

**Studi Pengembangan Bahan Magnesium Diborida
dengan Penambahan *Graphene Oxide* melalui Proses
Powder in Stainless Steel Tube dan *Cold Rolling* terhadap
Karakterisasi Pembentukan Fasa, Morfologi, dan
Superkonduktivitas**



TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan
Dalam Menyelesaikan Program Strata-1 (S1)
Pada Jurusan Teknik Mesin
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**

Disusun Oleh :

**BRILLIAN ARDY MAHENDRA
3331170081**

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON-BANTEN
2022**


TUGAS AKHIR


Studi Pengembangan Bahan Magnesium Diborida dengan Penambahan Graphene Oxide melalui Proses Powder in Stainless Steel Tube dan Cold Rolling terhadap Karakterisasi Pembentukan Fasa, Morfologi, dan Superkonduktivitas

Dipersiapkan dan disusun oleh:
BRILLIAN ARDY MAHENDRA
3331170081

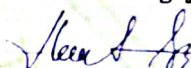
Telah Berhasil Publikasi Jurnal: Jurnal Mesin Nusantara
pada tanggal, 01 Juli 2022

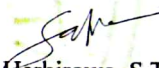
Pembimbing Utama

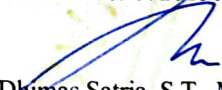

Iman Saefulloh, ST., M.Eng.
NIP. 197212072005011001


Satrio Herbirowo, S.T., M.T
NIP. 199109072015021002

Anggota Dewan Penguji


Iman Saefulloh, ST., M.Eng.
NIP. 197212072005011001


Satrio Herbirowo, S.T., M.T
NIP. 199109072015021002


Dhumas Satria, S.T., M.Eng.
NIP. 198305102012121006

**Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

Tanggal, 19 Oktober 2022


Dhumas Satria, S.T., M.Eng.
NIP. 198305102012121006



PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Brillian Ardy Mahendra

NPM : 3331170081

Judul : Studi Pengembangan Bahan Magnesium Diborida dengan Penambahan *Graphene Oxide* melalui Proses *Powder in Stainless Steel Tube* dan *Cold Rolling* terhadap Karakterisasi Pembentukan Fasa, Morfologi, dan Superkonduktivitas

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

MENYATAKAN

Bahwa skripsi ini adalah hasil karya sendiri dan tidak ada duplikasi dari pihak lain, kecuali yang sudah disebutkan sumbernya.

Cilegon, 2 November 2022



Brillian Ardy Mahendra

NPM. 3331170081

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada ALLAH subhanahuwata'ala yang telah memberikan hidayah iman islam hingga saat ini, shalawat serta salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad salallahu'alaihiwasallam karena atas perjuangan beliau penulis bisa merasakan nikmat islam. Alhadulillah atas berkah dan nikmat-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Pengembangan Material Magnesium Diborida Berselubung *stainless steel* untuk Aplikasi Kawat Superkonduktor terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro melalui Variasi Reduksi Ukuran Pengerolan Dingin”

Tugas akhir ini merupakan hasil perencanaan yang telah dilakukan, dimana dalam penyusunannya merupakan aplikasi dari beberapa mata kuliah yang telah dipelajari. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan kelulusan yang harus dipenuhi pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dhimas Satria, ST., M.Eng. sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin FT UNTIRTA.
2. Ibu Miftahul Jannah, S.T., M.T. sebagai Koordinator Tugas Akhir.
3. Iman Saefuloh, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Pertama dan Dosen Pembimbing Akademik
4. Ibunda penulis Sri Mulyati dan Ayahanda penulis Luwarno serta saudara yang selalu memberikan semangat dan doa.
5. Bapak Dr. Ir Agung Imadudin, M.Eng selaku pembimbing.
6. Bapak Satrio Herbirowo, S.T., M.T selaku pembimbing.
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
8. Serta teman-teman yang memberikan dukungan dan doa dalam menyelesaikan tugas akhir.
9. Teman-teman Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang selalu memberikan semangat dan motivasi.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan semua yang telah membantu terselesaikannya tugas akhir ini.

Menyadari akan kesalahan dan kekurangan sebagai manusia, segala saran dan kritik yang konstruktif sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini bermanfaat dan dapat dijadikan sumber pustaka serta ide bagi peneliti yang akan datang.

Cilegon, Juni 2022

(Brilliant Ardy Mahendra)

ABSTRAK

Studi Pengembangan Bahan Magnesium Diborida dengan Penambahan *Graphene Oxide* melalui Proses *Powder in Stainless Steel Tube* dan *Cold Rolling* terhadap Karakterisasi Pembentukan Fasa, Morfologi, dan Superkonduktivitas

Disusun Oleh :

BRILLIAN ARDY MAHENDRA

3331170081

Magnesium Diborida adalah material superkonduktor berpotensi tinggi yang dapat diaplikasikan dengan cukup praktis. Pengembangan material dilakukan dengan penambahan karbon, yaitu *Graphene Oxide* yang merupakan bahan berlapis atom tunggal. Metode *Powder in Tube* praktis digunakan dapat mengurangi oksidasi dengan harga yang lebih murah. Proses manufaktur dilakukan dengan perbandingan 1:2 dimana bahan Mg dengan kemurnian 98% dicampur dengan Boron, yang kemudian ditambahkan doping *Graphene Oxide* seberat 0, 0,3 dan 3% wt, semua bahan ditimbang secara stoikiometri. Material disinter dengan suhu 800°C selama 2 jam yang kemudian dilakukan proses pengerollan dingin. Hasil XRD menunjukkan terbentuknya fasa MgB_2 yang dominan dan terbentuknya fasa pengotor berupa MgO serta didapatkan ukuran kristal terbesar bernilai 463 Å yang dimiliki oleh sampel MgB_2 *Wire* tanpa doping dan 3% wt GO, untuk ukuran kristal terkecil bernilai 295 Å yang dimiliki oleh sampel MgB_2 PIST 3% wt GO. Pengujian SEM menunjukkan morfologi permukaan berbentuk gumpalan (*aglomerasi*) pada setiap sampel, dengan adanya beberapa poros. Pengujian *Cryogenic* menunjukkan bahwa sampel MgB_2 PIST tanpa doping memiliki nilai suhu kritis paling tinggi dimana memiliki nilai T_c^{Onset} sebesar 40 K dan T_c^{Zero} sebesar 38,7 K.

Kata kunci: Besi tahan karat; Bubuk dalam Tabung Tertutup; Grafen Oksida; PIST; Superkonduktor

ABSTRACT

Study on the Development of Magnesium Diboride with the Addition of Graphene Oxide through the Powder in Stainless Steel Tube and Cold Rolling Process on the Characterization of Phase Formation, Morphology, and Superconductivity

Arranged by :

BRILLIAN ARDY MAHENDRA

3331170081

Magnesium Diboride is a high potential superconducting material that can be applied quite practically. Material development is carried out by adding carbon, namely Graphene Oxide which is a single atom layered material. The Powder in Tube method is practically used to reduce oxidation at a cheaper price. The manufacturing process is carried out in a 1:2 ratio where 98% purity Mg is mixed with Boron, then 0, 0.3 and 3% wt Graphene Oxide is added, all ingredients are weighed stoichiometrically. The material is sintered at a temperature of 800°C for 2 hours which is then carried out by a cold rolling process. The XRD results show the formation of the dominant MgB₂ phase and the formation of an impurity phase in the form of MgO and the largest crystal size is 463 which is owned by the MgB₂ Wire sample without doping and 3%wt GO, for the smallest crystal size it is 295 which is owned by the MgB₂ PIST 3 sample. %wt GO. SEM test showed the surface morphology in the form of lumps (agglomeration) in each sample, with the presence of several shafts. Cryogenic testing showed that the MgB₂ PIST sample without doping had the highest critical temperature value which had a T_{cOnset} value of 40 K and a T_{cZero} value of 38.7 K.

Keywords: Stainless steel; Powder in Sealed Tube; Graphene Oxide; PIST; Superconductor

DAFTAR ISI

halaman

HALAMAN JUDUL	I
KATA PENGANTAR	II
ABSTRAK	IV
DAFTAR ISI.....	VI
DAFTAR GAMBAR	IX
DAFTAR TABEL.....	X
DAFTAR LAMPIRAN	XI
DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL	XII
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	2
1.3. TUJUAN PENELITIAN.....	2
1.4. BATASAN MASALAH.....	3
1.5. MANFAAT PENELITIAN	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. SUPERKONDUKTOR	4
2.2. PERKEMBANGAN SUPERKONDUKTOR.....	4
2.3. <i>STATE OF ART</i>	5
2.4. KARAKTERISTIK SUPERKONDUKTOR	6
2.4.1. SIFAT LISTRIK SUPERKONDUKTOR.....	7
2.4.2. SIFAT KEMAGNETAN SUPERKONDUKTOR	7
2.4.3. SUHU KRITIS.....	8
2.5. TIPE-TIPE SUPERKONDUKTOR	9
2.5.1. SUPERKONDUKTOR TIPE I.....	9
2.5.2. SUPERKONDUKTOR TIPE II.....	10
2.6. MAGNESIUM DIBORIDE (MgB_2)	10
2.7. <i>GRAPHENE OXIDE</i>	11
2.8. <i>POWDER IN TUBE</i>	11

2.9.	APLIKASI SUPERKONDUKTOR MgB_2	12
2.10.	KARAKTERISTIK SAMPEL	13
2.10.1.	X-RAY DIFFRACTION (XRD)	13
2.10.2.	SCANNING ELECTRON MICROSCOPY	14
2.10.3.	CRYOGENIC MAGNET	16
BAB III METODE PENELITIAN		17
3.1.	LOKASI DAN WAKTU PENELITIAN	17
3.2.	ALAT DAN BAHAN.....	17
3.2.1.	ALAT-ALAT YANG DIGUNAKAN	17
3.2.2.	BAHAN-BAHAN YANG DIGUNAKAN	18
3.3.	DIAGRAM ALIR PENELITIAN	19
3.3.1.	TAHAP PENIMBANGAN DAN PECAMPURAN.....	20
3.3.2.	TAHAP PEMASUKAN SERBUK KE DALAM TABUNG DAN PROSES SINTERING.....	21
3.3.3.	TAHAP PROSES Pengerollan	23
3.3.4.	TAHAP PERSIAPAN SAMPEL UNTUK PENGUJIAN	25
3.3.5.	KARAKTERISASI SAMPEL.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		28
4.1.	DESKRIPSI DATA.....	28
4.2.	ANALISA FASA (XRD).....	31
4.2.1.	ANALISIS SAMPEL MgB_2 NON-DOPING (PIST).....	31
4.2.2.	ANALISIS SAMPEL MgB_2 0,3WT% GO (PIST).....	32
4.2.3.	ANALISIS SAMPEL MgB_2 3WT% GO (PIST).....	33
4.2.4.	PERBANDINGAN SAMPEL MgB_2 PIST VARIASI DOPING.....	34
4.2.5.	ANALISIS SAMPEL MgB_2 NON-DOPING (WIRE)	36
4.2.6.	ANALISIS SAMPEL MgB_2 0,3WT% GO (WIRE).....	37
4.2.7.	ANALISIS SAMPEL MgB_2 3WT% GO (WIRE)	38
4.2.8.	PERBANDINGAN SAMPEL MgB_2 WIRE VARIASI DOPING	39
4.3.	HASIL PENGUJIAN MIKROSTRUKTUR MENGGUNAKAN SEM-EDS.....	41
4.3.1.	SAMPEL MgB_2 NON-DOPING	41
4.3.2.	SAMPEL MgB_2 0,3%WT GO	43

4.3.3.	SAMPEL MgB_2 3%WT GO	45
4.4.	HASIL PENGUJIAN <i>RESISTIVITY MEASUREMENT CRYOGENIC</i>	46
4.4.1.	SAMPEL MgB_2 NON-DOPING (PIST)	47
4.4.2.	SAMPEL MgB_2 0,3%WT GO (PIST)	48
4.4.3.	SAMPEL MgB_2 3%WT GO (PIST)	49
4.4.4.	PERBANDINGAN ANTARA MgB_2 DENGAN TAMBAHAN 0, DAN 0,3%WT GO (PIST)	50
4.4.5.	SAMPEL MgB_2 NON-DOPING (<i>WIRE</i>).....	51
4.4.6.	SAMPEL MgB_2 0,3%WT GO (<i>WIRE</i>).....	52
4.4.7.	SAMPEL MgB_2 3%WT GO (<i>WIRE</i>).....	53
4.4.8.	PERBANDINGAN ANTARA MgB_2 DENGAN TAMBAHAN 0 DAN 3%WT GO (<i>WIRE</i>)....	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		55
5.1.	KESIMPULAN	55
5.2.	SARAN	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Hubungan Temperatur dan Hambatan pada Logam dan Superkonduktor	4
Gambar 2.2 Ilustrasi pasangan cooper bergerak melalui kisi	7
Gambar 2.3 Efek Meissner.....	7
Gambar 2.4 Hubungan antara suhu terhadap resistivitas listrik.....	8
Gambar 2.5 Struktur Kristal MgB ₂	15
Gambar 2.6 Skema dari <i>Powder in Tube</i>	15
Gambar 2.7 <i>Maglev Train</i>	15
Gambar 2.8 Ilustrasi <i>Magnetic Resonance Imaging</i>	15
Gambar 2.9 Alat XRD.....	15
Gambar 2.10 Skema Dasar SEM (Sujatno, 2015)	15
Gambar 2.11 Skema <i>Cyrogenic Magnet</i>	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Penelitian	19

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Massa Sampel	20
Tabel 3.2 Perubahan ukuran sampel <i>Wire</i>	23
Tabel 4.1 Perbandingan <i>crystallite size</i> sampel kawat MgB ₂ variasi doping metode PIST.....	35
Tabel 4.2 Perbandingan <i>crystallite size</i> sampel kawat MgB ₂ variasi doping metode <i>Wire</i>	40
Tabel 4.3 Ukuran butir sampel kawat MgB ₂ tanpa doping metode <i>Wire</i> dan PIST ..	42
Tabel 4.4 Ukuran butir sampel kawat MgB ₂ 0,3% wt GO metode <i>Wire</i> dan PIST....	44
Tabel 4.5 Ukuran butir sampel kawat MgB ₂ 3% wt GO metode <i>Wire</i> dan PIST.....	15

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Superkonduktor merupakan material yang dapat menghantarkan arus listrik tanpa adanya hambatan ketika material tersebut berada dibawah suhu kritis tertentu. Dengan tidak adanya hambatan maka akan sangat berguna ketika material ini di aplikasikan dalam bentuk kawat untuk menghantarkan arus listrik, dimana arus yang mengalir akan lebih efisien dan tidak terbuang karena tidak adanya hambatan didalam material tersebut. Begitu juga ketika material ini di aplikasikan untuk MRI yang membutuhkan medan magnet yang sangat kuat. MRI medan magnet rendah membutuhkan kekuatan sebesar 0,2 T – 0,4 T, sedangkan untuk MRI medan magnet tinggi membutuhkan 1,5 T – 7,0 T dimana T merupakan satuan ukur untuk medan magnet (tesla) (Andika, 2020).

Penggunaan material superkonduktor ini belum praktis dikarenakan suhu kritis dari material tersebut belum atau bahkan tidak mencapai suhu ruangan, yang berarti kita masih harus mengkondisikan suhu material tersebut dibawah suhu kritisnya untuk digunakan. Saat ini penelitian tentang superkonduktor banyak dilakukan pada senyawa intermetalik seperti MgB_2 , yang merupakan material superkonduktor baru dengan T_c 39K dan berpotensi dengan nilai medan magnet tinggi (Nagamatsu, 2001). Beberapa peneliti mencoba meningkatkan rapat arus kritis ataupun medan magnet kritis dengan metode penambahan senyawa kimiawi yang dinilai efektif (Chandra S, 2005). Pada kawat superkonduktor berbahan MgB_2 yang ditambahkan nano SiC pada jumlah tertentu hingga 10 dan 15 wt% dengan diameter kawat 1,2 cm dapat menaikkan $T_{c_{onset}}$ dari nilai 37,5K menjadi 38,3K. Nilai T_{c_0} juga mengalami kenaikan yaitu dari 11,45K menjadi 24,16K (Yudanto, 2015). Kawat berlapis perak, tembaga dan baja tahan karat dengan diameter 6mm dipotong menjadi 3 bagian dan masing-masing direduksi menjadi diameter yang lebih kecil yaitu 2mm, 1,5mm dan 1 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi distorsi yang tidak terkontrol pada kawat berdiameter dibawah 2mm untuk pelapis perak dengan bentuk *hexagonal* (B A Glowacki, 2001).

Sejak ditemukannya superkonduktor dengan suhu kritis 39K dalam MgB_2 banyak dilakukan upaya untuk meningkatkan nilai kerapatan arus (J_c), medan

magnet kritis (H_c) dan bidang ireversibilitas (H_{irr}) yang ditunjukkan untuk aplikasi bahan magnet medan tinggi. Salah satunya adalah penambahan doping kimia salah satunya dengan penambahan unsur karbon. Baru-baru ini penambahan doping *Graphene Oxide* terbukti dapat meningkatkan nilai kerapatan arus pada material superkonduktor MgB_2 seperti yang dilakukan De Silva dkk sebesar 43 kali lipat (Sudesh, 2011).

Merujuk dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, maka penulis melakukan penelitian yang mana diharapkan dapat mendukung perkembangan kawat superkonduktor dengan topik yaitu pengaruh efek doping *Graphene Oxide* pada bahan superkonduktor MgB_2 .

1.2. Rumusan Masalah

Adapun perumusan masalah pada penelitian ini adalah

1. Bagaimana pengaruh metode *solid state reaction* antara PIST dan pengerolan kawat, superkonduktor berbahan MgB_2 dengan doping *Graphene Oxide* dengan suhu sintering 800°C selama 2 jam terhadap sifat superkonduktivitasnya dan struktur mikro.
2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi bahan superkonduktor MgB_2 dengan doping *Graphene Oxide* terhadap fasa dan ukuran kristalit yang terbentuk.
3. Bagaimana pengaruh variasi komposisi bahan superkonduktor MgB_2 dengan doping *Graphene Oxide* terhadap sifat superkonduktor dan morfologi permukaannya.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah

1. Mempelajari pengaruh metode *solid state reaction* antara PIST dan pengerolan kawat, superkonduktor berbahan MgB_2 dengan doping *Graphene Oxide* dengan suhu sintering 800°C selama 2 jam terhadap sifat superkonduktivitasnya dan struktur mikro.
2. Melakukan variasi komposisi bahan superkonduktor MgB_2 dengan doping *Graphene Oxide* terhadap fasa dan ukuran kristalit yang terbentuk.

3. Meneliti pengaruh variasi komposisi bahan superkonduktor MgB_2 dengan doping *Graphene Oxide* terhadap sifat superkonduktor dan morfologi permukaannya.

1.4. Batasan Masalah

Agar penelitian ini menjadi fokus dan lebih terarah, maka ruang lingkup penelitian berfokus pada:

1. Fabrikasi kawat MgB_2 menggunakan proses *Powder in Tube* (PIT) dengan tabung SS 316L.
2. Spesimen Berupa *Wire* yang di roll dengan metode *cold rolling* dan *Bulk* Spesimen dimana keduanya dibuat menggunakan metode insitu.
3. Bahan superkonduktor yang difabrikasi adalah Mg dan B dengan rasio stoikiometri 1:2 dan doping *Graphene Oxide* seberat 0,3 dan 3% wt
4. Suhu *Sintering* $800^{\circ}C$ dengan *holding time* 2 jam
5. Bahan yang digunakan adalah Magnesium (Mg) yang diproduksi oleh KANTO CHEMICAL CO., INC. dengan tingkat kemurnian 98%, Boron (amorphous) yang digunakan diproduksi oleh PT LUO YANG CHINA dengan tingkat kemurnian 98%, untuk *Graphene Oxide* yang digunakan adalah hasil penelitian KMM UNS pada 31 Januari 2020.
6. Pengujian yang di lakukan meliputi, XRD (*X-Ray Diffractometer*) sebagai analisis senyawa & fasa sampel, Uji SEM untuk mengetahui mikrostruktur sampel dan *cryogenic* sebagai pengamatan resistivitas sampel.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang diambil dari penelitian ini adalah

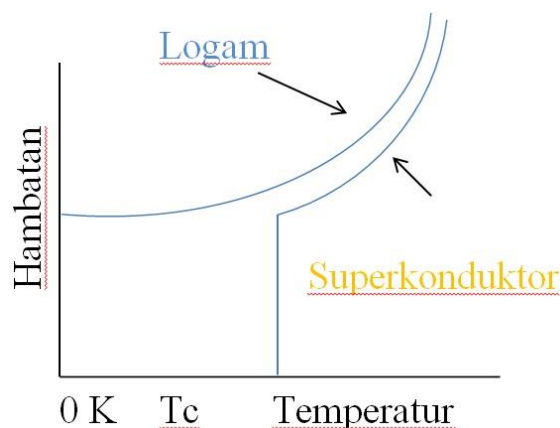
1. Diharapkan riset dan penelitian ini mampu memberikan informasi yang dibutuhkan dalam proses pembuatan kawat superkonduktor yang bermanfaat dalam penggunaan industri.
2. Saya berharap dapat berperan dalam pengembangan teknologi serta aplikasi superkonduktor dengan bahan MgB_2

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Superkonduktor

Superkonduktor adalah salah satu jenis material yang dapat menghantarkan arus listrik tanpa adanya hambatan pada suhu dibawah suhu kritis tertentu. Teknologi superkonduktor mulai berkembang pesat sejak ditemukannya superkonduktor suhu kritis tinggi (SKST) pada tahun 1986. Hambatan tidak disukai karena dengan adanya hambatan makan arus akan terbuang dan menjadi panas. Apabila hambatan hilang atau hambatan menjadi 0 maka tidak ada energi yang hilang atau terbuang pada saat arus mengalir (Sehati Winarsih Sembiring, 2015). Karakteristik dari bahan superkonduktor adalah medan magnet dalam superkonduktor bernilai nol dan mengalami efek Meissner. Resistivitas suatu bahan bernilai nol jika dibawah suhu kritisnya.



Gambar 2.1 Grafik Hubungan Temperatur dan Hambatan pada Logam dan Superkonduktor (Callister & Rethwisch, 2007)

2.2. Perkembangan Superkonduktor

Pertama kali ditemukan oleh seorang fisikawan Belanda yang bernama Heike Kamerlingh Onnes dari Universitas Leiden pada tahun 1911. Onnes berhasil mencairkan helium dengan cara mendinginkan hingga 4 K atau -269°C pada tanggal 19 Juli 1908, kemudian pada tahun 1911 Onnes mulai mempelajari sifat-sifat listrik dari logam pada suhu yang sangat dingin. Pada waktu itu telah diketahui bahwa hambatan suatu logam akan turun ketika didinginkan dibawah suhu ruang, akan tetapi belum ada yang dapat mengetahui berapa batas bawah hambatan yang dicapai ketika temperatur logam mendekati 0 K atau nol mutlak. Beberapa

ilmuwan pada waktu itu seperti William Kelvin memperkirakan bahwa elektron yang mengalir dalam konduktor akan berhenti ketika suhu mencapai nol mutlak. Dilain pihak, ilmuwan yang lain termasuk Onnes memperkirakan bahwa hambatan akan menghilang pada keadaan tersebut. Untuk mengetahui yang sebenarnya terjadi, kemudian Onnes mengaliri kawat merkuri yang sangat murni dengan listrik dan kemudian mengukur hambatannya sambil menurunkan suhunya. Pada suhu 4,2 K, Onnes mendapati bahwa hambatannya tiba-tiba menghilang dan arus mengalir melalui kawat merkuri secara terus-menerus. "Mengenal Superkonduktor." (Diakses pada Oktober 19, 2021. <http://www.fisikanet.lipi.go.id/utama.cgi?artikel&1100396563>.)

Superkonduktor sempat mengalami pelambatan riset dan pengembangan akibat permasalahan teknis penyediaan sistem pendinginan suhu ekstrem rendah dan masih minim pengetahuan tentang pembuatan kawat yang stabil dari bahan superkonduktor saat itu. Bahan-bahan superkonduktor awal, seperti timbal (Pb), Indium (In), dan merkuri (Hg), dikategorikan sebagai superkonduktor tipe I, di mana medan magnet tidak dapat menembusi materialnya. Tipe ini tidak layak untuk aplikasi kawat. Superkonduktor Tipe II yang umumnya terbuat dari paduan logam, intermetalik dan keramik seperti niobium-titanium (NbTi) dan niobium-timah (Nb₃Sn) lah yang layak difabrikasi menjadi kawat, kumparan dan kabel. (Andika, 2020)

2.3. State Of Art

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kováč tentang pemilihan ukuran butir pada kabel MgB₂ yang dibuat secara ex-situ, telah terjadi peningkatan kandungan MgO untuk semua serbuk yang diayak karena bertambahnya luas permukaan yang halus kemudian ditunjukkan bahwa suhu kritis hampir tidak berubah tetapi konektifitas butiran berkurang untuk kabel yang dibuat melalui pendekatan Rowell. Dengan adanya pengayakan tidak menyebabkan dekomposisi fase MgB₂ dan dapat meningkatkan konten fase sekunder (MgB₄ dan MgO) seperti kasus penggilingan ekstensif (Kováč, 2020).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Hiroki Fujii tentang pengurangan suhu perlakuan panas yang optimal dan peningkatan kepadatan arus kritis pada proses ex-situ piringan MgB₂. Proses penggilingan mengurangi T_{opt} dan T_c dan

meningkatkan sifat J_c dari piringan tersebut. Dengan penggilingan yang di optimumkan untuk $T_{opt}S$ menggunakan bubuk giling adalah 735 dan 705°C untuk masing-masing kecepatan 350 dan 500rpm. Piringan ini mengalami penurunan suhu sampai dibawah 30K dan nilai J_c adalah 4.2K dan 10T mencapai 250 dan 200 A/mm². Serbuk gilingan ini sangat reaktif dapat dengan mudah terkontaminasi dengan udara. Sehingga harus ditangani dibawah suhu atmosphere yang baik (Hiroki, 2017).

Penelitian yang dilakukan oleh Hiroki dengan judul “Penurunan suhu sintering in ex situ kaset MgB₂ diproses menggunakan bubuk pengisi dengan penambahan S_n”. Penambahan S_n menghasilkan fase kristal atau amorf yang buruk yang tersebar secara homogen dalam bubuk yang digiling sehingga mengurangi fase optimal dari T_{sin} hingga 600°C. Meskipun penurunan T_{sin} mengakibatkan turunnya T_c dan melemahkan konektivitas butir, degradasi J_c tidak diamati karena penambahan S_n meningkatkan konektivitas butir dan dapat menghilangkan efek kerugian tersebut. Nilai J_c pada 4.2 K dan 10T masih 100A/mm² saat disinter pada 500°C (Hiroki, 2017).

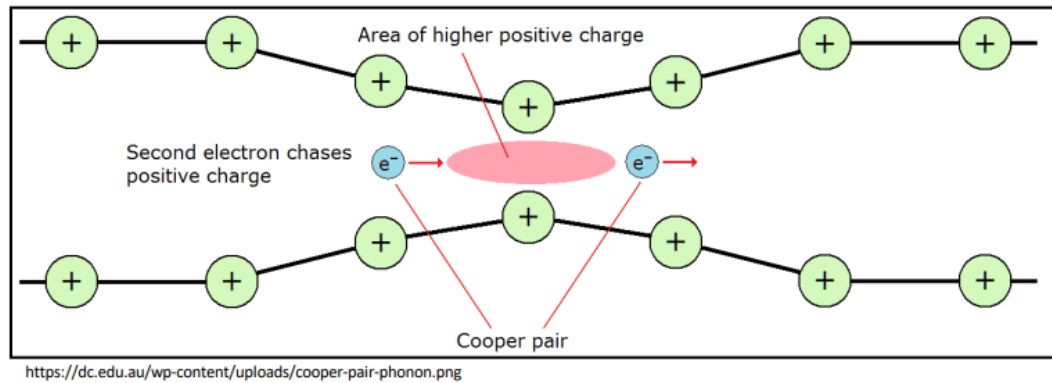
Pada penelitian yang dilakukan oleh Hiroki dengan judul “Sifat superkonduktor dari kaset MgB₂ ex situ yang disinter melalui proses ball milling sebagai fungsi dari ukuran kristal dalam keadaan as-milled dan sintered”. Pengurangan ukuran kristal MgB₂ meningkatkan T_{sin} , T_{thr} , T_{sin} optimal 705 - 735°C. Pengurangan ukuran kristal menyebabkan penurunan T_c dan karenanya T_c meningkat dengan cepat Ketika disinter di atas T_{thr} . Ketika T_{sin} berada di bawah T_{thr} , peningkatan T_{sin} meningkatkan sifat transportasi J_c karena konektivitas biji-bijian yang ditingkatkan. Sebaliknya jika ditingkatkan diatas T_{thr} maka akan terjadi degradasi J_c di wilayah medan tinggi karena penurunan H_{c2} dan H_{irr} yang disebabkan oleh pertumbuhan kristalit yang cepat (Hiroki, 2020).

2.4. Karakteristik Superkonduktor

Material superkonduktor memiliki beberapa karakteristik, diantaranya sifat magnet dan sifat listrik yang berbeda dengan material konduktor dan memiliki temperature kritis.

2.4.1. Sifat Listrik Superkonduktor

Pada bahan superkonduktor interaksi antar atom terjadi namun electron dapat melewati inti tanpa mengalami hambatan, ini dijelaskan pada teori BCS (Berdeen, Cooper, and Schrieffer).

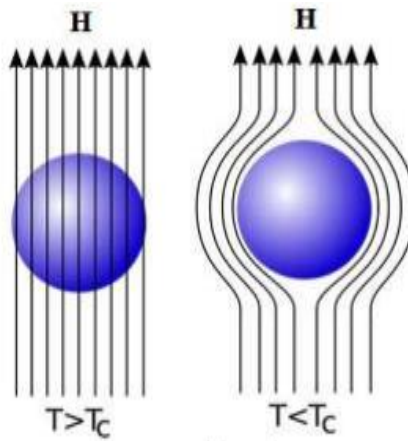


Gambar 2.2 Ilustrasi pasangan cooper bergerak melalui kisi
(<https://courses.physics.illinois.edu/>)

Gambar diatas menunjukkan pergerakan elektron saat keadaan superkonduktor. Saat elektron melewati kisi, inti atom yang bermuatan positif akan menarik elektron yang bermuatan negatif sehingga mengakibatkan elektron tersebut bergetar. Jika dua buah elektron melewati kisi, elektron kedua akan mendekati elektron pertama akibat adanya gaya tarik-menarik antar inti atom yang nilainya lebih besar dibandingkan gaya tolak-menolak antar elektron sehingga kedua elektron bergerak berpasangan. Pasangan ini disebut *cooper pairs*, pasangan elektron ini akan melalui kisi tanpa hambatan.

2.4.2. Sifat Kemagnetan Superkonduktor

Suatu material akan dikatakan superkonduktor ketika material tersebut sangat sulit terpengaruh oleh medan magnet luar, resultan medan atomiknya membentuk arah yang berlawanan dengan medan magnet luar.

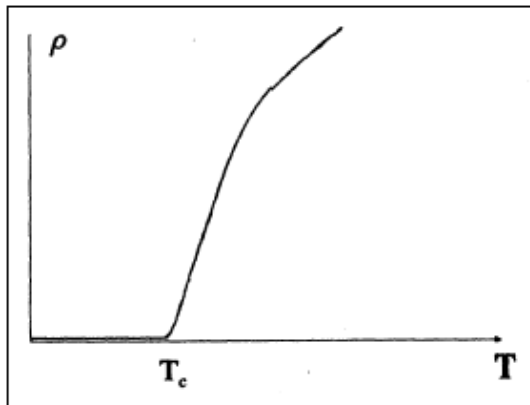


Gambar 2.3 Efek Meissner (Amirani, 2016)

Pada temperatur kritis ($T < T_c$) medan magnet yang diberikan dari luar pada material superkonduktor akan ditolak, ini dinamakan Efek *Meissner*. Efek *Meissner* terjadi ketika suatu material superkonduktor diletakkan pada medan magnet, maka tidak ada medan magnet pada material tersebut karena superkonduktor sendiri menghasilkan medan magnet yang berlawanan arah dengan medan magnet yang ada diluar.

2.4.3. Suhu Kritis

Suhu kritis merupakan suhu yang membatasi antara sifat superkonduktor dan konduktor. Jika suhu suatu bahan dinaikan, maka getaran elektron akan bertambah sehingga banyak *Phonons* yang dipancarkan. Ketika mencapai suhu kritis tertentu maka terjadilah *Cooper Pairs* dan bahan kembali ke keadaan normal. Bahan superkonduktor memiliki resistivitas sama dengan nol ($\rho=0$) ketika bersuhu rendah. Suhu dimana resistivitas material turun drastis menjadi nol ini disebut suhu kritis (T_c), yaitu terjadinya transisi dari keadaan normal ke keadaan superkonduktor (Pikatan, 1989).



Gambar 2.4 Hubungan antara suhu terhadap resistivitas listrik (Pikatan, 1989)

Pada suhu $T > T_c$ bahan dikatakan berada dalam keadaan normal memiliki resistansi listrik. Transisi ke keadaan normal ini bukan selalu berarti menjadi konduktor biasa yang baik, dan biasanya menjadi penghantar yang jelek, bahkan menjadi isolator yang ekstrim, untuk suhu $T < T_c$ bahan berada dalam keadaan superkonduktor artinya bahan akan menolak medan yang datang karena medan luar yang diberikan selalu sama besar dengan magnetisasi bahan. Hal ini ditandai dengan resistivitasnya yang turun drastic hingga mencapai nol (Pikatan, 1989).

2.5. Tipe-Tipe Superkonduktor

Superkonduktor dapat dibagi berdasarkan suhu kritis dan medan magnetnya. Berdasarkan medan magnetnya, superkonduktor dibagi menjadi 2 jenis, yaitu superkonduktor tipe I dan tipe II. Berdasarkan suhu kritisnya superkonduktor dibagi menjadi superkonduktor suhu rendah dan superkonduktor suhu tinggi.

2.5.1. Superkonduktor Tipe I

Superkonduktor tipe I berhubungan baik dengan teori BCS melalui mekanisme pasangan elektron yang disebabkan getaran kisi. Menurut teori BCS (Bardeen, Cooper, dan Schrieffer) dijelaskan dengan menggunakan pasangan elektron (*cooper pairs*). Ketika pasangan elektron bergerak sepanjang terowongan penarik berupa ion-ion bermuatan positif, akibatnya arus listrik akan bergerak dengan merata dan superkonduktivitas akan terjadi. Superkonduktor jenis ini ditandai dengan efek *Meissner*, yakni gejala penolakan medan magnet luar (dengan catatan medan magnet tidak terlalu tinggi) oleh superkonduktor. Bila medan magnet luar terlalu kuat melebihi batas kritis maka superkonduktor tipe I ini akan menolak

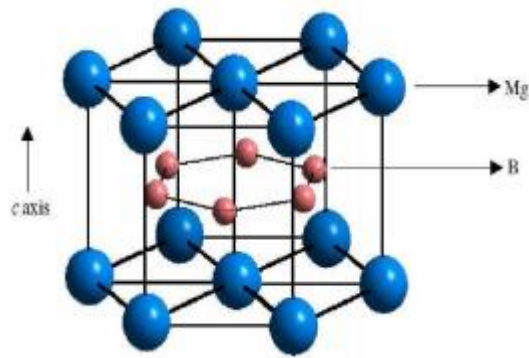
terus menerus sebelum akhirnya menghilang dan kembali ke keadaan normal. (Buckel, 2004)

2.5.2. Superkonduktor Tipe II

Superkonduktor tipe II disebut sebagai superkonduktor kuat, memiliki dua medan magnet kritis yaitu H_{c1} dan H_{c2} . Tipe ini tidak dapat dijelaskan dengan teori BCS karena jika dijelaskan dengan teori BCS, efek *Meissner* nya tidak terjadi. Abrikosov dapat menunjukkan bahwa parameter tersebut dapat mendeskripsikan pusaran (vortices) dan bagaimana medan magnet dapat menembusi bahan sepanjang terowongan dalam pusaran-pusaran ini. Superkonduktor tipe II akan menolak medan magnet yang diberikan. Namun perubahan sifat kemagnetan tidak tiba-tiba tetapi secara bertahap. Pada suhu kritis, maka bahan akan kembali ke keadaan semula. Superkonduktor Tipe II memiliki suhu kritis yang lebih tinggi dari superkonduktor tipe I. (Buckel, 2004)

2.6. Magnesium Diboride (MgB_2)

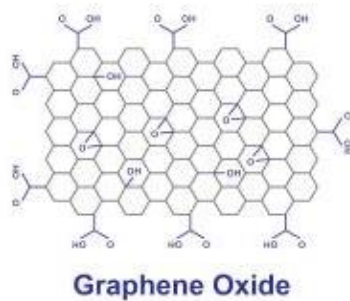
Superkonduktivitas MgB_2 ditemukan oleh Akimitsu Jun dan timnya pada tahun 2001 meskipun MgB_2 dikenal sejak tahun 1950. Superkonduktor MgB_2 adalah senyawa yang memiliki suhu kritis ~ 39 K dengan rapat arus kritis tinggi sebesar $106-107 A/cm^2$ (Wang, 2012). Medan magnet pada superkonduktor MgB_2 adalah 0 ketika suhu rendah. Panjang koherensi MgB_2 adalah 312nm yang mana lebih besar dari superkonduktor suhu tinggi (HTSC). MgB_2 memiliki potensi untuk aplikasi kawat superkonduktor yang nantinya diharapkan dapat dijadikan pengganti bahan superkonduktor Nb_3Sn dan $NbTi$ pada aplikasi MRI di bidang kesehatan karena harga dari MgB_2 lebih murah daripada bahan Nb_3Sn (Yudanto, 2015). Keistimewaan dari material MgB_2 yaitu memiliki struktur kristal yang sederhana, kerapatan arus yang tinggi, Panjang koherensi yang tinggi serta transparansi batas-batas butir yang menyebabkan MgB_2 menjadi bahan yang bagus dalam penerapan skala besar (Sefuloh, 2019).



Gambar 2.5 Struktur Kristal MgB_2 (Saefuloh, 2019)

2.7. Graphene Oxide

Graphene Oxide adalah salah satu bahan berlapis atom tunggal yang dibuat oleh oksidasi grafit dimana harganya murah dan jumlahnya melimpah. Bahan *graphene oxide* merupakan kombinasi struktur nano berbentuk dua dimensi dari karbon dan oksigen. Penggunaan bahan ini sebagai doping dapat mengakibatkan pembentukan endapan skala nano yang dapat meningkatkan kerapatan arus dan menghasilkan efek yang sinergis dari reaksi atom lokal dan tekstur kristal yang meningkat secara signifikan (WK Yeoh, 2014).



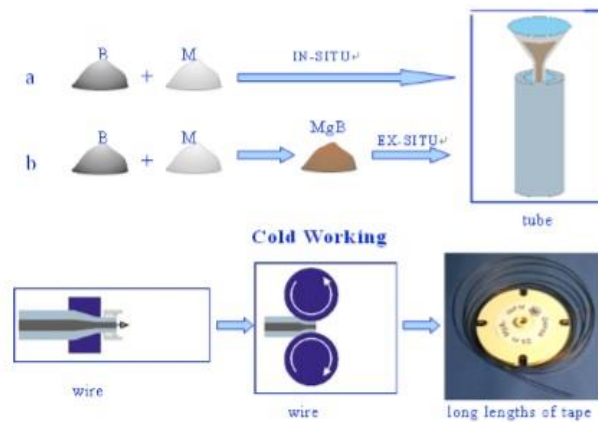
Gambar 2.6 Ikatan *graphene oxide*
(<https://www.graphene-info.com/>)

Kekuatan dari *graphene oxide* memiliki kekuatan rata-rata 24,6 GPa, dimana hasil tersebut tidak terpaud jauh mengacu pada hasil perhitungan teoritis dimana diprediksi memiliki kekuatan mencapai 31,3 GPa (Changhong Cao, 2014)

2.8. Powder in Tube

Teknik *Powder in Tube* dilakukan dengan cara mengisi tabung dengan unsur Mg dan B dan dilakukan perlakuan panas, kelebihan dari metode PIT ini

adalah pembuatan yang sederhana dan bisa meminimalisir terjadinya oksidasi (Wang, 2012).

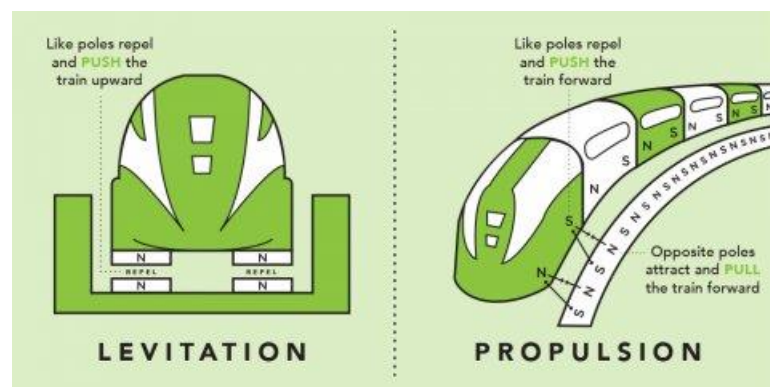


Gambar 2.7 Skema dari *Powder in Tube* (Wang, 2012)

2.9. Aplikasi Superkonduktor MgB₂

Beberapa aplikasi superkonduktor pada kehidupan sehari-hari biasa dijumpai antara lain :

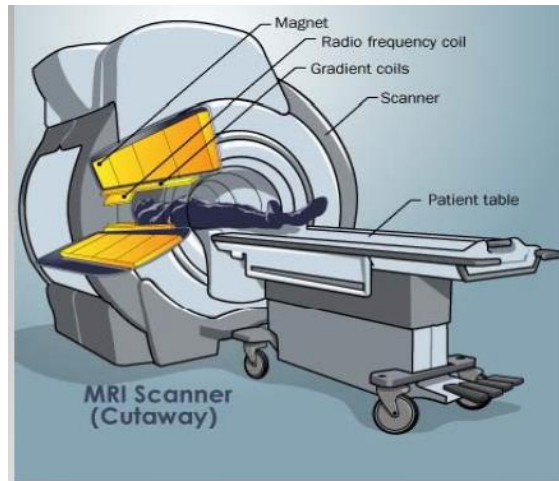
1. Kawat superkonduktor, dengan menggunakan bahan superkonduktor, maka energi listrik tidak akan mengalami disipasi karena hambatan bernilai nol. Sehingga energi listrik lebih hemat karena tidak terbuang oleh hambatan.
2. Alat transportasi contohnya adalah kereta listrik super cepat yang dikenal dengan sebutan *Magnetic Levitation* (MAGLEV).



Gambar 2.7 *Maglev Train*
(Sumber: <https://www.energy.gov/>)

3. Alat pencitra atau alat diagnose yang biasa digunakan yaitu *Magnetic Resonance Imaging* (MRI). MRI adalah teknik pencitraan yang

digunakan dalam dunia medis untuk memvisualisasikan struktur internal dan fungsi tubuh. Mempunyai pencitraan dengan resolusi lebih tinggi dari *CT-SCAN*, yang dapat digunakan sebagai alat untuk diagnose otak manusia.



Gambar 2.8 Ilustrasi *Magnetic Resonance Imaging*
(Sumber: <http://ellyana-umar-vokasi16.web.unair.ac.id/>)

2.10. Karakteristik Sampel

Karakteristik sampel dilakukan untuk mengetahui adanya sifat superkonduktivitas serta fasa-fasa yang terbentuk dan morfologi permukaan MgB_2 . Karakterisasi dilakukan dengan tiga tahap pengujian.

2.10.1. X-Ray Diffraction (XRD)

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui fasa-fasa apa saja yang terbentuk pada sampel. Difraksi Sinar-X merupakan suatu teknik yang biasa digunakan untuk menentukan sistem kristal (kubus, tetragonal, ortorombik, rombohedral, heksagonal, monoklin, trikilin), kualitas kristal (kristal tunggal, polikristalin, dan amorf), simetri kristal, menentukan cacat kristal, mencari parameter kristal (parameter kisi, jarak antar atom, jumlah atom per unit sel), identifikasi campuran dan analisis kimia (Masruroh, 2013). Prinsipnya adalah apabila seberkas sinar dijatuhkan pada sampel kristal maka bidang kristal akan membiaskan sinar X yang memiliki panjang gelombang dengan jarak antar kisi didalam kristal selanjutnya sinar yang dibiaskan ditangkap oleh detektor yang kemudian diterjemahkan sebagai puncak difraksi dan direkam pada kertas gratik.



Gambar 2.9 Alat XRD (Samsulludin, 2019)

Hasil analisis dengan XRD adalah berupa difraktogram yang berupa susunan garis atau puncak dengan intensitas dan posisi berbeda-beda yang spesifik pada material yang dianalisis. Tiap fase kristalin memiliki susunan difraktogram yang karakteristik, maka dapat digunakan sebagai sidik jari (penanda) untuk uji identifikasi. Pengujian ini juga dapat digunakan untuk menentukan ukuran kristal dengan fase tertentu. Penentuannya merujuk pada beberapa puncak utama pola difraktogram melalui pendekatan persamaan Debye Scherrer yang dirumuskan sebagai berikut:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \dots \dots \dots (2.1)$$

Persamaan Debye Scherrer yang digunakan untuk menentukan satu nilai ukuran kristal adalah persamaan yang sudah dimodifikasi (Masruroh, 2013). Berikut persamaan Scherrer yang sudah dimodifikasi:

$$\ln \beta = \ln \frac{K\lambda}{D \cos \theta} = \ln \frac{K\lambda}{D} + \ln \frac{1}{\cos \theta} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

D = Ukuran Kristal

K = Faktor bentuk dari kristal (0,9-1)

λ = Panjang gelombang dari sinar-X (1,54056 Å)

β = Nilai dari Full Width at Half Maximum (FWHM) (rad)

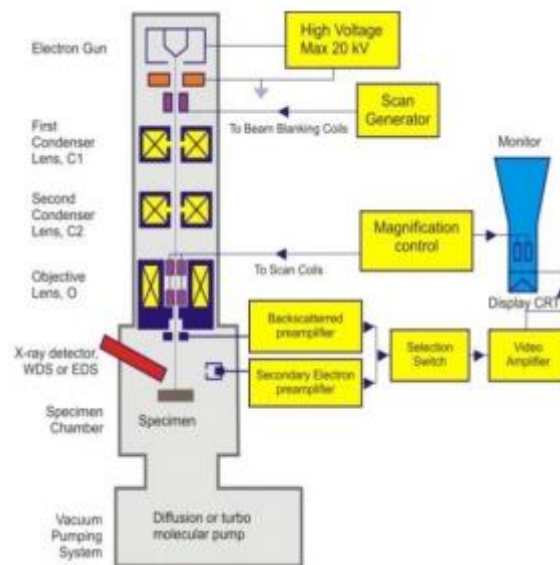
θ = sudut difraksi (derajat)

2.10.2. Scanning Electron Microscopy

Scanning Electron Microscopy atau biasa disingkat SEM adalah sebuah mikroskop yang menggunakan hamburan elektron dalam membentuk bayangan elektron. Elektron sendiri memiliki resolusi lebih tinggi daripada cahaya. Cahaya

hanya mampu mencapai 200nm, sedangkan elektron bisa mencapai resolusi 0,1 - 0,1 nm yang sangat bermanfaat untuk mengetahui mikrostruktur benda padat. (Indriani, 2013). Informasi yang didapatkan dari pengujian ini adalah tentang topografi permukaan spesimen, komposisi, dan karakteristik lainnya seperti konduktivitas listrik berdasarkan sinyal yang terdeteksi (Nugroho, 2012).

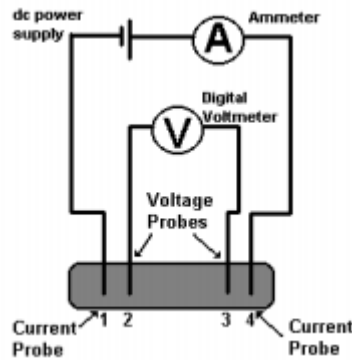
Prinsip kerja dari SEM adalah tabung sinar elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda. Kemudian lensa magnetik memfokuskan elektron menuju sampel. Selanjutnya sinar elektron yang terfokus memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Kemudian elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor. Persiapan SEM dilakukan dengan hati-hati karena memanfaatkan kondisi vakum serta menggunakan elektron berenergi tinggi. Sampel yang digunakan juga harus dalam keadaan kering dan bersifat konduktif (menghantarkan elektron), bila tidak sampel harus dibuat konduktif terlebih dahulu dengan karbon, emas, atau platina (Marlina, 2007).



Gambar 2.0.10 Skema Dasar SEM (Sujatno, 2015)

2.10.3. Cryogenic Magnet

Cryogenic Magnet merupakan suatu pengujian yang bertujuan untuk menganalisa resistivitas listrik pada sampel superkonduktor. Berdasarkan data keluaran didapatkan grafik hubungan antara resistivitas terhadap perubahan temperature, dimana dari grafik tersebut dapat diketahui nilai suhu kritis (T_c). Alat yang digunakan adalah cryogenic magnet “cryotron FR”, cryogenic ini memakai system pulse tube cryocooler untuk mendinginkan gas Helium. System pendingin ini tidak memerlukan penanganan cairan Helium yang dipersiapkan untuk pendinginan. Namun hanya memerlukan gas Helium yang akan dimampatkan oleh compressor sehingga suhu gas Helium akan turun (Imaduddin, 2014).



Gambar 2.11 Skema *Cyrogenic Magnet* (Imaduddin, 2014)

Metode yang digunakan adalah *Four Point Probe* (FPP), yang hasilnya berupa grafik antara resistansi (R) dengan rentang suhu (T). Hasil dari pengujian tersebut bisa digunakan untuk menghitung hambatan yang terjadi dengan persamaan berikut.

$$R = \frac{V}{I} \dots \dots \dots (2.3)$$

- Dimana: R = Resistansi (Ohm)
- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (Ampere)

Sedangkan untuk menghitung resistivitas, menggunakan persamaan berikut.

$$\rho = R \frac{A}{l} \dots \dots \dots (2.4)$$

- Dimana: ρ = Resistivitas (Ohm.cm)
- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (Ampere)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Tangerang Selatan. Sintesis superkonduktor MgB_2 dilakukan di beberapa laboratorium yang berlokasi di LIPI, yang pertama adalah Laboratorium korosi untuk proses penimbangan dan pencampuran serbuk Mg, B, dan GO, serta Laboratorium Pembentukan Logam untuk proses sintering bahan.

Proses karakterisasi sampel juga dilakukan di area LIPI yaitu di Laboratorium *Cryogenic*, Laboratorium *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan Laboratorium XRD di Gedung fisika. Laboratorium *Cryogenic* digunakan untuk mengetahui suhu kritis (T_c) pada sampel. Laboratorium SEM digunakan untuk melakukan karakterisasi morfologi permukaan sampel. Sedangkan pada Laboratorium XRD yang berada di Gedung fisika, dilakukan proses pengujian untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk dalam sampel MgB_2 .

3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang akan digunakan dalam pembuatan dan Analisa kawat superkonduktor berbasis MgB_2 dengan penambahan GO sebagai penelitian ini adalah sebagai berikut

3.2.1. Alat-alat yang digunakan

1. Mesin Potong
Digunakan untuk memotong sampel dan *tube* SS316L
2. Gerinda Tangan
Digunakan untuk memotong dan merapihkan sampel
3. Jangka Sorong
Digunakan untuk mengukur diameter sampel
4. Neraca Digital
Berfungsi untuk mengukur massa sampel
5. *Mortar Agate*

Merupakan wadah yang digunakan untuk proses pencampuran Mg, B, dan GO

6. *Wire Rolling Machine*

Alat yang digunakan untuk proses pengerolan sampel *Wire*

7. *Press Pellet Machine*

Alat yang digunakan untuk menutup ujung *tube*

8. Penggaris

Digunakan untuk mengukur panjang dan dimensi sampel

9. XRD (*X-Ray Diffractometer*) Rigaku MiniFlex 600

Alat yang digunakan untuk menganalisa struktur fasa yang terbentuk pada sampel

10. SEM

Digunakan sebagai alat untuk menganalisa struktur mikro sampel

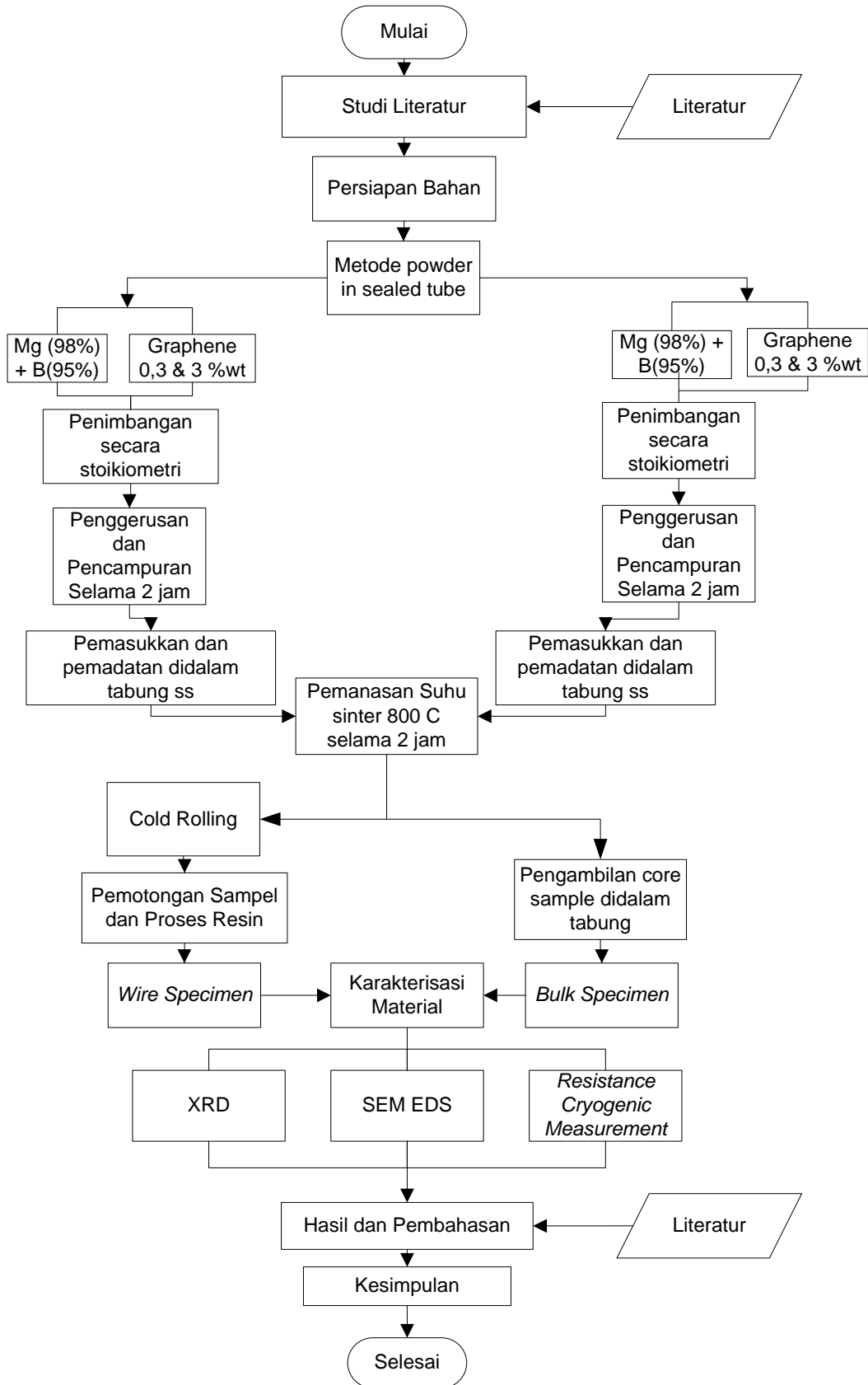
11. *Cryogenic Magnetic – Cryotron FR* Oxford

Berfungsi sebagai alat untuk menganalisa sifat superkonduktivitas yaitu suhu kritis dan nilai resistivitas.

3.2.2. Bahan-bahan yang digunakan

1. Magnesium (Mg) di produksi oleh KANTO CHEMICAL CO., INC. dengan tingkat kemurnian 98%
2. Boron di produksi oleh PT LUO YANG CHINA dengan tingkat kemurnian 98%
3. *Graphene Oxide*
4. Ethanol
5. Tabung *Stainless Steel* (SS316L)

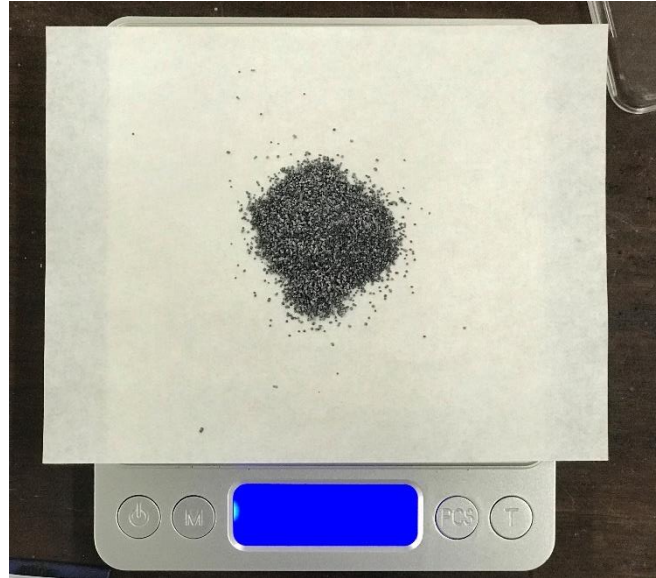
3.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Penelitian

3.3.1. Tahap Penimbangan dan Pecampuran

Mg dan B dicampur menggunakan perbandingan 1:2 yang dihitung secara stoikiometri dengan total massa 3 gram dengan doping GO sebesar 0, 0,3 dan 3 % wt, bahan yang akan dicampur ditimbang menggunakan Neraca digital



Gambar 3.2 Neraca Digital

Tabel 3.1 Massa Sampel

No	Nama Sampel	Mg _x B ₂	Penambahan	Mg (gr)	B (gr)	GO (gr)
1	MgB ₂ Non-Doping PIST	1	-	1,588	1,412	0
2	MgB ₂ PIST 0,3%wt GO	1	GO 0,3%wt	1,588	1,412	0,018
3	MgB ₂ PIST 3%wt GO	1	GO 3%wt	1,588	1,412	0,18
4	MgB ₂ Non-Doping Wire	1	-	1,588	1,412	0
5	MgB ₂ Wire 0,3%wt GO	1	GO 0,3%wt	1,588	1,412	0,018
6	MgB ₂ Wire 3%wt GO	1	GO 3%wt	1,588	1,412	0,18

Pencampuran atau *Mixing* dilakukan selama 2 jam menggunakan *mortar agate* dengan tujuan agar serbuk Mg, B maupun GO tercampur dengan baik dan merata



Gambar 3.3 Proses Pencampuran Menggunakan *Morgar Gaate*

3.3.2. Tahap Pemasukan Serbuk ke Dalam Tabung dan Proses Sintering

Serbuk yang sudah ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam tabung yang dimana tabung tersebut salah satu sisinya sudah ditutup, bahan dimasukkan ke dalam tabung dengan cara dituang menggunakan spatula kemudian dipadatkan menggunakan stik pemadat dengan cara ditekan-tekan, cara tersebut dilakukan berulang samapi setiap tabung terisi penuh dan padat oleh bahan.



Gambar 3.4 Tabung yang akan di isi oleh bahan dan kemudian di sintering

Kemudian setelah semua tabung penuh terisi, sisi tabung yang digunakan untuk memasukkan bahan kita tutup dengan cara di tekan menggunakan mesin *hydraulic press* agar tidak terjadi kebocoran saat proses sintering dilakukan.



Gambar 3.5 Sampel saat akan dilakukan sintering

Proses sintering dilakukan di P2MM LIPI tepatnya di Laboratorium Pembentukan Logam, mesin *furnance* yang digunakan mampu mencapai suhu 1300°C . Proses sintering ini dilakukan dengan suhu 800°C selama 2 jam waktu tunggu, yaitu sampel ditaruh didalam mesin *furnance* dan dipanaskan dengan suhu 800°C selama 2 jam. Kemudian setelah 2 jam mesin dimatikan agar kembali ke suhu normal dan sampel dibiarkan mencapai suhu normal didalam mesin *furnance*, baru kemudian sampel dikeluarkan untuk proses selanjutnya.



Gambar 3.6 Proses sintering dengan suhu 800°C dan waktu tunggu 2 jam



Gambar 3.7 Sampel PIST setelah sintering



Gambar 3.8 Sampel Wire setelah sintering

3.3.3. Tahap Proses Pengerollan

Proses *roll* dilakukan untuk sampel *Wire*, proses ini dilakukan setelah sampel mencapai suhu ruangan setelah dilakukannya proses sintering yang dinamakan *Cold Rolling*. Proses *rolling* dilakukan menggunakan satu set roll yang berputar serta menekan benda kerja supaya terjadi perubahan bentuk dimana diameter awal tabung adalah 4 mm yang kemudian terdeformasi menjadi 2,5 mm.

Diameter tidak dihapus, tambah rata-rata

Tabel 3.2 Perubahan ukuran sampel *Wire*

Nama	Jumlah Roll ke	Diameter (mm)			Panjang (cm)
	0	5,93	5,97	5,92	17,8
	1	5,89	5,87	5,83	18,9

MgB ₂ Wire Non- Doping	2	4,66	4,72	4,70	24,5
	3	3,58	3,55	3,56	34,4
	4	2,69	2,60	2,68	49,4
MgB ₂ Wire 0,3% wt GO	0	5,93	5,96	5,95	18
	1	5,78	5,74	5,79	19,5
	2	4,60	4,65	4,64	25,1
	3	3,41	3,48	3,58	35,3
	4	2,58	2,61	2,69	51
MgB ₂ Wire 3% wt GO	0	6,03	6,08	6,01	18,8
	1	5,88	5,91	5,85	19,8
	2	4,62	4,65	4,60	27
	3	3,45	3,58	3,53	38,2
	4	2,63	2,75	2,59	55,1



Gambar 3.9 Sampel Wire sebelum *rolling*

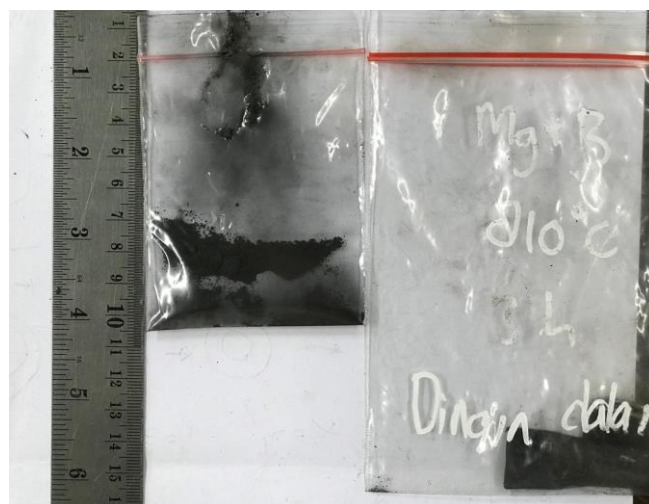


Gambar 3.10 Sampel *wire* setelah proses *rolling*

Hasil pengerollan dingin tersebut dapat mereduksi diameter kawat sebesar 43-45% dari ukuran kawat sebelumnya, dan dapat memperpanjang kawat sebesar 31-36 cm.

3.3.4. Tahap Persiapan Sampel untuk Pengujian

Setelah melalui proses sintering dan pengerollan, sampel selanjutnya disiapkan untuk proses pengujian. Ada beberapa hal yang harus disiapkan yang pertama adalah untuk sampel PIST, sampel tersebut dibongkar untuk diambil bongkahannya yang akan seterusnya dilakukan pengujian XRD, SEM, dan *Cryogenic*.



Gambar 3.11 Contoh sampel PIST

Kemudian untuk sampel *Wire* kita potong menjadi 2,5cm yang selanjutnya akan dilakukan proses *mounting*, dimana proses ini bertujuan untuk mempermudah

pada saat proses grinding dan pemolesan sampel. Proses grinding dilakukan sampai sampel kawat terbuka setengah untuk dilakukan pengujian, kemudian dilakukan pemolesan agar didapatkan permukaan yang rata dan halus.



Gambar 3.12 Proses *Mounting*



Gambar 3.13 Proses Grinding



Gambar 3.14 Hasil dari *Mounting* dan Grinding

3.3.5. Karakterisasi Sampel

Beberapa pengujian akan dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat bahan, yaitu:

1. Analisa Fasa Sampel, menggunakan alat uji XRD (*X-Ray Diffractometer*) Rigaku cu k alpha sudut difraksi 2theta 10-90 selanjutnya diolah melakukan software highscoreplus
2. Pengamatan Mikrostruktur Sampel, menggunakan uji SEM-EDS (*Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive Spectroscopy*) JEOL-6390A dengan metode secondary electron dan backscatter. Dan karakterisasi pemetaan unsur yang data2 tersebut diolah menggunakan imagej
3. Resistivitas dan Tempertur Kritis , menggunakan uji *Resistivity Measurent Cryogeni*

Mencapai 5 kelvin

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Deskripsi Data

Pada penelitian ini pembuatan kawat superkonduktor melalui proses sintesis *magnesium diboride* (MgB_2) dengan variasi penambahan *Graphene Oxide* (GO) sebesar (0,3 & 3) wt% dari serbuk MgB_2 . Proses yang dilakukan secara metalurgi serbuk menggunakan metode *PIST* (*Powder in Sealed Tube*), kemudian terdapat proses lanjutan berupa pengerolan dingin agar didapat sampel kawat dengan variasi GO.

Proses awal dari sintesis dan pembuatan kawat dimulai dengan penimbangan bahan *Magnesium* (Mg) dan *Boron* (B) secara stoikiometri dengan rasio Mg + B adalah 1:2 serta *Graphene Oxide* (GO) sebesar 0,3 dan 3%wt. Kemudian semua bahan yang sudah ditimbang secara stoikiometri dicampur dan digerus menggunakan mortar agate selama 2 jam sebelum dimasukkan kedalam *Stainless Steel Tube* (SS 316L), dimana bahan tersebut akan menjalani proses sintering dengan suhu 800°C dengan *holding time* selama 2 jam. Untuk bahan yang akan dijadikan *wire specimen*, dilakukan *Cold Rolling* setelah suhu bahan mencapai suhu ruangan, sedangkan untuk bahan yang akan menjadi *bulk specimen* akan dibongkar kemudian diambil sampel dalam bentuk bongkahan untuk selanjutnya dilakukan pengujian.



Gambar 4.1 Sampel PIST sebelum proses sintering



Gambar 4.2 Sampel PIST setelah proses sintering

Gambar diatas merupakan hasil transformasi yang terjadi setelah sampel PIST mengalami proses sintering dengan suhu 800°C dimana terjadi perubahan warna pada tabung SS316L dari silver menjadi hitam gosong.

Untuk sampel *Wire* juga mengalami transformasi dimana terjadi perubahan warna dari silver menjadi hitam gosong setelah di sintering dengan suhu 800°C . Kemudian sampel *Wire* juga mengalami perubahan dimensi setelah dilakukan *cold rolling* yang menyebabkan diameter menjadi lebih kecil dan menjadi lebih panjang seperti gambar dibawah.



Gambar 4.3 Sampel Wire sebelum proses sintering



Gambar 4.4 Sampel Wire setelah Sintering 800°C



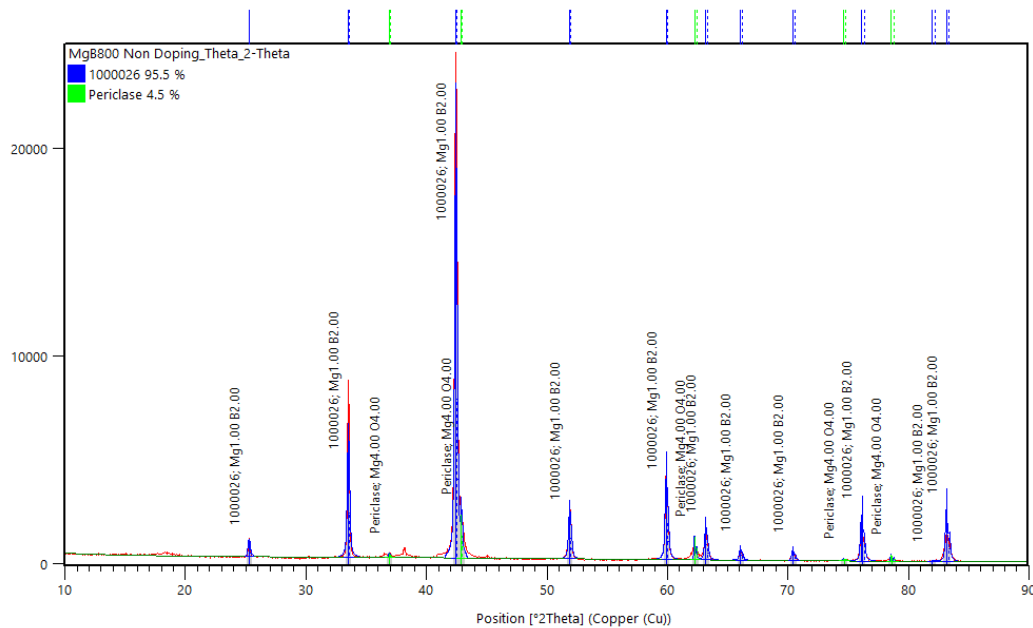
Gambar 4.5 Sampel Wire Setelah Cold Rolling

Selanjutnya dilakukan pemotongan pada sampel PIST untuk pengambilan bongkahan di dalam nya, dan pemotongan juga dilakukan pada sampel *Wire* dengan ukuran 2,5x2,5 untuk kemudian dilanjutkan karakterisasi dengan beberapa pengujian. Uji XRD (*X-Ray Diffractometer*) untuk mengetahui fasa pada tiap-tiap sampel, uji *Cryogenic* untuk mengetahui resistivitas dan suhu kritis dari tiap-tiap sampel, dan uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk Analisa mikrostruktur pada tiap-tiap sampel.

4.2. Analisa Fasa (XRD)

Sampel yang di uji adalah MgB_2 dengan suhu sintering 800°C dan penambahan doping GO dengan berat dari serbuk MgB_2 sebesar 0, 0,3 dan 3 wt% berupa PIST dan *Wire*. Sampel PIST yang di uji berupa bongkahan sedangkan untuk sampel *Wire* adalah sampel yang sudah dipotong $2,5 \times 2,5$ dan dimounting. Analisa fasa dan stuktur krista MgB_2 dilakukan menggunakan difraktometer sinar-X dimana radiasi Cu-K α dengan panjang gelombang $1,54060 \text{ \AA}$, serta pengukuran dilakukan dengan rentang sudut $2\theta = 0^\circ$ sampai 90° . Sampel yang sudah diuji dilakukan Analisa senyawa dan fasa menggunakan *software Highscore Plus* dengan database COD_Oct2014. Berikut merupakan hasil analisis sampel superkonduktor MgB_2 PIST dan *Wire* dengan komposisi yang sudah ditentukan.

4.2.1. Analisis Sampel MgB_2 Non-Doping (PIST)



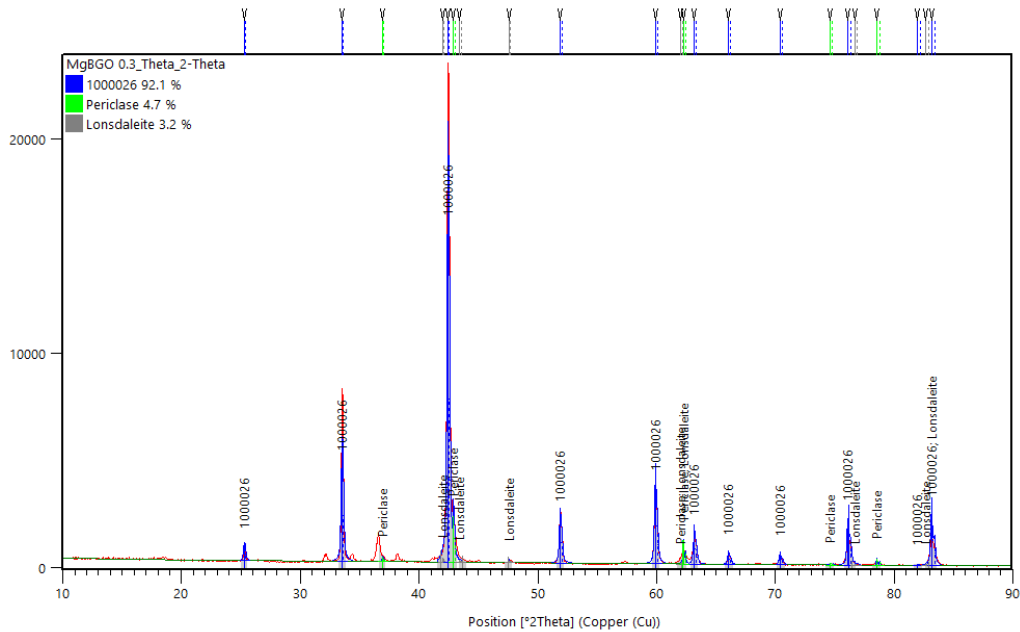
Gambar 4.6 Sampel MgB_2 Non-Doping PIST

Gambar 4.6 merupakan hasil pengujian XRD pada sampel MgB_2 Non-Doping (PIST) atau bisa disebut sampel tersebut tidak mendapat tambahan *Graphene* atau 0% berat GO dengan temperature sintering 800°C dengan *holding time* selama 2 jam. Berdasarkan pola difraksi yang dihasilkan pada Gambar 4.6 terdapat 16 puncak terlihat / dominan. Dari data tersebut didapatkan 2 fasa dominan yaitu MgB_2 dan MgO , yang mana MgB_2 memiliki 11 puncak sedangkan MgO 5 puncak yang merupakan fasa pengotor. Fasa MgO muncul diakibatkan oleh hasil

reaksi oksidasi pada Mg, reaksi ini terjadi ketika masih adanya udara yang terperangkap didalam tabung SS316L ketika proses *sintering*, bisa juga terjadi karena tabung kurang kedap sehingga udara masuk dan bereaksi dengan Mg yang mana kemudian menghasilkan fasa MgO.

MgB₂ memiliki 3 puncak tertinggi, dimana puncak pertama pada 2θ 42.4208°, jarak antar bidang d = 2,12911Å, dengan FWHM 0,2190°, puncak tertinggi kedua pada 2θ 33.5044°, jarak antar bidang d = 2,67248Å, dengan FWHM 0,2190°, dan puncak ketiga pada 2θ 59,8894°, jarak antar bidang d = 1,54318Å, dengan FWHM 0,2190°. Untuk puncak fasa lain yang terbentuk yaitu MgO terdapat pada 2θ 42.8789°, jarak antar bidang d = 2,10742Å, dengan FWHM 0,1000°.

4.2.2. Analisis Sampel MgB₂ 0,3wt% GO (PIST)



Gambar 4.7 Sampel MgB₂ 0,3wt% GO (PIST)

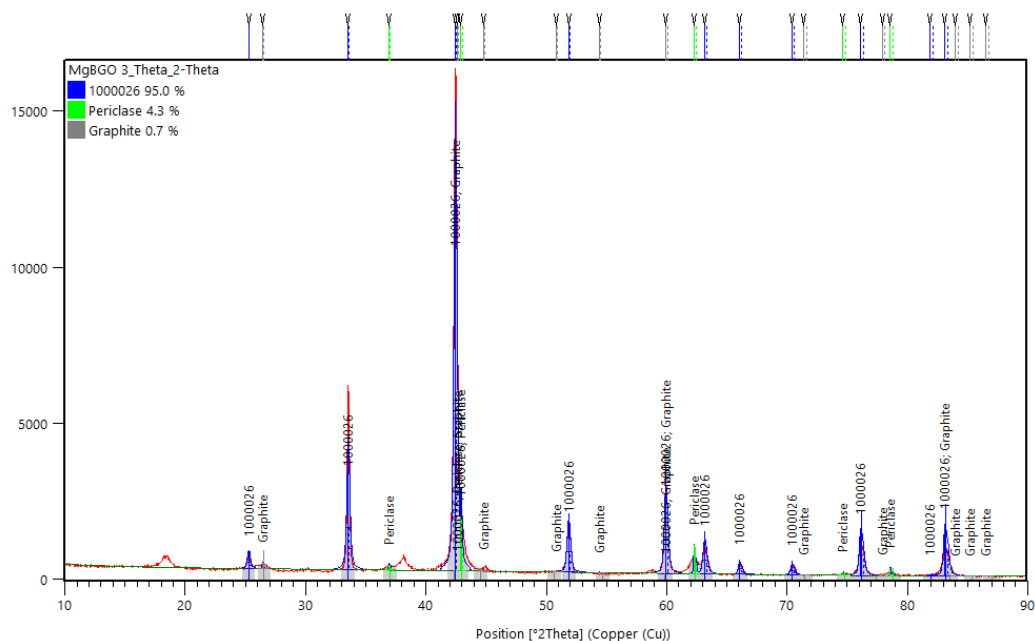
Gambar 4.7 merupakan hasil pengujian XRD pada sampel MgB₂ 0,3wt% GO (PIST), sampel tersebut mendapat tambahan *Graphene* sebesar 0,3% berat GO dengan suhu sintering 800°C dengan *holding time* selama 2 jam. Berdasarkan pola difraksi yang dihasilkan pada Gambar 4.7 terdapat 22 puncak terlihat / dominan. Dari data tersebut didapatkan 3 fasa dominan yaitu MgB₂ dengan 11 puncak, MgO dengan 5 puncak yang merupakan fasa pengotor dan Lonsdaleite dengan 6 puncak dimana Lonsdaleite merupakan fasa basis *carbon* (*phase based C*). Lonsdaleite

terjadi akibat reaksi atom karbon yang berasal dari bahan tambahan yaitu *Graphene Oxide* yang merupakan fasa berbasis Carbon (C).

Pada Gambar 4.7 memperlihatkan bahwa sampel memiliki fasa dominan MgB_2 yang mana memiliki 11 puncak sebagai titik acuan untuk mencari fasa yang terbentuk. Terdapat 3 puncak tertinggi MgB_2 , dimana puncak pertama pada 2θ 42.4388° , jarak antar bidang $d = 2,12825\text{\AA}$, dengan FWHM $0,2090^\circ$, puncak tertinggi kedua pada 2θ 33.5240° , jarak antar bidang $d = 2,67097\text{\AA}$, dengan FWHM $0,2090^\circ$, dan puncak ketiga pada 2θ $59,9039^\circ$, jarak antar bidang $d = 1,54284\text{\AA}$, dengan FWHM $0,2090^\circ$.

Fasa lain dengan puncak yang ditampilkan dalam *software* yaitu MgO dan Lonsdaleite (C4). Puncak tertinggi dari fasa MgO berada pada 2θ 42.8932° , jarak antar bidang $d = 2,10675\text{\AA}$, dengan FWHM $0,1000^\circ$. Dalam data terlihat Lonsdaleite (C4) memiliki puncak tertinggi yang berada pada 2θ 42.0027° , jarak antar bidang $d = 2,14933\text{\AA}$, dengan FWHM $0,1000^\circ$.

4.2.3. Analisis Sampel MgB_2 3wt% GO (PIST)



Gambar 4.8 Sampel MgB_2 3wt% GO (PIST)

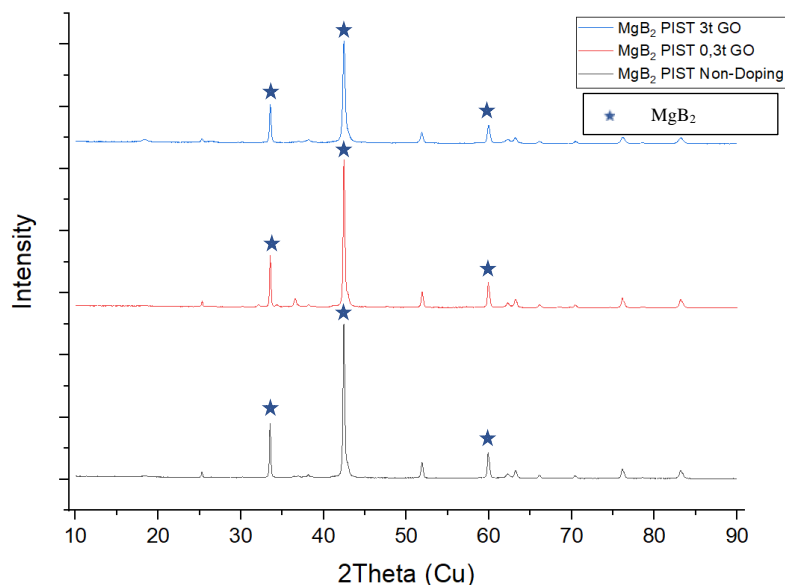
Gambar 4.8 merupakan hasil pengujian XRD pada sampel MgB_2 3wt% GO (PIST), sampel tersebut mendapat tambahan *Graphene* sebesar 3% berat GO dengan suhu sintering 800°C dengan *holding time* selama 2 jam. Berdasarkan pola difraksi yang dihasilkan pada Gambar 4.8 terdapat 27 puncak terlihat / dominan.

Dari data tersebut didapatkan 3 fasa dominan yaitu MgB_2 dengan 11 puncak, MgO dengan 5 puncak yang merupakan fasa pengotor dan *Graphite* dengan 11 puncak dimana *Graphite* merupakan fasa basis *carbon* (*phase based C*). *Graphite* terjadi akibat reaksi atom karbon yang berasal dari bahan tambahan yaitu *Graphene Oxide* yang merupakan fasa berbasis Carbon (C).

Pada Gambar 4.8 memperlihatkan bahwa sampel memiliki fasa dominan MgB_2 yang mana memiliki 11 puncak sebagai titik acuan untuk mencari fasa yang terbentuk. Terdapat 3 puncak tertinggi MgB_2 , dimana puncak pertama pada 2θ 42.4302° , jarak antar bidang $d = 2,12866\text{\AA}$, dengan FWHM $0,3020^\circ$, puncak tertinggi kedua pada 2θ 33.5319° , jarak antar bidang $d = 2,67036\text{\AA}$, dengan FWHM $0,3020^\circ$, dan puncak ketiga pada 2θ $59,9194^\circ$, jarak antar bidang $d = 1,54248\text{\AA}$, dengan FWHM $0,3020^\circ$.

Fasa lain dengan puncak yang ditampilkan dalam *software* yaitu MgO dan *Graphite* (C4). Puncak tertinggi dari 5 puncak yang terdeteksi pada fasa MgO berada pada 2θ 42.9154° , jarak antar bidang $d = 2,10571\text{\AA}$, dengan FWHM $0,1000^\circ$. Dalam 11 puncak *Graphite* (C4) yang ada pada data terlihat *Graphite* (C4) memiliki puncak tertinggi yang berada pada 2θ 26.4365° , jarak antar bidang $d = 3,36874\text{\AA}$, dengan FWHM $0,1000^\circ$.

4.2.4. Perbandingan Sampel MgB_2 PIST variasi Doping



Gambar 4.9 Pola XRD sampel kawat MgB_2 PIST dengan variasi Doping *Graphene Oxide*

Gambar 4.9 adalah hasil dari gabungan karakterisasi difraktometer sinar-X pada sampel MgB_2 dengan metode PIST dengan variasi Doping *Graphene Oxide* yang disinter pada $800^\circ C$ dengan *hoding time* selama 2 jam. Pola hasil XRD dari sampel dengan variasi doping yang berbeda dengan metode PIST untuk menentukan fasa MgB_2 yang terbentuk pada setiap sampel. Dari setiap sampel yang diuji memiliki fasa MgB_2 yang dominan dan memiliki fasa pengotor yang terbentuk yaitu MgO . Fasa MgO yang terjadi merupakan hasil dari reaksi oksidasi pada Mg , berdasarkan hasil XRD dapat dikatakan sampel dengan doping 3%wt GO memiliki fasa pengotor yang lebih sedikit dibandingkan dengan sampel 0 dan 0,3%wt GO. Sampel tanpa doping tidak memiliki ikatan carbon yang terbentuk, berbeda dengan sampel dengan doping 0,3 dan 3%wt GO yang memiliki fasa ikatan *carbon* yang terbentuk. Fasa C yang terbentuk berasal dari doping *Graphene Oxide* itu sendiri yang mana senyawa tersebut terbuat dari ikatan *Carbon*.

Kita dapat menghitung nilai *crystallite size* dari masing-masing sampel MgB_2 metode PIST variasi doping dengan menggunakan persamaan *scherrer* melalui data hasil XRD dengan cara memilih 3 puncak tertinggi dari fasa MgB_2 untuk mendapatkan perbandingan *crystallite size*. Ketika nilai FWHM dari suatu sampel semakin kecil, maka semakin besar *crystallite size*-nya (Salsabila et al., 2018).

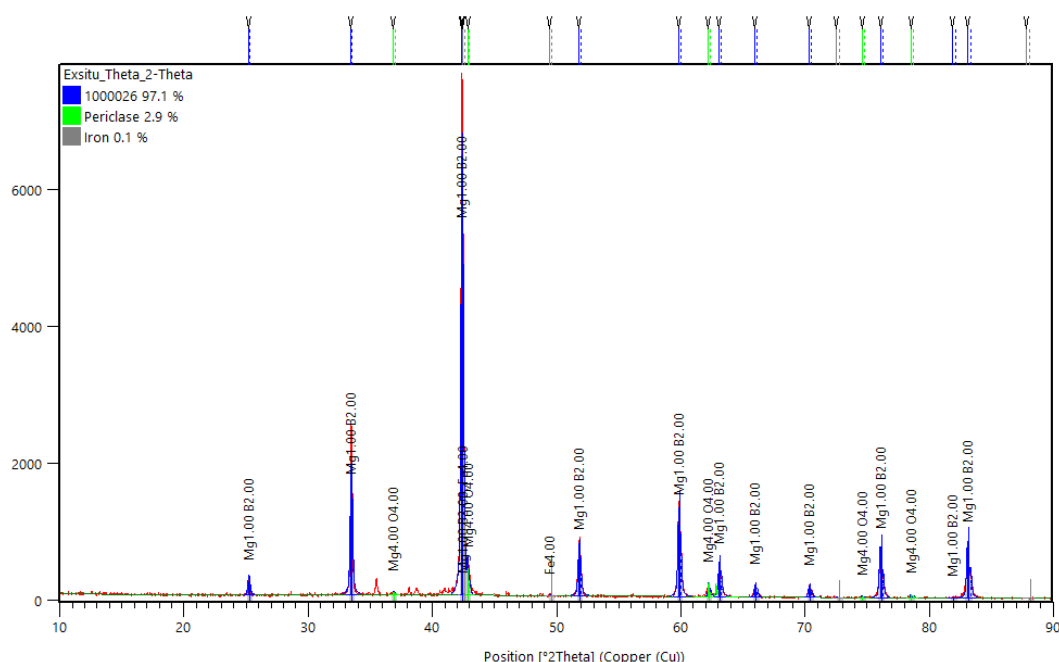
Tabel 4.1 Perbandingan *crystallite size* sampel kawat MgB_2 variasi doping metode PIST

Variasi Doping	FWHM. [$^\circ 2\theta$]	B std. [$^\circ 2\theta$]	Peak pos. [$^\circ 2\theta$]	B struct. [$^\circ 2\theta$]	Crystallite size [Å]
Non-Doping	0.219	0.008	33.5044	0.211	393
	0.219	0.008	42.4208	0.211	404
	0.219	0.008	59.8894	0.211	435
	Rata-rata				411
0,3%wt GO	0.2109	0.008	33.5237	0.203	409
	0.2109	0.008	42.4388	0.203	420
	0.2109	0.008	59.9036	0.203	452
	Rata-rata				427
3%wt GO	0.3019	0.008	33.5319	0.294	282
	0.3019	0.008	42.4302	0.294	290

	0.3019	0.008	59.9194	0.294	312
	Rata-rata				295

Pada tabel 4.1 diatas dapat diketahui bahwa berdasarkan perhitungan nilai *crystallite size* menggunakan *shcerer calculator* pada aplikasi *Highscore Plus* sampel dengan doping 0,3%wt GO memiliki ukuran rata-rata kritical paling besar diantara ketiganya yaitu 427 Å dan rata-rata ukuran terkecil terdapat pada sampel dengan doping 3%wt GO yaitu sebesar 295 Å.

4.2.5. Analisis Sampel MgB₂ Non-Doping (*Wire*)



Gambar 4.10 Sampel MgB₂ Non-Doping *Wire*

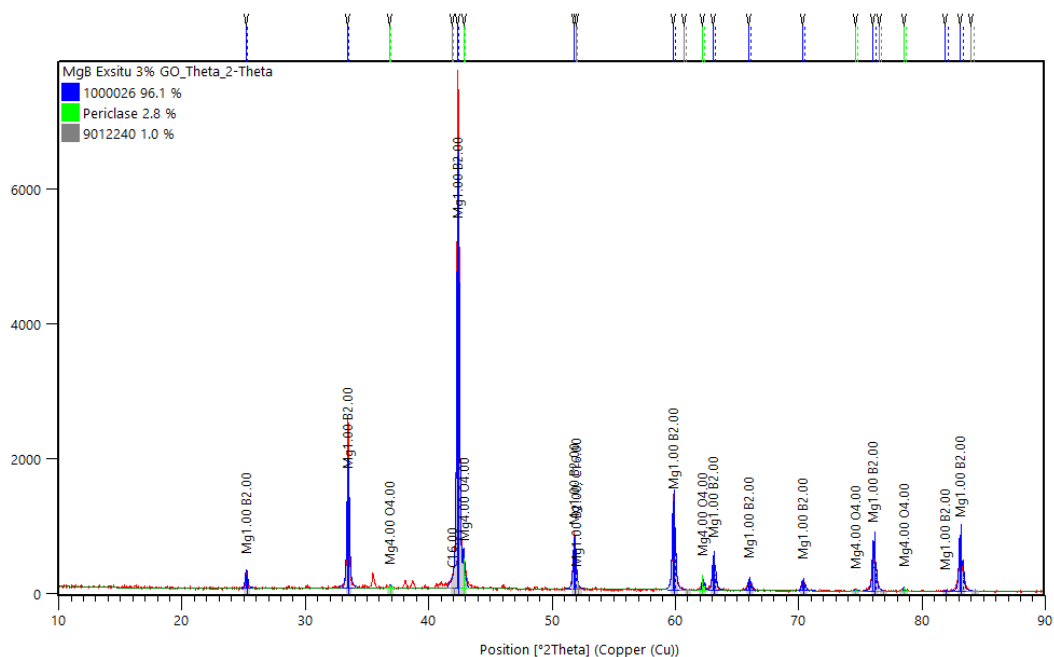
Gambar 4.10 merupakan hasil pengujian XRD pada sampel MgB₂ Non-Doping *Wire* atau bisa disebut sampel tersebut tidak mendapat tambahan *Graphene* atau 0% berat GO dengan temperature sintering 800°C dengan *holding time* selama 2 jam. Berdasarkan pola difraksi yang dihasilkan pada Gambar 4.10 terdapat 16 puncak terlihat / dominan. Dari data tersebut didapatkan 2 fasa dominan yaitu MgB₂ dan MgO, yang mana MgB₂ memiliki 11 puncak sedangkan MgO 5 puncak yang merupakan fasa pengotor. Fasa MgO muncul diakibatkan oleh hasil reaksi oksidasi pada Mg, reaksi ini terjadi ketika masih adanya udara yang terperangkap didalam tabung SS316L ketika proses *sintering*, bisa juga terjadi karena tabung kurang kedap sehingga udara masuk dan bereaksi dengan Mg yang mana kemudian

karbon yang berasal dari bahan tambahan yaitu *Graphene Oxide* yang merupakan fasa berbasis Carbon (C).

Pada Gambar 4.10 memperlihatkan bahwa sampel memiliki fasa dominan MgB_2 yang mana memiliki 11 puncak sebagai titik acuan untuk mencari fasa yang terbentuk. Terdapat 3 puncak tertinggi MgB_2 , dimana puncak pertama pada 2θ 42.3541° , jarak antar bidang $d = 2,13231\text{\AA}$, dengan FWHM $0,1961^\circ$, puncak tertinggi kedua pada 2θ 33.4422° , jarak antar bidang $d = 2,67731\text{\AA}$, dengan FWHM $0,1961^\circ$, dan puncak ketiga pada 2θ $59,8280^\circ$, jarak antar bidang $d = 1,54462\text{\AA}$, dengan FWHM $0,1961^\circ$.

Fasa lain dengan puncak yang ditampilkan dalam *software* yaitu MgO dan C16. Puncak tertinggi dari 5 puncak yang terdeteksi pada fasa MgO berada pada 2θ 41.4952° , jarak antar bidang $d = 2,17444\text{\AA}$, dengan FWHM $0,1000^\circ$. Dalam 11 puncak C16 yang ada pada data terlihat C16 memiliki puncak tertinggi yang berada pada 2θ 52.0033° , jarak antar bidang $d = 1,75708\text{\AA}$, dengan FWHM $0,1000^\circ$.

4.2.7. Analisis Sampel MgB_2 3wt% GO (Wire)



Gambar 4.12 Sampel MgB_2 3wt% GO Wire

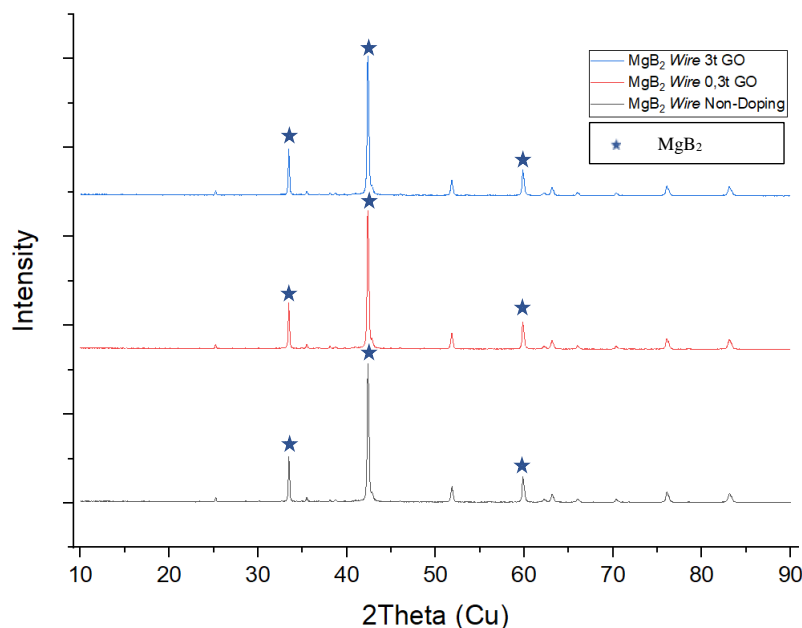
Gambar 4.11 merupakan hasil pengujian XRD pada sampel MgB_2 3wt% GO (PIST), sampel tersebut mendapat tambahan *Graphene* sebesar 3% berat GO dengan suhu sintering 800°C dengan *holding time* selama 2 jam. Berdasarkan pola difraksi yang dihasilkan pada Gambar 4.11 terdapat 21 puncak terlihat / dominan.

Dari data tersebut didapatkan 3 fasa dominan yaitu MgB_2 dengan 11 puncak, MgO dengan 5 puncak yang merupakan fasa pengotor dan C16 dengan 5 puncak dimana C16 merupakan fasa basis *carbon (phase based C)*. C16 terjadi akibat reaksi atom karbon yang berasal dari bahan tambahan yaitu *Graphene Oxide* yang merupakan fasa berbasis Carbon (C).

Pada Gambar 4.11 memperlihatkan bahwa sampel memiliki fasa dominan MgB_2 yang mana memiliki 11 puncak sebagai titik acuan untuk mencari fasa yang terbentuk. Terdapat 3 puncak tertinggi MgB_2 , dimana puncak pertama pada 2θ 42.3564° , jarak antar bidang $d = 2,13220\text{\AA}$, dengan FWHM $0,1947^\circ$, puncak tertinggi kedua pada 2θ 33.4456° , jarak antar bidang $d = 2,67705\text{\AA}$, dengan FWHM $0,1947^\circ$, dan puncak ketiga pada 2θ $59,8301^\circ$, jarak antar bidang $d = 1,54457\text{\AA}$, dengan FWHM $0,1947^\circ$.

Fasa lain dengan puncak yang ditampilkan dalam *software* yaitu MgO dan C16. Puncak tertinggi dari fasa MgO berada pada 2θ 42.8360° , jarak antar bidang $d = 2,10943\text{\AA}$, dengan FWHM $0,1000^\circ$. Dalam data terlihat C16 memiliki puncak tertinggi yang berada pada 2θ 51.9251° , jarak antar bidang $d = 1,75954\text{\AA}$, dengan FWHM $0,1000^\circ$.

4.2.8. Perbandingan Sampel MgB_2 Wire variasi Doping



Gambar 4.13 Pola XRD sampel kawat MgB_2 Wire dengan variasi Doping *Graphene Oxide*

Gambar 4.13 adalah hasil dari gabungan karakterisasi difraktometer sinar-X pada sampel MgB_2 dengan metode *Wire* dengan variasi Doping *Graphene Oxide* yang disinter pada $800^\circ C$ dengan *hoding time* selama 2 jam. Pola hasil XRD dari sampel dengan variasi doping yang berbeda dengan metode *Wire* untuk menentukan fasa MgB_2 yang terbentuk pada setiap sampel. Dari setiap sampel yang diuji memiliki fasa MgB_2 yang dominan dan memiliki fasa pengotor yang terbentuk yaitu MgO . Fasa MgO yang terjadi merupakan hasil dari reaksi oksidasi pada Mg , berdasarkan hasil XRD dapat dikatakan sampel dengan doping 3%wt GO memiliki fasa pengotor yang lebih banyak dibandingkan dengan sampel 0 dan 0,3% wt GO. Sampel tanpa doping tidak memiliki ikatan carbon yang terbentuk, berbeda dengan sampel dengan doping 0,3 dan 3%wt GO yang memiliki fasa ikatan *carbon* yang terbentuk. Fasa C yang terbentuk berasal dari doping *Graphene Oxide* itu sendiri yang mana senyawa tersebut terbuat dari ikatan *Carbon*.

Kita dapat menghitung nilai *crystallite size* dari masing-masing sampel MgB_2 metode PIST variasi doping dengan menggunakan persamaan *scherrer* melalui data hasil XRD dengan cara memilih 3 puncak tertinggi dari fasa MgB_2 untuk mendapatkan perbandingan *crystallite size*. Ketika nilai FWHM dari suatu sampel semakin kecil, maka semakin besar *crystallite size*-nya (Salsabila et al., 2018).

Tabel 4.2 Perbandingan *crystallite size* sampel kawat MgB_2 variasi doping metode *Wire*

Variasi Doping	FWHM. [$^\circ 2\theta$]	B std. [$^\circ 2\theta$]	Peak pos. [$^\circ 2\theta$]	B struct. [$^\circ 2\theta$]	Crystallite size [Å]
Non-Doping	0.195	0.008	33.4558	0.187	444
	0.195	0.008	42.3676	0.187	456
	0.195	0.008	59.8409	0.187	490
	Rata-rata				463
0,3%wt GO	0.1964	0.008	33.442	0.188	441
	0.1964	0.008	42.3543	0.188	453
	0.1964	0.008	59.8277	0.188	488
	Rata-rata				461
3%wt GO	0.195	0.008	33.4454	0.187	444
	0.195	0.008	42.3567	0.187	456

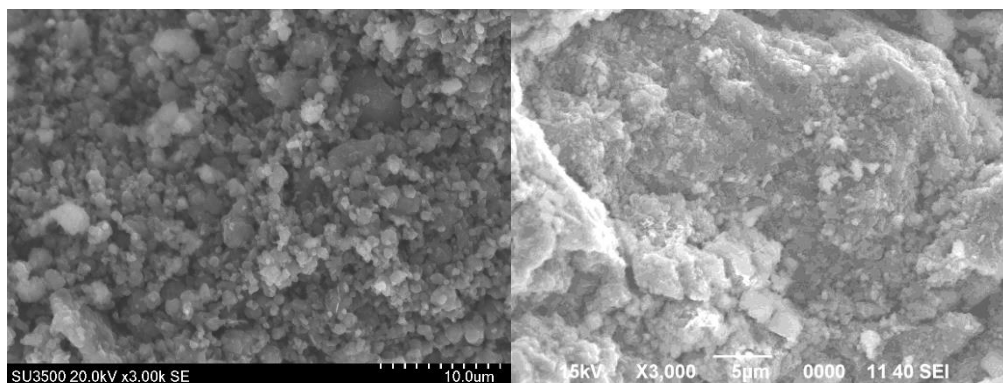
	0.195	0.008	59.8296	0.187	490
	Rata-rata				463

Pada tabel 4.2 diatas dapat diketahui bahwa berdasarkan perhitungan nilai *crystallite size* menggunakan *shcerer calculator* pada aplikasi *Highscore Plus* sampel dengan doping 3%wt GO dan tanpa doping memiliki ukuran rata-rata kritical paling besar diantara ketiganya yaitu 463 Å dan rata-rata ukuran terkecil terdapat pada sampel dengan doping 0,3%wt GO yaitu sebbesar 461 Å.

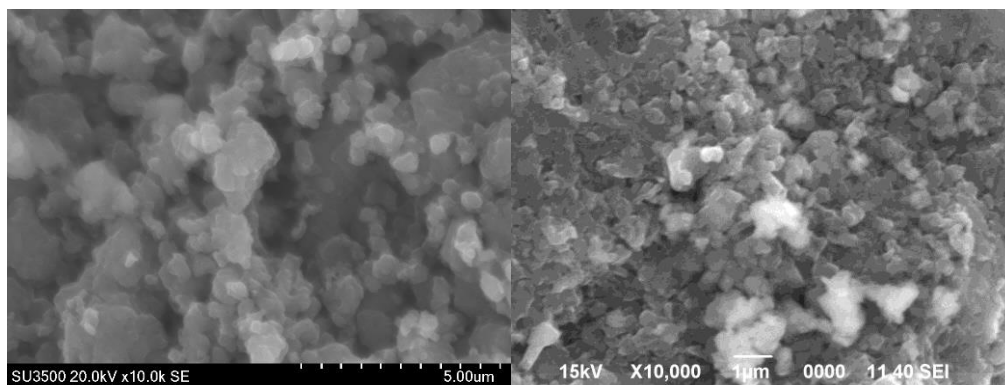
4.3. Hasil Pengujian Mikrostruktur menggunakan SEM-EDS

Uji SEM atau *Scanning Electron Microscopy* dilakukan untuk identifikasi morfologi permukaan, khususnya dalam penelitian ini adalah morfologi permukaan sampel MgB₂ yang berupa ukuran butiran kristal dan didapatkan presentasi komposisi atom tiap butir yang ada pada sampel dengan EDS. Metode *Secondary Electron* (SEI) digunakan untuk mendapatkan gambar morfologi permukaan sampel. Prinsipnya adalah ketika berkas elektron berinteraksi dengan sampel yang menghasilkan *Secondary Electron* yang didalam detektor SE tersebut kemudian diubah menjadi sinyal listrik yang selanjutnya menghasilkan gambar pada monitor. Sampel yang di uji adalah MgB₂ PIST dan *Wire* dengan variasi doping 0, 0,3 dan 3%wt *Graphene Oxide* (GO) dengan suhu sintering 800°C, serta *Cold Rolling* untuk sampel *Wire*. Analisis SEM dengan perbesaran 3.000x dan 10.000x dilakukan.

4.3.1. Sampel MgB₂ Non-Doping



Gambar 4.14 Sampel MgB₂ Non-Doping PIST (kiri) dan *Wire* (kanan) dengan perbesaran 3000x



Gambar 4.15 Sampel MgB₂ Non-Doping PIST (kiri) dan Wire (kanan) dengan perbesaran 10000x

Hasil dari pengujian SEM menunjukkan bahwa permukaan material superkonduktor berbahan dasar MgB₂ tanpa penambahan doping dengan perbesaran 3000x dan 10000x. Gambar 4.15 menunjukkan sampel PIST perbesaran 3000x terlihat membentuk padatan seperti butiran-butiran tebal yang saling mengikat berbentuk gumpalan padat yang merupakan karakteristik dari superkonduktor MgB₂, sedangkan untuk sampel *Wire* perbesaran 3000x terlihat sudah mulai membentuk butiran padat yang homogen yang saling mengikat satu sama lain.

Dengan perbesaran 10000x seperti pada Gambar 4.13 diperlihatkan sampel PIST memiliki butiran padat yang homogen dan pipih serta adanya poros, sama halnya dengan sampel PIST sampel *Wire* menunjukkan bahwa terbentuk butiran padat yang hexagonal.

Dari hasil uji SEM tersebut kita dapat melakukan pengukuran butir untuk mengetahui dimensi butir yang terbentuk menggunakan *software imageJ*. Pengukuran dimensi dilakukan pada perbesaran 5000x dengan skala 10µm dan pada 10 butir.

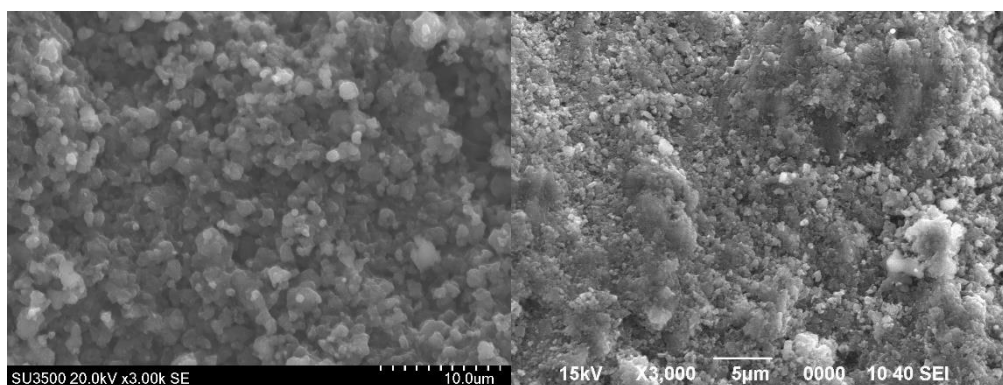
Tabel 4.3 Ukuran butir sampel kawat MgB₂ tanpa doping metode *Wire* dan PIST

Sampel	No	Length(µm)	Sampel	No	Length(µm)
MgB ₂ Non-Doping PIST	1	0.955	MgB ₂ Non-Doping Wire	1	0.823
	2	0.74		2	1.694
	3	0.599		3	1.013
	4	1.695		4	1.003
	5	1.325		5	1.17
	6	1.969		6	0.74

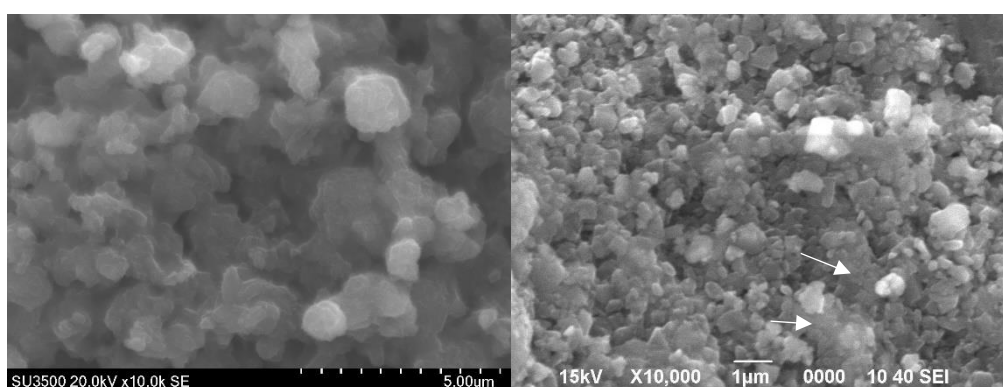
	7	1.112		7	1.184
	8	1.126		8	0.701
	9	0.596		9	0.609
	10	0.821		10	0.791
	Rata-rata		1.098	Rata-rata	
				0.973	

Berdasarkan Tabel 4.3 sampel MgB_2 tanpa doping dengan metode PIST memiliki rata-rata ukuran butir yang lebih panjang dengan ukuran $1.098 \mu m$, sampel MgB_2 tanpa doping dengan metode *Wire* memiliki rata-rata ukuran yang lebih sedikit yaitu $0,973 \mu m$.

4.3.2. Sampel MgB_2 0,3%wt GO



Gambar 4.16 Sampel MgB_2 0,3%wt GO PIST (kiri) dan Wire (kanan) dengan perbesaran 3000x



Gambar 4.17 Sampel MgB_2 0,3%wt GO PIST (kiri) dan Wire (kanan) dengan perbesaran 10000x

Sampel MgB_2 0,3%wt GO PIST (kiri) pada Gambar 4.14 memiliki morfologi permukaan yang membentuk padatan seperti butiran tebal yang saling mengikat berupa gumpalan-gumpalan padat yang merupakan ciri khas dari karakter

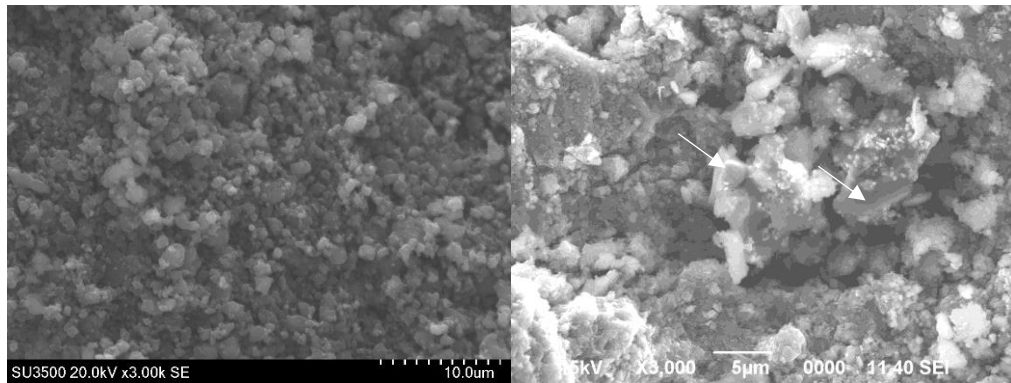
superkonduktor MgB_2 , sedangkan pada sampel *Wire* (kanan) dapat dilihat morfologi permukaannya membentuk butiran dengan ukuran yang kecil yang saling mengikat, yang terbentuk karena kerapatannya kurang. Dengan perbesaran 10000x dapat terlihat sampel PIST memiliki kepadatan yang rapat dan homogen sedangkan sampel *Wire* memiliki kerapatan yang kurang padat dan terdapat poros, meski begitu sampel *Wire* sudah membentuk kristal yang mana merupakan ciri khas karakteristik superkonduktor MgB_2 . Tiap-tiap butir terhubung sangat baik pada setiap sampel, sampel yang ditandai panah terdapat struktur seperti film dengan adanya kehadiran doping (Sudesh, 2013).

Tabel 4.4 Ukuran butir sampel kawat MgB_2 0,3% wt GO metode *Wire* dan PIST

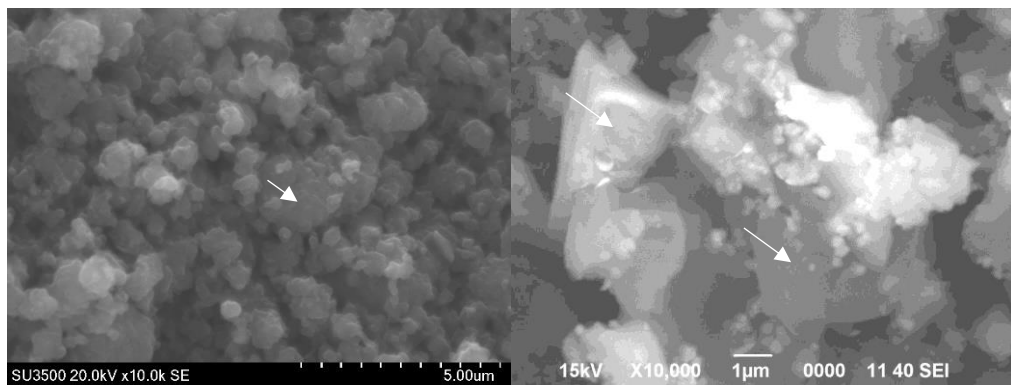
Sampel	No	Length(μm)	Sampel	No	Length(μm)
MgB ₂ 0,3% wt GO PIST	1	1.543	MgB ₂ 0,3% wt GO <i>Wire</i>	1	0.936
	2	1.02		2	0.351
	3	1.001		3	0.783
	4	1.369		4	0.382
	5	1.087		5	0.469
	6	1.135		6	0.49
	7	1.21		7	0.33
	8	0.574		8	0.556
	9	0.731		9	0.388
	10	0.952		10	0.471
	Rata-rata	1.0622		Rata-rata	0.5156

Dari hasil uji SEM tersebut kita dapat melakukan pengukuran butir untuk mengetahui dimensi butir yang terbentuk menggunakan *software imageJ*. Pengukuran dimensi dilakukan pada perbesaran 5000x dengan skala 10 μm pada 10 butir. Berdasarkan Tabel 4.4 sampel MgB_2 0,3%wt GO dengan metode PIST memiliki rata-rata ukuran butir yang lebih panjang yaitu 1.062 μm dibandingkan dengan sampel MgB_2 0,3%wt GO metode *Wire* dengan panjang 0,5156 μm .

4.3.3. Sampel MgB₂ 3%wt GO



Gambar 4.18 Sampel MgB₂ 3%wt GO PIST (kiri) dan Wire (kanan) dengan perbesaran 3000x



Gambar 4.19 Sampel MgB₂ 3%wt GO PIST (kiri) dan Wire (kanan) dengan perbesaran 10000x

Hasil morfologi permukaan material superkonduktor MgB₂ dengan tambahan 3%wt GO dengan suhu sintering 800°C dengan perbesaran 3000x pada Gambar 4.16 dan perbesaran 10000x pada Gambar 4.17. Pada sampel PIST dengan perbesaran 3000x morfologi permukaannya padat, teratur dan membentuk butir-butir tebal yang saling mengikat serta homogen yang mana merupakan karakteristik dan ciri khas superkonduktor MgB₂, sedangkan untuk sampel *Wire* terlihat butir-butirnya padat menggumpal dan mulai menyatu dengan butiran lainnya. Jika dilihat dengan perbesaran 10000x sampel PIST terlihat heksagonal dan padat yang merupakan ciri khas superkonduktor MgB₂, sedangkan jika sampel *Wire* dilihat dengan perbesaran 10000x terlihat menyerupai gumpalan yang menyatu serta homogen yang mana merupakan ciri khas superkonduktor MgB₂. Tiap-tiap butir terhubung sangat baik pada setiap sampel, sampel yang ditandai panah terdapat struktur seperti film dengan adanya kehadiran doping (Sudesh, 2013).

Tabel 4.5 Ukuran butir sampel kawat MgB₂ 3%wt GO metode *Wire* dan PIST

Sampel	No	Length(μm)	Sampel	No	Length(μm)
MgB ₂ 3%wt GO PIST	1	0.451	MgB ₂ 3 %wt GO <i>Wire</i>	1	0.678
	2	1.389		2	1.54
	3	0.986		3	1.565
	4	0.55		4	0.793
	5	1.195		5	0.734
	6	0.637		6	1.055
	7	0.92		7	1.037
	8	0.566		8	1.581
	9	0.691		9	0.874
	10	0.818		10	1.675
	Rata-rata	0.8203		Rata-rata	1.1532

Dari hasil uji SEM tersebut kita dapat melakukan pengukuran butir untuk mengetahui dimensi butir yang terbentuk menggunakan *software imageJ*. Pengukuran dimensi dilakukan pada perbesaran 5000x dengan skala 10μm pada 10 butir. Berdasarkan Tabel 4.5 sampel MgB₂ 3%wt GO dengan metode PIST memiliki rata-rata ukuran butir yang lebih pendek yaitu 0.820 μm dibandingkan dengan sampel MgB₂ 3%wt GO metode *Wire* dengan panjang 1,1532 μm.

4.4. Hasil Pengujian *Resistivity Measurement Cryogenic*

Pengujian ini dilakukan menggunakan mesin *Cryotron FR* buatan *Oxford* milik Pusat Penelitian Metalurgi Material (P2MM) LIPI dengan metode *Four Point Probe*. Output yang dihasilkan dari pengujian ini didapatkan suhu kritis (T_c) sampel dari grafik hubungan antara hambatan jenis (ρ) dengan suhu (T). Analisis sifat superkonduktivitas dilakukan pada sampel MgB₂ dengan variasi bentuk yaitu PIST dan *Wire* serta variasi doping *Graphene Oxide* (GO) sebesar 0, 0,3 , 3%wt GO dengan perlakuan *Cold Rolling* untuk sampel *Wire*.

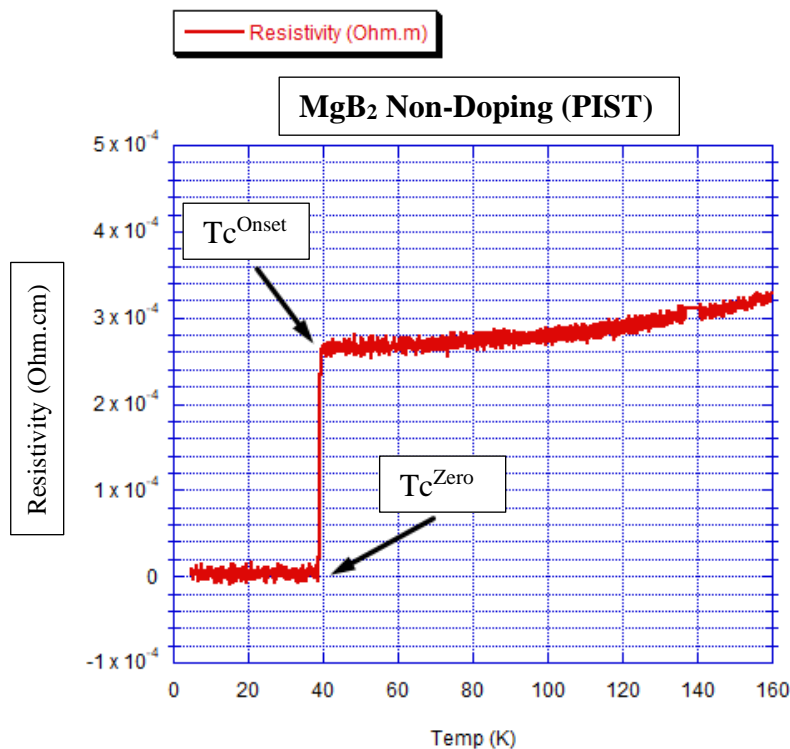
Data yang muncul pada hasil pengujian adalah hambatan R (ohm) dan T (suhu) maka dari itu kita harus menentukan nilai Hambat Jenis (ρ) dari material yang kita uji menggunakan rumus :

$$\rho = \frac{R \cdot A}{l} \dots\dots\dots(1)$$

- Dimana:
- ρ : Hambatan Jenis / Resistivitas (Ωm)
 - A : Luas Penampang Penghantar (m^2)
 - R : Hambatan (Ω)
 - l : Panjang Penghantar (m)

Setelah data tersebut didapatkan maka kita bisa membuat grafik hubungan antara hambatan jenis dengan suhu, yang bisa menunjukkan bahwa material tersebut merupakan material superkonduktor atau bukan. Karena ciri khas dari material superkonduktor adalah tidak memiliki hambatan ketika suhu material mencapai suhu kritisnya.

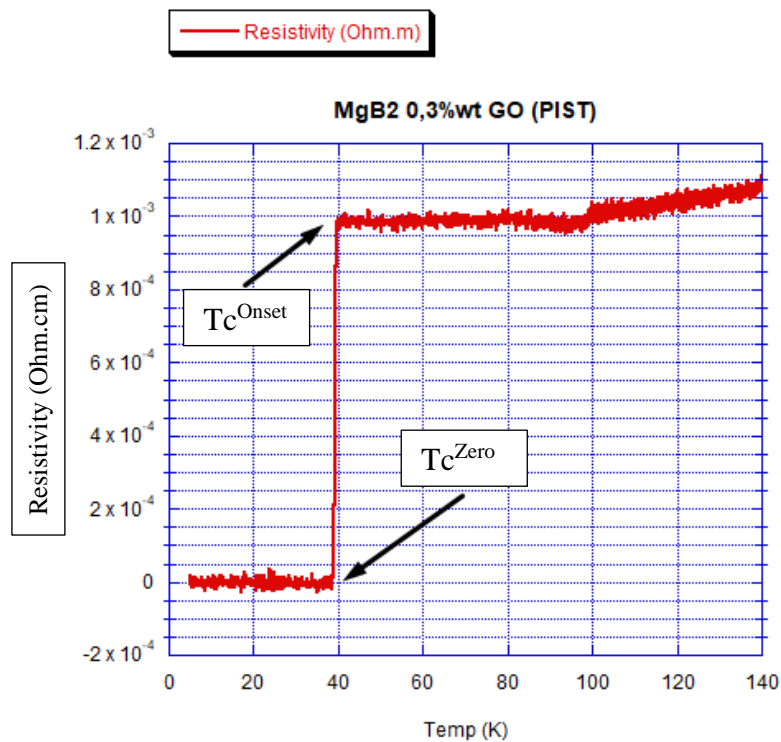
4.4.1. Sampel MgB₂ Non-Doping (PIST)



Gambar 4.20 Grafik Hubungan antara Resistivitas vs Temperatur sampel MgB₂ Non-Doping (PIST)

Gambar 4.18 diatas merupakan hasil dari pengujian *Cryogenic Magnet* pada *bulk* sampel PIST material MgB_2 dengan tambahan 0%wt GO atau tanpa tambahan GO. Pada gambar menunjukkan kurva transisi yang sesuai dengan sifat superkonduktivitas dimana pada sampel ini terjadi penurunan resistivitas secara drastic hingga 0 Ohm meter dengan nilai T_c^{Onset} sebesar 40 K dan T_c^{Zero} sebesar 38,7 K.

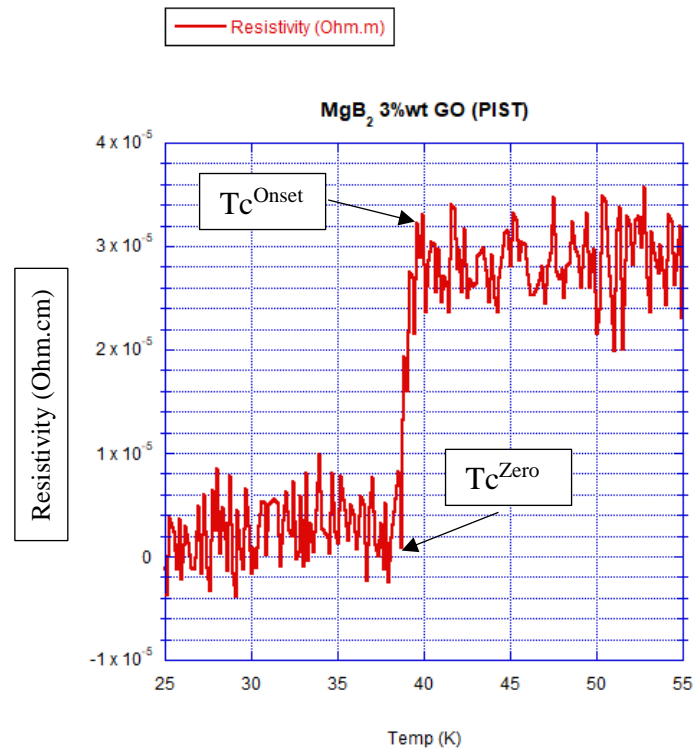
4.4.2. Sampel MgB_2 0,3%wt GO (PIST)



Gambar 4.21 Grafik Hubungan antara Resistivitas vs Temperatur sampel MgB_2 0,3%wt GO (PIST)

Gambar 4.19 merupakan MgB_2 dengan tambahan 0,3%wt GO, hasil pengujian menunjukkan resistivitas terhadap perubahan suhu yang mencirikan bahwa material tersebut adalah superkonduktor. T_c^{Onset} terdapat pada suhu 40K dan T_c^{Zero} pada 38,1 K

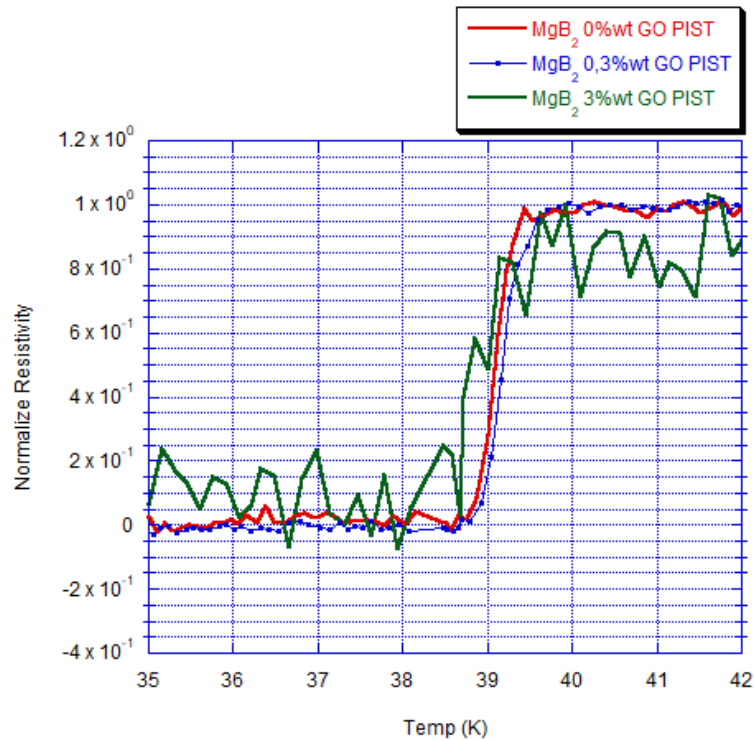
4.4.3. Sampel MgB₂ 3%wt GO (PIST)



Gambar 4.22 Grafik Hubungan antara Resistivitas vs Temperatur sampel MgB₂ 3%wt GO (PIST)

Gambar 4.20 diatas merupakan hasil dari pengujian *Cryogenic Magnet* pada *bulk* sampel PIST material MgB₂ dengan tambahan 3%wt GO. Pada gambar menunjukkan kurva transisi yang sesuai dengan sifat superkonduktivitas dimana pada sampel ini terjadi penurunan resistivitas secara drastis hingga 0 Ohm meter dengan nilai T_C^{Onset} sebesar 40 K dan T_C^{Zero} sebesar 38 K.

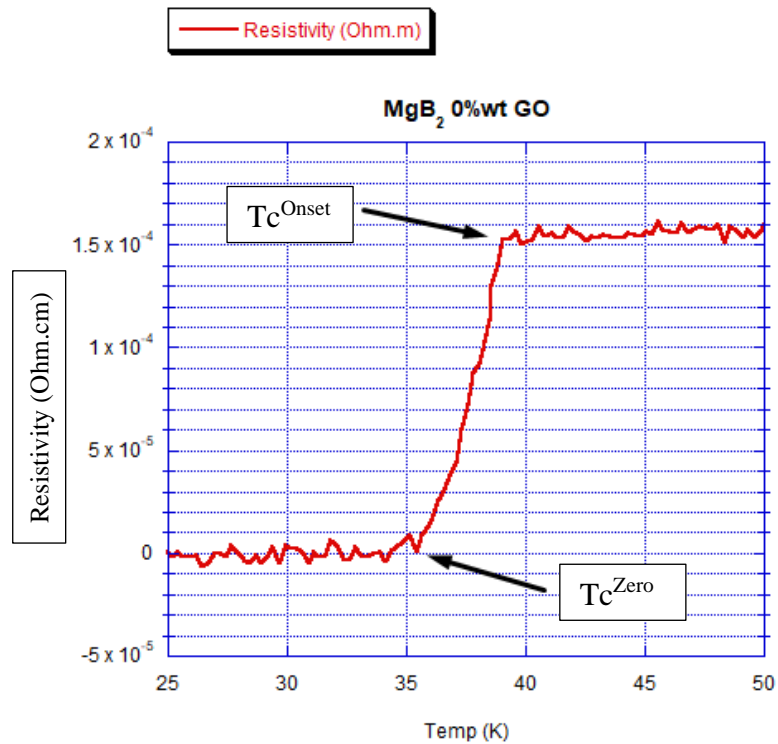
4.4.4. Perbandingan antara MgB₂ dengan tambahan 0, dan 0,3%wt GO (PIST)



Gambar 4.23 Grafik gabungan Hubungan antara Resistivitas vs Temperatur pada variasi Doping *Graphene Oxide*

Berdasarkan Gambar 4.23 ditunjukkan grafik gabungan yang membandingkan hasil antara sampel MgB₂ dengan doping 0, 0,3 dan 3%wt GO dalam bentuk *Bulk sample* atau PIST dengan suhu sintering 800°C. Hasil dari pengujian setiap sampel menunjukkan kurva superkonduktor dan memiliki suhu kritis, dimana terjadi penurunan resistivitas yang drastis mencapai 0 ohm ketika suhu kritis. Sampel MgB₂ dengan doping 0% wt GO memiliki nilai T_c^{Onset} sebesar 40 K dan T_c^{Zero} sebesar 38,7 K, kemudian untuk sampel MgB₂ dengan doping 0,3%wt GO memiliki nilai T_c^{Onset} terdapat pada suhu 40K dan T_c^{Zero} pada 38,1 K, sedangkan untuk sampel MgB₂ dengan tambahan 3%wt GO memiliki nilai T_c^{Onset} terdapat pada suhu 40K dan T_c^{Zero} pada 38 K.

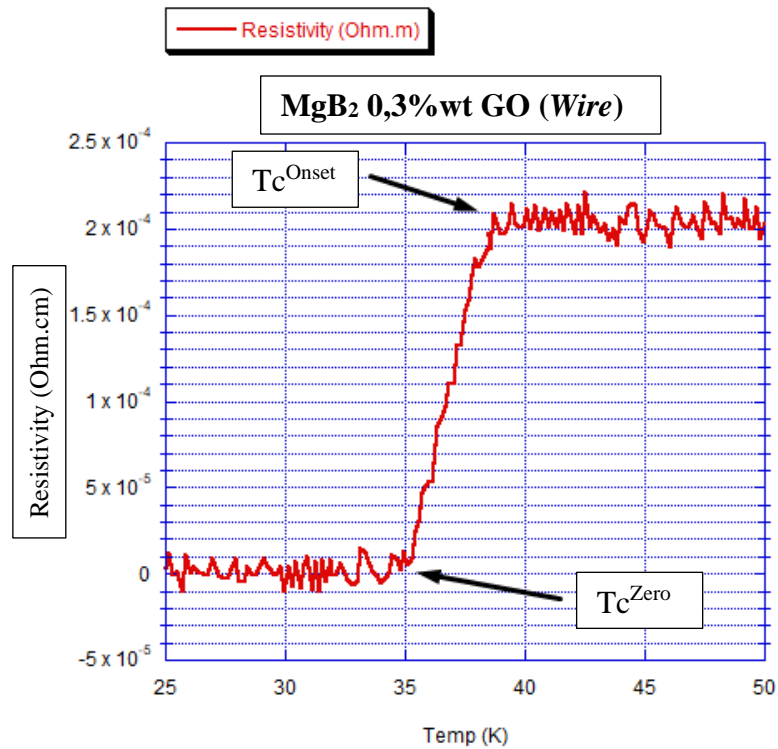
4.4.5. Sampel MgB₂ Non-Doping (Wire)



Gambar 4.24 Grafik Hubungan antara Resistivitas vs Temperatur sampel MgB₂ Non-Doping (Wire)

Berdasarkan grafik yang muncul pada Gambar 4.24 merupakan grafik hasil pengujian *Cryogenic* pada sampel MgB₂ tanpa doping GO. Pada grafik tersebut menunjukkan penurunan resistivitas yang drastis mencapai nol yang merupakan karakteristik dari material superkonduktor. Material MgB₂ tanpa doping ini memiliki nilai T_c^{Onset} yaitu 39 K. Pada sampel ini juga T_c^{Zero} bernilai 35K.

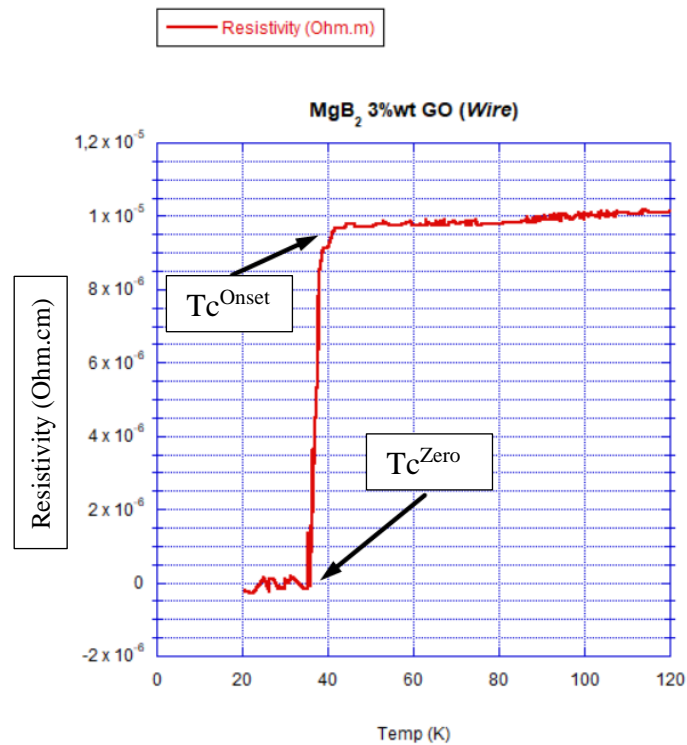
4.4.6. Sampel MgB₂ 0,3%wt GO (Wire)



Gambar 4.25 Grafik Hubungan antara Resistivitas vs Temperatur sampel MgB₂ 0,3%wt GO (Wire)

Pada gambar 4.25 terdapat hasil pengujian *Cryogenic* pada sampel MgB₂ dengan tambahan doping sebesar 0,3%wt GO (Wire), dimana hasil tersebut menunjukkan sifat karakteristik dari superkonduktor yang mana mengalami penurunan resistivitas secara drastis mencapai nol pada suhu kritisnya. MgB₂ dengan doping 0,3%wt GO ini memiliki nilai T_c^{Onset} yaitu 38.7 K. Pada sampel ini T_c^{Zero} bernilai 34.8 K.

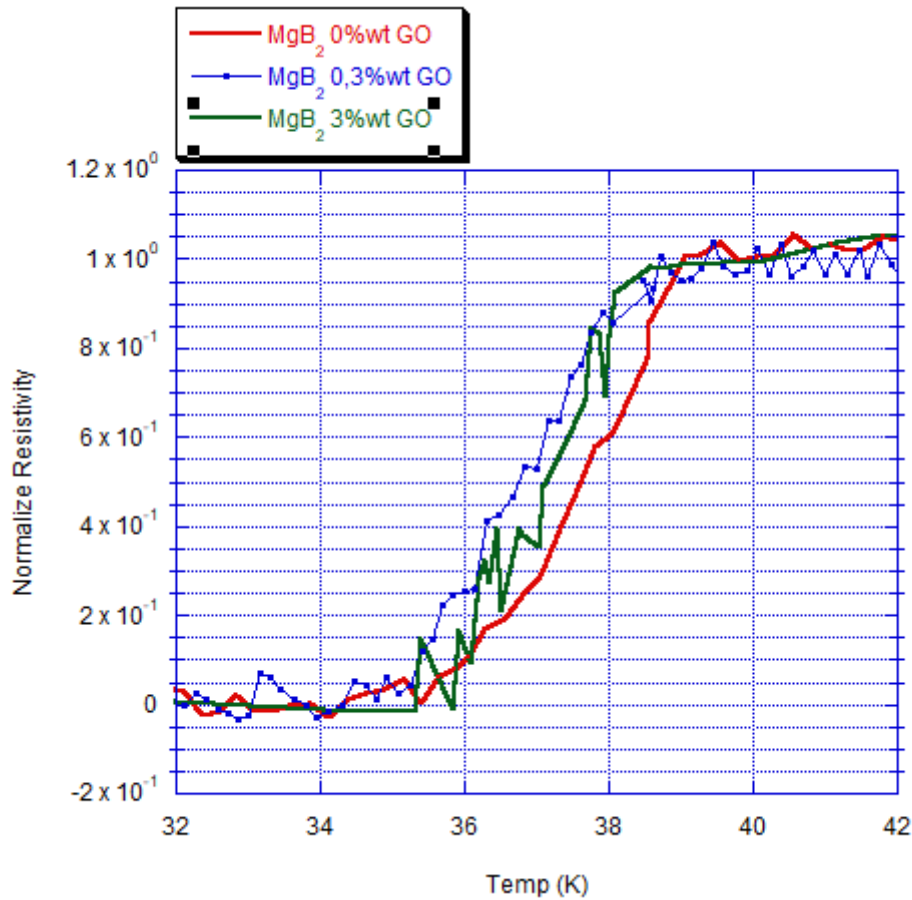
4.4.7. Sampel MgB₂ 3%wt GO (Wire)



Gambar 4.26 Grafik Hubungan antara Resistivitas vs Temperatur sampel MgB₂ 3% wt GO (Wire)

Grafik hasil pengujian *Cryogenic* pada sampel MgB₂ dengan tambahan 3% wt GO ditampilkan pada Gambar 4.26, pada grafik tersebut menunjukkan penurunan resistivitas yang drastis mencapai nol yang merupakan karakteristik dari material superkonduktor. Penambahan *Graphene Oxide* (GO) sebesar 3% wt memiliki nilai Tc^{Onset} yaitu 41,7K. Pada sampel ini juga Tc^{Zero} bernilai 36K.

4.4.8. Perbandingan antara MgB₂ dengan tambahan 0 dan 3%wt GO (Wire)



Gambar 4.27 Grafik gabungan Hubungan antara Resistivitas vs Temperatur pada variasi Doping *Graphene Oxide* (Wire)

Berdasarkan Gambar 4.27 ditunjukkan grafik gabungan yang membandingkan hasil antara sampel MgB₂ dengan doping 0, 0.3 dan 3%wt GO dalam bentuk *Wire* dengan suhu sintering 800°C. Hasil dari pengujian setiap sampel semua menunjukkan kurva superkonduktor dan memiliki suhu kritis. Sampel MgB₂ dengan doping 3% wt GO memiliki nilai T_c^{Onset} yaitu 41,7K dan sampel ini juga T_c^{Zero} bernilai 36K. Kemudian untuk sampel MgB₂ dengan tambahan 0,3%wt memiliki nilai T_c^{Onset} yaitu 38.7 K. Pada sampel ini T_c^{Zero} bernilai 34.8 K dan tanpa doping atau 0%wt GO memiliki nilai T_c^{Onset} yaitu 39 K. Pada sampel ini juga T_c^{Zero} bernilai 35K.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang mengacu pada rumusan masalah dan berfokus pada tujuan serta batasan yang ada, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil pengujian *Cryogenic measurement* didapati bahwa semua sampel yang di uji memiliki sifat superkonduktivitas, hal ini diketahui dari adanya penurunan resistivitas secara drastis mencapai 0 pada suhu kritisnya. Sampel MgB₂ PIST Non-Doping memiliki nilai Tc^{Onset} sebesar 40 K dan Tc^{Zero} sebesar 38,7 K, sampel MgB₂ PIST 0,3%wt GO memiliki nilai Tc^{Onset} terdapat pada suhu 40K dan Tc^{Zero} pada 38,1 K, MgB₂ PIST 3%wt GO memiliki nilai Tc^{Onset} sebesar 40 K dan Tc^{Zero} sebesar 38 K. Untuk sampel *Wire*, MgB₂ tanpa doping GO memiliki nilai Tc^{Onset} yaitu 39 K dan Tc^{Zero} bernilai 35K, kemudian untuk sampel MgB₂ 0,3%wt GO *Wire* memiliki nilai Tc^{Onset} yaitu 38.7 K dan Tc^{Zero} bernilai 34.8 K, sampel MgB₂ *Wire* 3%wt GO memiliki nilai Tc^{Onset} yaitu 41,7K. Pada sampel ini juga Tc^{Zero} bernilai 36K.
2. Berdasarkan hasil pengujian XRD pada ke 6 sampel yaitu MgB₂ 0,0,3 dan 3%wt GO dengan metode PIST dan *Wire*, masing-masing sampel memiliki karakteristik yang tidak jauh berbeda dimana fasa MgB₂ terbentuk secara dominan dengan MgO sebagai pengotornya. Sampel *Wire* memiliki fasa pengotor yang cukup sedikit jika dibandingkan dengan sampel PIST dimana sampel MgB₂ dengan doping 0,3%wt GO *Wire* hanya memiliki fasa pengotor MgO sebesar 0,5% sedangkan sampel MgB₂ dengan doping 0,3% wt GO PIST memiliki fase pengotor sebesar 4,7%. Ukuran kristal (*crystallite size*) dari masing-masing sampel juga cukup bervariasi dimana MgB₂ dengan metode *Wire* variasi doping GO memiliki rata-rata ukuran kristal yang lebih besar dengan nilai 463 Å dan ukuran kristal yang paling kecil dimiliki oleh sampel MgB₂ metode PIST variasi doping 3%wt GO dengan nilai 295 Å.

3. Berdasarkan hasil pengujian SEM dapat dilihat bahwa morfologi permukaan masing-masing sampel cukup bervariasi dengan bentuk permukaan berupa gumpalan-gumpalan yang mana merupakan karakteristik dari superkonduktor. Ukuran butir yang dihitung pada setiap sampel bervariasi dimana sampel MgB₂ metode PIST memiliki panjang rata-rata sebesar 0,993μm dan sampel MgB₂ metode *Wire* dengan nilai rata-rata sebesar 0,881μm. Sampel MgB₂ *Wire* dengan doping 3%wt GO memiliki rata-rata panjang terbesar dibandingkan sampel lainnya dengan nilai 1,153μm dan sampel MgB₂ *Wire* dengan doping 0,3%wt GO memiliki rata-rata panjang terkecil dengan nilai 0,516μm.

5.2. Saran

1. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat dilakukan pengembangan kawat superkonduktor MgB₂ variasi doping *Graphene* dan variasi reduksi ukuran kawat
2. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat dilakukan pembuatan superkonduktor MgB₂ dengan doping *Graphene* dalam bentuk *pellet* maupun *Wire* sebagai bahan dasar magnet.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, M. S., Yulianto, E. J., Chandra, S. A., Hakim, R. N., Hastuty, S., & Maburri, E. (2019). Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketahanan Oksidasi Suhu Tinggi Pada Baja Tahan Karat Martensitik 13Cr3Mo3Ni-Cor. *Teknik*, 40(1), 11. <https://doi.org/10.14710/teknik.v40i1.23058>
- Cao, C., Daly, M., Singh, C. V., Sun, Y., & Filleter, T. (2015). High strength measurement of monolayer graphene oxide. *Carbon*, 81(1), 497–504. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2014.09.082>
- Glowacki, B. A., Majoros, M., Vickers, M., Evetts, J. E., & Shi, Y. (n.d.). *Superconductivity of powder-in-tube MgB₂ wires*. 193.
- Herbirowo, S., Imaduddin, A., Sofyan, N., & Yuwono, A. H. (2017). Ex-situ manufacturing of SiC-doped MgB₂ used for superconducting wire in medical device applications. *AIP Conference Proceedings*, 1817(February). <https://doi.org/10.1063/1.4976762>
- Herbirowo, S., Sofyan, N., Saragih, R., Imaduddin, A., Hendrik, Sebleku, P., & Yuwono, A. H. (2017). Properties of carbon nanotubes-doped Fe-sheath MgB₂ for superconducting wires. *AIP Conference Proceedings*, 1826. <https://doi.org/10.1063/1.4979223>
- Imaduddin, A., Samsulludin, Wicaksono, M. R., Saefuloh, I., Herbirowo, S., Yudianto, S. D., Hendrik, Nugraha, H., Lusiana, Maburri, E., Darsono, N., & Pramono, A. W. (2019). The doping effects of sic and carbon nanotubes on the manufacture of superconducting monofilament mgb₂ wires. *Materials Science Forum*, 966 MSF, 249–256. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.966.249>
- Lee, C. M., Park, J. H., Hwang, S. M., Lim, J. H., Joo, J., Kang, W. N., & Kim, C. J. (2009). Fabrication of ex situ processed MgB₂ wires using nano carbon doped powder. *Physica C: Superconductivity and Its Applications*, 469(15–20), 1527–1530. <https://doi.org/10.1016/j.physc.2009.05.228>
- Lim, J. H., Shim, J. H., Choi, J. H., Park, J. H., Kim, W., Joo, J., & Kim, C. J. (2009). Effects of nano-carbon doping and sintering temperature on microstructure and properties of MgB₂. *Physica C: Superconductivity and Its Applications*, 469(15–20), 1182–1185. <https://doi.org/10.1016/j.physc.2009.05.193>
- Nagamatsu, J., Nakagawa, N., Muranaka, T., Zenitani, Y., & Akimitsu, J. (2001). Superconductivity at 39 K in magnesium diboride. *Nature*, 410(6824), 63–64. <https://doi.org/10.1038/35065039>
- Rohmaniah. (2020). *SINTESIS SUPERKONDUKTOR MgB₂*.
- Sudesh, Kumar, N., Das, S., Bernhard, C., & Varma, G. D. (2013). Effect of graphene oxide doping on superconducting properties of bulk MgB₂. *Superconductor Science and Technology*, 26(9). <https://doi.org/10.1088/0953-2048/26/9/095008>
- Wang, Q. (2012). *Fabrication and superconducting properties of MgB₂/Nb/Cu wires with chemical doping by using Powder-In-Tube (PIT) method*. 1–141.
- Yadav, R., Subhash, A., Chemmenchery, N., & Kandasubramanian, B. (2018). Graphene and Graphene Oxide for Fuel Cell Technology. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 57(29), 9333–9350. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b02326>

- Yeoh, W. K., Cui, X. Y., Gault, B., De Silva, K. S. B., Xu, X., Liu, H. W., Yen, H. W., Wong, D., Bao, P., Larson, D. J., Martin, I., Li, W. X., Zheng, R. K., Wang, X. L., Dou, S. X., & Ringer, S. P. (2014). On the roles of graphene oxide doping for enhanced supercurrent in MgB₂ based superconductors. *Nanoscale*, *6*(11), 6166–6172. <https://doi.org/10.1039/c4nr00415a>
- Yudanto, S. D., Imaduddin, A., Hendrik, Siswayanti, B., & Herbirowo, S. (2015). ANALISIS HAMBAT JENIS PENAMBAHAN NANO SiC PADA SUPERKONDUKTOR MgB₂. *Prosiding Seminar Material Metalurgi, October*, 287–292. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1786.0889>

LAMPIRAN

1. Perhitungan Stoikiometri

Mg : B

1:2

$Mg : B$

1:2

$\frac{gr}{mr} : \frac{gr}{mr}$

$\frac{2gr}{24,3} Mg : \frac{1gr}{10,8} B$

$21,6B \rightarrow 1B$

$24,3Mg \rightarrow 1,125Mg$

$Massa Mg : 3gr \times \frac{1,125}{2,125} = 1,588gr$

$Massa B : 3gr \times \frac{1}{2,125} = 1,412gr$

Penambahan *Graphene* 0%;0,3% dan 3% wt

$0,3\% = 3 \times \frac{0,3}{100} = 0,009 \times 2 = 0,018$

$3\% = 3 \times \frac{3}{100} = 0,09 \times 2 = 0,18$