

**KAJIAN MATERIAL SUPERKONDUKTOR
 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ UNTUK APLIKASI RANCANG BANGUN
SIKLOTRON DI PSTA-BATAN YOGYAKARTA**

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-1

program Studi Fisika



Disusun Oleh:

RISTI ZULVI ALVIANI
11620031

Kepada

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

2016



PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Nomor : UIN.02/D.ST/PP.01.1/115/2016

Skripsi/Tugas Akhir dengan judul : Kajian Material Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ Untuk Aplikasi Rancang Bangun Siklotron di PSTA-BATAN Yogyakarta.

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :

Nama : Risti Zulvi Alviani

NIM : 11620031

Telah dimunaqasyahkan pada : 05 Januari 2016

Nilai Munaqasyah : A/B

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

TIM MUNAQASYAH :

Ketua Sidang

Prof.Dr.rer.nat. Tri Mardji Atmono
NIP.195806141981031004

Penguji I

Asih Melati, S.Si., M.Sc.
NIP. 198411102011012017

Penguji II

Karmanto, S.Si., M.Sc.
NIP. 19820504 200912 1 005

Yogyakarta, 18 Januari 2016

UIN Sunan Kalijaga

Fakultas Sains dan Teknologi

Dekan





SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Surat Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

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

Nama : Risti Zulvi Alviani

NIM : 11620031

Judul Skripsi : Kajian Material Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ untuk Aplikasi Rancang Bangun
Siklotron di PSTA-BATAN Yogyakarta.

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

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

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 04 Desember 2015

Pembimbing II

Asih Melati, M.Sc

NIP. 19841110 201101 2 017



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Surat Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

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

Nama : Risti Zulvi Alviani

NIM : 11620031

Judul Skripsi : Kajian Material Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ untuk Aplikasi Rancang Bangun
Siklotron di PSTA-BATAN Yogyakarta.

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

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

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 04 Desember 2015

Pembimbing I

Prof. Dr. rer. nat. Tri Mardji Atmono

NIP. 19580614 198103 1 004

SURAT PERSETUJUAN KEAJIANSKRIPSI

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis, sebagai berikut

HALAMAN PERSETUJUAN PSTA-BATAN

SKRIPSI

KAJIAN MATERIAL SUPERKONDUKTOR $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ UNTUK
APLIKASI RANCANG BANGUN SIKLOTRON DI PSTA-BATAN

YOGYAKARTA

Disusun Oleh :

Risti Zulvi Alviani
11620031

Telah disetujui dan disahkan oleh

Pusat Sains dan Teknologi Akselerator
(PSTA-BATAN Yogyakarta)

Kepala BFP PSTA-BATAN

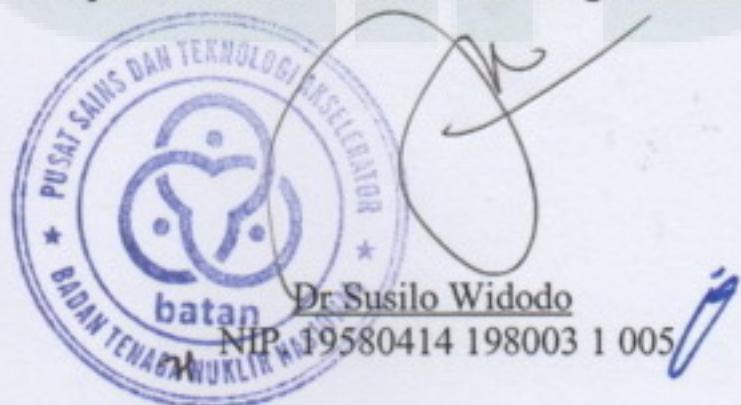
Pembimbing

Ir. Slamet Santoso, M.Sc.
NIP. 19580223 197903 1 003

Prof. Dr. Rer. nat. Tri Mardji Atmono
NIP. 19580614 198103 1 004

Mengetahui,

Kepala Pusat Sains dan Teknologi Akselerator



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian – bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah. saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi – sanksi lainnya sesuai dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Yogyakarta, 07 Desember 2015

Yang menyatakan



MOTTO

“LIFE IS A BEAUTIFUL STRUGGLE”

(Risti Z Alviani)

“Mengetahui apa yang tidak bisa kita lakukan akan menjadi modal utama untuk menentukan langkah kita kedepan”

(my Attitude my choice)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Atas segala Karunia dan Ridho Allah Subhanahu Wata'ala

Karya ini ku persembahkan untuk:

Ibuiku, Marfu'ah

Seorang ibu yang luar biasa, hebat dan penuh semangat dalam melayani suami
dan anak-anaknya.

Abaiku, Ahmad Sudiqto

Seorang bapak yang “the best” dan penuh perjuangan untuk selalu
membahagiakan keluarga.

Kakakku, Anis Hanifatur Rosyida

Terima kasih untuk semua pengorbanan dan do'a-do'a mu.

Keponakanku, Fachria Mumtaz Salsabila

Keponakanku yang cantik, Cerdas dan ceria, terimakasih sudah menjadi
motivasi yang luar biasa.

Calon Suamiku, yang belum diketahui identitasnya.

Sahabat beserta orang-orang yang tersayang dan tercinta

Dan untuk almamaterku yang tercinta

Program Studi Fisika

Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Segala puji syukur atas kehadirat Allah S.W.T. Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang yang telah melimpahkan berkah, karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Kajian Material Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ untuk Aplikasi Rancang Bangun Siklotron di PSTA-BATAN Yogyakarta ”. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan bagi Nabi Muhammad S.A.W. yang telah mengantarkan kita sampai pada zaman yang penuh keberkahan.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak lepas dari adanya kerjasama, bantuan, bimbingan dan nasehat dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segenap kerendahan hati pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih pada pihak-pihak berikut :

1. Bapak Dr. Susilo Widodo, selaku Kepala Pusat Sains dan Teknologi Akselerator-Badan Tenaga Nuklir Nasional (PSTA-BATAN).
2. Bapak Ir. Slamet Santosa, M.Sc, selaku Kepala BFP PSTA-BATAN yang senantiasa memberikan semangat, arahan, serta bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Frida Agung Rakhmadi, M.Sc selaku Ketua Program Studi Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga yang telah memberikan izin dalam penyusunan skripsi.

4. Bapak Prof. Dr. Rer. Nat. Tri Mardji Atmono, selaku pembimbing pertama yang telah meluangkan waktu dan senantiasa memberikan ilmu, arahan, motivasi dalam membimbing penulis sehingga skripsi ini dapat dilaksanakan dan diselesaikan dengan baik.
5. Ibu Asih Melati, M.Sc, selaku pembimbing Kedua dan penasehat Akademik penulis yang telah meluangkan waktu untuk mengoreksi, memberikan saran dan masukan untuk penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Bapak pramujo, Bapak Sugeng yang telah ikut serta membantu dalam pelaksanaan penelitian di PSTA-BATAN Yogyakarta.
7. Abah dan Ibu beserta keluarga tercinta yang telah melimpahkan kasih sayang dan doa kepada penulis.
8. Buat adek-adekku Ulpha, Nia dan Tatin dari UNDIP yang cantik jelita dan bawel yang senantiasa memberikan nasihat, semangat, motivasi dan memberikan pelajaran tentang sebuah arti kesabaran dan keikhlasan.
9. Teman-teman kos “Syantik” Ummi Dj, kakak Uchyl dan dek Urfah terima kasih telah memberikan perhatian, tawa dan kasih sayang layaknya ibu dan kakak disaat sedih maupun senang. *Love you more guys !*
10. Mas Dwista dari ITS, Herdy, Hendy, dedek Azka, mbak Riyana, Nikmah, Arika yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan segalanya untuk membantu penelitian penulis.

11. Semua staf Tata Usaha dan Karyawan dilingkungan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu terselesaikannya skripsi ini.
12. Saudara dan sahabatku Fisika 2011 serta semua pihak yang tidak dapat penulis tulis satu persatu, penulis selalu menempatkan kalian dalam hati dan ingatan tentang semua kebaikan yang telah kalian berikan.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis menjadi amalan yang akan mendapatkan balasan dari Allah S.W.T. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Skripsi ini masih banyak terdapat kesalahan, kekurangan dan kelemahan. Penulis berharap semoga Skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca dan seluruh praktisi yang berhubungan dengan Skripsi ini (*Amiin Yaa Rabbal 'Alamiin*).

Yogyakarta , 14 Desember 2015

Penulis

Risti Zulvi Alviani
NIM. 11620031

**KAJIAN MATERIAL SUPERKONDUKTOR $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ UNTUK
APLIKASI RANCANG BANGUN SIKLOTRON DI PSTA-BATAN
YOGYAKARTA**

**Risti Zulvi Alviani
11620031**

INTISARI

Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO-123) merupakan salah satu superkonduktor yang memiliki temperatur kritis tinggi yaitu $T_c \approx 93$ K yang dapat didinginkan dengan nitrogen cair yang mempunyai titik didih ≈ 77 K. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati uji efek *meissner* sebagai karakteristik material superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ untuk ditunjukkan sifat superkonduktivitasnya, melakukan pengamatan struktur morfologi permukaan beserta kandungan unsur menggunakan teknik SEM-EDX, dan melakukan kajian superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ untuk aplikasi medan magnet pada siklotron di PSTA-BATAN Yogyakarta. Hasil pengamatan superkonduktifitas material superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ menunjukkan adanya efek *meissner* yang ditandai dengan melayangnya (levitasi) magnet diatas material superkonduktor dengan jarak yang berbeda-beda setelah diberikan medan magnet luar sebesar 25 G, 50 G, 75 G dan 100 G. material superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ setelah dianalisis menggunakan teknik SEM memiliki mikrostruktur morfologi yang tidak beraturan dengan rata-rata ukuran butir $\approx 3,575$ μm . Berdasarkan analisis EDX, material superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ memiliki kandungan unsur C, O, Co, Y dan Ba. Masing-masing memiliki presentase 25.84% berat, 18.50% berat, 02.81%, 10.57% berat, 31.60% berat. Berdasarkan hasil kajian teoritis medan magnet untuk siklotron menggunakan material superkonduktor $YBa_2Cu_3O_7$. Material tersebut memiliki potensial yang dapat digunakan untuk membangkitkan medan magnet pada akselerator siklotron dengan kondisi diameter kawat 5 mm yang memiliki temperatur kritis (T_c) = 90 K, arus kritis (I_c) = 222.215.93 A, medan magnet kritis (B_c) = 8,88 T setelah didinginkan pada temperatur 60 K yang dililitkan pada pole besi berdiameter 910 mm. Medan magnet siklotron superkonduktor dirancang untuk mengoperasikan arus 1000 A untuk menghasilkan medan magnet > 7 T sehingga mampu menghasilkan energi kinetik partikel sebesar 200 MeV.

Kata kunci : Efek *Meissner*, Medan Magnet, SEM-EDX, Siklotron, Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO).

**STUDY MATERIAL SUPERCONDUCTING $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ FOR
APPLICATIONS DESIGN CYCLOTRON IN PSTA-BATAN
YOGYAKARTA**

**Risti Zulvi Alviani
11620031**

Abstract

Superconducting $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO-123) is one of the superconducting critical temperature as high as $T_c \approx 93$ K which can be cooled with liquid nitrogen having a boiling point ≈ 77 K. This study aims to observe the Meissner effect as a test of the material characteristics of superconducting $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ to show the nature of superconductivityobserving the structure of the surface morphology and element content using SEM-EDX technique, and conduct studies of superconducting $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ for the application of a magnetic field on the cyclotron at the PSTA-BATAN Yogyakarta. superconducting material when analyzed using SEM techniques have irregular morphology microstructure with an average grain size $\approx 3,575$ μm . Based on EDX analysis, the superconductor material $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ contains the elements C, O, CO, Y and Ba. Each has a percentage of 25,84% by weight, 18,50 wt%, 02,81%, 10,57% by weight, 31,60% by weight. Based on the results of the theoretical study of the cyclotron uses a magnetic field to a superconductor material $YBa_2Cu_3O_7$. These materials have the potential that can be used to generate a magnetic field in a cyclotron accelerator with the conditions of 5 mm diameter wire which has a critical temperature (T_c) = 90 K, the critical current (I_c) = 22.221.593 A, the critical magnetic field (B_c) = 8.88 T after cooling at 60 K are wound on an iron pole diameter of 910 mm. The magnetic field superconducting cyclotron is designed to operate current 1000 A to generate a magnetic field > 7 T so as to produce a particle kinetic energy of 200 MeV.

Keywords: Meissner Effect, Magnetic fields, SEM-EDX, Cyclotron, Superconducting $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO).

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI	iii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PSTA-BATAN	v
HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	vi
MOTTO	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
INTISARI	xii
ABSTRACT	xiii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	9
1.3 Tujuan Penelitian	9
1.4 Batasan Penelitian	10
1.5 Manfaat Penelitian	11
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	12
2.1 Studi Pustaka.....	12
2.2 Landasan Teori.....	14
2.2.1 Superkonduktor	14
2.2.2 Temperatur Kritis Pada Bahan Superkonduktor (T_c).....	16
2.2.3 Medan Magnet Kritis	19
2.2.4 Efek Meissner	20
2.2.5 Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (Y-123).....	26
2.2.6 Akselerator Partikel.....	32
2.2.7 Akselerator Partikel Jenis Siklotron.....	33

2.2.8 Prinsip Kerja Siklotron.....	35
2.2.9 Karakterisasi Material Menggunakan Teknik SEM.....	38
2.2.9 Analisis Menggunakan EDX	40
BAB III METODE PENELITIAN.....	42
3.1 Alokasi Waktu Penelitian.....	42
3.1.1 Waktu Penelitian	42
3.1.2 Tempat Penelitian.....	42
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	42
3.3 Prosedur Penelitian.....	43
3.3.1 Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$	43
3.3.2 Persiapan Alat dan Bahan	43
3.3.3 Uji Efek <i>Meissner</i>	44
3.3.4 Karakterisasi Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$	45
3.3.5 Proses Kajian Material Superkonduktor untuk Aplikasi Medan Magnet	46
3.4 Metode Analisa Data.....	47
3.4.1 Uji Efek <i>Meissner</i>	47
3.4.2. Karakterisasi Morfologi $YBa_2Cu_3O_{7-x}$	47
3.4.3 Karakterisasi Kandungan Unsur $YBa_2Cu_3O_{7-x}$	47
3.4.4 Melakukan Kajian Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ untuk aplikasi medan magnet.....	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Identifikasi Superkonduktifitas $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ menggunakan teknik uji efek <i>meissner</i>	50
4.2 Analisis superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ menggunakan SEM dan EDX	54
4.1 Kajian Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ untuk Aplikasi Medan Magnet pada siklotron	60
BAB V PENUTUP	79
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran.....	81
DAFTAR PUSTAKA	82
LAMPIRAN.....	88

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1 Bahan superkonduktor temperatur kritis rendah.....	18
Tabel 2.2 Bahan superkonduktor temperatur kritis tinggi beserta struktur kristal	31
Tabel 3.1 Alat-alat Penelitian.....	42
Tabel 3.2 Bahan-bahan Penelitian.....	42
Tabel 4.1 Pengamatan Efek <i>Meissner</i>	50
Tabel 4.2 Hasil Kuantitatif EDX superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$	58
Tabel 4.3 Parameter utama pada siklotron (KIRAMS-30)	68
Tabel 4.4 Karakteristik $NbTi$ pada siklotron VECC	69
Tabel 4.5 Spesifikasi dari koil magnet menurut KIRAMS-120.....	76
Tabel 4.6 Contoh Isotop yang dihasilkan dari penembakan target oleh energi proton rendah dan menengah beserta reaksi peluruhan.....	78

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Gejala Levitasi.....	2
Gambar 1.2 Kereta MAGLEV	3
Gambar 2.1 Penemuan Bahan Superkonduktor	16
Gambar 2.2 Grafik Hubungan Antra Resistansi dan Temperatur pada bahan Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$	17
Gambar 2.3 <i>Penetration Depth</i>	21
Gambar 2.4 Efek <i>Meissner</i>	22
Gambar 2.5 Skema ilustrasi dari penyelarasan dipol atom untuk bahan ferromagnetik	23
Gambar 2.6 konfigurasi dipol atom untuk bahan diamagnetik dengan dan tanpa medan magnet luar	24
Gambar 2.7 konfigurasi dipol atom dengan dan tanpa medan magnet luar untuk bahan paramagnetik.....	25
Gambar 2.8 Struktur <i>Perovskite</i>	27
Gambar 2.9 Struktur Kristal dari $YBa_2Cu_3O_{7-x}$	27
Gambar 2.10 Grafik Pengaruh Kandungan Oksigen terhadap Temperatur Kritis pada Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$	29
Gambar 2.11 Struktur Kristal $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (a). <i>Orthorhombic</i> , (b). <i>Tetragonal</i>	29
Gambar 2.12 Profil Proses Pembakaran pada saat <i>Sintering</i>	31
Gambar 2.13 Siklotron Pertama oleh Ernest O. Lawrence	34
Gambar 2.14 Komponen Siklotron Klasik.....	34
Gambar 2.15 Ilustrasi Medan Magnet pada Siklotron	35
Gambar 2.16 Hamburan elektron pada sampel	39
Gambar 2.17 Hamburan elektron yang jauh pada sampel	41
Gambar 3.1 Prosedur Penelitian.....	43
Gambar 3.2 Tahap uji efek <i>meissner</i> pada superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$	44

Gambar 3.3 Tahap karakterisasi superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$	45
Gambar 3.4 Proses kajian superkonduktor untuk aplikasi medan magnet	46
Gambar 3.5 Proses desain rancang bangun sikloton magnet menggunakan kawat superkonduktor	46
Gambar 4.1 Efek <i>Meissner</i> pada superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$	51
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara kuat medan magnet (G) dengan jarak (mm) Levitasi diatas superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$	51
Gambar 4.3 Struktur Kristal pada superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$	53
Gambar 4.4 Distribusi fluks Magnet superkonduktor.....	53
Gambar 4.5 Hasil Citra SEM pada permukaan superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ dengan menggunakan perbesaran 5.000 kali	55
Gambar 4.6 Hasil kualitatif EDX superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$	57
Gambar 4.7 <i>Prototype</i> lilitan koil superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$	62
Gambar 4.8 Grafik hubungan energi kinetic (MeV) dengan Besarnya medan magnet (T).....	64
Gambar 4.9 Medan magnet rata-rata disepanjang medan <i>isochronous</i> sebagai fungsi dari radius	65
Gambar 4.10 Phase ekskursi untuk partikel versus radius rata-rata.....	66
Gambar 4.11 Siklotron KIRAMS-30	67
Gambar 4.12 Komponen magnet dengan sistem pengiriman kriogenik	70
Gambar 4.13 Sistem pendingin kumparan superkonduktor pada IBA C400 produksi SIGMAPHI <i>accelerator technology</i>	71
Gambar 4.14 Medan magnet rata-rata disepanjang medan <i>isochronous</i> sebagai fungsi radius	72
Gambar 4.15 Ketergantungan Radial dari frekuensi orbit ion dan fase RF dalam menghasilkan medan magnet.....	73
Gambar 4.16 Desain magnet siklotron superkonduktor (a). tabung vakum, (b). Desain Superkonduktor magnet, dan (c). desain koil dan sistem pendingin	74
Gambar 4.17 <i>Cross Section</i> desain koil superkonduktor pada siklotron	75

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1 Menghitung besarnya medan magnet dengan variasi Energi Kinetik 89

Lampiran 2 Dokumentasi peralatan dan bahan 111

BAB I

PENDAHULUAN

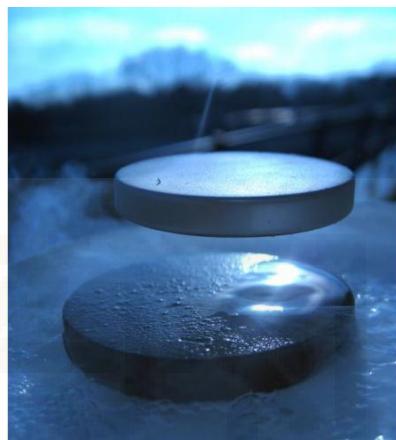
1.1 Latar Belakang Masalah

Beberapa dekade belakangan ini Superkonduktor menjadi topik pembicaraan dan penelitian yang sangat popular. Sejak ditemukan superkonduktivitas oleh seorang fisikawan Belanda Heike Kamerlingh Onnes dari Universitas Leiden pada tahun 1911, pada waktu itu Onnes mulai mempelajari sifat-sifat listrik dari logam pada suhu yang sangat rendah karena telah diketahui bahwa hambatan suatu logam akan turun ketika didinginkan di bawah suhu ruang. Dengan tidak adanya hambatan maka arus dapat mengalir tanpa kehilangan energi, jika hambatan menjadi nol maka tidak ada energi yang hilang atau terbuang menjadi panas pada saat arus mengalir. Sehingga pada saat kondisi sifat superkonduktor, bahan-bahan ini mempunyai kemampuan untuk menghantarkan arus searah (DC) yang besar tanpa adanya hambatan. (Ari, *et., al.*, 2000).

Sejak ditemukannya superkonduktivitas banyak para ilmuwan dan para teknisi berusaha mencari aplikasi yang dapat dimanfaatkan dari sifat-sifat unik superkonduktor. Dengan Karakteristik superkonduktor yang menghasilkan hambatan listrik bernilai nol, medan magnet yang dimiliki bernilai nol dan mengalami efek *meissner*.

Penolakan medan magnetik eksternal secara sempurna oleh superkonduktor disebut sebagai efek *meissner*. Fenomena levitasi (melayang) berdasarkan efek *meissner* sering digunakan sebagai demonstrasi untuk

mengetahui superkonduktivitas suatu material. Gambar levitasi superkonduktor sebagai berikut:



Gambar 1.1. Gejala Levitasi

Gejala levitasi ini salah satunya dimanfaatkan dalam pembuatan kereta supercepat, sebuah kendaraan transportasi perkereta apian yang dapat dibuat melayang pada magnet superkonduktor yang kuat, hampir menghilangkan gesekan antara kereta api dan jalurnya. Sebuah *landmark* untuk penggunaan komersial teknologi *maglev* terjadi pada tahun 1990 ketika memperoleh sebuah proyek yang didanai secara nasional di Jepang. Menteri Transportasi pembangunan resmi uji jalur Yamanashi Maglev yang dibuka pada tanggal 3 April 1997. Pada bulan Desember 2003, uji kendaraan MLX01 mencapai kecepatan 361 mph (581 kph). Baru-baru ini di Tokyo Selasa, 21 April 2015, melakukan uji kereta MAGLEV (*MAGnetically LEVitated trains*) kecepatannya mencapai kecepatan yang luar biasa sampai 603 kph (375 mph), dan memecahkan rekor sebagai kereta tercepat di dunia (www.dailymail.co.uk/wires/ap/article-3048347).



Gambar 1.2. Kereta MAGLEV (*MAGnetically LEVitated trains*)

Prospek untuk perkembangan aplikasi energi meningkat seiring ditemukannya bahan superkonduktor suhu tinggi (*High Temperature Superconductors*). Penelitian ini mengkaji salah satu superkonduktor suhu tinggi yaitu supekonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$. Hal ini dikarenakan temperatur kritis (T_c) $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ relatif tinggi ≈ 92 Kelvin atau $T_c > 77K$ (di atas titik didih Nitrogen Cair 77 K). Temperatur kritis (T_c) merupakan suhu transisi suatu material dari keadaan normal (memiliki resistivitas listrik = R) ke keadaan superkonduktor yaitu keadaan R=0. $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ terdiri atas *Ytrium Barium copper oxide* dengan perbandingan $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ adalah 1:2:3 sehingga, superkonduktor ini disebut superkonduktor 123. Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ merupakan tembaga oksida yang berasal dari komposit logam untuk kali pertama superkonduktor memiliki temperatur kritis yang dapat didinginkan dalam nitrogen cair ≈ 77 K, yang mudah untuk digunakan dan lebih murah dibandingkan dengan pendinginan menggunakan helium cair.

Telah dijelaskan dalam firman Allah S.W.T pada Q.S. Ar-Ra'd ayat 17 yakni :

أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَالَتْ أُودِيَةً بِقَدْرِهَا فَأَخْتَمَ الْسَّيْلُ زَبَدًا
 رَابِيًّا وَمِمَّا يُوْقِدُونَ عَلَيْهِ فِي النَّارِ أَبْيَاعَةً حِلْيَةً أَوْ مَتَنِعٍ زَبَدًا مِثْلُهُ وَ
 كَذَلِكَ يَضْرِبُ اللَّهُ الْحَقَّ وَالْبَطِلَ فَمَا الْزَبَدُ فِي ذُهْبٍ جُفَاءً وَأَمَا
 مَا يَنْفَعُ النَّاسَ فَيَمْكُثُ فِي الْأَرْضِ كَذَلِكَ يَضْرِبُ اللَّهُ الْأَمْثَالَ

Artinya : “Allah telah menurunkan air (hujan) dari langit, maka mengalirlah air di lembah-lembah menurut ukurannya, maka arus itu membawa buih yang mengambang. Dan dari apa (logam) yang mereka lebur dalam api untuk membuat perhiasan atau alat-alat, ada (pula) buihnya seperti buih arus itu. Demikianlah Allah membuat perumpamaan (bagi) yang benar dan yang bathil. Adapun buih itu, akan hilang sebagai sesuatu yang tak ada harganya; adapun yang memberi manfaat kepada manusia, maka ia tetap di bumi. Demikianlah Allah membuat perumpamaan-perumpamaan.”(QS.ar-Ra’d : 17)

Menurut penjelasan dari imam syech al-Hafidz Ibnu Katsir ayat yang mulia ini memiliki dua perumpamaan yaitu untuk menggambarkan kekokohan dan keabadian Al-Haq dan untuk menggambarkan kebinasaan dan kefanaan Al-Bathil. “ dan dari apa (logam) yang mereka lebur dalam api”, dari lafadz “Yuuqidiuna (lebur)” dapat diperumpamakan bahwa yang dilebur berupa logam yang dikeluarkan dalam bumi seperti emas, perak dan tembaga untuk dijadikan barang perhiasan atau alat-alat yang diperlukan (Imam Jalaluddin Al-Mahalliy & Imam Jalaluddin As-Suyuthi, 1990).

“Allah telah menurunkan (hujan) dari langit...” menurunkan merupakan arti dari *Anzala*, Allah menurunkan (*Anzala*) air dan bukan menciptakan (*Kholaqo*) air, air dalam ayat ini merupakan hujan. Karena Allah menciptakan langit dan bumi itu sudah dengan isinya contoh : air, tanaman, hewan, batu, angin, bintang, dan lain-lain. Hujan bukan diciptakan melainkan disikluskan dari air laut yang panas dan menguap menjadi awan lalu jadi butiran air, maka dari itu Allah turunkan air hujan ke daerah-daerah yang kekeringan atau yang membutuhkan air menurut Allah. Kalau hujan diciptakan berarti dibumi tidak ada air, lalu Allah ciptakan air hujan untuk menghidupi kehidupan yang ada dibumi. Tetapi pada kenyatannya dibumi ada air dan berlimpah, diturunkan-Nya hujan merupakan Rahmat Allah untuk menyirami tempat-tempat kekeringan yang kekurangan air, tempat-tempat yang membutuhkan air bersih, agar hamba-hamba-Nya bersyukur.

Allah S.W.T menciptakan alam dan seisinya untuk kepentingan manusia karena manusia telah dijadikan khalifah dimuka bumi. Sebagai khalifah dibumi manusia dibekali ilmu dan teknologi bukan materi kebendaan ataupun keturunan yang menjadi pegangan. Jika bumi mati maka tidak ada yang dapat dimanfaatkan, maka dari itu dalam kehidupan manusia tidak dapat lepas dari tuntutan ilmu baik ilmu agama maupun ilmu pengetahuan dan teknologi. Ilmu hanya diberikan kepada manusia yang mau berusaha memanfaatkan kelebihan yang dimiliki dari makhluk hidup yang lain yaitu berupa akal. Akal digunakan untuk memahami banyak macam peristiwa yang ada dikehidupan sehari-hari (Ainiah, 2008).

Allah S.W.T berfirman pada Q.S Ar-Rum 30:24 :

وَمِنْ ءَايَاتِهِ يُرِيكُمُ الْبَرْقَ خَوْفًا وَطَمَعًا وَيَنْزِلُ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَيُحْيِ
بِهِ الْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِقَوْمٍ يَعْقِلُونَ

﴿٢٤﴾

Artinya: "Dan diantara Tanda-tanda (kekuasaan)-Nya. Ia memperlihatkan kepadamu kilat untuk ketakutan dan harapan dan ia menurunkan air (hujan) dari langit, maka ia dengan air hujan itu menghidupkan (menyuburkan) kami sesudah ia mati (kering). Sungguh pada yang demikian itu banyak tanda-tanda bagi mereka yang mempergunakan akal." (Q.S. ar-Rum : 24)

Dari lafadz *Ya'qiluun* (akal), Dengan kata lain akallah makhluk Tuhan yang tertinggi dan akallah yang membedakan manusia dari binatang dan makhluk Tuhan lainnya. Karena akalnya manusia bertanggung jawab atas perbuatan-perbuatannya. Uraian di atas mengimplikasikan bahwa akal mempunyai posisi yang begitu penting dalam kehidupan manusia, sehingga dengan akal manusia mampu menangkap realitas, selanjutnya terjadi proses pemikiran yang lebih dalam. Manusia dengan akalnya mampu berkreasi lebih dibanding dengan makhluk lainnya. Begitulah tingginya kedudukan akal dalam ajaran Islam, tinggi bukan hanya dalam soal-soal keduniaan saja tetapi juga dalam soal-soal agama. Penghargaan tinggi terhadap akal ini sejalan pula dengan ajaran Islam lain yang erat hubungannya dengan akal, yaitu menuntut ilmu (Ainiah, 2008).

Seiring dengan meningkatnya perkembangan teknologi di bidang sumber pemberdayaan energi, salah satu aplikasi dari bahan superkonduktor yaitu dapat dimanfaatkan dalam bidang teknologi akselerator. Aplikasi superkonduktor digunakan untuk membuat suatu medan magnet yang besar dengan arus yang relatif kecil, contohnya yaitu akselerator siklotron. Siklotron merupakan piranti untuk mempercepat gerak partikel bermuatan listrik. Siklotron dikembangkan pada tahun 1930 oleh E. O. Lawrence (1901 -1958), dengan menggunakan sebuah medan magnetik untuk menjaga agar ion-ion bermuatan (biasanya proton) bergerak dalam lintasan melingkar. Siklotron merupakan alat untuk mempercepat partikel bermassa besar seperti: proton, deuteron dan partikel-partikel alpha, yang terdiri dari dua ruang semisilinder yang ditempatkan dalam medan magnet.

Pada umumnya desain siklotron yang sudah ada di Indonesia masih menggunakan kawat listrik yang terbuat dari logam biasa misal tembaga, belum banyak yang memanfaatkan kawat yang terbuat dari material superkonduktor seperti halnya di Negara-negara maju seperti Russia, Hindia, Japan, Korea, Belgia, Sweden dan Jerman. Di Negara-negara maju desain siklotron untuk mempercepat partikel sudah mencapai energi 250 MeV (Kolkata, Hindia) dengan memanfaatkan kawat yang terbuat dari material superkonduktor.

Saat ini di Pusat Sains dan Teknologi Akselerator Badan Tenaga Nuklir Nasional (PSTA-BATAN) Yogyakarta telah merancang akselerator siklotron yang diberi nama DECY-13 dengan output 13 MeV. Rencana dari pembuatan akselerator siklotron tersebut adalah untuk meningkatkan energi dari partikel yang dipercepat. Partikel tersebut akan ditembakkan pada bahan target yang cocok

untuk produksi radionuklida pemancar positron. Radionuklida pemancar positron tersebut dapat dihasilkan dari reaksi-reaksi (p, α) , (p, n) , $(p, 2n)$, $(p, 4n)$ atau (d, n) partikel tersebut akan digunakan untuk membuat radioisotop yang nantinya akan dimanfaatkan dalam diagnosa penyakit tumor menggunakan teknologi PET (*Positron Emission Tomography*).

Sebuah era baru diagnosis kedokteran nuklir di Indonesia telah dimulai dengan teknologi *Positron Emission Tomography* (PET). Teknologi PET ini tidak dapat dipisahkan dengan teknologi siklotron, karena radionuklida pemancar positron yang digunakan dalam pencitraan PET dihasilkan dari suatu reaksi nuklir dari penembakan partikel bermuatan yang dipercepat dengan menggunakan siklotron (Hari & Silakhuddin, 2013).

Pada umumnya siklotron menggunakan medan magnet untuk memfokuskan gerak partikel dan membelokkan partikel menuju target pada saat ekstraksi. Medan magnet pada siklotron ditimbulkan dari elektromagnet dimana arus listrik yang dibutuhkan berkisar 30 sampai dengan 50 Ampere untuk memperoleh suatu medan magnet dengan kekuatan 1 sampai dengan maksimal 2 tesla. Dengan memanfaatkan superkonduktor akan memperoleh medan magnet yang sangat besar.

Dalam kajian ini akan dipelajari superkonduktor yang bisa dibeli secara komersial, superkonduktor klasik adalah $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ dengan sistem pendingin yang bisa dicapai dengan nitrogen cair. Bertitik tolak dari sampel yang kecil itu maka akan direncanakan untuk ditunjukkan efek *meissner* dan sifat-sifat superkonduktor tersebut dengan dikarakterisasi menggunakan teknik SEM-EDX untuk diketahui bentuk mikrostruktur dan kandungan unsurnya. Kemudian

melakukan kajian pemanfaatan material superkonduktor untuk aplikasi medan magnet pada siklotron supaya dapat menghasilkan medan magnet yang besar dengan arus yang kecil. Dengan menggunakan kawat superkonduktor untuk menggantikan kawat listrik, maka arus yang dapat ditransmisikan akan jauh meningkat daripada menggunakan kawat listrik biasa. Dengan superkonduktor juga dapat dimungkinkan untuk menghasilkan medan magnet yang besar.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dikemukakan pada latar belakang, dapat dirumuskan permasalahan terkait sebagai berikut:

- a. Belum diketahui apakah superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ menunjukkan gejala *levitation* (melayang) pada saat uji efek *meissner*.
- b. Karakterisasi superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ menggunakan teknik SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan EDX (*Electron Dispersive Analysis X-Ray*)
- c. Analisa superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ untuk aplikasi medan magnet pada rancangan bangunan siklotron di PSTA-BATAN.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah:

- a. Mengamati uji efek *meissner* sebagai karakteristik superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$.
- b. Melakukan analisis mikrostruktur morfologi dan komposisi unsur yang terkandung pada superkonduktor

- c. $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ menggunakan teknik SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan EDX (*Electron Dispersive Analysis X-Ray*)
- d. Melakukan kajian superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ untuk aplikasi medan magnet pada rancang bangun siklotron.

1.4 Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi oleh beberapa hal sebagai berikut :

- a. Material superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ diperoleh secara komersial dari perusahaan CAN SUPERCONDUCTORS, s.r.o. *Czech Republic*.
- b. Sampel berupa *disc* yang memiliki temperatur kritis 90 K (-183⁰C) dengan diameter 22 mm dan tebal 3 mm.
- c. Uji Material superkonduktor akan dilakukan dengan uji efek meissner dan analisis dengan teknik SEM dan EDX.
- d. Mengetahui bentuk dari morfologi superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ menggunakan teknik SEM serta komposisi unsur superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ secara kualitatif dan kuantitatif menggunakan teknik EDX.
- e. melakukan kajian dari superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ untuk aplikasi medan magnet solenoid yang dibutuhkan pada rancang bangun siklotron.
- f. Menghitung medan magnet untuk menghasilkan energi > 13 MeV yaitu 30 MeV–200 MeV.
- g. Penelitian ini dilakukan sebagai langkah awal untuk dilakukan penelitian yang selanjutnya.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini ada 2 bagian yaitu:

a. Manfaat untuk penulis :

1. Dapat memberikan pengetahuan tentang karakteristik superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ yang mampu mengalami *levitation* (melayang) dengan uji efek *Meissner*.
2. Memberikan informasi tentang mikrostruktur morfologi Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ menggunakan teknik SEM dan prosentase kandungan unsur yang terkandung dalam superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ menggunakan teknik EDX.

b. Manfaat untuk PSTA-BATAN :

1. Hasil penelitian dapat dijadikan referensi tentang penggunaan superkonduktor dalam bidang energi yaitu sebagai penghasil medan magnet untuk siklotron yang diindonesia belum dikembangkan.
2. Hasil penelitian ini juga dapat memberikan informasi dan referensi untuk penelitian lanjutan mengenai superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ atau dijadikan acuan untuk kajian-kajian superkonduktor suhu tinggi yang lain.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil karakterisasi dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan diantaranya :

1. Material superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ memberikan efek *meissner* yang ditandai dengan melayangnya (levitasi) medan magnet diatas material superkonduktor dengan jarak yang berbeda-beda setelah diberikan medan magnte luar sebesar 25 G, 50 G, 75 G dan 100 G.
2. Material superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ setelah dianalisis menggunakan teknik SEM memiliki mikrostruktur morfologi yang tidak beraturan dengan rata-rata ukuran butir $\approx 3,575 \mu\text{m}$. Berdasarkan analisis EDX pada sampel superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ mengandung unsur $C = 25.84\%$ berat, $O = 18.50\%$ berat, $Co = 02.81\%$, $Y = 10.57\%$ berat, $Ba = 31.60\%$ berat, dan $Cu = 10.69\%$ berat. untuk jumlah atom unsur $C = 55.55\%$ atom, $O = 29.86\%$ atom, $Co = 01.23\%$ atom, $Y = 03.07\%$ atom, $Ba = 05.94\%$ atom dan $Cu = 04.35\%$ atom.
3. Berdasarkan hasil kajian teoritis medan magnet untuk siklotron menggunakan material superkonduktor $YBa_2Cu_3O_7$. Material tersebut memiliki potensial yang dapat digunakan untuk membangkitkan medan magnet pada akselerator siklotron dengan kondisi diameter kawat 5 mm yang memiliki temperatur kritis (T_c) = 90 K, arus kritis (I_c) = 22.221.593 A, medan magnet kritis (B_c) = 8,88

T setelah didinginkan pada temperatur 60 K yang dililitkan pada pole besi berdiameter 910 mm. Medan magnet siklotron superkonduktor dirancang untuk mengoperasikan arus 1000 A untuk menghasilkan medan magnet > 7 T sehingga mampu menghasilkan energi kinetik partikel sebesar 200 MeV.

5.2 SARAN

Terkait dengan kajian material superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ untuk aplikasi rancang bangun siklotron di PSTA-BATAN Yogyakarta ada beberapa hal yang disarankan oleh peneliti :

1. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengukuran kawat superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ untuk dianalisa gejala fisis dari kawat $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ yaitu meliputi besarnya medan magnet dan arus yang digunakan pada saat dililitkan pada suatu pole magnet. Sehingga dapat diketahui secara pasti besar medan magnet yang dihasilkan oleh material superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ dan lebih mudah dipahami apabila sampel berupa kawat dan bukan *disk*.
2. Pada penelitian selanjutnya dengan topik yang sama perlu ditinjau lebih jauh lagi tentang kajian perkembangan material superkonduktor yang digunakan untuk membangkitkan medan magnet pada siklotron yaitu meliputi desain medan magnet beserta memperhitungkan efek *isochronous* menggunakan *software* OPERA-3D.
3. Pada penelitian selanjutnya agar dilakukan kajian lanjutan terkait desain bentuk siklotron beserta parameter-parameter desain yang sesuai dengan siklotron

energi tinggi yang memanfaatkan koil superkonduktor sebagai sistem medan magnet beserta proses pendinginannya. Dengan adanya penelitian lanjutan diharapkan siklotron yang ada di PSTA-BATAN Yogyakarta dapat terealisasi secara maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- A. C. Piazza, Leandro. 2009. *SCENT300 Project Status Review.INFN-Laboratori Nazionali del Sud, Catania, Italy.* 29 oktober 2009.XXXVII ECPM-Groningen. Halaman : 1-27.
- Ainiah, Anisatul.2008. *Konsep Akal Dalam Tafsir Al-Misbah dan Implikasinya dalam Pendidikan Islam.*(Skripsi).Fakultas Tarbiyah, IAIN Walisongo, Semarang.
- Associated Press.2015. *Japan's maglev train breaks own speed record at 603 kph.* di akses pada 19 mei 2015 pukul 18:00 WIB
<http://www.dailymail.co.uk/wires/ap/article-3048347/Japans-maglev-train-breaks-speed-record-603-kph.html>.
- Astari, Novi.2014. *Sifat-Sifat Lapisan Tipis Transition Metal (TM) FeCoNi dan Paduan Rare Earth/Transition Metal (RE/TM) TbFe.*(Skripsi), Program studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Benzi, Paula, et al.2004. *Oxygen Determination From Cell Dimensions in YBCO Superconductor.* I Journal of Crystal Growth 269. Halaman : 625-629
- Bhandari, R.K..2005. *Status of The K-500 Superconducting Cyclotron.* Proceeding of Indian Particle Accelerator Conference (In PAC-2005).Kolkata. Halaman : 1-5.
- Browne, Michael. 2007. *Superconductivity and YBa₂Cu₃O_{7-δ}.* Diakses pada tanggal 10 oktober 2015 pukul 10:30 WIB.
<http://www.tkk.fi/units/AES/project/prlaser/material.htm>
- Buckel, W.1991.*Superconductivity.* VCH Publisher Inc. Newyork
- CHAN, JAMES.1994. *EEC 143 Processing and Design of Integrated Circuits, Four Point Probe Manual,* University of California.

- Cryot, M., & Pavuna, D..1992.*Introduction to Superconductivity and High Tc Materials.* World Scientific, Singapore.
- Darsono,2009,*Principles of Linear Accelerator Technology*,PTAPB-BATAN, Yogyakarta.
- Darsono.2014.*Fisika Akselerator : Akselerator Siklik.*Hand Out Mata Kuliah Fisika Akselerator UIN Sunan Kalijaga, Yogyakarta.
- Dutta, Annanya.2014.*Synthesis and Characterization of YBCO+SnO₂ Composite.* Thesis.department of physics and astronomy, National Institute of Technology, Rourkela.
- Flükiger, R., et., al..1994. *Flükiger, R. Klose, W., eds. NbTi 2162 : Nb-H-Nb-Zr, N-Np (the Landolt-Börn Stein Database ed.).* Springer Materials. doi : 10.007/10423690_53. ISBN 3-540-57541-3
- Hafner, Bob.2007. *Scanning Electron Microscopy Primer.* Characterization Facility, University of Minnesota : Twin Cities. Halaman : 1-29.
- Halliday, David, & Resnick, Robert. 1984. Fisika Jilid II. Terjemahan oleh Silababan, P. dan Sucipto, E..Jakarta : Erlangga.
- Hardy, WN., et., al..1993.*Precision Measurement of the Temperature Dependence of λ in YBa₂Cu₃O_{6.95} : Strong Evidence for Nodes in the Gap Function.* Phys Rev Lett 70:3999-4002.
- Imam jalaluddin Al-Mahally, dan imam Jalaluddin as-Suyuthi,1990,*Terjemah Tafsir Jalalain berikut Asbabun Nuzul,* Cv Sinar Baru, Bandung.
- Jongen, Y., et., al..2010.*IBA-JINR 400 MeV/u Superconducting Cyclotron for Hadron Therapy.* Proceeding of cyclotrons 2010, Lanzhou China. FRM1C1O03. Halaman : 404-409.

- Jongen, Y., et., al.2006.Simulation of Ions Acceleration and Extraction in Cyclotron C400.Proceeding of EPAC 2006, Edinburgh, Scotland. WEPCH082. Halaman : 2113-2115.
- Jong-Seo, Chai, et., al.2007.*Commisioning of KIRAMS-30 Cyclotron for Nuclear Science Research*.Cyclotrons and their Applications 2007, Eighteenth International Conference, PAL, POSTECH, Pohang, Korea. Halaman : 45-50.
- Karesh, Stephen M. 2015. *Clinically Useful Radionuclides*. www.nucmedtutorials.com/dwclinical/index.html diakses pada tanggal 03 Oktober 2015 pukul 12:27 WIB.
- Khare, Neeraj,2003,*Introduction to High-Temperature Superconduktor*, Marcel Dekker, Inc, New York.
- Kumar Bhandari, Kumar.2007.*Superconducting Cyclotron Project at VECC*.APAC-2007, Raja Ramanna Centre for Advanced Technology (RRCAT), Indore, India. Halaman : 320-324.
- Lee, Geun-joon,2011, *Superconductivity Aplication in Power System*, chungbuk provincial college, republic of korea.
- Morozov, N.2010.*IBA-JINR Superconducting Cyclotron for Hadron Therapy*. Ion Beam Application-Joint Institute for Nuclear Research, Russia.
- Nova S., Dwi.2012.*Pengaruh Alur Pemanasan Terhadap Karakter Bahan Semikonduktor Pb(Se_{0,6}Te_{0,4}) Hasil Preparasi dengan Teknik Brigdman.(Skripsi)*,Program studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Papash, A.I., and Yu. G. Alenitskii.2008.*Commercial Cyclotron. Part I : Commercial Cyclotrons in the Energy Range 10-30 MeV for Isotope Production*. Journal Physics of Particles and Nuclei. ISSN 1063-7796.Vol. 39, No. 4. : 597-631.

- Park, K., H., et., al..2009.*Field Mapping System for the KIRAMS-30 Cyclotron Magnet.* Journal of Korean physical society, vol. 54, No.4 April 2009, PP. 1475-1480.
- Qiu-Liang, Wang.2013.*High Field Superconducting Magnet : Science, Technology and Applications.* Journal of progress in physics vol.33, No.1, februari 2013. Halaman : 1-22
- Rahmad Jahuddin, Ma'ruf.2009.*Scanning Electron Microscopy (SEM).* <http://Materialcerdas.Wordpress.com/teori-dasar/scanning-electron-microscopy/>. Diakses pada tanggal 15 oktober 2015 pukul 09:27 WIB.
- Sinha, Bikash. & Bhandari R. K..2004.*Status of The Superconducting Cyclotron Project at VECC.* Proceeding of APAC 2004. Gyeongju, Korea. Halaman : 473-477.
- Smallman, R.E. & Bishop, R. J,1999.*Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering Science, Process, Application sixth edition,* Butterworth-Heinemann, New York.
- Soedojo, Peter.1998.*Azas-Azas Ilmu Fisika Jilid 2.*Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Sukirman, Engkir, dkk.2002.*Pembuatan Alat Peraga Fenomena Superkonduktivitas Untuk Sekolah Menengah Umum dan Universitas.*Pusat Penelitian dan Pengembangan Iptek Bahan, BATAN, Serpong.
- Suryanto, H., & Silakhuddin.2013.*Prediksi Secara Teori Aktifitas ^{18}F dari hasil reaksi ^{18}O (p,n) ^{18}F pada Beberapa Siklotron Medik.* Jurnal Radioisotop dan Radiofarmaka. ISSN 1410-8542.Vol. 16, No. 02, April 2013. Halaman : 45-54.

Takayama, S. et., al.2014.*Superconducting properties of Experimental YBCO Coils for FFAG Accelerator Magnets.* Journal of Physics : Conference Series 507 (2014) 032848 : 1-4

Trociewitz, Ulf Peter., et. al.,2010.*Recent Bi2212 and YBCO Coil Test in High Field.*Eucard-AccNet Mini-Workshop on a High-Energy LHC, HE-LHC'10, Villa Bighi, MALTA. Halaman : 1-26.

Wisnu, A.A., et., al. ,2000,*Faktor Koreksi Dimensi Sampel Pada Sifat Listrik Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ Dengan Menggunakan Metode Four Point Probe*,Pusat Penelitian dan Pengembangan Iptek Bahan, BATAN, Serpong.

L
A
M
P
I
R
A
N

Lampiran 1

a. Menghitung besarnya medan magnet dengan variasi Energi Kinetik.

➤ Diketahui :

- Muatan proton (q_p) = 1.60×10^{-19} C

- Massa Proton (M_p) = 1.67×10^{-27} Kg

- Diameter = 810 mm = 8.10 cm

- Jadi jari-jari = 0.5×810 mm = 405 mm = 405×10^{-3} m

- Karena partikel yang dipercepat adalah Deuteron maka massanya

$$2 \times M_p = 2 \times (1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}) = 3.34 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

➤ Variasi Energi Kinetik

Energi Kinetik (MeV)	Energi Kinetik (Joule)
5	8.01E-13
10	1.60E-12
15	2.40E-12
20	3.20E-12
25	4.01E-12
30	4.81E-12
35	5.61E-12
40	6.41E-12
45	7.21E-12
50	8.01E-12
55	8.81E-12
60	9.61E-12
65	1.04E-11
70	1.12E-11
75	1.20E-11
80	1.28E-11
85	1.36E-11
90	1.44E-11
95	1.52E-11
100	1.60E-11
105	1.68E-11
110	1.76E-11
115	1.84E-11
120	1.92E-11
125	2.00E-11

Energi Kinetik (MeV)	Energi Kinetik (Joule)
130	2.08E-11
135	2.16E-11
140	2.24E-11
145	2.32E-11
150	2.40E-11
155	2.48E-11
160	2.56E-11
165	2.64E-11
170	2.72E-11
175	2.80E-11
180	2.88E-11
185	2.96E-11
190	3.04E-11
195	3.12E-11
200	3.20E-11

➤ **Perhitungan medan magnet**

Persamaan :

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{m_p} \text{ karena yang dipercepat adalah partikel Deuteron (D⁻)}$$

maka massanya $2 \times$ massa proton, sehingga persamaan tersebut menjadi

:

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

- **E_k = 5 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 5 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 8.01 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$8.01 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$8.01 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$8.01 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$8.01 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{8.01 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{1.273}$$

$$B = 1.13T$$

- **E_k = 10 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 10 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 16.02 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$16.02 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$16.02 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$16.02 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$16.02 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{16.02 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{2.55}$$

$$B = 1.60T$$

- **E_k = 15 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 15 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 24.03 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$24.03 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$24.03 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$24.03 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$24.03 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{24.03 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{3.82}$$

$$B = 1.96T$$

- **E_k = 20 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 20 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 32.02 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$32.02 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$32.02 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$32.02 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$32.02 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{32.02 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{5.10}$$

$$B = 2.26T$$

- **E_k = 25 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 25 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 40.05 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$40.05 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$40.05 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$40.05 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$40.05 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{40.05 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{6.37}$$

$$B = 2.52T$$

- **E_k = 30 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 30 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 48.1 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$48.1 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$48.1 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$48.1 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$48.1 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{48.1 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{7.65}$$

$$B = 2.77T$$

- **E_k = 35 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 35 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 56.1 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$56.1 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$56.1 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$56.1 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$56.1 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{56.1 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{8.92}$$

$$B = 2.99T$$

- **E_K = 40 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 40 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 64.1 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$64.1 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$64.1 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$64.1 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$64.1 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{64.1 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{10.2}$$

$$B = 3.19T$$

- **E_K = 45 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 45 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 72.1 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$72.1 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$72.1 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$72.1 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$72.1 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{72.1 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{11.5}$$

$$B = 3.39T$$

- **E_K = 50 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 50 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 80.1 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$80.1 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$80.1 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$80.1 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$80.1 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{80.1 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{12.7}$$

$$B = 3.57T$$

- **E_K = 55 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 55 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 88.1 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$88.1 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$88.1 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$88.1 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$88.1 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{88.1 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{14.0}$$

$$B = 3.74T$$

- **E_K = 60 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 60 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 96.1 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$96.1 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$96.1 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$96.1 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$96.1 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{96.1 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{15.3}$$

$$B = 3.91T$$

- **E_K = 65 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 65 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 104.1 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$104.1 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$104.1 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$104.1 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$104.1 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{104.1 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{16.6}$$

$$B = 4.07T$$

- **E_K = 70 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 70 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 112.1 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$112.1 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$112.1 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$112.1 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$112.1 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{112.1 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{17.8}$$

$$B = 4.22T$$

- **E_K = 75 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 75 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 120.1 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$120.1 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$120.1 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$120.1 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$120.1 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{120.1 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{19.1}$$

$$B = 4.37T$$

- **E_K = 80 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 80 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 128.2 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$128.2 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$128.2 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$128.2 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$128.2 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{128.2 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{20.4}$$

$$B = 4.52T$$

- **E_K = 85 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 85 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 136.2 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$136.2 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$136.2 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$136.2 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$136.2 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{136.2 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{21.7}$$

$$B = 4.65T$$

- **E_K = 90 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 90 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 144.2 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$144.2 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$144.2 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$144.2 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$144.2 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{144.2 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{22.9}$$

$$B = 4.79T$$

- **E_K = 95 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 95 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 152.2 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$152.2 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$152.2 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$152.2 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$152.2 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{152.2 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{24.2}$$

$$B = 4.92T$$

- **E_K = 100 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 100 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 160.2 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$160.2 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$160.2 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$160.2 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$160.2 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{160.2 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{25.5}$$

$$B = 5.05T$$

- **E_K = 105 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 105 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 168.2 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$168.2 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$168.2 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$168.2 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$168.2 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{168.2 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{26.8}$$

$$B = 5.17T$$

- **E_K = 110 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 110 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 176.2 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$176.2 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$176.2 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$176.2 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$176.2 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{176.2 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{28.0}$$

$$B = 5.29T$$

- **E_K = 115 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 115 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 184.2 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$184.2 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$184.2 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$184.2 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$184.2 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{184.2 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{29.3}$$

$$B = 5.41 T$$

- **E_K = 120 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 120 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 192.2 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$192.2 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$192.2 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$192.2 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$192.2 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{192.2 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{30.6}$$

$$B = 5.53 T$$

- **E_K = 125 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 125 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 200.2 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$200.2 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$200.2 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$200.2 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$200.2 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{200.2 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{31.9}$$

$$B = 5.64T$$

- **E_K = 130 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 130 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 208.3 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$208.3 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$208.3 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$208.3 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$208.3 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{208.3 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{33.1}$$

$$B = 5.76T$$

- **E_K = 135 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 135 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 216.2 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$216.2 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$216.2 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$216.2 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$216.2 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{216.2 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{34.4}$$

$$B = 5.87 T$$

- **E_K = 140 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 140 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 224.3 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$224.3 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$224.3 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$224.3 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$224.3 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{224.3 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{35.7}$$

$$B = 5.97 T$$

- **E_K = 145 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 145 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 232.3 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$232.3 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$232.3 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$232.3 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$232.3 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{232.3 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{37.0}$$

$$B = 6.08T$$

- **E_K = 150 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 150 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 240.3 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$240.3 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$240.3 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$240.3 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$240.3 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{240.3 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{38.2}$$

$$B = 6.18T$$

- **E_K = 155 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 155 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 248.3 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$248.3 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$248.3 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$248.3 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$248.3 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{248.3 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{39.5}$$

$$B = 6.29T$$

- **E_K = 160 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 160 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 256.3 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$256.3 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$256.3 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$256.3 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$256.3 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{256.3 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{40.8}$$

$$B = 6.39T$$

- **E_K = 165 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 165 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 264.3 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$264.3 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$264.3 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$264.3 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$264.3 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{264.3 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{42.1}$$

$$B = 6.48T$$

- **E_K = 170 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 170 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 272.3 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$272.3 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$272.3 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$272.3 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$272.3 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{272.3 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{43.3}$$

$$B = 6.58T$$

- **E_K = 175 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 175 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 280.4 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$280.4 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$280.4 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$280.4 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$280.4 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{280.4 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{44.6}$$

$$B = 6.68T$$

- **E_K = 180 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 180 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 288.4 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$288.4 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$288.4 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$288.4 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$288.4 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{288.4 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{45.9}$$

$$B = 6.77T$$

- **E_K = 185 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 185 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 296.4 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$296.4 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$296.4 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$296.4 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$296.4 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{296.4 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{47.1}$$

$$B = 6.87T$$

- **E_K = 190 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 190 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 304.4 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$304.4 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$304.4 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$304.4 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$304.4 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{304.4 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{48.4}$$

$$B = 6.96T$$

- **E_K = 195 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 195 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 312.4 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$312.4 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$312.4 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$312.4 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$312.4 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{312.4 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{49.7}$$

$$B = 7.05T$$

- **E_K = 200 MeV**

$$E_K(\text{Joule}) = 200 \times (1.602 \times 10^{-13}) = 320.4 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$

$$E_K = \frac{1}{2} \frac{q_p^2 B^2 r^2}{(2m_p)}$$

$$320.4 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2 (0.405)^2 B^2}{(2(1.67 \times 10^{-27}))}$$

$$320.4 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \frac{(2.56 \times 10^{-38})(1.64 \times 10^{-1}) B^2}{(3.34 \times 10^{-27})}$$

$$320.4 \times 10^{-13} = \frac{4.20 \times 10^{-39}}{6.68 \times 10^{-27}} B^2$$

$$320.4 \times 10^{-13} = 6.29 \times 10^{-13} B^2$$

$$B^2 = \frac{320.4 \times 10^{-13}}{6.29 \times 10^{-13}}$$

$$B = \sqrt{51.0}$$

$$B = 7.14T$$

Lampiran 2

Dokumentasi Peralatan dan Bahan



Alat uji SEM dan EDX



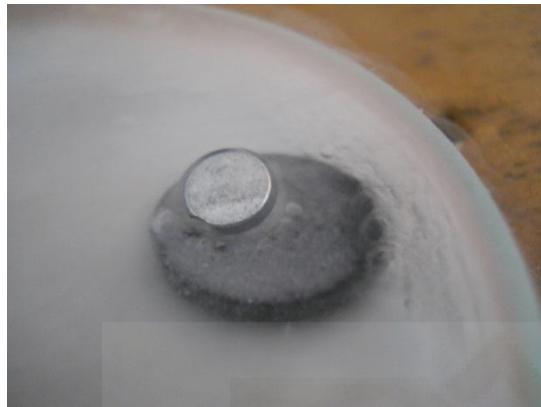
Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$



Nitrogen Cair (2 Liter)



Sample Holder



Percobaan 1 : uji efek meissner dengan
 $B = 20$ Gauss



Percobaan 2 : uji efek meissner dengan
 $B = 40$ Gauss



Percobaan 3 : uji efek meissner dengan
 $B = 60$ Gauss



Percobaan 4 : uji efek meissner dengan
 $B = 80$ Gauss



Medan magnet *Neodymium* ($B = (80, 40, 60$ dan $20)$ Gauss

