



UNIVERSITAS NEGERI MEDAN

**SIMULASI GERAK PARTIKEL DAN ANTIPARTIKEL DALAM
MEDAN ELEKTROMAGNETIK DENGAN METODE
KOMPUTASI RUNGE-KUTTA DALAM BAHASA
PEMOGRAMAN PHYTON**

PROPOSAL PENELITIAN

Diajukan untuk Proposal Penelitian dalam Rangka Penyusunan Skripsi

Oleh:

**Dian Wardana
NIM 4173240007
Program Studi Fisika**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI MEDAN
MEDAN
2024**

HALAMAN PENGESAHAN
SKRIPSI
SIMULASI GERAK PARTIKEL DAN ANTIPARTIKELDALAM
MEDAN ELEKTROMAGNETIK DENGAN METODE
KOMPUTASI RUNGE-KUTTA DALAM BAHASA
PEMOGRAMAN PHYTON

Nama : Dian Wardana
Nim : 4173240007
Program Study : Fisika
Jurusan : Fisika

Menyetujui
Dosen Pembimbing Skripsi

Dr. Dewi Wulandari, S.Si., M.Si
NIP: 197801202008012014

Menyetujui :

Fakultas MIPA UNIMED
Dekan,

Jurusan Fisika
Ketua

Dr. Ani Sutiani, M.Si.
NIP: 196807301992032001

Dr. Dewi Wulandari, S.S.i, M.Si.
NIP: 197801202008012014

ABSTRAK

Abstrak: Partikel dan anti-partikel belum semua ditemukan sehingga perlu dilakukan pencarian bukti dengan partikel berenergi tinggi. Partikel berenergi tinggi di hasilkan oleh pemercepat partikel yang prinsipnya di dasarkan pada gerak partikel pada medan elektromagnetik. Simulasi partikel di medan elektromagnetik sangat banyak di lakukan namun belum menyatukan bahasa pemrograman phyton dalam tampilan GUI menggunakan metode Runge-Kutta 4 (RK4), Runge-Kutta 45 Butcher (RK45B) dan Runge-Kutta 45 Felhberg (RK45F) pada persamaan diferensial partikel di medan elektromagnetik (persamaan linier) dan persamaan yang di tambah medan elektromagnetik eksternal berubah terhadap waktu (persamaan linier) serta belum membandingkan perbedaan simulasi partikel dan antipartikel pada medan elektromagnetik. Dengan menggunakan data PSB, partikel uji positif dan negatif, proton, anti-proton, elektron, dan anti-elektron di dapati bahasa pemrograman dapat berjalan dengan *library* Tkinter, NumPy dan Matplotlib. Pada metode RK4 dapat menyelesaikan simulasi di partikel uji, antiproton dan elektron. RK45B dapat menyelesaikan partikel uji, proton antiproton dan elektron, RK45F dapat menyelesaikan partikel uji, proton antiproton dan anti elektron. Hasil simulasi didapati diameter sangat di pengaruhi massa partikel dan medan listrik mempengaruhi gerak ke arah atas. Pada persamaan linier partikel bermuatan positif (partikel positif, proton dan anti elektron) akan berputar searah jarum jam yang diikuti dengan meningkatnya kecepatan, massa gerak energi gerak dan energi kinetik, sedangkan muatan negatif sebaliknya. Pada persamaan non linier pada partikel uji coba diameter putar akan semakin mengecil namun pada partikel uji tidak terlihat perbedaan dengan persamaan linier dikarenakan medan elektromagnetik eksternal terlalu kecil

Kata Kunci :Partikel , Elektromagnetik, Runge-Kutta, Phyton

ABSTRACT

ABSTRACT: Not all of particles and anti-particles have been found, so it is necessary to search with high-energy particles. High energy particles are produced by particle accelerators whose principle is based on motion of particles in an electromagnetic field. Particle simulations in electromagnetic fields are widely carried out but have not integrated Python programming language in GUI display using Runge-Kutta 4 (RK4), Runge-Kutta 45 Butcher (RK45B) and Runge-Kutta 45 Fehlberg (RK45F) methods in particle differential equations in electromagnetic fields (linear equations) and equations which was addition of external electromagnetic fields that change with time (linear equations) and have not compared differences between particle and antiparticle simulations in electromagnetic fields. By using PSB data, positive and negative test particles, protons, anti-protons, electrons and anti-electrons, it was found that programming language can run with Tkinter, NumPy and Matplotlib libraries. RK4 method can complete simulations on test particles, antiprotons and electrons. RK45B can resolve test particles, protons antiprotons and electrons, RK45F can resolve test particles, protons antiprotons and antielectrons. Simulation results show that diameter is strongly influenced by mass of particle and electric field influences its upward movement. In linear equation, positively charged particles (positive particles, protons and anti-electrons) will rotate clockwise, followed by increasing speed, moving mass, kinetic energy and kinetic energy, while negative charges vice versa. In non-linear equation on test particle rotating diameter will become increasingly smaller but on test particle re is no visible difference with linear equation because external electromagnetic field is too small.

Keywords: Particle , electromagnetic, Runge-Kutta, Python

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACK	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Mengidentifikasi Masalah	4
1.3. Batasan Masalah.....	5
1.4. Rumusan Masalah	5
1.5. Tujuan Penelitian.....	6
1.6. Manfaat.....	6
BAB II KAJIAN TEORITIS.	7
2.1. Kerangka Teori.....	7
2.1.1. Partikel	7
2.1.2. Partikel Penyusun Atom dan Anti Partikelnya	11
2.1.3. Akselerator Partikel	12
2.1.4. <i>CERN accelerator</i>	13
2.1.5. Relativitas	15
2.1.6. Medan Magnet	17
2.1.7. Persamaan Gerak Partikel	20
2.1.8. Metode Runge-Kutta.....	29
2.1.9. Bahasa Pemrograman Python	34
2.1.10. Anaconda	36
2.2. Kerangka Konsep	41

BAB III METODE PENELITIAN.....	43
3.1. Waktu Dan Tempat Penelitian	43
3.1.1. Tempat Penelitian	43
3.1.2. Waktu Penelitian	43
3.2. Alat Dan Bahan Penelitian	43
3.3. Rancangan Penelitian	46
3.4. Diagram alir penelitian	47
3.5. Prosedur penelitian	48
3.5.1. Persiapan	48
3.6. Simulasi	53
3.7. Tahap analisis	55
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.	59
4.1. Hasil Dan Pembahasan Program <i>Grafik User Interface (GUI)</i>	59
4.2. Hasil Dan Pembahasan Pada Simulasi	70
4.3. Pembahasan Keseluruhan hasil yang di dapati.....	102
4.4. Pembahasan Konteks Yang Berkaitan	105
BAB V PENUTUP.....	107
5.1. Kesimpulannya	107
5.2. Sarannya	109
DAFTAR PUSTAKA	110

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Model Standar,	8
Gambar 2.2.	Salah 1 bentuk akselerator partikel	12
Gambar 2.3.	Gambar ilustrasi gerak partikel pada medan magnet	20
Gambar 2.4.	Gambar ilustrasi gerak partikel pada medan elektromagnet	23
Gambar 2.5.	Lambang bahasa pemrograman Python.....	35
Gambar 2.6.	Spesifikasi Perangkat Yang Mendukung Anaconda	37
Gambar 2.7.	Rangkaian kegiatan untuk menginstal python.....	38
Gambar 2.8.	Tampilan Anaconda Navigator yang memiliki banyak IDE	39
Gambar 2.9.	Simbol Spyder	39
Gambar 3.1.	Gambar Diagram Alir Penelitian.....	47
Gambar 3.2.	<i>Flowcard</i> Dari Rancangan Program.....	53
Gambar 4.1.	tampilan masukan input.....	59
Gambar 4.2.	pemilihan metode	62
Gambar 4.3.	pemograman	63
Gambar 4.4.	Rumus analitik posisi pada bahasa pemrograman python.....	63
Gambar 4.5.	pemilihan <i>output</i>	64
Gambar 4.6.	<i>Output</i> dari grafik posisi banding waktu pada persamaan linier .	66
Gambar 4.7.	<i>Output</i> salah satu gambar grafik kecepatan.....	66
Gambar 4.8.	<i>Output</i> salah satu gambar dari gerak pada 2D.....	67
Gambar 4.9.	<i>Output</i> salah satu gambar dari gerak 3D	67
Gambar 4.10.	<i>Output</i> grafik dari salah satu grafik kesalahan.....	68
Gambar 4.11.	Salah satu gambar print <i>xlsx</i>	68
Gambar 4.12.	posisi tempat file <i>xlsx</i>	68
Gambar 4.13.	tampilan pada salah satu simulasi.	69
Gambar 4.14.	Gambar Grafik Persentase Kesalahan Partikel Positif.....	72
Gambar 4.15.	Gambar Grafik Persentase Kesalahan Partikel Negatif	75
Gambar 4.16.	Gambar Grafik Persentase Kesalahan Partikel Proton.....	83
Gambar 4.17.	Gambar grafik persentase kesalahan partikel antiproton	86
Gambar 4.18.	Gambar Grafik Persentase Kesalahan Partikel Elektron.....	94

Gambar 4.19.	gambar grafik persentase kesalahan partikel antielektron	97
Gambar 4.20.	kemampuan metode menunjukkan hasil simulasi.....	103
Gambar 4.21.	Kemampuan Metode Kesalahan Terendah Ke Tertinggi...	103
Gambar 4.22.	Gambar hasil simulasi dalam 3D pada persamaan linier ...	104
Gambar 4.23.	<i>exception in tkinter callback</i> pada IDE Spyder	105
Gambar 4.24.	Simulasi antielektron pada RK4.....	105

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Fermion Fundamental	8
Tabel 2.2.	.Antipartikel Fermion Fundamental	9
Tabel 2.3.	partikel dan antipartikel penyusun atom	11
Tabel 2.4.	Spesifikasi <i>PSB, PS</i> dan <i>SPS</i>	14
Tabel 3.1.	Tabel Alat Dan Bahan	43
Tabel 3.2.	Nilai Input Untuk Data Nilai Uji Coba	44
Tabel 3.3.	nilai input untuk data nilai spesifik pada persamaan linier	45
Tabel 3.4.	Nilai <i>Input</i> Untuk Data Nilai Spesifik Pada Persamaan Non Linier	46
Tabel 3.5.	kesamaan bentuk output pada persamaan linier	55
Tabel 3.6.	Pembahasan Tahap Analisa Pada Data Spesifik	56
Tabel 3.7.	Perbandingan Hasil Simulasi	57
Tabel 4.1.	<i>Entry</i> Pada Program	60
Tabel 4.2.	Arti Text Pada Tombol.....	61
Tabel 4.3.	Label Metode	62
Tabel 4.4.	Hasil <i>Output</i>	64
Tabel 4.5.	Hasil Kesesuaian Analitis Dan Komputasi Pada Partikel Positif....	70
Tabel 4.6.	Kesalahan Pada Partikel Positif	71
Tabel 4.7.	Hasil Kesesuaian Analitis Dan Komputasi Pada Partikel Negatif ..	73
Tabel 4.8.	Kesalahan Pada Partikel Negatif	74
Tabel 4.9.	Perbandingan Partikel Positif Dan Negatif Pada Persamaan Linier	76
Tabel 4.10.	Perbandingan Partikel Positif Dan Negatif Pada Persamaan Nonlinier	78
Tabel 4.11.	Hasil Kesesuaian Analitis Dan Komputasi Pada Partikel Proton ...	81
Tabel 4.12.	Kesalahan Pada Partikel Proton	82
Tabel 4.13.	Hasil Kesesuaian Analitis Dan Komputasi Pada Partikel Antiproton	84
Tabel 4.14.	Kesalahan Pada Partikel Antiproton	85
Tabel 4.15.	Perbandingan Partikel Proton Dan Antiproton Pada Persamaan Linier	87

Tabel 4.16.	Perbandingan Partikel Proton Dan Antiproton Pada Persamaan Linier	89
Tabel 4.17.	Hasil Kesesuaian Analitis Dan Komputasi Pada Partikel Elektron	92
Tabel 4.18.	Kesalahan Pada Partikel Elektron	93
Tabel 4.19.	hasil kesesuaian analitis dan komputasi pada partikel anti elektron	95
Tabel 4.20.	Kesalahan Pada Partikel Anti elektron.....	96
Tabel 4.21.	Perbandingan Partikel Proton Dan Antiproton Pada Persamaan Linier	98
Tabel 4.22.	Perbandingan partikel elektron dan anti elektron pada persamaan linier	100

DAFTAR LAMPIRAN

lampiran 1 Komplek Cern Accelerator	114
Lampiran 2 Penginstalan Anaconda.....	115
Lampiran 3 Penurunan Rumus.....	122
Persamaan Untuk Pemograman	122
Lampiran 4 Penggunaan Runge-Kutta	126
Lampiran 5 Contoh Penggunaan Library Di Phyton.....	135
Lampiran 6 Program	139
Lampiran 7 Bahasa Pemograman Metode Rk.....	237
Lampiran 8 Input Positif.	257
Lampiran 9 Persamaan Linier Positif.....	259
Lampiran 10 Persentase Kesalahan Pada Positif	268
Lampiran 11 Input Negatif.....	273
Lampiran 12 Persamaan Linier Negatif	275
Lampiran 13 Kesalahan Pada Partikel Negatif	284
Lampiran 14 Nilai Yang Terkadung Di Partikel Positif Dan Negatif Persamaan Linier	289
Lampiran 15 Nilai Yang Terkadung Di Partikel Positif Dan Negatif Persamaan Non Linier	289
Lampiran 16 Input Proton	290
Lampiran 17 Persamaan Linier Proton	292
Lampiran 18 Persentase Kesalahan Di Proton	301
Lampiran 19 Input Antiproton	306
Lampiran 20 Persamaan Linier Antipartikel.....	308
Lampiran 21 Kesalahan Pada Antiproton	317
Lampiran 22 Nilai Yang Terkadung Di Partikel Proton Dan Antiproton Persamaan Linier	322
Lampiran 23 Nilai Yang Terkadung Di Partikel Proton Dan Antiproton Persamaan Non Linier	322
Lampiran 24 Input Elektron	323
Lampiran 25 Persamaan Linier Elektron	325

Lampiran 26 Kesalahan Pada Partikel Elektron.....	334
Lampiran 27 Input Antielektron.....	339
Lampiran 28 Persamaan Linier Antielektron.....	341
Lampiran 29 Kesalahan Pada Antielektron.....	350
Lampiran 30 Nilai Yang Terkadung Di Partikel Elektronn Dan Anti Elektron Persamaan Linier.....	355
Lampiran 31 Nilai Yang Terkadung Di Partikel Elektronn Dan Anti Elektron Persamaan Non Linier.....	355

BAB I.

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Partikel dan anti-partikel yang tertera pada model standar belum semua ditemukan. Sehingga perlu pencarian bukti-bukti baru untuk memperkuat atau mencari bukti penyimpangan dari model-model standar yang telah ada. Pada tahun 1950 dengan menggunakan sinar kosmik yang saat itu merupakan satu-satunya partikel berenergi tinggi, para peneliti menemukan partikel penting yaitu positron dan pion (Jayanth, 2015-2016).

Partikel berenergi tinggi adalah partikel yang bergerak dengan kecepatan tinggi hingga mendekati kecepatan cahaya sehingga mengakibatkan partikel memiliki energi yang lebih besar dari pada saat partikel tersebut diam. Hal ini sesuai dengan penjelasan Einstein pada persamaan massa relatif di mana "Ketika partikel bergerak dengan cepat, energi kinetik semakin tinggi diakibatkan peningkatan massa gerak yang berbanding lurus dengan peningkatan kecepatannya" (Mikrajuddin, 2007). Hal ini mengakibatkan partikel bermassa akan memiliki massa gerak menjadi tak terhingga ketika kecepatan suatu partikel bermassa mendekati kecepatan cahaya. Sehingga hanya partikel tak bermassa (seperti foton) yang mampu bergerak di kecepatan cahaya. Namun, peneliti terus bereksperimen agar mampu mempercepat partikel bermassa hingga dapat mendekati kecepatan cahaya. Salah satu upaya para peneliti untuk mendekati kecepatan cahaya yaitu dengan membuat peralatan pemercepat partikel atau lebih di kenal akselerator partikel (Gerthsen, Kneser, & Vogel, 1996).

Akselerator partikel atau peralatan pemercepat partikel adalah alat yang menggunakan medan elektromagnetik untuk mendorong partikel bermuatan atau ion dengan kecepatan tinggi hingga mendekati kecepatan cahaya dalam suatu jalur

yang telah ditentukan(Wiedemann,H, 2015). Selain menghasilkan partikel yang memiliki pergerakan tinggi akselerator partikel juga menghasilkan radiasi yang memiliki banyak peran.

Peran akselerator partikel dapat dilihat pada dunia medis dengan jenis pemercepat partikel siklotron yang mampu menghasilkan sinar radioaktif yang digunakan untuk radionuklida sebagai sarana mengatasi kanker, tumor dan dapat digunakan untuk pembunuhan bakteri (Wulansari,2010). Dalam menemukan partikel peran akselerator partikel paling terkenal di dunia fisika partikel adalah penemuan w boson dan z boson yang dilakukan oleh Feynman yang menabrakkan elektron dan anti-elektron (positron) pada tingkat energi tertentu (Davies, 2013). Dan Peran pemercepat partikel paling baru adalah penemuan Higg Boson oleh peneliti di pemercepat partikel terbesar CERN Accelerator.

CERN accelerator (*Conseil Europeen Pour Larecherche Nuclearire Accelerator*) adalah peralatan pemercepat partikel paling mutakhir saat ini dengan busur sepanjang 100 km terletak di Swiss-Prancis. Di dalam CERN accelerator terdapat banyak alat yang digunakan untuk penelitian tentang partikel salah satunya adalah kesatuan Proton Accelerator yang terdiri atas *Linear Accelerator* (LINAC), *Proton Sychrotron Booster* (PSB), *Proton Sychrotron* (PS), *Super Proton Sychrotron* (SPS), dan *Large Hadron Collider* (LHC). kesatuan proton accelerator ini mampu mempercepat partikel proton hingga kecepatan 99,999% kecepatan cahaya dengan energi partikel hingga 7 Tev dan menjadi wadah ditemukannya Higg Boson. Mengingat penting peran pemercepat partikel baik dalam kehidupan sehari-hari dan penemuan partikel baru peran tersebut menarik untuk mengkaji sumber penelitian tentang pengaruh yang di akibatkan oleh medan elektromagnetik yang dialami oleh partikel atau antipartikel (CERN,2021).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Azam Dan Kawan-Kawan pada tahun 2007 dengan judul “penelitian simulasi gerak partikel pada pengaruh medan listrik dan induksi magnet menggunakan *Matrix Laboratory* (atau yang lebih dikenal dengan nama MATLAB) versi 7.1”. Dalam penelitian ini, GUI (*Grafik User Interface* atau antarmuka muka pengguna) dibuat menggunakan MATLAB dengan bahasa pemrograman C dengan metode analisis Runge-Kutta. Hasil yang didapati

berupa gambar 2 dimensi dan 3 dimensi(Azam, Kusbramanto, & Suseno, 2007). Penelitian tersebut memiliki kelemahan yaitu penelitian ini juga tidak menampilkan energi dari partikel yang sedang mengalami kecepatan.

Penelitian serupa juga dilakukan oleh Mahmudi Dan Kawan-Kawan pada tahun 2020 dengan judul Simulasi Gerak Ion Dalam Medan Elektromagnetik Menggunakan Metode *Finite Difference Method* (Atau Disingkat FDM) pada MATLAB. Dalam penelitian ini merancang GUI dengan menggunakan MATLAB dengan menggunakan bahasa pemrograman C dan menampilkan nilai masukan yang di gunakan oleh peneliti(Mahmudi,dkk,2020). Dengan demikian mempermudah pembaca dalam menganalisis gambar yang terbentuk sehingga dapat dengan mudah memahami pola yang terbentuk. Namun Metode FDM dinilai memiliki kelemahan pada biaya komputasi serta tampilan tidak menyertakan energi dari partikel yang sedang mengalami kecepatan.

Proyek serupa juga dilakukan Jhonathan Mitler pada tahun 2019 dengan judul “*Damped Motion of a Charged Particle in Time Varying Electromagnetic Fields*”. Pada penelitian ini, GUI di rancang dengan bahasa pemrograman phyton. dengan rumus analitik yang diturunkan secara diferensial sehingga dapat di buktikan kebenarannya dengan hasil akhir dalam bentuk 2 dimensi dan 3 dimensi baik secara analitik dan numerik(Mitler,2019). Namun Nilai yang di gunakan pada penelitian ini tidak dapat di rubah dengan mudah karena harus mengganti program terlebih dahulu, serta metode komputasi yang digunakan adalah metode komputasi dengan bantuan *library* Scipy yang merupakan Runge-Kutta k45 Dormand-Prince (Varoquaux,Dkk,2020) yang dinilai kurang bervariasi karena tidak dapat di gantikan dengan metode komputasi pada persamaan diferensial yang lain.

Metode Runge-Kutta merupakan metode pengulangan yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial(Anggraita, & Mulyani, 2015). Penggunaan metode Runge-Kutta pada penelitian-penelitian sebelumnya dikarenakan metode Runge-Kutta dapat dikomputerisasikan dengan biaya komputasi yang lebih hemat lebih hemat waktu dari pada dari pada metode FDM dan perhitungan manual. Pada umumnya metode Runge-Kutta sampai pada metode Runge-Kutta 4 namun Metode Runge-Kutta terus berkembang sehingga

menampilkan hasil yang lebih presisi sesuai dengan analitisnya. Salah satu Metode Runge-Kutta adalah metode Runge-Kutta 45 Butcher dan Runge-Kutta 45 Fehlberg di mana dengan metode ini perbedaan antara analitik dan numerik dari suatu persamaan diferensial teramat sangat kecil (Sihombing & Dahlia, 2018). Sehingga memungkinkan untuk pengaplikasian Runge-Kutta 45 Butcher dan Fehlberg dalam penyelesaian persamaan diferensial sebagai alternatif Scipy pada bahasa pemrograman python.

Bahasa pemrograman Python adalah bahasa pemrograman baru dan populer. Bahasa pemrograman ini dapat dengan mudah digunakan dengan bantuan aplikasi pihak ketiga yaitu Spyder 4 yang terdapat di IDE Anaconda 3. Di Anaconda 3 *library* yang kita inginkan dapat dengan mudah di akses dan kompatibel dengan perangkat yang gunakan (Rolon-Mérette dkk. 2020). Tampilan Spyder 4 mirip dengan aplikasi pemrograman sains populer yaitu MATLAB sehingga yang sudah terbiasa menggunakan MATLAB akan terbiasa dengan Spyder (Raybaut, 2017). Untuk menampilkan hasil program dalam GUI dengan bahasa pemrograman Python dilakukan dengan bantuan *library* Tkinter.

Dari uraian di atas cukup menarik untuk mendesain penelitian yang berkaitan dengan simulasi gerak partikel dan antipartikel dalam pengaruh medan elektromagnetik menggunakan Python pada aplikasi Spyder dengan menggunakan metode Runge-Kutta, Penelitian ini diharapkan dapat menjelaskan antara partikel dan antipartikel yang di tinjau dari geraknya pada pengaruhi oleh medan elektromagnet yang di sajikan dalam bahasa yang sedang populer yaitu bahasa pemrograman Python pada aplikasi Anaconda di Spyder 4.

1.2. Mengidentifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di paparkan dapat diidentifikasi masalah yang di hadapi sebagai berikut;

1. Bahasa pemrograman terus berkembang sehingga penelitian tentang simulasi gerak partikel dalam medan elektromagnetik perlu menggunakan bahasa pemrograman terbaru dan terpopuler yaitu Python.

2. GUI yang ada dalam penelitian sebelumnya dinilai kurang fleksibel sehingga perlu dirancang GUI yang menampilkan *input*, *proses* dan *output* serta mampu di gunakan untuk membandingkan suatu keluaran, sehingga memudahkan memahami hasil gambar.
3. Metode Runge-Kutta terus berkembang sehingga penggunaan Scipy dianggap kurang variasi untuk itu perlu di gunakan metode Runge-Kutta lain.
4. Partikel dan antipartikel adalah 2 hal yang berbeda. Sehingga perlu penelitian untuk melihat sejauh mana perbedaan gerak dalam medan elektromagnetik

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah di paparkan identifikasi masalah penelitian ini dibatasi pada;

1. Aplikasi pemrograman dalam penelitian menggunakan bahasa pemrograman Python menggunakan aplikasi Spyder
2. GUI yang didesain menampilkan *input*, *proses* dan *output* dengan bantuan *library* Tkinter
3. Metode Runge-Kutta yang di gunakan adalah metode Runge-Kutta 4th Butcher Dan Fehlberg.
4. Partikel yang digunakan adalah proton dan elektron sementara antipartikel yang digunakan adalah antiproton dan anti elektron.

1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah dapat rumuskan permasalahan yang di hadapi yaitu;

1. Bagaimana merancang program untuk menstimulasikan gerak partikel dan antipartikel dalam medan elektromagnetik dengan bahasa pemrograman Python

2. Bagaimana merancang GUI yang mampu dengan mudah dari satu hasil gambar ke hasil gambar yang lain untuk menstimulasikan gerak partikel dan antipartikel dalam medan elektromagnetik dengan bantuan *library* Tkinter.
3. Bagaimana menganalisis secara komputasi dengan metode Runge-Kutta gerak partikel dalam medan elektromagnetik.
4. Bagaimana perbandingan hasil simulasi partikel dan antipartikel yang digunakan dalam medan elektromagnetik

1.5. Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah di dapati bahwa tujuan penelitian ini yaitu;

1. merancang program untuk menstimulasikan gerak partikel dan antipartikel dalam medan elektromagnetik dengan bahasa pemrograman Phyton
2. merancang GUI yang mampu dengan mudah dari satu hasil gambar ke hasil gambar yang lain.
3. Menggunakan metode Runge-Kutta untuk menganalisis secara numerik gerak partikel dalam medan elektromagnetik.
4. Membandingkan hasil simulasi gerak partikel dan antipartikel dalam elektromagnetik dengan menggunakan bahasa pemrograman Phyton.

1.6. Manfaat

Adapun manfaat penelitian ini:

1. Sarana menyelesaikan kewajiban dalam studi fisika.
2. Sarana mengaplikasikan bahasa pemrograman Phyton dalam metode komputasi guna menjadi sumber bacaan untuk penelitian ke depannya.
3. Sarana menampilkan perbedaan antara partikel dan antipartikel dalam pengaruh medan elektromagnetik.

BAB II.

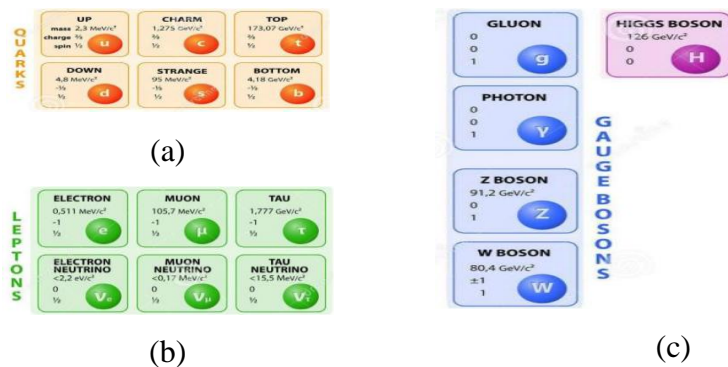
TINJAUAN TEORITIS

2.1. Kerangka Teori

2.1.1. Partikel

Semua benda yang ada di dunia baik benda hidup atau benda mati terdiri atas suatu bagian-bagian yang lebih kecil. Bagian-bagian yang lebih kecil tersusun kembali oleh sesuatu bagian-bagian lebih kecil yang dapat disebut dengan unsur-unsur. Suatu unsur memiliki unit terkecil yang disebut dengan atom (Chang,R.2017.). Atom-atom tersusun atas partikel-partikel yang lebih kecil dan disebut partikel subatomik. Partikel subatomik yang umumnya diketahui yakni proton, elektron dan neutron (Silberberg,Ms.2017). Partikel subatomik tersebut terdiri dari partikel fundamental yang sudah diprediksi oleh model standar. Hanya saja, belum semua dapat ditemukan (Griffiths,D.2008,). Beberapa penelitian lanjutan juga terus dikembangkan dengan tujuan untuk mencari bukti-bukti baru dalam memperkuat model standar yang telah ada atau untuk menemukan adanya penyimpangan yang bisa saja terciptanya model baru. Kegiatan ini akan dipelajari pada ilmu fisika partikel (Halzen, Francis , & Alan, D Martin 2010).

Fisika partikel adalah ilmu fisika yang mempelajari sifat-sifat dari partikel penyusun materi (partikel bermassa) dan partikel radiasi (partikel tak bermassa) (Thomson,M.2013). Pada umumnya kata “partikel“ merujuk kepada benda yang sangat kecil. Namun, fisika partikel menyelidiki hal yang berkaitan dengan partikel-partikel terkecil yang dapat dideteksi dengan medan gaya fundamental (Particle Gata Grup.2020). Partikel ini dikenal juga dengan sebutan partikel fundamental. Teori yang mempelajari mengenai partikel fundamental ini dinamakan dengan model standar (Peskin,M.E & Schroeder,D.V.1995). Saat ini model standar menampilkan sub-partikel terdiri atas *quaRKs*, *leptons* dan *gauge boson* yang dapat dilihat pada Gambar 2.1 serta antipartikelnya



Gambar 2.1. Model Standar,

(a) *quaRKs*, (b) *leptons* dan (c) *gauge bosons*.

Dari gambar 2.1 quaks dan lepton merupakan bagian fermion fundamental sedangkan gauge boson adalah bagian dari boson fundamental,

A. *Fermion Fundamental*

Fermion fundamental merupakan partikel yang mengikuti statistik fermi-dirac yang umumnya memiliki spin 1/2 atau 3/2 dan terdiri atas 12 *fermion* dasar yang terbagi menjadi 3 generasi yang terdiri dari 6 partikel *quaRK* serta 6 partikel *lepton*. *Fermion fundamental* dapat dilihat pada tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1. Fermion Fundamental

QuaRK					
Generasi pertama		Generasi kedua		Generasi ketiga	
Nama	Simbol	Nama	Simbol	Nama	Simbol
Up QuaRK	U	Charm QuaRK	C	Top QuaRK	T
Down QuaRK	D	Stange QuaRK	S	Bottom QuaRK	B
Lepton					
Generasi Pertama		Generasi Kedua		Generasi Ketiga	
Nama	Simbol	Nama	Simbol	Nama	Simbol
Elektron	$-e$	Moun	$-\mu$	Tau	$-t$
Elektron Neutrino	ν_e	Moun Neutrino	ν_μ	Tau Neutrino	ν_t

B. Antipartikel Fermion Fundamental

Antipartikel *fermion fundamental* adalah antipartikel dari *fermion fundamental* yang terdiri atas 12 partikel *fermion* dengan 3 generasi yang terdiri atas 6 antilepton dan 6 antiquark (Jayanth, 2015-2016) seperti pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. .Antipartikel Fermion Fundamental

Antiquark					
Generasi Pertama		Generasi Kedua		Generasi Ketiga	
Nama	Simbol	Nama	Simbol	Nama	Simbol
Up Antiquark	U	Charm Antiquark	C	Top Antiquark	T
Down Antiquark	D	Strange Antiquark	S	Bottom Antiquark	B
Anti Lepton					
Generasi Pertama		Generasi Kedua		Generasi Ketiga	
Nama	Simbol	Nama	Simbol	Nama	Simbol
Anti Elektron (Positron)	$+e$	Anti Muon	$+\mu$	Anti Tau	$+t$
Elektron Anti Neutrino	ν_e	Muon Anti Neutrino	ν_μ	Tau Anti Neutrino	ν_t

C. Boson Fundamental

Dalam model standar, sub-partikel *boson* memiliki spin bilangan bulat. *Boson* dapat menempati status kuantum yang sama yang mengikuti prinsip pengecualian Pauli (Ellis,S. D., Godfrey,S., dan Kotwal,A.V, 2012). *Boson* dapat berupa unsur dasar seperti foton maupun kombinasinya. Berikut adalah subpartikel yang termasuk dalam *boson*.

1. *Gluon*

Gluon mempunyai peran dalam memediasi interaksi kuat, yang digunakan untuk menggabungkan *quaRK* untuk membentuk hadron yang merupakan *baryon* (tiga *quaRK*) bisa pula berupa *meson* (satu *quaRK* dan satu *antiquaRK*). Proton dan neutron merupakan *baryon* yang apabila bergabung dengan *gluon* akan membentuk inti atom. *Gluon* akan menunjukkan warna dan antiwarna namun warna yang dihasilkan tidak terkait dengan konsep warna visual (Coen-Tannoudji, C., Diu, B., And Laloe, F, 1977).

2. *Electroweak Bosons* (Boson Elektro-Lemah)

Terdapat tiga *Electroweak bosons* yaitu W^+ , W^- , dan Z^0 yang memprantarai interaksi bersifat lemah. Boson W juga dikenal sebagai mediator dalam peluruhan nuklir. Di mana W^- mengubah neutron menjadi sebuah proton yang kemudian meluruh menjadi pasangan elektron dan elektron antineutrino. Z^0 tidak mengubah muatan melainkan hanya mengubah momentum dan menjadi satu-satunya yang berperan dalam mekanisme hamburan pada neutrino secara elastis. *Electroweak bosons* ditemukan karena adanya perubahan momentum elektron dari pertukaran neutrino- Z (CERN, 2021).

3. *Higgs Boson*

Pada fenomena sehari-hari, interaksi medan berenergi lemah dan elektromagnetik tampak begitu berbeda, namun kedua gaya tersebut dapat disatukan sebagai interaksi *Electroweak* yang berenergi tinggi. Hal ini dikonfirmasi dari pengukuran penampang pada hamburan proton dan elektron berenergi tinggi pada penumbuk HERA di DESY. Perbedaan dengan *Electroweak* energi rendah adalah konsekuensi dari massa boson W dan Z yang memiliki karakteristik khusus sehingga pada gilirannya merupakan hasil dari mekanisme *Higgs* (Elis, J., & Raklev, A.E. 2015). *Higgs* memilih arah khusus dan tersendiri dalam ruang *Electroweak* yang mengakibatkan tiga partikel *Electroweak* menjadi sangat berat dan satu partikel lagi tetap tidak bermassa (yaitu foton). Setelah bertahun-tahun secara eksperimental mencari bukti keberadaannya, pada 4 Juli 2012 *Higgs boson* diumumkan telah diamati di *Large Hadron Collider* di CERN (CERN, 2021).

4. Graviton

Graviton merupakan partikel perantara dalam interaksi gravitasi, namun partikel ini sulit ditemukan karena *Graviton* ini akan memiliki antipartikelnya sendiri dan dengan cepat musnah, sehingga hal tersebut membuat pendeteksiannya sangat sulit (Abbott,B.P.,Dkk.2016).

2.1.2. Partikel Penyusun Atom dan Anti Partikelnya

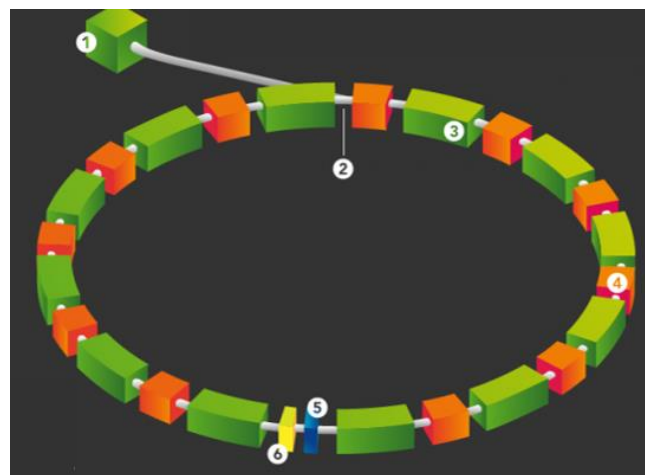
Dalam model standar, elektron merupakan partikel elementer tanpa struktur internal. Berbeda dengan proton maupun neutron adalah partikel komposit yang tersusun dari partikel elementer yang dikenal dengan sebutan *QuaRK*. Ada dua jenis *quaRK* yang terdapat dalam atom, yang mempunyai muatan listrik pecahan. Proton terdiri dari dua *quaRK up* (masing-masing dengan muatan $+\frac{2}{3}$) dan satu *quaRK down* (dengan muatan $-\frac{1}{3}$). Neutron terdiri dari satu *quaRK up* dan dua *quaRK down* (Wilczek,F.2004). Sebagai partikel elektron memiliki anti partikelnya yaitu anti elektron atau yang umumnya disebut dengan positron yang di dapati dari peluruhan beta(Peskin, M.E., & Schroeder,D.B.1995), proton dengan antipartikelnya antiproton yang pada umumnya ditemukan pada reaksi sinar kosmik (Martin, B,R ,2008), dan neutron dengan antipartikelnya anti neutron. Massa dan muatan yang dikandung oleh partikel dan antipartikelnya dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. partikel dan antipartikel penyusun atom

	Proton	Anti-proton	Neutron	Anti-neutron	Elektron	Anti-elektron
Massa	938 MeV/c ²	938 MeV/c ²	940 MeV/c ²	940 MeV/c ²	0,51 MeV/c ²	0,51 MeV/c ²
Muatan	+ e	- e	0	0	-e	+e

2.1.3. Akselerator Partikel

Peralatan pemercepat partikel atau yang biasa disebut dengan akselerator partikel merupakan perangkat yang menggunakan medan elektromagnetik dalam mendorong partikel bermuatan dengan kecepatan tinggi (mendekati kecepatan cahaya) dengan jalur yang ditetapkan. Perkembangan akselerator partikel ini begitu erat kaitannya dengan penemuan muatan listrik oleh filsuf Yunani Thales dari pengamatannya pada elektron dan Penemuan gaya Coulomb tentang pelepasan pilar listrik. Pada umumnya akselerator partikel dikenal pada pengaplikasiannya sebagai alat penelitian dalam fisika partikel, nuklir dan energi tinggi yang membutuhkan fasilitas yang luas. Akselerator yang lebih kecil seperti siklotron diaplikasikan secara luas dalam berbagai penelitian, teknologi dasar, kedokteran, pertanian bahkan pertahanan(Wiedemann,H.2015).



Gambar 2.2. Salah 1 bentuk akselerator partikel

(1) injektor (2). Beam pipe (3).Electromagnets (4). Electricfields (5) Targets dan (6). Detektor

Pada umumnya akselerator partikel terdiri atas dua unit dasar, yakni sumber partikel atau injektor dan akselerator utama. Injektor terdiri dari semua komponen yang berfungsi untuk menghasilkan partikel yang diinginkan. Pada umumnya injektor digunakan untuk menghasilkan berkas proton atau ion, yang kemudian dipercepat terlebih dahulu dalam akselerator elektrostatik untuk meningkatkan massa dan energi ion.

Partikel yang sudah dipercepat akan mengalami percepat lebih lanjut dalam akselerator utama. Akselerator utama tersebut dapat dibedakan menjadi 2 jenis Berdasarkan bentuk lintasannya yaitu akselerator linier dan akselerator melingkar. Akselerator linier terdiri atas banyak alat pemercepat partikel dari transformator yang dihasilkan dari pulsa listrik eksternal. Yang di susun secara segaris atau linier. Partikel yang melintas menyerap dan mengakumulasi energi dari setiap satuan percepatan. Untuk menghasilkan energi sangat yang sangat besar, akselerator linier menjadi sangat panjang dan mahal. hal itu dapat menjadi dasar dalam pembuatan akselerator melingkar. Pada umumnya akselerator melingkar akan menggerakkan partikel pada jalur melingkar secara berulang kali, sehingga partikel mendapatkan energi dari meningkatnya kecepatannya. Contoh akselerator melingkar ini seperti Cyclotrons dan Synchotron

Setelah proses pemercepat oleh akselerator linier atau melingkar partikel akan mencapai target energi dan kecepatan yang diinginkan, kemudian partikel dapat diarahkan ke suatu target (Purcell,E.M., & Morin,D.J.2013). Target yang biasa di gunakan sebagian besar merupakan target hidrogen cair untuk mempelajari interaksi partikel dengannya. Para peneliti juga menumbukkan partikel dengan partikel atau partikel dengan antipartikelnya untuk mempelajari hasil interaksinya (Bertozzi,W.2003). saat ini akselerator partikel paling mutakhir adalah *CERN accelerator*.

2.1.4. *CERN accelerator*

Peralatan pemercepat partikel paling mutakhir saat ini berada dalam kompleks *Conseil Europeen Pour Iarecherhe Nuclearire* (Dewan Eropa Untuk Riset Nuklir atau di singkat *CERN*) *Accelerator* terletak Swiss-Prancis yang menggunakan area dengan busur sebesar 100 Km(CERN,2021). Peralatan berkaitan dengan partikel di *CERN Accelerator* sangat beraneka ragam salah satunya adalah kesatuan peralatan pemercepat partikel *Proton Synchotron*. Gambaran lokasi terdapat pada lampiran 1.

A. Proton Synchotron Booster (PSB)

Proton Synchotron Booster (PSB), mulai dikembangkan pada tahun 1972, Pada mulanya dirancang untuk mempercepat partikel dari energi 50 MeV menjadi berenergi 800 MeV, pada 1999 ditingkatkan menjadi mempercepat berenergi proton hingga energi 2,1418 GeV. PSB berisi 264 magnet dari 15 jenis magnet berbeda yang bagi di sepanjang lintasan melingkar sepanjang $50 \cdot \pi$ meter (~ 157 meter) dengan besar medan magnetik 0,867 T (CERN, 2021)

B. Proton Synchotron (PS)

Proton Synchotron (PS) mulai beroperasi pada tahun 1959 dan menjadi akselerator tertua yang pernah beroperasi di CERN. PS dapat mempercepat partikel yang dikirim oleh PSB hingga energi 26 GeV. Akselerator ini berisi 245 magnet dari 24 jenis magnet berbeda yang didistribusikan di sepanjang orbit pusat yang panjangnya empat kali lipat dari PSB, yaitu $200 \cdot \pi$ meter (~ 628 meter) dengan besar medan magnetik 1.238 T (CERN, 2021).

C. Super Proton Synchotron (SPS)

Super Proton Synchotron (SPS) dioperasikan pada tahun 1976. SPS mempercepat partikel yang dikirim oleh PS hingga energi 450 GeV. Akselerator berisi 1425 magnet dari 30 jenis magnet berbeda yang didistribusikan sepanjang orbit pusat dengan panjang 11 kali PS, yaitu 2200π meter ($\sim 6911,5$ meter) dengan besar medan magnetik 2.02 T (CERN, 2021).

Tabel 2.4. Spesifikasi PSB, PS dan SPS

Nama	PSB	PS	SPS
Medan Magnet	0,867 T	1,238 T	2,02 T
Energi Awal	50 Mev	1,4 Gev	25 Gev
Energi Akhir	1,4 Gev	25 Gev	450 Gev
Kecepatan Awal	31,4%	91,6%	99,93%
Kecepatan Akhir	91,%	99,93%	99,9998%
Keliling Lintasan	157 Meter	628 Meter	6911.5 Meter

2.1.5. Relativitas

Perkembangan era fisika modern muncul ditandai dengan lahirnya teori kuantum dan juga teori relativitas khusus pada awal abad 20. Dalam fisika modern, cara untuk menjelaskan fenomena alam berbeda dengan fisika klasik, terutama pada saat akan menjelaskan fenomena yang melibatkan partikel subatomic serta partikel yang bergerak dengan laju mendekati laju cahaya. Khusus dalam menjelaskan peristiwa yang melibatkan gerakan mendekati laju cahaya, hukum mekanika newton ternyata gagal dan tidak bekerja. Hal ini membuktikan pentingnya membentuk suatu metode baru untuk menjelaskan fenomena tersebut, dan hal itulah yang dilakukan Einstein dengan menggunakan teori relativitas khusus.

A. Penjumlahan Kecepatan Einstein

Albert Einstein mengusulkan suatu bentuk resultan kecepatan yang lebih umum. Misalnya dalam sebuah kereta sedang bergerak ke arah sumbu x positif dengan kecepatan u . Kemudian dalam kereta ada penumpang yang berjalan ke arah sumbu x positif dengan kecepatan v terhadap kereta. Menurut pengamatan diam di bumi, kecepatan penumpang yang berjalan searah kereta bukan $w = u + v$, tetapi

$$w = \frac{u + v}{1 + \frac{uv}{c^2}} \quad (2.1).$$

Dan, kecepatan penumpang yang sedang berjalan dalam arah berlawanan dengan arah gerak kereta menurut pengamat di bumi bukan $w = u - v$ tetapi

$$w = \frac{u - v}{1 + \frac{uv}{c^2}} \quad (2.2).$$

B. Relativitas Massa, Momentum, dan Energy

Einstein mengusulkan bahwa massa benda tidak tetap, tetapi bergantung pada kecepatannya. Semakin besar kecepatan benda maka semakin besar massanya.

Jika laju benda mendekati laju cahaya maka massa benda akan mendekati massa yang tak terhingga sehingga diperlukan massa diam benda yang sangat kecil agar benda dapat dipercepat mendekati kecepatan cahaya (Rosana, 2000). Sehingga dapat diidentifikasi hubungan antara massa dan laju benda yang memenuhi persyaratan di atas adalah:

$$M = \frac{m}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \quad (2.3).$$

Einstein menerapkan hukum hubungan massa tersebut pada kekekalan momentum menjadi

$$p = Mu = \frac{mu}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \quad (2.4).$$

Bentuk rumus untuk energi kinetik disesuaikan dengan bentuk mekanika klasik yang secara umum ditulis sebagai

$$K = Mc^2 - mc^2 \quad (2.5).$$

$$K = E - E_0 \quad (2.6).$$

Dengan,

$$E = Mc^2 = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \quad (2.7).$$

$$E_0 = mc^2 \quad (2.8).$$

Sehingga

$$K = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}} - mc^2 \quad (2.9).$$

2.1.6. Medan Magnet

Pada suatu magnet dihasilkan medan magnet dengan sifat (i) arah medan magnet sama dengan arah garis gaya magnet. (ii) besar medan magnet sebanding dengan kerapatan garis gaya magnet.

Pada kutub magnet, kerapatan garis gaya magnet paling besar sehingga didapati medan magnet yang paling besar. Arah garis gaya keluar dari kutub utara dan masuk ke kutub selatan. Dengan demikian, arah medan magnet keluar dari kutub utara dan masuk di kutub selatan. Simbol medan magnet dengan B , yang merupakan sebuah besaran vektor. Satuan medan magnet adalah tesla yang disingkat dengan T.

Gaya Lorentz magnet tidak hanya bekerja pada magnet, namun juga bekerja pada arus listrik. Jika kawat yang dialiri arus listrik ditempatkan dalam medan magnet, maka kawat tersebut akan mendapatkan gaya dari magnet. Besar dan arah gaya yang dialami kawat yang dialiri arus listrik dalam medan magnet diberikan oleh hukum Lorentz

$$\vec{F} = i\vec{l} \times \vec{B} \quad (2.10).$$

Besarnya gaya Lorentz yang dialami kawat berarus listrik dapat ditulis

$$F = ilB \sin \theta \quad (2.11).$$

Jika $\theta=90^\circ$ maka menjadi

$$F = ilB \quad (2.12).$$

Muatan yang bergerak dalam medan magnet juga mengalami gaya Lorentz karena muatan tersebut menghasilkan arus listrik. Pada dasarnya, gaya Lorentz yang terdapat pada kawat yang dialiri arus sama dengan superposisi (penjumlahan) semua muatan listrik yang sedang mengalir dalam kawat yang diakibatkan medan magnet. Jadi, yang lebih mendasar, gaya Lorentz adalah gaya yang dilakukan oleh medan magnet pada muatan listrik yang sedang bergerak.

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (2.13).$$

Besarnya gaya Lorentz menjadi

$$F = qvB \sin \theta \quad (2.14).$$

Arah medan magnet B dan kecepatan v tegak lurus sehingga $\sin 90^\circ = 1$ menghasilkan:

$$F = qvB \quad (2.15).$$

Arah gaya selalu tegak lurus dengan arah gerak partikel bermuatan yang bergerak dalam medan magnet persis sama dengan benda yang sedang bergerak melingkar beraturan. Seperti pada benda yang bergerak melingkar, selalu bekerja gaya ke arah pusat lingkaran, sedangkan arah gerak selalu menyinggung lintasan (tegak lurus gaya). Sehingga, bisa dapat dipastikan bahwa lintasan muatan yang masuk dalam medan magnet dengan arah tegak lurus akan membentuk lintasan lingkaran (Mikrajuddin, 2007).

$$F_s = \frac{mv^2}{r} \quad (2.16).$$

gaya sentripetal merupakan gaya Lorentz yang dihasilkan oleh medan magnet yang besarnya qvB . Dengan menyamakan nilai kedua gaya tersebut maka diperoleh:

$$F_s = F$$

$$\frac{mv^2}{R} = qvB$$

$$v = \frac{qBR}{m}$$

(2.17).

Sehingga diperoleh jari-jari melingkar:

$$R = \frac{mv}{qB}$$

(2.18).

Muatan dan medan magnet yang lebih besar menghasilkan radius yang lebih kecil. Di sisi lain, massa dan kecepatan yang lebih besar akan menghasilkan radius yang lebih besar. Periode waktu revolusi adalah:

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{m2\pi}{qB}$$

(2.19).

Sehingga frekuensinya menjadi:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{m2\pi}$$

(2.20).

Dengan demikian kecepatan anguler adalah:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi qB}{m2\pi} = \frac{qB}{m}$$

(2.21).

Deviasi sudut

Setelah mengetahui periode, untuk mengetahui sudut yang dibentuk dipusat lingkaran selama gerakan dalam interval waktu tertentu adalah.

$$\phi = \omega t = \frac{qBt}{m}$$

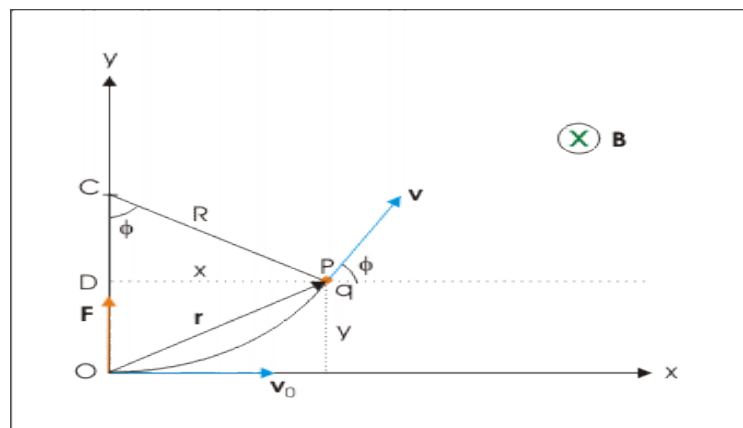
(2.22).

2.1.7. Persamaan Gerak Partikel

1. Analisis Persamaan Gerak Partikel Dari Referensi Buku Sunil Kumar Singh

Menurut buku Sunil Kumar Singh persamaan gerak partikel pada arah positif dideskripsikan Berdasarkan representasi gambar. Persamaan juga dibagi dalam 2 kasus, di mana kasus pertama gerak partikel di medan magnet dan gerak partikel di medan elektromagnet (Singh, 2009).

Persamaan Gerak Partikel Pada Medan Magnet



Gambar 2.3. Gambar ilustrasi gerak partikel pada medan magnet

Menurut gambar, v_0 merupakan besar kecepatan. Partikel dengan arah gaya magnet F dalam arah y . Orientasi awal ini ditunjukkan pada gambar dengan asumsi bahwa partikel bergerak dari titik asal yang di pengaruhi medan magnet B kearah luar

Gaya F menyebabkan partikel bergerak melingkar pada bidang $x - y$ dalam arah berlawanan arah jarum jam dikarenakan. Pada waktu t partikel berada pada titik P , dengan vektor kecepatan partikel didefinisikan sebagai:

$$\vec{v} = v_x \hat{i} + v_y \hat{j}$$

(2.23).

vektor kecepatan membentuk sudut dengan sumbu x . besarnya kecepatan tidak berubah karena gaya magnet, diperoleh :

$$\vec{v} = v_0 \cos \phi \hat{i} + v_0 \sin \phi \hat{j}$$

(2.24).

Partikel melakukan gerakan melingkar beraturan dengan kecepatan sudut konstan,

$$\phi = \omega t$$

(2.25).

Dan

$$\omega t = \frac{qBt}{m}$$

(2.26).

Sehingga rumus kecepatan menjadi :

$$\vec{v} = v_0 \cos \omega t \hat{i} + v_0 \sin \omega t \hat{j}$$

$$\vec{v} = v_0 \cos \frac{qBt}{m} \hat{i} + v_0 \sin \frac{qBt}{m} \hat{j}$$

(2.27).

Persamaan ini merupakan kecepatan setiap saat (t) vektor perpindahan partikel dari titik asal adalah r yang diperoleh dengan mengintegrasikan fungsi v terhadap waktu t menghasilkan

$$\vec{r} = \frac{m}{qB} v_0 \sin \frac{qBt}{m} \hat{i} - \frac{m}{qB} v_0 \cos \frac{qBt}{m} \hat{j} + \vec{c}$$

(2.28).

Nilai \vec{c} diperoleh dari kondisi awal $r = 0$ dan $t = 0$

$$0 = \frac{m}{qB} v_0 \sin \frac{qB0}{m} \hat{i} - \frac{m}{qB} v_0 \cos \frac{qB0}{m} \hat{j} + \vec{c} \quad (2.29).$$

Di mana $\sin 0^0 = 0$ dan $\cos 0^0 = 1$ sehingga diperoleh:

$$\vec{c} = \frac{m}{qB} v_0 \hat{j} \quad (2.30).$$

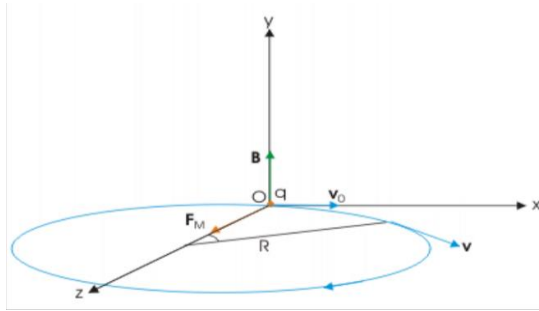
Sehingga persamaan posisi menjadi:

$$\vec{r} = \frac{m}{qB} v_0 \sin \frac{qBt}{m} \hat{i} + \left(\frac{m}{qB} v_0 - \frac{m}{qB} v_0 \cos \frac{qBt}{m} \right) \hat{j} \quad (2.31).$$

Dengan mengidentifikasikan $R = \frac{m}{qB} v_0$ dan $\frac{qBt}{m} = \phi$ maka persamaan dapat di sederhanakan menjadi:

$$\vec{r} = R \sin \phi \hat{i} + (R - R \cos \phi) \hat{j} \quad (2.32).$$

Persamaan gerak partikel dalam pengaruh medan elektromagnet



Gambar 2.4. Gambar ilustrasi gerak partikel pada medan elektromagnet

Dari gambar diatas, pengaruh medan magnet menyebabkan partikel bergerak dalam bidang $x - y$ dengan kecepatan:

$$\begin{aligned}\vec{v} &= v_x \hat{i} + v_z \hat{k} \\ \vec{v} &= v_0 \cos \phi \hat{i} + v_0 \sin \phi \hat{k}\end{aligned}\tag{2.33}.$$

Dengan fungsi posisi :

$$\begin{aligned}\vec{r} &= r_x \hat{i} + r_z \hat{k} \\ \vec{r} &= R \sin \phi \hat{i} + (R - R \cos \phi) \hat{k}\end{aligned}\tag{2.34}.$$

Percepatan dalam arah y dalam pengaruh medan listrik dinyatakan sebagai :

$$a_y \hat{j} = \frac{F_E}{m} = \frac{qE}{m} \hat{j}\tag{2.35}.$$

Fungsi kecepatan diperoleh dengan pengintegralan fungsi a_y terhadap t menghasilkan

$$\vec{v}_y \hat{j} = \frac{q}{m} E t \hat{j} + \vec{c}\tag{2.36}.$$

Nilai c diperoleh dari kondisi awal $\vec{v}_y = \vec{v}_{y0}$ pada $t = 0$

$$\overrightarrow{v_{y0}j} = \frac{q}{m} E 0 \hat{j} + \vec{c}$$

Sehingga diperoleh:

$$\vec{c} = v_{y0} j$$

(2.37).

Persamaan kecepatan menjadi:

$$\overrightarrow{v_y}j = \left(\frac{q}{m} Et + v_{y0} \right) \hat{j}$$

(2.38).

Lintasan yang di tempuh partikel diperoleh dengan mengintegralkan persamaan di atas sehingga diperoleh:

$$\vec{y} = \left(\frac{1}{2} \frac{q}{m} Et^2 + v_{y0}t \right) \hat{j} + \vec{c}$$

(2.39).

Nilai c diperoleh dari kondisi awal $\vec{y} = \vec{y_0}$ pada $t = 0$

$$\vec{y_0} = \left(\frac{1}{2} \frac{q}{m} E 0^2 + v_{y0} 0 \right) \hat{j} + \vec{c}$$

(2.40).

Sehingga diperoleh:

$$\vec{c} = y_0 j$$

(2.41).

Persamaan Posisi menjadi:

$$\vec{y} = \left(\frac{1}{2} \frac{q}{m} Et^2 + v_{y0}t + y_0 \right) \hat{j}$$

(2.42).

Akibat pengaruh medan magnet dan medan listrik, kecepatan didefinisikan :

$$\begin{aligned}\vec{v} &= v_x \hat{i} + v_y \hat{j} + v_z \hat{k} \\ \vec{v} &= v_0 \cos \phi \hat{i} + \left(\frac{q}{m} Et + v_{y0} \right) \hat{j} + v_0 \sin \phi \hat{k}\end{aligned}\quad (2.43).$$

Dengan fungsi posisi didefinisikan:

$$\begin{aligned}\vec{r} &= r_x \hat{i} + r_y \hat{j} + r_z \hat{k} \\ \vec{r} &= R \sin \phi \hat{i} + \frac{1}{2} \frac{q}{m} E t^2 \hat{j} + (R - R \cos \phi) \hat{k}\end{aligned}\quad (2.44).$$

2. Analisis Persamaan Gerak Di Medan Magnet Pada Projek Jonathan Miller

Pada projek jhonathan miller dilakukan pendekatan yang berbeda di mana persamaan di pecahkan secara diferensial orde 2 (Miller, 2019). Sehingga di dapati gaya yang bekerja pada benda yang bergerak adalah :

$$\vec{F} = m\vec{a}\quad (2.45).$$

Gaya tersebut diidentifikasi menurut sumbunya

$$\vec{F} = m(a_x \hat{i} + a_y \hat{j} + a_z \hat{k})\quad (2.46).$$

Gaya yang bergerak pada benda bergerak adalah Gaya Lorentz yang diidentifikasi sebagai:

$$\begin{aligned}\vec{F} &= q(\vec{v} \times \vec{B}) \\ m\vec{a} &= q(\vec{v} \times \vec{B})\end{aligned}\quad (2.47).$$

Yang dapat diuraikan menjadi:

$$\begin{aligned}
m\vec{a}_x &= q(v_y B_z - v_z B_y)\hat{i} \\
m\vec{a}_y &= -q(v_x B_z - v_z B_x)\hat{j} \\
m\vec{a}_z &= q(v_x B_y - v_y B_x)\hat{k}
\end{aligned}
\tag{2.48}.$$

Sehingga diperoleh nilai percepatan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\vec{a}_x &= \frac{q}{m}(v_y B_z - v_z B_y)\hat{i} \\
\vec{a}_y &= -\frac{q}{m}(v_x B_z - v_z B_x)\hat{j} \\
\vec{a}_z &= \frac{q}{m}(v_x B_y - v_y B_x)\hat{k}
\end{aligned}
\tag{2.49}.$$

Medan magnet hanya dalam arah z maka percepatan menjadi:

$$\begin{aligned}
\vec{a}_x &= \frac{q}{m}B(v_y)\hat{i} \\
\vec{a}_y &= -\frac{q}{m}B(v_x)\hat{j} \\
\vec{a}_z &= 0
\end{aligned}
\tag{2.50}.$$

Untuk memperoleh nilai v_x dan v_y maka kita dapat mengintegrasikan percepatan a_x dan a_y sementara $v_z = 0$ dikarenakan tiada gerakan pada sumbu tersebut sehingga :

$$\begin{aligned}
\vec{v}_x &= \left(\frac{q}{m}B(y - y_0) + v_{x0}\right)\hat{i} \\
\vec{v}_y &= \left(-\frac{q}{m}B(x - x_0) + v_{y0}\right)\hat{j} \\
\vec{v}_z &= 0
\end{aligned}
\tag{2.51}.$$

Mensubstitusi persamaan 2,51 ke 2.50 maka diperoleh percepatan partikel:

$$\begin{aligned}\vec{a}_x &= \left(\left(\frac{q}{m} B \right)^2 x_0 - \left(\frac{q}{m} B \right)^2 x + \frac{q}{m} B v_{y0} \right) \hat{i} \\ \vec{a}_y &= \left(\left(\frac{q}{m} B \right)^2 y_0 - \left(\frac{q}{m} B \right)^2 y - \frac{q}{m} B v_{x0} \right) \hat{j}\end{aligned}\quad (2.52).$$

Yang dapat ditulis ulang menjadi:

$$\begin{aligned}\vec{a}_x + \left(\frac{q}{m} B \right)^2 x &= \left(\frac{q}{m} B \right)^2 x_0 + \frac{q}{m} B v_{y0} \\ \vec{a}_y + \left(\frac{q}{m} B \right)^2 y &= \left(\frac{q}{m} B \right)^2 y_0 - \frac{q}{m} B v_{x0}\end{aligned}\quad (2.53).$$

Untuk menampilkan bentuk diferensial maka bentuk 2.53 ditampilkan dalam bentuk diferensial :

$$\begin{aligned}\frac{d^2 x}{dt^2} + \left(\frac{q}{m} B \right)^2 x &= \left(\frac{q}{m} B \right)^2 x_0 + \frac{q}{m} B v_{y0} \\ \frac{d^2 y}{dt^2} + \left(\frac{q}{m} B \right)^2 y &= \left(\frac{q}{m} B \right)^2 y_0 - \frac{q}{m} B v_{x0}\end{aligned}\quad (2.54).$$

Solusi persamaan diferensial dalam arah x adalah:

$$\vec{x} = \left(x_0 + \frac{m v_{y0}}{q B} + A \cos \left(\frac{q}{m} B t \right) \right)\quad (2.55).$$

Untuk mendapatkan fungsi kecepatan pada sumbu x maka persamaan posisi pada sumbu x diturunkan terhadap waktu menghasilkan :

$$\vec{v}_x = -\frac{q}{m} B A \sin \left(\frac{q}{m} B t \right)\quad (2.56).$$

Substitusi persamaan di atas ke persamaan 2.56 maka diperoleh

$$-\frac{q}{m}BA \sin\left(\frac{q}{m}Bt\right) = \frac{q}{m}B(y - y_0) + v_{x0} \quad (2.57).$$

Sehingga diperoleh persamaan y :

$$\vec{y} = \left(-A \sin\left(\frac{q}{m}Bt\right) + y_0 - \frac{v_{x0}}{\frac{q}{m}B} \right) \quad (2.58).$$

Untuk mendapatkan fungsi kecepatan pada sumbu y maka persamaan posisi pada sumbu y diturunkan terhadap waktu menghasilkan :

$$v_y = -\frac{q}{m}BA \cos\left(\frac{q}{m}Bt\right) \text{ Dengan nilai } A = m/qB \sqrt{v_{x0}^2 + v_{y0}^2} \quad (2.59).$$

3. Analisis apabila ada medan magnet dan medan listrik eksternal yang berubah terhadap waktu

Dari persamaan dari buku Sunil Kumar Singh dan dari proyek jhonathan milner didapati persamaan gerak partikel dalam medan elektromagnetik yaitu :

$$\vec{a} = a_x \hat{i} + a_y \hat{j} + a_z \hat{k} \quad (2.60).$$

Dengan

$$\begin{aligned} \vec{a}_x &= \frac{q}{m}B(v_y) \\ \vec{a}_y &= -\frac{q}{m}B(v_x) \\ \vec{a}_z &= \frac{q}{m}E \end{aligned} \quad (2.61).$$

Medan magnet B digantikan dengan 2 sumber medan magnet dengan notasi $B_0 + B_1 t$ dimana B_0 adalah medan magnet awal dan B_1 adalah medan magnet eksternal yang berubah terhadap waktu t . begitu juga medan listrik E digantikan dengan 2 sumber medan listrik E dengan notasi $E_0 + E_1 t$ dimana E_0 adalah medan listrik awal dan E_1 adalah medan listrik eksternal yang berubah terhadap waktu t . Sehingga menghasilkan persamaan :

$$\vec{a} = a_x \hat{i} + a_y \hat{j} + a_z \hat{k}$$

Dengan:

$$\vec{a}_x = \frac{q}{m} v_y (B_0 + B_1 t)$$

$$\vec{a}_y = -\frac{q}{m} v_x (B_0 + B_1 t)$$

$$\vec{a}_z = \frac{q}{m} (E_0 + E_1 t)$$

(2.62).

Persamaan di atas adalah persamaan kompleks pada \vec{a}_x dan \vec{a}_y yang merupakan salah satu bentuk persamaan non linier apabila $B_1 \neq 0$ yang tidak dapat di selesaikan dengan cara analitis.

2.1.8. Metode Runge-Kutta

Metode Runge-Kutta merupakan salah satu metode yang digunakan dalam menganalisis nilai suatu persamaan diferensial dengan solusi numerik. Metode ini pertama kali dikembangkan oleh matematikawan asal Jerman Carl Runge dan Wilhelm Kutta. Penyelesaian ini di mulai dengan pengibaran Jika dalam suatu persamaan diferensial :

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = x$$

(2.63).

Dapat di identifikasikan persamaan diatas menjadi 2. Pengidentifikasian yang pertama

$$\frac{dx}{dt} = v$$

(2.64).

Persamaan diatas bisa kita identifikasikan dengan:

$$Func(t_i, x_i, v_i) = v$$

(2.65).

Pengidentifikasian kedua menjadi:

$$Gunc(t_i, x_i, v_i) = x$$

(2.66).

Dengan:

$$h = t_{i+1} - t_i$$

(2.67).

Maka penyelesaian persamaan diferensial tersebut secara komputasi dengan menggunakan metode Runge-Kutta adalah sebagai berikut.

A. Penyelesaian komputasi persamaan diferensial dengan Runge-Kutta orde 4

Runge-Kutta orde 4 adalah persamaan Runge-Kutta yang umum di jumpai di buku metode numerik. Salah satunya terdapat dibuku Basuki (Basuki,2005) di mana:

$$k_1 = h Func(t_i, x_i, v_i)$$

$$l_1 = h Gunc(t_i, x_i, v_i)$$

$$k_2 = h Func\left(t_i + \frac{1}{2}h, x_i + \frac{1}{2}k_1, v_i + \frac{1}{2}l_1\right)$$

$$l_2 = h Gunc\left(t_i + \frac{1}{2}h, x_i + \frac{1}{2}k_1, v_i + \frac{1}{2}l_1\right)$$

$$k_3 = h Func\left(t_i + \frac{1}{2}h, x_i + \frac{1}{2}k_2, v_i + \frac{1}{2}l_2\right)$$

$$\begin{aligned}
l_3 &= h \text{Func} \left(t_i + \frac{1}{2}h, x_i + \frac{1}{2}k_2, v_i + \frac{1}{2}l_2 \right) \\
k_4 &= h \text{Func}(t_i + h, x_i + k_3, v_i + l_3) \\
l_4 &= h \text{Func}(t_i + h, x_i + k_3, v_i + l_3)
\end{aligned}
\tag{2.68}.$$

Dengan nilai posisi x :

$$x_{i+1} = x_i + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \tag{2.69}.$$

Dan nilai kecepatan v :

$$v_{i+1} = v_i + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \tag{2.70}.$$

B. Penyelesaian komputasi persamaan diferensial dengan Runge-Kutta orde 45 Butcher.

Runge-Kutta 45 Butcher adalah salah satu Runge-Kutta modifikasi. Runge kutta ini menurut penelitian sebelumnya memiliki persentase kesalahan yang kecil (Sihombing & Dahlia, 2018) di mana:

$$\begin{aligned}
k_1 &= h \text{Func}(t_i, x_i, v_i) \\
l_1 &= h \text{Gunc}(t_i, x_i, v_i) \\
k_2 &= h \text{Func} \left(t_i + \frac{1}{4}h, x_i + \frac{1}{4}k_1, v_i + \frac{1}{4}l_1 \right) \\
l_2 &= h \text{Gunc} \left(t_i + \frac{1}{4}h, x_i + \frac{1}{4}k_1, v_i + \frac{1}{4}l_1 \right) \\
k_3 &= h \text{Func} \left(t_i + \frac{1}{4}h, x_i + \frac{1}{8}k_1 + \frac{1}{8}k_2, v_i + \frac{1}{8}l_1 + \frac{1}{8}l_2 \right) \\
l_3 &= h \text{Gunc} \left(t_i + \frac{1}{4}h, x_i + \frac{1}{8}k_1 + \frac{1}{8}k_2, v_i + \frac{1}{8}l_1 + \frac{1}{8}l_2 \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
k_4 &= h \text{Func} \left(t_i + \frac{1}{2} h, x_i - \frac{1}{2} k_2 + k_3, v_i - \frac{1}{2} l_2 + l_3 \right) \\
l_4 &= h \text{Gunc} \left(t_i + \frac{1}{2} h, x_i - \frac{1}{2} k_2 + k_3, v_i - \frac{1}{2} l_2 + l_3 \right) \\
k_5 &= h \text{Func} \left(t_i + \frac{3}{4} h, x_i + \frac{3}{16} k_1 + \frac{9}{16} k_4, v_i + \frac{3}{16} l_1 + \frac{9}{16} l_4 \right) \\
l_5 &= h \text{Gunc} \left(t_i + \frac{3}{4} h, x_i + \frac{3}{16} k_1 + \frac{9}{16} k_4, v_i + \frac{3}{16} l_1 + \frac{9}{16} l_4 \right) \\
k_6 &= h \text{Func} \left(t_i + h, x_i - \frac{3}{7} k_1 + \frac{2}{7} k_2 + \frac{12}{7} k_3 - \frac{12}{7} k_4 + \frac{8}{7} k_5, v_i - \frac{3}{7} l_1 + \frac{2}{7} l_2 \right. \\
&\quad \left. + \frac{12}{7} l_3 - \frac{12}{7} l_4 + \frac{8}{7} l_5 \right) \\
l_6 &= h \text{Gunc} \left(t_i + h, x_i - \frac{3}{7} k_1 + \frac{2}{7} k_2 + \frac{12}{7} k_3 - \frac{12}{7} k_4 + \frac{8}{7} k_5, v_i - \frac{3}{7} l_1 + \frac{2}{7} l_2 \right. \\
&\quad \left. + \frac{12}{7} l_3 - \frac{12}{7} l_4 + \frac{8}{7} l_5 \right)
\end{aligned} \tag{2.71}.$$

Dengan nilai posisi x

$$x_{i+1} = x_i + \frac{1}{90} (7k_1 + 32k_3 + 12k_4 + 32k_5 + 7k_6) \tag{2.72}.$$

Dan nilai kecepatan v

$$v_{i+1} = v_i + \frac{1}{90} (7l_1 + 32L_3 + 12L_4 + 32L_5 + 7L_6) \tag{2.73}.$$

C. Penyelesaian komputasi Persamaan diferensial dengan Runge-Kutta orde 45 Fehlberg.

Runge-Kutta 45 Fehlberg adalah salah satu Runge-Kutta modifikasi. Runge kutta ini menurut penelitian sebelumnya memiliki persentase kesalahan yang kecil (Sihombing & Dahlia, 2018) di mana:

$$k_1 = h \text{ Func}(t_i, x_i, v_i)$$

$$l_1 = h \text{ Gunc}(t_i, x_i, v_i)$$

$$k_2 = h \text{ Func}\left(t_i + \frac{1}{4}h, x_i + \frac{1}{4}k_1, v_i + \frac{1}{4}l_1\right)$$

$$l_2 = h \text{ Gunc}\left(t_i + \frac{1}{4}h, x_i + \frac{1}{4}k_1, v_i + \frac{1}{4}l_1\right)$$

$$k_3 = h \text{ Func}\left(t_i + \frac{3}{8}h, x_i + \frac{3}{32}k_1 + \frac{9}{32}k_2, v_i + \frac{3}{32}l_1 + \frac{9}{32}l_2\right)$$

$$l_3 = h \text{ Gunc}\left(t_i + \frac{3}{8}h, x_i + \frac{3}{32}k_1 + \frac{9}{32}k_2, v_i + \frac{3}{32}l_1 + \frac{9}{32}l_2\right)$$

$$k_4 = h \text{ Func}\left(t_i + \frac{12}{13}h, x_i - \frac{1932}{2197}k_1 - \frac{7200}{2197}k_2 + \frac{7296}{2197}k_3, v_i - \frac{1932}{2197}l_1 - \frac{7200}{2197}l_2 + \frac{7296}{2197}l_3\right)$$

$$l_4 = h \text{ Gunc}\left(t_i + \frac{12}{13}h, x_i - \frac{1932}{2197}k_1 - \frac{7200}{2197}k_2 + \frac{7296}{2197}k_3, v_i - \frac{1932}{2197}l_1 - \frac{7200}{2197}l_2 + \frac{7296}{2197}l_3\right)$$

$$k_5 = h \text{ Func}\left(t_i + h, x_i - \frac{439}{216}k_1 - 8k_2 + \frac{3680}{513}k_3 - \frac{845}{4104}k_4, v_i - \frac{439}{216}l_1 - 8l_2 + \frac{3680}{513}l_3 - \frac{845}{4104}l_4\right)$$

$$l_5 = h \text{ Gunc}\left(t_i + h, x_i - \frac{439}{216}k_1 - 8k_2 + \frac{3680}{513}k_3 - \frac{845}{4104}k_4, v_i - \frac{439}{216}l_1 - 8l_2 + \frac{3680}{513}l_3 - \frac{845}{4104}l_4\right)$$

$$k_6 = h \text{ Func}\left(t_i + \frac{1}{2}h, x_i - \frac{8}{27}k_1 + 2k_2 - \frac{3544}{2565}k_3 + \frac{1859}{4104}k_4 - \frac{11}{40}k_5, v_i - \frac{8}{27}l_1 + 2l_2 - \frac{3544}{2565}l_3 + \frac{1859}{4104}l_4 - \frac{11}{40}l_5\right)$$

$$l_6 = h \text{ Gunc}\left(t_i + \frac{1}{2}h, x_i - \frac{8}{27}k_1 + 2k_2 - \frac{3544}{2565}k_3 + \frac{1859}{4104}k_4 - \frac{11}{40}k_5, v_i - \frac{8}{27}l_1 + 2l_2 - \frac{3544}{2565}l_3 + \frac{1859}{4104}l_4 - \frac{11}{40}l_5\right)$$

(2.74).

Dengan nilai posisi x

$$x_{i+1} = x_i + \frac{16}{135}k_1 + \frac{6656}{12825}k_3 + \frac{28561}{56430}k_4 - \frac{9}{20}k_5 + \frac{2}{55}k_6$$

(2.75).

Dan nilai kecepatan v

$$v_{i+1} = v_i + \frac{16}{135}l_1 + \frac{6656}{12825}l_3 + \frac{28561}{56430}l_4 - \frac{9}{20}l_5 + \frac{2}{55}l_6$$

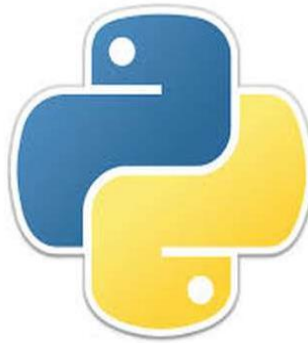
(2.76).

2.1.9. Bahasa Pemrograman Python

Python merupakan bahasa pemrograman interpretatif yang multiguna dengan fokus pada tingkat keterbacaan kode. Bahasa pemrograman Python ini diklaim sebagai bahasa pemrograman yang menggabungkan antara kapabilitas, kemampuan, sintaks kode yang jelas, dan dilengkapi dengan fungsionalitas pustaka standar yang besar serta komprehensif. Menurut Kompas, bahasa pemrograman yang saat ini sedang populer ialah bahasa pemrograman Python. Bahasa pemrograman ini hampir di segala pemrograman seperti aplikasi pengolahan game dan lain. Python bisa digunakan dalam pembuatan aplikasi standalone (berdiri sendiri) dan pemrograman skrip (scripting programming) (Thompson, 2016)

A. Sejarah Python

Pada awalnya Python dikembangkan oleh Guido Van Rossum pada tahun 1990 di CWI, Amsterdam sebagai kelanjutan dari bahasa pemrograman *ABC*. Versi terakhir bahasa Python yang dikembangkan CWI adalah versi 1.2 tahun 1995 sebelum Guido pindah ke CNRI. Versi terakhir yang dikeluarkanya di CNRI adalah versi 1.6 pada tahun 2000. Guido dan para pengembangan inti Python pindah ke Beopen.Com yakni sebuah perusahaan komersial dan membentuk Beopen Pythonlab. Python 2.0 dikeluarkan oleh Beopen kemudian Guido dan beberapa anggota tim Pythonlab pindah ke Digital Creations.



Gambar 2.5. Lambang bahasa pemrograman Python

Hingga saat ini pengembangan Python terus dilakukan oleh sekumpulan pemrograman yang dikoordinir oleh Guido dan Python Software Foundation. Python Software Foundation sebagai pemegang hak cipta intelektual Python sejak versi 2.1 dan dengan demikian mencegah Python dimiliki oleh perusahaan komersial. Saat ini distribusi Python sudah mencapai versi 3.10 dan terus berkembang. Nama Python dipilih Guido sebagai nama bahasa ciptaannya karena kecintaan Guido pada acara televisi *Monty Python's Flying Circus*. (Dobb,S Jurnal.2023).

B. Keunggulan Python

1. Mudah digunakan

Bahasa Python merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi, artinya bahasa Python lebih mendekati bahasa manusia daripada bahasa mesin. Python juga tidak memiliki struktur dasar seperti c++ yang mengharuskan menginclude sistem sebelum membuat perintah program. Prinsip-prinsip yang digunakan di Python menggunakan bahasa inggris yang digunakan sehari-hari seperti *print*, *input* dll.

2. Kompabilitas dan Kemampuan Tinggi

Bahasa pemrograman Python memiliki kemampuan yang tinggi dan mampu menciptakan aplikasi yang sederhana hingga aplikasi yang kompleks. Bahasa pemrograman Python mendukung pemrograman berbasis grafis (*GUI Programming*). Python juga memiliki kelebihan berupa pengalokasian memori secara dinamis.

3. Mendukung OOP

Python mendukung bahasa pemrograman berorientasi objek (OOP) sehingga programmer semakin mudah dalam menyelesaikan masalah karena pemrograman berorientasi objek merupakan teknik pendekatan dengan objek-objek nyata yang ada di kehidupan sehari-hari.

4. Platform Independent

Bahasa pemrograman Python adalah program yang dibuat bisa dijalankan di sistem operasi apa saja selama di sistem operasi tersebut terdapat platform Python (*Interpreter Python*).

5. Bahasa pemrograman berbasis terbuka

Bahasa pemrograman Python bersifat gratis dan penggunanya bisa mengembangkannya secara pribadi maupun berkelompok (Spectrum 2023).

C. Kekurangan Bahasa Pemrograman Python

Seperti bahasa pemrograman dinamis lainnya, Python tidak secepat dan efisien sebagai bahasa pemrograman yang langsung seperti bahasa pemrograman C disebabkan karena Python merupakan interpreter atau penerjemah, Python bukan merupakan perangkat terbaik untuk pengantar komponen hal ini karena Python tidak dapat digunakan sebagai dasar bahasa pemrograman implementasi untuk beberapa komponen, tetapi dapat bekerja dengan baik sebagai *interface* (D zone, 2023).

2.1.10. Anaconda

Anaconda merupakan perangkat lunak gratis yang memberikan segala yang dibutuhkan dalam penelitian dan sains. Menginstal Anaconda memberi akses menuju antarmuka berbeda dalam membuat kode dalam Python atau bahasa R. antarmuka ini, juga disebut sebagai *Integrated Development Environment* (IDE),

Mengunduh *toolkit* juga memberi banyak pilihan fungsi yang telah dikodekan oleh komunitas Python. Fungsi-fungsi ini dikelompokkan ulang dalam

apa yang disebut *perlibraryan (library)* dan dapat diunduh dengan mudah melalui Anaconda. Anaconda juga menyederhanakan proses agar semua *perlibraryan* ini tetap mutakhir. Jadi, daripada menginstal Python secara terpisah dengan *library*, dan fungsionalitas yang berbeda, Anaconda dapat melakukannya untuk satu instalasi.

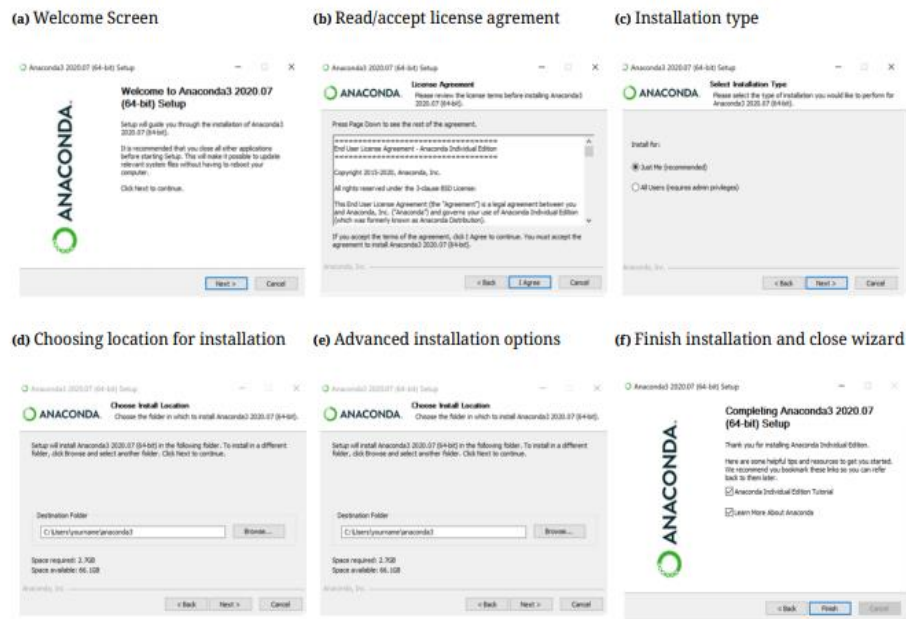
A. Mengunduh Dan Menginstal Anaconda

Situs web Anaconda menyediakan tautan yang untuk mengunduh Anaconda secara gratis di Windows, Mac Atau Linux. Untuk mengunduh dan menginstal Anaconda, harus terlebih dahulu memilih sistem operasi, versi Python yang diinginkan, dan memilih grafik dari perangkat 32-bit atau 64-bit yang bergantung pada jenis prosesor sistem seperti gambar 2.6 dan klik tautan yang sesuai dari situs web Anaconda untuk mulai mengunduh.

Windows 	MacOS 	Linux 
Python 3.7	Python 3.7	Python 3.7
64-Bit Graphical Installer (466 MB)	64-Bit Graphical Installer (442)	64-Bit (x86) Installer (522 MB)
32-Bit Graphical Installer (423 MB)	64-Bit Command Line Installer (430 MB)	64-Bit (Power8 and Power9) Installer (276 MB)
Python 2.7	Python 2.7	Python 2.7
64-Bit Graphical Installer (413 MB)	64-Bit Graphical Installer (637 MB)	64-Bit (x86) Installer (477 MB)
32-Bit Graphical Installer (356 MB)	64-Bit Command Line Installer (409 MB)	64-Bit (Power8 and Power9) Installer (295 MB)

Gambar 2.6. Spesifikasi Perangkat Yang Mendukung Anaconda

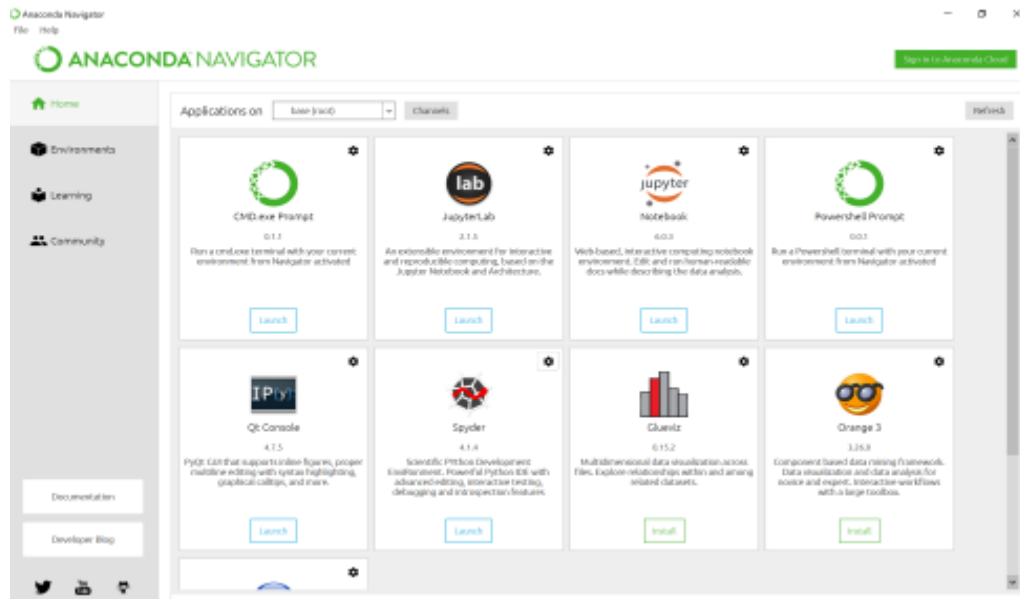
Perlu diperhatikan bahwa Python 3 merupakan versi terbaru yang terus diperbarui dan didukung. Versi sebelumnya, Python 2 masih ditawaRkan, Setelah unduhan selesai, buka pengaturan Anaconda. Seperti pada gambar 2.7



Gambar 2.7. Rangkaian kegiatan untuk menginstal python

B. Anaconda navigator

Anaconda navigator merupakan *GUI* (Graphical User Interface), dapat dilihat sebagai "menu" dari Anaconda, di mana dapat dengan mudah mengakses dan meluncurkan IDE yang berbeda tanpa perlu mengetikkan perintah di jendela terminal. Terdapat banyak IDE berbeda yang dirancang khusus untuk pemrograman Python. Untuk mengakses IDE, klik ikonnya di tab pada navigator (Rolon-Mérette, 2020).



Gambar 2.8. Tampilan Anaconda Navigator yang memiliki banyak IDE

C. Spyder



Gambar 2.9. Simbol Spyder

Spyder adalah IDE yang sangat fungsional yang dirancang khusus untuk analisis data. Spyder dapat dilihat sebagai IDE lengkap, yang berisi peralatan editor untuk menulis skrip kode, penjelajah variabel untuk memeriksa data dengan mudah, konsol iPython, dan banyak lagi. Ini juga mencakup alat yang kuat untuk inspeksi kode dan *debug*, memungkinkan pengguna untuk menganalisis kode baik secara keseluruhan atau baris demi baris untuk mendeteksi dan memperbaiki kesalahan. Antarmukanya juga sangat dapat disesuaikan, memungkinkan untuk memilih hal-hal seperti pengaturan panel yang berbeda dan bahkan warna tata letak((Raybaut, 2009))

D. NumPy

NumPy adalah *library* untuk komputasi ilmiah dengan Python. yang menyediakan objek *array* multidimensi, berbagai objek turunan (seperti *array* dan matriks), operasi cepat pada *array*, termasuk matematika, logika, manipulasi bentuk, pengurutan, I/O, transformasi, aljabar linier dasar, operasi statistik dasar, simulasi acak, dan masih banyak lagi (NumPy Community, 2020).

E. Tkinter

Modul tkinter adalah *library* Python yang menyediakan *GUI* yang sebelumnya dikembangkan oleh SUN-LABS. Tersedia di sebagian besar platform UNIX, serta pada sistem Windows dan Macintosh. Tkinter juga menawarkan tampilan dan nuansa asli di semua platform. Modul ini berisi antarmuka tingkat rendah dan tidak bisa digunakan secara langsung oleh pemrogram aplikasi. Tkinter merupakan *per-library-an*, yang terkadang ditautkan secara statis dengan menggunakan bahasa Python. Selain modul antarmuka, tkinter menyertakan sejumlah modul Python (Lundh, 1999).

F. Matplotlib

Matplotlib merupakan *library* dalam membuat plot 2d dengan Python. Meskipun dari meniru perintah grafik MATLAB, matplotlib tidak terkait dengan MATLAB, dan dapat digunakan dengan cara Pythonic berorientasi objek. Meskipun matplotlib ditulis dalam bahasa Python murni, matplotlib banyak menggunakan NumPy dan kode ekstensi lainnya untuk memberikan kinerja yang baik bahkan untuk sebuah *array* besar. Matplotlib dirancang dengan filosofi bahwa membuat plot sederhana hanya dengan beberapa perintah Python. Matplotlib digunakan oleh banyak orang dalam berbagai konteks. Baik ingin membuat *file postscript* secara otomatis untuk dikirim ke printer atau penerbit dan dikirim ke pemrograman lainnya, menyebabkan matplotlib pada *server* aplikasi web untuk menghasilkan PNG untuk dimasukkan dalam halaman *website* yang dihasilkan secara dinamis dan masih banyak fungsi yang lain (Hunter, dkk, 2013).

2.2. Kerangka Konsep

Pada penelitian ini akan di lihat Pengaruh medan elektromagnet pada Partikel dan antipartikel. Di mana partikel dan antipartikel yang digunakan dalam penelitian ini adalah proton, antiproton, elektron dan anti elektron atau positron Untuk neutron dan anti neutron tidak di pakai dikarenakan tidak adanya muatan dan sehingga secara teoritis tidak mengalami gerak di medan elektromagnetik.

Persamaan gerak partikel di medan elektromagnetik didapati dengan persamaan gerak partikel pada medan magnet dan medan listrik yang dapat dilihat pada persamaan (2.62) pada di mana pada persamaan yang tersebut akan tidak dapat di analisis apabila medan magnet eksternalnya $B_1 \neq 0$ sehingga persamaan tersebut akan di buat dengan 2 bentuk di mana bentuk pertama $B_1 = 0$ untuk melihat metode komputasi mana yang terbaik dikarenakan dapat di bandingkan metode komputasi dengan analitisnya dan $B_1 \neq 0$ untuk melihat pola gerak partikel di medan elektromagnetik dengan metode komputasi terbaik di saat $B_1 = 0$.

Untuk mempermudah menginputan, pemilihan metode dan keluaran maka dirancang *GUI* dengan bahasa pemrograman python yang dapat dilakukan dengan aplikasi Anaconda di IDE Spyder yang telah dilengkapi dengan modul-modul *library* yang telah tersedia dan jika tidak tersedia dapat dengan mudah di unduh dengan beraneka ragam versi yang dapat disesuaikan dengan versi aplikasi yang digunakan.

Memasukkan nilai *input* manual yang di gunakan meliputi medan listrik, medan magnet, muatan partikel, massa partikel, posisi awal, kecepatan awal, waktu di mulai waktu selesai dan kelang waktu yang di masukan manual oleh pengguna. Namun penggunaan nilai input disesuaikan dengan keadaan yang sebenarnya yaitu keadaan di pemercepat PSB.

Pemilihan proses penyelesaian secara komputasi dapat di pilih salah satu oleh pengguna yang meliputi Runge-Kutta 4, Runge-Kutta 45 B dan Runge-Kutta 45 F yang diharapkan mampu mendekati nilai analitik sehingga menghasilkan nilai *error* yang kecil. Sehingga secara komputasi dapat di terima.

Hasil akhir yang didapati berupa gambar grafik lintasan, gambar grafik kecepatan, gambar grafik massa gerak dan gambar grafik energi partikel yang diharap mampu menjelaskan karakteristik gerak antara partikel dan anti partikel pada medan elektromagnetik.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Waktu Dan Tempat Penelitian

3.1.1. Tempat Penelitian

Penelitian ini akan di lakukan di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Medan .

3.1.2. Waktu Penelitian

Waktu penelitian akan di laksanakan di bulan Juli 2023 hingga Agustus 2023.

3.2. Alat Dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang di gunakan dalam penelitian ini meliputi:

Tabel 3.1. Tabel Alat Dan Bahan

Nama alat	Spesifikasi alat	Jumlah
Laptop	Asus au456ur, <i>processor intel core i5 2,50 ghz, ram 4 gb, 64-bit operating system</i>	1 unit
Anaconda	phyton 3.8	1 set

Spesifikasi dari laptop yang di gunakan tergolong rendah untuk menjalankan metode komputasi. Hal ini memungkinkan hasil dari program simulasi dapat di gunakan di perangkat yang lain sebagai pembelajaran atau di gunakan di perangkat yang lebih tinggi sebagai pengembangan. Dalam penelitian ini data akan dibedakan menjadi

1. Nilai Uji Coba

Nilai uji coba digunakan untuk mengetahui apakah aplikasi bekerja sesuai semestinya atau tidak serta melihat peran dari muatan pada medan magnet eksternal. Nilai uji coba yang berisi nilai seperti tabel 3.2.

Tabel 3.2. Nilai Input Untuk Data Nilai Uji Coba

No.	Input	Simbol	Persamaan linier		Persamaan non linier	
			Positif	negatif	Positif	Negatif
1	Muatan	q	1	-1	1	-1
2	Medan magnet internal	B0	1	1	1	1
3	Medan magnet eksternal	B1	0	0	1	1
4	Massa	m	1	1	1	1
5	Medan listrik internal	E0	1	1	1	1
6	Medan listrik eksternal	E1	1	1	1	1
7	Waktu awal	t0	0	0	0	0
8	Waktu akhir	tn	10	10	10	10
9	Banyaknya data	Ndata	101	101	101	101
10	Posisi x awal	x0	1	1	1	1
11	Posisi y awal	y0	1	1	1	1
12	Posisi z awal	z0	1	1	1	1
13	Kecepatan x awal	vx0	1×10^6	1×10^6	1×10^6	1×10^6
14	Kecepatan y awal	vy0	1×10^6	1×10^6	1×10^6	1×10^6
15	Kecepatan z awal	vz0	1×10^6	1×10^6	1×10^6	1×10^6

2. Nilai Uji

Nilai uji di sesuaikan dengan keadaan yang nyata dari partikel dan antipartikel yang di terapkan pada medan elektromagnetik yang di sesuaikan dengan salah 1 pemercepat partikel yaitu PSB di lihat pada tabel 3.3 untuk persamaan linier dan tabel 3.4 untuk persamaan .non linier .

Tabel 3.3. nilai input untuk data nilai spesifik pada persamaan linier

No.	Simbol	Nilai input untuk persamaan linier							
		Elektron	10^{\wedge}	Proton	10^{\wedge}	A. elektron	10^{\wedge}	A.proton	10^{\wedge}
1.	q	-1,602	-19	1,602	-19	1.602	-19	-1,602	-19
2.	B0	0.876	0	0.876	0	0.876	0	0.876	0
3.	B1	0	0	0	0	0	0	0	0
4.	m	9,109	-31	1.672	-27	9,1	-31	1.67	-27
5.	E0	1	0	1	0	1	0	1	0
6.	E1	1	0	1	0	1	0	1	0
7.	t0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.	tn	6	-10	6	-7	6	-10	6	-10
9.	ndata	601	0	601	0	601	0	601	0
10.	x0	1	0	1	0	1	0	1	0
11.	y0	1	0	1	0	1	0	1	0
12.	z0	1	0	1	0	1	0	1	0
13.	vx0	5,57	7	5,57	7	5,57	7	5,57	7
14.	vy0	5,57	7	5,57	7	5,57	7	5,57	7
15.	vz0	5,57	7	5,57	7	5,57	7	5,57	7

Pada *input* yang berkaitan dengan waktu akhir di sesuaikan dengan besarnya perbandingan dari massa partikel yaitu berkisar 10^3 dikarenakan nilai waktu sangat mempengaruhi hasil simulasi metode komputasi.

Tabel 3.4. Nilai *Input* Untuk Data Nilai Spesifik Pada Persamaan Non Linier

No.	Simbol	Nilai <i>Input</i> Untuk Persamaan Non Linier							
		Elektron	10^{\wedge}	Proton	10^{\wedge}	A.elektron	10^{\wedge}	A.proton	10^{\wedge}
1.	q	-1.602	-19	1,602	-19	1.602	-19	-1,602	-19
2.	B0	0.876	0	0.876	0	0.876	0	0.876	0
3.	B1	0.876	0	0.876	0	0.876	0	0.876	0
4.	m	9,109	-31	1.672	-27	9,1	-31	1.67	-27
5.	E0	1	0	1	0	1	0	1	0
6.	E1	1	0	1	0	1	0	1	0
7.	t0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.	tn	6	-10	6	-7	6	-10	6	-10
9.	ndata	601	0	601	0	601	0	601	0
10.	x0	1	0	1	0	1	0	1	0
11.	y0	1	0	1	0	1	0	1	0
12.	z0	1	0	1	0	1	0	1	0
13.	vx0	5,57	7	5,57	7	5,57	7	5,57	7
14.	vy0	5,57	7	5,57	7	5,57	7	5,57	7
15.	vz0	5,57	7	5,57	7	5,57	7	5,57	7

Pada *input* yang berkaitan dengan B_1 di sesuaikan dengan B_0 sehingga mempresentasikan ada medan magnet kedua dengan besaran yang sama namun besarnya berubah seiring waktu

3.3.Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan aplikasi Anaconda, dengan *IDE* Spyder dalam bahasa pemrograman Phyton yang akan memperlihatkan bagaimana gerak partikel dan antipartikel jika di pengaruhi oleh medan elektromagnet. Partikel yang akan digunakan adalah partikel uji coba yaitu partikel positif dan negatif serta partikel uji yaitu proton, antiproton elektron dan anti elektron yang akan di sesuaikan dengan pemercepat partikel PSB.

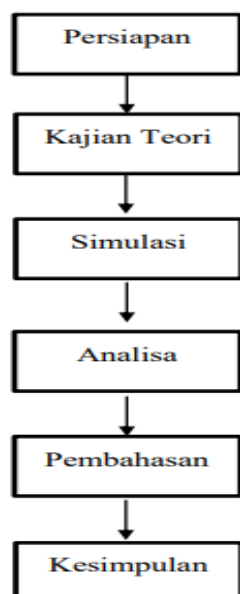
Dalam penelitian ini akan menggunakan medan magnet dan medan listrik eksternal. Untuk melihat metode komputasi yang terbaik maka pada percobaan pertama akan di gunakan medan magnet eksternal $B_1 = 0$ agar persamaan yang terbentuk menjadi persamaan linier dan dapat di selesaikan dengan persamaan analitis. Persamaan analitis ini akan di bandingkan dengan hasil dari komputasi yang akan di tinjau dari bentuk dan persen kesalahan.

Dalam penelitian ini juga akan membatasi langkah pengulangan metode komputasi. Di mana dalam metode komputasi semakin banyak pengulangan maka akan semakin meninggikan biaya komputasi. sehingga dengan pengulangan yang relatif kecil metode komputasi mana yang terbaik untuk melakukan simulasi.

Hasil yang di dapati berupa program *file* yang apabila di jalankan akan terdapat GUI, hasil simulasi dalam bentuk gambar dan *file* Exel dari simulasi partikel dan antipartikel dalam medan elektromagnetik. Yang dapat di simpan dan diolah kembali.

3.4. Diagram alir penelitian

Diagram alir penelitian ini dapat di lihat pada 3.1 yang mempresentasikan prosedur penelitian yang akan di lakukan.



Gambar 3.1. Gambar Diagram Alir Penelitian

3.5. Prosedur penelitian

3.5.1. Persiapan

Pada tahap persiapan dilakukan untuk mempersiapkan segala sesuatu yang diperlukan dalam penelitian yaitu: persiapan perangkat keras yang diperlukan serta pengunduhan aplikasi Anaconda dan *library* di dalamnya.

Tahap penginstalan Anaconda dilakukan dengan

- 1) Membuka situs Anaconda yaitu <https://www.anaconda.com> melalui browser perangkat PC. kemudian klik *download* secara otomatis Anaconda akan menyesuaikan dengan perangkat yang digunakan. Kemudian tekan *download*. Secara otomatis mengunduh sesuai dengan perangkat yang kita gunakan.
- 2) setelah unduhan selesai, buka *file* kemudian ikuti semua prosedur yang ada hingga selesai.

Gambar referensi unduhan lengkap dapat di lihat pada lampiran 2.

3.5.2. Kajian Teori

Pada tahap kajian teori dilakukan untuk mencari teoritis yang diperlukan yaitu:

- 1) Nilai *Input*

Nilai *input* diambil dari data:

- a. data partikel dan antipartikel yang meliputi muatan dan massa
- b. data kemampuan pemercepat partikel meliputi medan magnet internal dan kecepatan partikel
- c. medan magnet eksternal di samakan dengan besar medan magnet internal
- d. nilai medan listrik internal dan eksternal di tetapkan 1 dikarenakan kekurangan literasi tentang bagaimana hubungan medan listrik yang dialami partikel di dalam pemercepat partikel
- e. posisi awal di buat 1 untuk menghindari kesalahan akibat pembagian 0

- f. waktu akan di selaraskan dengan keadaan yang memungkinkan dengan kemampuan pembacaan dari program.

2) Persamaan Awal Gerak Partikel

Persamaan awal gerak partikel adalah

$$a_x = \frac{q}{m} (v_y (B_0 + B_1 t))$$

$$a_y = -\frac{q}{m} (v_x B_0 + B_1 t)$$

$$a_z = \frac{q}{m} (E_0 + E_1 t)$$

(3.1).

3) Metode Analitik Pada Gerak Partikel

Metode analitik pada gerak partikel digunakan untuk mengidentifikasi gerak partikel secara teoritis dengan menginput nilai $B_1 = 0$ hal ini mengakibatkan persamaan percepatan (3.1) menjadi

$$a_x = \frac{q}{m} (v_y B_0)$$

$$a_y = -\frac{q}{m} (v_x B_0)$$

$$a_z = \frac{q}{m} (E_0 + E_1 t)$$

(3.2).

Yang di turunkan sesuai persamaan diferensial yang dapat di lihat pada lampiran 3 di mana persamaan awal menjadi:

$$a_x = \left(\frac{q}{m}\right)^2 (B_0)^2 (x - x_0) + \frac{q}{m} (B_0) v_{y0}$$

$$a_y = \left(\frac{q}{m}\right)^2 (B_0)^2 (y - y_0) - \frac{q}{m} (B_0) v_{x0}$$

$$a_z = \frac{q}{m}(E_0 + E_1 t)$$

(3.3).

Persamaan ini akan menghasilkan persamaan kecepatan

$$v_x = v_{y0} \sin\left(\frac{q}{m} B_0 t\right) + v_{x0} \cos\left(\frac{q}{m} B_0 t\right)$$

$$v_y = -v_{y0} \sin\left(\frac{q}{m} B_0 t\right) + v_{x0} \cos\left(\frac{q}{m} B_0 t\right)$$

$$v_z = \frac{q}{m}\left(E_0 t + \frac{1}{2} E_1 t^2\right)$$

(3.4).

Dan menghasilkan persamaan posisi

$$x = -\frac{v_{y0} m}{q B_0} \cos\left(\frac{q}{m} B_0 t\right) + \frac{v_{x0} m}{q B_0} \sin\left(\frac{q}{m} B_0 t\right) + x_0 + \frac{v_{y0} m}{q B_0}$$

$$y = \frac{v_{x0} m}{q B_0} \cos\left(\frac{q}{m} B_0 t\right) + \frac{v_{y0} m}{q B_0} \sin\left(\frac{q}{m} B_0 t\right) + y_0 + \frac{v_{x0} m}{q B_0}$$

$$z = \frac{q}{m}\left(\frac{1}{2} E_0 t^2 + \frac{1}{6} E_1 t^3\right)$$

(3.5).

A. Metode komputasi

Pada metode komputasi Runge-Kutta pada persamaan diferensial orde 2 secara langsung tidak dapat dilakukan harus di rubah terlebih dahulu kedalam persamaan diferensial orde 1 menjadi:

1) Untuk x

$$\frac{dx}{dt} = v_x$$

$$\frac{dv_x}{dt} = \left(\frac{q}{m}\right)^2 (B_0 + B_1 t)^2 (x - x_0) + \frac{q}{m} (B_0 + B_1 t) v_{y0}$$

(3.6).

2) Untuk y

$$\frac{dy}{dt} = v_y$$

$$\frac{dv_y}{dt} = \left(\frac{q}{m}\right)^2 (B_0 + B_1 t)^2 (y - y_0) - \frac{q}{m} (B_0 + B_1 t) v_{x0}$$

(3.7).

3) Untuk z

$$\frac{dz}{dt} = v_z$$

$$\frac{dv_z}{dt} = \frac{q}{m} (E_0 + E_1 t)$$

(3.8).

Metode Runge-Kutta yang di gunakan adalah Runge-Kutta 4, Runge Kutta 45 Butcher dan Runge-Kutta 45 Fehlberg (terdapat pada 2.1.5 metode Runge-Kutta) yang akan di tetapkan pada setiap sumbu. Untuk hal itu maka di proyeksikan sumbu dalam fungsi Func dan Gunc. Fungsi lengkap Runge-Kutta terdapat di lampiran 4.

Sumbu x akan di proyeksikan dengan fungsi

$$Funcx(t_i, x_i, v_{xi})$$

$$Guncx(t_i, x_i, v_{xi})$$

(3.9).

Sumbu y akan di proyeksikan dengan fungsi

$$Funcy(t_i, y_i, v_{yi})$$

$$Guncy(t_i, y_i, v_{yi})$$

(3.10).

Sumbu z akan di proyeksikan dengan fungsi

$$Funcz(t_i, z_i, v_{zi})$$

$$Guncz(t_i, z_i, v_{zi}) \quad (3.11).$$

Untuk menguji metode numerik di atas dilakukan dengan input $B_1 = 0$ sehingga membentuk persamaan analitis yang sesuai dengan

B. Massa Gerak Partikel, Energi Partikel Dan Energi Kinetik Partikel

Massa gerak partikel didapatkan dari penurunan persamaan Relativitas Khusus Einstein yang dapat dilihat sebagai berikut.

$$M = \frac{m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (3.12).$$

Dengan u adalah kecepatan partikel dan c adalah kecepatan cahaya. Kecepatan u diperoleh dengan menjumlahkan nilai kecepatan pada ketiga sumbu yaitu dengan mengakar kuadratkan, yang secara matematis dapat ditulis :

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (3.13).$$

Energi awal partikel dapat diidentifikasi dengan

$$E_0 = mc^2 \quad (3.14).$$

Untuk energi partikel saat bergerak didefinisikan dengan

$$E = Mc^2 \quad (3.15).$$

Untuk partikel energi kinetik yang sesuai dengan persamaan 2.5

$$K = E - E_0 \quad (3.16).$$

Dengan memasukkan nilai di (3.14) dan (3.15) akan di dapati

$$K = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - mc^2$$

(3.17).

C. Menemukan kesalahan dalam program

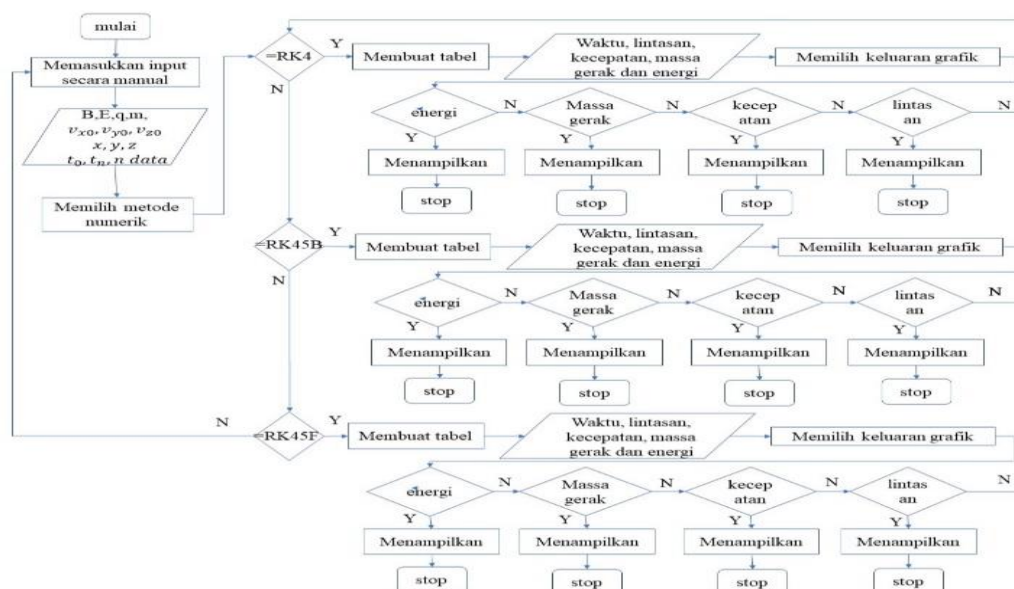
Untuk menemukan kesalahan dalam program dapat dilakukan dengan:

$$\left| \frac{\text{analitik} - \text{numerik}}{\text{analitik}} \right| \times 100\%$$

(3.18).

3.5.3. Simulasi

Simulasi akan di lakukan dengan bahasa pemograman phyton di aplikasi Anaconda dengan IDE Spyder dengan batuan beberapa library yang coontoh penggunaannya dapat di lihat pada lampiran 5. Simulasi akan di lakukan lakukan sesuai flowcard pada gambar 3.2



Gambar 3.2. Flowcard Dari Rancangan Program

Dalam simulasi gerak partikel dan antipartikel dalam medan elektromagnetik akan dilakukannya proses meliputi:

Penginputan

Dalam proses penginputan akan terdapat *entry* (masukan) yang diisi dengan nilainya yang dapat dikontrol pengguna. Pada penelitian ini akan menggunakan nilai yang sesuai pada tabel 3.2 yang secara teliti perbedaannya terdapat pada nilai dari B_1 . Pada $B_1 = 0$ akan menghasilkan persamaan linier yang dapat di selesaikan dengan analitis dan numerik sedangkan apabila b_1 tidak sama dengan nol maka akan menghasilkan persamaan nonlinier. Yang hanya dapat di selesaikan dengan komputasi.

Pemilihan Metode Runge-Kutta

Dalam proses pemilihan metode komputasi dengan Runge-Kutta akan terdapat 3 pilihan metode Runge-Kutta yaitu Runge-Kutta 4 (RK4), Runge-Kutta 45 Butcher (RK45B), dan Runge-Kutta 45 Fehlberg (RK45F). Dimana program yang menggambar metode akan sama di persamaan linier dan nonlinier.

Output

Output yang ada akan ditampilkan meliputi 2 hal yaitu gambar grafik dan tabel hasil simulasi yang dapat di simpan dalam excel.

a. Tampilan *Output* Gambar

Tampilan *Output* gambar akan terdiri dari:

- Tampilan *Output* gambar akan terdiri dari:
- Gambar posisi x terhadap waktu t
- Gambar posisi y terhadap waktu t
- Gambar posisi z terhadap waktu t
- Gambar kecepatan v terhadap waktu t
- Gambar massa m terhadap waktu t

- Gambar energi e terhadap waktu t
- Gambar energi kinetik K terhadap waktu t
- Gambar simulasi partikel pada 2D (partikel medan magnet)
- Gambar simulasi partikel pada 3D (pada medan elektromagnetik)

Output gambar pada persamaan linier dan non linier memiliki perbedaan di mana pada persamaan linier akan menampilkan simulasi secara analitik, numerik dan persentase kesalahan antara analitik dan numerik sedangkan pada persamaan non linier hanya hasil secara numerik .

b. Tampilan *Print* Hasil Dalam Xlsx

Tampilan *print* hasil dalam xlsx akan membuat nama *file* sesuai dengan keinginan pengguna sehingga mudah mengenali hasil simulasi dan dapat di olah lebih lanjut.

3.5.4. Tahap analisis dan pembahasan

Pada tahap ini akan dilakukannya analisis pada partikel uji coba dan partikel uji dari kesamaan bentuk dari dan persentase kesalahan pada dari metode analisis dan komputasi pada persamaan linier. Kemudian metode terbaik akan di bandingkan untuk melihat bagaimana gerak partikel dan antipartikelnya pada persamaan linier dan nonlinier.:

a. Kesamaan bentuk *output* dan kesalahan hasil simulasi pada persamaan linier

Pada bagian ini akan menganalisis bagaimana aplikasi bisa menampilkan hasil sesuai *input* yang dimasukkan yang akan di kemas seperti pada tabel 3.4

Tabel 3.5. kesamaan bentuk output pada persamaan linier

No.	Penilaian	Metode		
		RK4	RK45B	RK45F
1	Simulasi 3D			
2	Simulasi 2D			
3	Gerak sumbu x terhadap waktu t			
4	Gerak sumbu y terhadap waktu t			

5	Gerak sumbu z terhadap waktu t			
6	Kecepatan mutlak terhadap waktu t			
7	Massa gerak terhadap waktu t			
8	Energi gerak terhadap waktu t			
9	Energi kinetik terhadap waktu t			

Tabel ini akan di isi dengan v jika sesuai dengan bentuk *input* dan x jika tidak. Tabel ini juga di aplikasikan pada RK45B dan RK45F. Setelah melihat bentuk dari hasil simulasi dilihat juga persentase kesalahan yang terbentuk dengan mengikuti persamaan (3.18) dengan melihat nilai minimum (MIN), maksimum (MAX), rata-rata (MEAN) pada setiap sumbu yang dapat di lihat pada tabel 3.6

Tabel 3.6. Pembahasan Tahap Analisa Pada Data Spesifik

Posisi	kesalahan	Metode Komputasi		
		RK4 (%)	RK45B (%)	RK45F (%)
MIN	Kx			
	Ky			
	Kz			
	kv			
	km			
	kE			
	kKI			
MAX	kx			
	ky			
	kz			
	kv			
	km			
	kE			
	kKI			
MEAN	kx			
	ky			
	kz			
	kv			

	km			
	kE			
	kKI			

b. Perbandingan hasil simulasi

Setelah melihat hasil simulasi di lihat yang paling baik dari segi kesamaan bentuk dan persentase kesalahan, kemudian di bandingkan dengan antipartikelnya yang akan di tampilkan pada tabel 3.7. perbandingan hasil simulasi di lakukan dengan membandingkan persamaan di persamaan linier dan persamaan nonlinier.

Tabel 3.7. Perbandingan Hasil Simulasi

No.	Penilai	Partikel	Antipartikel
1	Simulasi 3D		
2	Simulasi 2D		
3	Gerak sumbu x terhadap waktu t		
4	Gerak sumbu y terhadap waktu t		
5	Gerak sumbu z terhadap waktu t		
6	Kecepatan mutlak terhadap waktu t		

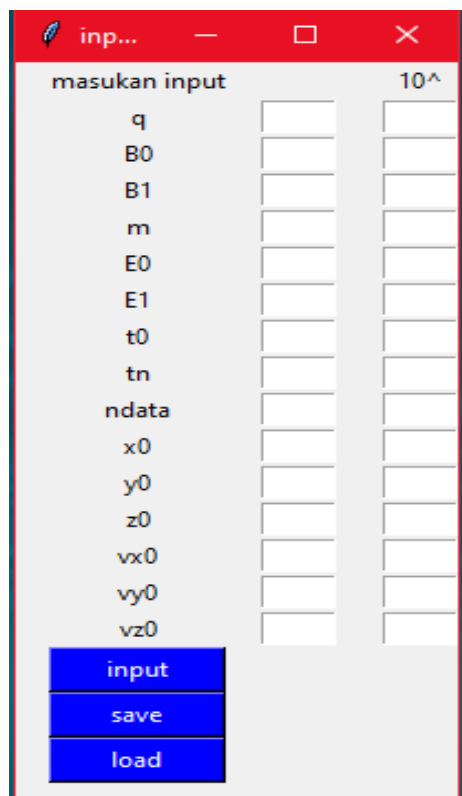
7	Massa gerak terhadap waktu t		
8	Energi gerak terhadap waktu t		
9	Energi kinetik terhadap waktu t		

BAB IV.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Dan Pembahasan Program *Grafik User Interface (GUI)*

Program ini di buat dengan bahasa pemograman phyton dengan bantuan dengan *library tkinter, numpy* dan *matplotlib* yang di sediakan pada spyder pada aplikasi Anaconda yang menghasilkan GUI di buat Berdasarkan *flowchart* pada BAB 3 pada bagian 3.5 yang dapat di lihat pada lampiran 6. Tampilan awal saat program telah dijalankan adalah tampilan masukan *input* yang dapat dilihat pada gambar 4.1.



masukan input	10^
q	
B0	
B1	
m	
E0	
E1	
t0	
tn	
ndata	
x0	
y0	
z0	
vx0	
vy0	
vz0	

input
save
load

Gambar 4.1. tampilan masukan input

Tampilan masukan *input* terdiri atas label yang berisi simbol-simbol untuk mewakili nilai yang akan di isi pada bagian *entry* di sebelahnya. Simbol-simbol di jelaskan pada tabel 4.1

Tabel 4.1. *Entry Pada Program*

No.	Simbol	Arti simbol	Nilai awal tanpa mengisi
1.	q	Muatan partikel	1
2.	B_0	Medan magnet internal	1
3.	B_1	Medan magnet eksternal yang berubah terhadap waktu	1
4.	m	Massa partikel	1
5.	E_0	Medan listrik internal	1
6.	E_1	Medan listrik eksternal yang berubah terhadap waktu	1
7.	t_0	Waktu awal	1
8.	t_n	Waktu akhir	10
9.	n_{data}	Banyaknya data	1000
10.	x_0	Posisi awal sumbu pada sumbu x	1
11.	y_0	Posisi awal sumbu pada sumbu y	1
12.	z_0	Posisi awal sumbu pada sumbu z	1
13.	v_{x0}	Kecepatan awal sumbu pada sumbu x	1
14.	v_{y0}	Kecepatan awal sumbu pada sumbu y	1
15.	v_{z0}	Kecepatan awal sumbu pada sumbu z	1
16.	10^{\wedge}	Pangkat dari $\times 10^n$	0

Pengisian *input* harus didasARKan pada karakteristik yang diinginkan. Pada proposal ini karakteristik yang diinginkan sesuai dengan BAB 3 pada Tabel 3.2 untuk pada partikel sampel yang terdiri dari partikel positif dan partikel negatif dan pada Tabel 3.3 untuk partikel uji yang terdiri atas proton, antiproton, elektron dan antielektron. Terdapat 3 tombol (*button*) yang mewakili fungsi dari suatu proses yang dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2. Arti Text Pada Tombol

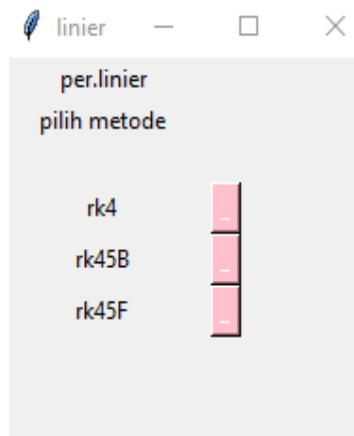
No.	Text pada tombol	fungsi
1.	Input	Menginput nilai yang telah di masukkan ke proses pemilihan metode
2.	Save	Menyimpan nilai yang telah dimasukkan sehingga bisa di <i>load</i>
3.	Load	Menampilkan kembali hasil nilai masukan yang pernah di <i>save</i>

Untuk mempermudah melakukan pengisian, sebaiknya setelah mengisi nilai pada *entry* simpan terlebih dahulu dengan menekan “*save*” sehingga nilai tersebut dapat di tampilkan kembali suatu saat dengan menekan “*load* “ jika di perlukan suatu saat. Setelah nilai sesuai dengan yang diinginkan pilih *input* untuk melanjutkan ke tahap memilih metode komputasi.

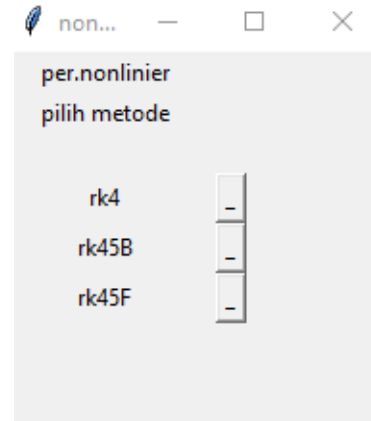
Sesuaikan banyaknya pengulangan dengan n data semakin besar n data maka semakin banyak pengulangan yang terjadi sehingga akan dibutuhkan waktu untuk memproses *input* untuk ke pemilihan metode dan step selanjutnya.

Input $B1$ mempengaruhi persamaan yang terbentuk di mana jika *entry* $B1 = 0$ maka *input* akan masuk ke persamaan Linier yang dapat di lihat pada label di bagian pemilihan metode. Jika $B1 \neq 0$ maka akan masuk ke persamaan non linier. Perbedaan persamaan linier dan nonlinier menurut Joseph Fourier bahwa persamaan nonlinier sulit untuk dapat di selesaikan dengan metode analitik hal ini mendorong untuk di gunakan metode komputasi untuk menyelesaikannya.

Untuk membedakan persamaan linier dan nonlinier pada pemilihan metode dibuatlah warna, serta label yang berbeda pada tombol di pemilihan metode hal ini berguna untuk membedakan saat memilih metode apakah *input* berada di persamaan linier atau di persamaan nonlinier. yang dapat dilihat pada gambar 4.2:



a.



b.

Gambar 4.2. pemilihan metode

a. persamaan linier b. Persamaan nonlinier

Dari gambar di dapat label yang tertulis per.linier yang mengartikan persamaan linier dengan *button* pada pemilihan metode komputasi yang berwarna merah muda dan per.nonlinier yang mengartikan persamaan nonlinier dengan *button* pada pemilihan metode komputasi yang berwarna putih .

Pada bagian ini terdapat label yang melambangkan metode yang akan dipilih saat menekan tombol di sebelahnya yang dapat dilihat pada tabel 4.3 :

Tabel 4.3. Label Metode

No.	Label	Mewakilkkan
1	RK4	Metode Runge-Kutta 4
2	RK45B	Metode Runge-Kutta 45 Butcher
3	RK45F	Metode Runge-Kutta 45 Felhberg

Walaupun tampilan persamaan linier dan persamaan non linier di pisahkan namun tidak ada perbedaan pada pemograman persamaan Runge-Kutta yang digunakan. hal ini dapat dilihat pada metode Runge-Kutta 4 seperti pada gambar 3.3 yang lebih lengkapnya dapat di lihat di lampiran 7

a.

```

1401
1402
1403 def rk4():
1404     yuhu= Tk()
1405     yuhu.title("grafik yang diinginkan")
1406     yuhu.geometry("240x475+1110+0")
1407
1408     def funcy (t , vy , y , k , B0, B1, y0, vx0 ):
1409         return vy
1410     def guncy (t , vy , y , k , B0, B1, y0, vx0 ):
1411         return -(k**2) * ((B0+B1*t)**2) * (y-y0)-((k) * ((B0+B1*t))
1412     def funcx (t , vx , y , k , B0, B1, x0, vy0 ):
1413         return vx
1414     def guncx (t , vx , x , k , B0, B1, x0, vy0 ):
1415         return ((k**2) * ((B0+B1*t)**2) )*(x0-x)+((k) * ((B0+B1*t))
1416     def funcz (t , vz , z , k , E0, E1):
1417         return vz
1418     def guncz (t , vz , z , k , E0, E1):
1419         return k*(E0+E1*t)
1420     for i in range (ndata-1):

```

b.

```

190
191 def rk4():
192     yuhu= Tk()
193     yuhu.title("grafik yang diinginkan")
194     yuhu.geometry("240x400+1110+0")
195
196     def funcy (t , vy , y , k , B0, B1, y0, vx0 ):
197         return vy
198     def guncy (t , vy , y , k , B0, B1, y0, vx0 ):
199         return -(k**2) * ((B0-B1*t)**2) * (y-y0)-((k) * ((B0+B1*t))
200     def funcx (t , vx , y , k , B0, B1, x0, vy0 ):
201         return vx
202     def guncx (t , vx , x , k , B0, B1, x0, vy0 ):
203         return ((k**2) * ((B0-B1*t)**2) )*(x0-x)+((k) * ((B0+B1*t))
204     def funcz (t , vz , z , k , E0, E1):
205         return vz
206     def guncz (t , vz , z , k , E0, E1):
207         return k*(E0+E1*t)
208     for i in range (ndata-1):

```

Gambar 4.3. pemrograman

a. persamaan linier b. Persamaan nonlinier tidak ada perbedaan

Dikarenakan persamaan linier memiliki rumus analitik, maka pada pemrograman dimasukkan fungsi turunan persamaan diferensial linier yang sesuai pada persamaan di BAB 3. untuk melihat kebenaran dari kegiatan simulasi yang dilakukan. Rumus analitik pada bahasa pemrograman python dapat dilihat pada gambar 4.4

```

vy0=-(vx0)*np.sin(k*B0*t)+(y0)*np.cos(k*B0*t)
ya=-(vx0/(k*B0))*np.cos(k*B0*t)+(y0/k)*np.sin(k*B0*t)+y0-(vx0/(k*B0))
kesy=abs((ya-y)/ya)
ksy=ksy*100

vx0=(y0)*np.sin((k*B0)*t)+(vx0)*np.cos((k*B0)*t)
xa=-(y0/(k*B0))*np.cos((k*B0)*t)+(vx0/k)*np.sin((k*B0)*t)+x0+vy0
kesx=abs((xa-x)/xa)
ksx=ksx*100

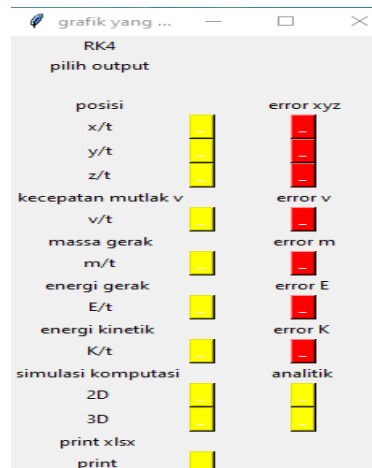
vza= k*(E0*t+E1*1/2* t**2)+vz0
za= k*(E0*1/2*t**2+E1*1/6* t**3)+vz0*t+z0
kesz=abs((za-z)/za)
ksz=ksz*100

v=np.sqrt(vx**2+vy**2+vz**2)
va=np.sqrt(vxa**2+vya**2+vza**2)
kesv=abs((va-v)/va)
ksv=ksv*100

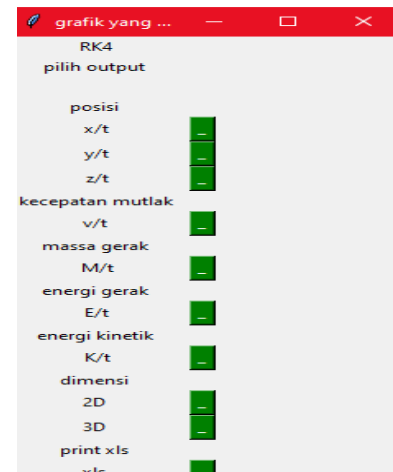
```

Gambar 4.4. Rumus analitik posisi pada bahasa pemrograman python

Setelah pemilihan metode komputasi yang digunakan, program akan menampilkan tampilan pemilihan output. Tampilan pemilihan *output* dapat dilihat pada gambar 3.4. Pada persamaan linier dan persamaan non linier terdapat perbedaan tampilan di mana pada tampilan persamaan linier terdapat fungsi *error* yang disimbolkan dengan warna merah yang berguna untuk menampilkan persentase selisih metode numerik dan metode analitik sedangkan pada persamaan non linier tidak ada tampilan *error* dikarenakan tidak adanya metode analitik pada persamaan non linier. Tampilan pemilihan *output* dapat dilihat pada gambar 4.5.



a.



b.

Gambar 4.5. pemilihan *output*

a. persamaan linier b. Persamaan nonlinier

Tampilan *output* antara persamaan linier dan persamaan non linier memiliki persamaan dapat dilihat pada tabel 4.4;

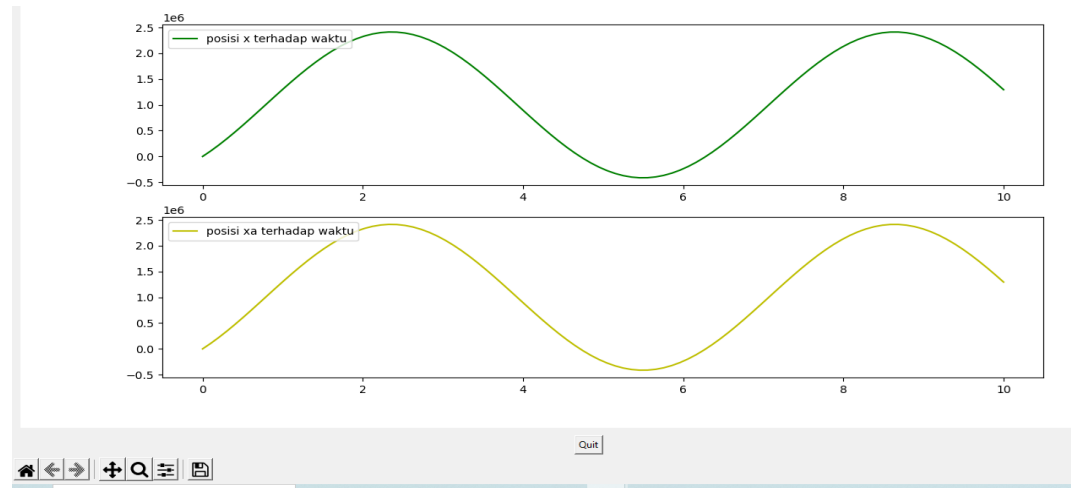
Tabel 4.4. Hasil *Output*

No.	Nama	Fungsi	
		Per.linier	Per.nonlinier
1.	Posisi (x,t)	Menampilkan grafik sumbu x terhadap waktu (t) dengan metode analitik dan numerik	Menampilkan grafik sumbu x terhadap waktu (t) dengan metode numerik
2.	Posisi (y,t)	Menampilkan grafik sumbu y terhadap waktu (t) dengan metode analitik dan numerik	Menampilkan grafik sumbu y terhadap waktu (t) dengan metode numerik
3.	Posisi (z,t))	Menampilkan grafik sumbu z terhadap waktu (t) dengan metode analitik dan numerik	Menampilkan grafik sumbu z terhadap waktu (t) dengan metode numerik

4.	Kecepatan mutlak (V,t)	Menampilkan grafik kecepatan mutlak (v) terhadap waktu (t) dengan metode analitik dan numerik	Menampilkan grafik kecepatan mutlak (v) terhadap waktu (t) dengan metode numerik
5.	Massa gerak (m,t)	Menampilkan grafik massa gerak (m) terhadap waktu (t) dengan metode analitik dan numerik	Menampilkan grafik massa gerak (m) terhadap waktu (t) dengan metode numerik
6.	Energi gerak (E,t)	Menampilkan grafik energi gerak (e) terhadap waktu (t) dengan metode analitik dan numerik	Menampilkan grafik energi gerak (e) terhadap waktu (t) dengan metode numerik
7.	Energi kinetik (Ki,t)	Menampilkan grafik energi kinetik (k) terhadap waktu (t) dengan metode analitik dan numerik	Menampilkan grafik energi kinetik (k) terhadap waktu (t) dengan metode numerik
8.	Simulasi komputasi atau analitik gerak (2D)	Menampilkan simulasi lintasan x, y atau simulasi lintasan pada medan magnet dengan metode 2 dimensi dengan metode analitik dan numerik	Menampilkan simulasi lintasan x ,y atau simulasi medan magnet dengan metode 2 dimensi dengan metode numerik
9.	Simulasi atau analitik gerak (3D)	Menampilkan simulasi lintasan (x, y, z atau medan elektromagnetik) dengan metode 2 dimensi dengan analitik dan numerik	Menampilkan simulasi lintasan (x, y atau medan elektromagnetik) dengan metode 3 dimensi dengan numerik
10.	Print xlsx	Dapat mengeprint hasil simulasi pada format tertentu (teRKhusus dalam format xlsx)	Dapat mengeprint hasil simulasi pada format tertentu (teRKhusus dalam format xlsx)

Pada tampilan *output* gambar akan menampilkan beberapa keluaran yaitu

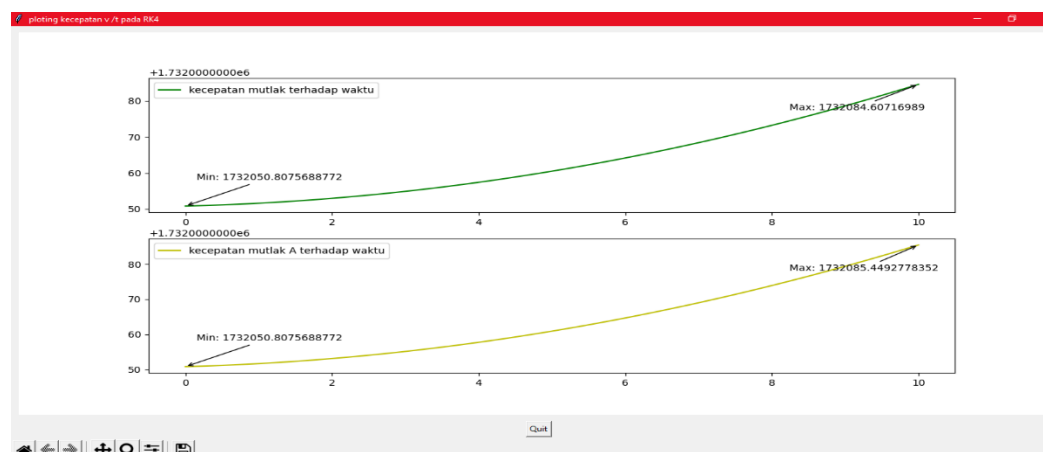
1. Tampilan *Output* gambar posisi terhadap waktu



Gambar 4.6. *Output* dari salah satu gambar grafik posisi banding waktu pada persamaan linier

Dari tampilan *output* gambar didapati gambar hasil simulasi dengan numerik di bagian atas dan hasil simulasi dengan analitik di bagian bawah tanpa dilengkapi keterangan hal ini dikarenakan pada posisi x, y, z yang ingin dilihat adalah pola gerak yang tercipta. .

Tampilan *Output* gambar kecepatan, massa gerak, energi gerak dan energi kinetik terhadap waktu

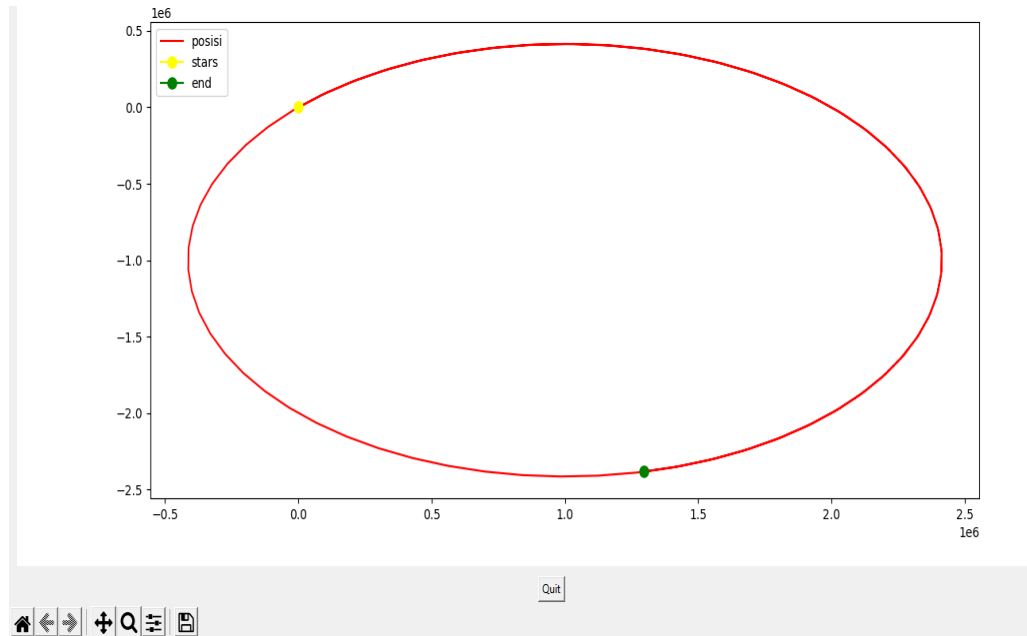


Gambar 4.7. *Output* salah satu gambar grafik kecepatan

Dari gambar di dapat gambar hasil simulasi dengan numerik di bagian atas dan hasil simulasi dengan analitik di bagian bawah dilengkapi nilai maksimum dan

minimum dikarenakan untuk melihat naik tidaknya nilai kecepatan, massa gerak, energi gerak dan energi kinetik di medan elektromagnetik.

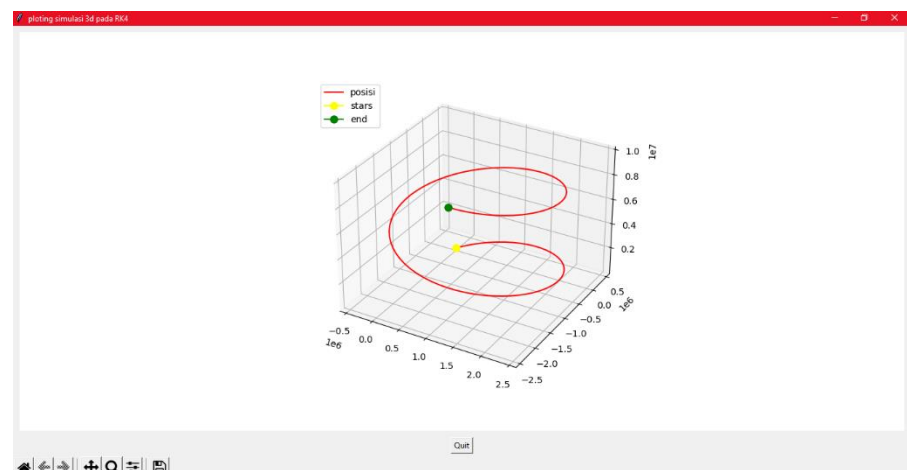
Output gambar simulasi 2D



Gambar 4.8. *Output* salah satu gambar dari gerak pada 2D

Dari *output* gambar simulasi 2D terdapat keterangan posisi, start dan stop untuk mempermudah memahami gerak walaupun tidak terlalu signifikan.

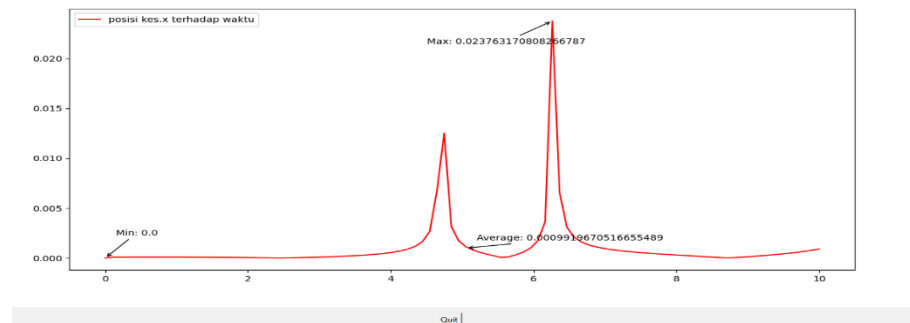
Output gambar simulasi 3D.



Gambar 4.9. *Output* salah satu gambar dari gerak 3D

Dari *output* gambar simulasi 3D terdapat keterangan posisi, start dan stop untuk mempermudah memahami gerak dan gambar bisa dan di lihat dari sudut yang berbeda.

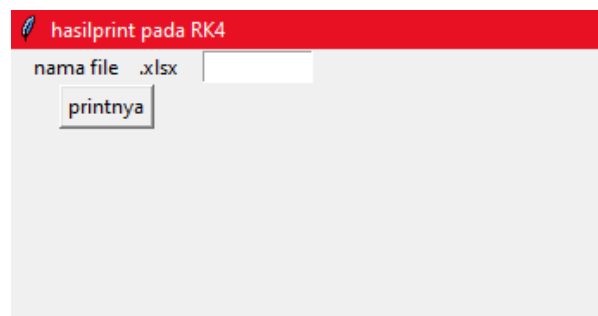
Output persen kesalahan



Gambar 4.10. Output salah satu gambar grafik dari salah satu grafik kesalahan

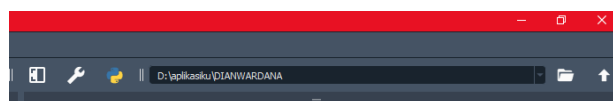
Dari gambar 4.10 didapati gambar hasil simulasi hanya terdapat 1 gambar grafik yang dilengkapi nilai maksimum, minimum dan rata-rata untuk mengetahui seberapa jauh kesalahan yang tercipta antara analitik dan numerik.

Output file.xlsx



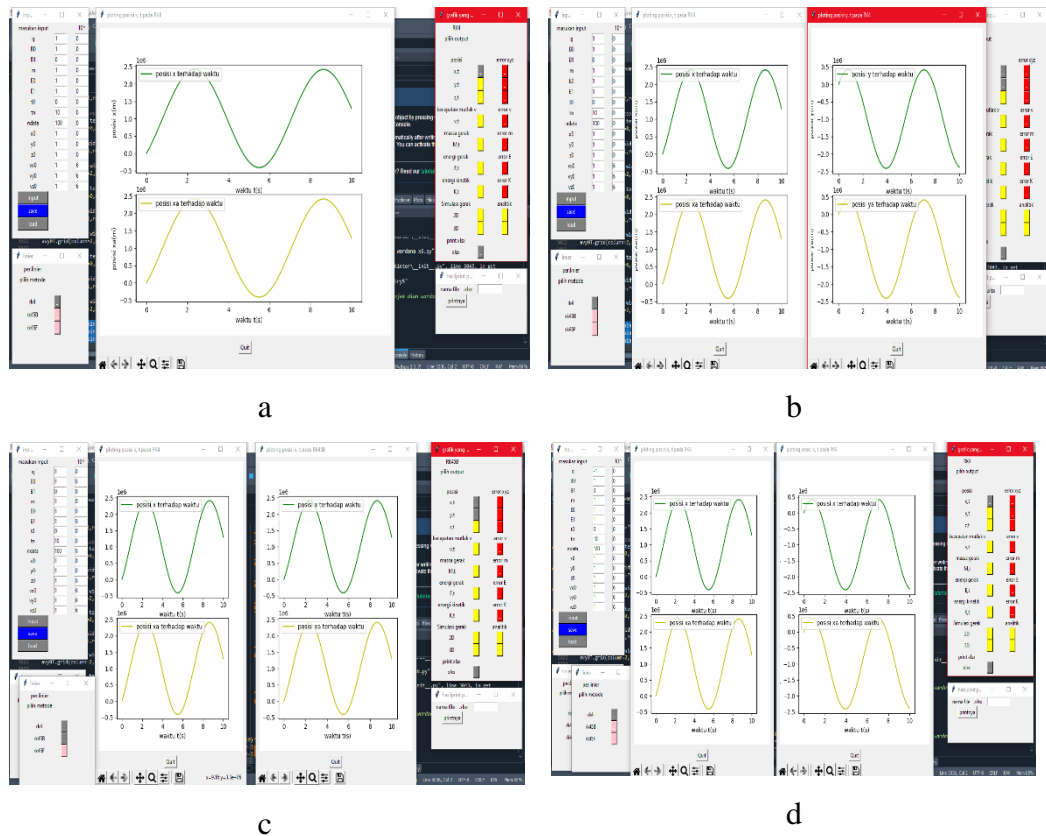
Gambar 4.11. Salah satu gambar print.xlsx

Output file.xlsx di gunakan untuk mendapatkan hasil simulasi dalam bentuk file excel dengan menulis nama file.xlsx pada kolom input kemudian klik printnya. Setelah di klik file excel akan didapat pada lokasi otomatis console di spyder.



Gambar 4.12. posisi tempat file.xlsx

Secara keseluruhan tampilan dari GUI terdapat pada gambar



Gambar 4.13. tampilan pada salah satu simulasi.

(a) hasil simulasi partikel positif pada sumbu x. (b) hasil simulasi partikel positif pada sumbu x dan y pada metode yang sama. (c) menampilkan hasil simulasi partikel positif pada sumbu x dengan metode yang berbeda. (d) menampilkan hasil partikel positif dan negatif pada sumbu x dengan metode yang sama

Dari gambar 4.13 hasil simulasi yang di dihasilkan mampu dengan mudah menampilkan hasil keluaran yang diinginkan serta mampu di bandingkan dengan hasil yang lain seperti dengan output yang berbeda, metode yang berbeda persamaan yang berbeda, input yang berbeda sehingga mempermudah memperlihatkan kesalahan metode komputasi terhadap metode analitisnya serta memahami perilaku antara partikel dan antipartikelnya di medan elektromagnetik pada persamaan linier atau persamaan nonlinier dengan metode komputasi yang berbeda juga

4.2. Hasil Dan Pembahasan Pada Simulasi

4.2.1. Pada Partikel Sampel

Partikel Sampel di gunakan sebagai sarana uji coba pemrograman. Pada partikel sampel akan di pisahkan partikel positif dan partikel negatif.

A. Pada Partikel Positif

Partikel positif di sesuaikan dengan *input* sesuai dengan BAB 3 pada tabel 3.2. untuk bagian masukan dan pemilihan metode di lampirkan di lampiran 8. Hasil masukan di dapati kesesuaian bentuk antara metode analitis dan komputasinya pada tabel 4.5 untuk bentuk gambar dapat di lihat pada lampiran 9.

Tabel 4.5. Hasil Kesesuaian Analitis Dan Komputasi Pada Partikel Positif

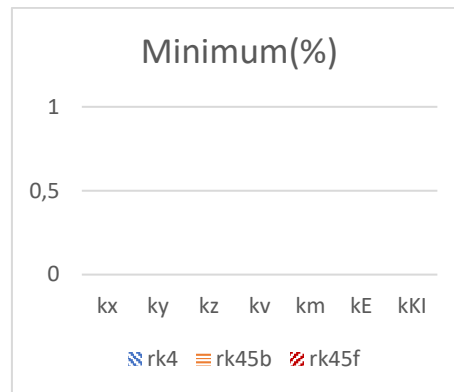
No.	Penilaian	Positif		
		RK4	RK45B	RK45F
1	Simulasi 3D	v	v	v
2	Simulasi 2D	v	v	v
3	Gerak sumbu x terhadap waktu t	v	v	v
4	Gerak sumbu y terhadap waktu t	v	v	v
5	Gerak sumbu z terhadap waktu t	v	v	v
6	Kecepatan mutlak terhadap waktu t	v	v	v
7	Massa gerak terhadap waktu t	v	v	v
8	Energi gerak terhadap waktu t	v	v	v
9	Energi kinetik terhadap waktu t	v	v	v

Dari tabel 4.5 partikel positif pada persamaan linier di dapati tidak adanya bentuk yang berbeda antara metode analitik dan numeriknya sehingga ketiga metode tersebut jika di tinjau dari bentuk yang di hasilkan dapat di terima. Untuk melihat sejauh mana perbedaan posisi antara analitik dan numerik ditinjau dengan Persentase kesalahan minimum persentase kesalahan maksimum dan rata- rata persentase kesalahan yang dapat di lihat pada tabel 4.6 untuk bentuk gambar dapat di lihat pada lampiran 10.

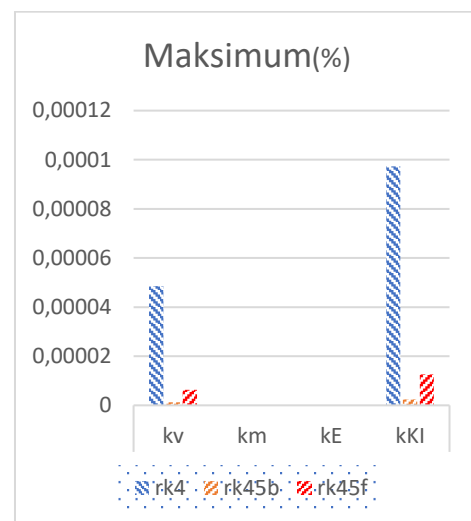
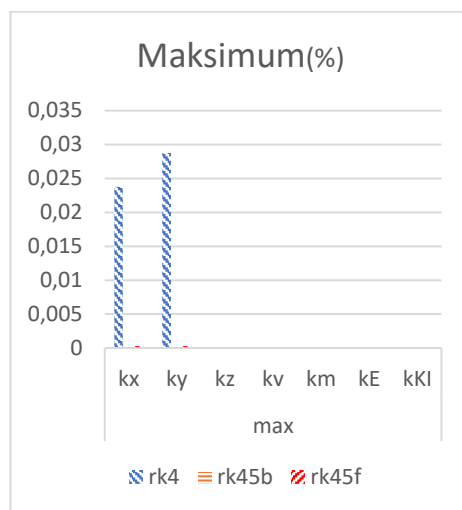
Tabel 4.6. Kesalahan Pada Partikel Positif

Posisi	kesalahan	Metode Komputasi		
		RK4 (%)	RK45B (%)	RK45F (%)
MIN	kx	0	0	0
	ky	0	0	0
	kz	0	0	0
	kv	0	0	0
	km	0	0	0
	kE	0	0	0
	kKI	0	0	0
MAX	kx	0,023763171	6,83376E-05	0,000321675
	ky	0,028748889	6,76538E-05	0,000315384
	kz	5,94839E-14	5,94839E-14	5,94839E-14
	kv	4,86182E-05	1,1984E-06	6,34583E-06
	km	1,62093E-11	3,9968E-13	2,10942E-12
	kE	1,62133E-11	3,98222E-13	2,10489E-12
	kKI	9,72761E-05	2,38924E-06	1,26288E-05
MEAN	kx	0,000991967	2,32196E-06	1,18743E-05
	ky	0,001373574	3,04636E-06	1,58272E-05
	kz	2,01488E-14	2,02002E-14	2,02002E-14
	kv	2,43095E-05	5,99213E-07	3,17298E-06
	km	8,10485E-12	2,0095E-13	1,05627E-12
	kE	8,10473E-12	2,01045E-13	1,05609E-12
	kKI	4,86273E-05	1,20625E-06	6,33638E-06

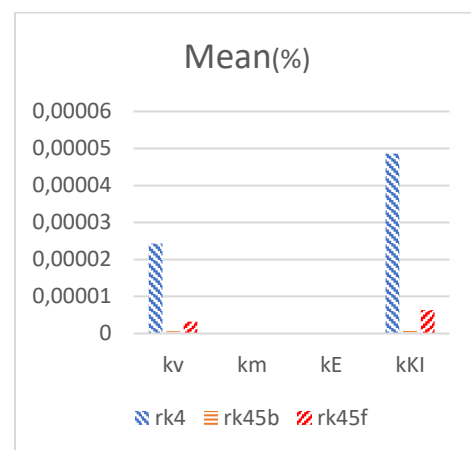
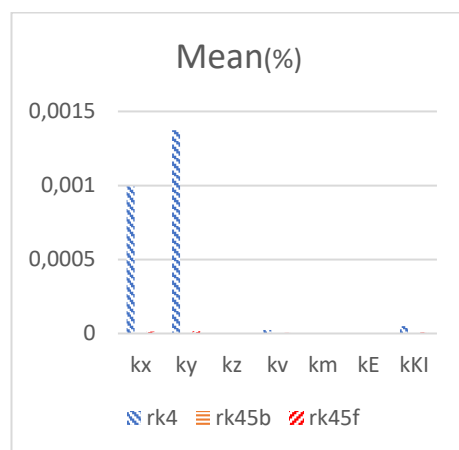
Secara sepintas kita dapat menyimpulkan semua hasil tabel memiliki persentase kesalahan yang rendah sehingga di buatlah grafik untuk mempermudah melihat dan memahami tinggi rendahnya presentasi kesalahan dapat dilihat pada gambar 4.14.



a



b



c

Gambar 4.14. Gambar Grafik Persentase Kesalahan Partikel Positif

(a) Kesalahan minimum (b) Kesalahan maksimum (c) Kesalahan rata rata

Dari tabel dan gambar dapat di simpulkan bahwa

1. Persentase kesalahan pada kesalahan minimum antara 3 metode adalah sama.
2. Persentase kesalahan pada kesalahan maksimum antara 3 metode Runge-Kutta dari yang terkecil hingga yang terbesar adalah RK45B, RK45F dan RK4 namun ke 3 metode ini memiliki persentase kesalahan yang kecil.
3. Persentase kesalahan pada kesalahan rata-rata antara 3 metode Runge-Kutta dari yang terkecil hingga yang terbesar adalah RK45B, RK45F dan RK4 persentase kesalahan yang kecil.

Dari melihat bentuk persentase kesalahan dari kesesuaian analitik dan komputasi di dapati bahwa metode Runge-Kutta terbaik yang di gunakan adalah RK45B.

B. Pada Partikel Negatif

Partikel negatif di sesuaikan dengan *input* sesuai dengan BAB 3 pada tabel 3.2. untuk bagian masukan dan pemilihan metode di lampirkan di lampiran 11. Hasil masukan di dapati kesesuaian bentuk antara metode analitis dan komputasinya pada tabel 4.7 untuk bentuk gambar dapat di lihat pada lampiran 12.

Tabel 4.7. Hasil Kesesuaian Analitis Dan Komputasi Pada Partikel Negatif

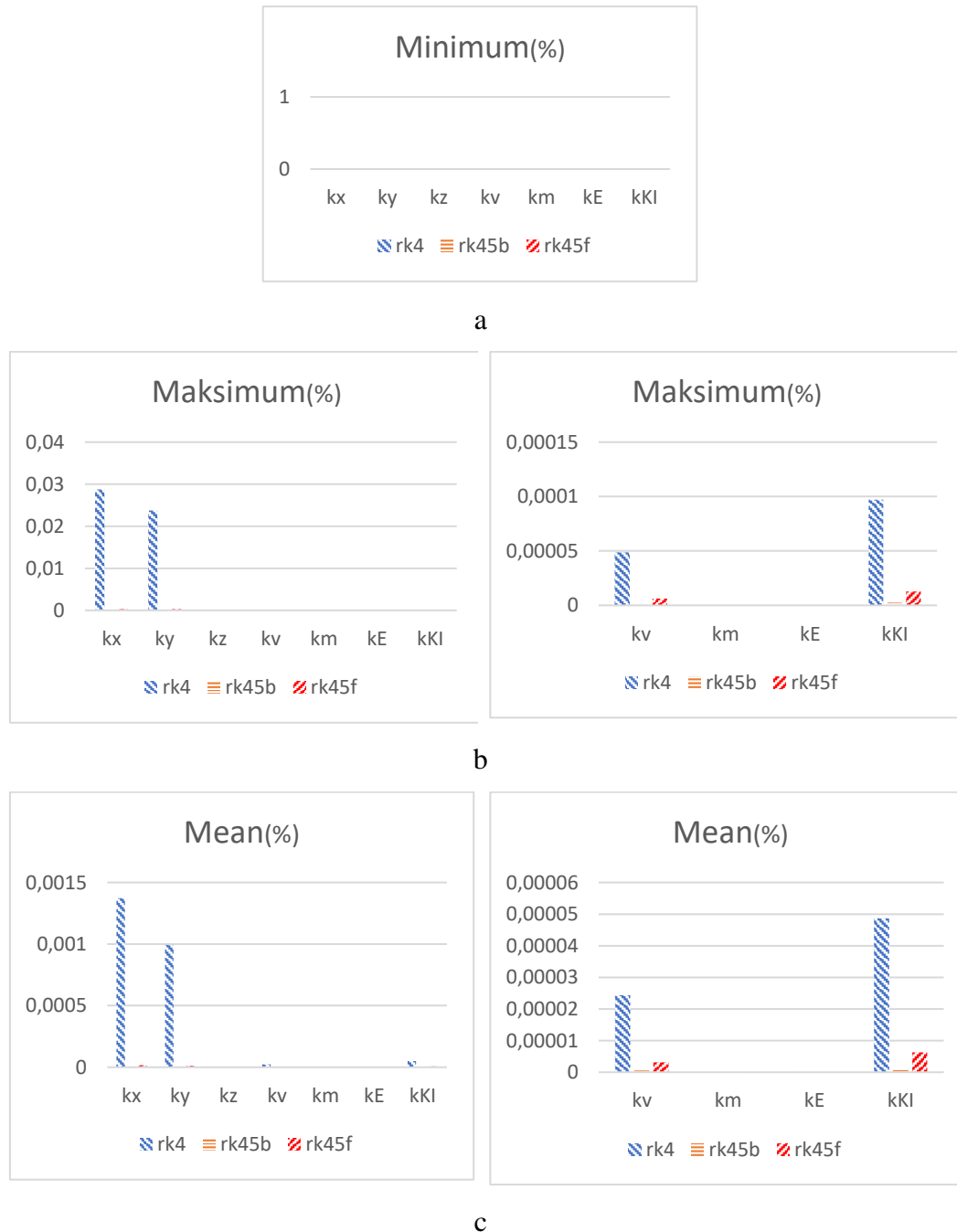
No.	Penilaian	Negatif		
		RK4	RK45B	RK45F
1	Simulasi 3D	v	v	v
2	Simulasi 2D	v	v	v
3	Gerak sumbu x terhadap waktu t	v	v	v
4	Gerak sumbu y terhadap waktu t	v	v	v
5	Gerak sumbu z terhadap waktu t	v	v	v
6	Kecepatan mutlak terhadap waktu t	v	v	v
7	Massa gerak terhadap waktu t	v	v	v
8	Energi gerak terhadap waktu t	v	v	v
9	Energi kinetik terhadap waktu t	v	v	v

Dari tabel 4.7 partikel positif pada persamaan linier di dapati tidak adanya bentuk yang berbeda antara metode analitik dan numeriknya sehingga ketiga metode tersebut jika di tinjau dari bentuk yang di hasilkan dapat di terima. Untuk melihat sejauh mana perbedaan posisi antara analitik dan numerik ditinjau dengan Persentase kesalahan minimum persentase kesalahan maksimum dan rata- rata persentase kesalahan yang dapat di lihat pada tabel 4.8 untuk bentuk gambar dapat di lihat pada lampiran 13.

Tabel 4.8. Kesalahan Pada Partikel Negatif

Posisi	kesalahan	Metode Komputasi		
		RK4 (%)	RK45B (%)	RK45F (%)
MIN	kx	0	0	0
	ky	0	0	0
	kz	0	0	0
	kv	0	0	0
	km	0	0	0
	kE	0	0	0
	kKI	0	0	0
MAX	kx	0,028748889	6,76538E-05	0,000315384
	ky	0,023763171	6,83376E-05	0,000321675
	kz	7,60436E-14	7,60436E-14	9,50545E-14
	kv	4,8622E-05	1,1985E-06	6,34634E-06
	km	1,62093E-11	3,9968E-13	2,10942E-12
	kE	1,6202E-11	4,096E-13	2,11627E-12
	kKI	9,72156E-05	2,4577E-06	1,26981E-05
MEAN	kx	0,001373574	3,04636E-06	1,58272E-05
	ky	0,000991967	2,32196E-06	1,18743E-05
	kz	3,92133E-14	3,36905E-14	4,12306E-14
	kv	2,43106E-05	5,99238E-07	3,17311E-06
	km	8,10574E-12	2,01172E-13	1,05538E-12
	kE	8,10553E-12	2,01159E-13	1,05495E-12
	kKI	4,86342E-05	1,20698E-06	6,32982E-06

Secara sepintas kita dapat menyimpulkan semua hasil tabel memiliki persentase kesalahan yang rendah sehingga di buatlah grafik untuk mempermudah melihat dan memahami tinggi rendahnya presentasi kesalahan dapat dilihat pada gambar 4.13



Gambar 4.15. Gambar Grafik Persentase Kesalahan Partikel Negatif

(a) Kesalahan minimum (b) Kesalahan maksimum (c) Kesalahan rata rata

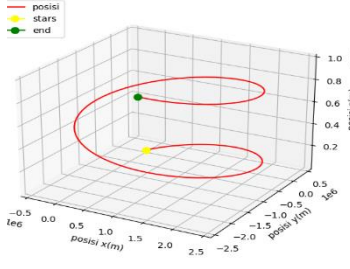
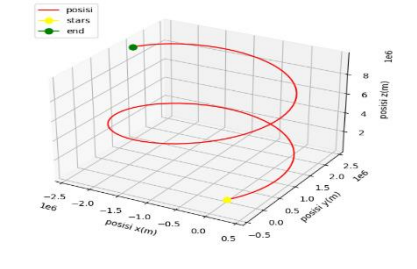
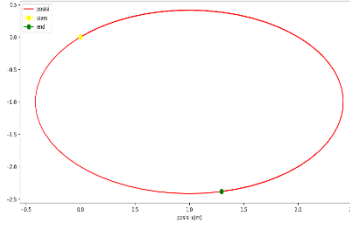
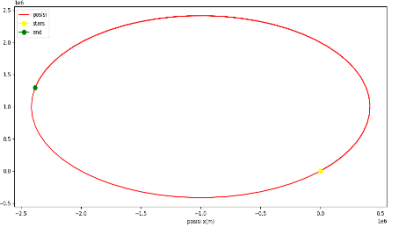
Dari gambar 4.15 dapat di simpulkan bahwa

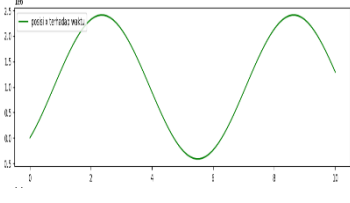
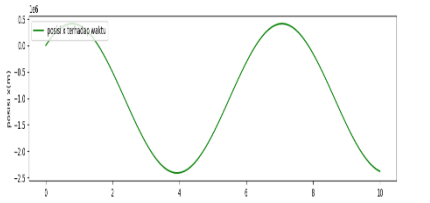
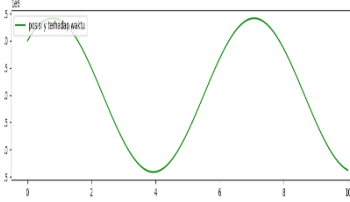
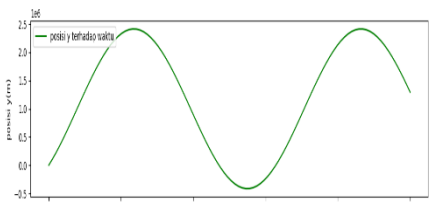
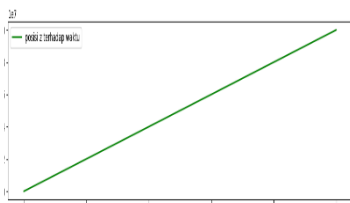
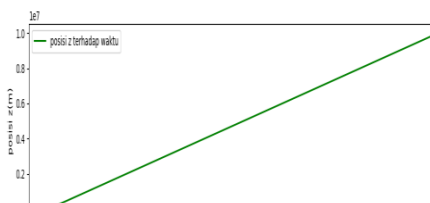
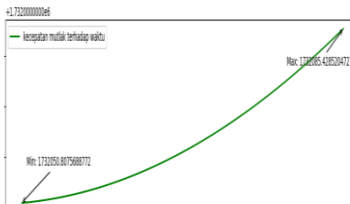
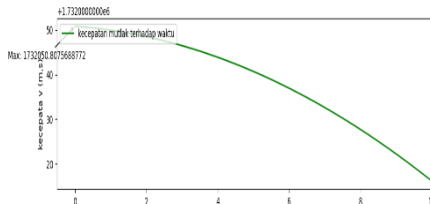
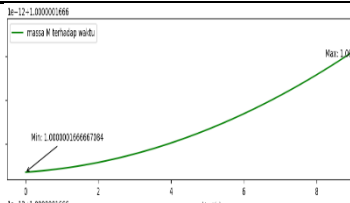
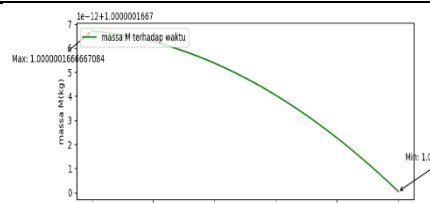
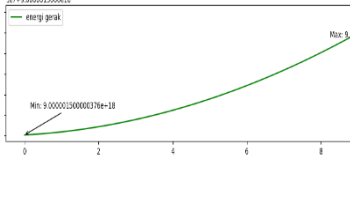
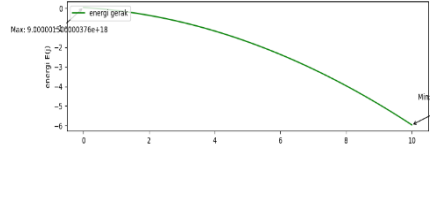
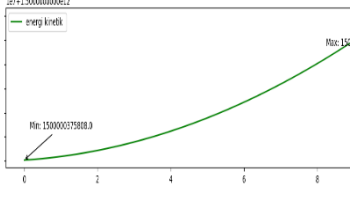
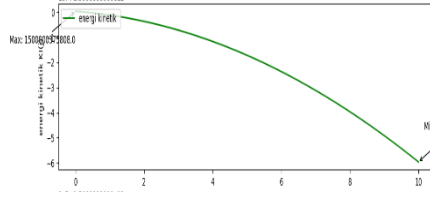
1. Persentase kesalahan pada kesalahan minimum antara 3 metode adalah sama.
2. Persentase kesalahan pada kesalahan maksimum antara 3 metode Runge-Kutta dari yang terkecil hingga yang terbesar adalah RK45B, RK45F dan RK4 namun ke3 metode ini memiliki persentase kesalahan yang kecil.
3. Persentase kesalahan pada kesalahan rata-rata antara 3 metode Runge-Kutta dari yang terkecil hingga yang terbesar adalah RK45B, RK45F dan RK4 persentase kesalahan yang kecil.

Dari melihat bentuk persentase kesalahan dari kesesuaian analitik dan komputasi di dapati bahwa metode Runge-Kutta terbaik yang di gunakan adalah RK45B

Setelah di dapati metode koputasi terbaik kedua partikel positif dan partikel negatif akan di bandingkan sesuai pembahasan BAB 3 pada tabel 3.5 untuk membandingkan sifat partikel ketika di persamaan linier dan di persamaan nonlinier yang dapat di lihat pada tabel 4.9 untuk persamaan linier dan 4.10 untuk persamaan nonlinier. Untuk melihat nilai yang terkandung dapat dilihat pada lampiran 14 untuk persamaan linier dan lampiran 15 untuk persamaan nonlinier

Tabel 4.9. Perbandingan Partikel Positif Dan Negatif Pada Persamaan Linier

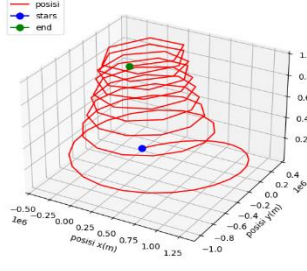
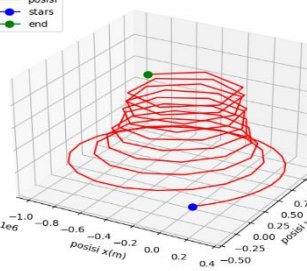
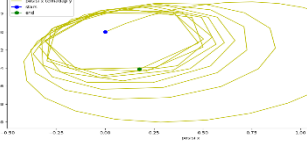
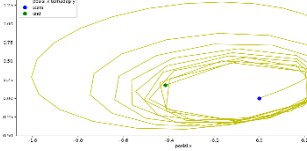
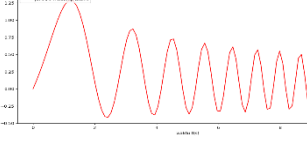
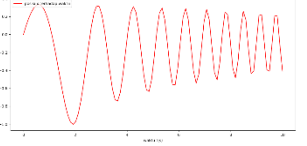
No	penilai	POSITIF	NEGATIF
1	Simulasi 3d		
2	Simulasi 2D		

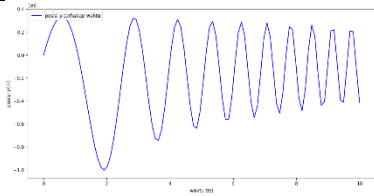
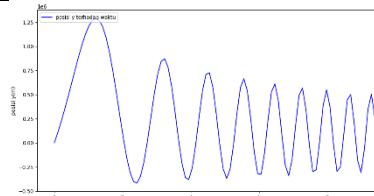
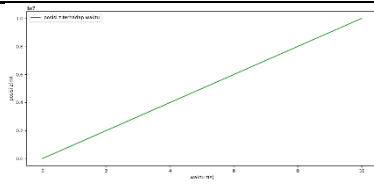
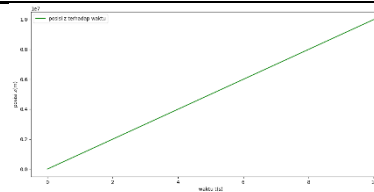
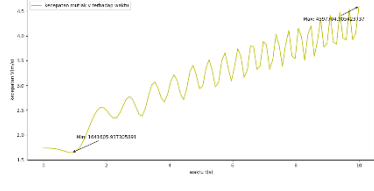
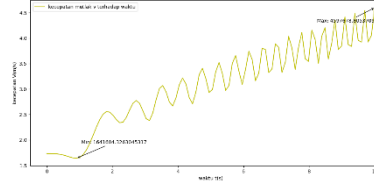
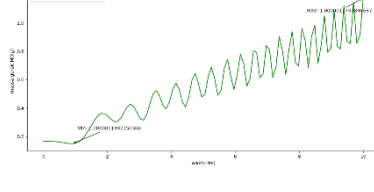
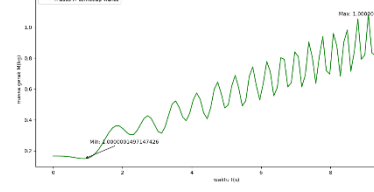
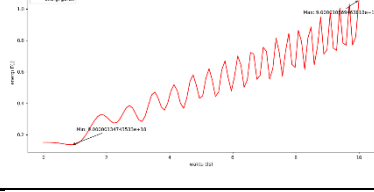
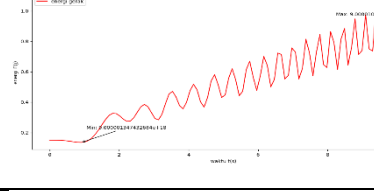
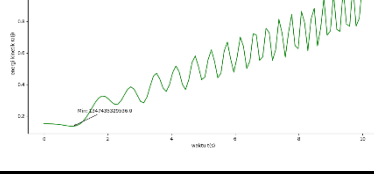
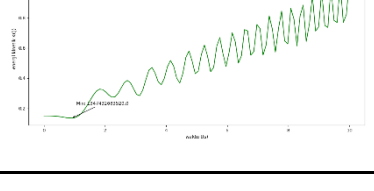
3	Gerak sumbu x terhadap waktu t		
4	Gerak sumbu y terhadap waktu t		
5	Gerak sumbu z terhadap waktu t		
6	Kecepatan mutlak terhadap waktu t		
7	Massa gerak terhadap waktu t		
8	Energi gerak terhadap waktu t		
9	Energi kinetik terhadap waktu t		

Dari tabel 4.9 dapat di pastikan bahwa partikel positif dan negatif pada persamaan linier memiliki

1. Bentuk gerak ke 3 partikel adalah spiral ke atas dengan arah putar yang berbeda. Arah putar partikel positif searah dengan jarum jam sementara partikel negatif berlawanan arah jarum jam
2. Pola pergerakan antara partikel positif dan partikel negatif memiliki perbedaan. Perbedaan dapat dilihat dari posisi x dan y. Bentuk grafik posisi pada sumbu x berbanding waktu pada partikel positif memiliki kesamaan pada bentuk grafik posisi pada sumbu y berbanding waktu pada partikel negatif dan bentuk grafik posisi pada sumbu y berbanding waktu pada partikel positif memiliki kesamaan pada bentuk grafik pada sumbu y berbanding waktu pada partikel negatif.
3. Pada partikel positif kecepatan meningkat yang diikuti meningkatnya massa gerak, energi gerak dan energi kinetik partikel. Sedangkan pada partikel negatif kecepatan menurun yang diikuti menurunnya massa gerak, energi gerak dan energi kinetik partikel

Tabel 4.10. Perbandingan Partikel Positif Dan Negatif Pada Persamaan Nonlinier

No	Penilaian	POSITIF	NEGATIF
1	Simulasi 3d		
2	Simulasi 2D		
3	Gerak sumbu x		

	terhadap waktu t		
4	Gerak sumbu y terhadap waktu t		
5	Gerak sumbu z terhadap waktu t		
6	Kecepatan mutlak terhadap waktu t		
7	Massa gerak terhadap waktu t		
8	Energi gerak terhadap waktu t		
9	Energi kinetik terhadap waktu t		

Dari tabel dapat dipastikan bahwa partikel positif dan negatif pada persamaan nonlinier memiliki

1. Bentuk gerak ke 3 partikel adalah spiral ke atas yang bagian atasnya semakin mengecil dengan arah putar yang berbeda. Arah putar partikel

positif searah dengan jarum jam sementara partikel negatif berlawanan arah jarum jam

2. Pola pergerakan antara partikel positif dan partikel negatif memiliki perbedaan. Perbedaan dapat dilihat dari posisi x dan y . Bentuk grafik posisi pada sumbu x berbanding waktu pada partikel positif memiliki kesamaan pada bentuk grafik posisi pada sumbu y berbanding waktu pada partikel negatif dan bentuk grafik posisi pada sumbu y berbanding waktu pada partikel positif memiliki kesamaan pada bentuk grafik pada sumbu x berbanding waktu pada partikel negatif.
3. Pada partikel positif dan partikel negatif kecepatan meningkat yang diikuti meningkatnya massa gerak, energi gerak dan energi kinetik partikel. Hal ini berbeda dengan analitiknya di mana partikel negatif dimana kecepataannya menurun yang diikuti menurunnya massa gerak, energi gerak dan energi kinetik partikel
4. Bentuk peningkatan dari grafik kecepatan untuk partikel positif dan negatif tidak linier melainkan naik turun seperti grafik sinus yang garis tengahnya mengarah ke atas

4.2.2 Pada Partikel Uji

Partikel Uji di gunakan sebagai sarana uji coba pemrograman pada partikel dengan keadaan nyata. Pada partikel uji akan di pisahkan partikel proton dan antiproton dan partikel elektron dan anti elektron.

A. Pada Partikel Proton

Partikel proton di sesuaikan dengan *input* sesuai dengan BAB 3 pada tabel 3.3 untuk bagian masukan dan pemilihan metode di lampirkan di lampiran 16. Hasil masukan di dapati kesesuaian bentuk antara metode analitis dan komputasinya pada Tabel 4.11 untuk bentuk gambar dapat di lihat pada lampiran 17.

Tabel 4.11. Hasil Kesesuaian Analitis Dan Komputasi Pada Partikel Proton

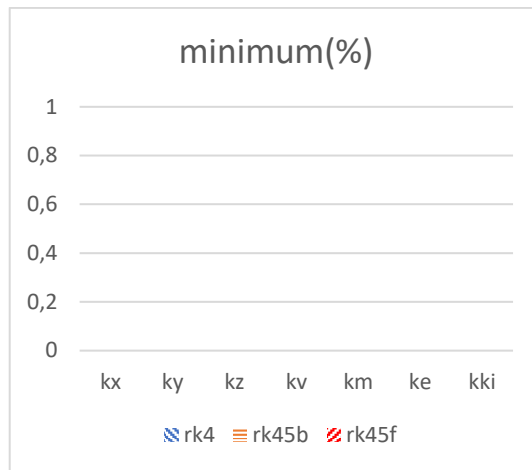
No	Penilaian	Proton		
		RK4	RK45B	RK45F
1	Simulasi 3d	v	v	v
2	Simulasi 2D	v	v	v
3	Gerak sumbu x terhadap waktu t	v	v	v
4	Gerak sumbu y terhadap waktu t	v	v	v
5	Gerak sumbu z terhadap waktu t	v	v	v
6	Kecepatan mutlak terhadap waktu t	x	v	v
7	Massa gerak terhadap waktu t	x	v	v
8	Energi gerak terhadap waktu t	x	v	v
9	Energi kinetik terhadap waktu t	x	v	v

Dari tabel 4.11 partikel proton pada persamaan linier di dapati adanya bentuk yang berbeda antara metode analitik dan numeriknya pada RK45F pada saat di uji di kecepatan yang mengakibatkan perubahan nilai massa gerak, energi gerak dan energi kinetiknya terhadap waktu. sehingga dua metode lain di tinjau dari bentuk yang di hasilkan dapat di terima. Untuk melihat sejauh mana perbedaan posisi antara analitik dan numerik ditinjau dengan Persentase kesalahan minimum persentase kesalahan maksimum dan rata-rata persentase kesalahan yang dapat di lihat pada tabel 4.12 untuk bentuk gambar dapat di lihat pada lampiran 18.

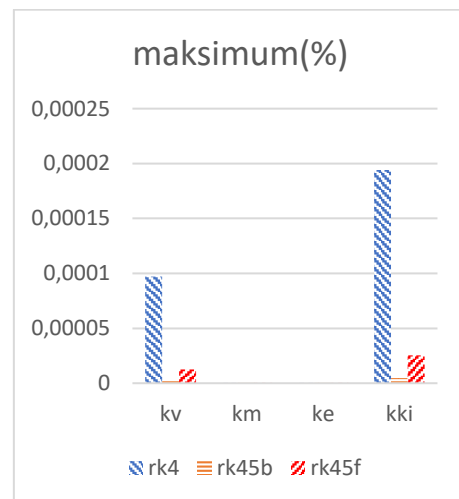
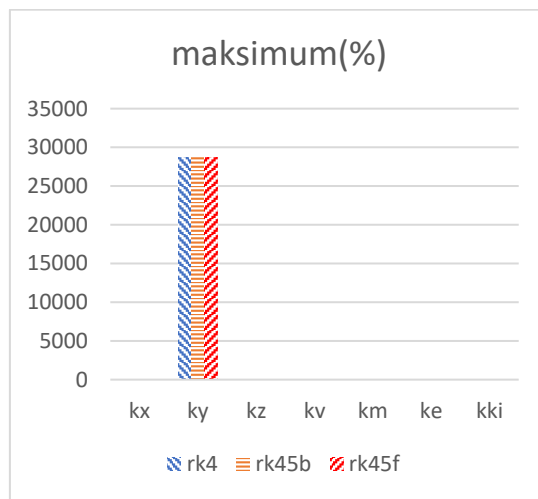
Tabel 4.12. Kesalahan Pada Partikel Proton

Posisi	kesalahan n	Metode Komputasi		
		RK4 (%)	RK45B (%)	RK45F (%)
MIN	kx	0	0	0
	ky	0	0	0
	kz	0	0	0
	kv	0	0	0
	km	0	0	0
	ke	0	0	0
	Kki	0	0	0
MAX	Kx	0,001408236	4,46982E-06	2,3439E-05
	ky	28703,89484	28699,51028	28699,54065
	kz	1,69539E-13	1,57975E-13	1,66951E-13
	kv	9,70278E-05	2,4022E-06	1,26718E-05
	km	9,5808E-08	2,37202E-09	1,25125E-08
	ke	9,5808E-08	2,37202E-09	1,25125E-08
	kki	0,000194199	4,80799E-06	2,53624E-05
MAE N	kx	0,000417338	8,5675E-07	4,47453E-06
	ky	76,72288317	76,71156075	76,71162212
	kz	9,67705E-14	9,49902E-14	9,26602E-14
	kv	4,85139E-05	1,2011E-06	6,33592E-06
	km	4,7904E-08	1,186E-09	6,25626E-09
	ke	4,7904E-08	1,186E-09	6,25626E-09
	kki	9,70997E-05	2,40398E-06	1,26812E-05

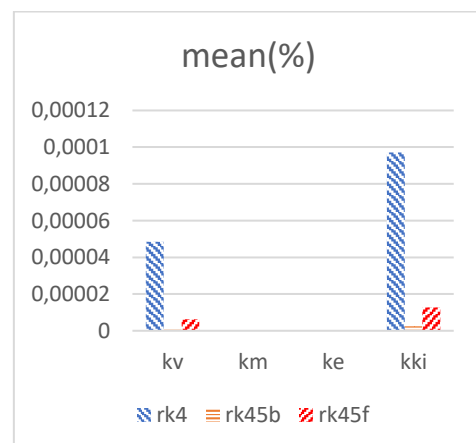
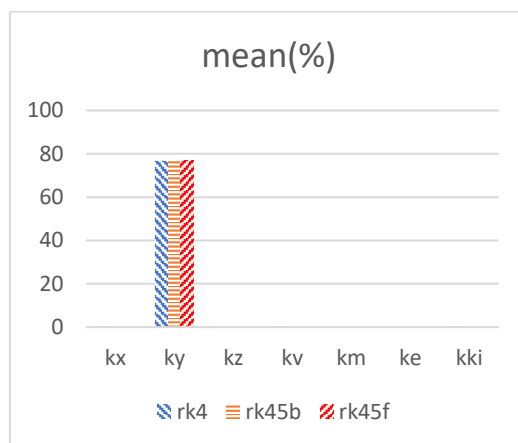
Secara sepintas kita dapat menyimpulkan semua hasil tabel memiliki persentase kesalahan yang rendah kecuali di kesalahan pada sumbu y (ky) sehingga di buatlah grafik untuk mempermudah melihat dan memahami tinggi rendahnya presentasi kesalahan dapat dilihat pada gambar 4.13



a



b



C

Gambar 4.16. Gambar Grafik Persentase Kesalahan Partikel Proton

(a) Kesalahan min (b) Kesalahan max (c) Kesalahan rata rata

Dari tabel dan grafik dapat di simpulkan bahwa

1. Persentase kesalahan pada kesalahan minimum antara 3 metode adalah sama.
2. Persentase kesalahan pada kesalahan maksimum antara 3 metode Runge-Kutta dari yang terkecil hingga yang terbesar adalah RK45B, RK45F dan RK4 namun ke3 metode ini memiliki persentase kesalahan yang kecil kecuali pada persentase kesalahan di sumbu y.
3. Persentase kesalahan pada kesalahan rata-rata antara 3 metode Runge-Kutta dari yang terkecil hingga yang terbesar adalah RK45B, RK45F dan RK4 persentase kesalahan yang kecil kecuali pada persentase kesalahan di Y

Dari melihat bentuk persentase kesalahan dari kesesuaian analitik dan komputasi di dapati bahwa metode Runge-Kutta terbaik yang di gunakan adalah RK45B

B. Pada Partikel Antiproton

Partikel antiproton di sesuaikan dengan *input* sesuai dengan BAB 3 pada tabel 3.3 untuk bagian masukan dan pemilihan metode di lampirkan di lampiran 19. Hasil masukan di dapati kesesuaian bentuk antara metode analitis dan komputasinya pada tabel 4.13 untuk bentuk gambar dapat di lihat pada lampiran 20. Hasil Kesesuaian Analitis Dan Komputasi Pada Partikel Antiproton.

Tabel 4.13. Hasil Kesesuaian Analitis Dan Komputasi Pada Partikel Antiproton

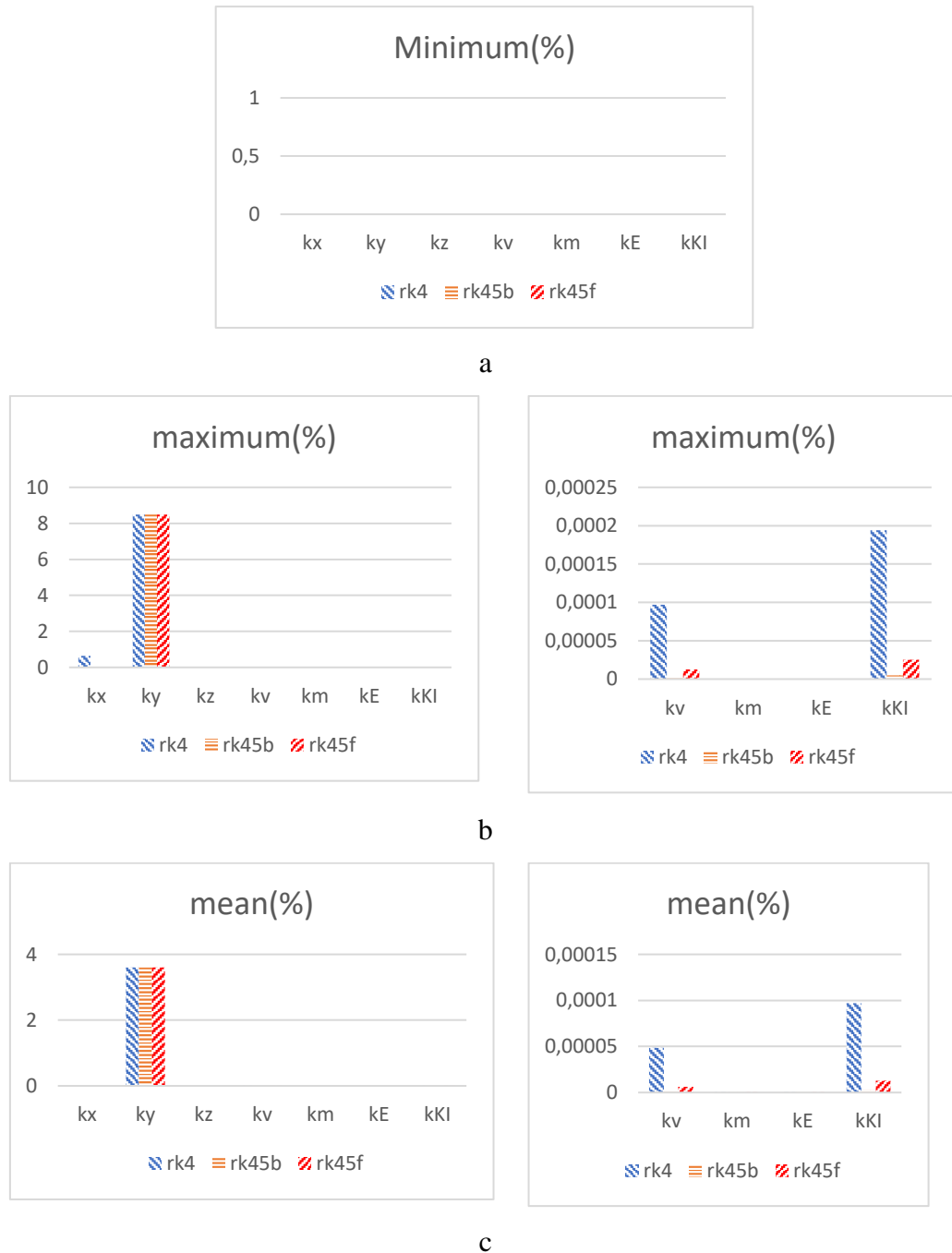
No	Penilaian	Antiproton		
		RK4	RK45B	RK45F
1	Simulasi 3D	v	v	v
2	Simulasi 2D	v	v	v
3	Gerak sumbu x terhadap waktu t	v	v	V
4	Gerak sumbu y terhadap waktu t	v	v	V
5	Gerak sumbu z terhadap waktu t	v	v	V
6	Kecepatan mutlak terhadap waktu t	v	v	v
7	Massa gerak terhadap waktu t	v	v	v
8	Energi gerak terhadap waktu t	v	v	v
9	Energi kinetik terhadap waktu t	v	v	v

Dari tabel 4.13 partikel positif pada persamaan linier di dapat tidak adanya bentuk yang berbeda antara metode analitik dan numeriknya sehingga ketiga metode tersebut jika di tinjau dari bentuk yang di hasilkan dapat di terima. Untuk melihat sejauh mana perbedaan posisi antara analitik dan numerik ditinjau dengan Persentase kesalahan minimum persentase kesalahan maksimum dan rata- rata persentase kesalahan yang dapat di lihat pada tabel 4.14 untuk bentuk gambar dapat di lihat pada lampiran 21.

Tabel 4.14. Kesalahan Pada Partikel Antiproton

posisi	Kesalahan	METODE KOMPUTASI		
		RK4(%)	RK45B(%)	RK45F(%)
MIN	kx	0	0	0
	ky	0	0	0
	kz	0	0	0
	kv	0	0	0
	km	0	0	0
	kE	0	0	0
	kKI	0	0	0
MAX	kx	0,640046121	0,000679055	0,00288422
	ky	8,481369038	8,481528729	8,481549564
	kz	1,23404E-13	1,23404E-13	1,23404E-13
	kv	9,70279E-05	2,40221E-06	1,26718E-05
	km	9,58079E-08	2,372E-09	1,25125E-08
	kE	9,58079E-08	2,37202E-09	1,25125E-08
	kKI	0,0001942	4,808E-06	2,53625E-05
MEAN	kx	0,005205342	4,87668E-06	2,48325E-05
	ky	3,607452489	3,607736509	3,607740154
	kz	4,82583E-14	4,82583E-14	4,32784E-14
	kv	4,8514E-05	1,2011E-06	6,33592E-06
	km	4,7904E-08	1,186E-09	6,25626E-09
	kE	4,7904E-08	1,186E-09	6,25626E-09
	kKI	9,70998E-05	2,40398E-06	1,26812E-05

Secara sepintas kita dapat menyimpulkan semua hasil tabel memiliki persentase kesalahan yang rendah sehingga di buatlah grafik untuk mempermudah melihat dan memahami tinggi rendahnya presentasi kesalahan dapat dilihat pada gambar 4.14



Gambar 4.17. Gambar grafik persentase kesalahan partikel antiproton

(a) Kesalahan minimum (b) Kesalahan maksimum (c) Kesalahan rata rata

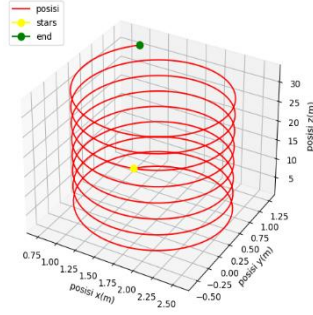
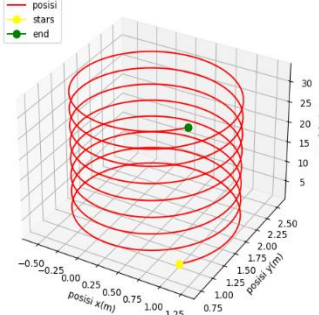
Dari tabel dan grafik dapat di simpulkan bahwa

1. Persentase kesalahan pada kesalahan minimum antara 3 metode adalah sama,
2. Persentase kesalahan pada kesalahan maksimum antara 3 metode Runge-Kutta dari yang terkecil hingga yang terbesar adalah RK45B, RK45F dan RK4 namun ke3 metode ini memiliki persentase kesalahan yang kecil
3. Persentase kesalahan pada kesalahan rata-rata antara 3 metode Runge-Kutta dari yang terkecil hingga yang terbesar adalah RK45B, RK45F dan RK4 persentase kesalahan yang kecil

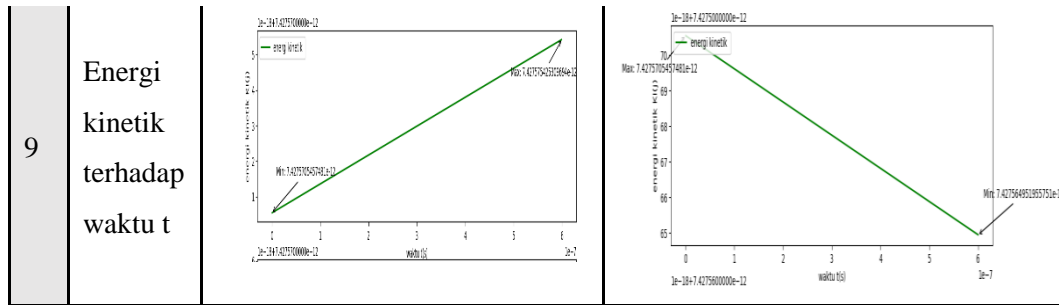
Dari melihat bentuk persentase kesalahan dari kesesuaian analitik dan komputasi di dapati bahwa metode Runge-Kutta terbaik yang di gunakan adalah RK45B

Setelah di dapati metode komputasi terbaik kedua partikel proton dan partikel antiproton akan di bandingkan sesuai pembahasan BAB 3 pada tabel 3.5 untuk membandingkan sifat partikel ketika di persamaan linier dan di persamaan non linier yang dapat di lihat pada tabel 4.15 untuk persamaan linier dan tabel 4.16 untuk persamaan non linier. Untuk melihat nilai yang terkandung dapat dilihat pada lampiran 22 untuk persamaan linier dan lampiran 23 untuk persamaan non linier

Tabel 4.15. Perbandingan Partikel Proton Dan Antiproton Pada Persamaan Linier

No	Penilaian	PARTIKEL	
		PROTON	ANTIPROTON
1	Simulasi 3D		

2	Simulasi 2D		
3	Gerak sumbu x terhadap waktu t		
4	Gerak sumbu y terhadap waktu t		
5	Gerak sumbu z terhadap waktu t		
6	Kecepatan mutlak terhadap waktu t		
7	Massa gerak terhadap waktu t		
8	Energi gerak terhadap waktu t		



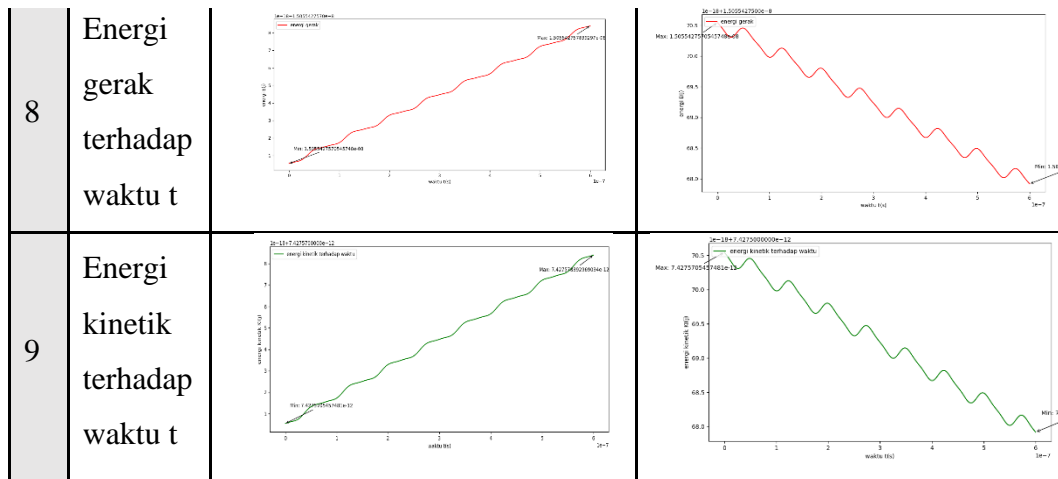
Dari tabel dapat di pastikan bahwa partikel proton dan antiproton pada persamaan linier memiliki

1. Bentuk gerak ke 3 partikel adalah spiral dengan memiliki putaran sebanyak 8 yang berputar ke atas dengan arah putar yang berbeda. Arah putar partikel positif searah dengan jarum jam sementara partikel negatif berlawanan arah jarum jam
2. Pola pergerakan antara partikel proton dan partikel antiproton memiliki perbedaan. Perbedaan dapat dilihat dari posisi x dan y. Bentuk grafik posisi pada sumbu x berbanding waktu pada partikel proton memiliki kesamaan pada bentuk grafik posisi pada sumbu y berbanding waktu pada partikel antiproton dan bentuk grafik posisi pada sumbu y berbanding waktu pada partikel proton memiliki kesamaan pada bentuk grafik pada sumbu y berbanding waktu pada partikel antiproton.
3. Pada partikel proton, kecepatan meningkat yang diikuti meningkatnya massa gerak, energi gerak dan energi kinetik partikel. Sedangkan pada partikel antiproton kecepatan menurun yang diikuti menurunnya massa gerak, energi gerak dan energi kinetik partikel

Tabel 4.16. Perbandingan Partikel Proton Dan Antiproton Pada Persamaan Linier

No	Penilaian	PROTON	ANTIPROTON
----	-----------	--------	------------

1	Simulasi 3d		
2	Simulasi 2D		
3	Gerak sumbu x terhadap waktu t		
4	Gerak sumbu y terhadap waktu t		
5	Gerak sumbu z terhadap waktu t		
6	Kecepatan mutlak terhadap waktu t		
7	Massa gerak terhadap waktu t		



Dari tabel dapat dipastikan bahwa partikel proton dan antiproton pada persamaan non linier memiliki

1. Bentuk gerak ke 3 partikel adalah spiral ke atas yang bagian atasnya semakin mengecil dengan arah putar yang berbeda. Arah putar partikel positif searah dengan jarum jam sementara partikel negatif berlawanan arah jarum jam
2. Pola pergerakan antara partikel positif dan partikel negatif memiliki perbedaan. Perbedaan dapat dilihat dari posisi x dan y. Bentuk grafik posisi pada sumbu x berbanding waktu pada partikel positif memiliki kesamaan pada bentuk grafik posisi pada sumbu y berbanding waktu pada partikel negatif dan bentuk grafik posisi pada sumbu y berbanding waktu pada partikel positif memiliki kesamaan pada bentuk grafik pada sumbu y berbanding waktu pada partikel negatif.
3. Bentuk gerak seperti bentuk persamaan linier
4. Pada partikel proton, kecepatan meningkat yang diikuti meningkatnya massa gerak, energi gerak dan energi kinetik partikel. Sedangkan pada partikel antiproton kecepatan menurun yang diikuti menurunnya massa gerak, energi gerak dan energi kinetik partikel
5. Bentuk peningkatan dari grafik kecepatan untuk partikel positif dan negatif tidak linier melainkan naik turun seperti grafik sinus yang garis tengahnya mengarah ke atas

C. Pada partikel elektron

Partikel elektron di sesuaikan dengan *input* sesuai dengan BAB 3 pada tabel 3.3 untuk bagian masukan dan pemilihan metode di lampirkan di lampiran 24. Hasil masukan di dapati kesesuaian bentuk antara metode analitis dan komputasinya pada tabel 4.17 untuk bentuk gambar dapat di lihat pada lampiran 25.

Tabel 4.17. Hasil Kesesuaian Analitis Dan Komputasi Pada Partikel Elektron

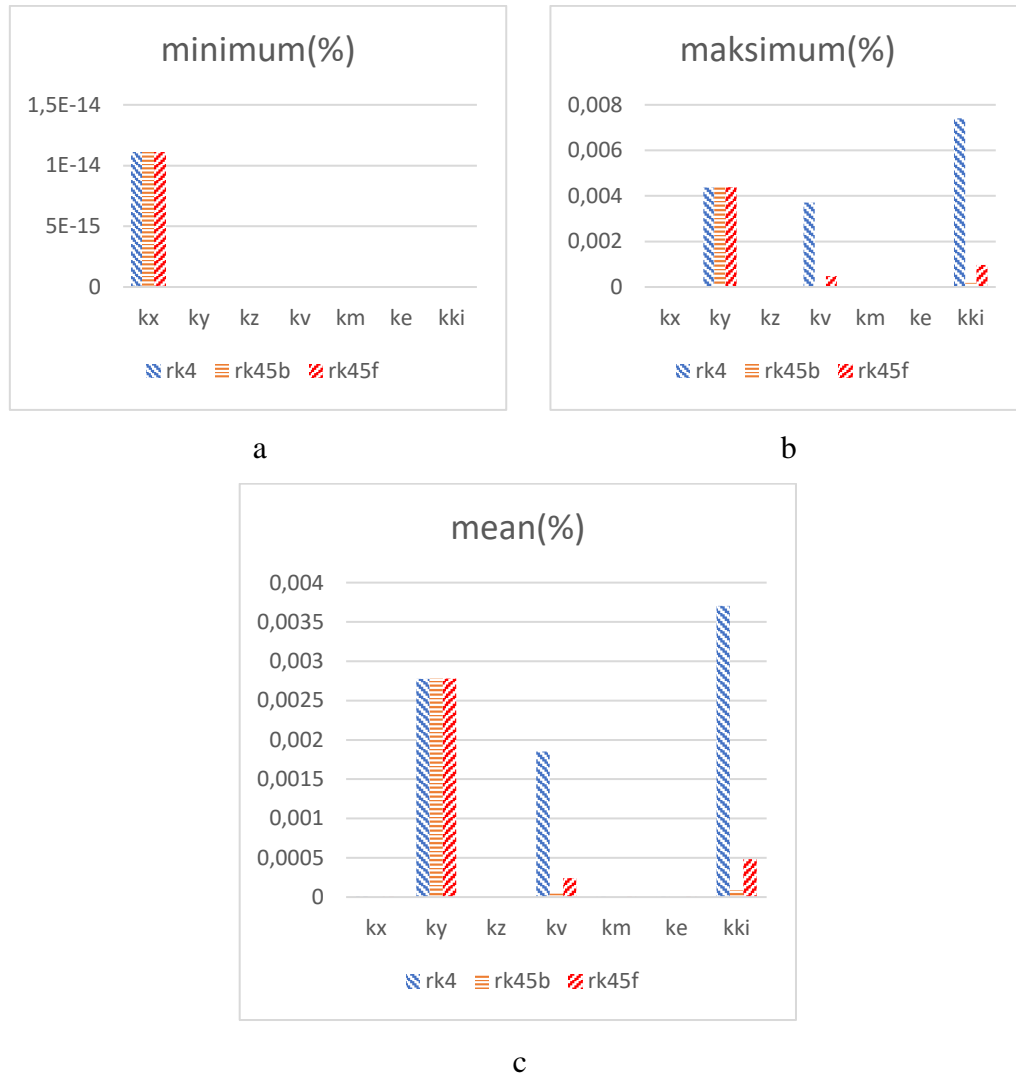
No	Penilaian	Elektron			
		Analitik	RK4	RK45B	RK45F
1	Simulasi 3D	v	v	v	v
2	Simulasi 2D	v	v	v	v
3	Gerak sumbu x terhadap waktu t	v	v	v	v
4	Gerak sumbu y terhadap waktu t	v	v	v	v
5	Gerak sumbu z terhadap waktu t	v	v	v	v
6	Kecepatan mutlak terhadap waktu t	v	v	v	x
7	Massa gerak terhadap waktu t	v	v	v	x
8	Energi gerak terhadap waktu t	v	v	v	x
9	Energi kinetik terhadap waktu t	v	v	v	x

Dari tabel 4.17 partikel elektron pada persamaan linier di dapati adanya bentuk yang berbeda antara metode analitik dan numeriknya pada RK45F pada saat di uji di kecepatan yang mengakibatkan perubahan nilai massa gerak, energi gerak dan energi kinetiknya terhadap waktu. sehingga dua metode lain di tinjau dari bentuk yang di dihasilkan dapat di terima. Untuk melihat sejauh mana perbedaan posisi antara analitik dan numerik ditinjau dengan Persentase kesalahan minimum persentase kesalahan maksimum dan rata-rata persentase kesalahan yang dapat di lihat pada tabel 4.18 untuk bentuk gambar dapat di lihat pada lampiran 26

Tabel 4.18. Kesalahan Pada Partikel Elektron

Posisi	kesalahan	Metode Komputasi		
		RK4 (%)	RK45B (%)	RK45F (%)
MIN	kx	1,11022E-14	1,11022E-14	1,11022E-14
	ky	0	0	0
	kz	0	0	0
	kv	0	0	0
	km	0	0	0
	ke	0	0	0
	kki	0	0	0
MAX	kx	2,12017E – 05	7,06504E-08	3,62035E-07
	ky	0,004374114	0,00437827	0,004378493
	kz	1,29356E-13	1,29356E-13	1,29356E-13
	kv	0,003703114	8,95599E-05	0,000482159
	km	3,65648E-06	8,84337E-08	4,76097E-07
	ke	3,65648E-06	8,84337E-08	4,76097E-07
	kki	0,007411575	0,000179252	0,000965034
MAE N	kx	2,12017E-05	7,06504E-08	3,62035E-07
	ky	0,004374114	0,00437827	0,004378493
	kz	1,29356E-13	1,29356E-13	1,29356E-13
	kv	0,003703114	8,95599E-05	0,000482159
	km	3,65648E-06	8,84337E-08	4,76097E-07
	ke	3,65648E-06	8,84337E-08	4,76097E-07
	kki	0,007411575	0,000179252	0,000965034

Secara sepintas kita dapat menyimpulkan semua hasil tabel memiliki persentase kesalahan yang rendah sehingga di buatlah grafik untuk mempermudah melihat dan memahami tinggi rendahnya presentasi kesalahan dapat dilihat pada gambar 4.18.



Gambar 4.18. Gambar Grafik Persentase Kesalahan Partikel Elektron

(a) Kesalahan min (b) Kesalahan max (c) Kesalahan rata rata.

Dari tabel dan grafik dapat di simpulkan bahwa

1. Persentase kesalahan pada kesalahan minimum antara 3 metode adalah sama,
2. Persentase kesalahan pada kesalahan maksimum antara 3 metode Runge-Kutta dari yang terkecil hingga yang terbesar adalah RK45B, RK45F dan RK4 namun ke3 metode ini memiliki persentase kesalahan yang kecil
3. Persentase kesalahan pada kesalahan rata-rata antara 3 metode Runge-Kutta dari yang terkecil hingga yang terbesar adalah RK45B, RK45F dan RK4 persentase kesalahan yang kecil

Dari melihat bentuk persentase kesalahan dari kesesuaian analitik dan komputasi di dapati bahwa metode Runge-Kutta terbaik yang di gunakan adalah RK45B

D. Pada Partikel anti elektron

Partikel anti elektron di sesuaikan dengan *input* sesuai dengan BAB 3 pada tabel 3.3 untuk bagian masukan dan pemilihan metode di lampirkan di lampiran 27. hasil masukan di dapati kesesuaian bentuk antara metode analitis dan komputasinya pada tabel 4.19 untuk bentuk gambar dapat di lihat pada lampiran 28.

Tabel 4.19. hasil kesesuaian analitis dan komputasi pada partikel anti elektron

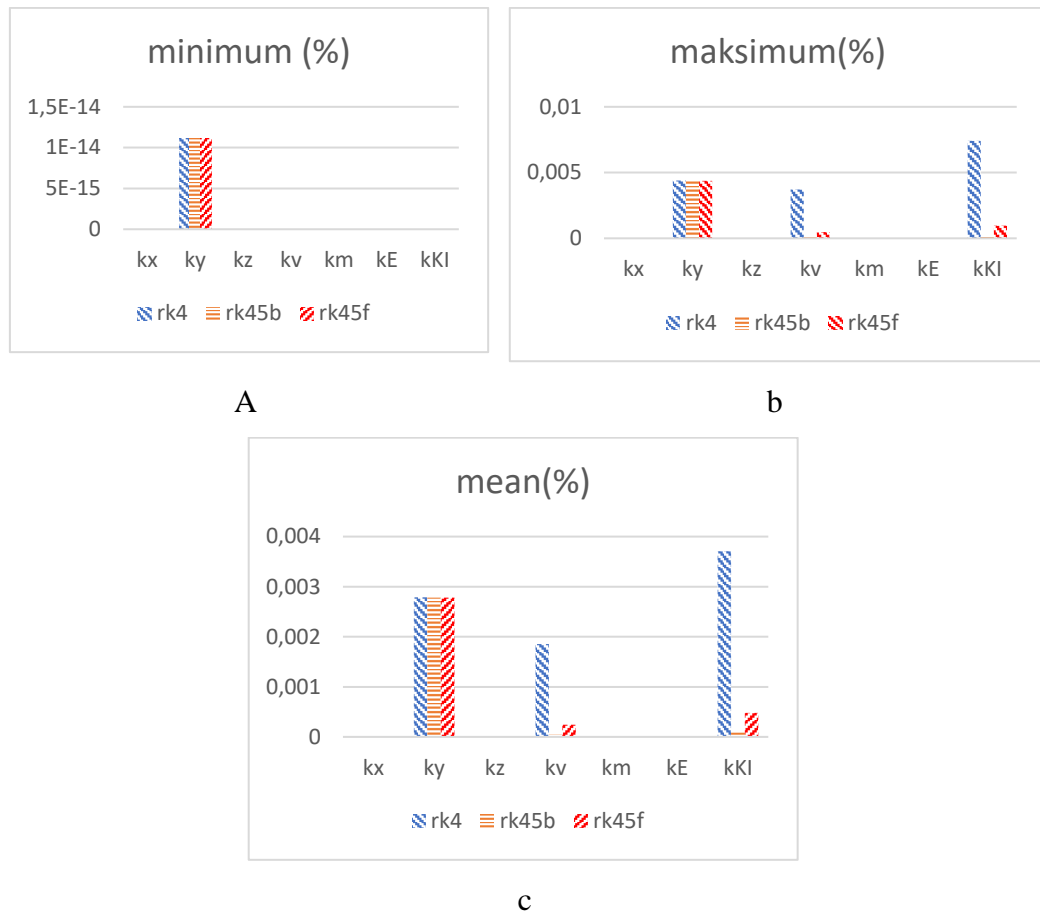
No	Penilaian	anti elektron		
		RK4	RK45B	RK45F
1	Simulasi 3D	v	v	v
2	Simulasi 2D	v	v	v
3	Gerak sumbu x terhadap waktu t	v	v	v
4	Gerak sumbu y terhadap waktu t	v	v	v
5	Gerak sumbu z terhadap waktu t	v	v	v
6	Kecepatan mutlak terhadap waktu t	x	x	v
7	Massa gerak terhadap waktu t	x	x	v
8	Energi gerak terhadap waktu t	x	x	v
9	Energi kinetik terhadap waktu t	x	x	v

Dari tabel partikel anti elektron pada persamaan linier di dapati adanya bentuk yang berbeda antara metode analitik dan numeriknya yaitu pada RK4 dan RK45 B sehingga hanya metode RK45F jika di tinjau dari bentuk yang di hasilkan dapat di terima. Untuk melihat sejauh mana perbedaan posisi antara analitik dan numerik ditinjau dengan Persentase kesalahan minimum persentase kesalahan maksimum dan rata- rata persentase kesalahan yang dapat di lihat pada tabel 4.20 untuk bentuk gambar dapat di lihat pada lampiran 29.

Tabel 4.20. Kesalahan Pada Partikel Anti elektron

Posisi	Kesalahan	Metode Komputasi		
		RK4(%)	RK45B(%)	RK45f(%)
Min	Kx	0	0	0
	Ky	1,11022e-14	1,11022e-14	1,11022e-14
	Kz	0	0	0
	Kv	0	0	0
	Km	0	0	0
	Ke	0	0	0
	Kki	0	0	0
Max	Kx	2,15278e-05	6,92556e-08	3,556e-07
	Ky	0,004392884	0,004381331	0,004381634
	Kz	1,07791e-13	1,07791e-13	1,07791e-13
	Kv	0,003703105	8,95596e-05	0,000482157
	Km	3,65648e-06	8,84337e-08	4,76097e-07
	Ke	3,65648e-06	8,84337e-08	4,76097e-07
	Kki	0,007411556	0,000179252	0,000965031
Mean	Kx	6,93115e-06	2,24342e-08	1,14979e-07
	Ky	0,002787454	0,002783284	0,002783396
	Kz	3,29441e-14	3,29441e-14	3,29441e-14
	Kv	0,001851576	4,47798e-05	0,000241079
	Km	1,82828e-06	4,42169e-08	2,38048e-07
	Ke	1,82828e-06	4,42169e-08	2,38048e-07
	Kki	0,003705848	8,9626e-05	0,000482515

Secara sepintas kita dapat menyimpulkan semua hasil tabel memiliki persentase kesalahan yang rendah sehingga di buatlah grafik untuk mempermudah melihat dan memahami tinggi rendahnya presentasi kesalahan dapat dilihat pada gambar 4.19



Gambar 4.19. gambar grafik persentase kesalahan partikel antielektron

(a) Kesalahan minimum (b) Kesalahan maksimum (c) Kesalahan rata rata

Dari tabel dan grafik dapat di simpulkan bahwa

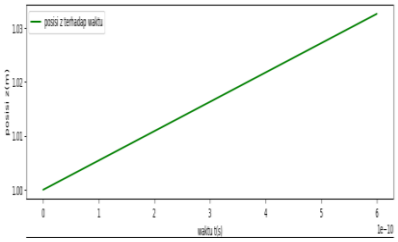
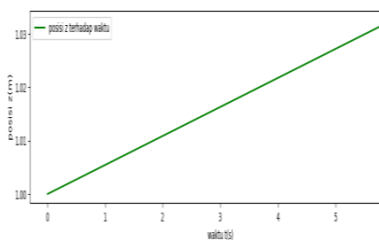
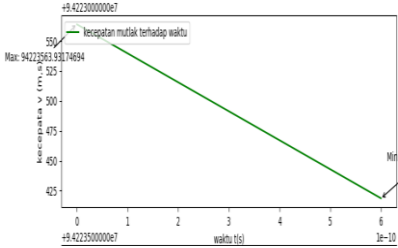
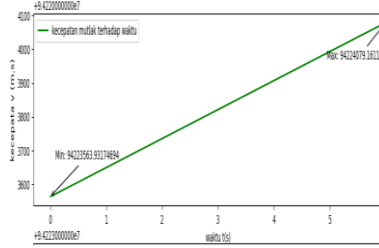
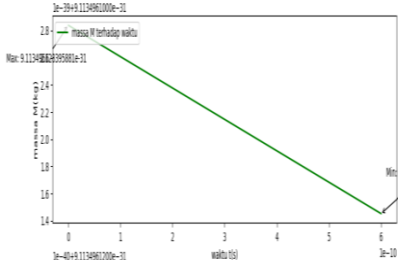
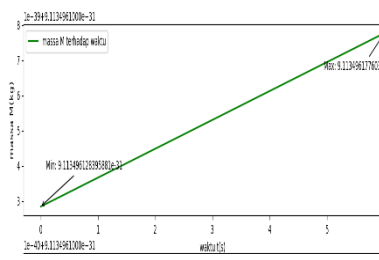
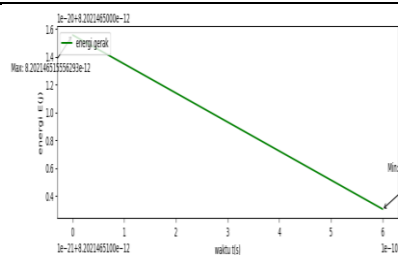
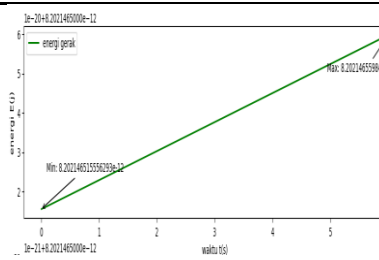
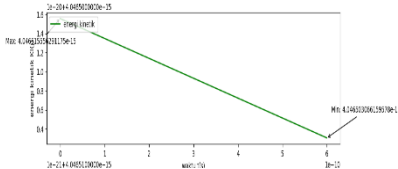
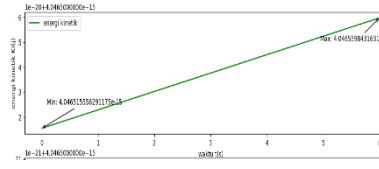
1. Persentase kesalahan pada kesalahan minimum antara 3 metode adalah sama,
2. Persentase kesalahan pada kesalahan maksimum antara 3 metode Runge-Kutta dari yang terkecil hingga yang terbesar adalah RK45B, RK45F dan RK4 namun ke3 metode ini memiliki persentase kesalahan yang kecil
3. Persentase kesalahan pada kesalahan rata-rata antara 3 metode Runge-Kutta dari yang terkecil hingga yang terbesar adalah RK45B, RK45F dan RK4 persentase kesalahan yang kecil

Dari melihat bentuk persentase kesalahan dari kesesuaian analitik dan komputasi di dapati bahwa metode Runge-Kutta terbaik yang di gunakan adalah RK45F

Setelah di dapat metode komputasi terbaik kedua partikel elektron dan partikel anti elektron akan di bandingkan sesuai pembahasan BAB 3 pada tabel 3.5 untuk membandingkan sifat partikel ketika di persamaan linier dan di persamaan non linier yang dapat di lihat pada tabel 4.21 untuk persamaan linier dan tabel 4.21 untuk persamaan non linier. Untuk melihat nilai yang terkandung dapat dilihat pada lampiran 30 untuk persamaan linier dan lampiran 31 untuk persamaan non linier

Tabel 4.21. Perbandingan Partikel Proton Dan Antiproton Pada Persamaan Linier

No	Penilaian	ELEKTRON	ANTIELEKTRON
1	Simulasi 3d		
2	Simulasi 2D		
3	Gerak sumbu x terhadap waktu t		
4	Gerak sumbu y terhadap waktu t		

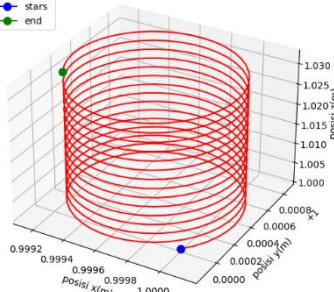
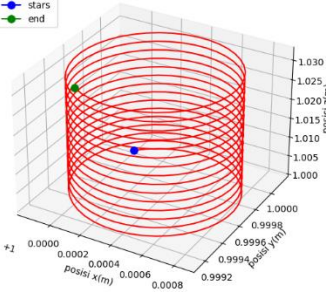
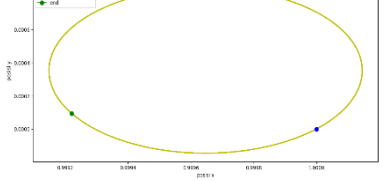
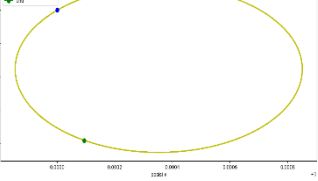
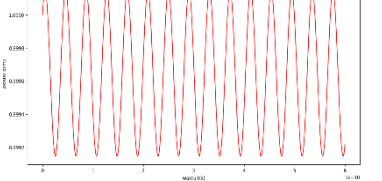
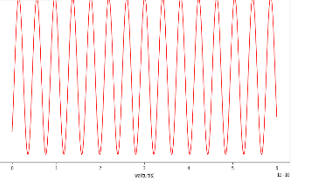
5	Gerak sumbu z terhadap waktu t		
6	Kecepatan mutlak terhadap waktu t		
7	Massa gerak terhadap waktu t		
8	Energi gerak terhadap waktu t		
9	Energi kinetik terhadap waktu t		

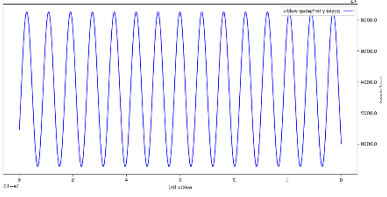
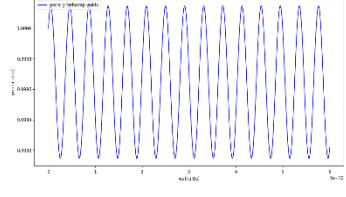
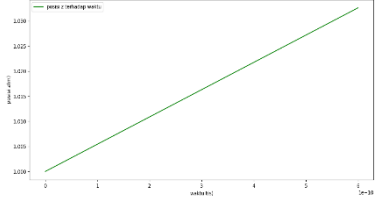
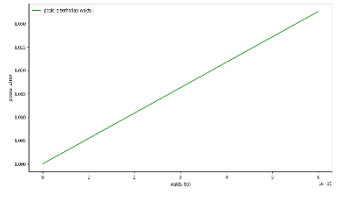
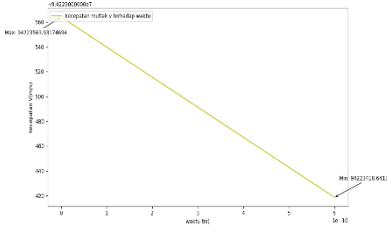
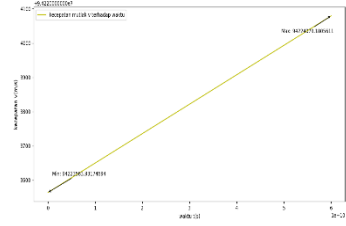
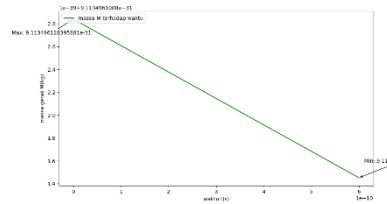
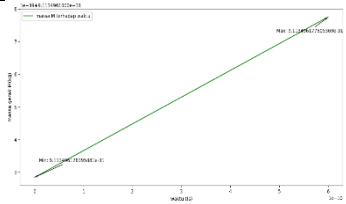
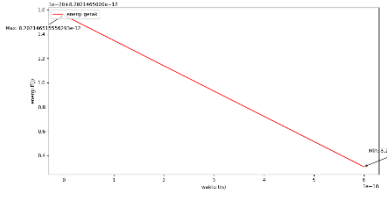
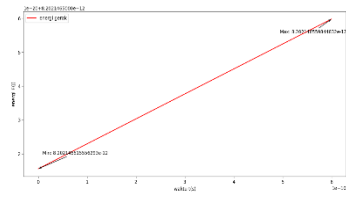
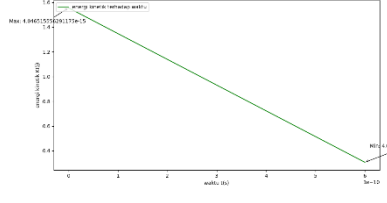
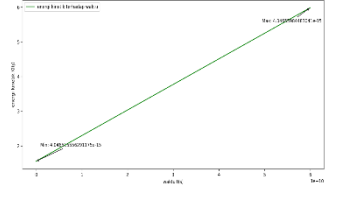
Dari tabel dapat di pastikan bahwa partikel elektron dan anti elektron pada persamaan linier memiliki

1. Bentuk gerak ke 3 partikel adalah spiral dengan memiliki putaran sebanyak 15 yang ke atas dengan arah putar yang berbeda. Arah putar partikel elektron berlawanan dengan arah jarum jam sementara partikel anti elektron searah jarum jam

2. Pola pergerakan antara partikel elektron dan partikel anti elektron memiliki perbedaan. Perbedaan dapat dilihat dari posisi x dan y. Bentuk grafik posisi pada sumbu x berbanding waktu pada partikel elektron memiliki kesamaan pada bentuk grafik posisi pada sumbu y berbanding waktu pada partikel anti elektron dan bentuk grafik posisi pada sumbu y berbanding waktu pada partikel elektron memiliki kesamaan pada bentuk grafik pada sumbu y berbanding waktu pada partikel anti elektron.
3. Pada partikel elektron, kecepatan menurun yang diikuti menurunnya massa gerak, energi gerak dan energi kinetik partikel. Sedangkan pada partikel anti elektron kecepatan menurun yang diikuti menurunnya massa gerak, energi gerak dan energi kinetik partikel

Tabel 4.22. Perbandingan partikel elektron dan anti elektron pada persamaan linier

No	Penilaian	ELEKTRON	ANTIELEKTRON
1	Simulasi 3D		
2	Simulasi 2D		
3	Gerak sumbu x terhadap waktu t		

4	Gerak sumbu y terhadap waktu t		
5	Gerak sumbu z terhadap waktu t		
6	Kecepatan mutlak terhadap waktu t		
7	Massa gerak terhadap waktu t		
8	Energi gerak terhadap waktu t		
9	Energi kinetik terhadap waktu t		

Dari tabel dapat di pastikan bahwa partikel elektron dan anti elektron pada persamaan non linier memiliki

1. Bentuk gerak ke 3 partikel adalah spiral dengan memiliki putaran sebanyak 15 yang ke atas dengan arah putar yang berbeda. Arah putar partikel elektron berlawanan dengan arah jarum jam sementara partikel anti elektron searah jarum jam

2. Pola pergerakan antara partikel elektron dan partikel anti elektron memiliki perbedaan. Perbedaan dapat dilihat dari posisi x dan y . Bentuk grafik posisi pada sumbu x berbanding waktu pada partikel elektron memiliki kesamaan pada bentuk grafik posisi pada sumbu y berbanding waktu pada partikel anti elektron dan bentuk grafik posisi pada sumbu y berbanding waktu pada partikel elektron memiliki kesamaan pada bentuk grafik pada sumbu y berbanding waktu pada partikel anti elektron.
3. Pada partikel elektron, kecepatan menurun yang diikuti menurunnya nyai massa gerak, energi gerak dan energi kinetik partikel. Sedangkan pada partikel anti elektron kecepatan menurun yang diikuti menurunnya massa gerak, energi gerak dan energi kinetik partikel
4. Bentuk simulasi tidak terlihat perbedaan dengan persamaan linier

4.3.Pembahasan Keseluruhan hasil yang di dapati

Secara keseluruhan hasil yang di dapati berupa:

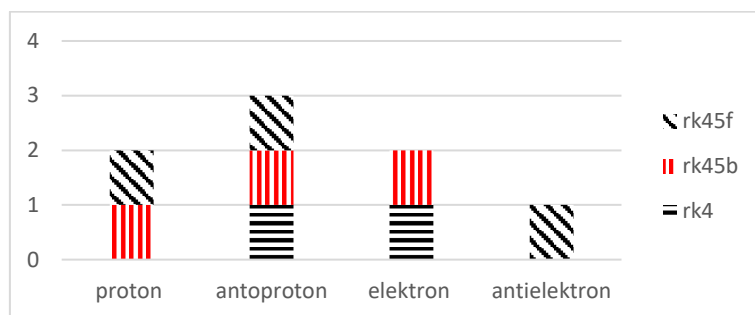
- 1) Variabel waktu akhir sangat mempengaruhi banyaknya pengulangan yang dilakukan

Pada *input* simulasi, variabel waktu akhir sangat mempengaruhi banyaknya pengulangan yang dilakukan sehingga untuk membuat step tetap. Waktu antara partikel uji coba, partikel proton dan antiproton serta partikel elektron dan anti elektron berbeda. Ketika waktu di sesuaikan dengan partikel uji coba partikel proton dan partikel elektron memiliki kesalahan yang jauh dengan metode analitisnya sedangkan ketika waktu di sesuaikan dengan partikel elektron dan anti elektron partikel uji dan partikel proton belum mencapai 1 putaran dan sulit untuk melihat perubahannya.

- 2) Tidak semua metode menghasilkan hasil simulasi yang di harapkan

Pada simulasi dengan partikel uji di persamaan analitik semua metode mampu menyelesaikan permasalahan dengan baik namun pada partikel di persamaan analitik semua metode tidak mampu menyelesaikan permasalahan

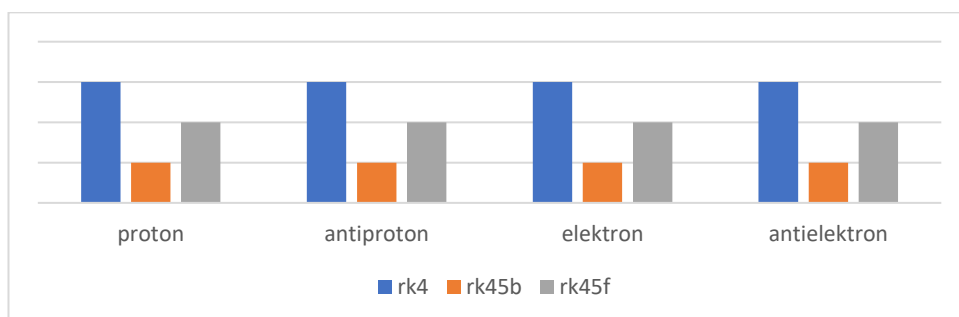
dengan baik hal ini dapat di lihat pada gambar 20 di mana penyelesaian simulasi pada proton hanya dapat di selesaikan dengan RK45B dan RK45F, antiproton dengan semua metode, elektron dengan RK4 dan RK45B dan pada anti elektron RK45F.



Gambar 4.20. kemampuan metode menunjukkan hasil simulasi

3) Urutan persentase kesalahan terkecil

Urutan persentase kesalahan pada setiap metodenya seperti gambar 4.20

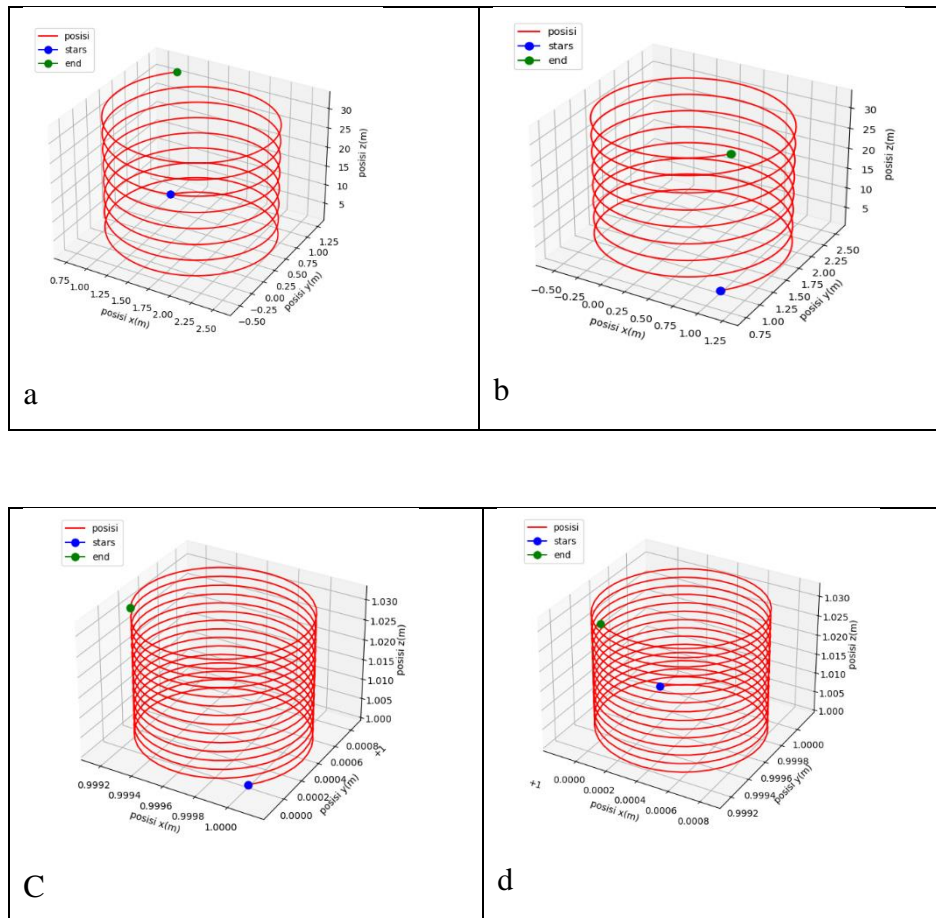


Gambar 4.21. Kemampuan Metode Dengan Kesalahan Terendah Ke Tertinggi

Dari gambar di atas di dapat bahwa persentase kesalahan terkecil yaitu RK45B, RK45F dan RK4. Di mana perbedaan RK45B, RK45F dan RK4 adalah pada nilai prediksi kemiringan (k_1 - k_6) yang mana nilai kemiringan ini digunakan sebagai langkah perantara dalam perhitungan solusi perkiraan persamaan diferensial.

4) Hasil simulasi

Hasil simulasi dapat di lihat pada 4.2 atau ringkasnya dapat di lihat pada gambar 4.22.



Gambar 4.22. Gambar hasil simulasi dalam 3D pada persamaan linier

(a) proton, (b) antiproton (c) elektron (d) antielektron

Dari hasil simulasi di pada persamaan linier pada partikel uji coba dan partikel uji. Simulasi yang menggunakan variabel waktu berbeda namun berbedanya besar diameter tidak di pengaruhi oleh waktu melainkan sangat di pengaruhi oleh massa partikel di mana semangkin besar massa partikel maka semangkin besar diameternya variabel waktu mempengaruhi banyak putaran yang di alami partikel semangkin besar waktu maka semangkin banyak putaran yang di alami. Muatan partikel mempengaruhi arah gerakanya Partikel positif akan bergerak searah jarum jam dan partikel negatif berlawanan jarum jam

Dari hasil simulasi di pada persamaan non linier waktu juga sangat mempengaruhi diameter dari gerak melingkar partikel hal ini dapat di lihat dari persamaan non linier pada partikel uji coba. Namun pada partikel uji hal ini tidak berlaku karena waktu yang di gunakan sangat kecil

4.4. Pembahasan Konteks Yang Berkaitan

Hasil penelitian ini juga menyinggung beberapa hal yang berkaitan. Hal yang berkaitan tersebut seperti:

1). Simulasi pada neutron dan anti-neutron tidak bisa di laksanakan

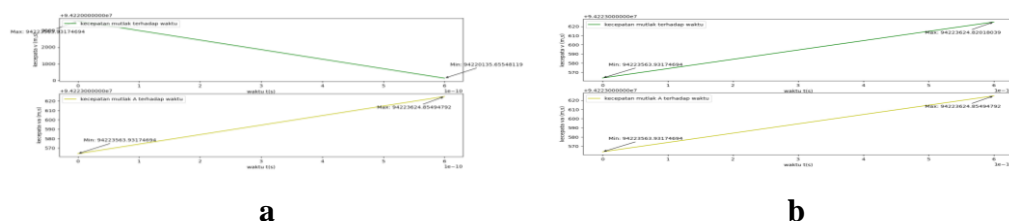
Secara teoritis hasil simulasi pada neutron tidak akan dapat dilakukan di karenakan muatan pada neutron dan anti neutron = 0. Secara praktek juga tidak dapat di buktikan yang di dukung hal ini dapat di lihat dari console pada IDE spider yang menampilkan pemberitahuan seperti pada gambar 4.23 yang mengartikan terjadi pembagian dengan nol yang mungkin berkaitan pada persamaan di BAB 3

```
Exception in Tkinter callback
Traceback (most recent call last):
  File "C:\Users\dian wardana\anaconda3\lib\tkinter\_init_.py", line 1892, in _call_
    return self.func(*args)
  File "D:\aplikasiku\DIANWARDANA\projek dian wardana x6.py", line 1864, in rk4
    ya=(vx0/(k*B0))*np.cos(k*B0*t)+(vy0/k)*np.sin(k*B0*t)+y0-(vx0/(k*B0))
ZeroDivisionError: float division by zero
```

Gambar 4.23. Pemberitahuan *exception in tkinter callback* pada IDE Spyder

1) Pemecahan masalah simulasi pada Runge-Kutta sangat bergantung step atau pengulangan

Pemecahan masalah simulasi pada Runge-Kutta sangat bergantung step atau pengulangan hal ini dapat di lihat pada gambar 4.24 dengan mencontohkan antielektron pada RK4 dengan 600 step dan 6000 step di mana dengan meninggikan step pengulangan akan menghasilkan hasil yang sangat mendekati dengan hasil analitisnya namun memiliki kelemahan di semangkin lama waktu yang di perlukan, semangkin besar memori yang di gunakan serta semangkin besar daya alat yang di gunakan. Jika menggunakan *device* yang rendah gejala sistem *crash* mungkin terjadi



Gambar 4.24. Simulasi antielektron pada RK4

(a) Dengan 600 step (b) dengan 6000 step

2). Gerak partikel di medan elektromagnetik belum menjawab gerak partikel di pemercepat partikel

Gerak partikel di medan elektromagnetik belum menjawab gerak partikel di pemercepat partikel. Hal ini disebabkan pemercepat partikel bukan hanya menggunakan 1 atau 2 medan elektromagnetik tapi menggunakan beberapa medan elektromagnetik yang di sesuaikan bentuk dan besarnya sehingga partikel bisa di arahkan sesuai dengan arah yang diinginkan. Hal ini juga disertai dengan belum tersimulasikannya radiasi dari pemercepat partikel yang di gunakan di beberapa bidang

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulannya

Program ini di buat dengan bahasa pemrograman Python dengan bantuan dengan *library* Tkinter, NumPy dan Matplotlib yang di sediakan pada IDE Spyder pada aplikasi Anaconda yang menghasilkan GUI

GUI yang di hasilkan program di desain dengan sedemikian rupa sehingga mudah untuk di gunakan dan mampu dengan mudah menghasilkan keluaran yang dapat di bandingkan. GUI pada *input* menampilkan *entry* yang menjadi tempat untuk mengisi nilai masukan. Masukan ini dapat di simpan untuk keperluan mendatang serta dapat menyesuaikan persamaan yang tercipta (persamaan linier atau non linier)

GUI pada proses menampilkan *button* dari 3 metode komputasi. Dalam proses, setiap metode Runge-Kutta pada program tidak ada perbedaan antara metode di persamaan linier ataupun non linier yang membedakan cuma label dan juga warna dari tombol.

GUI pada *Output* menampilkan *button* dari hasil simulasi yang diinginkan dengan hasil keluaran berupa gambar dan juga *file* *xlsx*. Pada hasil keluaran gambar di persamaan linier menampilkan hasil dari metode komputasi, hasil analitis dan persen kesalahan sedangkan pada persamaan non linier menghasilkan keluaran berupa gambar saja. Hal ini dikarenakan persamaan linier memiliki bentuk penyelesaian analitis sedangkan persamaan non linier tidak memiliki penyelesaian analitis.

Tidak semua metode komputasi Runge-Kutta dapat menampilkan simulasi yang baik dengan banyaknya pengulangan 600. Pada simulasi partikel sampel pada

persamaan linier tidak adanya masalah namun pada persamaan non linier terjadi ketimpangan yaitu pada partikel negatif yang memiliki pola yang berbeda pada persamaan liniernya.

Pada partikel uji di persamaan linier simulasi partikel proton dapat di selesaikan oleh metode RK4B dan, RK45f dengan presentasi kesalahan yang kecil di semua bagian adalah RK45B. Simulasi partikel antiproton dapat di selesaikan dengan semua metode komputasi RK yang di pakai dengan presentasi kesalahan yang terkecil di semua bagian adalah RK45B. Pada simulasi partikel elektron dapat di selesaikan oleh metode RK4 dan RK45B dengan presentasi kesalahan yang kecil di semua bagian adalah RK45B. Pada simulasi partikel anti elektron dapat di selesaikan oleh metode RK45F.

Pada persamaan linier hasil simulasi harus menggunakan variabel waktu berbeda namun berbedanya besar diameter tidak di pengaruhi oleh waktu melainkan sangat di pengaruhi oleh massa partikel di mana semangkin besar massa partikel maka semangkin besar diameternya variabel waktu mempengaruhi banyak putaran yang di alami partikel semangkin besar waktu maka semangkin banyak putaran yang di alami. Muatan partikel mempengaruhi arah gerakanya Partikel positif (partikel uji positif, proton dan anti elektron) akan bergerak searah jarum jam dengan kecepatan yang meningkat diikuti meningkatnya massa gerak energi gerak dan energi kinetik dan partikel negatif (partikel uji negatif, anti-proton dan elektron) akan bergerak berlawanan jarum jam dengan kecepatan yang menurun diikuti menurunnya massa gerak energi gerak dan energi kinetik.

Pada persamaan non linier partikel uji coba memperlihatkan perlakuan yang unik di mana diameter lintasan semangkin mengecil dan kecepatan partikel negatif meningkat di mana tidak sesuai dengan analitisnya sedangkan pada partikel uji tidak adanya perbedaan dengan analitisnya hal ini di akibatkan penambahan medan elektromagnet eksternal pada partikel uji coba menghasilkan medan yang lebih besar dari medan elektromagnetik awal sedangkan pada partikel uji besar medan elektromagnetik eksternal hampir sama besar dengan medan elektromagnetik awal.

5.2.Sarannya

Untuk penelitian kelanjutannya Metode komputasi RK bisa di ganti dengan metode Runge-Kutta yang berbeda atau dengan metode komputasi yang lain. Ubah persamaan non linier yang di gunakan menjadi bergantung pada posisi bukan waktu melainkan variabel posisi. Simulasikan dengan menyesuaikan simulasi di pemercepat asli seperti siklotron dan sinklotron

DAFTAR PUSTAKA

- Abbott,B.P.,Et Al.(2016).Observation Of Gravitational Wave From A Binary Black Hole Marger Physical Reviwe Letter 116(6),061102
- Anggraita,, P., & Mulyani, E. (2015). Penggunaan Metode Runge-Kutta (RK4) Pada Simulasi Lintasan BeRKas Proton Dalam Siklotron Pet 13 Mev. *Prosiding Pertemuan Dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator Dan Aplikasinya*, 1-8.
- Azam, M., Kusbramanto, T., & Suseno, J. E. (2007). Simulasi Gerak Partikel Bermuatan Dalam Pengaruh Medan Listrik Dan Induksi Magnet Menggunakan Matlab Versi 7.1. *BeRKala Fisika*, 99-103.
- Basuki, A. (2005). *Metode Numerik dan Algoritma Komputasi*. 259.
- Bertozzi,W.(2003). The Advent Of Electron Accelerators. *Physics Today*,56(5),26-31
- CERN. (2017). *Lhc Faq The Guide*. Swiss; CERN Press
- CERN.(2021). *CERN Accelerator*. Diambil dari [Http://Home.CERN/Science/Accelerator](http://Home.CERN/Science/Accelerator)
- CERN.(2021). *Proton Synchotron Booster (PSB)*. Diambil dari [Http://Home.CERN/Science/accelerator/Proton-Synchotron-Booster](http://Home.CERN/Science/accelerator/Proton-Synchotron-Booster)
- CERN.(2021). *Proton Synchotron*. Diambil dari [Http://Home.CERN/Science/accelerator/Proton-Synchotron](http://Home.CERN/Science/accelerator/Proton-Synchotron)
- CERN.(2021).*Super Proton Synchotron (SPS)*. Diambil dari [Http://Home.CERN/Science/accelerator/Super-Proton-Syncotron](http://Home.CERN/Science/accelerator/Super-Proton-Syncotron)
- CERN.(2021).*The Electroweak Force*. Diambil dari [Http://Home.CERN/Science/Physics/Electroweak-Force](http://Home.CERN/Science/Physics/Electroweak-Force)

- CERN.(2021).*The Higgs Boson* . Diambil dari [Http:Home.CERN/Science/Physics/Higgs-Boson](http://Home.CERN/Science/Physics/Higgs-Boson)
- Chang, R.(2017). *Kimia(Edisi Ke-13)*.NewYork: Mcgraw-Hill
- Coen-Tannoudji,C.,Diu,B.,And Laloe,F.(1977). *Quantum Mechanics. Vol 2.* NewYork: Wiley
- Community, NumPy.(2020). *NumPy User Guide*. Diambil dari numpy.org/doc/1.20/numpy-user.pdf
- Davier, M. (2013). Low-Energy $E+E^-$ Hadronic Annihilation Cross Sections. Annual Review Furher, 407-431.
- Drdobb.(2023). *History Of Python* Diambil dari [Http://www.drdobbs.com/open-source/a-short-history-of-python/184404445](http://www.drdobbs.com/open-source/a-short-history-of-python/184404445)
- Dzone.(2023). *Programming Languages The Good The Bad And The Ugly* Diambil dari [Http://dzone.com/articles/programming-languages-the-good-the-bad-and-the-ugly](http://dzone.com/articles/programming-languages-the-good-the-bad-and-the-ugly)
- Elis, J., Dan Raklev, A.E. (2015) *The Higgs Bosson*, Cambridge University Press
- Ellis,S. D., Godfrey,S., And Kotwal,A.V.(2012). Standard Model Physics At High Energi
- Gerthsen, Kneser, H., & Vogel, H. (1996). *Fisika Modern Ii*. (A. Murad, Penyunt., & M. Mushach, Penerj.) Jakarta: Pusat Pembinaan Dan Pengembangan Bahasa.
- Griffiths,D.(2008). *Pengantar Partikel Elementer(Edisi Ke-2)*. Weinheim: Wiley-Vch.
- Halzen, Francis, And Alan, D Martin 2010. *QuaRK And Lapton And Introductory Course In Modern*, NewYork: Particle Jhon Wiley And Son
- Hunter, J.Dkk. (2013). *Matplotlib*.Chicago;Matplotlib Press

- Jayanth, S. N. (2015-2016). *Particle Accelerators: The Atom Smashers*. Keshav Memorial Institute Of Tehcnologi. New Delhi: Jawaharlal Nehru Technological University.
- Lundh, F. (1999). *An Introduction To Tkinter: Review Literature And Arts Of The Americas*
- Mahmudi, R. M. (2020). Simulasi Gerak Ion Dalam Medan Elektromagnetik Menggunakan Metode Fdm Pada Matlab. *Jurnal Simtika*, Volume, 25-30.
- Martin, B,R(2008). *Nuclear And Partikel Physics : An Introduction (2 End Ed.)*. Weinheim: Jhon Wiley And Sons
- Mikrajuddin, A. (2007). *Fisika Dasar I*. Bandung: ITB Press.
- Miller, J. (2019). Damped Motion Of A Charged Particle In Time Varying Electromagnetic Fields. New York: *Physics Suny Poli*.
- Particle Gata Grup.(2020). Refiew Of Particle Physics. *Physical Review D*, 98(3) 0300001. Doi:10.1101/Physrevd.98.030001.
- Peskin, M.E., And Schroeder,D.B.(1995). *An Introduction To Quantum, Field Theory*. Westview Press
- Purcell,E.M., And Morin,D.J.(2013). *Electricity And Magnetism*. Cambridge: Cambridge Univercity Press.
- Raybaut, P. (2017). *Spyder Documentation Release 3*. New York: Spyder Press.
- Riyanto, Galuh Putri. (2021). “Phyton Jadi Bahasa Pemogramming Paling Populer Di Dunia.” *Kompas*: 395–410.
- Rolon-Mérette. (2020). Introduction To Anaconda And Python: Installation And Setup. *The Quantitative Methods For Psychology*, 16(5), S3–S11. <https://doi.org/10.20982/Tqmp.16.5.S003>
- Rosana, D., Sukardiyono, & Supriyadi. (2000). Konsep Dasar Fisika Modern. *Imstep Jica*, 1(1), 51.

- Sihombing, S. C., & Dahlia, A. (2018). Penyelesaian Persamaan Diferensial Linier Orde Satu Dan Dua Disertai Nilai Awal Dengan Menggunakan Metode Runge Kutta Orde Lima Butcher Dan Fehlberg (RKf45). *Jurnal Matematika Integratif*, 51-60.
- Silberberg, Ms (2017). *Kimia: Sifat Molekul Materi Dan Perubahan (Edisi Ke-8)*. New York: Pendidikan Mcgraw-Hill
- Singh, S. K. (2009). *Electricity And Magnetism*. Texas: C O N E X I O N S.
- Spectrum. (2023). *Python Is One Of Most Popular Programming Languages*. Diambil dari [Http://Spectrum.ieee.org/hy-python-is-one-of-the-most-popular-programming-languages](http://Spectrum.ieee.org/hy-python-is-one-of-the-most-popular-programming-languages)
- Te, D. T. (2010). *The Ps Booster , Ps And Sps Magnets For The Next 25 Year S*.
- Thomson, Joe . (2016). *Python's companion*. New York: Stack Overflow
- Thomson, M. (2013). *Fisika Partikel Modern*. Cambridge: Cambridge University Press
- Varoquax, dkk. (2020). *Scipy Lecture Notes*. California: Creative Commons
- Wiedemann, H. (2015). *Particle Accelerator Physics (4 Th Ed.)*, Springer
- Wilczek, F. (2004). *QuaRKs And Leptons*. *Current Science*, 87(8), 1070-1075
- Wulansari, D. S. (2010). *Simulasi Lintasan Partikel Bermuatan (Proton) Di Dalam Cyclotron*. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta Press.