

**SKRIPSI**

**PENERAPAN ALGORITMA BERNSTEIN-VAZIRANI  
UNTUK 3 QUBIT DALAM MEMECAHKAN  
MASALAH PARITAS SUATU FUNGSI**

**Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Sains Bidang Studi Fisika**



**Disusun Oleh:**

**YOGA RAMA ARDIANSYAH**

**NIM.08021182025015**

**JURUSAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2024**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENERAPAN ALGORITMA BERNSTEIN-VAZIRANI UNTUK 3 QUBIT  
DALAM MEMECAHKAN MASALAH PARITAS SUATU FUNGSI**

**SKRIPSI**

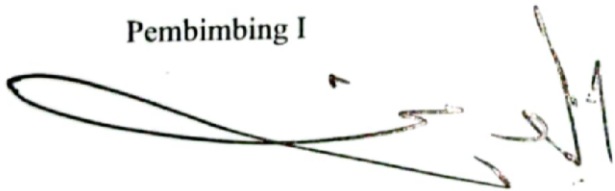
Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains  
Bidang Fisika Fakultas MIPA

Oleh:

**YOGA RAMA ARDIANSYAH**  
NIM.08021182025015

Indralaya, Juli 2024

Pembimbing I



**Dr. Akhmad Aminuddin Bama, S.Si., M.Si**  
NIP. 197009141997021004

Pembimbing II



**Hadi, S.Si., M.T**  
NIP. 197904172002121003

Mengetahui,  
Ketua jurusan Fisika



**Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T.**  
NIP.197009101994121001

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bectanda tangan dibawah ini, mahasiswa Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya:

Nama : Yoga Rama Ardiansyah

Nim : 08021182025015

Judul TA : Penerapan Algoritma Bernstein-Vazirani Untuk 3 Qubit Dalam Memecahkan Masalah Paritas Suatu Fungsi

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun dengan judul tersebut adalah asli atau orisinalitas dan mengikuti penulisan karya ilmiah sampai pada waktu skripsi ini diselesaikan, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika Universitas Sriwijaya.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun. Apabila dikemudian hari terdapat kesalahan atau keterangan yang tidak benar dalam pernyataan ini, maka saya siap bertanggung jawab secara akademik dan bersedia menjalani proses hukum yang ditetapkan.

Indralaya, Juli 2024

Penulis,



Yoga Rama Ardiansyah

## LEMBAR PERSEMBAHAN



Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orangtua saya, **Bapak Indra** dan **Ibu Norma Oktoviliyanti**. Terimakasih telah berkorban dan selalu tulus untuk segalanya. Sekeras apapun saya belajar tidak akan pernah mampu saya menjadi lebih dari mereka, karena semua ilmu yang mampu saya serap, bagaimana saya dapat membuka pikiran untuk belajar dan menerima berasal dari orang tua saya. Terimakasih telah mengajarkan saya mengenai takdir bahwa keputusan apa saja yang saya pilih akan selalu mengarahkan saya ke jalan yang telah saya lalui. Skripsi ini adalah bukti kecil dari segala usaha dan kasih sayang yang telah kalian berikan. Semoga dapat menjadi kebanggaan dan kebahagiaan bagi kalian.
2. Adik-adik saya, **Nabila Putri Rama Indira**, **Nazila Khumaizah Indira** dan **Jazlan Rama Al-Ghazi**. Kalian akan selalu lucu di mata abang, tumbuhlah besar, belajarlah banyak hal, berusahalah menjadi apapun yang kalian suka. Semoga dengan ini bisa menjadi inspirasi dan motivasi bagi kalian untuk terus mengejar impian.
3. Keluarga saya, terutama Nenek dan Alm. Kakek saya. Memori masa kecil saya banyak diisi oleh nasihat-nasihat beliau yang selalu saya ingat.
4. **Amaranthine**, bunga terindah yang saya temui selama kuliah. Semoga hidup baik-baik saja, sehingga segala baik yang kita citakan semuanya terpenuhi. Sampai titik terakhir dari skripsi ini saya tidak pernah menyangka bahwa dia dan fisika adalah kombinasi nyata dari dua hal yang saya cinta.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat dan rahmatnya skripsi yang berjudul “PENERAPAN ALGORITMA BERNSTEIN-VAZIRANI UNTUK 3 QUBIT DALAM MEMECAHKAN MASALAH PARITAS SUATU FUNGSI” dapat diselesaikan dengan lancar hingga akhir. Pembuatan skripsi ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar sarjana sains di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya yang dilaksanakan di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam proposal ini baik dari segi penulisan maupun penyusunannya. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun serta penulis berharap kiranya proposal ini bisa bermanfaat untuk referensi penelitian selanjutnya. Terimakasih saya ucapkan kepada Bapak Dr. Akhmad Aminuddin Bama, M.Si., selaku pembimbing pertama saya dan Bapak Hadi., S. Si., M.T., selaku pembimbing kedua saya yang semoga selalu diberikan rahmat oleh Allah SWT. Terimakasih pula saya ucapkan secara khusus yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
2. Bapak Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Supardi, M.Si., selaku sekretaris Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Akhmad Aminuddin Bama, M.Si. selaku dosen pembimbing skripsi pertama yang telah memberikan dedikasi yang cukup besar sebagai dosen pembimbing, serta telah memberikan banyak sudut pandang baru dalam kehidupan.
5. Bapak Hadi., S. Si., M.T., selaku dosen pembimbing skripsi kedua yang telah memberikan arahan dan masukan yang baik terkait proses penelitian dan penulisan

6. Ibu Dra. Jorena Bangun, M.Si., selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan nasehat yang baik selama berkuliah di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya.
7. Bapak dan Ibu dosen selaku staf pengajar Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat.
8. Kak David selaku admin jurusan yang banyak membantu mengurus surat menyurat di jurusan fisika.
9. Teman-teman “Hantu Ruang Baca” yang selalu bersedia untuk berdiskusi, berkeluh kesah dan belajar bersama.
10. Teman-teman KBI Teori dan Material dan Fisika Angkatan 2020.
11. Seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Indralaya, Juli 2024  
Penulis,

Yoga Rama Ardiansyah  
NIM.08021182025015

# IMPLEMENTATION OF THE BERNSTEIN-VAZIRANI ALGORITHM FOR 3 QUBITS IN SOLVING THE PARITY PROBLEM OF A FUNCTION

YOGA RAMA ARDIANSYAH  
NIM.08021182025015

## ABSTRACT

As transistor dimensions continue to shrink, in line with Moore's Law, they have reached micro dimensions that comply with the principles of quantum mechanics. Richard Feynman's idea of quantum computers has become a new field of study capable of providing solutions to problems that classical computers cannot solve. One of the important basic quantum algorithms is the Bernstein-Vazirani algorithm, which solves the parity problem for a function. This research was conducted by applying mathematical calculations to the process of implementing the Bernstein-Vazirani algorithm on a quantum computer. A 3-qubit Nuclear Magnetic Resonance (NMR) quantum computer system was chosen to run the Bernstein-Vazirani algorithm because it has a simple Hamiltonian form, thus providing a good understanding of how quantum computers work. State measurement on NMR was performed by analyzing the Free Induction Decay (FID) signal due to variations in the magnetic field caused by the Larmor precession of nuclear spins interacting with an external magnetic field. The interpretation results show the state of nuclear spins corresponding to the magnetization magnitude of the FID signal in the frequency domain.

**Keywords:** Quantum Computing, Bernstein-Vazirani, Nuclear Magnetic Resonance, Free Induction Decay.

Indralaya, Juli 2024

Menyetujui,

Pembimbing I

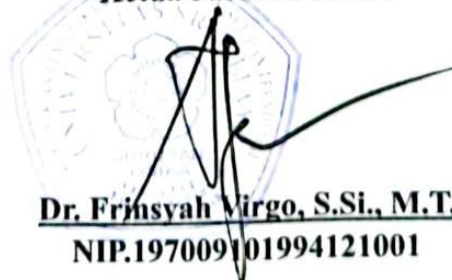
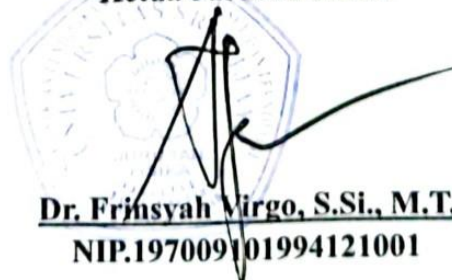
Pembimbing II



Dr. Akhmad Aminuddin Bama, S.Si., M.Si  
NIP. 197009141997021004

Hadi, S.Si., M.T  
NIP. 197904172002121003

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T.  
NIP.197009101994121001

**PENERAPAN ALGORITMA BERNSTEIN-VAZIRANI UNTUK 3 QUBIT  
DALAM MEMECAHKAN MASALAH PARITAS SUATU FUNGSI**

**YOGA RAMA ARDIANSYAH  
NIM.08021182025015**

**ABSTRAK**

Dimensi transistor yang semakin kini mengecil sesuai dengan pernyataan Hukum Moore, telah mencapai dimensi mikro yang mematuhi kaidah mekanika kuantum. Gagasan Richard Feynmann mengenai komputer kuantum menjadi bidang studi baru yang mampu memberikan solusi dari permasalahan yang tidak dapat tercapai pada komputer klasik. Algoritma kuantum dasar yang penting salah satunya adalah algoritma Bernstein-Vazirani yang memecahkan masalah paritas untuk dalam suatu fungsi. Penelitian dilakukan dengan menerapkan perhitungan matematis pada proses penerapan algoritma Bernstein-Vazirani pada komputer kuantum. Sistem komputer kuantum *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR) 3 qubit dipilih untuk menjalankan algoritma Bernstein-Vazirani karena memiliki bentuk hamiltonian yang sederhana sehingga dapat memberikan pemahaman yang baik mengenai cara kerja komputer kuantum. Pengukuran keadaan pada NMR dilakukan dengan analisis sinyal *Free Induction Decay* (FID) akibat dari variasi medan magnet akibat presesi larmor spin inti yang berinteraksi dengan medan magnet eksternal. Hasil interpretasi menunjukkan kondisi keadaan spin inti yang bersesuaian dengan besar magnetisasi dari sinyal FID pada domain frekuensi.

**Kata Kunci:** Komputasi Kuantum, Bernstein-Vazirani, *Nuclear Magnetic Resonance*, *Free Induction Decay*.

Indralaya, Juli 2024

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Akhmad Aminuddin Bama, S.Si., M.Si  
NIP. 197009141997021004

Hadi, S.Si., M.T  
NIP. 197904172002121003

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T.  
NIP.197009101994121001



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	i
LEMBAR PERSEMBAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRACT .....	vi
ABSTRAK .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR SIMBOL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Komputer Klasik.....	5
2.2 Komputer Kuantum .....	7
2.2.1 Qubit .....	7
2.2.2 Gerbang Kuantum.....	8
2.2.3 Algoritma Kuantum Bernstein-Vazirani .....	15
2.3 <i>Nuclear Magnetic Resonance</i> (NMR) .....	18
2.3.1 Presesi Larmor .....	19
2.3.2 <i>Free Induction Decay</i> (FID) .....	21
2.4 <i>Quantum Toolbox in Python</i> (QuTip).....	21
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	23
3.2 Metode Penelitian .....	23
3.3 Tahapan Penelitian .....	23
3.3.1 Penerapan Algoritma Bernstein-Vazirani.....	25
3.3.2 Algoritma Bernstein-Vazirani 3 Qubit dengan <i>Library</i> QuTip ....	25
3.3.3 Algoritma <i>Brute Force</i> untuk Masalah Paritas 3 Qubit.....	27

3.3.4 Penerapan Algoritma Bernstein-Vazirani pada NMR untuk 3 qubit .....	28
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	29
3.5 Interpretasi Hasil Pengukuran .....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	32
4.1 Perhitungan Matematis Masalah Paritas 3 Qubit.....	32
4.1.1 Solusi Klasik Untuk Masalah Paritas 3 Qubit .....	33
4.1.2 Solusi dengan Algoritma Bernstein-Vazirani.....	34
4.2 Algoritma Bernstein-Vazirani 3 Qubit pada Komputer Kuantum NMR.....	39
4.2.1 Hamiltonian Sistem 3 Qubit .....	39
4.2.2 Sirkuit Kuantum Algoritma Bernstein-Vazirani.....	45
4.2.3 Penerapan Algoritma Bernstein-Vazirani.....	47
4.3 Pengukuran Hasil.....	57
4.3.1 Magnetisasi Sistem .....	58
4.3.2 Fungsi Sinyal <i>Free Induction Decay</i> .....	62
4.4 Interpretasi Hasil.....	65
BAB V KESIMPULAN .....	69
5.1 Kesimpulan .....	69
5.2 Saran .....	69
DAFTAR PUSTAKA .....	70
LAMPIRAN.....	73
A. Listing Algoritma Bernstein-Vazirani Menggunakan <i>Library Qutip</i> pada Bahasa Pemrograman Python .....	73
B. Listing Algoritma <i>Brute Force</i> Menggunakan Bahasa Pemrograman Python .....	75
C. Matriks Uniter $\mathbf{U}_{total}$ .....	76

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Bloch Sphere.....	7
<b>Gambar 2.2</b> Sirkuit Kuantum. ....	9
<b>Gambar 2.3</b> Diagram gerbang kuantum X. ....	10
<b>Gambar 2.4</b> Diagram gerbang kuantum Y. ....	10
<b>Gambar 2.5</b> Diagram gerbang kuantum Z. ....	11
<b>Gambar 2.6</b> Diagram gerbang kuantum Hadamard.....	12
<b>Gambar 2.7</b> Diagram gerbang kuantum CNOT. ....	13
<b>Gambar 2.8</b> Diagram gerbang kuantum CCNOT.....	14
<b>Gambar 2.9</b> Rangkaian Algoritma Bernstein-Vazirani. ....	16
<b>Gambar 2.10</b> Preresi Larmor.....	19
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian.....	30
<b>Gambar 4.1</b> Sirkuit Algoritma Bernstein-Vazirani.....	35
<b>Gambar 4.2</b> Simulasi Algoritma Bernstein-Vazirani dengan Library Qutip.....	36
<b>Gambar 4.3</b> Waktu proses algoritma (a) Bernstein-Vazirani dan (b) Brute Force .....	38
<b>Gambar 4.4</b> Diagram Sirkuit Algoritma Bernstein-Vazirani pada NMR.....	45
<b>Gambar 4.5</b> Struktur asam 2,3-Dibromopropanoat .....	65
<b>Gambar 4.6</b> Magnetisasi dari keadaan spin qubit 2,3-Dibromopropanoat.....	66
<b>Gambar 4.7</b> Struktur Dibromofluorometana .....	67
<b>Gambar 4.8</b> Magnetisasi dari keadaan spin qubit Dibromofluorometana .....	68

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Gerbang Logika dan Tabel Kebenaran.....	6
<b>Tabel 3.2</b> Tabel Nilai Masukan dan Keluaran.....	24
<b>Tabel 4.1</b> Nilai masukan dan keluaran masalah paritas .....	32
<b>Tabel 4.2</b> Metode Brute Force untuk memecahkan masalah paritas 3 Qubit.....	33
<b>Tabel 4.3</b> Algoritma Bernstein-Vazirani dengan setiap kemungkinan keadaan awal .....	39
<b>Tabel 4.4</b> Tingkat Energi $\mathcal{H}_{PK}$ dari sistem komputer kuantum NMR 3 Qubit ....	41
<b>Tabel 4.5</b> Tingkat Energi $\mathcal{H}_J$ dari sistem komputer kuantum NMR 3 Qubit.....	43
<b>Tabel 4.6</b> Tingkat Energi $\mathcal{H}$ dari sistem komputer kuantum NMR 3 Qubit.....	44

## DAFTAR SIMBOL

$x$	Bit Masukan Masalah Paritas
$s$	Bit Rahasia Masalah Paritas
$\langle a $	Bra-vektor $a$
$E$	Energi sistem
$\omega_0$	Frekuensi Larmor
$S(t)$	Fungsi Sinyal <i>Free Induction Decay</i>
$\widehat{CNOT}$	Gerbang CNOT
$\hat{H}$	Gerbang Hadamard
$\hat{I}$	Gerbang Identitas
$\hat{U}_f$	Gerbang <i>Oracle</i>
$\hat{X}/\hat{\sigma}_x$	Gerbang Pauli- $x$ /Opeator Pauli- $x$
$\hat{Y}/\hat{\sigma}_y$	Gerbang Pauli- $y$ /Opeator Pauli- $y$
$\hat{Z}/\hat{\sigma}_z$	Gerbang Pauli- $z$ /Opeator Pauli- $z$
$\hat{R}(\theta)$	Gerbang Rotasi
$\psi$	Keadaan Kuantum
$\chi$	Keadaan Spin Sembarang
$ a\rangle$	Ket-vektor $a$
$J$	Konstanta Kopling Skalar
$\hbar$	Konstanta Planck Tereduksi
$M$	Magnetisasi
$\rho$	Matriks Densitas
$B$	Medan Magnet
$\mu$	Momen Magnetik
$\neg$	Negasi
$\wedge$	Operasi Logika AND
$\vee$	Operasi Logika OR
$\oplus$	Operasi Logika XOR
$\dagger$	Operator Adjoin
$\hat{U}_t$	Operator Evolusi Waktu
$\hat{\mathcal{H}}$	Operator Hamiltonian
$*$	Operator Konjugat Komplek

$\hat{I}_z$	Operator Spin-z
$\otimes$	Perkalian Tensor
$P$	Probabilitas
$ 0\rangle/ 1\rangle$	Qubit spin-up/spin-down
$\gamma$	Rasio Giromagnetik Molekul

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Komputer adalah piranti elektronik yang dapat memanipulasi masukan informasi atau data berdasarkan perintah yang diberikan dan memberikan hasil keluaran. Komputer dalam bentuk yang paling sederhana setidaknya memiliki lima bagian utama dengan fungsi yang unik. bagian-bagian tersebut terdiri dari: Masukan, memori, aritmetika dan logika, keluaran dan kontrol. Perkembangan komputer telah melewati empat generasi, dengan komputer generasi pertama yang menggunakan *vacuum tube* untuk menyimpan baris perintah yang kemudian pada generasi kedua *vacuum tube* digantikan oleh transistor. Peningkatan pada komputer generasi ketiga adalah dengan penerapan sirkuit terintegrasi yang kemudian dikembangkan lagi pada komputer generasi keempat dengan menggunakan mikroprosesor. Perkembangan komputer terus berlanjut hingga sampai kepada pemanfaatan kecerdasan buatan (Sinaga, 2015).

Hukum Moore menyatakan bahwa dimensi dari transistor akan terus mengecil sehingga mengakibatkan jumlah transistor meningkat dua kali lipat setiap tahun. Gershenfled menyatakan bahwa jika transistor yang diproduksi semakin kecil, maka lebar kawat pada *chip* komputer tidak akan lebih besar dari ukuran satu atom. Fenomena-fenomena yang terjadi dalam skala ini akan mematuhi hukum fisika kuantum. Gagasan komputer kuantum sendiri pertama kali disampaikan oleh Richard Feynmann pada tahun 1982 yang awalnya dirancang guna mensimulasikan sistem kuantum yang sulit disimulasikan oleh komputer klasik. Permasalahan kombinatorika juga menunjukkan kelemahan dari komputer klasik dan membuka peluang untuk komputer kuantum. Banyak penerapan praktis dari permasalahan kombinatorika masih berada di luar kemampuan komputer klasik, karena jumlah permutasi terus bertambah sehingga membutuhkan waktu sangat lama untuk diproses secara berurutan (Bova *et al.*, 2021).

Pengembangan algoritma kuantum dengan menggunakan komputasi kuantum telah banyak berkembang sehingga memungkinkan penyelesaian masalah penting pada komputer klasik (Bova *et al.*, 2021). Algoritma Deutsch-Jozsa

diusulkan oleh Deutsch dan Jozsa pada tahun 1992, dengan peningkatan yang dilakukan oleh Cleve, Ekert, Macchiavello, dan Mosca pada tahun 1998. Algoritma ini memberikan prosedur dasar dari algoritma kuantum dan mendasari algoritma Simon, algoritma Shor dan algoritma Grover (Qiu & Zheng, 2020). Algoritma Deutsch secara eksperimen berhasil direalisasikan pada komputer kuantum dengan prinsip *Nuclear Magnetic Resonance*, kemudian Algoritma ini juga berhasil diterapkan pada komputer kuantum berbasis ion-trap. Pencapaian-pencapaian yang melibatkan algoritma Deutsch-Jozsa erat kaitannya dengan algoritma Bernstein-Vazirani, yang bisa dianggap sebagai bentuk yang lebih luas dari algoritma sebelumnya (Koji *et al.*, 2017). Algoritma Bernstein-Vazirani digunakan untuk menentukan sekumpulan *bit string*. Algoritma ini juga memiliki berbagai penggunaan dalam *Quantum Key Distribution* dan dalam implementasi transpor qubit ion (Nagata *et al.*, 2019).

Saat mendekati batas komputasi klasik, teknologi komputasi kuantum muncul sebagai inovasi yang menarik perhatian dunia ilmiah. Meskipun kemampuan menjalankan algoritma kuantum sebelumnya hanya bersifat teoretis, perkembangan perangkat keras terbaru membuat perangkat komputasi kuantum kini dapat melakukan komputasi dalam skala terbatas (Bauer *et al.*, 2020). Sistem NMR (*Nuclear Magnetic Resonance*) merupakan salah satu media komputasi kuantum yang dikembangkan pada tahap awal. Dalam komputer kuantum NMR, qubit dengan inti spin-1/2 dipilih kemudian ditempatkan dalam medan magnetik yang memungkinkan sistem kuantum energi dua tingkat yang mewakili qubit  $|0\rangle$  dan  $|1\rangle$  (Xin *et al.*, 2018). Teknik komputasi kuantum NMR sangat maju dibandingkan dengan platform lainnya, sehingga cocok sebagai platform demonstrasi untuk algoritma kuantum (Feng *et al.*, 2023).

Penelitian-penelitian terkait algoritma Bernstein-Vazirani terfokus ke optimalisasi dan pengembangannya, seperti oleh Nagata (2019) yang memperluas algoritma hingga dapat diterapkan untuk menentukan *string integer*. Optimalisasi juga telah dicapai untuk mendapatkan lebih dari satu *string* (Shukla & Vedula, 2023). Algoritma kuantum telah banyak dimanfaatkan secara eksperimental untuk memecahkan berbagai masalah yang sulit dipecahkan oleh komputer klasik, namun penelitian-penelitian tersebut belum ada yang memberikan perhitungan matematis



secara rinci. Penerapan algoritma kuantum Deutsch-Jozsa pada komputer kuantum NMR dengan perhitungan terperinci telah dilakukan untuk 4 qubit, dengan hasil berupa spektrum yang mewakili keadaan qubit setelah diterapkan algoritma Deutsch-Jozsa (Hatmoko *et al*, 2017). Hasil dari penelitian ini secara tidak langsung menunjukkan potensi dari komputer kuantum NMR, sehingga pada penelitian ini akan menggali lebih dalam potensi tersebut guna menunjukkan peluang lebih lanjut dari pemanfaatan komputer kuantum NMR dan memberikan perhitungan matematis yang terperinci dengan penerapan algoritma Bernstein-Vazirani pada komputer kuantum NMR untuk 3 qubit.

### **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana perhitungan matematis dari penerapan Algoritma Bernstein-Vazirani pada komputer kuantum NMR untuk 3 qubit dalam memecahkan masalah paritas?
2. Bagaimana pengukuran keadaan dapat dilakukan terhadap hasil dari penerapan algoritma Bernstein-Vazirani pada komputer kuantum NMR untuk 3 qubit dalam memecahkan masalah paritas?
3. Bagaimana hasil pengukuran terhadap penerapan algoritma Bernstein-Vazirani pada komputer kuantum NMR untuk 3 qubit dalam memecahkan masalah paritas?

### **1.3 Batasan Masalah**

1. Penelitian ini terbatas pada penerapan Algoritma Bernstein-Vazirani pada komputer kuantum NMR dengan fokus pada sistem 3 qubit.
2. Fokus penelitian ini terbatas pada penghitungan yang dilakukan di dalam komputer kuantum NMR, dengan penekanan pada ruang lingkup fisika teori.
3. Interpretasi dari hasil pengukuran keadaan berupa grafik dua dimensi.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

1. Mengkaji perhitungan matematis yang terlibat dalam implementasi Algoritma Bernstein-Vazirani pada komputer kuantum NMR untuk 3 qubit dalam memecahkan masalah paritas.

2. Melakukan pengukuran untuk mengevaluasi hasil dari penerapan Algoritma Bernstein-Vazirani pada komputer kuantum NMR dengan 3 qubit dalam memecahkan masalah paritas.
3. Menganalisis interpretasi dari hasil pengukuran yang berkaitan dengan penerapan Algoritma Bernstein-Vazirani pada komputer kuantum NMR untuk 3 qubit dalam memecahkan masalah paritas.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

1. Kontribusi terhadap perkembangan dalam bidang komputasi kuantum dengan memperluas pemahaman tentang penerapan algoritma kuantum pada komputer kuantum NMR.
2. Memberikan wawasan yang mendalam tentang potensi komputer kuantum NMR untuk memproses informasi kuantum dengan menggunakan algoritma Bernstein-Vazirani.
3. Memberikan dasar bagi penelitian lebih lanjut dalam pengembangan algoritma kuantum dan implementasinya pada berbagai sistem kuantum.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andelita, N., Sudiarta, W., Dian, D., & Kurniawidi, W. (2021). Penerapan Algoritma Kuantum Variational Quantum Eigensolver (VQE) untuk Menentukan Energi Keadaan Dasar Dimer Helium. In *Jurnal Fisika* (Vol. 11, Issue 2). <https://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/jf/index>
- Bama, A.A., 2021. *Fisika Kuantum*. Palembang: SIMETRI.
- Bauer, B., Bravyi, S., Motta, M., & Chan, G. K.-L. (2020). *Quantum algorithms for quantum chemistry and quantum materials science*. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.9b00829>
- Bernhardt, C. (2019). *Quantum Computing for Everyone*. Massachusetts Institute of Technology.
- Bova, F., Goldfarb, A., & Melko, R. G. (2021). Commercial applications of quantum computing. In *EPJ Quantum Technology* (Vol. 8, Issue 1). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-021-00091-1>
- Fadilatul Ilmiyah, N. (2018). Kajian Tentang Kriptosistem McEliece Dalam Menghadapi Tantangan Komputer Kuantum Di Era Revolusi Industri 4.0. In *Prosiding Seminar Nasional MIPA*.
- Feng, G., Lu, D., Li, J., Xin, T., & Zeng, B. (2023). *Quantum computing: principles and applications*. <http://arxiv.org/abs/2310.09386>
- Griffith, D. J. (2005). *Introduction to Quantum Mechanics* (2nd ed.). Pearson Education.
- Hatmoko, B. D., Pembimbing, D., Purwanto, A., Fisika, J., Matematika, F., Ilmu, D., & Alam, P. (n.d.). *Algoritma Deutsch-Jozsa Pada Kuantum Komputer Sistem Nmr (Nuclear Magnetic Resonance) 4 QUBIT*.
- Hidary, J. D. (2021). *Quantum Computing: An Applied Approach Second Edition* (2nd ed.). Springer.
- Hore, P. J., Jones, J. A., Wimperis, S., & Rodney, A. (2014). *Rmn : La Boîte À Outils Comment Fonctionnent Les Séquences D'impulsion ?* (2nd ed.). OXFORD University Press.
- Johansson, J. R., Nation, P. D., & Nori, F. (2012). QuTiP: An open-source Python framework for the dynamics of open quantum systems. *Computer Physics Communications*, 183(8), 1760–1772. <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2012.02.021>
- Junaidi. (2018). *Elektronika Digital* (Dr. JUNAIDI S.Si. M.Sc., Ed.; 1st Ed.). Pustaka Media.

- Koji, N., Nakamura, T., Heidari, S., Farouk, A., & Diep, D. N. (2017). A Generalization of the Bernstein-Vazirani Algorithm. *MOJ Ecology & Environmental Sciences*, 2(1). <https://doi.org/10.15406/mojes.2017.02.00010>
- Linden, N., Barjat, H., & Freeman, R. (1998). *An implementation of the Deutsch-Jozsa algorithm on a three-qubit NMR quantum computer.*
- Mastafa, M. M. P., & Rahmah, U. M. P. (2017). *Elektronika Digital.*
- Mavroeidis, V., Vishi, K., Zych, M. D., & Jøsang, A. (2018). *The Impact of Quantum Computing on Present Cryptography.* <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2018.090354>
- Nagata, K., Ngoc Diep, D., Kumar Patro, S., Geurdes, H., Heidari, S., & Nakamura, T. (2019). Various New Forms of the Bernstein-Vazirani Algorithm Beyond Qubit Systems. In *ASIAN JOURNAL OF MATHEMATICS AND PHYSICS* (Vol. 3, Issue 1).
- Nakahara, M., & Ohmi, T. (2008). *QUANTUM COMPUTING From Linear Algebra to Physical Realizations.* CRC Press.
- Parinduri, I., & Nurhabibah Hutagalung, S. (2019). Perangkaian Gerbang Logika Dengan Menggunakan Matlab (Simulink). *Jurteksi (Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi)*, 5(1), 63–70. <https://doi.org/10.33330/jurteksi.v5i1.300>
- Patrick, D. R., Fardo, S. W., Chandra, V., & Fardo, B. W. (2023). *Electronic Digital System Fundamentals Second Edition* (2nd ed.). River Publishers. [www.riverpublishers.com](http://www.riverpublishers.com)
- Portugal, R. (2023). *Basic Quantum Algorithms.* <http://arxiv.org/abs/2201.10574>
- Qiu, D., & Zheng, S. (2020). Revisiting Deutsch-Jozsa algorithm. *Information and Computation*, 275. <https://doi.org/10.1016/j.ic.2020.104605>
- Sharmila, B., Krithika, V. R., Pal, S., Mahesh, T. S., Lakshmibala, S., & Balakrishnan, V. (2021). *Tomographic entanglement indicators from NMR experiments.* <https://doi.org/10.1063/5.0087032>
- Shukla, A., & Vedula, P. (2023). *A generalization of Bernstein-Vazirani algorithm with multiple secret keys and a probabilistic oracle.* <https://doi.org/10.1007/s11128-023-03978-3>
- Sinaga, D. (2015). Evolusi Komputer, Kinerja Komputer Dan Interconnection Networks Dalam Perkembangan Dunia Teknologi Informatika. *JSI*, 2(2).
- Sutor, R. S. (2019). *Dancing with qubits : how quantum computing works and how it can change the world.* Packt Publisher.
- Syahbani, A. K., Setiana Ana, & Kharisma Fikynindita Ika. (2018). Rancang Bangun Alat Praktikum Gerbang Logika Dasar Berbasis OP-AMP. *Journal of*

*Teaching and Learning Physics*, 3(2), 7–13.  
<https://doi.org/10.15575/jotalp.v3i2.6552>

Xin, T., Wang, B. X., Li, K. R., Kong, X. Y., Wei, S. J., Wang, T., Ruan, D., & Long, G. L. (2018). Nuclear magnetic resonance for quantum computing: Techniques and recent achievements. In *Chinese Physics B* (Vol. 27, Issue 2). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1674-1056/27/2/020308>