

**SOLUSI PERSAMAAN SCHRÖDINGER TAK GAYUT
WAKTU UNTUK KASUS SUMUR POTENSIAL 1D
(*POTENTIAL WELL*) BERBASIS PEMROGRAMAN
PYTHON (*PYTHON PROGRAMMING*) MENGGUNAKAN
*JUPYTER NOTEBOOK***

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Sains Bidang Studi Fisika



Oleh:
ABDUL AZIZ SAPUTRA
NIM. 08021181924005

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

**SOLUSI PERSAMAAN SCHRÖDINGER TAK GAYUT WAKTU UNTUK
KASUS SUMUR POTENSIAL 1D (*POTENTIAL WELL*) BERBASIS
PEMROGRAMAN PYTHON (*PYTHON PROGRAMMING*)
MENGUNAKAN *JUPYTER NOTEBOOK***

SKRIPSI

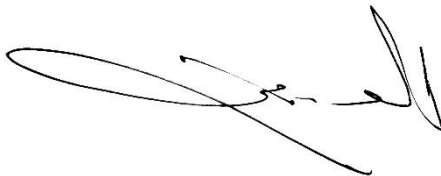
Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains bidang studi Fisika Fakultas MIPA

Oleh:
ABDUL AZIZ SAPUTRA
NIM. 08021181924005

Indralaya, Mei 2023

Pembimbing I

Pembimbing II



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



Dr. Supardi, S.Pd., M.Si
NIP. 197112112002121002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



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

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, Mahasiswa Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya:

Nama : ABDUL AZIZ SAPUTRA

NIM : 08021181924005

Judul TA : Solusi Persamaan Schrödinger Tak Gayut Waktu untuk Kasus Sumur Potensial 1D (Potential Well) Berbasis Pemrograman Python (Python Programming) Menggunakan Jupyter Notebook.

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya susun dengan judul tersebut adalah asli atau orisinalitas dan mengikuti etika penulisan karya tulis ilmiah sampai pada waktu skripsi ini diselesaikan, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains di program studi Fisika Universitas Sriwijaya.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun. Apabila dikemudian hari terdapat kesalahan ataupun keterangan palsu dalam surat pernyataan ini, maka saya siap bertanggung jawab secara akademik dan bersedia menjalani proses hukum yang telah di tetapkan.

Indralaya, Juni 2023

Yang menyatakan



Abdul Aziz Saputra

NIM. 08021181924005

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Skripsi ini Ku persembahkan kepada

- ❖ *Bapak, Mamak, Adikku Naufal, dan keluarga yang telah memberikan dukungan penuh kepada Ku untuk bisa menyelesaikan studi Fisika di UNSRI, jerih payah Bapak dan Mamak untuk menyekolahkan Ku tak kan sebanding hanya dengan persembahan ini, tanpa mereka diri ini bukan lah siapa-siapa.*
- ❖ *Fatimah Nurkhalifah sosok wanita cantik dan ceria yang selalu menemani suka duka Ku di kampus, memberikan support tenaga, pikiran, dan banyak lagi. Semoga Allah SWT menjadikan kita sepasang insan yang taat kepada-NYA.*
- ❖ *Kampus UNSRI terkhusus Jurusan FISIKA yang telah memberikan Ku kesempatan untuk menimba ilmu dan berbagi kebermanfaatn.*

Motto

“Kesederhanaan hidup akan terasa nikmat ketika kita tidak berambisi akan kemewahan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur akan kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, serta nikmat yang begitu besar berupa nikmat iman, islam, kesehatan, dan kesempatan, sehingga saya dimudahkan dalam menyelesaikan skripsi. Kemudian sholawat beriring salam tak lupa juga saya sanjungkan kepada Baginda Nabi besar Muhammad SAW beserta keluarganya dan sahabat. Karena berkat beliaulah semua umat manusia dapat keluar dari zaman jahiliyah yang penuh dengan fitnah, ke zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan pada saat ini. Semoga kita semua termasuk ke dalam golongan umatnya yang mendapatkan syafaat di akhirat kelak.

Skripsi ini disusun bertujuan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar S1, di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya. Penelitian Tugas Akhir ini dilakukan di Lingkungan Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya, Kampus Indralaya, Sumatera Selatan, dan dimulai pada Januari 2023 hingga April 2023. Skripsi yang disusun berjudul **“SOLUSI PERSAMAAN SCHRODINGER TAK GAYUT WAKTU UNTUK KASUS SUMUR POTENSIAL 1D (*POTENTIAL WELL*) BERBASIS PEMROGRAMAN PYTHON (*PYTHON PROGRAMMING*) MENGGUNAKAN *JUPYTER NOTEBOOK*”**.

Pada proses pembuatan proposal ini tentunya terdapat banyak kekurangan baik dalam penulisan maupun hal yang sifatnya substansial. Saya berharap adanya kritik dan saran yang sifatnya membangun. Ucapan terimakasih serta kehormatan yang besar saya sampaikan kepada Bapak Dr. Akhmad Aminuddin Bama, M.Si., selaku pembimbing pertama saya dan Bapak Dr. Supardi, M.Si., selaku pembimbing kedua yang insyaAllah dirahmati oleh Allah SWT. Kemudian secara khusus saya ucapkan terima kasih dan apresiasi 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, serta dosen

pembimbing kedua skripsi saya, yang banyak memberikan informasi dan masukan terkait dengan pengembangan teori fisika.

4. Bapak Dr. Akhmad Aminuddin Bama, M.Si. selaku dosen pembimbing skripsi pertama yang telah memberikan bimbingan, arahan, waktu, dan dedikasi yang cukup besar sebagai dosen pembimbing, serta telah memberikan wawasan yang sangat luas dalam pemahaman kehidupan.
5. Bapak Drs. Arsali, M.Sc., dan Bapak Azhar, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik dan orang tua yang telah banyak memberikan contoh kepribadian yang baik, serta memberikan nasehat dan masukan selama kuliah di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya.
6. Bapak dan Ibu dosen selaku staf pengajar Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat.
7. Kak David dan Pak Nabair selaku admin jurusan yang banyak membantu mengurus surat menyurat di jurusan fisika.
8. Simon Rafael Sihombing sebagai teman satu konsentrasi yaitu fisika teori yang sangat banyak menyumbang pikiran dan tenaga dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Teman-teman KBI Teori dan Material dan Fisika Angkatan 19.
10. Seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, yang selalu memberikan semangat serta bantuan nasehat yang sangat bermanfaat.

Inderalaya, April 2023
Penulis

ABDUL AZIZ SAPUTRA
08021181924005

Time-Independent Schrodinger Equation Solution for 1D Potential Well Cases Based on Python Programming Using Jupyter Notebook

ABDUL AZIZ SAPUTRA

NIM: 08021181924005

ABSTRACT

Completion of the potential well model will be solved analytically and using a computational model based on the Python programming language, which aims to visualize the wave function, find the relationship of particle energy to the reflection and transmission coefficients, determine the eigenvalues, and find out the relationship of eigenvalues to well width and well depth. The particle energies in the non-localized case to be observed are 85×10^{-39} J, 70×10^{-39} J, 45×10^{-39} J, 20×10^{-39} J, 5×10^{-39} J, 2×10^{-39} J, 0.5×10^{-39} J, 0.25×10^{-39} J, 0.05×10^{-39} J, and 0.001×10^{-39} J, with potential barrier $V_0 = -35 \times 10^{-39}$ J, and value $a = 3$. Then for the bound condition the potential value of the well to look for the eigenvalues is -15×10^{-39} J, -45×10^{-39} J, -100×10^{-39} J, -250×10^{-39} J, and 325×10^{-39} J, with variations $a = (1,2,3)$. The results obtained for non-localized states, particles with an energy of 85×10^{-39} J give a reflection coefficient of 0.028862 and a transmission coefficient of 0.971138, showing that even though the energy of the particles is much greater than their potential, there are still particles that are reflected back. Besides that, a particle with an energy of 0.001×10^{-39} J gives a reflection coefficient of 0.999879 and a transmission coefficient of 0.000121, showing that no matter how small the particle's energy ($E \approx 0$) is, there are still particles that can pass past the potential. For the bound state, an increase in the width of the well has a greater effect on the number of eigenvalue points than an increase in the potential depth.

Keywords: Quantum, Schrodinger, Well Potential, Eigenvalues, Python

Solusi Persamaan Schrodinger Tak Gayut Waktu Untuk Kasus Sumur Potensial 1D (Potential Well) Berbasis Pemrograman Python (Python Programming) Menggunakan Jupyter Notebook

ABDUL AZIZ SAPUTRA
NIM: 08021181924005

ABSTRAK

Penyelesaian model potensial sumur akan diselesaikan secara analitik dan menggunakan model komputasi berbasis bahasa pemrograman *Python*, yang bertujuan memvisualisasikan fungsi gelombang, mencari hubungan energi partikel terhadap koefisien refleksi dan transmisi, menentukan nilai eigen, dan mengetahui hubungan nilai eigen terhadap lebar sumur dan kedalaman sumur. Energi partikel pada kasus tak terlokalisasi yang akan diamati diantaranya 85×10^{-39} J, 70×10^{-39} J, 45×10^{-39} J, 20×10^{-39} J, 5×10^{-39} J, 2×10^{-39} J, 0.5×10^{-39} J, 0.25×10^{-39} J, 0.05×10^{-39} J, dan 0.001×10^{-39} J, dengan potensial penghalang $V_0 = -35 \times 10^{-39}$ J, dan nilai $a = 3$. Kemudian untuk kondisi terikat nilai potensial sumur yang akan dicari nilai eigennya adalah -15×10^{-39} J, -45×10^{-39} J, -100×10^{-39} J, -250×10^{-39} J, dan -325×10^{-39} J, dengan variasi $a = (1,2,3)$. Hasil yang diperoleh untuk keadaan tak terlokalisasi, partikel dengan energi 85×10^{-39} J memberikan nilai koefisien refleksi sebesar 0.028862 dan koefisien transmisi 0.971138, memperlihatkan bahwa walaupun energi partikel jauh lebih besar dari potensialnya tetap ada partikel yang dipantulkan kembali. Di samping itu partikel dengan energi 0.001×10^{-39} J memberikan nilai koefisien refleksi sebesar 0.999879 dan koefisien transmisi 0.000121, memperlihatkan sekecil apapun energi partikel ($E \approx 0$) tetap ada partikel yang dapat lolos melewati potensial. Untuk keadaan terikat, peningkatan lebar sumur memberi pengaruh lebih besar terhadap banyaknya titik nilai eigen dibandingkan penambahan kedalaman potensial.

Kata kunci: Kuantum, Schrodinger, Potensial Sumur, Nilai Eigen, Python

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRACT	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Paradigma Teori Kuantum	4
2.2 Persamaan Schrödinger	8
2.2.1 Persamaan Schrödinger Gayut Waktu.....	8
2.2.2 Persamaan Schrödinger Tak Gayut Waktu.....	10
2.3 Sistem Kuantum 1 Dimensi.....	11
2.3.1 Partikel Bebas	11
2.3.2 Partikel Dalam Pengaruh Potensial.....	12
2.3.3 Arti Fisis dan Syarat Kesantunan Fungsi Gelombang.....	13
2.3.4 Persamaan Kemalaran.....	14
2.3.5 Koefisien Refleksi dan Koefisien Transmisi	15
2.4 Partikel di dalam Potensial Sumur Berhingga.....	17
2.5 Solusi Numerik Persamaan Schrödinger.....	18
2.6 Bahasa Pemrograman Python.....	19
2.6.1 Library Numpy	21
2.6.2 Library Matplotlib.....	21
2.6.3 Library Pandas	21
2.6.4 Library Scipy	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.2 Metode Penelitian.....	23
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	23
3.4 Flowchart Program Fungsi Gelombang $\Psi(x)$, R , dan T , pada kasus $E > 0$	25
3.5 Flowchart Program Untuk Mencari Nilai E Diskrit dan Fungsi Gelombang $\varphi(x)$ Pada Kasus $V_0 < E < 0$	27
3.6 Analisis Data	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Solusi Umum Persamaan Schrödinger Tak Gayut Waktu untuk Potensial Sumur 1D.....	31

4.2 Solusi Persamaan Schrödinger untuk Keadaan Tak Terlokalisasi ($E > 0$).....	31
4.3 Visualisasi Fungsi Gelombang Schrodinger, Koefisien refleksi R , dan Koefisien transmisi (T) Untuk kasus $E > 0$ Menggunakan Bahasa Pemrograman <i>Python</i>	36
4.4 Solusi Persamaan Schrödinger untuk Keadaan Terikat ($V_0 < E < 0$).....	42
4.5 Solusi Persamaan Schrödinger Secara Numerik	46
4.6 Menentukan Nilai Energi Diskrit dan Visualisasi Fungsi Gelombang Schrödinger Untuk kasus $V_0 < E < 0$ Menggunakan Bahasa Pemrograman <i>Python</i>	47
4.6.1 Titik Energi Diskrit.....	47
4.6.2 Fungsi Gelombang Schrödinger Untuk $V_0 = -15 \times 10^{-39} J$	51
4.6.3 Fungsi Gelombang Schrödinger Untuk $V_0 = -45 \times 10^{-39} J$	54
4.6.4 Fungsi Gelombang Schrödinger Untuk $V_0 = -100 \times 10^{-39} J$	56
4.6.5 Fungsi Gelombang Schrödinger Untuk $V_0 = -250 \times 10^{-39} J$	58
4.6.6 Fungsi Gelombang Schrödinger Untuk $V_0 = -325 \times 10^{-39} J$	60
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	63
5.1 KESIMPULAN	63
5.2 SARAN.....	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	67
A. Penurunan solusi umum persamaan Schrodinger tak gayut waktu	67
B. Lampiran Listing Program Python	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram sifat dualisme gelombang-partikel (Bama, 2021).....	7
Gambar 2. 2 Sumur potensial satu dimensi (Bama, 2021).....	17
Gambar 2. 3 Diskritisasi fungsi gelombang $\Psi(x)$ (Zettili, 2009).....	18
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	24
Gambar 3. 2 Flowchart Fungsi Program Untuk $E > 0$	26
Gambar 3. 3 Flowchart Fungsi Program Untuk $V_0 < E < 0$	27
Gambar 4. 1 Grafik tingkat energi E partikel terhadap posisi x	37
Gambar 4. 2 Grafik fungsi gelombang $\Psi(x)$ terhadap posisi x	38
Gambar 4. 3 Kurva hubungan koefisien transmisi dan refleksi terhadap energi.....	41
Gambar 4. 4 Kurva syarat fungsi genap dan ganjil.....	45
Gambar 4. 5 Titik-titik energi diskrit partikel ketika dalam keadaan terikat.....	49
Gambar 4. 6 Fungsi gelombang partikel dan tingkat energi untuk $V_0 = -15 \times 10^{-39} \text{ J}$ dan $a = 1 \text{ \AA}$	51
Gambar 4. 7 Fungsi gelombang partikel dan tingkat energi untuk $V_0 = -15 \times 10^{-39} \text{ J}$ dan $a = 2 \text{ \AA}$	52
Gambar 4. 8 Fungsi gelombang partikel dan tingkat energi untuk $V_0 = -15 \times 10^{-39} \text{ J}$ dan $a = 3 \text{ \AA}$	53
Gambar 4. 9 Fungsi gelombang partikel dan tingkat energi untuk $V_0 = -45 \times 10^{-39} \text{ J}$ dan $a = 1 \text{ \AA}$	54
Gambar 4. 10 Fungsi gelombang partikel dan tingkat energi untuk $V_0 = -45 \times 10^{-39} \text{ J}$ dan $a = 2 \text{ \AA}$	55
Gambar 4. 11 Fungsi gelombang partikel dan tingkat energi untuk $V_0 = -45 \times 10^{-39} \text{ J}$ dan $a = 3 \text{ \AA}$	55
Gambar 4. 12 Fungsi gelombang partikel dan tingkat energi untuk $V_0 = -100 \times 10^{-39} \text{ J}$ dan $a = 1 \text{ \AA}$	56
Gambar 4. 13 Fungsi gelombang partikel dan tingkat energi untuk $V_0 = -100 \times 10^{-39} \text{ J}$ dan $a = 2 \text{ \AA}$	56
Gambar 4. 14 Fungsi gelombang partikel dan tingkat energi untuk $V_0 = -100 \times 10^{-39} \text{ J}$ dan $a = 3 \text{ \AA}$	57
Gambar 4. 15 Fungsi gelombang partikel dan tingkat energi untuk $V_0 = -250 \times 10^{-39} \text{ J}$ dan $a = 1 \text{ \AA}$	58
Gambar 4. 16 Fungsi gelombang partikel dan tingkat energi untuk $V_0 = -250 \times 10^{-39} \text{ J}$ dan $a = 2 \text{ \AA}$	58
Gambar 4. 17 Fungsi gelombang partikel dan tingkat energi untuk $V_0 = -250 \times 10^{-39} \text{ J}$ dan $a = 3 \text{ \AA}$	59
Gambar 4. 18 Fungsi gelombang partikel dan tingkat energi untuk $V_0 = -325 \times 10^{-39} \text{ J}$ dan $a = 1 \text{ \AA}$	60
Gambar 4. 19 Fungsi gelombang partikel dan tingkat energi untuk $V_0 = -325 \times 10^{-39} \text{ J}$ dan $a = 2 \text{ \AA}$	60

Gambar 4. 20 Fungsi gelombang partikel dan tingkat energi untuk $V_0 = -325 \times 10^{-39} J$ dan $a = 3 \text{ \AA}$ 61

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Nilai energi partikel yang melewati potensial.....	29
Tabel 3. 2 Besar potensial perintang V_0 dengan ($\alpha = 1,2,3$).....	29
Tabel 4. 1 Besar koefisien refleksi R dan koefisien transmisi T sumur potensial	40
Tabel 4. 2 Banyak titik nilai eigen untuk V_0 dan a yang bervariasi.....	48

DAFTAR SIMBOL

E	Energi Partikel
ε	Energi Partikel (Bilangan Positif)
ε_n	Energi Diskrit Partikel
V_0	Potensial Sumur
m	Massa Partikel
n	Bilangan Kuantum (Tingkat Energi)
λ	Panjang Gelombang
k	Bilangan Gelombang
h / \hbar	Tetapan Planck / Planck Tereduksi
x	Posisi Partikel
a	Lebar Sumur Potensial
p	Momentum Partikel
∇	Operator Nabla
∇^2	Operator Laplacian
\hat{H}	Operator Hamiltonian
$*$	Operator Konjugat Kompleks
$\Psi(x, t)$	Fungsi Gelombang Schrodinger
$\psi_0(x)$	Fungsi Gelombang terhadap posisi
$\varphi(t)$	Fungsi Gelombang terhadap waktu
$\Psi_i(x)$	Fungsi Gelombang terhadap posisi untuk $E > 0$
$\varphi_i(x) / \varphi_{i_n}(x)$	Fungsi Gelombang terhadap posisi untuk $V_0 < E < 0$
$P(\vec{r}, t)$	Rapat Kebolehjadian
\vec{S}	Rapat Arus Kebolehjadian
R	Koefisien Refleksi
T	Koefisien Transmisi

DAFTAR LAMPIRAN

A. Penurunan solusi umum persamaan Schrodinger tak gayut waktu	67
B. Lampiran Listing Program Python	68

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Untuk ranah mikroskopis, dinamika sistem yang ditinjau, dilandasi oleh rumusan Schrödinger. Rumusan ini digunakan untuk menggambarkan sifat gelombang dari suatu materi. Gerak suatu materi pada sistem kuantum dapat dipengaruhi oleh suatu potensial tertentu ataupun dapat juga bergerak bebas tanpa potensial yang mempengaruhinya. Solusi dari persamaan Schrödinger secara umum berupa fungsi gelombang kuantum, yang berbentuk fungsi kompleks. Fungsi gelombang ini merupakan ungkapan matematis yang relatif sulit untuk ditafsirkan secara langsung. Maka dibutuhkan gambaran secara visual mengenai fungsi gelombang tersebut agar diperoleh pemahaman yang utuh mengenai fungsi gelombang dari sistem kuantum. Bentuk solusi persamaan Schrödinger secara umum hanya bergantung pada bentuk potensial yang mempengaruhi sistem.

Terdapat beberapa model potensial sederhana satu dimensi untuk sistem kuantum, salah satunya adalah model potensial berbentuk sumur (*potential well*). Pada kasus potensial berbentuk sumur, potensial penghalangnya bernilai negatif, maka terdapat dua kemungkinan dimana energi dari sistem partikel yang dipengaruhi potensial bernilai positif ($E > 0$, keadaan tak terlokalisasi) dan negatif ($V_0 < E < 0$, keadaan terikat). Pada daerah ($E > 0$) partikel dalam keadaan bebas namun tetap dipengaruhi oleh potensial penghalangnya, kemudian bagaimana jika energi partikel sangat kecil atau mendekati nol. Kasus ekstrim seperti ini hampir sama sekali tidak dibahas di dalam buku ataupun jurnal terkait kasus potensial kuantum satu dimensi. Tentunya butuh analisis yang lebih lanjut mengenai hal tersebut. Kemudian untuk daerah ($V_0 < E < 0$) partikel mengalami keadaan terikat, dimana energi partikel bernilai negatif. Untuk kondisi ini partikel terjebak di dalam sumur potensial. Pada kasus ini persamaan Schrödinger menghasilkan suatu persamaan nonlinier yang hanya bisa diselesaikan dengan bantuan komputasi.

Pada penelitian ini akan difokuskan pada permodel komputasi yang dapat digunakan sebagai metode hampiran untuk menyelesaikan persamaan Schrödinger pada kasus sumur potensial (*Potential Well*) dengan pendekatan grafik dan numerik. Dalam pengoperasian komputasinya digunakan bahasa pemrograman

Python dengan menggunakan IDE *Jupyter Notebook*. Hal tersebut dikarenakan bahasa pemrograman python bersifat *open source* yang memungkinkan untuk semua *user* membuat fungsi sesuai keperluan, sehingga sangat memudahkan dalam pengaplikasian rumusan-rumusan fisika dalam bentuk komputasi. Selain itu, *package* pada python yang berkaitan dengan perhitungan matematis juga cukup banyak dan lengkap.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana memodelkan rumusan matematis sumur potensial kuantum ke dalam bahasa pemrograman Python?
2. Bagaimana interpretasi fisis dari fungsi gelombang Schrödinger untuk kasus sumur potensial dengan $E > 0$ (keadaan tak terlokalisasi)?
3. Bagaimana interpretasi fisis dari fungsi gelombang Schrödinger untuk kasus sumur potensial dengan $E \approx 0$ (E bernilai positif)?
4. Bagaimana cara menentukan titik-titik energi diskrit untuk kasus sumur potensial dengan $V_0 < E < 0$ (keadaan terikat), menggunakan pendekatan numerik ?
5. Bagaimana keterkaitan antara lebar sumur dan besar potensial sumur terhadap banyaknya keadaan sistem kuantum dan titik-titik energi diskrit?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Dapat memodelkan rumusan matematis sumur potensial kuantum kedalam bahasa pemrograman Python.
2. Memperoleh interpretasi fisis dari fungsi gelombang Schrödinger untuk kasus sumur potensial dengan $E > 0$ (keadaan tak terlokalisasi).
3. Memperoleh interpretasi fisis dari fungsi gelombang Schrödinger untuk kasus sumur potensial dengan $E \approx 0$ (E bernilai positif).
4. Menentukan titik-titik energi diskrit untuk kasus sumur potensial dengan $V_0 < E < 0$ (keadaan terikat), menggunakan pendekatan numerik.
5. Mengetahui keterkaitan antara lebar sumur dan besar potensial sumur terhadap banyaknya keadaan sistem kuantum dan titik-titik energi diskrit.

1.4 Batasan Masalah

Terdapat beberapa batasan masalah yang diberlakukan, dengan pertimbangan agar pembahasan terhadap topik penelitian menjadi lebih spesifik. Adapun beberapa hal tersebut antara lain:

1. Persamaan Schrödinger yang digunakan hanya persamaan yang tak gayut waktu, dimana efek relativitas diabaikan.
2. Potensial penghalang pada kasus ini hanya berupa potensial sederhana satu dimensi konstan berbentuk sumur.
3. Hanya membahas dua keadaan energi sistem yaitu pada keadaan terikat ($V_0 < E < 0$) dan keadaan tak terlokalisasi ($E > 0$).
4. Visualisasi fungsi gelombang sistem kuantum berupa grafik dua dimensi.
5. Visualisasi dilakukan dengan menggunakan *software Jupyter Notebook* dengan bahasa pemrograman Python.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Menambah pemahaman mengenai solusi persamaan Schrödinger untuk sumur potensial kuantum dengan pendekatan grafik dan numerik menggunakan bahasa pemrograman Python.
2. Adanya penelitian ini dapat memberikan pemahaman baru tentang titik-titik energi diskrit partikel untuk kasus sumur potensial pada keadaan terikat yang secara matematis sulit untuk dipahami.
3. Menjadi salah satu bahan rujukan untuk pembahasan mengenai kasus potensial kuantum lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bama, A.A., 2015. *Mengenal Fisika dari Paradigma, Metodologi, Hingga Implementasi*. Palembang: SIMETRI.
- Bama, A.A., 2021. *Fisika Kuantum*. Palembang: SIMETRI.
- Bieser, A., 1981. *Concepts of Modern Physics 3rd Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Bressert, E. 2013, *Scipy and Numpy*, O'Reilly Media, US of America.
- Eisberg, R., 1974. *Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei, and Particles Second Edition*. New York: JOHN WILEY & SONS.
- Halim, C., dan Rosyid, M.F., 2020. *Kajian Integral Lintasan Levy dalam Mekanika Kuantum Fraksional untuk Membentuk Persamaan Schrödinger Fraksional*. Jurnal Sains, Teknologi, Sosial, Pendidikan, dan Bahasa, 1(5): 81.
- Khumaeni, A., 2022. *Buku Ajar Fisika Modern*. Yogyakarta: DIVA Press.
- Nurlina, 2017. *Fisika Kuantum*. Makasar: LPP Unismuh.
- Ong, R., 2022. *Perhitungan Koefisien Transmisi Pada Struktur Superlattice Menggunakan Metode Propagasi Matriks*. Jurnal Ilmu Fisika dan Teknologi, 1(6): 31.
- Purwanto, A., 2006. *Fisika Kuantum*. Yogyakarta: Gava Media.
- Santoso, J.T., 2022. *Proyek Coding dengan Python*. Semarang: Yayasan Prima Agus Teknik.
- Shende, R., Gupta, G., dan Macherla, S., 2019. *Determination of an Inflection Point for a Dosimetric Analysis of Unflattened Beam Using The First Principle of Derivatives by Python Code Programming*. Report Of Practical Oncologi and Radiotherapy, 4(2): 435.
- Silva, F.J.B. 2013, *Learning Scipy for Numerical and Scientific Computing*, PACKT, BIRMINGHAM-MUMBAI.
- Siregar, R.E., 2018. *Fisika Kuantum Teori dan Aplikasi*.Jatinangor: Universitas Padjadjaran.
- Sujito, dkk., 2019. *Paradigma Teori Atom Lintas Waktu*. Jurnal Filsafat Indonesia, 1(2): 46-47.
- Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T.E., et al. (2020). SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python. *Nature Methods*, 1(17), 261-272.

Wahyono, T., 2021. *Fundamental of Python for Machine Learning (Dasar-Dasar Pemrograman Python untuk Machine Learning dan Kecerdasan Buatan Edisi Revisi)*. Yogyakarta: Gava Media.

Wibowo, W., Ulama, B.S.S., dan Azies, H.A., 2020. *Belajar Pemrograman Bahasa Python*. Surabaya: ITS PRESS.

Zettili, N., 2009. *Quantum Mechanics Concepts and Applications Second Edition*. Jacksonville State University, USA: WILEY.