

**SIMULASI LINTASAN PARTIKEL BERMUATAN (PROTON)
DI DALAM CYCLOTRON**

**Skripsi
Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Mencapai Derajat Sarjana S-1**

Program Studi Fisika



**Disusun Oleh:
Dewi Sri Wulansari
NIM. 05620013**

**Kepada
PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2010**



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI / TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

Di Yogyakarta

Assalaamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Dewi Sri Wulansari

NIM : 05620013

Judul Skripsi : Simulasi Lintasan Partikel Bermuatan di dalam *Cyclotron*

sudah dapat diajukan kembali kepada Fakultas Sains dan Teknologi Jurusan / Program Studi Fisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Yogyakarta, 04 Maret 2010

Pembimbing I

Drs. Budi Santoso, M.T.

NIP. 19570821 198203 1 003

Pembimbing II

Thagibul Fikri Niyartama, M.Si

NIP. 19771025 200501 1 004



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga

FM-UINSK-BM-05-07/R0

PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Nomor : UIN.02/D.ST/PP.01.1/993/2010

Skrripsi/Tugas Akhir dengan judul : Simulasi Lintasan Partikel Bermuatan (Proton) di dalam *Cyclotron*

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :

Nama : Dewi Sri Wulansari

NIM : 0562 0013

Telah dimunaqasyahkan pada : 23 Maret 2010

Nilai Munaqasyah : A / B

Dan dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga

TIM MUNAQASYAH :

Ketua Sidang

Drs. Budi Santosa, M.T
NIP. 19570821 198203 1 003

Penguji I

Anis Yuniati, M.Si
NIP.19830614 200901 2 009

Penguji II

Retno Rahmawati, M.Si
NIP.19821116 200901 2 006

Yogyakarta, 22 April 2010

UIN Sunan Kalijaga

Fakultas Sains dan Teknologi

Dekan



Drs. Maier Said Nahdi, M.Si
NIP. 19550427 198403 2 001

SKRIPSI

SIMULASI LINTASAN PARTIKEL BERMUATAN (PROTON) DI DALAM *CYCLOTRON*

Dewi Sri Wulansari

NIM. 05620013

Telah disetujui dan disahkan oleh Lembaga Pusat Teknologi Akselerator dan
Proses Bahan Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTAPB-BATAN) Yogyakarta
serta dinyatakan telah memenuhi persyaratan.

Yogyakarta, 30 April 2010

Kepala Bidang TAFN

Pembimbing di PTAPB-BATAN



Ir. Suprpto
NIP. 19590222 197903 1 002



Drs. Budi Santosa, M.T
NIP. 19570821 198203 1 003

Menyetujui,

Kepala PTAPB-BATAN
Yogyakarta



Dr. Ir. Widi Setiawan

NIP. 19581208 198009 1 001

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dewi Sri Wulansari

NIM : 05620013

Program Studi : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 02 Maret 2010

Yang menyatakan


METERAI
TEMPEL
EEAF3AAF041231815
6000

Dewi Sri Wulansari

NIM. 05620013

MOTTO

Dalam kesabaran, kita akan dapat menikmati kedamaian, rasa kepuasan dan pengalaman yang tak mudah ditemukan oleh orang yang tergesa-gesa. Mungkin benar halaman pertama dalam hidup ini adalah kesabaran

*Mencari ilmu itu seperti Ibadah, Mengungkapkannya seperti Bertasbih,
Menyelidiki seperti Berjihad, Mengajarkannya seperti Bersedekah,
dan Memikirkannya seperti Berjihad
(Hadist Muadz bin Jabal)*

Kunci sukses yaitu cepat-cepat mengambil keputusan dalam hal apapun, terus berusaha, dan jangan berhenti berdo'a, bersabar serta tawakallah kepada ALLAH SWT karena setelah kesulitan pasti ada kemudahan

...Sesungguhnya ALLAH SWT tidak merubah keadaan sesuatu kaum sehingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri....(Q.S.Ar-Ra'd : 11)

PERSEMBAHAN

Karya tulis ini kupersembahkan teruntuk:

1. Ayahanda Apin Zainal Arifin, S.Ag (alm) dan Ibunda tercinta Titi Nurhayati.

Atas segala segenap cinta dan doa restumu yang selalu mengiringi setiap langkahku, tiada balasan yang dapat berarti selain Surga Allah SWT.
2. Diriku yang selalu semangat dan pantang menyerah.
3. Keluarga besar H.Khoerudin atas doa, bimbingan, serta kasih sayang yang tak pernah berhenti mengalir demi kesuksesan penulis.
4. My Brothers (Asep, Cecep), saudariku Desma, calon kakak iparku T'Ncie dan T'Elis yang sudah seperti kakakku sendiri, aku akan selalu menyayangi kalian.
5. Guru-guruku dimanapun Engkau berada, serta
6. Jas almamaterku

KATA PENGANTAR

Untaian terimakasih dan puji syukur Alhamdulillah penulis bisikan kehadiran Allah SWT Yang Maha Mendengar, yang telah memberikan kekuatan serta kesehatan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Sholawat beserta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada baginda alam, pelopor islam Nabi Muhammad SAW beserta para keluarga dan para sahabatnya, serta para pengikutnya hingga akhir zaman nanti.

Skripsi ini merupakan laporan penelitian yang berjudul “Simulasi Lintasan Partikel Bermuatan (Proton) di dalam *Cyclotron*”. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan gambaran gerak partikel bermuatan di dalam *Cyclotron* yang nantinya akan dijadikan sebagai landasan untuk mendesign *Cyclotron* BATAN di PT.APB BATAN Yogyakarta. Dengan kerendahan hati pula penulis menyadari sepenuhnya bahwa tersusunnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

- 1) Ibu Dra.Meizer Said Nahdi, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.
- 2) Bapak Dr.Ir.Widi Setiawan selaku kepala PTAPB BATAN yang telah memberikan izin penelitian sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
- 3) Bapak Ir. Suprpto, selaku kepala bidang Akselerator di PTAPB BATAN.
- 4) Bapak Drs. Budi Santoso, M.T selaku pembimbing I yang dengan sabar meluangkan waktu dalam membimbing, mengarahkan dan memotivasi dalam penelitian skripsi ini.

- 5) Bapak Thaqibul Fikri Niyartama, M.Si, selaku KaProdi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga sekaligus selaku pembimbing II atas diskusi, bimbingan, serta saran-saran berharga yang telah diberikan kepada penulis.
- 6) Ibu Anis Yuniati, M.Si., sebagai penguji I dan Ibu Retno Rahmawati, M.Si., sebagai penguji II yang telah bersedia meluangkan waktu untuk menguji serta memberikan saran-saran perbaikan untuk skripsi ini.
- 7) Ibu Tati, seluruh Bapak dan Ibu dosen jurusan Fisika Fakultas Sainstek UIN SuKa yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
- 8) Ibunda tercinta Titi Nurhayati *for everything, for having faith in me, believe in every single step I've made, for pray, for the support, thanks for all, Love U Mom.*
- 9) @'Asep, Desma, Bungsu (cecep), & T'Elis yang selalu khawatir dengan keadaanku, memberi semangat tiada henti-hentinya & mengingatkanku untuk menghasilkan yang terbaik dalam hidup ini, maaf janjinya baru bisa *Teh Wie'* tepati sekarang. [^_^]. *I love U full...*
- 10) *Keluarga besar H.Khoerudin*, orang tua kedua yang selalu menopangku dari belakang, menyanggaku ketika jatuh, dan tak bermaksud untuk mematahkan sayapku.

I want to make theirs proud of me

- 11) Kepada pencipta senyumku, terimakasih kau selalu hadir untuk menghilangkan kepenatanku dan menciptakan semangat baru untukku moga kau ikhlas dengan semua itu.

- 12) Kepada Almarhum Ayahanda *Apin Zainal Arifin, S.Ag.* Terima kasih atas segala do'a yang telah terpanjatkan secara tulus dan ikhlas kepada ananda yang sangat berarti. Memberi bekal yang sangat berharga dalam menempuh perjalanan yang panjang serta ganasnya kehidupan ini. Ya Allah...titip rinduku buat Ayahanda tercinta disana, semoga damai selalu disisiMu. Nasehat serta suri tauladan yang telah diberikan akan selalu terpatrit di dalam jiwa ini. Terima kasih Ayah atas segala nasehat serta ajaranmu yang telah menjadikan hidup ini terasa lebih berarti.
- 13) Teman-teman Fisika UIN SuKa Angkatan '05 (*Nurul, Jay, Afriz, Idat, Nia, Ndo', Mirza, Monde, Ida, Umar, Yani*). Atas persahabatan dan dorongan semangatnya selama ini, serta sahabat-sahabat *wi'* dimanapun berada ayo,, semangattttt maju terus, pantang mundur moga persahabatan kita akan terjaga sampai akhir hayat memisahkan kita. Amin...
- 14) *T'Ati & Teman-teman kost An-Nisa N0.627* khususnya *Jamilatun* terima kasih telah sudi meminjamkan printernya, canda tawa serta kebersamaan kita akan *mbak'* ingat selalu & atas sambutan hangat serta bantuannya selama ini.
- 15) *M'Yoyo & Ncep Adil*, makasih atas bantuannya, maaf selalu ngerepotin.
- 16) Adik-adik alumni Al-Haz Ciamis yang senantiasa mendampingi, *mensupport*, dan bantuannya selama ini.
- 17) Serta semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya penyusunan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

ALLAH SWT pasti akan membalas kebaikan kalian dengan setinggi-tingginya. Amin. Diakhir kata penulis menyadari dengan bersandar pada kata bijak “*Tak Ada Gading yang Tak Retak*” bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna, maka penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun, semoga ALLAH SWT meridhoi apa yang kita kerjakan dan senantiasa menuntun kita kepada kebaikan. Harapan penulis semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, khususnya bagi penulis umumnya bagi pembaca.

Amin Ya Rabbalaalamin.

Yogyakarta, Maret 2010

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PENGESAHAN PTAPB BATAN.....	iv
SURAT PERNYATAAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
ABSTRAK.....	xviii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah dan Batasan Masalah.....	3
1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	3
1.4. Keaslian Penelitian.....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Prinsip Kerja <i>Cyclotron</i>	5
2.2. Gerak Partikel Bermuatan dalam Medan Magnet.....	7
2.3. Gerak Partikel Bermuatan dalam Medan Listrik.....	9

2.4. Persamaan Gerak Partikel Bermuatan dalam Medan Magnet dan Medan Listrik.....	11
2.5. Frekuensi dan Energi <i>Cyclotron</i>	12
BAB III. METODE PENELITIAN.....	16
3.1. Perancangan Algoritma Gerak Partikel di dalam Medan Magnet.....	16
3.1.1. Persamaan Gerak di Sumbu x	17
3.1.2. Persamaan Gerak di Sumbu y	18
3.2. Perancangan Algoritma Gerak Partikel di dalam Medan Listrik.....	19
3.2.1. Persamaan Gerak di Sumbu x	20
3.2.2. Persamaan Gerak di Sumbu y	21
3.3. Perancangan Algoritma Gerak Partikel Bermuatan (Proton) di dalam <i>Cyclotron</i>	23
3.3.1. Persamaan yang Digunakan dalam Penelitian.....	23
3.3.2. Diagram Alir Program.....	24
3.4. Metode Analisa Data.....	26
3.5. Kesulitan-kesulitan.....	26
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1. Hasil Penelitian dan Pembahasan.....	27
4.1.1. Variasi jarak celah antar <i>dees</i> (d).....	27
4.1.1.1. Variasi jarak celah antar <i>dees</i> , $d=0,04\text{m}$	27
4.1.1.2. Variasi jarak celah antar <i>dees</i> , $d=0,06\text{m}$	28

4.1.1.3. Variasi jarak celah antar <i>dees</i> , $d=0,08\text{m}$	28
4.1.2. Variasi tegangan yang terpasang (V).....	30
4.1.2.1. Tegangan yang terpasang, $V=9\text{ KV}$	30
4.1.2.2. Tegangan yang terpasang, $V=13\text{ KV}$	31
4.1.2.3. Tegangan yang terpasang, $V=17\text{ KV}$	32
4.1.3. Variasi radio frekuensi ω_{rf}	33
4.1.3.1. Radio frekuensi, $\omega_{rf} = 1,34 \times 10^8\text{Hz}$	33
4.1.3.2. Radio frekuensi, $\omega_{rf} = 1,35 \times 10^8\text{Hz}$	34
4.1.3.2. Radio frekuensi, $\omega_{rf} = 1,36 \times 10^8\text{Hz}$	34
4.2. Perhitungan dan Pembahasan, Jari-jari Lintasan dan Energi Partikel Secara Matematis.....	35
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	37
5.1. Kesimpulan.....	37
5.2. Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA.....	38
LAMPIRAN.....	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Komponen <i>Cyclotron</i> Utama <i>Cyclotron</i> (tampak dari samping).....	5
Gambar 2. Skema percepatan partikel dalam <i>Cyclotron</i>	6
Gambar 3. Gaya yang diberikan oleh medan magnet seragam pada partikel bermuatan yang bergerak.....	8
Gambar 4. Pertambahan energi kinetik.....	10
Gambar 5. Gerak partikel bermuatan positif, di dalam gaya <i>Lorentz</i>	12
Gambar 6. Bagian-bagian dalam <i>Cyclotron</i> (tampak dari atas).....	16
Gambar 7. Kecepatan partikel ketika berada di salah satu <i>dees</i>	17
Gambar 8. Percepatan partikel di daerah celah <i>dees</i>	20
Gambar 9. Diagram Alir Program	24
Gambar 10. Gambar Lintasan Partikel Bermuatan di dalam <i>Cyclotron</i>	27

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Penjabaran rumus gerak partikel bermuatan di dalam <i>cyclotron</i>	40
Lampiran 2. Perhitungan jari-jari lintasan partikel bermuatan di dalam <i>Cyclotron</i> secara matematis	43
Lampiran 3. Perhitungan energi partikel partikel bermuatan di dalam <i>cyclotron</i> secara matematis.....	44
Lampiran 4. Tetapan dan faktor konversi penting (tabel konstan).....	45
Lampiran 5. Listing <i>input file</i> program matlab versi 5.3.1 dengan variasi jarak, $d = 0,04\text{m}$	46
Lampiran 6. Listing <i>Input file</i> program matlab versi 5.3.1. dengan variasi jarak, $d = 0,06\text{m}$	48
Lampiran 7. Listing <i>Input file</i> program matlab versi 5.3.1. dengan variasi jarak, $d = 0,08\text{m}$	50
Lampiran 8. Listing <i>input file</i> program matlab versi 5.3.1 dengan variasi tegangan yang terpasang, $V = 5\text{ KV}$	52
Lampiran 9. Listing <i>input file</i> program matlab versi 5.3.1 dengan variasi tegangan yang terpasang, $V = 9\text{ KV}$	54
Lampiran 10. Listing <i>input file</i> program matlab versi 5.3.1 dengan variasi tegangan yang terpasang, $V = 13\text{ KV}$	56
Lampiran 11. Listing <i>input file</i> program matlab versi 5.3.1 dengan variasi radio frekuensi $1,34 \times 10^8\text{ Hz}$	58

Lampiran 12. Listing <i>input file</i> program matlab versi 5.3.1 dengan variasi radio frekuensi $1,35 \times 10^8$ Hz	60
Lampiran 13. Listing <i>input file</i> program matlab versi 5.3.1 dengan variasi radio frekuensi $1,36 \times 10^8$ Hz	62
Lampiran 14. Penunjukan pembimbing skripsi/tugas akhir	63
Lampiran 15. Surat keterangan pengarahannya proteksi radiasi dan keselamatan kerja	64

SIMULASI LINTASAN PARTIKEL BERMUATAN (PROTON) DI DALAM CYCLOTRON

Dewi Sri Wulansari
05620013

ABSTRAK

Telah dilakukan simulasi berbasis *software* untuk memvisualisasikan gerak partikel bermuatan di dalam *Cyclotron*. Gambar gerak partikel tersebut, akan dijadikan landasan untuk mendesign seperangkat *Cyclotron* di PT.APB BATAN Yogyakarta dengan parameter hasil dari simulasi.

Dalam *Cyclotron*, partikel bergerak karena adanya medan magnet dan medan listrik. Sebuah medan magnet digunakan untuk membelokkan partikel, dan medan listrik digunakan untuk mempercepat gerak partikel. Ketika partikel berada di antara kedua *dees* atau celah, terjadi gaya total (gaya listrik dan gaya magnet) dan ketika berada di salah satu *dees*, hanya terjadi gaya magnet. Partikel tersebut akan terus bergerak sampai diperoleh tenaga atau energi maksimum dan menghasilkan lintasan melingkar. Simulasi, dilakukan dengan pengamatan variasi jarak antar celah *dees*, variasi tegangan terpasang, dan variasi radio frekuensi. Selain itu, dilakukan perhitungan secara matematis untuk jari-jari lintasan partikel dalam *Cyclotron* dan energi partikel, kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi. Persamaan dan perhitungan dalam penelitian, dilakukan berdasarkan asumsi dari mekanika klasik dengan menggunakan program MATLAB versi 5.3.1.

Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan, jarak celah *dees* dan radio frekuensi mempengaruhi lintasan partikel di dalam *Cyclotron*. Dalam penelitian ini, besarnya medan magnet yang digunakan 1,43 Tesla, tegangan dari 9 KV sampai 17 KV, jarak celah *dees* dari 0,04m sampai 0,08m, dan radio frekuensi dari $1,34 \times 10^8$ Hz sampai $1,36 \times 10^8$ Hz. Frekuensi karakteristik ω_{rf} pada saat partikel bergerak di dalam medan harus sama dengan frekuensi tetap ω_{rf1} dari osilator listrik tersebut (frekuensi diantara keduanya harus stabil).

Kata Kunci: simulasi, Cyclotron, gerak partikel bermuatan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Akselerator merupakan suatu alat yang dapat mengakselerasi elektron, proton atau partikel-partikel bermuatan lainnya sehingga diperoleh partikel bermuatan berenergi yang sangat tinggi. Perangkat akselerator tersebut dapat digunakan sebagai iradiator, terutama di dalam penelitian di bidang fisika material, kimia, dan kedokteran serta salah satu perangkat utama dalam penelitian fisika partikel berenergi tinggi.

Sejak pernyataan *Rutherford* (penemu proton) pada *royal society* tahun 1929 berkeinginan, untuk mendapatkan sumber partikel positif dengan energi yang lebih besar dibandingkan dengan pancaran dari sumber radiasi alami, maka beberapa ilmuwan berusaha mewujudkannya antara lain *Ernest Orlando Lawrence* dan *Livingstone* (Saefurrochman dkk, 2009:1).

Lawrence memikirkan cara untuk menghasilkan proton dengan menggunakan lintasan panjang seperti pada *Linac*. Oleh karena itu, beliau menggunakan medan magnet dalam membelokkan partikel untuk menghasilkan proton dan kemudian diberi nama *Cyclotron* (Saefurrochman dkk, 2009:1).

PTAPB BATAN Yogyakarta akan membuat perangkat *Cyclotron* BATAN yang digunakan untuk mendapatkan tenaga partikel bermuatan sebesar 13 MeV. *Cyclotron* BATAN akan digunakan sebagai perangkat iradiator terutama di bidang

Medis. Irradiator merupakan peralatan di dalam iradiasi untuk memperoleh zat radioaktif.

Perancangan *Cyclotron* memerlukan data-data spesifikasi teknis seperti ukuran diameter *dees*, frekuensi yang diperlukan, dan kekuatan medan magnet. Data-data spesifikasi teknis tersebut, dapat kita peroleh dengan beberapa langkah. Pertama, mempelajari data-data teknis dari beberapa *Cyclotron* yang telah ada (dibuat oleh beberapa pabrik). Misalnya *Cyclotron* Universitas Pittsburgh dan Universitas Houghton. Kedua, dapat dilakukan secara simulasi. Simulasi dilakukan agar parameter yang dihasilkan sesuai dengan apa yang kita inginkan. Simulasi adalah percobaan dengan menggunakan model tiruan dari sistem sebenarnya, dan hasil percobaan dapat menggambarkan sifat-sifat dari sistem nyata, sehingga seakan percobaan dilakukan pada sistem nyata tersebut (Safirudin, 2009:2).

Untuk dapat melakukan simulasi diperlukan perangkat simulator. Di dalam laporan ini, akan dibuat perangkat simulator untuk menggambarkan gerak partikel bermuatan (proton) dalam *Cyclotron*. Dengan simulator tersebut, dapat memberikan kemudahan dalam mempelajari pengaruh besaran-besaran klasik terhadap lintasan partikel dalam *Cyclotron*. Adapun informasi yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan didalam mendesign *Cyclotron*, yang sedang di kerjakan di PTAPB BATAN (Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan Badan Tenaga Nuklir Nasional) Babarsari Yogyakarta.

1.2. Rumusan Masalah dan Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimanakah mensimulasikan lintasan partikel bermuatan di dalam *Cyclotron*.

Penelitian ini agar lebih fokus pada obyek permasalahan yang akan dipecahkan, maka perlu dibatasi beberapa hal yaitu sebagai berikut:

- a) Medan magnet (***B***) dan medan listrik (***E***) konstan.
Medan listrik (***E***) hanya terjadi di antara *dees*.
- b) Metode perhitungan gerak partikel menggunakan asumsi dari mekanika klasik.
- c) Menggunakan RF (*Radio Frequency*) harmonik pertama.

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian adalah mendapatkan gambaran gerak partikel bermuatan di dalam *Cyclotron*.

Manfaat dari penelitian ini, dapat memberikan pengetahuan tentang simulasi gerak partikel bermuatan di dalam *Cyclotron* sebagai landasan untuk mendesign sebuah perangkat *Cyclotron* BATAN di PTAPB BATAN Yogyakarta dan memberikan pengetahuan aplikasi akselerator terutama *Cyclotron* dalam bidang medis.

1.4. Keaslian Penelitian

Penelitian tentang ‘Simulasi Lintasan Partikel Bermuatan di dalam *Cyclotron*’ menggunakan *software* MATLAB versi 5.3.1 dengan metode perhitungan gerak partikel menggunakan asumsi dari mekanika klasik, belum pernah dilakukan oleh peneliti yang lain, sehingga laporan penelitian ini merupakan karya asli penulis.

BAB IV

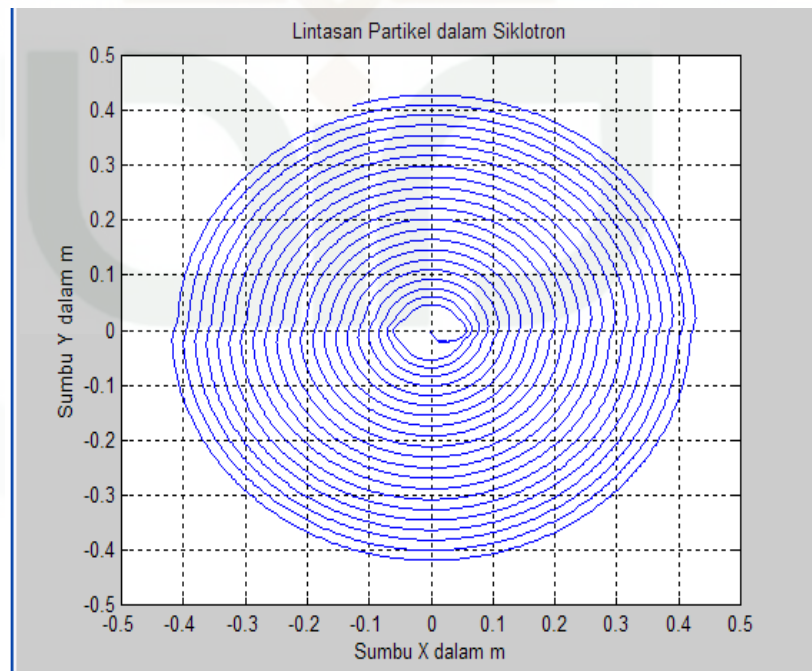
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian dan Pembahasan

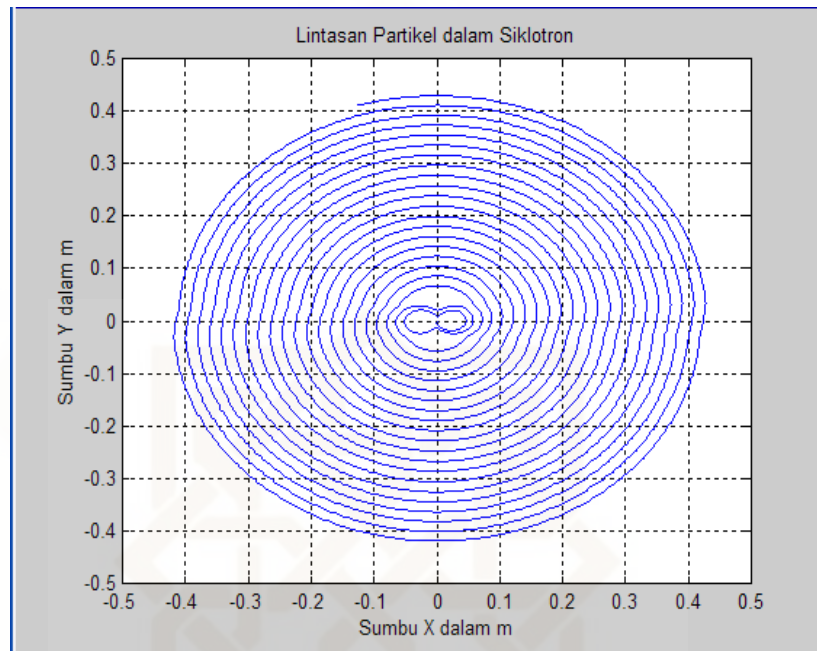
Penelitian "Simulasi Lintasan Partikel Bermuatan (Proton) di dalam Cyclotron", menggunakan perangkat lunak (*Software*) program MATLAB versi 5.3.1. Pada program, data masukan (*input*) persamaan gerak partikel di dalam Cyclotron, akan dieksekusi dengan menggunakan perintah *File* → *New* → *M-File* → *tools* → *run*. Simulasi lintasan partikel bermuatan (proton) di dalam Cyclotron dilakukan dengan beberapa variasi, yaitu:

4.1.1. Variasi jarak celah antar *dees* (d)

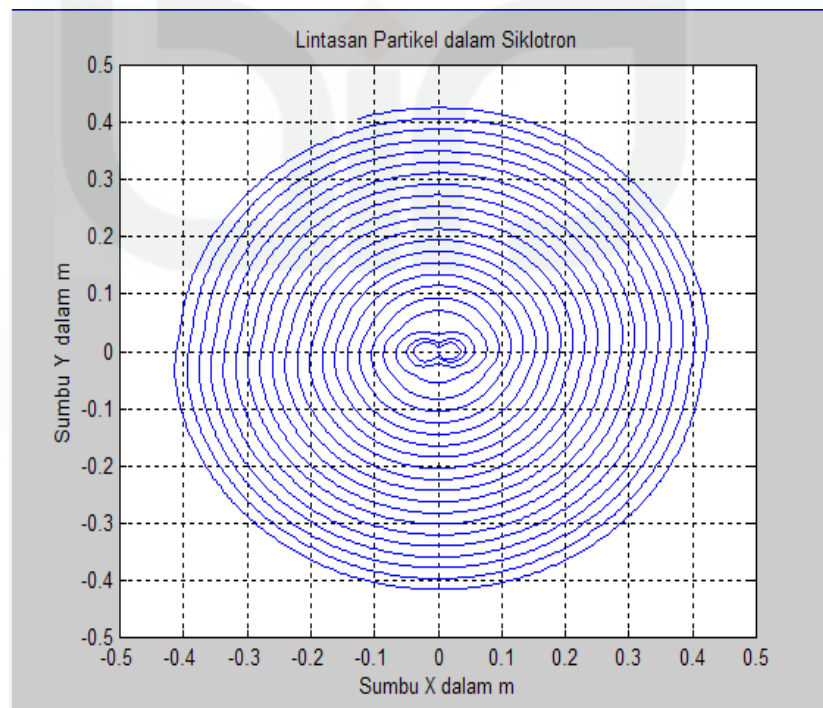
4.1.1.1. Jarak celah antar *dees* $d = 0,04\text{ m}$



4.1.1.2. Jarak celah antar *dees* $d = 0,06\text{ m}$



4.1.1.3. Jarak celah antar *dees* $d = 0,08\text{ m}$

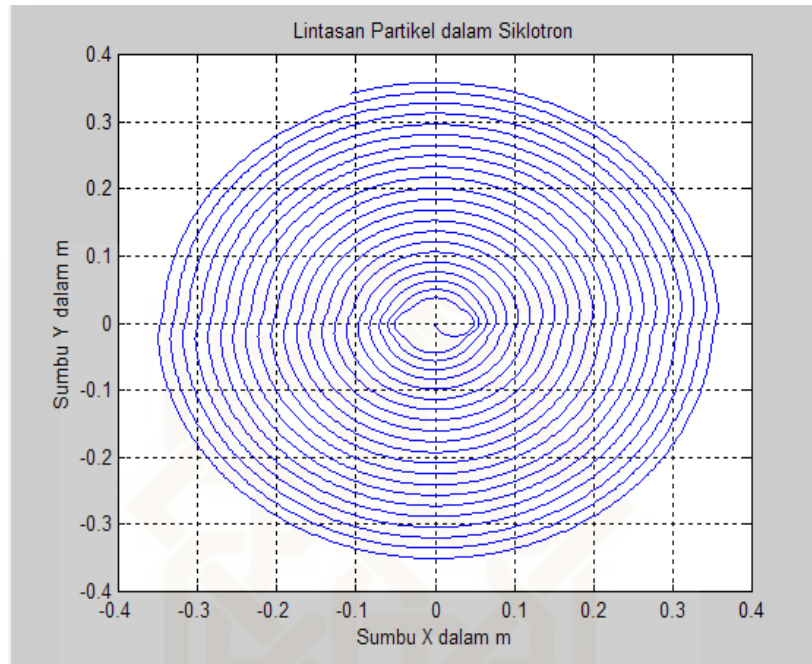


Penjelasan ketiga gambar diatas, yaitu partikel dengan kuat medan magnet ($B=1,43 \text{ T}$), medan listrik E secara berurutan 325 KV/m, 216,7 KV/m, 162,5 KV/m), dengan memvariasikan jarak celah *dees* d dari 0,04 m s.d 0,08 m, partikel tetap bergerak di dalam *Cyclotron* sebanyak 22 kali putaran dengan diameter 0,84 m. Dalam mencapai putaran tersebut, partikel mencapai energi maksimum sebesar 19 MeV dengan beda potensial V sebesar 13 KV. Jarak celah *dees* yang semakin besar dengan energi partikel kecil, menyebabkan partikel bergerak di daerah antara celah *dees* (daerah medan listrik) lebih lama. Pada saat energi partikel makin tinggi dan mendapatkan percepatan, partikel mulai bergerak melewati *dees*. Partikel berjari-jari maksimum di sumbu x pada titik koordinat (0,42;0) m dan (-0,42;0) m, di sumbu y pada titik koordinat (0;0,42) m dan (0;-0,42) m.

Hubungan antara variasi jarak dengan lintasan partikel adalah berbanding lurus, yaitu semakin besar jarak celah antara *dees* semakin lama partikel bergerak di daerah medan listrik (daerah celah antara *dees*). Hal tersebut terjadi karena, saat partikel mulai bergerak dalam celah *dees*, antara medan listrik dan medan magnet saling mempengaruhi akibatnya berpengaruh terhadap gerak partikel saat melewati *dees*.

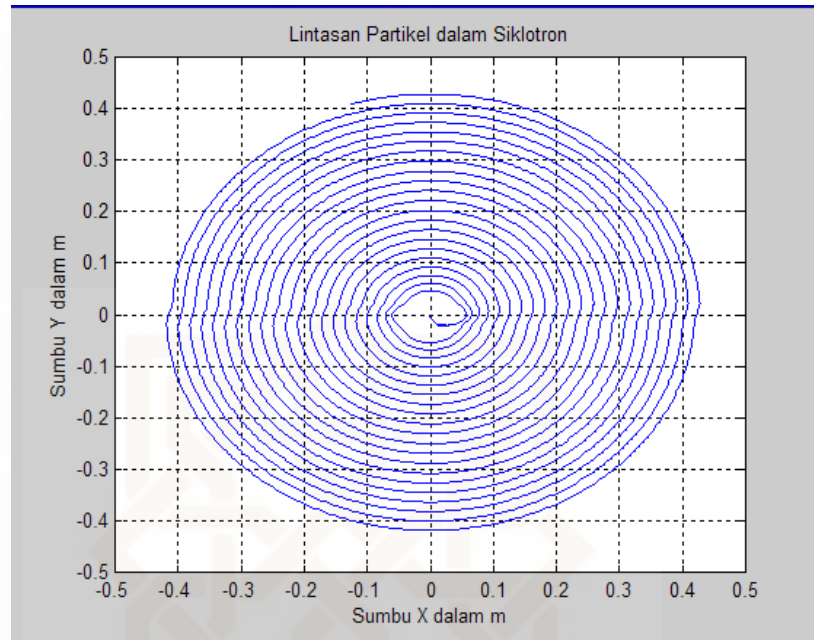
4.1.2. Variasi tegangan yang terpasang (V)

4.1.2.1. Tegangan yang terpasang $V = 9 \text{ KV}$



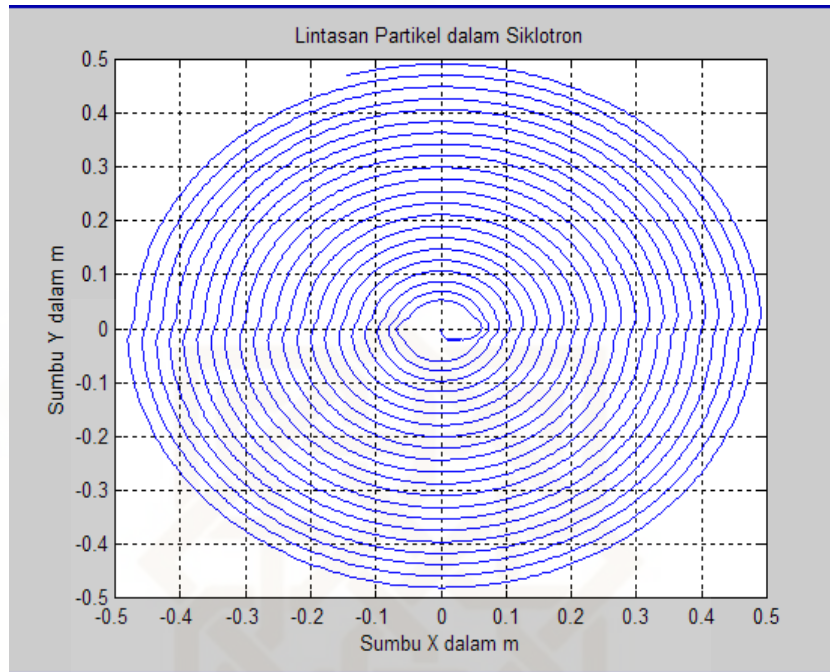
Berdasarkan Gambar diatas, partikel dengan kuat medan magnet ($B=1,43 \text{ T}$), medan listrik ($E=225 \text{ KV/m}$), dan jarak celah *dees* ($d=0,04 \text{ m}$), bergerak di dalam *Cyclotron* sebanyak 22 kali putaran dengan diameter $0,76 \text{ m}$. Dalam mencapai putaran tersebut, partikel mencapai energi maksimum sebesar 13 MeV dengan beda potensial V sebesar 9 KV . Partikel berjari-jari maksimum di sumbu x pada titik koordinat $(0,38;0) \text{ m}$ dan $(-0,38;0) \text{ m}$, di sumbu y pada titik koordinat $(0;0,38) \text{ m}$ dan $(0;-0,38) \text{ m}$ dengan jarak lintasan partikel antara satu dengan yang lainnya adalah konstan sebesar $0,017 \text{ m}$, dan partikel keluar lintasan pada saat mencapai jari-jari maksimum di sumbu y negatif.

4.1.2.2. Tegangan yang terpasang $V = 13 \text{ KV}$



Penjelasan Gambar diatas, partikel dengan kuat medan magnet ($B=1,43 \text{ T}$), medan listrik ($E=325 \text{ KV/m}$), jarak celah *dees* ($d=0,04 \text{ m}$), partikel bergerak di dalam *Cyclotron* sebanyak 22 kali putaran dengan diameter $0,84 \text{ m}$. Dalam mencapai putaran tersebut, partikel mencapai energi maksimum sebesar 19 MeV dengan beda potensial V sebesar 13 KV . Partikel berjari-jari maksimum di sumbu x pada titik koordinat $(0,42;0) \text{ m}$ dan $(-0,42;0) \text{ m}$, di sumbu y pada titik koordinat $(0;0,42) \text{ m}$ dan $(0;-0,42) \text{ m}$ dengan jarak lintasan partikel antara satu dengan yang lainnya adalah konstan sebesar $0,019 \text{ m}$, dan partikel keluar lintasan pada saat mencapai jari-jari maksimum di sumbu y negatif.

4.1.2.3. Tegangan yang terpasang $V = 17 \text{ KV}$



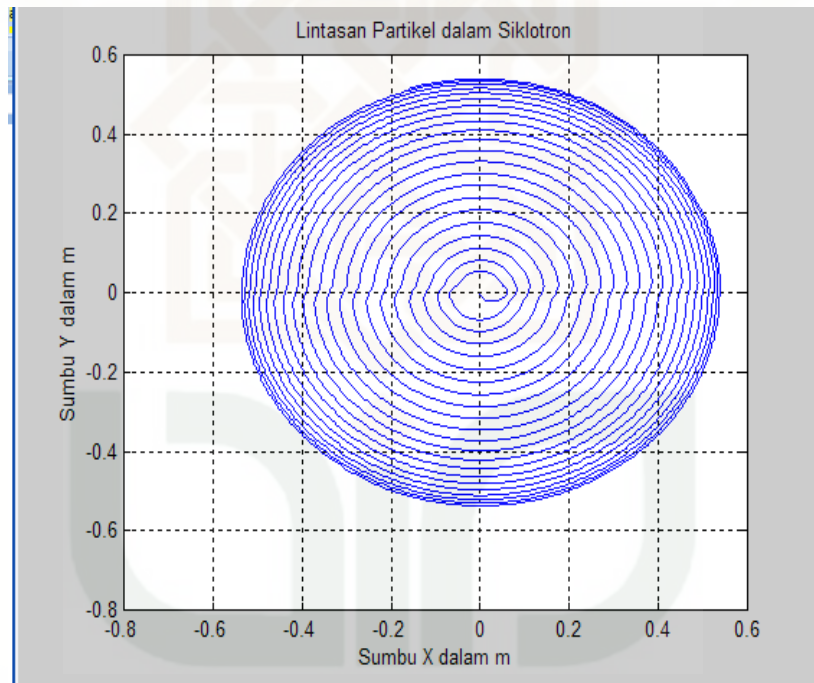
Penjelasan Gambar diatas, partikel dengan kuat medan magnet ($B=1,43 \text{ T}$), medan listrik ($E=425 \text{ KV/m}$), jarak celah *dees* ($d=0,04 \text{ m}$), partikel bergerak di dalam *Cyclotron* sebanyak 22 kali putaran dengan diameter 1 m. Dalam mencapai putaran tersebut, partikel mencapai energi maksimum sebesar 24 MeV dengan beda potensial V sebesar 17 KV. Partikel berjari-jari maksimum di sumbu x pada titik koordinat $(0,5;0) \text{ m}$ dan $(-0,5;0) \text{ m}$, di sumbu y pada titik koordinat $(0;0,5) \text{ m}$ dan $(0;-0,5) \text{ m}$. dengan jarak lintasan partikel antara satu dengan yang lainnya adalah konstan sebesar 0,023 m, dan partikel keluar lintasan pada saat mencapai jari-jari maksimum di sumbu y negatif.

Hubungan tegangan yang terpasang terhadap jari-jari lintasan yaitu berbanding lurus, bahwa semakin besar tegangan yang terpasang semakin besar

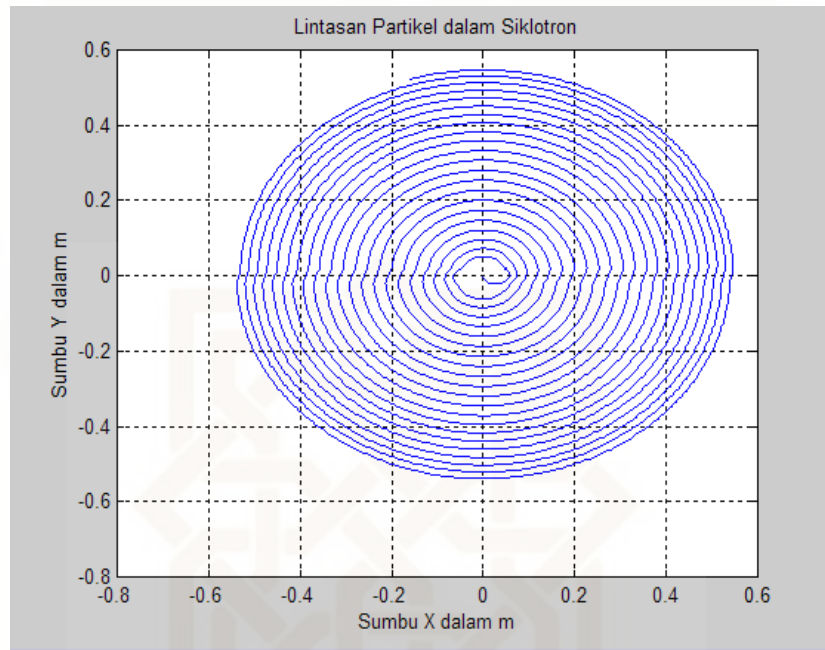
pula jari-jari lintasan partikel yang dihasilkan, dan begitu juga sebaliknya. Besarnya jari-jari lintasan tergantung dari energi partikel yang dihasilkan. Misalnya, dengan tegangan yang terpasang sebesar 9 KV, partikel berjari-jari maksimum sebesar 0,38 m dan mencapai energi maksimum sebesar 13 MeV.

4.1.3. Variasi radio frekuensi (rf)

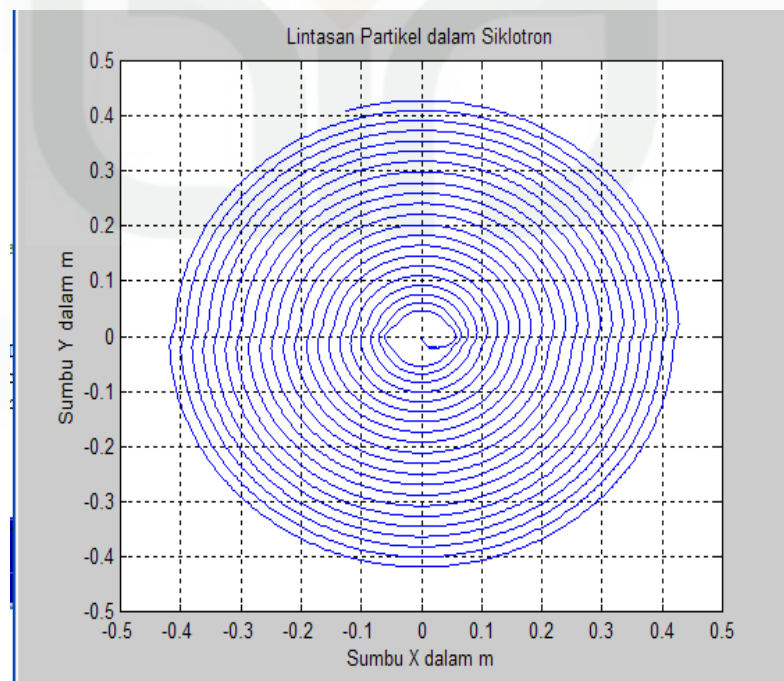
4.1.3.1. Radio frekuensi $rf = 1,34 \times 10^8 \text{ Hz}$



4.1.3.2. Radio frekuensi $rf = 1,35 \times 10^8 \text{ Hz}$



4.1.3.3. Radio frekuensi $rf = 1,36 \times 10^8 \text{ Hz}$



Penjelasan Gambar 4.1.3.1. s.d 4.1.3.3., yaitu partikel dengan kuat medan magnet ($B=1,43 \text{ T}$), medan listrik ($E=325 \text{ KV/m}$), jarak celah *dees* ($d=0,04 \text{ m}$), dengan memvariasikan nilai radio frekuensi ω_{rf} dari $1,34 \times 10^8 \text{ Hz}$ s.d $1,36 \times 10^8 \text{ Hz}$, partikel tetap bergerak di dalam *Cyclotron* sebanyak 22 kali putaran dengan diameter $1,16 \text{ m}$. Dalam mencapai putaran tersebut, partikel mencapai energi maksimum sebesar 30 MeV dengan beda potensial V sebesar 13 KV . Partikel berjari-jari maksimum di sumbu x pada titik koordinat $(0,58;0) \text{ m}$ dan $(-0,58;0) \text{ m}$, di sumbu y pada titik koordinat $(0;0,58) \text{ m}$ dan $(0;-0,58) \text{ m}$. Jarak celah antara *dees* (jarak antara sumbu y positif dan sumbu y negatif) sebesar $0,04 \text{ m}$. Pada saat partikel akan mencapai maksimum, lintasan partikel akan semakin rapat. Hal tersebut terjadi, akibat pengaruh dari nilai Radio Frekuensi (RF) yang kecil.

Hubungan radio frekuensi dengan lintasan partikel adalah berbanding lurus yaitu semakin besar radio frekuensi maka kondisi partikel ketika mencapai maksimum semakin tetap (konstan), dan ketika radio frekuensi kecil, kondisi partikel ketika mencapai maksimum semakin tidak konstan (semakin merapat).

4.2. Perhitungan dan Pembahasan Jari-jari Lintasan dan Energi Partikel secara Matematis

Partikel-partikel dapat dipercepat dalam sebuah akselerator, agar bisa melaju dengan cepat. Untuk mempercepat partikel, akselerator menggunakan medan magnet. Semakin besar energi yang dihasilkan maka semakin cepat pula partikel itu melaju. Akan tetapi, percepatan yang diberikan kepada partikel itu tidak pernah membuat partikel bergerak menyamai kecepatan cahaya.

Perhitungan secara matematis untuk jari-jari lintasan setelah ke-N menggunakan persamaan (2.32) dan diperoleh jari-jari lintasan 0,076 m. Untuk perhitungan energi partikel menggunakan persamaan (2.28) yaitu 0,57 MeV. Apabila dibandingkan dengan hasil *output* jari-jari lintasan dan energi partikel pada Gambar sub bab 4.1, diperoleh nilai yang berbeda yaitu hasil perhitungan lebih kecil dari hasil *output* yang diperoleh. Hal tersebut terjadi, karena frekuensi karakteristik partikel pada saat di medan magnet, tidak bergantung pada laju ion dan energi partikel yang bersirkulasi tidak bertambah besar.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

- 1) Dalam mendesign sebuah *Cyclotron*, diperlukan beberapa parameter salah satunya yaitu kuat medan magnet B , medan listrik E , dan diameter dees. Hasil simulasi menunjukkan bahwa besarnya kuat medan magnet ($B=1,43$ T), besarnya variasi tegangan yang terpasang dari 9 KV, 13 KV, 17KV, besarnya variasi jarak celah *dees* dari 0,04m; 0,06m; 0,08 m, dan besarnya variasi radio frekuensi dari $1,34 \times 10^8$ Hz, $1,35 \times 10^8$ Hz, dan $1,36 \times 10^8$ Hz sangat berpengaruh terhadap lintasan partikel di dalam *Cyclotron*.
- 2) Frekuensi karakteristik ω_{rf} pada saat partikel bergerak di dalam medan harus sama dengan frekuensi tetap ω_{rf1} dari osilator listrik tersebut (frekuensi diantara keduanya harus stabil).

5.2. Saran

Peneliti menyarankan agar ada penelitian lanjutan tentang gerak partikel di dalam *Cyclotron* dengan menggunakan metode yang berbeda yang dibandingkan dengan eksperimen secara langsung pada *Cyclotron* sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- David.J, Schlyer.2008: 4. "Cyclotron Components." Batan Accelerators School.
- Giancoli .C. Douglas. 2001." Fisika Jilid 1 (Terjemahan)". Edisi kelima.Jakarta: Erlangga.
- Haliday, david.1984." Fisika Jilid 2 (Terjemahan)". Jakarta: Erlangga.
- <http://www.educatpartikel.jlab.org/glossary/Cyclotron.html>. 20 Mei 2009
- <http://www.wikipedia.com/MagneticForces/HyperPhsics/magnetic/magfor.html>
22 Mei 2009.
- Kim.J.H, Lee.D.H, Chun.K.S. Mei 2005."Design Study for a Spiral Inflector in a Cyclotron." *Journal of the Korean Physical Society, Vol.46, No.5.* Seoul.
- Kusminarto. 1993." Pokok-pokok Fisika Modern." Yogyakarta: FMIPA UGM.
- [http:// hyperphysics.phy-astr-gsm-edu.hbse-magnetic-cyclotron.htm](http://hyperphysics.phy-astr-gsm-edu.hbse-magnetic-cyclotron.htm),
06 maret 2009.
- Loucks Andrew J. 2007. "Journal Initial Results from The Houghton College Cyclotron." Houghton College.
- Saefurrochman, Taufik, Agus Dwi Atmaja. 2009. "Akselerator". *Prosiding pertemuan dan presentasi ilmiah di BATAN Yogyakarta.* BATAN Yogyakarta.
- Sudoyo, Peter.2001." Azas-azas Ilmu Fisika." Edisi 4. Yogyakarta: Gadjah Mada

University Press.

Tipler, Paul A. 1991. "Fisika untuk Sains dan Teknik (Terjemahan)." Jilid 1. Jakarta: Erlangga.

Tobing ,D,L 1996." Fisika Dasar 1 (Terjemahan)." Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

Young, H D dan Freedman. 2007. "Fisika Universitas (Terjemahan)." Jakarta: Erlangga.

Lampiran 1

PENJABARAN RUMUS GERAK PARTIKEL BERMUATAN (PROTON) DI DALAM CYCLOTRON

Penelitian tentang gerak partikel bermuatan (proton) di dalam *Cyclotron*, menggunakan dua persamaan yaitu gaya total (ketika berada dicelah *dees*) dan gaya magnet (ketika berada di salah satu *dees* pada *Cyclotron*), berikut penjabaran persamaan masing-masing:

a) Saat partikel berada di celah *dees*

Medan listrik berada pada sumbu *y*, dan medan magnet (*dees*) berada pada sumbu *x*, sehingga:

$$a_{ye} = r t \varepsilon \cos \omega r f_1 t$$

$$v_y = -v \cos \omega r f t + \frac{r t \varepsilon}{\omega r f_1} \sin \omega r f_1 t$$

$$s_y = -\frac{1}{\omega r f} v \sin \omega r f t - \frac{r t \varepsilon}{\omega r f_1^2} \cos \omega r f_1 t$$

$$a_{yb} = \omega r f v \sin \omega r f t$$

$$a_y = a_{yb} + a_{ye}$$

$$a_x = \omega r f v \cos \omega r f t$$

$$v_x = v \sin \omega r f t$$

$$s_x = -\frac{1}{\omega r f} v \cos \omega r f t$$

b) Keterangan penjabaran persamaan diatas, yaitu :

a_{ye} = percepatan partikel pada medan listrik

a_{yb} = percepatan partikel pada medan magnet

a_y = jumlah percepatan total

v_y = kecepatan partikel pada sumbu y (medan listrik)

v_x = kecepatan partikel pada sumbu x (medan magnet)

s_y = posisi partikel pada sumbu y (medan listrik)

s_x = posisi partikel pada sumbu x (medan magnet)

r_t = muatan (q) per muatan (M)

$\mathfrak{s}$ = tegangan yang dipasang per jarak keping *dees*

$\omega r f$ = frekuensi *Cyclotron* [qB/M]

q = muatan proton (C)

B = kuat medan magnet (T)

M = massa proton (Kg)

c) Saat partikel berada di salah satu *dees*

$$a_{ye} = 0$$

$$v_y = -v \cos \omega r f t$$

$$s_y = -\frac{1}{\omega r f} v \sin \omega r f t$$

$$a_{yb} = \omega r f v \sin \omega r f t$$

$$a_y = a_{yb}$$

$$a_x = \omega r f v \cos \omega r f t$$

$$v_x = v \sin \omega r f t$$

$$s_x = -\frac{1}{\omega r f} v \cos \omega r f t$$

Kecepatan total, yaitu $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$

Jarak atau posisi partikel, $R = \sqrt{s_x^2 + s_y^2}$

Dengan energi kinetik, $E = 0,5 mv^2$

d) Keterangan penjabaran persamaan diatas, yaitu :

a_{ye} = percepatan partikel pada medan listrik

a_{yb} = percepatan partikel pada medan magnet

a_y = jumlah percepatan total

v_y = kecepatan partikel pada sumbu y (medan listrik)

v_x = kecepatan partikel pada sumbu x (medan magnet)

s_y = posisi partikel pada sumbu y (medan listrik)

s_x = posisi partikel pada sumbu x (medan magnet)

rt = muatan (q) per muatan (M)

$\mathcal{E}$ = tegangan yang dipasang per jarak keping *dees*

$\omega r f$ = frekuensi *Cyclotron* [qB/M]

q = muatan proton (C)

B = kuat medan magnet (T)

M = massa proton (Kg)

Lampiran 2

PERHITUNGAN JARI-JARI LINTASAN PARTIKEL BERMUATAN (PROTON) DI DALAM CYCLOTRON SECARA MATEMATIS

- a) Perhitungan jari-jari lintasan partikel dalam *cyclotron*, merupakan hasil substitusi dari persamaan (2.28) $E_k = \frac{1}{2} (q^2 / m) B^2 R_{maks}^2$ dan persamaan (2.30) $E_k = 2 NqV$, sehingga diperoleh persamaan jari-jari sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{\frac{4mNV}{q}} \frac{1}{B} \\ &= \sqrt{\frac{4 \cdot 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ Kg} \cdot 22 \cdot 13 \cdot 10^3 \text{ V}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}}} \frac{1}{1,43 \text{ T}} \\ &= \sqrt{\frac{1913,4544 \cdot 10^{-24}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}}} \frac{1}{1,43 \text{ T}} \\ &= \sqrt{1194,416 \cdot 10^{-5}} \frac{1}{1,43 \text{ T}} \\ &= \sqrt{119,4416 \cdot 10^{-4}} \frac{1}{1,43 \text{ T}} \\ &= \frac{10,93 \cdot 10^{-2}}{1,43 \text{ T}} \\ &= 7,6 \cdot 10^{-2} \text{ m} \\ &= 0,076 \text{ m} \end{aligned}$$

Keterangan m = massa proton (Kg)

N = jumlah putaran gerak partikel bermuatan

(sesuai *output* gambar penelitian)

V = tegangan yang dipasang (V)

Lampiran 3

PERHITUNGAN ENERGI PARTIKEL BERMUATAN (PROTON) DI DALAM CYCLOTRON SECARA MATEMATIS

- a) Perhitungan energi kinetik partikel bermuatan sesuai pada persamaan (2.28), yaitu:

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{2} (q^2 / m) B^2 R_{maks}^2 \\ &= \frac{1}{2} * \frac{(1.602 \cdot 10^{-19} C)^2}{1.6726 \cdot 10^{-27} kg} * (1.43 T)^2 * (0.076 m)^2 \\ &= \frac{1}{2} * \left(\frac{2.5664404 \cdot 10^{-38}}{1.6726 \cdot 10^{-27}} \right) * 2.0449 * 0.005776 \\ &= \frac{1}{2} * 1.5344 \cdot 10^{-11} * 0.011811342 \\ &= \frac{0.018123 \cdot 10^{-11}}{2} J \\ &= 0.0090615 \cdot 10^{-11} J \left(\frac{1 eV}{1.6 \cdot 10^{-19} J} \right) \\ &= 0.0057 \cdot 10^8 eV \\ &= 0.57 \cdot 10^6 eV \\ &= 0.57 MeV \end{aligned}$$

Dengan q = muatan proton (C)

m = massa proton (Kg)

B = kuat medan magnet (T)

R = jari-jari (m)

Lampiran 4

TETAPAN DAN FAKTOR KONVERSI PENTING (TABEL KONSTAN)

➤ Laju cahaya dalam hampa	$c = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$
➤ Besar muatan elektron	$e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$
➤ Tetapan Planck	$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.S}$
➤ Tetapan Boltzmann	$k = 1,381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
➤ Bilangan Avogadro	$N_0 = 6,02 \times 10^{23}/\text{mol}$
➤ Tetapan Coulomb	$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,998 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$
➤ Massa elektron	$m_e = 9,109 \times 10^{-31} \text{ kg} = 0,511 \text{ MeV}/c^2$
➤ Massa proton	$m_p = 1,672 \times 10^{-27} \text{ kg} = 938,3 \text{ MeV}/c^2$
➤ Satuan massa atom ($^{12}\text{C}=12$)	$u = 1,661 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$
➤ Panjang gelombang Compton	$\lambda_c = 0,024 \text{ \AA}$
➤ kT (suhu kamar)	$k \cdot 300^\circ\text{K} = 0,0258 \text{ eV} \approx \frac{1}{40} \text{ eV}$
➤ Tetapan Rydberg	$R_\infty = 1,097373 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$
	$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$
	$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$
	$1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$
	$1 \text{ J} = 6,242 \times 10^{18} \text{ eV}$
	$1 \text{ barn} = 10^{-28} \text{ m}^2$
	$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$

Lampiran 5

LISTING INPUT FILE PROGRAM MATLAB VERSI 5.3.1 DENGAN VARIASI JARAK, $d = 0,04\text{m}$

```
clear all
q=1.602e-19;% muatan elektron
B=1.43;% kuat medan magnet
M=1.6726e-27;% massa proton
V=13000;% tegangan yang dipasang
d=0.04;% jarak antar celah dees
wrf=(q*B)/(M);%frekuensi siklotron
wrf1=1.36e8;% radio frekuensi
epsilon=V/d;
rt=q/M;
v=0;
n=1;
y=0;
T=-0;
Sy=0;
X=0;
TT=(pi/2)*0.02;
for t=0:0.0000000001:0.000001;
    Sy=Sy;
    if Sy<(d/2) | Sy>-(d/2)
        aye(n)=(rt*epsilon)*cos(wrf1*t+TT);
        vy=(-v*cos(wrf*t+T))+((rt*epsilon)/wrf1)*sin(wrf1*t+TT);
        Sy=(-(1/wrf)*v*sin(wrf*t+T))-
        ((rt*epsilon)/(wrf1^2))*cos(wrf1*t+TT);
        ayb(n)=wrf*v*sin(wrf*t+T);
        ay=ayb(n)+aye(n);
        ax=(wrf*v*cos(wrf*t+T));
        vx=v*sin(wrf*t+T);
        Sx=-(1/wrf)*v*cos(wrf*t+T);
    end
    if Sy<-(d/2) | Sy>(d/2)
        aye(n)=0;
        vy=(-v*cos(wrf*t+T));
        Sy=(-(1/wrf)*v*sin(wrf*t+T));
        ayb(n)=wrf*v*sin(wrf*t+T);
        ay=ayb(n);
```

```

ax=(wrf*v*cos(wrf*t+T));
vx=v*sin(wrf*t+T);
Sx=-(1/wrf)*v*cos(wrf*t+T);
end
v=sqrt((vx^2)+(vy^2));
E(n)=0.5*M*(v^2);
R(n)=sqrt((Sx^2)+(Sy^2));
y(n)=Sy;
X(n)=Sx;
Tt(n)=t;
n=n+1;
end
figure(1)
plot(X,y);ylabel('Sumbu Y dalam m');xlabel('Sumbu X dalam m');grid;title('Lintasan Partikel dalam Siklotron')
figure(2)
subplot(311),
plot(Tt,((E/q)/1e6));ylabel('MeV');title('Energy Partikel');grid
subplot(312), plot(Tt,R);title('Jari-jari lintasan');grid
subplot(313),plot(Tt,ayb,Tt,aye);grid;title('Percepatan Medan Magnet dan listrik')
figure(3)
subplot(221),plot(Tt,X);grid;title('Lintasan Sumbu X')
subplot(222),plot(Tt,y);grid;title('Lintasan Sumbu Y')
subplot(223),plot(Tt,ayb);grid;title('Percepatan akibat Medan magnet')
subplot(224),plot(Tt,aye);grid;title('Percepatan akibat Medan listrik')

```

Lampiran 6

LISTING INPUT FILE PROGRAM MATLAB VERSI 5.3.1 DENGAN VARIASI JARAK, $d = 0,06\text{m}$

```
clear all
q=1.602e-19;% muatan elektron
B=1.43;% kuat medan magnet
M=1.6726e-27;% massa proton
V=13000;% tegangan yang dipasang
d=0.06;% jarak antar celah dees
wrf=(q*B)/(M);%frekuensi siklotron
wrf1=1.36e8;% radio frekuensi
epsilon=V/d;
rt=q/M;
v=0;
n=1;
y=0;
T=-0;
Sy=0;
X=0;
TT=(pi/2)*0.02;
for t=0:0.0000000001:0.000001;
    Sy=Sy;
    if Sy<(d/2) | Sy>-(d/2)
        aye(n)=(rt*epsilon)*cos(wrf1*t+TT);
        vy=(-v*cos(wrf*t+T))+((rt*epsilon)/wrf1)*sin(wrf1*t+TT);
        Sy=(-(1/wrf)*v*sin(wrf*t+T))-
        ((rt*epsilon)/(wrf1^2))*cos(wrf1*t+TT);
        ayb(n)=wrf*v*sin(wrf*t+T);
        ay=ayb(n)+aye(n);
        ax=(wrf*v*cos(wrf*t+T));
        vx=v*sin(wrf*t+T);
        Sx=-(1/wrf)*v*cos(wrf*t+T);
    end
    if Sy<-(d/2) | Sy>(d/2)
        aye(n)=0;
        vy=(-v*cos(wrf*t+T));
        Sy=(-(1/wrf)*v*sin(wrf*t+T));
        ayb(n)=wrf*v*sin(wrf*t+T);
        ay=ayb(n);
        ax=(wrf*v*cos(wrf*t+T));
```

```

vx=v*sin(wrf*t+T);
Sx=-(1/wrf)*v*cos(wrf*t+T);
end
v=sqrt((vx^2)+(vy^2));
E(n)=0.5*M*(v^2);
R(n)=sqrt((Sx^2)+(Sy^2));
y(n)=Sy;
X(n)=Sx;
Tt(n)=t;
n=n+1;
end
figure(1)
plot(X,y);ylabel('Sumbu Y dalam m');xlabel('Sumbu X dalam m');grid;title('Lintasan Partikel dalam Siklotron')
figure(2)
subplot(311),
plot(Tt,((E/q)/1e6));ylabel('MeV');title('Energy Partikel');grid
subplot(312), plot(Tt,R);title('Jari-jari lintasan');grid
subplot(313),plot(Tt,ayb,Tt,aye);grid;title('Percepatan Medan Magnet dan listrik')
figure(3)
subplot(221),plot(Tt,X);grid;title('Lintasan Sumbu X')
subplot(222),plot(Tt,y);grid;title('Lintasan Sumbu Y')
subplot(223),plot(Tt,ayb);grid;title('Percepatan akibat Medan magnet')
subplot(224),plot(Tt,aye);grid;title('Percepatan akibat Medan listrik')

```

Lampiran 7

LISTING INPUT FILE PROGRAM MATLAB VERSI 5.3.1 DENGAN VARIASI JARAK, $d = 0,08 \text{ m}$

```
clear all
q=1.602e-19;% muatan elektron
B=1.43;% kuat medan magnet
M=1.6726e-27;% massa proton
V=13000;% tegangan yang dipasang
d=0.08;% jarak antar celah dees
wrf=(q*B)/(M);%frekuensi siklotron
wrf1=1.36e8;% radio frekuensi
epsilon=V/d;
rt=q/M;
v=0;
n=1;
y=0;
T=-0;
Sy=0;
X=0;
TT=(pi/2)*0.02;
for t=0:0.0000000001:0.000001;
    Sy=Sy;
    if Sy<(d/2) | Sy>-(d/2)
        aye(n)=(rt*epsilon)*cos(wrf1*t+TT);
        vy=(-v*cos(wrf*t+T))+((rt*epsilon)/wrf1)*sin(wrf1*t+TT);
        Sy=(-(1/wrf)*v*sin(wrf*t+T))-
        ((rt*epsilon)/(wrf1^2))*cos(wrf1*t+TT);
        ayb(n)=wrf*v*sin(wrf*t+T);
        ay=ayb(n)+aye(n);
        ax=(wrf*v*cos(wrf*t+T));
        vx=v*sin(wrf*t+T);
        Sx=-(1/wrf)*v*cos(wrf*t+T);
    end
    if Sy<-(d/2) | Sy>(d/2)
        aye(n)=0;
        vy=(-v*cos(wrf*t+T));
        Sy=(-(1/wrf)*v*sin(wrf*t+T));
        ayb(n)=wrf*v*sin(wrf*t+T);
        ay=ayb(n);
        ax=(wrf*v*cos(wrf*t+T));
```

```

vx=v*sin(wrf*t+T);
Sx=-(1/wrf)*v*cos(wrf*t+T);
end
v=sqrt((vx^2)+(vy^2));
E(n)=0.5*M*(v^2);
R(n)=sqrt((Sx^2)+(Sy^2));
y(n)=Sy;
X(n)=Sx;
Tt(n)=t;
n=n+1;
end
figure(1)
plot(X,y);ylabel('Sumbu Y dalam m');xlabel('Sumbu X dalam m');grid;title('Lintasan Partikel dalam Siklotron')
figure(2)
subplot(311),
plot(Tt,((E/q)/1e6));ylabel('MeV');title('Energy Partikel');grid
subplot(312), plot(Tt,R);title('Jari-jari lintasan');grid
subplot(313),plot(Tt,ayb,Tt,aye);grid;title('Percepatan Medan Magnet dan listrik')
figure(3)
subplot(221),plot(Tt,X);grid;title('Lintasan Sumbu X')
subplot(222),plot(Tt,y);grid;title('Lintasan Sumbu Y')
subplot(223),plot(Tt,ayb);grid;title('Percepatan akibat Medan magnet')
subplot(224),plot(Tt,aye);grid;title('Percepatan akibat Medan listrik')

```

Lampiran 8

LISTING INPUT FILE PROGRAM MATLAB VERSI 5.3.1 DENGAN VARIASI TEGANGAN YANG TERPASANG, $V = 5 \text{ KV}$

```
clear all
q=1.602e-19;% muatan elektron
B=1.43;% kuat medan magnet
M=1.6726e-27;% massa proton
V=5000;% tegangan yang terpasang
d=0.04;% jarak celah dees
wrf=(q*B)/(M);%frekuensi siklotron
wrf1=1.36e8;% radio frekuensi
epsilon=V/d;
rt=q/M;
v=0;
n=1;
y=0;
T=-0;
Sy=0;
X=0;
TT=(pi/2)*0.02;
for t=0:0.0000000001:0.000001;
    Sy=Sy;
    if Sy<(d/2) | Sy>-(d/2)
        aye(n)=(rt*epsilon)*cos(wrf1*t+TT);
        vy=(-v*cos(wrf*t+T))+((rt*epsilon)/wrf1)*sin(wrf1*t+TT);
        Sy=(-(1/wrf)*v*sin(wrf*t+T))-
        ((rt*epsilon)/(wrf1^2))*cos(wrf1*t+TT);
        ayb(n)=wrf*v*sin(wrf*t+T);
        ay=ayb(n)+aye(n);
        ax=(wrf*v*cos(wrf*t+T));
        vx=v*sin(wrf*t+T);
        Sx=-(1/wrf)*v*cos(wrf*t+T);
    end
    if Sy<-(d/2) | Sy>(d/2)
        aye(n)=0;
        vy=(-v*cos(wrf*t+T));
        Sy=(-(1/wrf)*v*sin(wrf*t+T));
        ayb(n)=wrf*v*sin(wrf*t+T);
        ay=ayb(n);
        ax=(wrf*v*cos(wrf*t+T));
        vx=v*sin(wrf*t+T);
        Sx=-(1/wrf)*v*cos(wrf*t+T);
    end
    v=sqrt((vx^2)+(vy^2));
```

```

E(n)=0.5*M*(v^2);
R(n)=sqrt((Sx^2)+(Sy^2));
y(n)=Sy;
X(n)=Sx;
Tt(n)=t;
n=n+1;
end
figure(1)
plot(X,y);ylabel('Sumbu Y dalam m');xlabel('Sumbu X dalam m');grid;title('Lintasan Partikel dalam Siklotron')
figure(2)
subplot(311), plot(Tt,((E/q)/1e6));ylabel('MeV');
xlabel ('s');title('Energy Partikel');grid
subplot(312), plot(Tt,R);ylabel ('m');
xlabel ('s');title('Jari-jari lintasan');grid
subplot(313),plot(Tt,ayb,Tt,aye);
grid;ylabel ('m/s^2' );xlabel ('s');title('Percepatan Medan Magnet dan Listrik')
figure(3)
subplot(221),plot(Tt,X);grid;ylabel ('m');
xlabel ('s');title('Lintasan Sumbu X')
subplot(222),plot(Tt,y);grid;ylabel ('m');
xlabel ('s');title('Lintasan Sumbu Y')
subplot(223),plot(Tt,ayb);grid;ylabel ('m/s^2');
xlabel ('s');title('Percepatan akibat Medan magnet')
subplot(224),plot(Tt,aye);grid;ylabel ('m/s^2');
xlabel ('s');title('Percepatan akibat Medan listrik')

```

Lampiran 9

LISTING INPUT FILE PROGRAM MATLAB VERSI 5.3.1 DENGAN VARIASI TEGANGAN YANG TERPASANG, $V = 9 \text{ KV}$

```
clear all
q=1.602e-19;% muatan elektron
B=1.43;% kuat medan magnet
M=1.6726e-27;% massa proton
V=9000;% tegangan yang dipasang
d=0.04;% jarak celah dees
wrf=(q*B)/(M);%frekuensi siklotron
wrf1=1.36e8;%radio frekuensi
epsilon=V/d;%medan listrik
rt=q/M;
v=0;
n=1;
y=0;
T=-0;
Sy=0;
X=0;
TT=(pi/2)*0.02
for t=0:0.0000000001:0.000001;
    Sy=Sy;
    if Sy<(d/2) | Sy>-(d/2)
        aye(n)=(rt*epsilon)*cos(wrf1*t+TT);
        vy=(-v*cos(wrf*t+T))+((rt*epsilon)/wrf1)*sin(wrf1*t+TT);
        Sy=(-(1/wrf)*v*sin(wrf*t+T))-
            ((rt*epsilon)/(wrf1^2))*cos(wrf1*t+TT);
        ayb(n)=wrf*v*sin(wrf*t+T);
        ay=ayb(n)+aye(n);
        ax=(wrf*v*cos(wrf*t+T));
        vx=v*sin(wrf*t+T);
```

```

Sx=-(1/wrf)*v*cos(wrf*t+T);
end
if Sy<-(d/2) | Sy>(d/2)
    aye(n)=0;
    vy=(-v*cos(wrf*t+T));
    Sy=(-(1/wrf)*v*sin(wrf*t+T));
    ayb(n)=wrf*v*sin(wrf*t+T);
    ay=ayb(n);
    ax=(wrf*v*cos(wrf*t+T));
    vx=v*sin(wrf*t+T);
    Sx=-(1/wrf)*v*cos(wrf*t+T);
end
v=sqrt((vx^2)+(vy^2));
E(n)=0.5*M*(v^2);
R(n)=sqrt((Sx^2)+(Sy^2));
y(n)=Sy;
X(n)=Sx;
Tt(n)=t;
n=n+1;
end
figure(1)
plot(X,y);ylabel('Sumbu Y dalam m');xlabel('Sumbu X dalam m');grid;title('Lintasan Partikel dalam Siklotron')
figure(2)
subplot(311), plot(Tt,((E/q)/1e6));ylabel('MeV');title('Energy Partikel');grid
subplot(312), plot(Tt,R);title('Jari-jari lintasan');grid
subplot(313),plot(Tt,ayb,Tt,aye);grid;title('Percepatan Medan Magnet dan listrik')
figure(3)
subplot(221),plot(Tt,X);grid;title('Lintasan Sumbu X')
subplot(222),plot(Tt,y);grid;title('Lintasan Sumbu Y')
subplot(223),plot(Tt,ayb);grid;title('Percepatan akibat Medan magnet')
subplot(224),plot(Tt,aye);grid;title('Percepatan akibat Medan listrik')

```

Lampiran 10

LISTING INPUT FILE PROGRAM MATLAB VERSI 5.3.1 DENGAN VARIASI TEGANGAN YANG TERPASANG, V=13 KV

```
clear all
q=1.602e-19;% muatan elektron
B=1.43;% kuat medan magnet
M=1.6726e-27;% massa proton
V=13000;% tegangan yang dipasang
d=0.04;% jarak celah dees
wrf=(q*B)/(M);%frekuensi siklotron
wrf1=1.36e8;%radio frekuensi
epsilon=V/d;%medan listrik
rt=q/M;
v=0;
n=1;
y=0;
T=-0;
Sy=0;
X=0;
TT=(pi/2)*0.02
for t=0:0.0000000001:0.000001;
    Sy=Sy;
    if Sy<(d/2) | Sy>-(d/2)
        aye(n)=(rt*epsilon)*cos(wrf1*t+TT);
        vy=(-v*cos(wrf*t+T))+((rt*epsilon)/wrf1)*sin(wrf1*t+TT);
        Sy=(-(1/wrf)*v*sin(wrf*t+T))-
            ((rt*epsilon)/(wrf1^2))*cos(wrf1*t+TT);
        ayb(n)=wrf*v*sin(wrf*t+T);
        ay=ayb(n)+aye(n);
        ax=(wrf*v*cos(wrf*t+T));
        vx=v*sin(wrf*t+T);
```

```

Sx=-(1/wrf)*v*cos(wrf*t+T);
end
if Sy<-(d/2) | Sy>(d/2)
    aye(n)=0;
    vy=(-v*cos(wrf*t+T));
    Sy=(-(1/wrf)*v*sin(wrf*t+T));
    ayb(n)=wrf*v*sin(wrf*t+T);
    ay=ayb(n);
    ax=(wrf*v*cos(wrf*t+T));
    vx=v*sin(wrf*t+T);
    Sx=-(1/wrf)*v*cos(wrf*t+T);
end
v=sqrt((vx^2)+(vy^2));
E(n)=0.5*M*(v^2);
R(n)=sqrt((Sx^2)+(Sy^2));
y(n)=Sy;
X(n)=Sx;
Tt(n)=t;
n=n+1;
end
figure(1)
plot(X,y);ylabel('Sumbu Y dalam m');xlabel('Sumbu X dalam m');grid;title('Lintasan Partikel dalam Siklotron')
figure(2)
subplot(311), plot(Tt,((E/q)/1e6));ylabel('MeV');title('Energy Partikel');grid
subplot(312), plot(Tt,R);title('Jari-jari lintasan');grid
subplot(313),plot(Tt,ayb,Tt,aye);grid;title('Percepatan Medan Magnet dan listrik')
figure(3)
subplot(221),plot(Tt,X);grid;title('Lintasan Sumbu X')
subplot(222),plot(Tt,y);grid;title('Lintasan Sumbu Y')
subplot(223),plot(Tt,ayb);grid;title('Percepatan akibat Medan magnet')
subplot(224),plot(Tt,aye);grid;title('Percepatan akibat Medan listrik')

```

Lampiran 11

LISTING INPUT FILE PROGRAM MATLAB VERSI 5.3.1 DENGAN VARIASI RADIO FREKUENSI $1,34 \times 10^8$ Hz

```
clear all
q=1.602e-19;% muatan elektron
B=1.43;% kuat medan magnet
M=1.6726e-27;% massa proton
V=13000;% tegangan yang dipasang
d=0.04;% jarak antar celah dees
wrf=(q*B)/(M);%frekuensi siklotron
wrf1=1.34e8;% radio frekuensi
epsilon=V/d;
rt=q/M;
v=0;
n=1;
y=0;
T=-0;
Sy=0;
X=0;
TT=(pi/2)*0.02;
for t=0:0.0000000001:0.000001;
    Sy=Sy;
    if Sy<(d/2) | Sy>-(d/2)
        aye(n)=(rt*epsilon)*cos(wrf1*t+TT);
        vy=(-v*cos(wrf*t+T))+((rt*epsilon)/wrf1)*sin(wrf1*t+TT);
        Sy=(-(1/wrf)*v*sin(wrf*t+T))-
        ((rt*epsilon)/(wrf1^2))*cos(wrf1*t+TT);
        ayb(n)=wrf*v*sin(wrf*t+T);
        ay=ayb(n)+aye(n);
        ax=(wrf*v*cos(wrf*t+T));
        vx=v*sin(wrf*t+T);
        Sx=-(1/wrf)*v*cos(wrf*t+T);
    end
    if Sy<-(d/2) | Sy>(d/2)
        aye(n)=0;
        vy=(-v*cos(wrf*t+T));
        Sy=(-(1/wrf)*v*sin(wrf*t+T));
        ayb(n)=wrf*v*sin(wrf*t+T);
        ay=ayb(n);
        ax=(wrf*v*cos(wrf*t+T));
        vx=v*sin(wrf*t+T);
        Sx=-(1/wrf)*v*cos(wrf*t+T);
    end
    v=sqrt((vx^2)+(vy^2));
    E(n)=0.5*M*(v^2);
    R(n)=sqrt((Sx^2)+(Sy^2));
```

```

        y(n)=Sy;
        X(n)=Sx;
        Tt(n)=t;
        n=n+1;
    end
    figure(1)
    plot(X,y);ylabel('Sumbu Y dalam m');xlabel('Sumbu X dalam m');grid;title('Lintasan Partikel dalam Siklotron')
    figure(2)
    subplot(311),
    plot(Tt,((E/q)/1e6));ylabel('MeV');title('Energy Partikel');grid
    subplot(312), plot(Tt,R);title('Jari-jari lintasan');grid
    subplot(313),plot(Tt,ayb,Tt,aye);grid;title('Percepatan Medan Magnet dan listrik')
    figure(3)
    subplot(221),plot(Tt,X);grid;title('Lintasan Sumbu X')
    subplot(222),plot(Tt,y);grid;title('Lintasan Sumbu Y')
    subplot(223),plot(Tt,ayb);grid;title('Percepatan akibat Medan magnet')
    subplot(224),plot(Tt,aye);grid;title('Percepatan akibat Medan listrik')

```

Lampiran 12

LISTING INPUT FILE PROGRAM MATLAB VERSI 5.3.1 DENGAN VARIASI RADIO FREKUENSI $1,35 \times 10^8$ Hz

```
clear all
q=1.602e-19;% muatan elektron
B=1.43;% kuat medan magnet
M=1.6726e-27;% massa proton
V=13000;% tegangan yang dipasang
d=0.04;% jarak antar celah dees
wrf=(q*B)/(M);%frekuensi siklotron
wrf1=1.35e8;% radio frekuensi
epsilon=V/d;
rt=q/M;
v=0;
n=1;
y=0;
T=-0;
Sy=0;
X=0;
TT=(pi/2)*0.02;
for t=0:0.0000000001:0.000001;
    Sy=Sy;
    if Sy<(d/2) | Sy>-(d/2)
        aye(n)=(rt*epsilon)*cos(wrf1*t+TT);
        vy=(-v*cos(wrf*t+T))+((rt*epsilon)/wrf1)*sin(wrf1*t+TT);
        Sy=(-(1/wrf)*v*sin(wrf*t+T))-
        ((rt*epsilon)/(wrf1^2))*cos(wrf1*t+TT);
        ayb(n)=wrf*v*sin(wrf*t+T);
        ay=ayb(n)+aye(n);
        ax=(wrf*v*cos(wrf*t+T));
        vx=v*sin(wrf*t+T);
        Sx=-(1/wrf)*v*cos(wrf*t+T);
    end
    if Sy<-(d/2) | Sy>(d/2)
        aye(n)=0;
        vy=(-v*cos(wrf*t+T));
        Sy=(-(1/wrf)*v*sin(wrf*t+T));
        ayb(n)=wrf*v*sin(wrf*t+T);
        ay=ayb(n);
        ax=(wrf*v*cos(wrf*t+T));
        vx=v*sin(wrf*t+T);
        Sx=-(1/wrf)*v*cos(wrf*t+T);
    end
    v=sqrt((vx^2)+(vy^2));
    E(n)=0.5*M*(v^2);
    R(n)=sqrt((Sx^2)+(Sy^2));
```

```

        y(n)=Sy;
        X(n)=Sx;
        Tt(n)=t;
        n=n+1;
    end
    figure(1)
    plot(X,y);ylabel('Sumbu Y dalam m');xlabel('Sumbu X dalam m');grid;title('Lintasan Partikel dalam Siklotron')
    figure(2)
    subplot(311),
    plot(Tt,((E/q)/1e6));ylabel('MeV');title('Energy Partikel');grid
    subplot(312), plot(Tt,R);title('Jari-jari lintasan');grid
    subplot(313),plot(Tt,ayb,Tt,aye);grid;title('Percepatan Medan Magnet dan listrik')
    figure(3)
    subplot(221),plot(Tt,X);grid;title('Lintasan Sumbu X')
    subplot(222),plot(Tt,y);grid;title('Lintasan Sumbu Y')
    subplot(223),plot(Tt,ayb);grid;title('Percepatan akibat Medan magnet')
    subplot(224),plot(Tt,aye);grid;title('Percepatan akibat Medan listrik')

```

Lampiran 13

LISTING INPUT FILE PROGRAM MATLAB VERSI 5.3.1 DENGAN VARIASI RADIO FREKUENSI $1,36 \times 10^8$ Hz

```
clear all
q=1.602e-19;% muatan elektron
B=1.43;% kuat medan magnet
M=1.6726e-27;% massa proton
V=13000;% tegangan yang dipasang
d=0.04;% jarak antar celah dees
wrf=(q*B)/(M);%frekuensi siklotron
wrf1=1.36e8;% radio frekuensi
epsilon=V/d;
rt=q/M;
v=0;
n=1;
y=0;
T=-0;
Sy=0;
X=0;
TT=(pi/2)*0.02;
for t=0:0.0000000001:0.000001;
    Sy=Sy;
    if Sy<(d/2) | Sy>-(d/2)
        aye(n)=(rt*epsilon)*cos(wrf1*t+TT);
        vy=(-v*cos(wrf*t+T))+((rt*epsilon)/wrf1)*sin(wrf1*t+TT);
        Sy=(-(1/wrf)*v*sin(wrf*t+T))-
        ((rt*epsilon)/(wrf1^2))*cos(wrf1*t+TT);
        ayb(n)=wrf*v*sin(wrf*t+T);
        ay=ayb(n)+aye(n);
        ax=(wrf*v*cos(wrf*t+T));
        vx=v*sin(wrf*t+T);
        Sx=-(1/wrf)*v*cos(wrf*t+T);
    end
    if Sy<-(d/2) | Sy>(d/2)
        aye(n)=0;
        vy=(-v*cos(wrf*t+T));
        Sy=(-(1/wrf)*v*sin(wrf*t+T));
        ayb(n)=wrf*v*sin(wrf*t+T);
        ay=ayb(n);
        ax=(wrf*v*cos(wrf*t+T));
        vx=v*sin(wrf*t+T);
        Sx=-(1/wrf)*v*cos(wrf*t+T);
    end
    v=sqrt((vx^2)+(vy^2));
    E(n)=0.5*M*(v^2);
    R(n)=sqrt((Sx^2)+(Sy^2));
```

```

        y(n)=Sy;
        X(n)=Sx;
        Tt(n)=t;
        n=n+1;
    end
    figure(1)
    plot(X,y);ylabel('Sumbu Y dalam m');xlabel('Sumbu X dalam m');grid;title('Lintasan Partikel dalam Siklotron')
    figure(2)
    subplot(311),
    plot(Tt,((E/q)/1e6));ylabel('MeV');title('Energy Partikel');grid
    subplot(312), plot(Tt,R);title('Jari-jari lintasan');grid
    subplot(313),plot(Tt,ayb,Tt,aye);grid;title('Percepatan Medan Magnet dan listrik')
    figure(3)
    subplot(221),plot(Tt,X);grid;title('Lintasan Sumbu X')
    subplot(222),plot(Tt,y);grid;title('Lintasan Sumbu Y')
    subplot(223),plot(Tt,ayb);grid;title('Percepatan akibat Medan magnet')
    subplot(224),plot(Tt,aye);grid;title('Percepatan akibat Medan listrik')

```

Lampiran 14

Hal : Penunjukan Pembimbing

Kepada Yth.

1. Bp. Thaibul Fikri Niyartama, M.Si
2. Bp. Drs. Budi Santosa, M.T

Assalamu'alaikum, Wr. Wb

Berdasarkan rapat koordinasi dosen Program Studi Fisika, pada tanggal 20 April 2009 tentang Skripsi/Tugas Akhir, kami meminta Thaibul Fikri Niyartama, M.Si dan Drs. Budi Santosa, M.T untuk dapat menjadi Pembimbing I dan Pembimbing II Skripsi/Tugas Akhir mahasiswa :

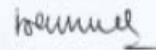
Nama : Dewi Sri Wulansari
NIM : 05620013
Prodi/ Semester : Fisika / IX
Fakultas : Sains dan Teknologi
Tema : " Simulasi Lintasan Partikel Bermuatan di dalam *Cyclotron*"

Demikian surat ini dibuat, kami berharap Bapak/Ibu dapat segera mengarahkan dan membimbing mahasiswa tersebut untuk menyusun Skripsi/Tugas Akhir.

Atas perhatiannya, kami mengucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum, Wr. Wb

Yogyakarta, 06 Oktober 2009
Ketua Program Studi



Drs. Murtono, M.Si
NIP. 196912122000031001

Lampiran 15



BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
PUSAT TEKNOLOGI AKSELERATOR DAN PROSES BAHAN
JL. BABARSARI, PO BOX 6101 YMBB YOGYAKARTA 55201 TEL. (0274)488435-484436 FAX 487824

SURAT KETERANGAN
PENGARAHAN PROTEKSI RADIASI DAN KESELAMATAN KERJA
NO : 078/III/BK2/09

Kepala Bidang Keselamatan dan Kesehatan PTAPB – BATAN menerangkan bahwa :

Nama/Nomor Induk : Dewi Sri Wulansari / 05620013
Tempat, tanggal lahir : Padaherang, 16 Desember 1986
Universitas/Sekolah : UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

telah mengikuti pengarahan PROTEKSI RADIASI dan KESELAMATAN KERJA di Subbid Proteksi Radiasi dan Keselamatan Kerja, maka yang bersangkutan dijinkan untuk melakukan kerja praktek atau penelitian di Laboratorium di lingkungan PTAPB.

Surat keterangan ini berlaku selama waktu yang tercantum dibawah ini dan dibuat untuk melengkapi surat ijin kerja praktek/penelitian di PTAPB bagi nama tersebut diatas, pada :

Bidang / Balai / Bagian : Teknologi Akselerator dan Fisika Nuklir
Judul Penelitian : Simulasi Lintasan Partikel Bermuatan di dalam Siklotron
Pembimbing : Drs. Budi Santoso, MT
Waktu Penelitian / PKL : 7 bulan

Yogyakarta, 06 Maret 2009

KEPALA BIDANG
KESELAMATAN DAN KESEHATAN,

Drs. Mochd. Yazid
NIP 19550418 197903 1 001