

**ANALISIS ENERGI, FUNGSI GELOMBANG, DAN INFORMASI
SHANNON ENTROPI PARTIKEL BERSPIN-NOL UNTUK POTENSIAL
PÖSCHL-TELLER TRIGONOMETRI DAN KRATZER**

TESIS

**Disusun untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Mencapai Derajat Magister
Program Studi Ilmu Fisika**



**Oleh
DEWANTA ARYA NUGRAHA
S911508003**

**PASCASARJANA
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2017**

LEMBAR PERSETUJUAN

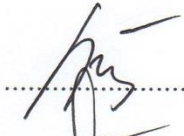

**ANALISIS ENERGI, FUNGSI GELOMBANG, DAN INFORMASI
SHANNON ENTROPI PARTIKEL BERSPIN-NOL UNTUK POTENSIAL
PÖSCHL-TELLER TRIGONOMETRI DAN KRATZER**

TESIS

Oleh

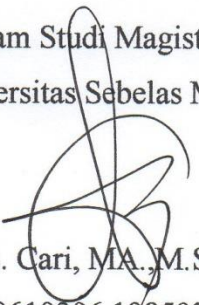
Dewanta Arya Nugraha

S911508003

| Komisi | Nama | Tanda Tangan | Tanggal |
|--------------|---|--|-----------|
| Pembimbing | | | |
| Pembimbing | Prof. Dra. Suparmi, M.A., Ph.D. NIP 19520915 197603 2 001 |  |2017 |
| Kopembimbing | Prof. Drs. Cari, MA., M.Sc., Ph.D. NIP 19610306 198503 1 002 |  |2017 |

**Telah dinyatakan memenuhi syarat
pada tanggal *17 Maret* 2017**

Kepala Program Studi Magister Ilmu Fisika
Universitas Sebelas Maret,


Prof. Drs. Cari, MA., M.Sc., Ph.D.
NIP 19610306 198503 1 002

LEMBAR PENGESAHAN

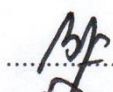
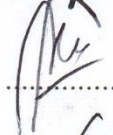
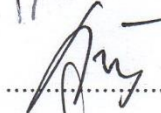
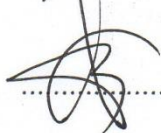
ANALISIS ENERGI, FUNGSI GELOMBANG, DAN INFORMASI SHANNON ENTROPI PARTIKEL BERSPIN-NOL UNTUK POTENSIAL PÖSCHL-TELLER TRIGONOMETRI DAN KRATZER

TESIS

Oleh

Dewanta Arya Nugraha
S911508003

Tim Penguji

| Jabatan | Nama | Tanda tangan | Tanggal |
|--------------------|---|--|-----------|
| Ketua | Dr. Eng Budi Purnama, S.Si, M.Si. NIP 19731109 200003 1 001 |  |2017 |
| Sekretaris | Dr. Fuad Anwar, S.Si, M.Si. NIP 19700610 200003 1 001 |  |2017 |
| Anggota Penguji | Prof. Dra. Suparmi, M.A., Ph.D. NIP 19520915 197603 2 001 |  |2017 |
| | Prof. Drs. Cari, MA., M.Sc., Ph.D. NIP 19610306 198503 1 002 |  |2017 |

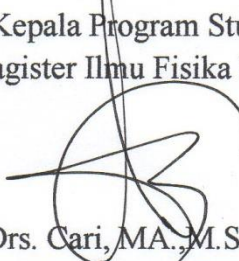
Telah dipertahankan di depan penguji
Dinyatakan telah memenuhi syarat
pada tanggal 31. Maret 2017

Direktur Pascasarjana
Universitas Sebelas Maret



Prof. Dr. M. Furqon Hidayatullah, M.Pd.
NIP 19600727 198601 1 001

Kepala Program Studi
Magister Ilmu Fisika UNS



Prof. Drs. Cari, MA., M.Sc., Ph.D.
NIP 19610306 198503 1 002

PERNYATAAN ORISINALITAS DAN PUBLIKASI ISI TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

1. Tesis yang berjudul “ANALISIS ENERGI, FUNGSI GELOMBANG, DAN INFORMASI SHANNON ENTROPI PARTIKEL BERSPIN-NOL UNTUK POTENSIAL PÖSCHL-TELLER TRIGONOMETRI DAN KRATZER” ini adalah karya penelitian saya sendiri dan bebas plagiat, serta tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik serta tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis digunakan sebagai acuan dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber acuan serta daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan (Permendiknas No. 17 Tahun 2010).
2. Publikasi sebagian atau keseluruhan isi Tesis pada jurnal atau forum ilmiah lain harus seijin dan menyertakan tim pembimbing sebagai *author* dan PPs-UNS sebagai institusinya. Apabila dalam waktu sekurang-kurangnya satu semester (enam bulan sejak pengesahan Tesis) saya tidak melakukan publikasi dari sebagian atau keseluruhan Tesis ini, maka Program Studi Magister Ilmu Fisika PPs-UNS berhak mempublikasikannya pada jurnal ilmiah yang diterbitkan oleh Program Studi Magister Ilmu Fisika PPs-UNS. Apabila saya melakukan pelanggaran dari ketentuan publikasi ini, maka saya bersedia mendapatkan sanksi akademik yang berlaku.

Surakarta, Maret 2017

Yang membuat pernyataan,



Dewanta Arya Nugraha

S911508003

Dewanta Arya Nugraha. “*Analisis Energi, Fungsi Gelombang, dan Informasi Shannon Entropi Partikel Berspin-Nol untuk Potensial Pöschl-Teller Trigonometri dan Kratzer*” Tesis. Pembimbing: Prof. Dra. Suparmi, M.A., Ph.D. Kopembimbing: Prof. Drs. Cari, M.Sc., M.A., Ph.D. Magister Ilmu Fisika, Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta

ABSTRAK

Bentuk penyelesaian energi dan fungsi gelombang potensial Pöschl-Teller trigonometri dan Kratzer untuk partikel berspin-nol D -dimensi diselesaikan melalui *asymptotic iteration method* (AIM). Informasi Shannon entropi dari potensial Pöschl-Teller trigonometri dan Kratzer untuk partikel berspin-nol dideskripsikan dengan visualisasi rapat probabilitas entropi posisi dan momentum serta Shannon entropi posisi dan momentum.

Penyelesaian persamaan Klein-Gordon diselesaikan dengan menentukan persamaan dengan bentuk AIM. Selanjutnya persamaan bentuk AIM diselesaikan sampai diperoleh eigen energi dan persamaan fungsi gelombang. Energi relativistik dihitung secara numerik dan persamaan fungsi gelombang serta informasi Shannon entropi divisualisaikan menggunakan *software Matlab 2013a*. Penelitian ini dibatasi untuk penyelesaian energi dan fungsi gelombang untuk bagian radial. Informasi Shannon yang dianalisis hanya pada keadaan dasar pada bilangan kuantum $n=0$. Informasi Shannon yang diperoleh meliputi visualisasi rapat probabilitas posisi dan momentum serta Shannon entropi posisi dan momentum.

Kata kunci : persamaan Klein-Gordon D -dimensi, energi, fungsi gelombang potensial Pöschl-Teller trigonometri, potensial Kratzer, informasi Shannon entropi

Dewanta Arya Nugraha. 2017. *“Analysis of Spin-less Particle Energy, Wave Function, and Shannon Information Entropy for Pöschl-Teller Trigonometric and Kratzer Potential.”* Thesis. Consultant: Prof. Dra. Suparmi, M.A., Ph.D., Co-Consultant: Prof. Drs. Cari, M.Sc., M.A., Ph.D., Master of Physics, Graduate Program, Sebelas Maret University, Surakarta.

ABSTRACT

The solution of spin-less particle energy and wave function of trigonometric Pöschl-Teller and Kratzer potential in D -dimension was solved using asymptotic iteration method (AIM). Trigonometric Pöschl-Teller and Kratzer Shannon entropy information was described by the position and momentum entropy densities and position and momentum Shannon entropy.

The solution of Klein-Gordon equation was determined by using AIM. The AIM type equation solved till the energy eigen and wave function were got. Relativistic energy was calculated numerically, wave function and Shannon entropy information were visualized using *Matlab 2013a* software. This research is limited to the solution of energy and wave function for radial part. Shannon information was analyzed for groundstate condition at quantum number $n=0$. Shannon information we get including the position and momentum densities and position and momentum Shannon entropy.

Kata kunci : D -dimension Klein-Gordon equation, energy, wave function Trigonometric Pöschl-Teller potential, Kratzer potential, Shannon information entropy

KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillahirrabbi'l'amin, senantiasa penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul Analisis Energi, Fungsi Gelombang, dan Informasi Shannon Entropi Partikel Berspin-Nol untuk Potensial Pöschl-Teller Trigonometri dan Kratzer dengan sebaik-baiknya guna memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Program Studi Ilmu Fisika.

Keberhasilan dalam penyusunan tesis ini tidak terlepas dari dukungan dari berbagai pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dra. Suparmi, M.A., Ph.D., selaku Pembimbing I yang telah membantu membimbing, mengarahkan, dan mendorong penulis sehingga penyusunan tesis ini dapat terselesaikan.
2. Prof. Drs. Cari, M.Sc., M.A., Ph.D., selaku Kepala Program Studi Magister Ilmu Fisika Pascasarjana UNS serta Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan dorongan selama penyusunan tesis ini.
3. Bapak-Ibu Dosen Program Studi Magister Ilmu Fisika Pascasarjana UNS yang telah memberikan bekal ilmu selama penulis belajar di Universitas Sebelas Maret.
4. Bapak dan Ibuku yang senantiasa memberikan dukungan moral dan material dalam penyelesaian Program Magister Magister Ilmu Fisika ini.
5. Seluruh keluarga yang selalu memberikan dukungan.
6. Teman-teman seperjuangan di Magister Ilmu Fisika yang telah memberikan bantuan dan dukungan.
7. Teman-teman Magister Pendidikan Sains yang selalu memberikan semangat dan dukungan.
8. Semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian tesis ini.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk menyelesaikan tesis ini dengan sebaik-baiknya, namun penulis menyadari bahwa tesis ini masih banyak kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan tesis ini. Penulis juga berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Surakarta, Maret 2017

Penulis



HALAMAN PERSEMBAHAN



Tesis ini dipersembahkan kepada:

- ❖ Bapak Endro Dwi Suhartono dan Ibu Wiwik Endwi Hastuti, terima kasih atas kasih sayang, doa, dan kepercayaan, serta segalanya yang telah diberikan selama ini.
- ❖ Mbak Dian Puspitosari dan Mbak Dian Putri Utami yang selalu memberi dukungan dan semangat.

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| LEMBAR PERSETUJUAN..... | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| PERNYATAAN ORISINALITAS DAN PUBLIKASI ISI TESIS | iv |
| ABSTRAK | v |
| ABSTRACT..... | vi |
| KATA PENGANTAR | vii |
| HALAMAN PERSEMBAHAN..... | ix |
| DAFTAR ISI..... | x |
| DAFTAR TABEL..... | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xiv |
| DAFTAR SIMBOL..... | xvi |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xviii |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| A. Latar Belakang Masalah..... | 1 |
| B. Rumusan Masalah | 3 |
| C. Tujuan Penelitian..... | 4 |
| D. Batasan Masalah..... | 4 |
| E. Manfaat Penelitian..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 6 |
| A. Persamaan Klein-Gordon | 6 |
| B. Metode Hipergeometri | 10 |
| C. <i>Asymptotic Iteration Method</i> (AIM)..... | 11 |
| D. Shannon Entropi | 14 |
| E. Potensial Pöschl-Teller Trigonometri | 15 |

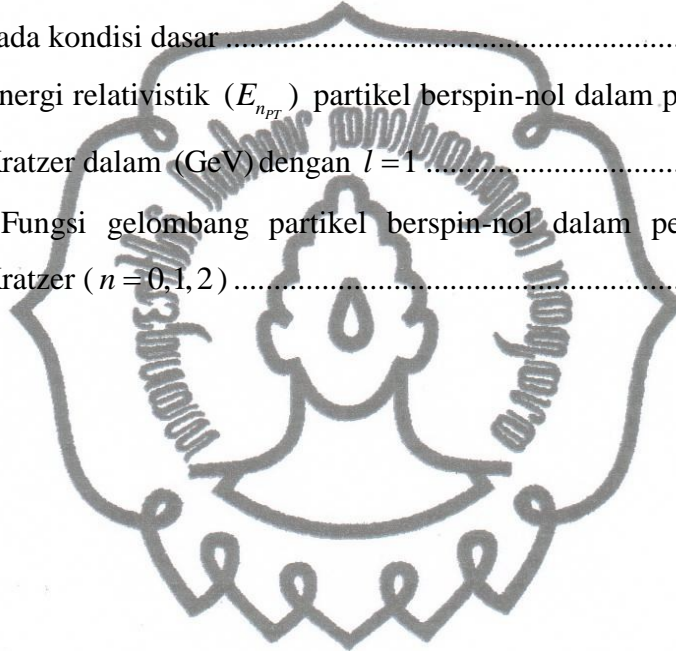
| | |
|--|----|
| F. Potensial Kratzer | 15 |
| G. Penelitian yang Relevan | 16 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... | 18 |
| A. Waktu dan Tempat Penelitian | 18 |
| B. Objek Penelitian | 18 |
| C. Instrumentasi Penelitian | 18 |
| D. Prosedur Penelitian..... | 19 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 22 |
| A. Informasi Shannon Entropi Partikel Berspin-Nol yang Dipengaruhi oleh Potensial Pöschl-Teller Trigonometri | 22 |
| 1. Penyelesaian Persamaan Klein-Gordon D -Dimensi Potensial Pöschl-Teller Trigonometri Bagian Radial..... | 22 |
| 2. Analisis Energi Relativistik Partikel Berspin-Nol Dimensi-4 yang Dipengaruhi oleh Potensial Pöschl-Teller Trigonometri | 28 |
| 3. Analisis Fungsi Gelombang Bagian Radial Partikel Berspin-Nol yang Dipengaruhi oleh Potensial Pöschl-Teller Trigonometri | 31 |
| 4. Analisis Informasi Shannon Entropi Partikel Berspin-Nol yang Dipengaruhi oleh Potensial Pöschl-Teller Trigonometri | 35 |
| B. Informasi Shannon Entropi Partikel Berspin-Nol yang Dipengaruhi Potensial Kratzer | 42 |
| 1. Penyelesaian Persamaan Klein-Gordon D -Dimensi Potensial Kratzer Bagian Radial..... | 42 |
| 2. Analisis Energi Relativistik Partikel Berspin-Nol Dimensi-4 yang Dipengaruhi oleh Potensial Kratzer | 46 |
| 3. Analisis Fungsi Gelombang Bagian Radial Partikel Berspin-Nol yang Dipengaruhi oleh Potensial Kratzer | 50 |
| 4. Analisis Informasi Shannon Entropi Partikel Berspin-Nol yang Dipengaruhi oleh Potensial Kratzer | 54 |

| | |
|---------------------------------|----|
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | 62 |
| C. Kesimpulan..... | 62 |
| D. Saran..... | 63 |
| DAFTAR PUSTAKA | 64 |
| LAMPIRAN | 68 |



DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Rencana pelaksanaan penelitian..... | 18 |
| Tabel 4.1 Energi relativistik ($E_{n_{PT}}$) partikel berspin-nol untuk potensial Pöschl-Teller dengan $M = \lambda = 1, \alpha = 0.1$ | 30 |
| Tabel 4.2 Fungsi gelombang partikel berspin-nol dalam pengaruh potensial Pöschl-Teller Trigonometri ($n = 0, 1, 2$) | 32 |
| Tabel 4.3 Berbagai massa tereduksi molekul diatomik dan sifat spektroskopis pada kondisi dasar | 47 |
| Tabel 4.4 Energi relativistik ($E_{n_{PT}}$) partikel berspin-nol dalam pengaruh potensial Kratzer dalam (GeV) dengan $l = 1$ | 49 |
| Tabel 4.5 Fungsi gelombang partikel berspin-nol dalam pengaruh potensial Kratzer ($n = 0, 1, 2$) | 51 |



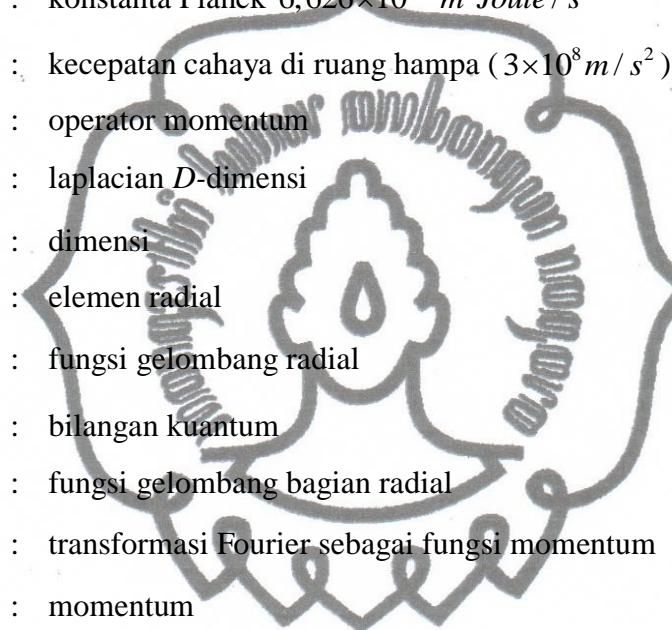
DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 3.1 Prosedur Penelitian..... | 19 |
| Gambar 4.1 Potensial Pöschl-Teller Trigonometri dengan $\alpha = 0,2$ | 29 |
| Gambar 4.2 Fungsi gelombang radial tak ternormalisasi potensial Pöschl-Teller Trigonometri dalam 4-dimensi dengan $M = 1; \lambda = 1; \kappa = 1,5; \eta = 1,5$ (a) $\alpha = 0.2$, (b) $\alpha = 0.3$, and (c) $\alpha = 0.4$ | 33 |
| Gambar 4.3 Fungsi gelombang radial tak ternormalisasi potensial Pöschl-Teller Trigonometri dalam 4-dimensi dengan $M = 1; \lambda = 1; \kappa = 1,5; \eta = 1,5; n = 0$ | 34 |
| Gambar 4.4 Transformasi fourier tak ternormalisasi untuk potensial Pöschl-Teller Trigonometri dengan pada keadaan dasar $n = 0$ | 36 |
| Gambar 4.5 Rapat probabilitas entropi posisi untuk potensial Pöschl-Teller Trigonometri pada kondisi dasar $n = 0$ | 38 |
| Gambar 4.6 Rapat probabilitas entropi momentum untuk potensial Pöschl-Teller Trigonometri pada kondisi dasar $n = 0$ | 39 |
| Gambar 4.7 Shannon entropi posisi potensial Pöschl-Teller Trigonometri pada pada keadaan dasar $n = 0$ | 40 |
| Gambar 4.8 Shannon entropi momentum potensial Pöschl-Teller Trigonometri pada pada keadaan dasar $n = 0$ | 41 |
| Gambar 4.9 Potensial Kratzer dengan parameter potensial partikel diatomik CO , NO , O_2 , dan I_2 | 48 |
| Gambar 4.10 Fungsi gelombang radial tak ternormalisasi 4-dimensi partikel O_2 dalam pengaruh potensial Kratzer dengan $l = 1$ (a) $n = 0$, (b) $n = 1$, (c) $n = 2$, dan (d) $n = 3$ | 53 |
| Gambar 4.11 Transformasi fourier tak ternormalisasi untuk potensial Kratzer dengan parameter beberapa partikel diatomik pada keadaan dasar $n = 0$ | 55 |
| Gambar 4.12 Rapat probabilitas entropi posisi untuk potensial Kratzer pada kondisi dasar $n = 0$ | 56 |
| Gambar 4.13 Perbesaran untuk satu bagian rapat probabilitas entropi posisi potensial Kratzer | 57 |

- Gambar 4.14 Rapat probabilitas entropi momentum untuk potensial Kratzer pada
pada keadaan dasar $n = 0$ 58
- Gambar 4.15 Shannon entropi posisi potensial Kratzer pada pada keadaan dasar
 $n = 0$ 59
- Gambar 4.16 Shannon entropi momentum potensial Kratzer pada pada keadaan
dasar $n = 0$ (a) S_{p_K} bernilai -4×10^{21} sampai 0 (b) S_{p_K} bernilai -7×10^{18}
sampai 0 60



DAFTAR SIMBOL



| | |
|-------------------------|---|
| $S(r, \theta, \varphi)$ | : potensial skalar |
| $V(r, \theta, \varphi)$ | : potensial vektor |
| ψ | : fungsi gelombang |
| $\mu = M$ | : massa diam |
| \hbar | : $\frac{h}{2m}$ |
| h | : konstanta Planck $6,626 \times 10^{-34} \text{ Joule} \cdot \text{s}$ |
| c | : kecepatan cahaya di ruang hampa ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$) |
| P | : operator momentum |
| ∇_D | : laplacian D -dimensi |
| D | : dimensi |
| r | : elemen radial |
| $R_\ell(r)$ | : fungsi gelombang radial |
| n | : bilangan kuantum |
| $\psi(r)$ | : fungsi gelombang bagian radial |
| $\phi(p)$ | : transformasi Fourier sebagai fungsi momentum |
| p | : momentum |
| $\rho(r)$ | : rapat probabilitas entropi posisi |
| $\rho(p)$ | : rapat probabilitas entropi momentum |
| S_r | : informasi entropi posisi |
| S_p | : informasi entropi momentum |
| V_{PT} | : potensial Pöschl -Teller trigonometri |
| κ, η | : konstanta kedalaman potensial |
| V_K | : potensial Kratzer |
| V_{1_K} | : parameter potensial Kratzer |
| V_{2_K} | : parameter potensial Kratzer |
| λ_{D-1} | : konstanta pemisah |
| α | : parameter pengontrol potensial |

- i : bilangan imajiner
 $F_n(r)$: fungsi gelombang bagian radial
 D_e : disosiasi energi
 a : jarak ekuilibrium antar inti



DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|-----|
| Lampiran 1 <i>Listing Program</i> Visualisasi Potensial Pöschl-Teller Trigonometri.. | 68 |
| Lampiran 2 <i>Listing Program</i> Perhitungan Energi Relativistik Potensial Pöschl-Teller Trigonometri | 69 |
| Lampiran 3 <i>Listing Program</i> Visualisasi Fungsi Gelombang Potensial Potensial Pöschl-Teller Trigonometri | 70 |
| Lampiran 4 <i>Listing Program</i> Visualisasi Rapat Probabilitas dan Entropi Posisi Potensial Potensial Pöschl-Teller Trigonometri..... | 73 |
| Lampiran 5 <i>Listing Program</i> Perhitungan Fungsi Momentum Potensial Pöschl-Teller Trigonometri | 75 |
| Lampiran 6 <i>Listing Program</i> Visualisasi Rapat Probabilitas dan Entropi Momentum Potensial Potensial Pöschl-Teller Trigonometri | 76 |
| Lampiran 7 <i>Listing Program</i> Visualisasi Potensial Kratzer | 78 |
| Lampiran 8 <i>Listing Program</i> Perhitungan Energi Relativistik Potensial Kratzer. | 79 |
| Lampiran 9 <i>Listing Program</i> Visualisasi Fungsi Gelombang Potensial Potensial Kratzer | 80 |
| Lampiran 10 <i>Listing Program</i> Visualisasi Rapat Probabilitas dan Entropi Posisi Potensial Kratzer | 84 |
| Lampiran 11 Perhitungan Fungsi Momentum Potensial Kratzer..... | 86 |
| Lampiran 12 <i>Listing Program</i> Visualisasi Rapat Probabilitas dan Entropi Momentum Potensial Potensial Kratzer | 87 |
| Lampiran 13 Publikasi 1 | 90 |
| Lampiran 14 Publikasi 2 | 99 |
| Lampiran 15 Publikasi 3 | 107 |