



## DAFTAR ISI

<b>Halaman Judul</b>	ii
<b>Halaman Persetujuan</b>	iii
<b>Halaman Pernyataan</b>	iv
<b>Halaman Persembahan</b>	v
<b>Halaman Motto</b>	vi
<b>PRAKATA</b>	ix
<b>INTISARI</b>	xvii
<b>ABSTRACT</b>	xviii
<b>I PENDAHULUAN</b>	1
1.1 Latar Belakang . . . . .	1
1.2 Rumusan Masalah . . . . .	2
1.3 Batasan Masalah . . . . .	2
1.4 Tujuan Penelitian . . . . .	2
1.5 Manfaat Penelitian . . . . .	3
1.6 Metode Penelitian . . . . .	3
<b>II TINJAUAN PUSTAKA</b>	5
<b>III DASAR TEORI</b>	7
3.1 Komputer Kuantum . . . . .	7
3.1.1 Bit Kuantum . . . . .	7
3.1.2 Representasi Keadaan . . . . .	8
3.1.3 Gerbang Kuantum dan Operasi pada Bit Kuantum . . . . .	8
3.1.4 <i>Quantum Fourier Transform</i> . . . . .	9
3.1.5 Simulasi <i>Quantum Fourier Transform</i> . . . . .	9
3.2 Komputasi Paralel . . . . .	11
3.2.1 Taksonomi Flynn . . . . .	11



3.3 Waktu Eksekusi dan <i>Speedup</i> . . . . .	11
3.4 <i>Central Processing Unit (CPU)</i> . . . . .	12
3.5 <i>Graphics Processing Unit (GPU)</i> . . . . .	13
3.6 <i>Compute Unified Device Architecture (CUDA)</i> . . . . .	15
3.6.1 Kernel CUDA dan Hierarki <i>Thread</i> . . . . .	15
3.6.2 Hierarki Memori . . . . .	16
<b>IV ANALISIS DAN RANCANGAN SISTEM</b> . . . . .	<b>17</b>
4.1 Alat dan Bahan . . . . .	17
4.2 Tahapan Penelitian . . . . .	17
4.3 Rancangan Implementasi . . . . .	18
4.4 Rancangan Implementasi Representasi Keadaan . . . . .	18
4.5 Rancangan Implementasi Gerbang Kuantum . . . . .	19
4.6 Rancangan Pengujian . . . . .	20
4.6.1 Rancangan Pengujian Validitas Hasil . . . . .	20
4.6.2 Rancangan Pengujian Waktu Eksekusi . . . . .	21
4.6.3 Rancangan Pengujian <i>Speedup</i> . . . . .	21
4.7 Alur Program Utama . . . . .	21
<b>V IMPLEMENTASI</b> . . . . .	<b>23</b>
5.1 Inisiasi Vektor . . . . .	23
5.2 Implementasi Gerbang Kuantum . . . . .	23
5.2.1 <i>Phase Shift</i> . . . . .	24
5.2.2 Gerbang Hadamard . . . . .	24
5.3 Implementasi QFT . . . . .	25
5.3.1 <i>qft_v0</i> . . . . .	25
5.3.2 <i>qft_v1</i> . . . . .	26
5.3.3 <i>qft_v2</i> . . . . .	29
5.3.4 <i>qft_v3</i> . . . . .	30
5.3.5 <i>qft_v4</i> . . . . .	30
5.3.6 <i>qft_v5</i> dan <i>qft_v6</i> . . . . .	31
5.4 Pengujian Ketepatan Hasil . . . . .	31
5.5 Pengujian Waktu Eksekusi dan <i>Speedup</i> . . . . .	32
5.6 Dealokasi Memori . . . . .	33



<b>VI HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>34</b>
6.1 Analisis Ketepatan Hasil, Pengujian Waktu Eksekusi, dan <i>Speed Up</i>	34
6.2 Analisis Hubungan Jumlah Data dengan Waktu Eksekusi	35
6.3 Analisis Standar Deviasi	37
6.4 Analisis Waktu Eksekusi dan <i>Speedup</i> Program <i>qft_v0</i>	39
6.5 Analisis Waktu Eksekusi dan <i>Speedup</i> Program <i>qft_v1</i> (Paralelisasi)	40
6.6 Analisis Waktu Eksekusi dan <i>Speedup</i> Program <i>qft_v2</i>	41
6.7 Analisis Waktu Eksekusi dan <i>Speedup</i> Program <i>qft_v3</i>	41
6.8 Analisis Waktu Eksekusi dan <i>Speedup</i> Program <i>qft_v4</i>	42
6.9 Analisis Waktu Eksekusi dan <i>Speedup</i> Program <i>qft_v5</i>	43
6.10 Analisis Waktu Eksekusi dan <i>Speedup</i> Program <i>qft_v6</i>	44
6.11 Analisis <i>Speedup</i>	44
<b>VII PENUTUP</b>	<b>46</b>
7.1 Kesimpulan	46
7.2 Saran	46
<b>A PROGRAM</b>	<b>49</b>



## DAFTAR TABEL

2.1 Daftar Karya Terdahulu . . . . .	6
4.1 Alat dan Bahan . . . . .	17
6.1 Persamaan Eksponensial . . . . .	35
6.2 Hasil pengujian waktu eksekusi dan <i>speedup</i> untuk program <i>qft_v0</i> . .	40
6.3 Hasil pengujian waktu eksekusi dan <i>speedup</i> untuk program <i>qft_v1</i> . .	40
6.4 Hasil pengujian waktu eksekusi dan <i>speedup</i> untuk program <i>qft_v2</i> . .	41
6.5 Hasil pengujian waktu eksekusi dan <i>speedup</i> untuk program <i>qft_v3</i> . .	42
6.6 Hasil pengujian waktu eksekusi dan <i>speedup</i> untuk program <i>qft_v4</i> . .	42
6.7 Hasil pengujian waktu eksekusi dan <i>speedup</i> untuk program <i>qft_v5</i> . .	43
6.8 Hasil pengujian waktu eksekusi dan <i>speedup</i> untuk program <i>qft_v6</i> . .	44



## DAFTAR GAMBAR

3.1 Rangkaian gerbang kuantum untuk QFT tiga <i>qubit</i> . . . . .	9
3.2 Arsitektur <i>GPU GP104</i> (Nvidia, 2016) . . . . .	13
3.3 Arsitektur CUDA (Su dkk, 2012) . . . . .	14
4.1 Diagram alir rancangan <i>phase shift</i> . . . . .	19
4.2 Diagram alir rancangan Gerbang Hadamard . . . . .	20
6.1 Perbandingan Waktu Eksekusi Program Uji . . . . .	34
6.2 Grafik hubungan jumlah <i>qubit</i> dengan waktu eksekusi beserta persamaan regresi eksponensialnya ( <i>qft_v3</i> ) . . . . .	36
6.3 Perbandingan Standar Deviasi Relatif Waktu Eksekusi <i>libquantum</i> . . . . .	37
6.4 Perbandingan Standar Deviasi Relatif Waktu Eksekusi program uji . . . . .	38
6.5 Perbandingan <i>speedup</i> pada berbagai program . . . . .	39
6.6 Perbandingan <i>speedup</i> pada berbagai program . . . . .	45



## DAFTAR LISTING

5.1 Deklarasi Vektor	23
5.2 Deklarasi Vektor Masukan dan Inisiasi Nilai	23
5.3 Geser Fase	24
5.4 Gerbang Hadamard	24
5.5 <i>qft_v0</i>	25
5.6 <i>qft_v1</i>	26
5.7 <i>qft_v2</i>	29
5.8 <i>qft_v3</i>	30
5.9 <i>qft_v4</i>	30
5.10 Normalisasi L2	32
5.11 Pengujian Waktu Eksekusi	32
5.12 Perhitungan <i>Speedup</i>	33
5.13 Pembebasan Memori	33
5.14 Fungsi Pembebasan Memori Vektor	33
<i>qft.cpp</i>	49
<i>cutil.h</i>	52
<i>qft_gpu_v1.cu</i>	54
<i>qft_gpu_v1.h</i>	57
<i>qft_gpu_v2.cu</i>	57
<i>qft_gpu_v2.h</i>	60
<i>qft_gpu_v3.cu</i>	60
<i>qft_gpu_v3.h</i>	63
<i>qft_gpu_v4.cu</i>	63
<i>qft_gpu_v4.h</i>	66
<i>qft_gpu_v5.cu</i>	66
<i>qft_gpu_v5.h</i>	71
<i>qft_gpu_v6.cu</i>	72
<i>qft_gpu_v6.h</i>	79
<i>Stopwatch.cpp</i>	79
<i>Stopwatch.h</i>	91
<i>qft_host.cpp</i>	94
<i>qft_host.h</i>	96
<i>qft_gpu_launch.cu</i>	97



<code>qft_gpu_launch.h</code>	101
<code>quantum_utils.cpp</code>	102
<code>quantum_utils.h</code>	109