



VARIATIONAL QUANTUM CLASSIFIER (VQC) UNTUK KLASIFIKASI SINYAL HIGGS BOSON

HALIM SAJIDI



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “*Variational Quantum Classifier* (VQC) untuk Klasifikasi Sinyal Higgs Boson” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Maret 2025

Halim Sajidi
G7401201087

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



ABSTRAK

HALIM SAJIDI. *Variational Quantum Classifier* (VQC) untuk Klasifikasi Sinyal Higgs Boson. Dibimbing oleh R. TONY IBNU SUMARYADA WIJAYA PUSPITA dan SITTI YANI.

Higgs boson adalah partikel fundamental yang memberikan massa kepada partikel elementer sesuai Model Standar (SM) fisika partikel. Validasi keberadaannya penting untuk memastikan konsistensi SM. Penelitian ini bertujuan menganalisis peluruhan Higgs boson menjadi pasangan tau-lepton ($\tau^+\tau^-$) menggunakan kombinasi *Neural Network* klasik dan *Variational Quantum Classifier* (VQC). Data yang digunakan berasal dari ATLAS *full-detector simulation*, meliputi peristiwa *signal* yaitu peluruhan Higgs ke tautau serta tiga *background* utama: peluruhan $Z \rightarrow \tau^+\tau^-$, $W + jet$, dan t^+t^- . *Data preprocessing* mencakup pembersihan, transformasi, penanganan data tak seimbang (teknik SMOTE), dan pembagian data menjadi data latih dan uji. *Neural Network* klasik dirancang dengan fungsi aktivasi *sigmoid* dan *optimizer Adam*, sedangkan VQC memanfaatkan *ZZFeatureMap* dan *quantum circuits* untuk klasifikasi. *Neural Network* (NN) memberikan kinerja yang baik, dengan akurasi lebih dari 80%. *Variational Quantum Classifier* (VQC) menghasilkan akurasi kurang dari 70%. Penggunaan teknik SMOTE pada data latih meningkatkan akurasi model VQC. *Neural Network* klasik lebih unggul dalam hal akurasi, efisiensi, dan kemampuan generalisasi pada dataset ini dibandingkan dengan VQC.

Kata kunci: Higgs boson, *Neural Network*, *Variational Quantum Classifier*

ABSTRACT

HALIM SAJIDI. Variational Quantum Classifier (VQC) for Higgs Boson Signal Classification. Supervised by R. TONY IBNU SUMARYADA WIJAYA PUSPITA and SITTI YANI.

The Higgs boson is a fundamental particle that gives mass to elementary particles according to the Standard Model (SM) of particle physics. Validation of its existence is important to ensure the consistency of the SM. This study aims to analyze the decay of the Higgs boson into tau-lepton pairs ($\tau^+\tau^-$) using a combination of classical Neural Network and Variational Quantum Classifier (VQC). The data used comes from the ATLAS full-detector simulation, including the signal event, the Higgs decay to tautau, and three main backgrounds: the decay of $Z \rightarrow \tau^+\tau^-$, $W + jet$, and t^+t^- . Data preprocessing includes cleaning, transformation, handling of unbalanced data (SMOTE technique), and division of data into training and test data. The classical Neural Network is designed with sigmoid activation function and Adam optimizer, while VQC utilizes ZZFeatureMap and quantum circuits for classification. The Neural Network (NN) provided good performance, with an accuracy of over 80%. The Variational Quantum Classifier (VQC) yielded less than 70% accuracy. The use of SMOTE techniques on the training data improved the accuracy of the VQC model. The classical Neural Network is superior in terms of accuracy, efficiency, and generalization ability on this dataset compared to VQC.

Keywords: Higgs boson, Neural Network, Variational Quantum Classifier.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025¹
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



VARIATIONAL QUANTUM CLASSIFIER (VQC) UNTUK KLASIFIKASI SINYAL HIGGS BOSON

HALIM SAJIDI

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Fisika

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

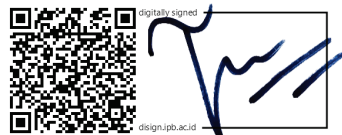
1. Prof. Dr. Husin Alatas, S.Si., M.Si.
2. Dr. Setyanto Tri Wahyudi, S.Si., M.Si.



Judul Skripsi : *Variational Quantum Classifier (VQC)* untuk Klasifikasi Sinyal
Higgs Boson
Nama : Halim Sajidi
NIM : G7401201087

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada Wijaya
Puspita, S.Si., M.Si.
NIP. 197205191997021001

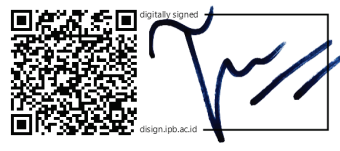


Pembimbing 2:
Dr. Sitti Yani, S.Si., M.Si.
NIP. 198606242019032019



Diketahui oleh

Ketua Departemen Fisika
Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada Wijaya Puspita,
S.Si., M.Si.
NIP. 197205191997021001



Tanggal Ujian: 28 Februari 2025

Tanggal Lulus:



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Agustus 2024 sampai bulan November 2024 ini ialah divisi teori, dengan judul “**VARIATIONAL QUANTUM CLASSIFIER (VQC) UNTUK KLASIFIKASI SINYAL HIGGS BOSON**”.

Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan karya ilmiah ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Alm. Ahmad Sanusi dan Ibu Nurhayati selaku orang tua penulis, serta kakak dan adik penulis yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih yang tak pernah henti.
2. Bapak Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada Wijaya Puspita, S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing pertama dan Ibu Dr. Sitti Yani, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan arahan, dukungan, dan bimbingan dengan penuh kesabaran dan turut berkontribusi dengan memberikan saran-saran berharga.
3. Bapak Prof. Dr. Husin Alatas, S.Si., M.Si. dan Dr. Setyanto Tri Wahyudi, S.Si., M.Si. selaku penguji yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis dalam penulisan skripsi ini.
4. Seluruh dosen Departemen Fisika yang selama empat tahun memberikan ilmu pengetahuan yang bermanfaat kepada penulis serta kepada seluruh teknisi dan staff akademik yang telah membantu dan memberi banyak informasi selama perkuliahan.
5. Sugih, Trio, Ineke, Vitro, Zumar, Nia, Tomy, Maulida, Dadan, dan Nurdin, terima kasih atas kerjasama, semangat, dan dukungan yang diberikan selama proses penulisan skripsi ini.
6. Hivi!, Keshi, PRYVT, Teo Glacier, Luke Chiang, NewJeans, dan banyak musisi lainnya yang lagunya telah menemani penulis selama proses penulisan skripsi.
7. The Sims 4 dan Stardew Valley yang telah menjadi penghibur selama proses penulisan skripsi ini.
8. Semua pihak yang terlibat dalam penulisan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan..

Bogor, Maret 2025

Halim Sajidi



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Ruang Lingkup	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Higgs Boson	3
2.2 Higgs <i>Coupling</i> ke Fermions	3
2.3 Proses <i>background</i>	4
2.4 Machine Learning	5
2.5 <i>Deep Learning</i>	5
2.6 <i>Artificial Neural Networks</i>	6
2.7 <i>Quantum Computing</i>	7
2.8 <i>Quantum Machine Learning</i>	7
2.9 <i>Variational Quantum Classifier</i>	7
III METODE	9
3.1 Waktu dan Tempat	9
3.2 Alat dan Bahan	9
3.3 Dataset	9
3.4 <i>Data Preprocessing</i>	9
3.5 <i>Splitting Data</i> (Pembagian Data)	10
3.6 <i>Model Development</i> (Pengembangan Model)	10
3.7 Model Evaluation (Evaluasi Model)	11
IV HASIL DAN PEMBAHASAN (terpisah atau gabung)	12
4.1 Dataset	12
4.2 <i>Data Preprocessing</i> (Pra-pemrosesan Data)	13
4.3 <i>Splitting Data</i> (Pembagian Data)	15
4.4 <i>Feature Selections</i> (Pemilihan Fitur)	16
4.5 <i>Model Development</i> (Pengembangan Model)	17
4.6 <i>Model Evaluation</i> (Evaluasi Model)	23
V SIMPULAN DAN SARAN	25
5.1 Simpulan	25
5.2 Saran	25
DAFTAR PUSTAKA	26
LAMPIRAN	28
RIWAYAT HIDUP	32

DAFTAR TABEL

1	Contoh Statistical Summary	12
2	Frekuensi distribusi Label	13
3	Jumlah <i>missing value</i>	13
4	Pembagian data <i>train</i>	16
5	Konstruksi model <i>Neural Network</i>	17
6	Nilai metrik evaluasi setiap model pada data latih	23
7	Nilai metrik evaluasi setiap model pada data uji	24

DAFTAR GAMBAR

1	Produksi $H \rightarrow \tau^+ \tau^-$	3
2	Produksi $Z \rightarrow \tau^+ \tau^-$	4
3	Produksi $W + jet$	4
4	Produksi $t\bar{t}$	5
5	Model <i>artificial neural networks</i> umum	6
6	<i>Classical</i> bit (a) dan <i>qubit</i> (b)	7
7	Struktur <i>variational quantum algorithm</i>	8
8	Diagram alir proses pengembangan model	11
9	Distribusi frekuensi label	15
10	<i>Feature Importance</i>	16
11	Grafik <i>loss function</i> model <i>neural network</i> menggunakan 23 kolom tanpa SMOTE	18
12	Grafik <i>loss function</i> model <i>neural network</i> menggunakan 23 kolom dengan SMOTE	18
13	Grafik <i>loss function</i> model <i>neural network</i> menggunakan 4 kolom tanpa SMOTE	19
14	Grafik <i>loss function</i> model <i>neural network</i> menggunakan 4 kolom tanpa SMOTE	19
15	<i>Quantum Circuit</i> dari <i>ZZFeatureMap</i>	20
16	<i>Quantum Circuit</i> dari <i>Ansatz</i>	21
17	Grafik <i>objective function value</i> model VQC menggunakan 4 kolom tanpa SMOTE	21
18	Grafik <i>objective function value</i> model VQC menggunakan 4 kolom tanpa SMOTE	22

DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Pemrograman Model <i>Neural Network</i> (NN) dan <i>Variational Quantum Classifier</i> (VQC)	29
2	Lampiran 2 Deskripsi Fitur pada Dataset	29
3	Lampiran 3 <i>Quantum Gates</i>	
4	Lampiran 4 Visualisasi Distribusi Kolom dalam Dataset Berdasarkan Label dengan Histogram	30