh penulis di Pusat Riset Fisika Kuantum, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), selama periode 30 Juni hingga 08 Agustus 2025. Penulis berperan sebagai Asisten Peneliti di Kelompok Riset Informasi dan Komputasi Kuantum, dengan fokus utama pada proyek simulasi material dua dimensi  $MoS_2$  untuk aplikasi sensor gas. Keterlibatan ini mencakup seluruh siklus riset komputasi, mulai dari penyiapan infrastruktur sistem operasi, instalasi perangkat lunak saintifik, pemodelan struktur atomik, hingga eksekusi simulasi berbasis *Density Functional Theory* (DFT). Seluruh kegiatan dilakukan secara kolaboratif di bawah supervisi pembimbing lapangan, dengan mengacu pada metode yang telah dijabarkan pada Bab I.

Berikut adalah uraian sistematis mengenai kegiatan inti yang diemban selama pelaksanaan Kerja Praktik, yang mencakup alur kerja dari tahap persiapan infrastruktur hingga analisis data.

##### **3.1.1 Penyiapan Infrastruktur Komputasi dan Perangkat Lunak**

Fase awal kerja praktik difokuskan pada penyiapan landasan komputasi yang stabil untuk mendukung perhitungan fisika kuantum yang intensif. Mengingat perangkat lunak simulasi material umumnya berjalan optimal pada lingkungan berbasis UNIX/Linux, penulis bertanggung jawab penuh atas konfigurasi sistem operasi dan instalasi *tools* yang diperlukan. Penyiapan ini melibatkan konfigurasi *dual-boot* pada mesin lokal serta pengaturan akses ke *High-Performance Computing* (HPC) milik BRIN. Penyiapan ini terdiri dari tiga langkah utama.

###### **1. Konfigurasi Sistem Operasi (*Dual Boot Linux Debian*)**

Langkah pertama adalah menyiapkan lingkungan kerja lokal yang kompatibel dengan perangkat lunak saintifik. Penulis melakukan konfigurasi *dual-boot* pada laptop kerja untuk menjalankan sistem operasi *Linux Debian* berdampingan dengan *Windows*. Pemilihan *Linux Debian* didasari oleh stabilitasnya yang tinggi dan kemudahan manajemen paket untuk kebutuhan komputasi ilmiah. Lingkungan ini

berfungsi sebagai stasiun kerja utama untuk penyusunan *script* input dan visualisasi awal. Gambar 3.1 menampilkan tampilan antarmuka sistem operasi Debian yang telah terkonfigurasi.



Gambar 3.1. Tampilan lingkungan kerja pada sistem operasi *Linux Debian*.

## 2. Instalasi Perangkat Lunak Simulasi dan Visualisasi

Setelah sistem operasi siap, penulis melakukan instalasi dan kompilasi paket perangkat lunak utama. *Quantum ESPRESSO* (QE) diinstal sebagai *engine* perhitungan DFT untuk menyelesaikan persamaan Kohn-Sham. Selain itu, penulis juga menginstal *VESTA* (*Visualization for Electronic and STructural Analysis*) untuk memvisualisasikan struktur kristal dan memverifikasi posisi atom pada supercell. Proses verifikasi instalasi QE dilakukan dengan menjalankan contoh perhitungan sederhana (*benchmark*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Verifikasi instalasi *Quantum ESPRESSO* pada terminal Linux.

### 3. Konfigurasi Akses *High Performance Computing* (HPC)

Mengingat simulasi sistem supercell  $MoS_2$  membutuhkan sumber daya komputasi yang besar, eksekusi perhitungan utama dilakukan di klaster HPC BRIN. Penulis melakukan prosedur pembuatan akun pengguna baru dan mengonfigurasi koneksi jarak jauh menggunakan protokol *Secure Shell* (SSH). Konfigurasi ini memungkinkan penulis untuk mengirimkan *job* simulasi dan memantau progres perhitungan dari mesin lokal. Gambar 3.3 menunjukkan keberhasilan akses login ke sistem HPC.



Gambar 3.3. Akses terminal ke server HPC BRIN menggunakan SSH.

### 3.1.2 Penguatan Landasan Teori dan Diseminasi

Sebelum memulai tahap simulasi komputasi, penulis memperdalam pemahaman teoretis mengenai fisika material dan metode numerik yang digunakan. Kegiatan ini bertujuan untuk memastikan validitas parameter simulasi yang akan diterapkan pada perangkat lunak *Quantum ESPRESSO*.

#### 1. Studi Literatur

Penulis mendalami karakteristik elektronik material dua dimensi *Molybdenum Disulfide* ( $MoS_2$ ) serta prinsip dasar *Density Functional Theory* (DFT), termasuk persamaan Kohn-Sham. Selain itu, penulis mempelajari mekanisme adsorpsi gas untuk memahami interaksi antara molekul target ( $NO_2, CO, H_2$ ) dengan permukaan material. Ilustrasi materi studi mengenai struktur pita energi dan DOS  $MoS_2$

dapat dilihat pada Gambar 3.4, sementara konsep dasar persamaan DFT ditampilkan pada Gambar 3.5.



documentation/studi-literatur-struktur-pita-dan-dos-mos2.png

Gambar 3.4. Materi studi literatur mengenai struktur pita energi dan DOS  $MoS_2$ .

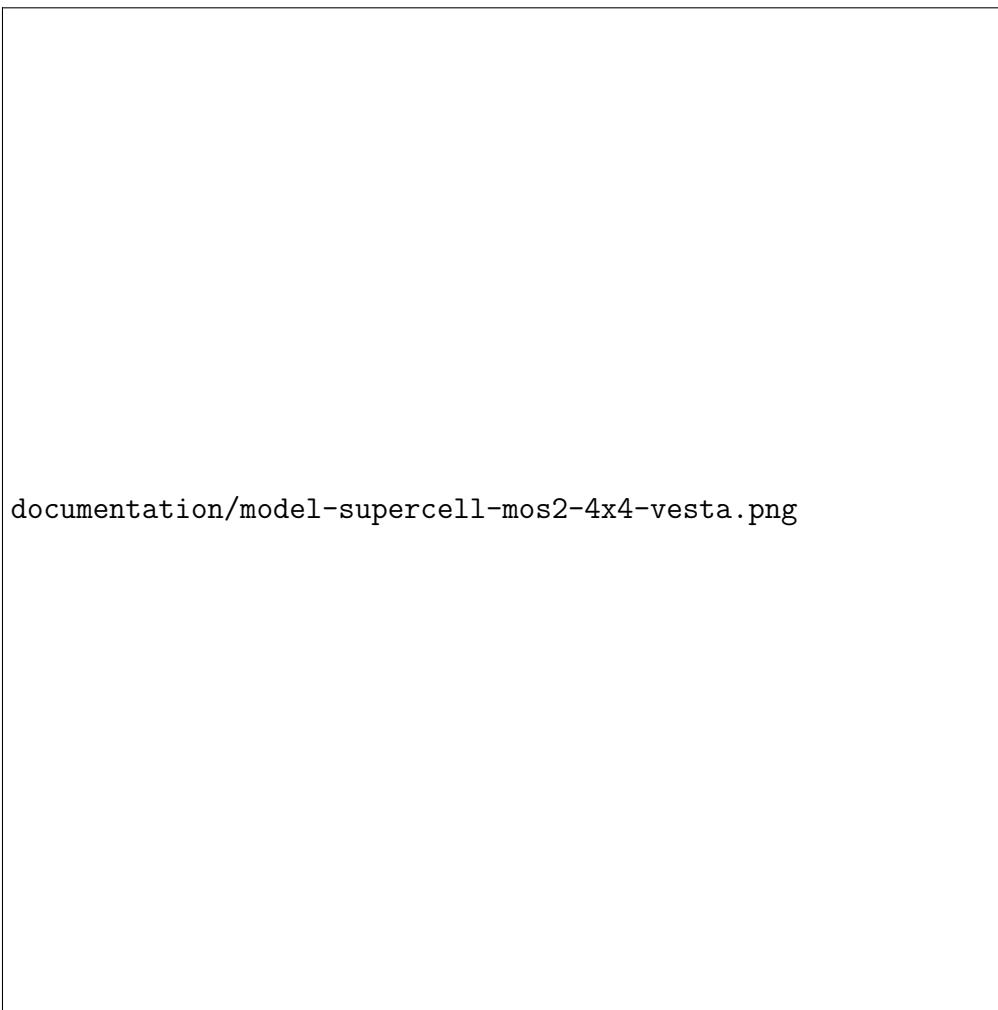


documentation/studi-literatur-persamaan-kohn-sham-dft.png

Gambar 3.5. Materi studi literatur tentang persamaan dasar *Density Functional Theory*.

## 2. Pemodelan Struktur Atomik

Sebagai implementasi awal pemahaman struktur kristal, penulis melakukan perancangan model atomik menggunakan perangkat lunak *VESTA*. Penulis membangun *supercell*  $4 \times 4$  dari  $MoS_2$  monolayer dan menambahkan lapisan vakum sebesar 20 Å pada sumbu-z untuk mengisolasi material menjadi dua dimensi. Rancangan struktur supercell yang telah dibangun ditunjukkan pada Gambar 3.6.

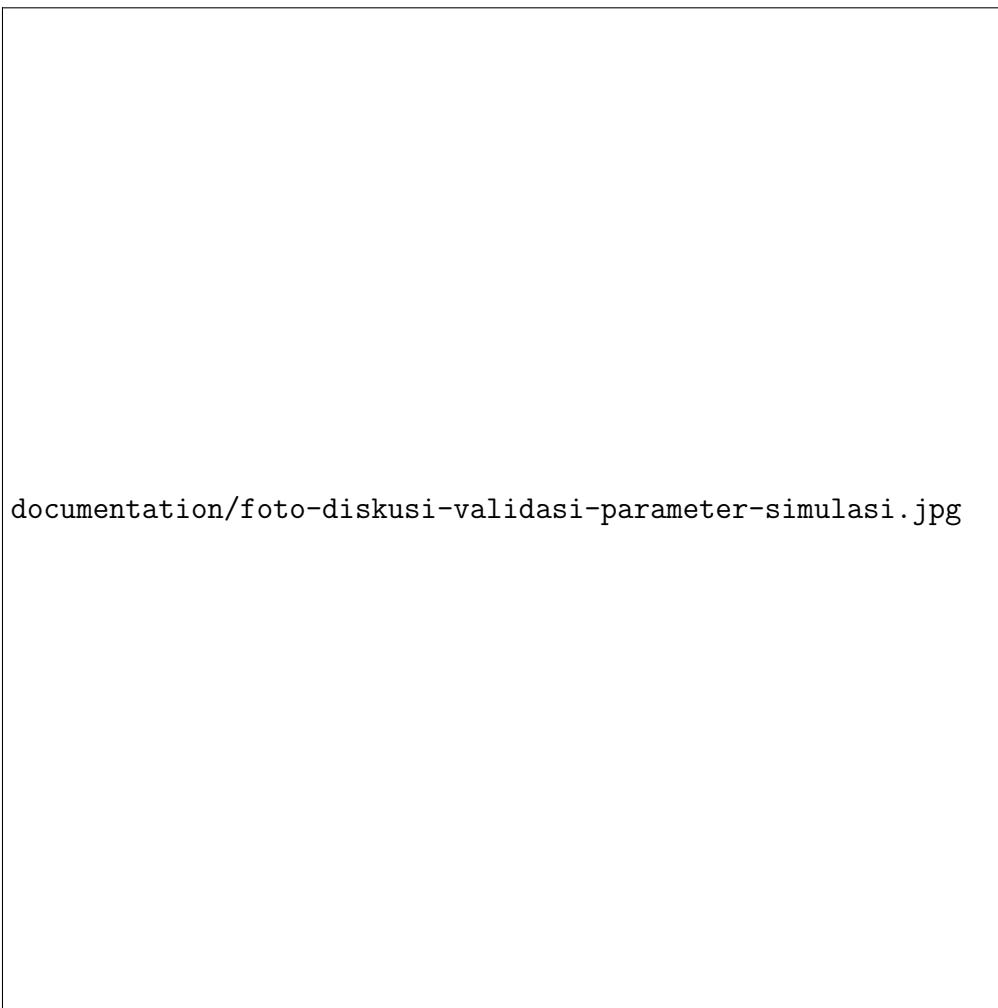


documentation/model-supercell-mos2-4x4-vesta.png

Gambar 3.6. Visualisasi struktur *supercell*  $4 \times 4$   $MoS_2$  yang dibangun di VESTA.

### 3. Diseminasi Internal

Rancangan model dan parameter simulasi (seperti *k-point mesh* dan *cutoff energy*) dipaparkan dalam sesi diskusi internal dengan pembimbing lapangan. Sesi ini bertujuan untuk memvalidasi metode yang akan digunakan sebelum simulasi dijalankan pada klaster HPC. Dokumentasi kegiatan diskusi mengenai parameter simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.7.



documentation/foto-diskusi-validasi-parameter-simulasi.jpg

Gambar 3.7. Sesi diskusi internal untuk validasi parameter simulasi dan konfigurasi *supercell*.

### 3.1.3 Pelaksanaan Simulasi dan Pengambilan Data

Setelah infrastruktur siap dan parameter terverifikasi, penulis menjalankan simulasi utama pada klaster HPC. Tahapan ini mencakup perhitungan relaksasi struktur untuk mencari konfigurasi geometri dengan energi minimum.

#### 1. Optimasi Geometri (*Relaxation*)

Simulasi dijalankan untuk keenam molekul gas target ( $H_2, O_2, H_2O, NO, NO_2, CO$ ) pada empat variasi situs adsorpsi ( $T_M, T_S, H, B$ ). Penulis menggunakan skrip otomasi *Bash* untuk mengirimkan *job* secara paralel ke *scheduler Slurm* di HPC. Proses ini bertujuan untuk membiarkan sistem "bersantai" hingga gaya antar-atom mencapai ambang batas konvergensi ( $< 10^{-3}$  Ry/au),

sehingga diperoleh posisi ekuilibrium yang akurat. Dokumentasi proses *running* simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8. Tampilan antarmuka terminal saat memantau proses simulasi di HPC.

## 2. Perhitungan Sifat Elektronik

Setelah struktur terelaksasi diperoleh, penulis melanjutkan dengan perhitungan *Self-Consistent Field* (SCF) statis, diikuti oleh perhitungan *Non-SCF* untuk mendapatkan struktur pita energi (*Band Structure*) dan densitas keadaan (*Density of States/DOS*). Perhitungan ini menggunakan *k-point mesh* yang lebih rapat ( $10 \times 10 \times 1$ ) untuk menghasilkan grafik resolusi tinggi yang diperlukan untuk analisis celah pita energi.

### 3.2 Analisis Data dan Pembahasan Hasil Simulasi

Data keluaran (*output files*) dari Quantum ESPRESSO diekstraksi dan dianalisis untuk mengevaluasi potensi  $MoS_2$  sebagai material sensor. Analisis dibagi menjadi tiga parameter utama: energi adsorpsi, geometri ikatan, dan struktur elektronik.

#### 3.2.1 Analisis Energi Adsorpsi ( $E_{ads}$ )

Energi adsorpsi merupakan indikator utama kekuatan interaksi antara sensor dan gas. Nilai  $E_{ads}$  dihitung menggunakan persamaan:

$$E_{ads} = E_{total} - (E_{MoS_2} + E_{gas}) \quad (3.1)$$

Dimana  $E_{total}$  adalah energi sistem gabungan,  $E_{MoS_2}$  adalah energi *monolayer* bersih, dan  $E_{gas}$  adalah energi molekul gas terisolasi.

Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh data energi adsorpsi untuk konfigurasi paling stabil sebagai berikut:

Tabel 3.1. Data Energi Adsorpsi dan Situs Paling Stabil Hasil Simulasi

Gas	Situs Stabil	Jarak ( $h$ ) [Å]	$E_{ads}$ [meV]
$NO_2$	H (Hollow)	3.50	-1577.44
$H_2O$	H (Hollow)	3.44	-115.72
$NO$	B (Bridge)	3.72	-91.95
$O_2$	$T_M$ (Top-Mo)	3.72	-67.62
$H_2$	$T_M$ (Top-Mo)	3.74	-43.78
$CO$	H (Hollow)	4.23	-26.69

Dari Tabel 3.1, terlihat bahwa molekul  $NO_2$  memiliki energi adsorpsi paling negatif (-1577.44 meV), yang mengindikasikan interaksi eksotermik yang sangat kuat dibandingkan gas lainnya. Sebaliknya, gas  $CO$  dan  $H_2$  memiliki energi adsorpsi yang sangat kecil (kurang dari -50 meV), menunjukkan interaksi yang sangat lemah. Tren kekuatan adsorpsi yang diperoleh adalah:



### 3.2.2 Analisis Geometri dan Visualisasi Struktur

Analisis geometri dilakukan dengan mengukur jarak vertikal ekuilibrium ( $h$ ) antara pusat massa molekul gas dengan lapisan atom Sulfur teratas pada  $MoS_2$ .

#### 1. Visualisasi Posisi Adsorpsi

Visualisasi menggunakan VESTA menunjukkan preferensi situs yang berbeda. Molekul  $NO_2$  dan  $H_2O$  cenderung stabil di posisi *Hollow* (tengah heksagon), sementara  $O_2$  dan  $H_2$  lebih menyukai posisi tepat di atas atom Molybdenum ( $T_M$ ). Gambar 3.9 memperlihatkan konfigurasi akhir setelah relaksasi.



documentation/visualisasi-struktur-molekul-teradsorpsi.png

Gambar 3.9. Visualisasi konfigurasi molekul gas pada permukaan  $MoS_2$  (a)  $O_2$ , (b)  $NO$ , (c)  $NO_2$ .

#### 2. Mekanisme Fisisorpsi

Jarak ekuilibrium rata-rata yang diperoleh berkisar antara **3.44 Å**

hingga 4.23 Å. Jarak yang relatif jauh ini ( $> 2.5 \text{ \AA}$ ) mengonfirmasi bahwa mekanisme interaksi yang terjadi secara umum adalah **fisisorpsi** (*physisorption*). Tidak terbentuk ikatan kimia kovalen baru yang permanen antara gas dan permukaan. Hal ini merupakan karakteristik positif untuk sensor gas, karena memungkinkan proses *desorption* (pelepasan gas) yang mudah, sehingga sensor dapat digunakan berulang kali (*reusable*).

### 3.2.3 Analisis Struktur Elektronik (DOS dan Band Structure)

Untuk memahami mekanisme deteksi (*sensing mechanism*), penulis menganalisis perubahan struktur elektronik material akibat kehadiran gas.

#### 1. Perubahan Density of States (DOS)

Hasil plot DOS menunjukkan perbedaan signifikan antara gas reaktif dan gas inert.

- Pada adsorpsi  $NO_2$ ,  $NO$ , **dan**  $O_2$ , muncul puncak-puncak keadaan baru (*impurity states*) di dalam area celah pita energi (*band gap*), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10 (b, d). Keadaan tambahan ini bertindak sebagai *electron trap* atau donor yang dapat mengubah konduktivitas listrik material secara drastis.
- Pada adsorpsi  $H_2$  **dan**  $CO$ , profil DOS hampir identik dengan  $MoS_2$  murni (*pristine*), tanpa adanya keadaan tambahan di celah pita. Ini menjelaskan mengapa energi adsorpsinya sangat lemah dan respon sensor diprediksi rendah untuk gas-gas ini.



documentation/plot-dos-perbandingan-gas.png

Gambar 3.10. Perbandingan Density of States (DOS) untuk (a)  $O_2$ , (b)  $NO$ ,  
(c)  $H_2$ , (d)  $NO_2$ .

## 2. Modulasi Celah Pita Energi

Analisis *Band Structure* menunjukkan bahwa meskipun struktur pita utama  $MoS_2$  tetap terjaga (karakter semikonduktor *direct band gap*  $\approx 1.8$  eV), kehadiran gas  $NO_2$  menyebabkan pergeseran level Fermi dan penyempitan celah pita efektif akibat munculnya level energi baru. Perubahan elektronik inilah yang nantinya akan terukur sebagai perubahan resistansi listrik pada perangkat sensor riil.

### 3.3 Pembahasan Kritis

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dipaparkan, penulis melakukan analisis kritis dengan membandingkan temuan eksperimen komputasi ini terhadap literatur referensi.

## 1. Validasi Hasil dengan Literatur

Nilai energi adsorpsi yang diperoleh penulis memiliki tren yang konsisten dengan studi terdahulu oleh **Yue et al.** (2013). Penelitian tersebut juga melaporkan bahwa  $NO_2$  memiliki interaksi terkuat dibandingkan gas lain, dengan mekanisme transfer muatan yang signifikan. Kesesuaian tren ini memvalidasi bahwa parameter simulasi DFT yang penulis atur (seperti *cutoff energy* 30 Ry dan *k-points*  $5 \times 5 \times 1$ ) sudah tepat dan menghasilkan data yang reliabel.

## 2. Selektivitas Sensor

Temuan bahwa  $E_{ads}$  untuk  $NO_2$  (-1577 meV) jauh lebih besar dibandingkan  $CO$  (-26 meV) memberikan implikasi penting bagi aplikasi sensor.  $MoS_2$  terbukti memiliki **selektivitas tinggi** terhadap Nitrogen Dioksida. Dalam kondisi atmosfer campuran, sensor ini diprediksi tidak akan mudah terganggu (*false alarm*) oleh keberadaan gas Karbon Monoksida atau Hidrogen, karena interaksinya yang dapat diabaikan. Hal ini menjadikan monolayer  $MoS_2$  kandidat unggul untuk detektor polusi udara spesifik  $NO_2$ .

## **BAB IV**

### **SIMPULAN & SARAN**

#### **4.1 SIMPULAN**

Kegiatan Kerja Praktik di Pusat Riset Fisika Kuantum, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) telah berhasil mengimplementasikan dan menguji dua model *hybrid* untuk prediksi curah hujan, yaitu *Random Forest - Long Short-Term Memory* (RF-LSTM) dan *Random Forest - Quantum Long Short-Term Memory* (RF-QLSTM). Proyek ini dimulai dengan penyiapan infrastruktur komputasi yang stabil, pra-pemrosesan data multivariabel dari BMKG, dan pengembangan kedua model dengan arsitektur yang sebanding.

Dari hasil pengujian, model klasik RF-LSTM secara signifikan mengungguli model *hybrid* RF-QLSTM. Secara kuantitatif, model RF-LSTM mencapai metrik *Root Mean Squared Error* (RMSE) yang lebih rendah (0.059404) dan koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) yang lebih tinggi (0.3364). Performa ini mengindikasikan bahwa model RF-LSTM lebih akurat dan mampu menjelaskan variabilitas data curah hujan secara lebih baik. Secara kualitatif, analisis kurva *loss* menunjukkan bahwa model RF-LSTM belajar dengan stabil dan menggeneralisasi dengan baik, sementara model RF-QLSTM mengalami fluktuasi yang tinggi dan gagal menggeneralisasi. Selain itu, plot visual memperkuat temuan ini, di mana prediksi model RF-LSTM berhasil mengikuti tren data aktual dengan lebih baik, sedangkan prediksi RF-QLSTM cenderung datar dan tidak mampu menangkap variabilitas puncak curah hujan. Meskipun demikian, proyek ini telah berhasil membangun fondasi teoretis dan teknis yang kuat untuk eksplorasi lebih lanjut di bidang *quantum machine learning*.

#### **4.2 SARAN**

Berdasarkan pengalaman dan tantangan yang dihadapi selama Kerja Praktik, berikut adalah beberapa saran yang diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan proyek dan program studi di masa depan.

##### **4.2.1 Saran untuk Instansi/Perusahaan (BRIN) dan Proyek/Kegiatan**

1. Melanjutkan proyek penelitian ini dengan melakukan analisis kinerja model secara mendalam, termasuk perbandingan metrik *Root Mean*

*Square Error* (RMSE) dan metrik lain yang relevan, untuk mendapatkan kesimpulan berbasis bukti mengenai keunggulan model kuantum-klasik.

2. Mengimplementasikan model RF-QLSTM pada perangkat keras kuantum asli (*hardware*) ketika ketersediaannya memungkinkan, bukan hanya pada simulator. Hal ini akan memberikan validasi kinerja yang lebih akurat dan menyoroti tantangan nyata dalam komputasi kuantum saat ini.
3. Mengeksplorasi lebih lanjut penerapan konsep *Variational Quantum Circuits* (VQC) untuk pemodelan cuaca. Hal ini diperlukan untuk menghubungkan teori fundamental dengan praktik implementasi pada perangkat keras yang tersedia.
4. Mengembangkan kegiatan pendukung pembangunan klaster komputer mini berbasis *Raspberry Pi* sebagai sarana edukasi dan eksperimen, guna memberikan pemahaman praktis mengenai arsitektur klaster komputasi terdistribusi skala kecil.

#### **4.2.2 Saran untuk Pengembangan Keilmuan Program Studi (Teknik Fisika Telkom University)**

1. Memperkuat fundamental fisika kuantum dalam kurikulum. Pemahaman teori yang mendalam sangat penting sebagai landasan untuk perkembangan teknologi modern di bidang komputasi, termasuk kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) dan komputasi kuantum.
2. Memperluas mata kuliah Sistem Cerdas terkait komputasi *machine learning* dengan memperkenalkan konsep dasar *quantum machine learning* dan penerapannya, memberikan pemahaman teoretis yang kuat dan relevan dengan perkembangan teknologi terkini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Google Developers, “Machine Learning Crash Course.” [Online]. Tersedia: <https://developers.google.com/machine-learning/crash-course/>
- [2] Quantum.Country, “An Introduction to Quantum Computing.” [Online]. Tersedia: <https://quantum.country/qm>
- [3] IBM, “Qiskit.” [Online]. Tersedia: <https://www.ibm.com/quantum/qiskit>
- [4] Frontiers in Physics, “Title of the article.” [Online]. Tersedia: <https://www.frontiersin.org/journals/physics/articles/10.3389/fphy.2024.1439180/full>
- [5] QML Tutorial, “A tutorial on Quantum Machine Learning.” [Online]. Tersedia: <https://qml-tutorial.github.io/>
- [6] B. Geerts and A. Otero-de-la-Roza, “Probabilistic forecast of precipitation: A machine learning approach,” *Journal of Hydrology*, vol. 615, p. 128795, 2022.
- [7] A. Otero-de-la-Roza, *Diskless Raspberry Pi Cluster Guide*. [Online]. Tersedia: <https://aoterodelaroza.github.io/devnotes/diskless-rpi-cluster/>

## **LAMPIRAN**

### **Lampiran A - Kegiatan Diskusi dengan Dosen Pembimbing Akademik**

#### **LOGBOOK 1**

#### **Catatan Diskusi dengan Dosen Pembimbing Akademik**

**Nama / NIM: Muh Zaidan Fauzan / 1104220063**

<b>Tanggal</b>	<b>Catatan Diskusi</b>	<b>Paraf Dosen</b>
15/08/2025	Kegiatan sosialisasi oleh dosen pembimbing dengan mahasiswa terkait sidang hasil Kerja Praktik, penulisan dokumen, pengumpulan dokumen, serta hal-hal pendukung lainnya yang disertakan dalam lampiran laporan hasil Kerja Praktik (KP).	

**Lampiran B - Kegiatan Kerja Praktik Selama di Tempat Kerja Praktik**

**LOGBOOK 2**

**Pekan ke-1**

**Nama / NIM : Muh Zaidan Fauzan / 1104220063**

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Senin	30/06/2025	09:00	17:00	8 Jam	Mempelajari materi requirement seperti linear regression hingga neural network secara dasar dan mulai merangkum pada bagian neural network.
Selasa	01/07/2025	09:35	16:00	6 Jam 25 Menit	Mempelajari materi requirement dalam develop machine learning mengenai data secara dasar dan membuat summary-nya. Kemudian, melatih pemahaman lanjutan secara mendalam dari awal materi, yaitu mengenai linear regression.

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Rabu	02/07/2025	09:53	17:15	7 Jam 22 Menit	Melakukan instalasi dan konfigurasi WSL di Windows untuk kebutuhan development, serta mempelajari manajemen SSH key untuk akses remote server (quasikey). Aktivitas meliputi instalasi tools, pengaturan permission, editing environment variable, serta troubleshooting error pada SSH key dan monitoring resource sistem. Seluruh proses ini meningkatkan pemahaman tentang workflow remote Linux, keamanan akses server, dan penggunaan resource lintas platform.

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Kamis	03/07/2025	09:39	16:30	6 Jam 51 Menit	<p>Melakukan aktivasi akun dan koneksi ke server HPC Mahameru, serta menyiapkan lingkungan pengembangan machine learning di quasi07 dengan pembuatan virtual environment dan instalasi library terkait.</p> <p>Kegiatan dilanjutkan dengan mengunduh dokumen referensi <math>\text{\LaTeX}</math> sebagai pendukung penulisan teknis. Selain itu, mempelajari serta mengerjakan latihan dasar matematika dan statistik menggunakan workbook LKS2 untuk memperkuat pemahaman konsep fundamental yang dibutuhkan dalam pengembangan dan implementasi machine learning.</p> <p>Seluruh proses ini bertujuan untuk meningkatkan kesiapan dalam praktik pemrograman, riset, dan manajemen lingkungan komputasi di cluster HPC.</p>

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Jumat	04/07/2025	09:22	16:20	6 Jam 58 Menit	<p>Melakukan setup dan uji coba training AI menggunakan TensorFlow dengan memanfaatkan GPU RTX 3080. Aktivitas meliputi pembuatan kode untuk training model sederhana menggunakan data dummy dan pengaturan CUDA di sistem quasi07.</p> <p>Terdapat beberapa masalah terkait instalasi dan konfigurasi CUDA, serta pengaturan environment variable melalui <code>~/.bashrc</code> yang mengarah ke path CUDA yang benar (cuDNN belum ditemukan). Proses troubleshooting dan perbaikan path CUDA menjadi fokus utama.</p>
<b>Total Jam Mingguan</b>					35 Jam 36 Menit
					<p><b>Mengetahui,</b>  Atasan Langsung/  Pembimbing KP Lapangan</p> <p><b>Dr. Ahmad Ridwan</b>  <b>Tresna Nugraha</b></p>

**LOGBOOK 2****Pekan ke-2****Nama / NIM : Muh Zaidan Fauzan / 1104220063**

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Senin	07/07/2025	09:40	16:17	6 Jam 37 Menit	<p>Mendalami pemahaman mengenai konsep dasar komputasi kuantum, meliputi definisi qubit, prinsip superposisi, visualisasi melalui Bloch Sphere, dan pengenalan gerbang-gerbang kuantum dasar seperti X, H (Hadamard), serta Controlled-NOT (CNOT). Aktivitas hari ini berupa pencatatan poin penting dan visualisasi sederhana dari materi pada <i>Quantum Country</i> (QCVC), khususnya part I hingga II pada link berikut: <a href="https://quantum.country/qcvc">https://quantum.country/qcvc</a></p> <p>Penekanan terhadap contoh intuitif dan ilustrasi praktis, seperti analogi panah pada Bloch Sphere serta konsep keterikatan (entanglement) antar qubit dalam Bell state.</p>

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Selasa	08/07/2025	09:25	16:13	6 Jam 48 Menit	<p>Melanjutkan pembuatan rangkuman dan catatan penting dari part III pada website <i>Quantum Country</i> (QCVC) mengenai konsep kuantum, serta merapikan format dan style pada file README quantum-ml.md.</p> <p>Selain itu, melanjutkan kegiatan troubleshooting untuk mengatasi error saat melakukan training AI pada sistem quasi07 yang menggunakan TensorFlow dan CUDA. Ditemukan bahwa kesamaan versi antara TensorFlow dan CUDA sangat penting untuk memastikan kompatibilitas dan kinerja yang optimal, karena perbedaan versi dapat menyebabkan kesalahan dalam eksekusi model dan alokasi sumber daya GPU.</p> <p>Setelah perbaikan tersebut, training AI berhasil dilakukan dengan data dummy (10 fitur dan 1 target dengan 1.000.000 sampel), yang terlihat pada hasil training berupa nilai loss dan epoch pada output.</p>

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Rabu	09/07/2025	09:50	16:46	6 Jam 56 Menit	<p>Melakukan review materi tentang <i>linear regression</i> dan <i>logistic regression</i>, serta mempelajari kembali konsep dasar “quantum computing for the very curious”.</p> <p>Kegiatan hari ini mencakup pemahaman teori lebih mendalam, penerapan teknik regresi untuk analisis data, dan penekanan lebih mendalam terhadap prinsip dasar komputasi kuantum.</p> <p>Hasil yang diperoleh berupa pendalaman pemahaman terkait analisis data menggunakan regresi serta konsep dasar yang mendasari pengembangan teknologi komputasi kuantum.</p>

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Kamis	10/07/2025	09:28	18:50	9 Jam 22 Menit	<p>Agenda berupa presentasi mengenai Machine Learning klasik dan dasar-dasar Quantum Computing (QuComp) sebagai hasil dari pembelajaran satu pekan sebelumnya.</p> <p>Fokus utama presentasi mencakup penjelasan mengenai konsep-konsep dasar dalam Quantum Computing seperti simbol-simbol kuantum, persamaan dasar, pengenalan qubit, superposisi, entanglement, serta penerapan gerbang kuantum yang mengubah status informasi kuantum. Selain itu, dibahas juga tantangan yang dihadapi dalam manipulasi informasi dan pengukuran pada sistem kuantum.</p> <p>Pada sesi Machine Learning, pembahasan difokuskan pada teknik-teknik dasar seperti regresi logistik, regularisasi, serta konsep overfitting dan underfitting, yang berfungsi untuk memberikan pemahaman mendalam mengenai proses pelatihan dan evaluasi model.</p>

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Jumat	11/07/2025	10:00	20:10	10 Jam 10 Menit	<p>Eksplorasi awal mengenai Quantum Computing dan Quantum Machine Learning (QC/QML). Kegiatan meliputi pengumpulan literatur dari program MBKM UM BRIN sebagai referensi awal, serta mempelajari konsep dasar <i>Qubits</i> dan <i>Qudits</i> dari referensi PY Lee (2024).</p> <p>Pemahaman mengenai qubits dan qudits ini menjadi landasan dalam mengembangkan wawasan terkait struktur dasar dan potensi penerapan QML di bidang riset selanjutnya.</p>
Sabtu	12/07/2025	–	–	–	Libur
Minggu	13/07/2025	–	–	–	Libur
<b>Total Jam Mingguan</b>					<b>39 Jam 53 Menit</b>
					<b>Mengetahui, Atasan Langsung/ Pembimbing KP Lapangan</b>
					<b>Dr. Ahmad Ridwan Tresna Nugraha</b>

**LOGBOOK 2****Pekan ke-3****Nama / NIM : Muh Zaidan Fauzan / 1104220063**

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Senin	14/07/2025	09:39	16:32	6 Jam 53 Menit	<p>Melakukan pendalaman materi klasifikasi pada machine learning melalui pembacaan teori dan latihan soal, dengan fokus pada pemahaman metrik evaluasi seperti recall, precision, dan false positive rate (FPR), serta penerapannya dalam konteks kasus nyata.</p> <p>Selain itu, mereview lanjutan Quantum Computing PART II yang membahas tentang Gerbang Logika Kuantum (Quantum Logic Gates), seperti gerbang Hadamard, Pauli-X, Pauli-Z, serta konsep manipulasi keadaan kuantum melalui superposisi dan entanglement.</p>

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Selasa	15/07/2025	09:28	16:26	6 Jam 58 Menit	<p>Melakukan review mendalam terhadap materi Quantum Computing PART II dari quantum.country dengan fokus pada quantum logic gates seperti Hadamard, Pauli-X, dan Pauli-Z.</p> <p>Lalu, dilanjutkan dengan presentasi kelompok yang mencakup ulasan ringkas materi PART I serta pembahasan utama dari PART II.</p> <p>Dalam presentasi tersebut juga terdapat diskusi teori, mencakup tanya jawab untuk memperkuat pemahaman konsep gerbang logika kuantum dan perannya dalam manipulasi keadaan superposisi.</p> <p>Kemudian, karena sebelumnya mereview pemahaman dengan membaca file quantum-ml.md pada repositori <i>tacit-knowledge</i>, maka dilakukan pula revisi penulisan dan penyempurnaan isi pada dokumen tersebut pada bagian <i>quantum wire</i>, untuk meningkatkan akurasi dan keterbacaan rangkuman.</p>

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Rabu	16/07/2025	09:35	16:45	7 Jam 10 Menit	<p>Memperdalam pembelajaran materi tentang gerbang kuantum satu qubit, termasuk karakteristik dasar seperti sifat uniter dan perilaku gerbang X dalam basis alternatif.</p> <p>Kegiatan dilanjutkan dengan latihan soal pembuktian konsep penting seperti identitas dasar operator dan teori larangan cloning.</p> <p>Kemudian, mempelajari konsep orthonormal sebagai dasar struktur ruang kuantum, serta penjelasan notasi dagger dan konjugat kompleks dalam konteks perhitungan amplitudo dan probabilitas.</p>

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Kamis	17/07/2025	09:34	16:14	6 Jam 40 Menit	<p>Mempelajari gerbang kuantum multi-qubit seperti CNOT, SWAP, dan Toffoli, beserta urutan operasinya dalam membentuk sistem kuantum kompleks. Fokus pembelajaran hari ini yaitu mencakup hubungan antar qubit dalam superposisi dan entanglement, serta sifat uniter dan identitas penting pada operasi multi-qubit.</p> <p>Untuk memperkuat pemahaman, dilakukan analisis pembentukan Bell state <math> \Phi^+\rangle</math>, dimulai dari state <math> 00\rangle</math>, aplikasi Hadamard pada qubit pertama, dan CNOT untuk membentuk entanglement. Dibuktikan secara matematis bahwa Bell state tidak dapat dipisah sebagai produk tensor dua qubit independen, serta dikaji empat bentuk Bell state dan ciri khas korelasi kuantumnya.</p>

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Jumat	18/07/2025	09:00	16:38	7 Jam 38 Menit	<p>Melakukan review mendalam mengenai konsep gerbang kuantum multi-qubit seperti CNOT, CCNOT (Toffoli), serta membedakan antara keadaan kuantum entangled dan separable. Pembahasan mencakup pembuktian bentuk entanglement berdasarkan notasi tensor, serta peran fase global dalam sistem kuantum.</p> <p>Selain itu, melakukan diskusi penerapan konsep entanglement dalam berbagai bidang seperti komunikasi dan komputasi kuantum. Kegiatan dilanjutkan dengan sesi presentasi materi, diskusi, dan latihan bersama untuk memperkuat pemahaman.</p> <p>Di akhir kegiatan, mulai menyusun template laporan kerja praktik menggunakan L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X dengan latihan struktur dokumen dan membaca dokumentasi paket-paket dasar seperti graphicx, caption, tabular, dan sebagainya.</p>

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Sabtu	19/07/2025	–	–	–	Libur
Minggu	20/07/2025	–	–	–	Libur
<b>Total Jam Mingguan</b>					35 Jam 19 Menit
					<p style="text-align: center;"><b>Mengetahui,</b>  Atasan Langsung/  Pembimbing KP Lapangan</p> <p style="text-align: right;">Dr. Ahmad Ridwan  Tresna Nugraha</p>

**LOGBOOK 2****Pekan ke-4****Nama / NIM : Muh Zaidan Fauzan / 1104220063**

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Senin	21/07/2025	09:44	16:51	7 Jam 07 Menit	<p>Kegiatan hari ini fokus untuk memahami secara mendalam pengantar Pembelajaran Mesin Kuantum (QML), membedakannya dari ML klasik, serta mengidentifikasi tantangan dan prospeknya. Pembelajaran kali ini mencakup peran komputasi kuantum sebagai pelengkap alur kerja ML klasik, terutama dalam penerapan algoritma kuantum pada data klasik.</p> <p>Kegiatan dilanjutkan dengan membuat resume dan catatan penting dari materi yang dibaca, meliputi pemetaan data, diskusi mengenai batasan QML, dekuantisasi dan overhead data, serta bukti keunggulan nyata dari algoritma kuantum.</p>

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Selasa	22/07/2025	09:10	16:50	7 Jam 40 Menit	<p>Kegiatan hari ini mempelajari secara mendalam ulasan Pembelajaran Mesin (ML) Klasik, fokus pada Support Vector Machine (SVM) dan Neural Networks (NN) sebagai dasar QML. Pembahasan meliputi kategori utama ML dan bagaimana kuantum terlibat di dalamnya.</p> <p>Kemudian, dilanjutkan dengan membuat resume yang merangkum poin-poin kunci SVM (seperti Kernel Trick) dan NN (fungsi aktivasi non-linear). Resume ini juga membandingkan Kernel Klasik dengan Quantum Kernel Estimation serta memperkenalkan Variational Quantum Classifiers (VQC) dan Neural Networks Kuantum (QNN), termasuk konsep data reuploading.</p> <p>Lalu, kegiatan diakhiri dengan presentasi dan brainstorming topik riset pembuatan RF-LSTM dan RF-QLSTM, merancang untuk mengaplikasikan pemahaman ML klasik dan potensi QML yang telah ditinjau.</p>

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Rabu	23/07/2025	09:22	16:56	7 Jam 34 Menit	<p>Kegiatan hari ini berfokus pada persiapan data untuk proyek machine learning. Kegiatan tersebut meliputi discussion bersama tim, pembimbing, dan AI mengenai strategi untuk raw data collection dan proses validation selanjutnya, termasuk normalisasi dan cleaning. Langkah awal yang krusial ini memastikan kualitas dan kesiapan data untuk pelatihan model.</p> <p>Setelah discussion strategis tersebut, dilanjutkan dengan tugas praktis raw data collection yang spesifik dari website BMKG online. Ini melibatkan pengumpulan informasi yang diperlukan (terdiri dari fitur dan label untuk ML training dan validation) untuk membangun dataset yang proper guna analisis lebih lanjut.</p>

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Kamis	24/07/2025	09:00	16:30	7 Jam 30 Menit	<p>Kegiatan hari ini berfokus pada data cleaning dan imputation. Dimulai dengan mengubah semua nilai kosong menjadi NaN untuk standarisasi. Selanjutnya, dilakukan imputasi data untuk menangani missing values menggunakan beberapa metode yang berbeda untuk evaluation dan perbandingan. Metode yang digunakan antara lain terdapat linear interpolation, forward fill, backward fill, dan moving average.</p> <p>Langkah-langkah ini dilakukan untuk memastikan kualitas dataset sebelum pada tahapan selanjutnya, yaitu menentukan sequence length dan pembuatan classical ML.</p>

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Jumat	25/07/2025	09:19	16:50	7 Jam 31 Menit	<p>Hari ini menyiapkan data untuk model Machine Learning (ML) dan Quantum Machine Learning (QML). Kemudian, meninjau teknik <i>encoding</i> data QML dari IBM, lalu merancang dan menerapkan proses <b>imputasi</b> serta <b>normalisasi</b> untuk data prediksi curah hujan. Untuk imputasi, dicoba empat metode berbeda (<i>Moving Average</i>, <i>Linear Interpolation</i>, <i>Backward Fill</i>, dan <i>Forward Fill</i>), sementara normalisasi disesuaikan untuk model klasik (rentang <math>[0, 1]</math>) dan kuantum (rentang <math>[0, \pi]</math>).</p> <p>Semua data yang telah diproses disimpan sebagai <i>intermediate files</i> untuk digunakan nanti. Lalu, membuat <i>Python virtual environment</i> khusus untuk proyek ini. Terakhir, memperdalam pemahaman tentang <b>Postulat Mekanika Kuantum</b> dari buku <i>Quantum Mechanics Distilled</i> sebagai fondasi teori untuk bagian QML proyek.</p>

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Sabtu	26/07/2025	–	–	–	Libur
Minggu	27/07/2025	–	–	–	Libur
<b>Total Jam Mingguan</b>					37 Jam 22 Menit
					<p style="text-align: center;"><b>Mengetahui,</b>  Atasan Langsung/  Pembimbing KP Lapangan</p> <p style="text-align: right;">Dr. Ahmad Ridwan  Tresna Nugraha</p>

**LOGBOOK 2****Pekan ke-5****Nama / NIM : Muh Zaidan Fauzan / 1104220063**

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Senin	28/07/2025	09:10	16:55	7 Jam 45 Menit	<p>Reorganisasi dan refaktor dokumentasi pada repositori <i>tacit-knowledge</i>. Melakukan revisi minor pada beberapa tulisan terkait QML agar lebih jelas dan akurat.</p> <p>Menyusun <i>summary</i> mengenai <i>Quantum Mechanics</i>, terutama perbedaan mendasar antara kuantum dan klasik.</p> <p>Menjalankan kode Python untuk tahap <i>data preparation</i> (normalisasi dan pembuatan sequence) yang sudah disiapkan sebelumnya, guna melanjutkan proses analisis data.</p>

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Selasa	29/07/2025	09:13	16:40	7 Jam 27 Menit	<p>Finalisasi dan troubleshooting terhadap kode <i>data preparation</i> sehingga siap digunakan untuk model RF-LSTM dan RF-QLSTM.</p> <p>Mengikuti kolokium daring dengan judul "<i>Reducing the Quantum Circuit Footprint for Noise-Resilient Quantum Chemistry using the Transcorrelated Method and Adaptive Circuit Ansätze</i>".</p> <p>Membuat rangkuman final terkait postulat-postulat <i>Quantum Mechanics</i> berdasarkan catatan sebelumnya, lalu menyimpannya dalam repositori <i>tacit-knowledge</i>.</p>

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Rabu	30/07/2025	09:17	16:30	7 Jam 13 Menit	<p>Melakukan <i>refinement</i> dan pengorganisasian <i>summary project</i>. Merapikan persamaan matematika ML/QML di repositori <i>tacit-knowledge</i>.</p> <p>Memindahkan file laporan dari Overleaf pribadi ke akun Overleaf pembimbing untuk mempermudah monitoring.</p> <p>Membaca paper terkait pengembangan RF-LSTM dan RF-QLSTM, menuliskan <i>highlights</i>, lalu mulai membuat <i>initial code</i> hingga tahap evaluasi di Jupyter Notebook.</p>
Kamis	31/07/2025	09:02	16:05	7 Jam 03 Menit	<p>Melakukan <i>troubleshooting</i> kode model kuantum dengan merujuk pada dokumentasi resmi Qiskit dan sumber lain untuk mengatasi error.</p> <p>Menyesuaikan format laporan agar sesuai panduan resmi dan memulai penulisan laporan Bab 1.</p>

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Jumat	01/08/2025	09:19	19:00	9 Jam 41 Menit	<p>Fokus pada dua hal utama: (1) <i>troubleshooting</i> kode model kuantum dengan acuan Qiskit tutorial dan referensi resmi, guna memastikan fungsionalitas berjalan normal; (2) membangun dan menjalankan model klasik yang mencakup proses training, validation, testing, hingga prediction.</p> <p>Model klasik berhasil dijalankan dan hasil akhirnya diperoleh untuk menjadi data penting dalam analisis dan perbandingan tahap selanjutnya.</p>
Sabtu	02/08/2025	–	–	–	Libur
Minggu	03/08/2025	–	–	–	Libur
<b>Total Jam Mingguan</b>					<b>39 Jam 09 Menit</b>
					<b>Mengetahui, Atasan Langsung/ Pembimbing KP Lapangan</b>
					<b>Dr. Ahmad Ridwan Tresna Nugraha</b>

**LOGBOOK 2****Pekan ke-6****Nama / NIM : Muh Zaidan Fauzan / 1104220063**

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Senin	04/08/2025	09:03	17:00	7 Jam 57 Menit	<p>Kegiatan difokuskan pada final presentation dan perbaikan laporan. Membuat materi presentasi berupa Power Point untuk memaparkan hasil kerja praktik secara menyeluruh.</p> <p>Selanjutnya, hasil tersebut dipresentasikan kepada para peneliti grup Quantum Materials dalam agenda weekly meeting tanggal 4 Agustus 2025.</p> <p>Setelah itu dilakukan re-desain dan perancangan ulang penulisan BAB 1 laporan sesuai panduan kampus, agar format laporan lebih sesuai standar yang ditetapkan.</p>

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Selasa	05/08/2025	09:10	17:40	8 Jam 30 Menit	<p>Fokus kegiatan pada penulisan laporan BAB 2 mengenai profil perusahaan tempat kerja praktik berlangsung, yang mencakup informasi detail perusahaan.</p> <p>Dilanjutkan dengan re-installation pada tiga unit Raspberry Pi 5 untuk membangun klaster mini dengan nama qupi0–qupi2. Unit qupi0 difungsikan sebagai server dengan terlebih dahulu menghapus format SSD sebelum konfigurasi, sementara qupi1 dan qupi2 dikonfigurasikan sebagai client dalam klaster tersebut.</p>

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Rabu	06/08/2025	09:24	17:55	8 Jam 31 Menit	<p>Hari ini dimulai dengan acara perpisahan dari kelompok riset <i>quantum materials</i> yang menandai berakhirnya klaster magang Telkom University. Kemudian, dilanjutkan kegiatan untuk mengatasi masalah <i>boot</i> pada <b>Raspberry Pi 5</b> yang digunakan untuk membangun klaster komputer mini. Sistem mengalami kegagalan <i>boot</i> berulang karena kesalahan konfigurasi atau referensi PARTUUID. Proses <i>troubleshooting</i> meliputi verifikasi perangkat penyimpanan, <i>mounting</i> partisi secara manual, dan koreksi parameter <i>boot</i>.</p> <p>Solusi ditemukan setelah SSD dicabut dari Raspberry Pi, yang memaksa SD Card sebagai media <i>boot</i> utama. Langkah berikutnya adalah melakukan <i>re-flash</i> sistem operasi ke dalam SSD untuk memastikan <i>deployment</i> klaster berjalan dengan baik.</p>

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Kamis	07/08/2025	09:52	16:33	6 Jam 41 Menit	Fokus kegiatan pada revisi dan peninjauan ulang penulisan BAB 2 laporan kerja praktik. Dilanjutkan dengan konfigurasi klaster Raspberry Pi 5 yang mencakup instalasi dan pengaturan <i>Network File System (NFS)</i> serta <i>Network Information Service (NIS)</i> untuk membangun koneksi antara server (master node) dengan client (worker nodes). Tahapan selanjutnya yaitu instalasi Slurm sebagai sistem manajemen tugas ( <i>task management</i> ) pada klaster yang dibangun.

Hari	Tanggal	Jam Datang	Jam Pulang	Jumlah Jam	Kegiatan
Jumat	08/08/2025	09:55	15:30	5 Jam 35 Menit	<p>Kegiatan diarahkan untuk melanjutkan penulisan laporan BAB III mengenai deskripsi aktivitas harian mahasiswa selama kerja praktik dengan memperhatikan panduan penulisan dan framework yang berlaku.</p> <p>Setelah itu dilanjutkan dengan pembuatan logbook final dengan memindahkan seluruh entri yang sebelumnya disusun di Elsa BRIN ke dalam file template logbook yang telah disediakan oleh pembimbing.</p>
Sabtu	09/08/2025	-	-	-	Libur
Minggu	10/08/2025	-	-	-	Libur
<b>Total Jam Mingguan</b>					37 Jam 14 Menit
					<b>Mengetahui,</b> Atasan Langsung/ Pembimbing KP Lapangan
					<b>Dr. Ahmad Ridwan</b> <b>Tresna Nugraha</b>