



TUGAS AKHIR TF 141381

**PEMBUATAN KAWAT MONOFILAMEN
SUPERKONDUKTOR MgB_2 SECARA *IN-SITU*
MENGUNAKAN METODE *POWDER-IN-TUBE*
(PIT)**

MUHAMMAD EMIR HANIF RASYADI
NRP. 2413100123

Dosen Pembimbing
Dyah Sawitri, S.T., M.T.
Sigit Dwi Yudanto S.T., M.Si

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



TUGAS AKHIR - TF 141581

**PEMBUATAN KAWAT MONOFILAMEN
SUPERKONDUKTOR MgB_2 SECARA *IN-SITU*
MENGUNAKAN METODE *POWDER-IN-TUBE*
(PIT)**

Muhammad Emir Hanif Rasyadi
NRP 2413 100 123

Dosen Pembimbing:
Dyah Sawitri, S.T., M.T.
Sigit Dwi Yudanto S.T., M.Si

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TF 141581

***FABRICATION OF MgB_2 MONOFILAMENT
WIRE BY IN-SITU USING POWDER-IN-TUBE
(PIT) METHOD***

*Muhammad Emir Hanif Rasyadi
NRP 2413 100 123*

*Supervisor:
Dyah Sawitri, S.T., M.T.
Sigit Dwi Yudanto S.T., M.Si*

*DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017*

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Emir Hanif Rasyadi
NRP : 2413100123
Departemen/Prodi : Teknik Fisika/S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **"Pembuatan Kawat Monofilamen Superkonduktor MgB_2 Secara *In-Situ* Menggunakan Metode *Powder-In-Tube* (PIT)"** adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 31 Juli 2017
Yang membuat pernyataan,

Muhammad Emir Hanif Rasyadi

**LEMBAR PENGESAHAN
PEMBUATAN KAWAT MONOFILAMEN
SUPERKONDUKTOR MgB_2 SECARA *IN-SITU*
MENGUNAKAN METODE *POWDER-IN-TUBE* (PIT)**

TUGAS AKHIR

Oleh:

Muhammad Emir Hanif Rasyadi

NRP : 2413 100 123

**Surabaya, 31 Juli 2017
Mengetahui/Menyetujui,**

Pembimbing I,



Dyah Sawitri, S.T., M.T.
NIP. 19700101 199512 2 001

Pembimbing II,



Sigit Dwi Yudanto, S.T., M.Si
NIP. 198205112008011004

**Ketua Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS**



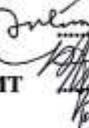
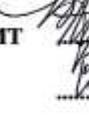
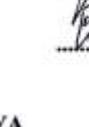
Ketua Muhammad Renta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIP. 19780902 200312 1 002

**PEMBUATAN KAWAT MONOFILAMEN
SUPERKONDUKTOR MgB₂ SECARA IN-SITU
MENGUNAKAN METODE POWDER-IN-TUBE (PIT)
TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Bahan
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:
MUHAMMAD EMIR HANIF RASYADI
NRP. 2413100123**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- | | | |
|---------------------------------------|---|-----------------|
| 1. Dyah Sawitri, S.T., M.T. |  | (Pembimbing I) |
| 2. Sigit Dwi Yudanto, S.T., M.Si. |  | (Pembimbing II) |
| 3. Lizda Johar Mawarni, S.T., M.T. |  | (Ketua Penguji) |
| 4. Ir. Zulkifli, M.Sc. |  | (Penguji I) |
| 5. Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, ST, MT |  | (Penguji II) |
| 6. Hendra Cordova, ST, MT |  | (Penguji III) |

**SURABAYA
Juli 2017**

**PEMBUATAN KAWAT MONOFILAMEN
SUPERKONDUKTOR MgB₂ SECARA *IN-SITU*
MENGUNAKAN METODE *POWDER-IN-TUBE* (PIT)**

Nama : Muhammad Emir Hanif Rasyadi
NRP : 2413100123
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Pembimbing 1 : Dyah Sawitri, S.T., M.T.
Pembimbing 2 : Sigit Dwi Yudanto, S.T., M.Si.

Abstrak

Telah diteliti pembuatan kawat monofilamen superkonduktor MgB₂ dengan menggunakan metode *powder-in-tube* dengan variasi komposisi Mg terhadap B yakni 0,90, 1,00 dan 1,10 sedangkan komposisi Boron tetap. Serbuk prekursor yang digunakan adalah serbuk Mg (98%) dan serbuk B (95%). Bahan dicampur dan digerus selama 30 menit lalu dimasukkan ke dalam tabung *stainless steel* 316. Selanjutnya Tabung diberikan perlakuan mekanis *rolling* untuk membuat kawat monofilamennya. Kawat kemudian dipotong menjadi ukuran lebih kecil kemudian dipanaskan pada suhu 800°C selama 2 jam. Hasil pemanasan kemudian diuji suhu kritisnya lalu dikarakterisasi dengan XRD dan SEM. Dari hasil pengujian didapat bahwa pembuatan kawat secara *in-situ* dengan metode *powder-in-tube* dapat membuat kawat monofilamen superkonduktor MgB₂ dengan fasa dominan MgB₂ sekitar 95% dan memiliki fasa pengotor MgO sekitar 5%. MgO terbentuk akibat oksidasi yang terjadi pada serbuk MgB₂ didalam kawat. Komposisi Mg:B yang optimal untuk membuat kawat ini ada pada komposisi 1:2 karena memiliki kurva resistivitas yang bagus dengan nilai *T_c Onset* sebesar 41,67 K dan *T_c Zero* 40,89 K. Akan tetapi terdapat porositas pada kawat yang terjadi karena reduksi volume dari reaksi Mg+2B ditambah terjadinya evaporasi pada Mg

Kata Kunci: superkonduktivitas, magnesium diboride, PIT, komposisi

**FABRICATION OF MgB_2 MONOFILAMENT WIRE
BY IN-SITU USING POWDER-IN-TUBE (PIT) METHOD**

Name : Muhamad Emir Hanif Rasyadi
NRP : 2413100123
Department : *Engineering Physics FTI - ITS*
Supervising Lecturer I : Dyah Sawitri S.T., M.T.
Supervising Lecturer II: Sigit Dwi Yudanto, S.T., M.Si.

Abstract

In this research we have studied the making of MgB_2 superconducting monofilament wire using powder-in-tube method with variation of Mg composition to B ie 0.90, 1.00 and 1.10, while Boron remains The precursor used is Mg powder (98%) and powder B (95%) Both materials are mixed and then crushed with agate mortar for 30 minutes and then put into the tube stainless steel 316. The tube is then subjected to a mechanical treatment of rolling to form its monofilament wire. The wire is then cut and sintered at a temperature of 800° C for 2 hours. After that we test the critical temperature then characterize the samples by XRD and SEM From the result of this research it was found that in-situ wire-making by powder-in-tube method can make MgB_2 superconducting monofilament wire with MgB_2 as the dominant phase around 95% and MgO as the impurity phase around 5%. MgO is formed due to the oxidation occurring in the MgB_2 powder inside the wire. The optimal Mg:B composition to make this wire is in the 1:2 composition Because it has a good resistivity curve with a high enough Tc Onset that is 41,67 K and Tc Zero 40,89 K. However, there is a porosity in the wire due to the volume reduction of the Mg + 2B reaction plus the evaporation of Mg

Keywords: *superconductivity, magnesium diboride, PIT, composition*

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya milik Allah SWT yang memberikan kekuatan dan kemampuan kepada penulis dalam menjalani setiap langkahnya di dunia ini. Akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“PEMBUATAN KAWAT MONOFILAMEN SUPERKONDUKTOR MgB_2 SECARA *IN-SITU* MENGGUNAKAN METODE *POWDER-IN-TUBE (PIT)*”**.

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada pihak yang telah berperan dalam penulisan ini, di antaranya:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta selaku ketua jurusan Teknik Fisika FTI ITS.
2. Ibu Dr. Ing. Doty Dewi Risanti selaku dosen wali penulis.
3. Ibu Dyah Sawitri dan Bapak Sigit Dwi Yudanto, selaku pembimbing tugas akhir yang banyak membantu dalam penelitian ini.
4. Bapak Dr. Ing. Andika Widya Pramono. selaku Kepala Pusat Metalurgi dan Material LIPI yang telah memberikan izin penelitian kepada penulis.
5. Bapak Agung Imaduddin, Pak Pius Sebleku, Pak Satrio Herbirowo, Pak Yunan dan Pak Chandra serta Tim penelitian superkonduktor P2MM LIPI yang telah memberi bantuandalam penelitian ini.
6. Teman-Teman Tugas Akhir saya di P2MM yaitu Sigit, Dwiki, Fauzan, Nanda, Dini, Kifin, Nurul, Tito, Farhan terima kasih atas bantuan-bantuannya
7. Teman-Teman tugas akhir bidang minat Bahan yaitu: Doncang, Devita, Riyadh, Thomas dan Sandy
8. Asisten-Asisten Rekayasa Bahan angkatan 2013,2014 dan 2015 yang saya sayangi
9. Teman-Teman dekat saya Naufal, Ilham, Prisma, Nanto, Fikri, Mirza, Sanjaya, Tyo, Fika, Hafisyah, Adibya, Nadya, Nug, Kevin, Kaka, Dan, Nural, Robert, Godin, Godek, Abyan, Arsa, Fatih, Gege, Afin, Aloy, Irving, Bintang, Frian,

Bit, Alief Ghazi, Viqi, Orin, Ossy, Shinta, Ayu, Intan, Yaritsa dan Fanisa

10. Teman-Teman kosan saya Audi, Bimo, Lukas, Vika, Rendra yang menemani penulis di kosan serta Pak de dan Bu de serta Pak Bur yang selalu menjaga dan membersihkan kosan saya
11. Teman-Teman Pengurus UKM Bola Basket ITS Anggiat, Pacul, Erlan, Ami, Pijar, Ronald dan juga Staff PSDM saya yaitu Andrey, Hafizh, Hanna, Ajeng, dan Lubis terima kasih atas semua bantuannya dan mohon maaf apabila banyak salah
12. Teman baik saya yaitu Dwiki Kurniadi yang sedang go Internasional serta Faris Mustafa teman musik saya yang mengajarkan saya menikmati musik lalu teman-teman cowok Asmat Dito, Dana, Harry, Bima yang terus menginspirasi saya dengan kisah-kisah kalian dan yang terakhir Eka Rizki Apriyani yang selalu sabar menghadapi saya dan terus memotivasi saya untuk menjadi lebih baik
13. Seluruh teman-teman Teknik Fisika angkatan 2013 yang selalu memotivasi penulis.
14. Dan yang terakhir namun sangat penting yaitu orang tua saya bapak Harry Soegiantoro dan Ibu Irna Dasimah Syarif serta kedua adek saya Nadhira Azka Fathania dan Muhammad Ershad Hanif Radhiyya dan keluarga-keluarga yang tak berhenti memberi dukungan dan doanya kepada penulis.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk mencapai kesempurnaan dalam penulisan ini. Namun, masih terdapat kesalahan dan kekurangan dalam laporan ini. Oleh karena itu, dengan tangan terbuka penulis mengharapkan kritik dan saran untuk kemajuan penulis.

Surabaya, Juli 2017

Penulis.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL BAHASA INDONESIA	i
HALAMAN AWAL BAHASA INGGRIS	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
LEMBAR PERSETUJUAN	ix
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Bahan Superkonduktor.....	5
2.2 Magnesium Diboride (MgB_2)	8
2.3 Proses Rolling Kawat.....	13
2.4 Metode Powder In Tube (PIT)	13
2.5 Stainless Steel 316	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Pembuatan Tabung Stainless Steel (SS)	17
3.2 Pembuatan Serbuk MgB_2	20
3.3 Pembuatan Kawat Superkonduktor Metode PIT.....	23
3.4 Pengujian Kawat Superkonduktor.....	26
BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS	31
4.1 Hasil Pengujian XRD(X-Ray Diffraction).....	31
4.2 Hasil Uji Suhu Kritis(T_c).....	32

4.3	Hasil Uji SEM	36
4.4	Interpetrasi Hasil	42
BAB V KESIMPULAN.....		45
DAFTAR PUSTAKA		47
LAMPIRAN A		51
LAMPIRAN B		53
BIODATA PENULIS		55

DAFTAR GAMBAR

Gambar	2.1	Kurva resistivitas-suhu superkonduktor	5
Gambar	2.2	Mekanisme pembentukan <i>Cooper Pairs</i>	7
Gambar	2.3	Perbedaan sifat magnetik dari superkonduktor dengan konduktor	7
Gambar	2.4	Grafik medan magnet dengan suhu kritis Superkonduktor tipe-I dan tipe-II	8
Gambar	2.5	Struktur kristal MgB_2 berbentuk hexagonal	9
Gambar	2.6	Perbandingan antara struktur kristal MgB_2 dengan superkonduktor lain	10
Gambar	2.7	Diagram fasa MgB_2	11
Gambar	2.8	Skema <i>rolling</i> kawat	13
Gambar	2.9	Skema prosedur preparasi MgB_2 dengan metode PIT	14
Gambar	3.1	Diagram alir persiapan tabung SS	18
Gambar	3.2	Tabung <i>stainless steel</i> (SS) 316	19
Gambar	3.3	Tabung SS 316 setelah ditutup	20
Gambar	3.4	Diagram alir pembuatan serbuk MgB	21
Gambar	3.5	Bahan superkonduktor yang digunakan	23
Gambar	3.6	Diagram alir metode <i>powder-in-tube</i>	24
Gambar	3.7	Kawat superkonduktor MgB_2	25
Gambar	3.8	Kawat superkonduktor setelah dipotong	25
Gambar	3.9	Grafik pemanasan sampel $Mg-B$	26
Gambar	3.10	Pemanasan kawat superkonduktor	26
Gambar	3.11	Mesin XRD	27
Gambar	3.12	Sampel yang direkatkan menggunakan Ag	28
Gambar	3.13	Bagian-bagian <i>cryogenic magnet</i>	29
Gambar	3.14	Mesin SEM	30
Gambar	4.1	Hasil pengujian XRD kawat MgB_2	31
Gambar	4.2	Hasil pengujian resistivitas kawat MgB_2 dengan komposisi 0,90:2	33
Gambar	4.3	Hasil pengujian resistivitas kawat MgB_2 dengan komposisi 1:2	33
Gambar	4.4	Hasil pengujian resistivitas kawat MgB_2 dengan komposisi 1,10:2	34

Gambar 4.5	Hasil pengujian resistivitas kawat MgB_2	35
Gambar 4.6	Hasil SEM penampang melintang kawat superkonduktor MgB_2	37
Gambar 4.7	Hasil SEM penampang melintang dengan perbesaran 50x	38
Gambar 4.8	Hasil SEM penampang melintang dengan perbesaran 100x	39
Gambar 4.9	Hasil SEM melintang pada perbesaran 20x	40
Gambar 4.10	Hasil SEM tampak samping dengan perbesaran 100x	41

DAFTAR TABEL

Tabel	2.1	Parameter Superkonduktor MgB ₂	12
Tabel	3.1	Komposisi dan Massa pada Sampel	23
Tabel	4.1	Hasil Kuantitatif Penghitungan XRD	32
Tabel	4.2	<i>T_c Onset</i> dan <i>T_c Zero</i> dari Sampel	34
Tabel	4.3	Hasil Semua Pengujian pada Sampel	42

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Magnesium Diboride atau MgB_2 merupakan superkonduktor yang baru ditemukan pada tahun 2001. Penemuan sifat superkonduktor pada MgB_2 telah memicu minat pada bahan tersebut di seluruh negara. MgB_2 memiliki suhu kritis (T_c) 39 K, sehingga dapat digunakan pada suhu 20-25 K, penggunaan liquid helium yang mahal dapat dihindari dan berpaling menggunakan liquid hidrogen atau *cryocooler* yang lebih murah. MgB_2 yang sudah dicampurkan dengan paduan memiliki arus kritis (J_c) dibanding superkonduktor suhu rendah seperti NbTi dan Nb_3Sn . Dengan alasan-alasan diatas maka dapat dibilang MgB_2 sangat atraktif dalam dunia superkonduktor.

Sekarang ini sudah banyak penelitian untuk meningkatkan performansi dari superkonduktor MgB_2 agar dapat dikomersilkan. Sifat-sifat performansi tersebut dipengaruhi oleh bagaimana kondisi preparasi MgB_2 . Banyak penelitian yang memvariasikan bubuk prekursornya, suhu dan laju pemanasannya, ion doping yang digunakan, dan juga variasi komposisi Mg yang digunakan. Pada penelitian (Häßler et al., 2015) kawat MgB_2 dengan kekurangan Mg dapat meningkatkan fraksi massa MgB_2 yang terbentuk dan mengurangi fasa-fasa pengotor yang muncul seperti MgO dan MgB_4 . Sedangkan menurut penelitian (Zeng et al., 2008) kawat MgB_2 dengan variasi kelebihan Mg dapat meningkatkan homogenitas dari kawat dan juga meningkatkan nilai arus kritis (J_c) dari kawat.

Dalam pengaplikasian teknologinya superkonduktor harus dibuat dalam bentuk kawat. Metode pembuatan yang mudah dan yang sering digunakan pada kawat superkonduktor MgB_2 adalah metode *powder-in-tube* (PIT). Pada metode ini, serbuk Mg dan serbuk B dengan komposisi stoikiometri yang diinginkan dimasukkan kedalam tabung logam seperti Fe, Cu, atau *stainless steel* (SS). Tabung tersebut kemudian ditarik atau *drawing* sehingga diameternya mengecil dimasukkan lagi kedalam tabung

Quartz untuk dilakukan *heat treatment* metode ini terbukti dapat meningkatkan sifat superkonduktor dari suatu material karena metode ini memungkinkan sampel membawa arus kritis yang tinggi dan dapat menghilangkan cacat yang dihasilkan dari *sheath* atau penutup sampel yang digunakan

Setelah diberikan *heat treatment* uji yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana sifat superkonduktor dari sampel yang sudah dibuat. Uji *X-Ray Diffraction* (XRD) digunakan untuk mengetahui bagaimana fasa kristalin yang dibentuk pada sampel selain itu untuk mengetahui komposisi fasa atau senyawa yang terkandung pada sampel. Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM) digunakan untuk mengetahui permukaan objek secara langsung. Dan untuk mengukur suhu kritis digunakan mesin *Cryogenic Magnet* untuk mendinginkan sampelnya. Sehingga terbentuk kurva resistivitas-suhu

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka dapat ditarik rumusan masalah seperti berikut

- Bagaimana pengaruh proses pembuatan kawat superkonduktor MgB_2 secara *in-situ* dengan metode *powder-in-tube* terhadap sifat superkonduktor
- Berapa perbandingan komposisi Mg:B yang optimal untuk menghasilkan kawat superkonduktor MgB_2

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang didapat maka tujuan dari penelitian ini adalah

- Mengetahui pengaruh pembuatan kawat superkonduktor MgB_2 secara *in-situ* melalui proses *powder-in-tube* terhadap sifat superkonduktor
- Memperoleh komposisi optimal Mg:B yang menghasilkan kawat superkonduktor MgB_2

1.4 Batasan Masalah

Untuk mencegah permasalahan dalam penelitian melebar maka penelitian diberi batasan sebagai berikut

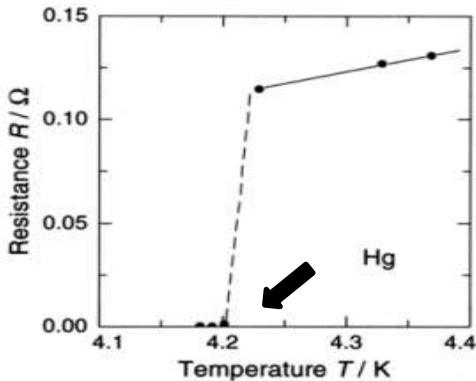
- Metode pembuatan kawat superkonduktor MgB_2 secara *in-situ* menggunakan *powder-in-tube* (PIT) dengan bahan baku serbuk Mg (98%), B (95%), dan tabung *stainless steel*
- Variabel bebas yang digunakan pada tugas akhir ini adalah variasi komposisi Mg sedangkan komposisi B tetap sehingga komposisinya yaitu 0,90 : 2 , 1,00 : 2 dan 1,10 :2
- Pengujian sifat superkonduktivitas yang dilakukan adalah penurunan nilai resistivitas, fasa MgB_2 yang terbentuk dan morfologinya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Superkonduktor

Bahan Superkonduktor adalah bahan yang memiliki fenomena superkonduktivitas. Fenomena superkonduktivitas pertama kali ditemukan pada tahun 1911 oleh ilmuwan Belanda Kamerlingh Onnes. Salah satu sifat penting dari bahan yang memiliki superkonduktivitas adalah resistivitas listrik dari material turun menjadi nol ketika berada di suhu yang sangat rendah. Suhu tersebut dinamakan suhu kritis (T_c). Sedangkan pada benda logam biasa resistivitas tidak akan turun menjadi nol walau suhunya melewati suhu kritis, lebih jelasnya kurva ditunjukkan pada gambar 2.1 (Kamerlingh Onnes, 1911)



Gambar 2.1 Kurva resistivitas-suhu superkonduktor

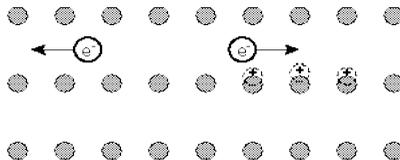
Akan tetapi apabila arus yang besar dialirkan pada superkonduktor, ia akan berubah kedalam keadaan normalnya, walaupun dibawah suhu kritisnya. Hal ini dikarenakan arus listrik pada kawat superkonduktor membuat medan magnet disekitarnya. Kekuatan medan magnet meningkat dengan menguatnya arus pada kawat. Jika medan magnetnya mencapai titik kritis maka superkonduktor akan kembali ke keadaan normal. Nilai

maksimum medan magnet pada suhu tertentu dinamakan medan magnet kritis (H_c). Oleh karena itu akan ada arus maksimum yang dapat dibawa superkonduktor dinamakan rapat arus kritis (J_c). T_c , J_c , dan H_c merupakan tiga parameter penting pada superkonduktor.

2.1.1 Teori BCS

Teori BCS adalah teori yang menjelaskan terjadinya superkonduktivitas. Teori ini dikembangkan pada tahun 1957 oleh John Bardeen, Leon Cooper, dan J. R. Schrieffer. Teori ini menjelaskan terjadinya superkonduktivitas disebabkan oleh terjadinya interaksi tarik-menarik antara dua elektron dalam superkonduktor yang disebut *Cooper Pairs*. Gagasan ini pada awalnya ditentang karena pada biasanya dua elektron berdekatan saling tolak menolak. Penjelasan tentang terbentuknya pembentukan pasangan *Cooper* dapat dilihat pada Gambar 2.2. (Acharya, 2012)

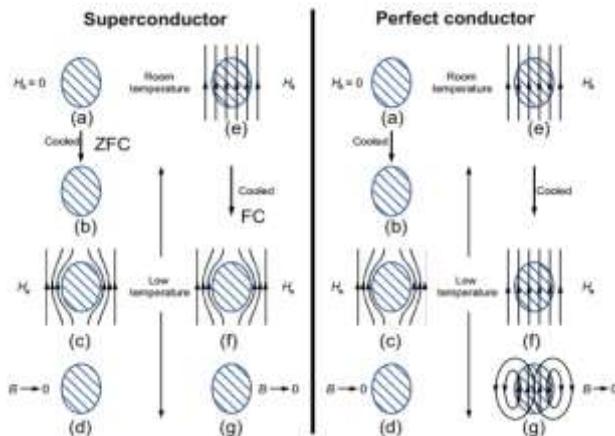
Resistansi pada logam disebabkan oleh adanya tumbukan antara elektron bebas yang bergerak dengan kisi-kisi kristal yang bergetar. Getaran pada kisi kristal ini disebut dengan *phonon* (Galperin, 2001) apabila ada dua buah elektron yang melewati kisi, elektron kedua akan mendekati elektron yang pertama karena gaya tarik dari inti atom kisi lebih besar. Gaya ini melebihi gaya tolak-menolak antar elektron sehingga kedua elektron berpasangan atau namanya *Cooper pairs*. Ketika elektron pertama pada *Cooper pairs* melewati inti atom kisi akan bergerak dan memancarkan *phonon*. Pertukaran *phonon* ini akan mengakibatkan gaya tarik menarik antar elektron. *Cooper pairs* ini akan melalui kisi tanpa hambatan sehingga elektron dapat mengalir dengan lancar



Gambar 2.2 Mekanisme pembentukan *Cooper pairs*

2.1.2 Efek Meissner

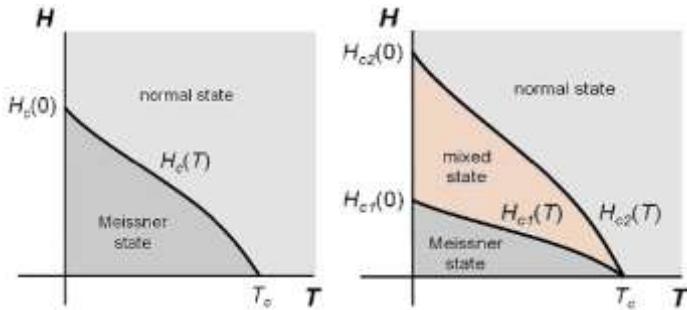
Pada tahun 1933, Meissner and Ochsenfeld mulai mempelajari bagaimana sifat magnet dari tipe I superkonduktor. Mereka menemukan apabila superkonduktor tipe I didinginkan ketika diberikan medan magnet *steady-state* (H) dan mencapai suhu kritis (T_c) maka garis-garis medan magnet akan keluar dan superkonduktor akan bersifat diamagnetik. Untuk lebih jelasnya ada di gambar 2.3 (Rey & Malozemoff, 2015)



Gambar 2.3 Perbedaan sifat magnetik dari superkonduktor dengan konduktor

2.1.3 Tipe-I dan Tipe-II Superkonduktor

Material superkonduktor telah dibagi menjadi dua tipe berdasarkan sifatnya pada medan magnet yaitu: tipe-I dan tipe-II superkonduktor.



Gambar 2.4 Grafik Medan Magnet dengan Suhu Kritis Superkonduktor tipe-I dan tipe-II

Seperti yang terlihat pada gambar 2.4 (Wang,2012) ada dua medan kritis pada tipe-II superkonduktor, medan kritis rendah (H_{c1}) dan medan kritis tinggi (H_{c2}). Apabila medan magnet eksternal lebih rendah dibanding H_{c1} , medan magnet akan dikeluarkan dan material akan bersifat sama seperti tipe-I superkonduktor. Apabila meningkatkan medan dari H_{c1} sampai H_{c2} maka fluks magnetiknya tidak akan terlempar semua, akan tetapi sebagian akan menembus superkonduktor sebagai pusaran yang disebut keadaan campuran atau *mixed state*.

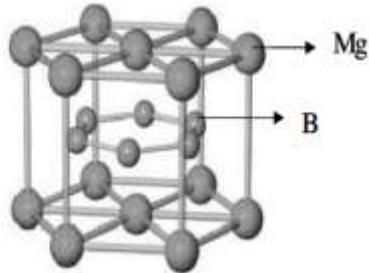
Semenjak penemuan superkonduktivitas, fisikawan banyak menemukan variasi bahan lain yang suerkonduktivitas seperti logam murni, *alloy*, *oxide ceramic*, *organic compound* dan *mettalic compound* dimana mereka kehilangan resistansi listrik pada suhu rendah.

2.2 Magnesium Diboride (MgB_2)

Superkonduktivitas pada *Magnesium Diboride* (MgB_2) pertama kali ditemukan pada Akimitsu Jun dan pada tahun 2001 (Jun,2001). MgB_2 merupakan superkonduktor logam biner yang mempunyai suhu kritis paling tinggi.

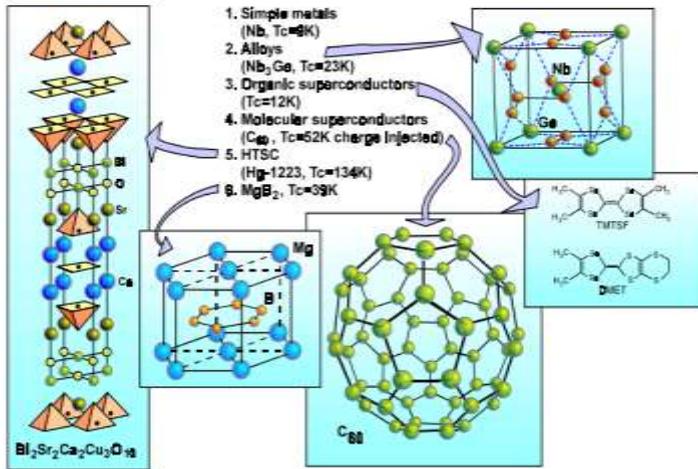
Superkonduktor MgB_2 akan menjadi material yang mempunyai kualitas tinggi dalam aplikasi tingkat besar dan alat-alat elektronik dikarenakan suhu kritisnya yang tinggi (T_c), rapat

arus kritis yang tinggi (J_c), struktur kristalnya yang sederhana, dan besarnya medan magnet kritis tinggi H_{c2} (Larbalestier, Cooley, Rikel, & Jiang, 2001).



Gambar 2.5 Struktur kristal MgB₂ berbentuk hexagonal

Struktur kristal MgB₂ sesuai dengan Gambar 2.5 (Wang, 2012) berbentuk heksagonal AlB₂ (*space group* P6/mmm, no 191). Ikatan antara MgB₂ terdiri dari ikatan campuran antara atom Mg dan B yang berikatan secara ionik, ikatan antar atom Mg yang berikatan logam, lalu ikatan antar atom B yang berikatan secara kovalen (Buzea & Yamashita, 2001). Dalam setiap lapisan boron, tiap hexagon terdiri dari 6 atom boron sehingga mendapat rasio 1:2 Mg-B di unit sel. Material ini juga bersifat anisotropik yang artinya sifatnya sama di segala arah.



Gambar 2.6 Perbandingan antara struktur kristal MgB_2 dengan superkonduktor lain

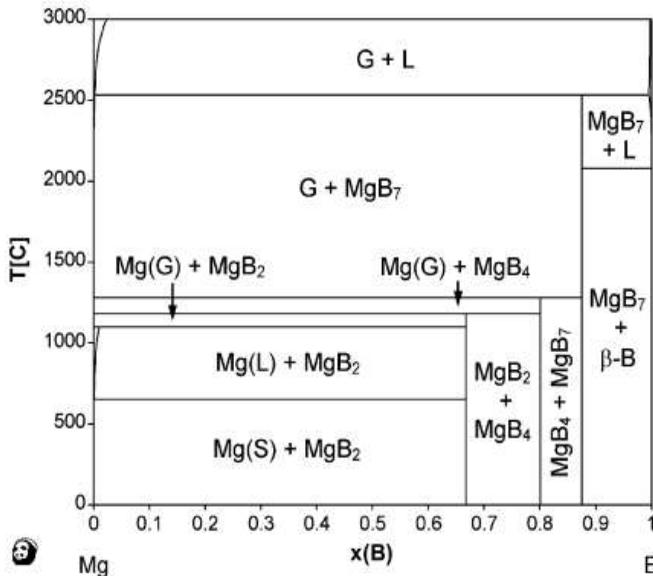
Apabila dibandingkan dengan superkonduktor struktur lain dapat dilihat pada Gambar 2.6 (Galperin, 2001) terlihat bagaimana struktur MgB_2 lebih sederhana dibanding superkonduktor lain seperti BSCCO, Nb_2Ge , Nb_3SN

Akan tetapi pada penelitian baru-baru ini (Rajput, 2017) didapat bahwa suhu kritis MgB_2 makin bertambah suhu kritis MgB_2 mencapai 41 K.

2.2.1 Diagram Fasa MgB_2

Diagram fasa adalah diagram yang menunjukkan hubungan antara temperatur dengan fasa pada material. Diagram fasa ini sangat penting dikarenakan ia sebagai acuan untuk fabrikasi, pemilihan komposisi dan aplikasi bahan dan produk kimianya. Gambar 2.7 (Kim et al., 2009) menunjukkan diagram fasa Mg-B pada tekanan atmosfer.

Label *liquid*, *solid*, dan *gas* merupakan fasa Mg. Dari gambar terlihat bahwa Mg mulai mencair ketika temperatur di atas 650°C. Ketika fraksi atom B melebihi 2/3 maka akan terbentuk fasa MgB_4 , MgB_7 , atau bahkan menyisakan B yang tak bereaksi. Sedangkan jika fraksi atom B kurang dari 2/3, maka akan menyisakan Mg dalam fasa padat, cair atau gas disamping MgB_2 tergantung temperatur pemanasan.



Gambar2.7 Diagram fasa MgB_2

2.2.2 Potensi MgB_2 untuk aplikasi

MgB_2 merupakan superkonduktor yang menjanjikan pada aplikasi yang membutuhkan medan magnet yang tinggi tidak seperti superkonduktor bersuhu tinggi (HTS), dimana J_c menurun di sepanjang batas butir, MgB_2 tidak mengalami penurunan seperti itu melainkan menjadi pusat pinning (Larbalestier et al., 2001). Penggunaan doping atau penambahan senyawa karbon atau SiC telah terbukti meningkatkan nilai medan kritis atas (H_{c2}) (Braccini,2005) dan *pinning* (Cyrot,1992). Sedangkan dari

sisi ekonomi, MgB_2 memiliki keuntungan dari material penyusunnya yang lebih murah dibanding superkonduktor berbasis Nb. Selain itu, T_c MgB_2 sebesar 39 K memungkinkan untuk aplikasi diatas 20 K menggunakan cryocoolers, sedangkan superkonduktor Nb harus didinginkan sampai menuju 4.2 K (Waldram,1996). Instrumen MRI (*Magnetic Resonance Imaging*) selanjutnya dapat menggunakan kumparan MgB_2 sebagai pengganti NbTi. Kumparan MgB_2 dapat beroperasi pada suhu 20-25 K tanpa menggunakan helium cair (*liquid helium*) untuk pendinginannya. Berikut ini adalah tabel perbandingan sifat-sifat dari superkonduktor untuk digunakan pada aplikasinya (Buzea- Yamashita,2001)

Tabel 2.1 Parameter Superkonduktor MgB_2

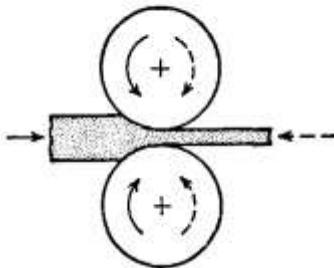
Parameter	Nilai
T_c	39 – 40 K
Kisi Heksagonal	$a = 0,3086 \text{ nm}$; $c = 0,3524 \text{ nm}$
Densitas teoretis	$2,55 \text{ g/cm}^3$
Koef. Tekanan	$-1,1 - 2 \text{ K/Gpa}$
Densitas pembawa muatan	$1,7 - 2,8 \times 10^{23} \text{ holes/cm}^3$
Efek isotop	$\alpha_B + \alpha_{Mg} = 0,3 - 0,02$
Medan kritis bawah	$H_{c1}(0) = 27 - 48 \text{ mT}$
Medan ireversibelitas	$H_{irr}(0) = 6 - 35 \text{ T}$
Panjang koherensi	$\xi_{ab}(0) = 3,7 - 12 \text{ nm}$ $\xi_c(0) = 1,6 - 3,6 \text{ nm}$
Kedalaman penetrasi	$\lambda(0) = 85 - 180 \text{ nm}$
<i>Energy gap</i>	$\Delta(0) = 1,8 - 7,5 \text{ meV}$
Temperatur Debye	$\Theta_D = 750 - 880 \text{ K}$
Rapat arus kritis	$J_c(4,2K,0T) > 10^7 \text{ A/cm}^2$ $J_c(4,2K,4T) = 10^6 \text{ A/cm}^2$ $J_c(4,2K,10T) > 10^5 \text{ A/cm}^2$ $J_c(25K,0T) > 5 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$ $J_c(25K,2T) > 10^5 \text{ A/cm}^2$

Pada Penelitian sebelumnya (Razeti et al., 2008) telah dibuat *Magnetic Resonance Imaging (MRI) Free Cryogen* berkekuatan 0,5 T dengan magnet MgB_2 yang terdiri dari gulungan-gulungan

pita MgB_2 . MRI tersebut berhasil mengambil gambar kepala dan tulang belakang

2.3 Proses *Rolling* Kawat

Proses mendeformasi logam dengan memasukkannya diantara gulungan-gulungan dinamakan *rolling*. Proses ini banyak digunakan dalam pengerjaan logam karena cocok untuk produksi banyak dan pengendalian produk akhir yang mudah. Dalam mendeformasikan logam diantara gulungan, logam dipaksakan pada tekanan tekan yang tinggi akibat aksi gulungan dan pada tegangan geser permukaan sebagai akibat dari gesekan antara gulungan dan logam. Gaya gesekan itulah yang mengakibatkan logam-logam berubah bentuk menjadi gulungan. Hasil dari *rolling* kawat membuat logam menjadi bentuk pipa, batang, pelat dan bentuk-bentuk struktur lainnya (Dieter, Bacon, Copley, Wert, & Wilkes, 1988). Skema prosesnya bisa dilihat di gambar 2.8

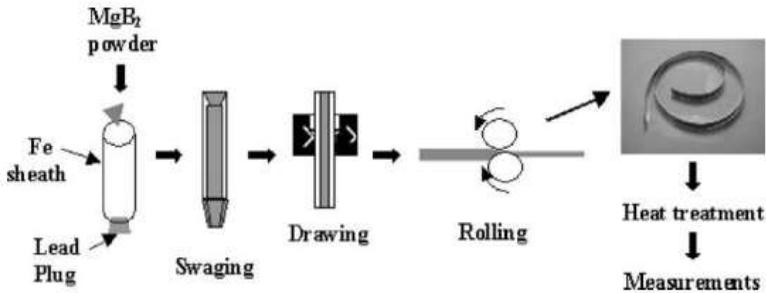


Gambar 2.8 Skema *rolling* kawat

2.4 Metode *Powder In Tube* (PIT)

Pengembangan kabel superkonduktor dan gulungannya sangatlah penting untuk aplikasi praktisnya seperti dalam industri kabel dan magnet. Akan tetapi dalam aplikasi dibutuhkan sarung yang konduktif dan lunak untuk stabilisasi ketika *cryogenic* dan menyokong strukturnya. MgB_2 mempunyai fasa yang tangguh dan kasar sehingga tidak mudah untuk mengalami deformasi. Oleh karena itu untuk mendapatkan filamen-filamennya

menggunakan metode yang dinamakan *powder-in-tube* (PIT). Proses PIT merupakan proses yang menjanjikan dan sering dipakai untuk membuat MgB_2 (Braccini et al, 2007). Keuntungan dari metode PIT ini adalah pemanasan dapat dilakukan pada kondisi atmosferik tanpa pengondisian dengan menggunakan gas inert serta tidak perlu divakumkan. Metode ini murah dan sederhana jika dibandingkan dengan metode-metode lain. Prosedur ini memiliki tiga langkah yaitu: menyiapkan serbuk prekursor dan memasukkannya kedalam tabung besi atau logam lainnya, selanjutnya melakukan deformasi untuk membuat kabel atau pita dan terakhir adalah pemanasan. Prosedur preparasi MgB_2 dapat dilihat pada gambar 2.9 (Suo et al., 2003)



Gambar 2.9 Skema prosedur preparasi MgB_2 dengan metode PIT

Tiap ujung pipa SS dijepit untuk mencegah serbuk kontak dengan udara luar sehingga tidak terjadi oksidasi. Pemanasan dilakukan mengacu pada diagram fasa pada Gambar 2.7 yakni pada temperatur antara $650^{\circ}C$ hingga $1050^{\circ}C$. Umumnya hasil yang baik dipanaskan pada temperatur $750^{\circ}C$ hingga $900^{\circ}C$. Semakin tinggi temperatur pemanasan semakin berpeluang terbentuk fasa-fasa pengotor seperti MgO dan MgB_4

2.5 *Stainless Steel 316*

Dalam pembuatan kawat superkonduktor menggunakan metode *powder-in-tube* (PIT) diperlukan material selubung untuk membuatnya. Dalam memilih material penutup, selubung logam harus memainkan peran penghalang difusi untuk Mg yang mudah

menguap dan reaktif, dan harus kompatibel secara kimia dengan Mg atau B tanpa adanya degradasi sifat superkonduktor dari inti MgB_2 (Varghese, Vinod, Kumar, & Syamaprasad, 2013)

Banyak sekali material penutup yang telah digunakan seperti contohnya Ni (Suo et al, 2001), Cu dan Ag (Glowacki et al 2002), Fe (Jin, Mavoori, & Dover, 2001) dan juga *stainless steel*. Pada penelitian (Varghese et al, 2007) diuji berbagai material selubung seperti SS, Fe, Cu, dan Ni lalu didapatkan hasil bahwa material yang lebih optimal untuk digunakan sebagai material penutup adalah Fe dan SS karena material tersebut tidak bereaksi ketika dipanaskan dan menghasilkan sampel MgB_2 dengan suhu kritis yang lebih tinggi dibandingkan material lain.

Stainless steel 316 adalah *austenit chromium nickel stainless steel* yang mengandung *molybdenum*. Penambahan *molybdenum* ini mengakibatkan bahan lebih resistan terhadap korosi dan meningkatkan kekuatan bahan pada suhu tinggi. Sifatnya mirip dengan Tipe 304 kecuali campuran logam ini memberikan kekuatan lebih pada suhu tinggi dan ketahanan terhadap korosinya lebih tinggi

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah pembuatan sampel dalam tugas akhir ini terdiri dari tiga langkah yaitu:

- a) Pembuatan tabung *stainless steel* sebagai material kawat superkonduktor MgB_2
- b) Pembuatan serbuk superkonduktor MgB_2 sebagai material inti di dalam kawat
- c) Pembuatan kawat superkonduktor dengan metode *powder-in-tube* (PIT)

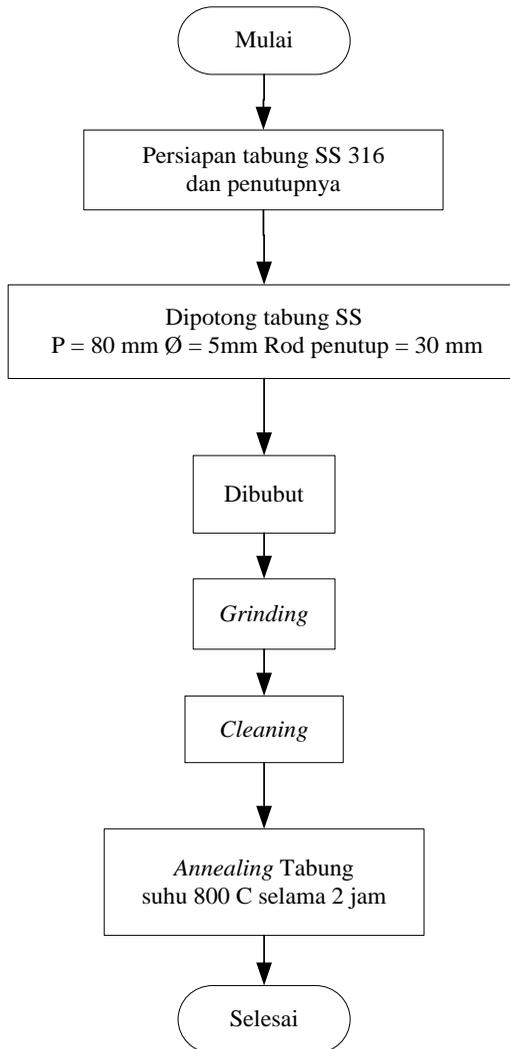
3.1 Pembuatan Tabung *Stainless Steel* (SS)

Pembuatan tabung superkonduktor MgB_2 diawali dengan preparasi SS316 dan tabung penutupnya. Dimensi pada tabung terlihat pada gambar 3.2 Tabung tersebut kemudian ditentukan panjangnya yaitu, tabung SS 316 = 8cm/sampel dengan jumlah sampel 3 buah dan rod penutup Digunakan mesin *press* merk BMI *Simon Machinery* MFG CO Indonesia untuk menutup tabung. Penutup memiliki panjang 3 cm di tiap ujung-ujungnya sehingga satu sampel butuh 2 penutup. Tabung dipotong menggunakan mesin potong *cut off machine* CC 16SB 405 Hitachi. Diagram alir pembuatan tabung *stainless steel* dapat dilihat pada gambar 3.1

Untuk mengetahui jumlah massa MgB_2 yang dibutuhkan dalam penelitian ini maka perlu dihitung volume tabung yang akan digunakan.

stainless steel yang digunakan adalah jenis 316 dan memiliki dimensi :

panjang (l)	= 8 cm = 80 mm
diameter dalam (d_{in})	= 5 cm = 50 mm
diameter luar (d_{out})	= 7 cm = 70 mm



Gambar 3.1 Diagram alir persiapan tabung SS

Untuk mengetahui berapa banyak massa MgB_2 yang perlu dimasukkan maka kita harus mengetahui berapa volume dari tabung. Persamaannya yaitu

$$Vol\ tabung = \pi \cdot r^2 \cdot l \quad (3.1)$$

Dengan menggunakan persamaan 3.1 maka volumenya

$$Vol\ tabung = 3,14 \cdot 2,5^2 \cdot 80 = 1570\ mm^3 = 1,57\ cm^3$$

Setelah itu kita perlu mengetahui massa jenis MgB_2 akan tetapi menurut jurnal (Akdogan et al., 2017) massa jenis yang digunakan tidak jauh dari massa jenis optimum, tidak di standarisasi oleh karena itu massa jenisnya biasanya 50-60% dari teori pada percobaan ini menggunakan $\pm 63\%$ sehingga massa jenis (ρ) yang digunakan yaitu:

$$\begin{aligned} \rho\ MgB_2\ Standard &= 2,52\ g/cm^3 \\ \rho\ MgB_2(63\%) &= 2,52 \times 63\ \% \\ &= 1,6065\ g/cm^3 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan massa jenisnya maka massa MgB_2 ($m\ MgB_2$) dihitung dengan menggunakan rumus

$$m\ MgB_2 = \rho\ MgB_2 \times Vol\ Tabung \quad (3.2)$$

$$m\ MgB_2 = 1,6065\ g/cm^3 \times 1,57\ cm^3$$

$$m\ MgB_2 = 2,522\ gram$$

Sehingga massa total MgB_2 yang digunakan adalah 2,522 gram. Dimensi tabung SS yang akan digunakan dapat dilihat pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Tabung *Stainless Steel* (SS) 316

Tabung SS yang digunakan diberi perlakuan panas atau *annealing* terlebih dahulu pada suhu 800°C selama 2 jam untuk menghilangkan *residual stress*. *Residual stress* adalah *stress* yang tertinggal didalam struktur sebagai hasil dari perlakuan mekanis atau thermal atau dua-duanya. Untuk memanaskan tabung digunakan *Furnace Muffle*.



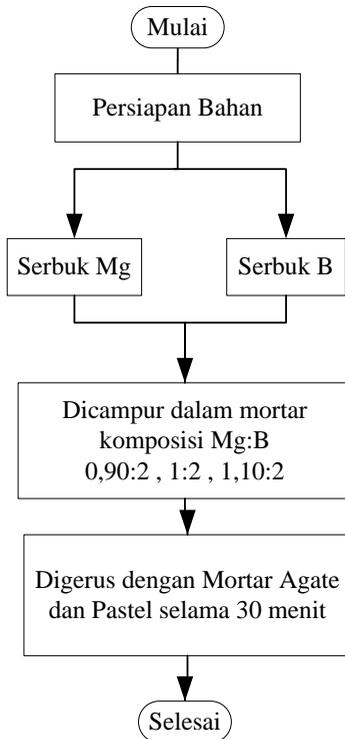
Gambar 3.3 Tabung SS 316 setelah ditutup

3.2 Pembuatan Serbuk MgB_2

Pada penelitian ini bahan yang digunakan untuk kawat superkonduktor MgB_2 adalah serbuk magnesium (Mg) dengan kemurnian 98% lalu serbuk Boron (B) (95%). Diagram alir proses pembuatannya ada pada gambar 3.4

Pada penelitian ini digunakan alat-alat penunjang yaitu kertas timbang untuk menaruh sampel. Untuk menimbang sampel digunakan neraca digital, Kren EW 220-3NM. Mortar agate dan pestel untuk menggerus sampel. Spatula untuk memasukkan sampel yang sudah digerus kedalam tabung

Serbuk digunakan untuk mengisi rongga dalam tabung SS 316. Komposisi pencampuran Mg dan B adalah 1:2 untuk yang stoikiometri, Untuk yang non-stoikiometri komposisinya yaitu 0,90:2 dan 1,10:2.



Gambar 3.4 Diagram alir pembuatan serbuk MgB₂

Pada penelitian ini terdapat tiga komposisi MgB₂. Dimana komposisi Mg berubah yaitu Mg_{0,90} , Mg_{1,00} , dan Mg_{1,10} sedangkan komposisi B tetap. Seperti diketahui bahwa berat atom Mg 24,305 g/mol, B 10,806 g/mol, sehingga Mr MgB₂ 45,925 g/mol sehingga serbuk yang digunakan yaitu:

A. Mg dan B Stoikiometri

Dengan menggunakan rumus Fraksi Berat (X) yaitu

$$X_{Mg} = 1 \times \frac{Ar_{Mg}}{Mr_{MgB_2}} \quad (3.3)$$

$$X_{Mg} = \frac{24,305}{45,925} = 0,529$$

$$X_B = 2 \times \frac{Ar_B}{Mr_{MgB_2}} \quad (3.4)$$

$$X_B = \frac{10,806}{45,925} = 0,471$$

Untuk total serbuk MgB_2 yang dibuat = 2,522 gram sehingga serbuk Mg (m Mg) yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} m_{Mg} &= X_{Mg} \times m_{total} \\ m_{Mg} &= 0,529 \times 2,522 \\ &= 1,335 \text{ gram} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Sedangkan untuk massa (m B) serbuk B yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} m_B &= X_B \times m_{total} \\ m_B &= 0,471 \times 2,522 \\ &= 1,187 \text{ gram} \end{aligned} \quad (3.6)$$

B. Mg dan B Non-Stoikiometri

1. 0,90 : 2

10% dari serbuk Mg (m Mg) yaitu

$$\begin{aligned} 10\% m_{Mg} &= 1,335 \times \frac{10}{100} \\ &= 0,133 \text{ gram} \end{aligned}$$

Sehingga serbuk Mg (m Mg) yang digunakan yaitu

$$\begin{aligned} m_{Mg_{0,90}} &= 1,335 \text{ gram} - 0,133 \text{ gram} \\ &= 1,201 \text{ gram} \end{aligned}$$

Sedangkan serbuk B (m B) tetap yaitu 1,187 gram

2. 1,10 : 2

Serbuk Mg (m Mg) yang digunakan yaitu

$$m Mg_{1,10} = 1,335 \text{ gram} + 0,133 \text{ gram} \\ = 1,468 \text{ gram}$$

Sedangkan serbuk B (m B) tetap yaitu 1,187 gram



Gambar 3.5 Bahan superkonduktor yang digunakan
a. Serbuk Magnesium (Mg) b. Serbuk Boron (B)

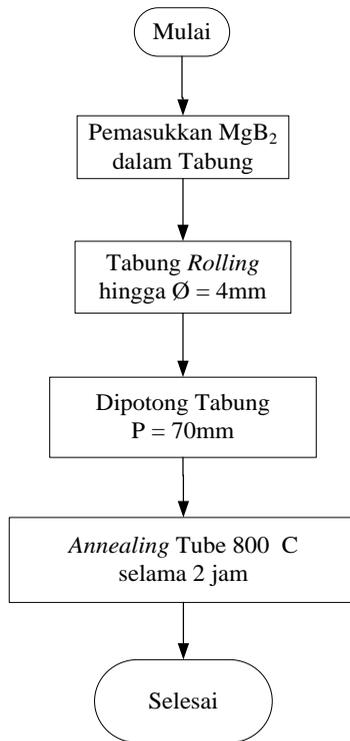
Oleh karena itu pada penelitian ini akan dibuat sampel sesuai pada tabel berikut

Tabel 3.1 Komposisi dan Massa pada sampel

Komposisi Mg:B	Sampel	Massa Mg	Massa B
0,90 : 2	Mg _{0,90}	1,201 gram	1,187 gram
1,00 : 2	Mg _{1,00}	1,335 gram	
1,10 : 2	Mg _{1,10}	1,468 gram	

3.3 Pembuatan Kawat Superkonduktor Metode PIT

Setelah membuat tabung *stainless steel* dan serbuk MgB₂ maka serbuk tersebut harus dimasukkan kedalam tabung dan dibuat kawatnya menggunakan metode *powder-in-tube* (PIT) diagram alir proses PIT terdapat pada gambar 3.6



Gambar 3.6 Diagram alir metode *Powder-In-Tube*

Serbuk Mg dan B yang sudah ditimbang dan digerus kemudian dimasukkan kedalam tabung SS 316. Tabung SS tersebut kemudian ditutup lalu *rolling* menggunakan mesin sampai diameter luarnya mencapai 4 mm. Digunakan *wire rolling machine* untuk menggulung tabung. Perlakuan tersebut mengakibatkan kawat menjadi lebih panjang seperti yang terjadi pada gambar 3.7



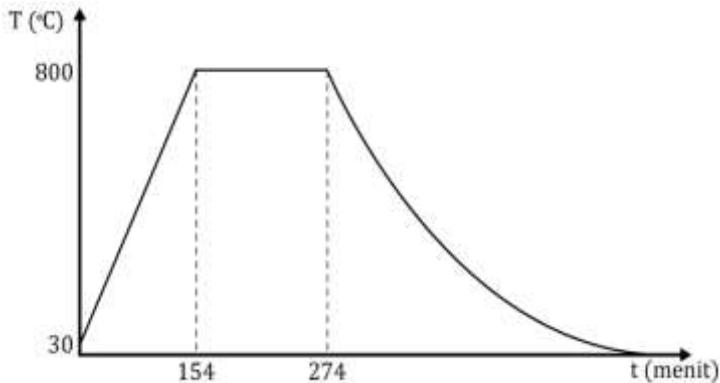
Gambar 3.7 Kawat superkonduktor MgB₂

Setelah kawat sudah dibentuk masing-masing sampel kemudian dipotong menjadi 7 cm. dan dimasukkan SS Tube 201 untuk dipanaskan dalam *furnace*. Hal ini bertujuan untuk mengurangi proses reaksi oksidasi atau evaporasi magnesium pada saat proses *Annealing*. Hasil akhirnya seperti pada gambar 3.8



Gambar 3.8 Kawat superkonduktor setelah dipotong

Pemansan sampel atau *Annealing* dilakukan dalam furnace suhu 800⁰C dengan memiliki laju suhu 5⁰C selama 5 menit. Setelah mencapai suhu 800⁰C laju tersebut di tahan selama 2 jam kemudian kembali ke suhu kamar lagi sehingga sampel ketika dikeluarkan sudah bisa dipotong untuk dilakukan pengujian



Gambar 3.9 Grafik pemanasan sampel Mg-B

Pemanasan ini dilakukan untuk mereaksikan Mg dan B untuk membentuk superkonduktor MgB_2 . Suhu 800°C digunakan karena Mg baru bisa bereaksi dengan B untuk membentuk MgB_2 diatas suhu 650°C dan menurut penelitian sebelumnya (Muralidhar et al., 2015) didapat nilai T_c tertinggi ketika suhu 800°C pada selang $770\text{-}805^{\circ}\text{C}$



Gambar 3.10 Pemanasankawat superkonduktor

3.4 Pengujian Kawat Superkonduktor

Kawat yang sudah di *annealing* dikeluarkan kemudian dilakukan tiga pengujian untuk mendapatkan sifat-sifat dari sampel yang dibuat. Pengujian yang dilakukan yaitu :

- Pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*)
- Pengujian suhu kritis (T_c)
- Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Diagram alirnya ada pada gambar 3.11

3.4.1 Pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*)

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui fasa-fasa apa saja yang terbentuk pada sampel. Setiap material mempunyai pola difraksi yang unik dan senyawa yang dapat diidentifikasi menggunakan pola difraksi. Difraksi terjadi ketika cahaya menyebarkan pada susunan yang periodik dengan orde jarak jauh sehingga menghasilkan interferensi yang konstruktif pada sudut-sudut tertentu. Atom-atom pada kristal secara periodik tersusun sehingga mendifraksi cahaya. Panjang gelombang *X-ray* mirip dengan jarak antar atom sehingga karakterisasi XRD memakai prinsip ini untuk menjelaskan sifat kristal dari material-material. Penyebaran sinar-X dari atom-atom untuk membuat pola difraksi yang menyimpan informasi tentang susunan atom dalam kristal. Akan tetapi material yang *amorf* tidak memiliki susunan yang periodik dengan orde jarak jauh sehingga tidak menimbulkan puncak yang signifikan pada pola difraksi. (Chauhan et al, 2014) untuk karakterisasi XRD (*X-Ray Diffraction*) digunakan mesin XRD PHILIPS Panalytical Empyrean PW1710

Sedangkan untuk analisa kuantitatif XRD pada sampel atau untuk mengetahui persen fasa yang terbentuk digunakan rumus

$$\% \text{ Fasa} = \frac{\varepsilon \text{ jumlah puncak pada fasa } X}{\varepsilon \text{ jumlah puncak total fasa semua}} \times 100\% \quad (3.7)$$



Gambar 3.11 Mesin XRD

3.4.2 Pengujian Temperatur Kritis (T_c)

Pengujian Temperatur kritis (T_c) sampel menggunakan alat *cryogenic magnet* yang ada di LIPI. Untuk mengukurnya digunakan metode *Four Point Probe (FPP)*. Hasilnya berupa grafik antara resistansi (R) dengan rentang suhu (T). Kemudian dihitung resistivitas sampel melalui persamaan.

$$\rho = R \frac{A}{l}. \quad (3.8)$$

Setelah didapat nilai resistivitasnya maka diubah grafiknya menjadi antara resistivitas (ρ) dengan suhu (T) maka dapat dilihat pada temperatur berapa nilai ρ menjadi nol sehingga didapat nilai T_c nya. Untuk melihat nilai T_c nya digunakan software *Caleida Grpah*. Mesin yang digunakan yaitu *cryogenic magnet "Cryotron FR"* buatan *Oxford* ini menggunakan *Pulse Tube Cryocooler* yang berfungsi untuk mendinginkan gas helium. Gas helium akan diekspan/ dimampatkan oleh kompresor sehingga temperatur gas helium akan turun.

Uji T_c ini dimulai dengan cara memasang sampel diatas *PCB holder* dengan 8 titik yang digunakan. Titik 1-4 digunakan untuk menguji sampel 1 dan titik 5-8 untuk menguji sampel 2. Sampel tersebut kemudian diletakkan di atas *PCB holder* dan disambungkan dengan kawat Cu yang sudah terhubung dengan *PCB holder*. Cu dengan *PCB holder* sebelumnya disambungkan menggunakan kawat timah yang disolder. Sedangkan sampel pada *PCB holder* direkatkan menggunakan Ag pasta. Sampel yang terpasang pada *PCB holder* dapat dilihat pada gambar 3.12



Gambar 3.12 Sampel yang direkatkan menggunakan Ag

Sampel tersebut kemudian diletakkan pada unit utama *cryogenic magnet* yaitu tempat dimasukkannya sampel yang ditunjukkan pada gambar 3.13.

Komponen *cryogenic magnet* yang lain meliputi *circulation pump*, kompresor gas helium dan *controller*. Komponen-komponen ini memiliki fungsi yang berbeda. Sistem pompa sirkulasi (*circulation pump*) berfungsi untuk mengurangi tekanan gas helium sehingga temperatur dapat diturunkan hingga 1,5 K. Kompresor gas helium yang apabila berdiri tanpa *circulation pump* akan menurunkan temperatur sampel hingga 4,5 K. Sedangkan *controller* berfungsi untuk mengendalikan suhu dan medan magnet.



a) Cryogenic Magnet



b) Circulation pump



d) Temperature and Magnet controller



c) Kompresor gas helium

Gambar 3.13 Bagian-bagian *cryogenic magnet*

3.4.3 Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*)

SEM atau *Scanning Electron Microscope* merupakan alat untuk mengobservasi permukaan dari sampel. Ketika sampel dikenai oleh sinar elektron, elektron sekunder akan keluar dari permukaan sampel sehingga topografi dari permukaan dapat dilihat menggunakan scanning secara dua dimensi dan mendapatkan gambar dari elektron sekunder (Nixon, 1971) untuk karakterisasi SEM digunakan mesin SEM-EDX JSM-6390AJEOL

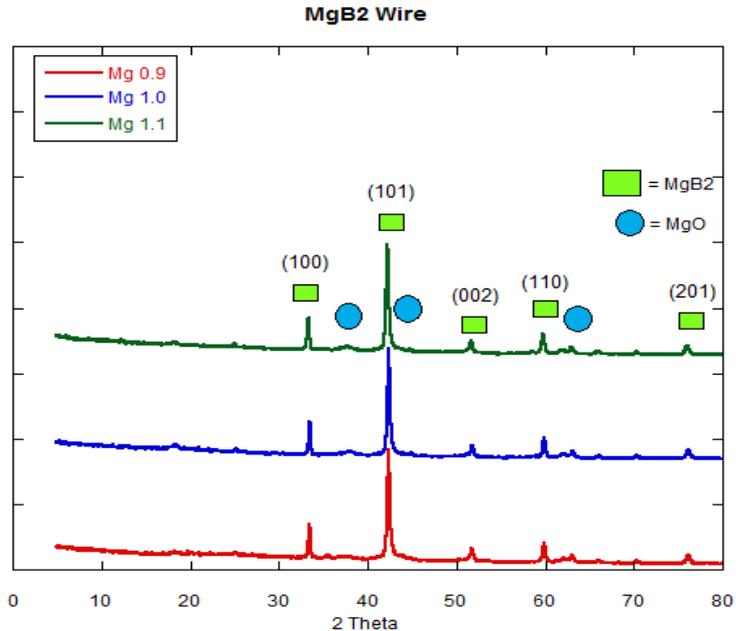


Gambar 3.14 Mesin SEM

BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Hasil Pengujian XRD(X-Ray Diffraction)

Dari hasil pengujian XRD dilakukan analisa kualitatif untuk mengetahui apa saja fasa yang terbentuk.



Gambar 4.1 Hasil pengujian XRD kawat MgB₂

Pada gambar 4.1 terlihat hasil pengujian XRD pada serbuk MgB₂ yang dikeluarkan dari kawat. Analisis kualitatif pada sampel dilakukan dengan cara menggunakan software *Match!* dengan database COD (*crystallography open database*). Berdasarkan pola difraksi yang dihasilkan terdapat dua fasa dominan yaitu MgB₂ dan MgO. Fasa MgB₂ sebagai fasa yang dominan sedangkan MgO berperan sebagai fasa pengotornya. MgO ini muncul sebagai hasil adanya reaksi oksidasi pada Mg. Oksidasi ini terjadi karena masih adanya udara yang terperangkap

didalam tabung SS pada saat proses *sintering*. Pengaruh adanya fasa pengotor MgO ini dapat menurunkan nilai suhu transisi MgB₂ seperti yang terjadi pada percobaan Takano (Takano et al., 2001). MgO juga terlihat pada permukaan sampel setelah dilakukan perlakuan pemanasan yaitu munculnya serbuk-serbuk berwarna putih

Pada sampel E1 terdapat fasa MgB₂ terbanyak yaitu 96,17% dengan fasa pengotornya yaitu MgO sebanyak 3,83%. Hal ini membuktikan bahwa sampel dengan kekurangan Mg 10% memiliki fasa pengotor yang lebih dikit dibanding yang stoikiometri. Hal Ini disebabkan Mg yang beroksidasi makin dikit sehingga fasa pengotornya makin kecil juga (Perner et al., 2005)

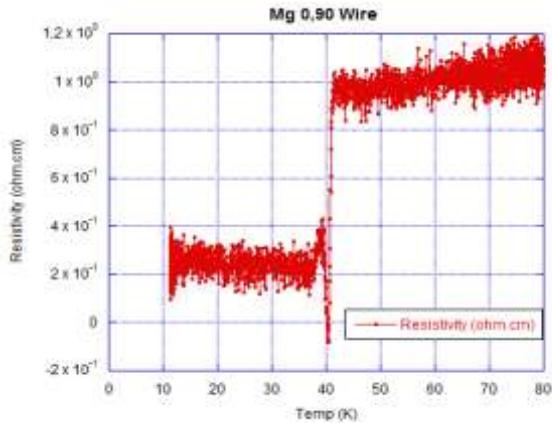
Tabel 4.1 Hasil Kuantitaif Penghitungan XRD

Komposisi	MgB ₂	MgO
0,90:2	96,16%	3,84%
1,00:2	95,47%	4,53%
1,10:2	95,82%	4,18%

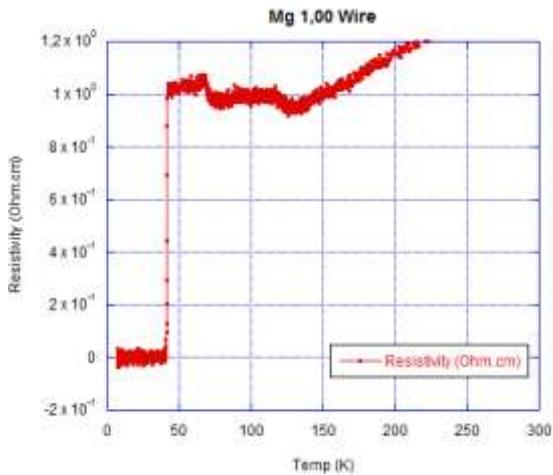
4.2 Hasil Uji Suhu Kritis(T_c)

Uji suhu kritis dilakukan dengan *Cryotron FR* dengan metode *Four Point Probe*. Hasil pengujian yang telah dilakukan seperti pada gambar 4.2, gambar 4.3, dan gambar 4.4

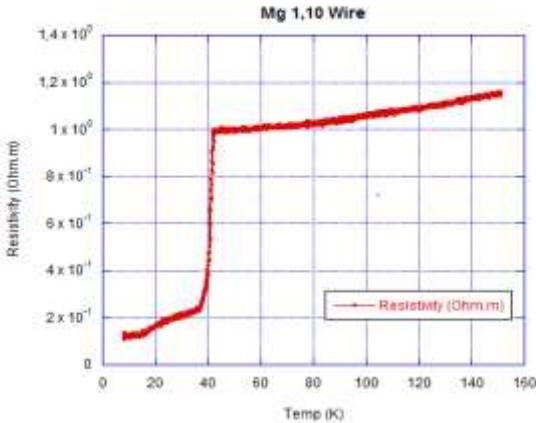
Telah dilakukan pengukuran resistivitas pada sampel. Pengukuran ini menggunakan mesin *Cryogenic Magnet "Cryotron FR"* buatan *Oxford* milik Pusat Penelitian Metalurgi Material (P2MM)-LIPI dan hasilnya terlihat pada tabel 4.2 *T_c Onset* merupakan nilai suhu ketika sampel bertansisi dari keadaan konduktor menuju superkonduktor, Sedangkan *T_c Zero* merupakan nilai suhu ketika resitivitas sudah bernilai nol



Gambar 4.2 Hasil pengujian resistivitas kawat MgB_2 dengan komposisi 0,90:2



Gambar 4.3 Hasil pengujian resistivitas kawat MgB_2 dengan komposisi 1:2



Gambar 4.4 Hasil pengujian resistivitas kawat MgB₂dengan dengan komposisi 1,10:2

Tabel 4.2 T_c Onset dan T_c Zero dari Sampel

Komposisi	T_c Onset (K)	T_c Zero (K)
0,90:2	40,97	40,19
1,00:2	42,50	40,89
1,10:2	42,22	-

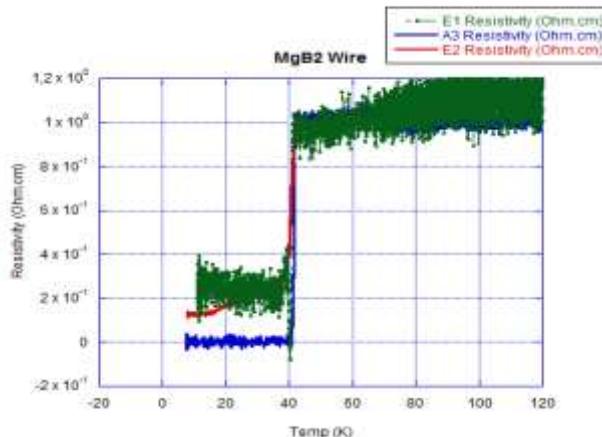
Pada sampel Mg_{0,90} didapat kurva transisi resistivitas dengan nilai T_c Onset 40,97 K dan nilai T_c Zero 40,8 K namun setelah mencapai T_c Zero nilai resistannya muncul kembali dari nol hingga 0,25 Ohm lalu meningkat hingga 0,40 Ohm lalu menurun lagi hingga 0,09 Ohm. Pada pengukuran resistivitas juga terdapat *noise* yang cukup tinggi

Pada sampel dengan komposisi Mg_{1,0} terlihat kurva transisi resistivitasnya juga dan didapat nilai T_c Onset 40,97 K dan T_c Zero 40,19 K. Setelah mencapai T_c Zero terlihat nilai resistansi tetap dan *noise* yang dihasilkan ketika pengukuran tidak begitu banyak sehingga didapat kurva yang baik

Pada sampel dengan komposisi $Mg_{1.10}$ terlihat juga kurva transisi dengan nilai $T_c \text{ Onset}$ 42,22 K akan tetapi $T_c \text{ Zero}$ tidak tercapai dan nilai resistansinya berada di sekitar 0,12 Ohm, namun noise yang dihasilkan relatif kecil mirip dengan hasil $Mg_{1.00}$ hal ini diperkirakan proses pengukuran resistivitas sampel mengukur nilai resistivitas SS 316 sehingga nilai resistivitas dibawah suhu kritisnya masih menunjukkan nilai resistivitas dari SS 316.

Berdasarkan tabel 4.2, terlihat nilai suhu kritis dari ketiga sampel tidak memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian XRD dari ketiga sampel dengan perbandingan persentase fasa MgB_2 yang terbentuk. Yang menyebabkan penyimpangan nilai resistivitas pada saat pengukuran antara lain:

- Sampel yang sangat berongga sehingga menyebabkan tidak stabilnya arus listrik pada saat pengukuran resistivitas
- Batas antara MgB_2 dan tabung SS316 terlalu pendek sehingga kabel four point probe dapat menempel pada kedua material tersebut. Kabel *four point probe* seharusnya menempel pada MgB_2 .



Gambar 4.5 Hasil pengujian resistivitas kawat MgB_2

Walau begitu dari uji ini sudah dapat disimpulkan bahwa sampel sudah memiliki sifat superkonduktor karena ciri khas dari sifat superkonduktor adalah munculnya kurva transisi dari yang bernilai resistivitas hingga nilainya nol. Pada gambar 4.5 terlihat kurva resistansi-suhu masing-masing sampel dalam satu gambar

4.3 Hasil Uji SEM

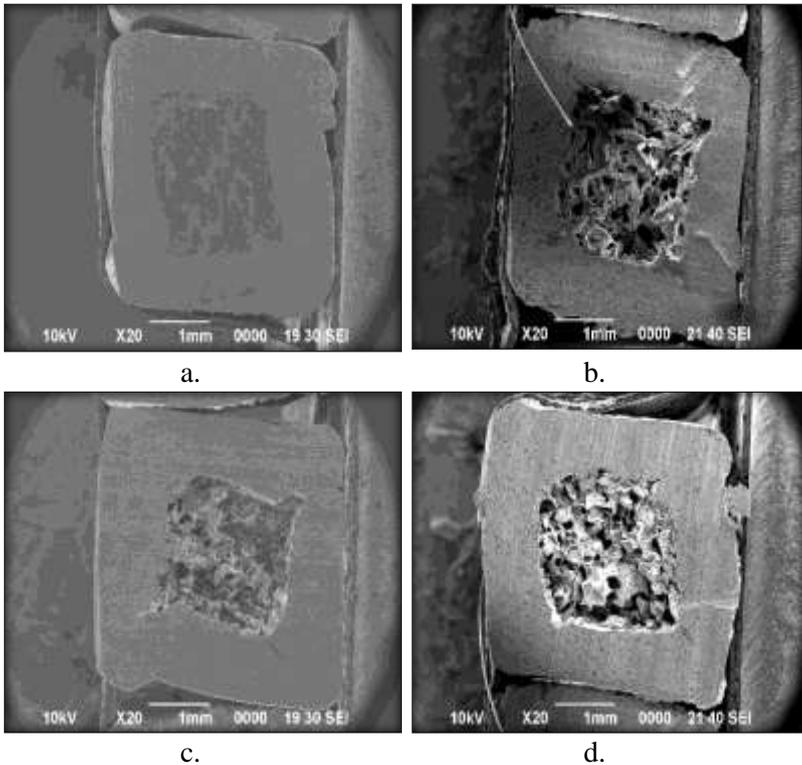
Pengujian SEM dilakukan untuk melihat morfologi sampel yang terbentuk dalam kawat.

4.3.1 Hasil Uji SEM Penampang Melintang

Hasil Uji SEM penampang melintang kawat superkonduktor MgB_2 terlihat pada Gambar 4.6 dengan gambar a. *As-Rolled* b. $Mg_{0,90}$ c. $Mg_{1,0}$ d. $Mg_{1,10}$. Sampel *As-Rolled* dibuat sebagai pembandingan dimana sampel tersebut hanya diberikan perlakuan *rolling* sedangkan sampel lainnya ditambah pemanasan dengan suhu $800^\circ C$ selama 2 jam

Apabila dilihat dari tampak depan perbesaran 20x kawat terlihat bahwa porositas pada serbuk masih tinggi. Terlihat pada sampel *As-rolled* serbuk didalam kawat terlihat lebih padat dibandingkan sampel lainnya. Hal ini berarti kurang terbentuknya konektifitas antar butir yang mengakibatkan banyaknya lubang-lubang yang terbentuk. Porositas ini terjadi karena reduksi volume dari reaksi $Mg+2B$ dan juga evaporasi yang terjadi pada Mg menurut penelitian sebelumnya (Zeng et al., 2008).

Porositas ini sering terjadi pada pembuatan kawat menggunakan metode *In-situ*, bahkan porositas yang dihasilkan dapat mencapai 50% dari total volume kawat (Pan, Zhou, Liu, & Dou, 2003).

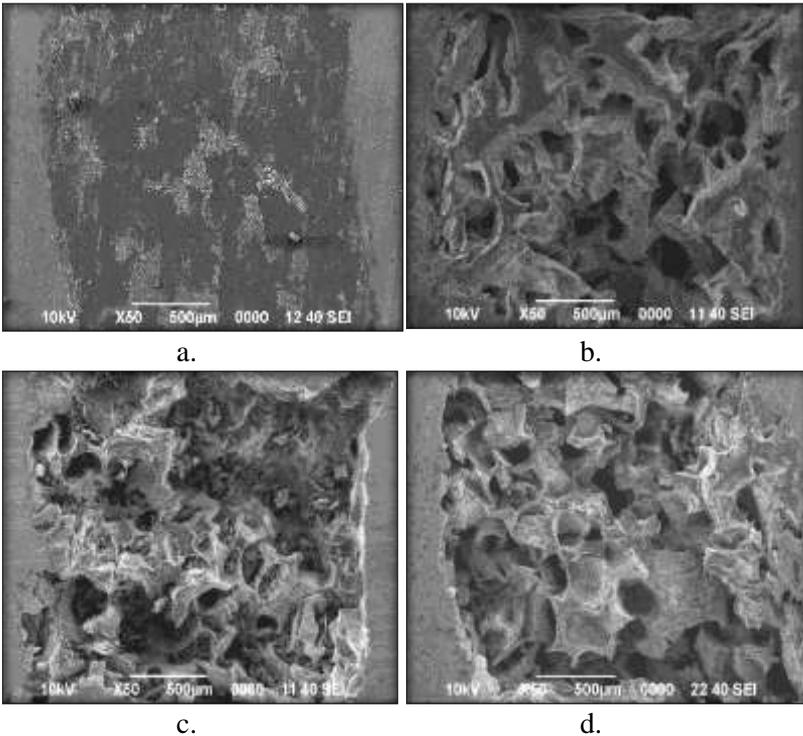


Gambar 4.6 Hasil SEM penampang melintang kawat superkonduktor MgB_2 untuk komposisi a.As-rolled b.0,90:2 c.1:2 dan d. 1,10:2

Proses *sintering* yang diberikan pada kawat menggunakan suhu $800^{\circ}C$ mengakibatkan Mg berubah fasa menjadi *liquid* dan menutupi Boron. Hal ini mengakibatkan terjadinya reduksi volume intrinsik. Selain itu ukuran serbuk Mg awal juga berpengaruh terhadap banyaknya porositas yang dihasilkan, serbuk yang ukurannya besar akan mengakibatkan butiran-butiran yang kurang terhubung antara satu dengan lainnya berbeda dengan serbuk yang ukurannya lebih kecil (Vinod et al 2008).

Akan tetapi tidak begitu terlihat perbedaan yang signifikan pada perbedaan variasi komposisi Mg. terhadap porositas yang terjadi.

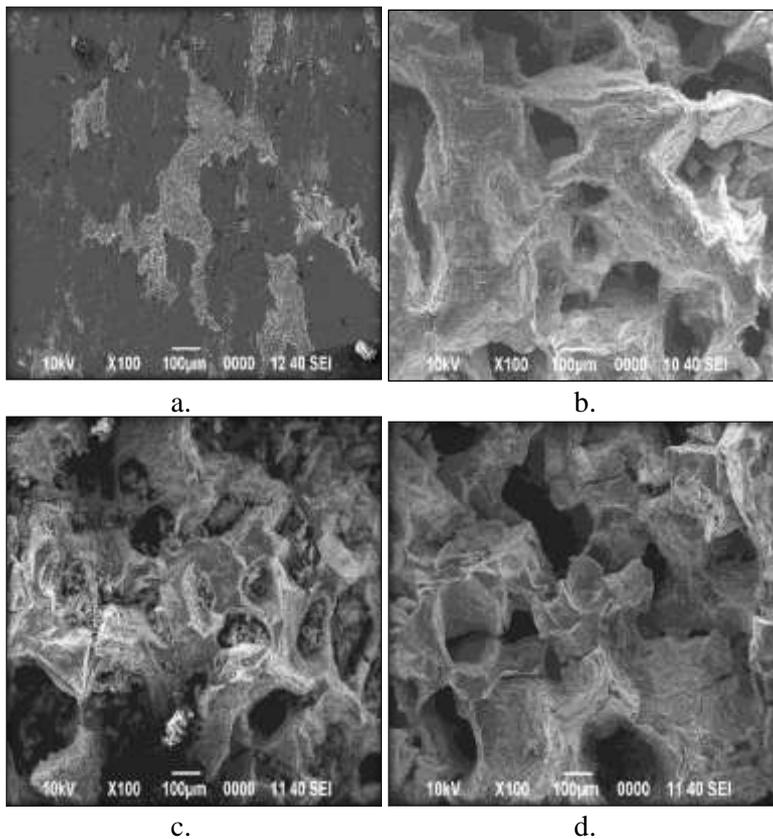
Diperlihatkan juga sampel penampang melintang dengan perbesaran 50x pada Gambar 4.7. dimana terlihat lebih jelas bahwa sampel *As-Rolled* lebih padat dibanding sampel lainnya. Warna hitam dan tampak bolong merupakan bukti porositas yang terjadi sedangkan warna abu-abu merupakan fasa MgB_2 yang terbentuk.



Gambar 4.7 Hasil SEM penampang melintang dengan perbesaran 50x pada komposisi
a. *As-Rolled* b. 0,90:2 c. 1:2 d. 1,10:2

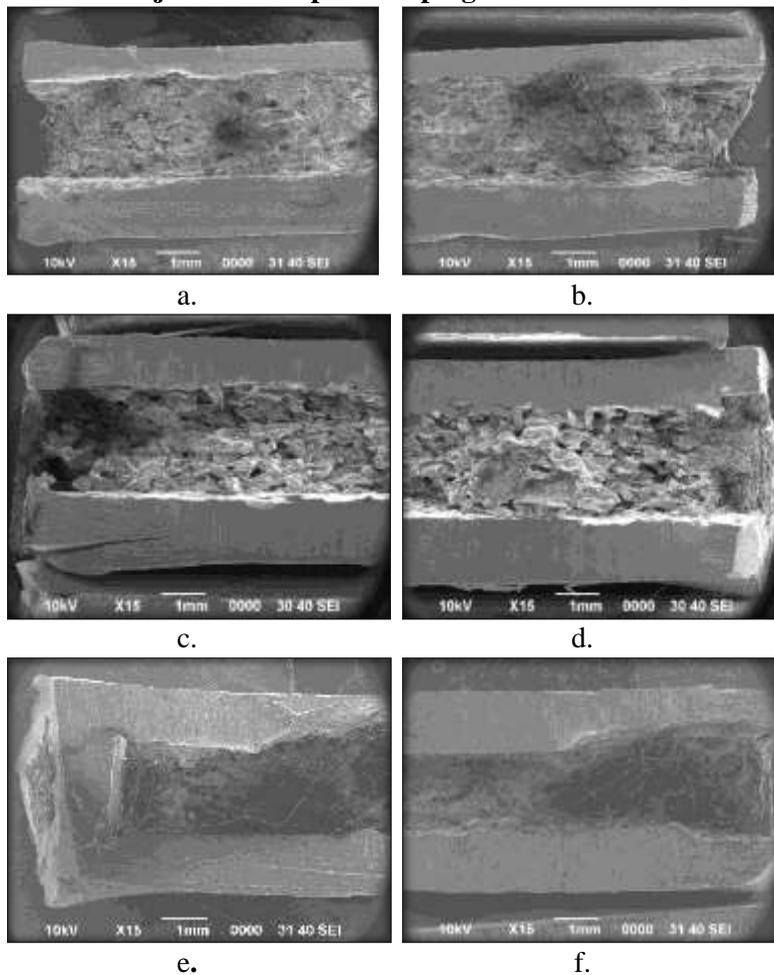
Apabila diperbesar lagi seperti pada gambar 4.8 maka makin terlihat bagian-bagian mana yang terkena porositas dan yang tidak. Terlihat bahwa sampel *As-Rolled* serbuk didalamnya padat dan rapat

sedangkan pada sampel-sampel lainnya terlihat porositasnya dengan warna hitam sedangkan warna abu-abu merupakan fasa MgB_2 yang terbentuk.



Gambar 4.8 Hasil SEM penampang melintang dengan perbesaran 100x pada komposisi
a.As-Rolled b. 0,90:2 c. 1:2 d. 1,10:2

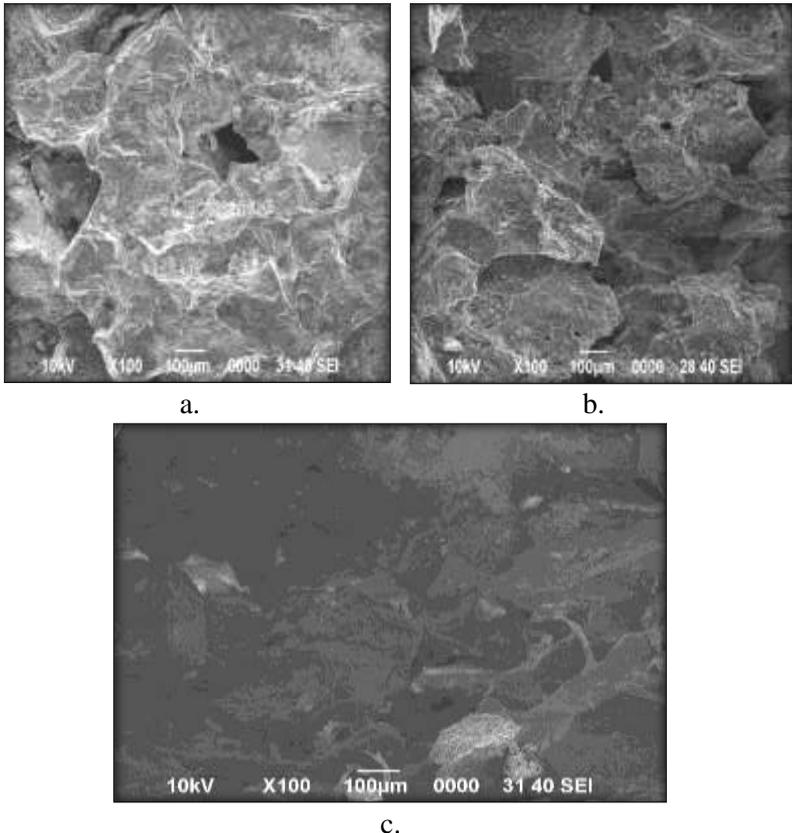
4.3.2 Hasil Uji SEM Tampak Samping



Gambar 4.9 Hasil SEM melintang pada perbesaran 20x untuk

- a. Komposisi $Mg_{0,90}$ bagian kiri
- b. Komposisi $Mg_{0,90}$ bagian kanan
- c. Komposisi $Mg_{1,00}$ bagian kiri
- d. Komposisi $Mg_{01,00}$ bagian kanan
- e. Komposisi $Mg_{1,10}$ bagian kiri
- f. Komposisi $Mg_{1,10}$ bagian kanan

Pada gambar 4.9 dilakukan pengujian SEM kawat pada tampak samping dengan gambar a. dan b. untuk bagian kiri dan kanan sampel $Mg_{0,90}$ lalu c. dan d. untuk sampel $Mg_{1,00}$ dan gambar e. dan f. untuk sampel $Mg_{1,10}$ menggunakan perbesaran 30x dan terlihat bahwa porositas kawat masih terjadi walau sedikit.



Gambar 4.10 Hasil SEM tampak samping dengan perbesaran 100x pada komposisi a. 0,90:2 b. 1:2 c. 1,10:2

Pada gambar 4.10 terlihat tampak samping kawat dengan perbesaran 100x dan apabila dibandingkan dengan tampak depan pada gambar 4.8 terlihat bahwa rongga yang dihasilkan lebih sedikit, hal ini kemungkinan terjadi karena porositas yang terjadi pada kawat searah dengan arah kawatnya sehingga pada sisi samping tidak begitu banyak porositas yang terjadi

4.4 Interpretasi Hasil

Dari seluruh Pengujian maka didapat hasilnya pada tabel dibawah ini

Tabel 4.3 Hasil Semua Pengujian pada Sampel

Sampel	XRD		Suhu Kritis (K)		SEM
	MgB ₂	MgO	<i>Tc Onset</i>	<i>Tc Zero</i>	
Mg_{0,90}	96,16%	3,84%	40,97	40,19	Terdapat Porositas
Mg_{1,00}	95,47%	4,53%	41,67	40,89	
Mg_{1,10}	95,82%	4,18%	42,22	-	

Hasil XRD menunjukkan bahwa sampel Mg_{0,90} memiliki fasa MgB₂ yang lebih tinggi dibanding sampel lainnya walau perbedaannya tidak jauh berbeda dengan sampel Mg_{0,90} dan Mg_{1,10}. Hal ini dikarenakan pada sampel Mg_{0,90} memiliki Mg yang lebih sedikit sehingga Mg yang teroksidasi juga sedikit.

Pada pengukuran suhu kritis didapat bahwa *Tc Onset* dan *Tc Zero* yang paling tinggi terdapat pada sampel Mg_{1,00} sedangkan pada Mg_{0,90} dan pada sampel Mg_{1,10} tidak didapat *Tc Zeronya*. Kedua hal ini dikarenakan terjadinya porositas yang mengakibatkan terganggunya pengukuran nilai resistivitas dan terbaca nilai resistivitas SS 316. Sehingga diambil kesimpulan sampel yang optimal untuk pembuatan kawat ada pada komposisi Mg_{1,00}

Sedangkan pada hasil SEM terlihat pada tampak penampang melintang bahwa terdapat porositas dalam sampel ditandai dengan banyaknya daerah gelap pada gambar sampel

Sehingga dari data-data tersebut bisa disimpulkan bahwa sampel $Mg_{1,00}$ merupakan sampel dengan performa terbaik. Karena hasil XRD yang memiliki fasa dominan MgB_2 ditambah suhu kritis yang tinggi dan porositas yang tidak begitu mengganggu hasil pengukuran resistivitas sehingga didapat nilai *Tc Onset* dan *Tc Zero*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan beberapa hal yaitu:

- Pada proses pembuatan kawat secara *In-situ* dengan metode *powder-in-tube* berhasil membuat kawat monofilamen superkonduktor MgB_2 dengan fasa MgB_2 yang relatif tinggi sekitar 95-96%. Akan tetapi terbentuk fasa pengotor yaitu MgO sebagai hasil dari oksidasi. Kawat yang dihasilkan memiliki nilai T_c Onset dan pada kurjanya terjadi transisi dari sifat konduktor menuju superkonduktor. Akan tetapi terdapat porositas yang terjadi karena hasil reaksi $Mg+2B$ didalam kawat
- Perbandingan komposisi yang optimal untuk kawat superkonduktor yaitu perbandingan rasio Mg dan B 1:2. Hasil yang didapat yaitu fasa MgB_2 sebesar 95,47 % dan fasa pengotor yaitu MgO sebesar 4,53 %. T_c Onset yang didapat sebesar 42,50 dan T_c Zero sebesar 40,89

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Acharya, S. (2012). Studies on superconductor nano composite of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8/\text{BiFeO}_3$, (M.Res. thesis, Dept. Phys., Nat. Inst. Tech., Rourkela, India).
- Akdogan, M., Yeti, H., Gajda, F., Rogacki, K., Morawski, A., & Belenli, (2017). Use of amorphous boron and amorphous nano boron powder mixture in fabrication of long in-situ MgB_2/Fe wires. *Journal of Alloys and Compounds*, 702, 399–403. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.01.142>
- Braccini, V., Nardelli, D., Penco, R., & Grasso, G. (2007). Development of ex situ processed MgB_2 wires and their applications to magnets, 456, 209–217. <https://doi.org/10.1016/j.physc.2007.01.030>
- Buzea, C., & Yamashita, T. (2001). Review of superconducting properties of, 1–35.
- Chauhan, A., & Chauhan, P. (2014). Powder XRD Technique and its Applications in Science and Technology. *J Anal Bioanal Tech*, 5, 212.
- Dieter, G. E., Bacon, D., Copley, S. M., Wert, C. A., & Wilkes, G. L. (1988). *Mechanical Metallurgy*.
- Galperin, Y. M. (2001). “Introduction to Modern Solid State Physics.” Available: [Http://folk.uio.no/yurig/fys448/f448pdf](http://folk.uio.no/yurig/fys448/f448pdf).
- Glowacki, B. A., Majoros, M., Vickers, M., Evetts, J. E., & Shi, Y. (2002). Superconductivity of powder-in-tube MgB_2 wires, 193.
- Häßler, W., Rodig, C., Damm, C., Scheiter, J., Schultz, L., Aubele, Schlenga, K. (2015). Increased critical current density of in-situ MgB_2 wires by Mg deficiency, 510, 8–12. <https://doi.org/10.1016/j.physc.2014.12.009>
- Jin, S., Mavoori, H., & Dover, V. (2001). High critical currents in iron-clad superconducting MgB_2 wires. *Nature*, 411–563.
- Kamerlingh Onnes, H. (1911). On the sudden change in the rate at which the resistance of mercury disappears. *Communications from the Physical Laboratory of the University of Leiden*, 124c.

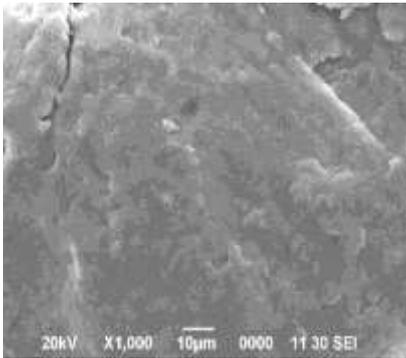
- Kim, S., Stone, D. S., Cho, J. I., Jeong, C. Y., Kang, C. S., & Bae, J. C. (2009). Phase stability determination of the Mg-B binary system using the CALPHAD method and ab initio calculations. *Journal of Alloys and Compounds*, 470(1–2), 85–89. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2008.02.099>
- Larbalestier, D. C., Cooley, L. D., Rikel, M. O., & Jiang, J. (2001). Strongly linked current flow in polycrystalline forms of the superconductor MgB₂. *Nature*, 410.
- Muralidhar, M., Nozaki, K., Kobayashi, H., Zeng, X. L., Koblishka-Veneva, A., Koblishka, M. R., ... Murakami, M. (2015). Optimization of sintering conditions in bulk MgB₂ material for improvement of critical current density. *Journal of Alloys and Compounds*, 649, 833–842. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.07.191>
- Nixon, W. (1971). The General Principles of Scanning Electron Microscopy, 45–50.
- Pan, A. V, Zhou, S., Liu, H., & Dou, S. (2003). Properties of superconducting MgB₂ wires : in situ versus ex situ reaction, 639.
- Perner, O., Eckert, J., Häbler, W., Fischer, C., Acker, J., Gemming, T. (2005). Stoichiometry dependence of superconductivity and microstructure in mechanically alloyed MgB₂. *Journal of Applied Physics*, 97(5), 2003–2006. <https://doi.org/10.1063/1.1861142>
- Rajput, S. (2017). High temperature and low field regime vortex phase diagram of in-situ prepared stainless steel sheathed MgB₂ tapes. *Cryogenics*, 83, 17–21. <https://doi.org/10.1016/j.cryogenics.2017.01.010>
- Razeti, M., Angius, S., Bertora, L., Damiani, D., Marabotto, R., Modica, Tassisto, M. (2008). Construction and Operation of Cryogen Free Magnets for Open MRI Systems. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 18(2), 1–5. <https://doi.org/10.1109/TASC.2008.920661>
- Rey, C. M., & Malozemoff, A. . (2015). *Fundamentals of superconductivity*.
- Suo, H. L., Beneduce, C., Dhalle, M., Musolino N, G. J. Y. and, &

- Flukiger R. (2001). Large transport critical currents in dense Fe and Ni-clad MgB₂ superconducting tapes.
- Suo, H. L., Musolino, N., Beneduce, C., Toulemonde, P., Lezza, P., & Fl, R. (2003). Superconducting properties of MgB₂ tapes and wires, *385*, 286–305.
- Takano, Y., Takeya, H., Fujii, H., Kumakura, H., Hatano, T., & Togano, K. (2001). Superconducting Properties of MgB₂ Bulk Materials Prepared by High Pressure Sintering, 1–2.
- Varghese, N., Vinod, K., Abhilash Kumar, R. G., Syamaprasad, U., & Sundaresan, A. (2007). Influence of reactivity of sheath materials with Mg/B on superconducting properties of MgB₂. *Journal of Applied Physics*, *102*(4), 0–4. <https://doi.org/10.1063/1.2773696>
- Varghese, N., Vinod, K., Kumar, R. G. A., & Syamaprasad, U. (2013). Influence of reactivity of sheath materials with Mg / B on superconducting properties of MgB₂ Influence of reactivity of sheath materials with Mg/B on superconducting properties of MgB₂, *43914*(2007), 0–4. <https://doi.org/10.1063/1.2773696>
- Vinod, K., Varghese, N., Kumar, R. G. A., Syamaprasad, U., & Roy, S. B. (2008). Influence of Mg particle size on the reactivity and superconducting properties of in situ MgB₂, *464*, 33–37. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2007.10.030>
- Zeng, R., Lu, L., Li, W. X., Wang, J. L., Shi, D. Q., Horvat, Rindfleisch, M. (2008). Excess Mg addition MgB₂ /Fe wires with enhanced critical current density. *Journal of Applied Physics*, *103*(8). <https://doi.org/10.1063/1.2909203>

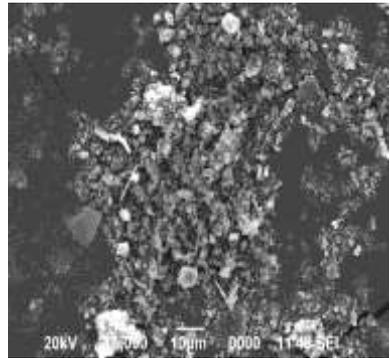
Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A

Hasil Pengujian SEM

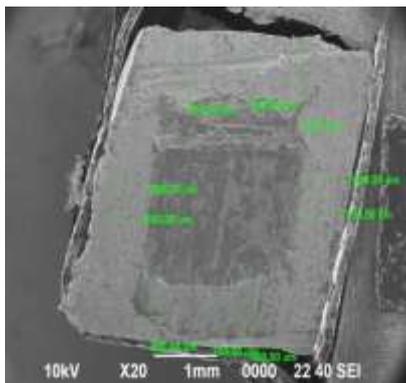


a.

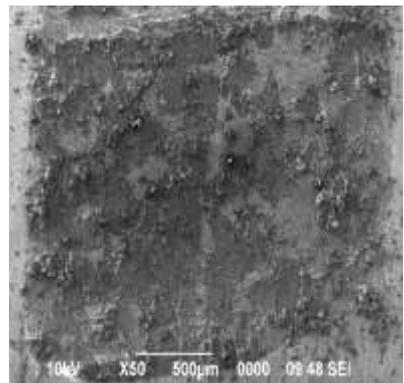


b.

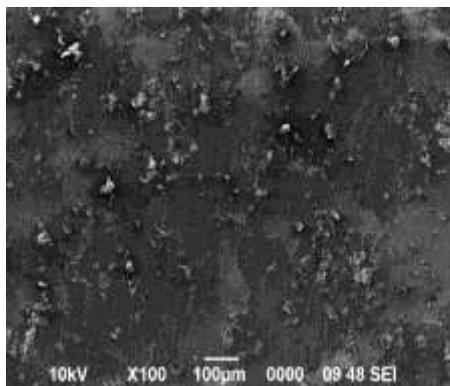
B.1 Hasil Pengujian SEM dengan perbesaran 1000x untuk
a. Serbuk Mg b. Serbuk Boron



a.



b.



c.

- B.2** Hasil Pengujian SEM sampel As-Rolled komposisi 1,10:2 pada perbesaran
- a.20x
 - b.50x
 - c.100x

LAMPIRAN B



**Neraca Analitik KERN
EW 220-3 NM**



**Muffle Furnace
Bamstead Thermolyne 47900**



Mortar Agate dan Pestel



**Mesin Press BMI
Simon Machinery MFG**



Cawan Porselin 50 ml



**Jangka Sorong
(Nst = 0,05 mm)**



Tabung Nitrogen Cair



Ethanol Teknis



Crusible



Styrofoam

BIODATA PENULIS



Muhammad Emir Hanif Rasyadi lahir di Bandung pada tanggal 29 Mei 1995. Penulis mengenyam pendidikan wajib di SD Islam Dian Didaktika, SMPN 85 Jakarta, dan SMAN 28 Jakarta.

Setelah lulus SMA pada tahun 2013, penulis melanjutkan studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) jurusan Teknik Fisika. Semasa di ITS, penulis aktif di unit kegiatan mahasiswa (UKM) Bola Basket ITS dan pernah menjabat sebagai ketua departemen Pemberdayaan Sumber Daya Manusia (PSDM) serta menjabat sebagai ketua laboratorium Rekayasa Bahan

Kritik dan saran dalam penulisan dan konten pada laporan ini dapat dikirim melalui surat elektronik pada emirasyadi@gmail.com.