UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Simulasi Sirkuit Kuantum yang Efisien pada Komputer Klasik Menggunakan Pairwise-Qubit Subsystems dan LSTM
Santana Yuda Pradata, Muhammad Alfian Amrizal, B.Eng., M.I.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

Halaman Judul ii

Lembar Pengesahan iii

Pernyataan Bebas Plagiasi iv

Halaman Persembahan v

Halaman Motto vi

PRAKATA vii

INTISARI xiv

ABSTRACT xvi

I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Batasan Masalah 3
1.5 Manfaat Penelitian 3

II TINJAUAN PUSTAKA 5

2.1 Simulasi Komputasi Kuantum Berbasis *Tensor Networks* 6
2.2 Simulasi Komputasi Kuantum Berbasis *Single-Qubit Subsystem* . . . 6
2.3 Aplikasi Metode Simulasi untuk Algoritma Kuantum dan Permasalahan Nyata 7
2.3.1 Simulasi Algoritma Kuantum 7
2.3.2 Simulasi pada Permasalahan Nyata 7
2.4 Deep Learning 8

III DASAR TEORI 10

3.1 Notasi, Konsep, dan Operasi Matematis 10
3.1.1 Notasi Matematis 10

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Simulasi Sirkuit Kuantum yang Efisien pada Komputer Klasik Menggunakan Pairwise-Qubit Subsystems dan LSTM
Santana Yuda Pradata, Muhammad Alfian Amrizal, B.Eng., M.I.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.1.2 Hilbert Space, Dirac Notation, Kronecker Product, dan Partial Trace . . . 10
3.1.3 Operasi pada Matriks . . . 13
3.2 Quantum State . . . 13
3.2.1 Statevector . . . 13
3.2.2 Density Matrix . . . 14
3.2.3 Measurement Probability . . . 14
3.2.4 Subsystem . . . 15
3.3 Unitary, Hermitian, dan Observable, dan Pauli Matrices . . . 15
3.3.1 Unitary Evolution . . . 15
3.3.2 Well-Known Unitary Transformations . . . 16
3.3.3 Hermitian Matrix dan Observable . . . 18
3.3.4 Expectation Value . . . 18
3.3.5 Pauli Matrices . . . 19
3.4 Metrik pada Quantum State . . . 20
3.4.1 Entanglement . . . 20
3.4.2 Fidelity . . . 21
3.5 Algoritma Shor . . . 23
3.5.1 Reduksi ke Masalah Periodik . . . 23
3.5.2 Quantum Subroutine: Period Finding dengan Register Kedua . . . 24
3.5.3 Kompleksitas . . . 26
3.6 Tensor Network: Matrix Product State . . . 26
3.7 DFT-inspired approach for QCs . . . 27
3.7.1 Pengembangan QC-DFT dengan Deep Learning . . . 29
3.8 Long Short-Term Memory . . . 31

IV METODOLOGI PENELITIAN 33
4.1 Deskripsi Penelitian . . . 33
4.2 Metode Usulan . . . 34
4.2.1 Alur Simulasi PQS . . . 34
4.2.2 Rumus Matematis Simulasi PQS . . . 38
4.2.3 Integrasi Arsitektur Multi-Hidden Long Short-Term Memory untuk Simulasi PQS . . . 40
4.3 Studi Kasus: Simulasi Sirkuit Algoritma Shor . . . 44
4.3.1 Pencarian Periode yang *Fault-Tolerant* dengan PQS . . . 46

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Simulasi Sirkuit Kuantum yang Efisien pada Komputer Klasik Menggunakan Pairwise-Qubit Subsystems dan LSTM
Santana Yuda Pradata, Muhammad Alfian Amrizal, B.Eng., M.I.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.3.2 Kompleksitas dan Pengulangan 47
4.4 Rancangan Studi Eksperimental 48
4.4.1 *Generation* dan *Splitting* Dataset 49
4.4.2 Metrik: Probabilitas Keberhasilan 52
4.4.3 Pengujian 53
4.4.4 Perangkat Keras dan Perangkat Lunak 54

V IMPLEMENTASI 55
5.1 Implementasi Library Simulasi PQS 55
5.2 Implementasi Multi-Hidden LSTM untuk Simulasi PQS 62
5.3 Implementasi Pencarian Semiprime 74
5.4 Implementasi Generasi Dataset 75
5.5 Implementasi Pelatihan Model 80
5.6 Implementasi Simulasi PQS untuk Algoritma Shor 82
5.7 Implementasi Simulasi Eksak untuk Algoritma Shor 84
5.8 Implementasi Pembuatan Plot 86

VI HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 95
6.1 Loss Function 95
6.2 Waktu Simulasi 96
6.3 Probabilitas Keberhasilan 98
6.4 Distribusi Probabilitas Pengukuran 99
6.5 Benchmark terhadap Penelitian Sebelumnya 103
6.5.1 Contoh perhitungan: Shor pada 40 qubit (hasil ekstrapolasi). . 103
6.5.2 Contoh perhitungan: QFT pada 36 qubit (hasil pengukuran langsung). 104

VIIKESIMPULAN DAN SARAN 105
7.1 Kesimpulan 105
7.2 Saran 107

Daftar Singkatan 114

Glosarium 115