

Pengembangan Material Maju Superkonduktor Mg-B dengan Penambahan *Graphene Oxide* melalui Proses *Powder in Sealed Tube*

Brilliant Ardy Mahendra¹, Satrio Herbirowo², Iman Saefuloh³,
Murni Handayani⁴

¹⁾³⁾Teknik Mesin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten, Indonesia

²⁾⁴⁾Pusat Penelitian Material Maju, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Tangerang Selatan, Banten

E-mail: ¹⁾brillianardy@gmail.com; ²⁾satrio.herbirowo@brin.go.id;
³⁾Naylasyifa73@yahoo.co.id; ⁴⁾Murni.handayani@brin.go.id

Abstrak

MgB₂ adalah bahan superkonduktor tinggi yang dapat diterapkan cukup praktis dengan fungsionalisasi bahan Mg-B. Pengembangan material dilakukan dengan menambahkan karbon yaitu Graphene Oxide (GO) yang merupakan material berlapis atom tunggal. Metode *Powder in Sealed Tube* (PIST) praktis digunakan untuk mengurangi oksidasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh material GO yang didoping dengan metode PIST berbahan MgB₂ dengan suhu sinter 800°C selama 2 jam terhadap superkonduktivitas, pembentukan senyawa, dan struktur mikronya. Proses pembuatan dilakukan dengan perbandingan 1:2 dimana Mg kemurnian 98% dicampur dengan Boron, yang kemudian ditambahkan doping GO 0, 0,3 dan 3% wt, semua bahan dicampur secara stoikiometri. Material yang telah dimasukkan ke dalam tabung dan dipadatkan secukupnya ke dalam SS316L yang telah ditutup pada salah satu sisinya untuk masuk ke dalam serbuk, kemudian dipadatkan dengan tekanan tinggi hingga 1000 MPa. Bahan tersebut disinter pada suhu 800°C selama 2 jam yang kemudian dilakukan pendinginan dalam tungku dan pengambilan sampel curah. Hasil XRD menunjukkan terbentuknya fasa MgB₂ yang dominan dan terbentuknya fasa pengotor berupa MgO serta diperoleh ukuran kristal yang layak sebesar 295 Å yang dimiliki oleh sampel GO PIST MgB₂ 3%wt. Uji SEM menunjukkan pembentukan (aglomerasi) pada setiap sampel, dengan terlihatnya batas butir. Pengujian kriogenik menunjukkan bahwa dengan doping terjadi pergerakan temperatur kritis ke arah yang lebih rendah dimana MgB₂ 0%wt GO memiliki nilai Tc^{Onset} sebesar 39,4 K dan Tc^{Zero} sebesar 38,7 K, sedangkan MgB₂ 3%wt GO memiliki nilai Tc^{Onset} sebesar 39,6 K dan Tc^{Zero} dari 38 K.

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

Abstract

MgB₂ is a high possible superconducting material that can be applied quite practically with the functionalization of Mg-B materials. Material development is carried out by adding carbon, namely Graphene Oxide (GO), which is a single atom layered material. The Powder in Sealed Tube (PIST) method is practically used to reduce

oxidation. This study aims to analyze the effect of GO material doped with the PIST method made from MgB_2 with a sintering temperature of 800 °C for 2 hours on its superconductivity, compound formation, and microstructure. The manufacturing process is carried out in a 1:2 ratio where 98% purity Mg is mixed with Boron, which is then added with 0, 0.3 and 3% wt GO doping, all ingredients are mixed stoichiometrically. The material that has been put in a tube and compacted sufficiently into SS316L which has been closed on one side to enter the powder, is then compacted with high pressure up to 1000 MPa. The material is sintered at a temperature of 800 °C for 2 hours which is then carried out by cooling in the furnace and taking bulk samples. The XRD results showed the formation of the dominant MgB_2 phase and the formation of an impurity phase in the form of MgO and obtained a decent crystal size of 295 which was owned by the 3%wt GO PIST MgB_2 sample. The SEM test shows the forms of formation (agglomeration) in each sample, with the presence of several axes. Cryogenic testing shows that with doping there is a movement of critical temperature to a lower direction where MgB_2 0%wt GO has a T_c^{Onset} value of 39.4 K and a T_c^{Zero} of 38.7 K, while MgB_2 3%wt GO has a T_c^{Onset} value of 39.6 K and T_c^{Zero} of 38 K.

Keywords: *Stainless Steel; Powder in Sealed Tube; Graphene Oxide; PIST; Superconductor.*

1. PENDAHULUAN

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) [1][2][3].

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 106-107A/cm². Medan magnet pada superkonduktor MgB_2 adalah 0 ketika suhu rendah. Panjang koherensi MgB_2 adalah 312 nm 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 Nb₃Sn dan NbTi pada aplikasi MRI di bidang kesehatan karena harga dari MgB₂ lebih murah daripada bahan Nb₃Sn. Keistimewaan dari material MgB₂ yaitu memiliki struktur kristal yang sederhana, kerapatan arus yang tinggi, Panjang koherensi yang tinggi serta transparansi batas-batas butir yang menyebabkan MgB₂ menjadi bahan yang bagus dalam penerapan skala besar [3][4][5][6].

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 MgB₂, yang merupakan material superkonduktor baru dengan T_c 39K dan berpotensi dengan nilai medan magnet tinggi. Beberapa peneliti mencoba meningkatkan rapat arus kritis ataupun medan magnet kritis dengan metode penambahan senyawa kimiawi yang dinilai efektif. Pada kawat superkonduktor berbahan MgB₂ 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^{Zero} juga mengalami kenaikan yaitu dari 11,45K menjadi 24,16K. 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 2 mm, 1,5 mm dan 1 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi distorsi yang tidak terkontrol pada kawat berdiameter dibawah 2 mm untuk pelapis perak dengan bentuk hexagonal [7][8][4][9].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh metode *solid state reaction* PIST superkonduktor berbahan MgB₂ dengan doping *Graphene Oxide* dengan suhu sintering 800°C selama 2 jam terhadap sifat superkonduktivitasnya dan struktur mikro, dan meneliti pengaruh variasi komposisi bahan superkonduktor MgB₂ dengan doping *Graphene Oxide* terhadap sifat superkonduktor dan morfologi permukaannya, dan melakukan variasi komposisi bahan superkonduktor MgB₂ dengan doping *Graphene Oxide* terhadap fasa dan ukuran kristalit yang terbentuk. Teknik *Powder in Sealed Tube* dilakukan dengan cara mengisi tabung dengan unsur Mg dan B dan dilakukan perlakuan panas, kelebihan dari metode PIST ini adalah

pembuatan yang sederhana dan bisa meminimalisir terjadinya oksidasi [5][7][10][11].

Graphene Oxide adalah salah satu bahan berlapis atom tunggal yang dibuat oleh oksidasi grafit dimana harganya murah dan jumlahnya melimpah. Kekuatan dari *graphene oxide* memiliki kekuatan rata-rata 24,6 GPa, dimana hasil tersebut tidak terpaut jauh mengacu pada hasil perhitungan teoritis dimana diprediksi memiliki kekuatan mencapai 31,3 GPa. 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 [12][13][14][15].

Maka Penelitian ini dilakukan dengan sintesis *Magnesium Boride* dengan variasi penambahan *doping* GO seberat 0;0,3 dan 3% wt GO dengan metode *Powder in Tube* selubung SS 316 L dimana suhu sintering 800°C dengan waktu tunggu selama 2 jam, untuk mengetahui pengaruh doping *Graphene Oxide* terhadap sifat superkonduktivitas dan morfologi permukaan MgB_2 .

2. METODE PENELITIAN

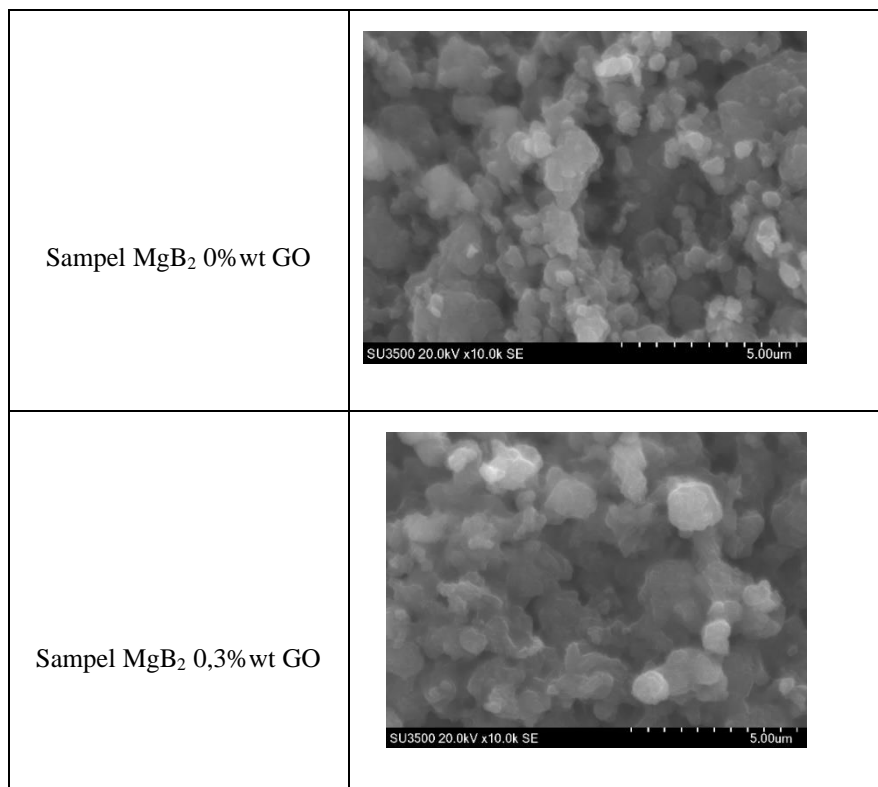
Penelitian ini dimulai dengan penimbangan bahan *Magnesium* (Mg) dan *Boron* (B) secara stoikiometri dengan rasio Mg + B adalah 1:2 serta *Graphene Oxide* (GO) sebesar 0, 0,3 dan 3%wt. Bahan yang digunakan berupa serbuk Magnesium (Mg) yang diproduksi oleh KANTO CHEMICAL CO., INC. dengan tingkat kemurnian 98% dan serbuk Boron (*amorphous*) yang diproduksi oleh PT LUO YANG CHINA dengan tingkat kemurnian 98%, sedangkan untuk *Graphene Oxide* yang digunakan merupakan hasil penelitian KMM UNS pada 31 Januari 2020. Tiap-tiap bahan yang sudah ditimbang dilakukan proses pencampuran menggunakan *Mortar Agate* selama 2 jam yang mana selanjutnya akan dimasukkan kedalam tabung SS 316 L dimana tabung tersebut satu sisinya tertutup dan setelah tabung terisi akan dilakukan *press* pada tabung tersebut untuk menutup sisi satunya dan kemudian sampel akan dilakukan proses *sintering* dengan suhu 800° C dalam tungku pemanas dengan waktu selama 2 jam. Setelah proses *sintering* selama 2 jam, sampel dibongkar untuk diambil bongkahan material yang sudah tercampur dengan

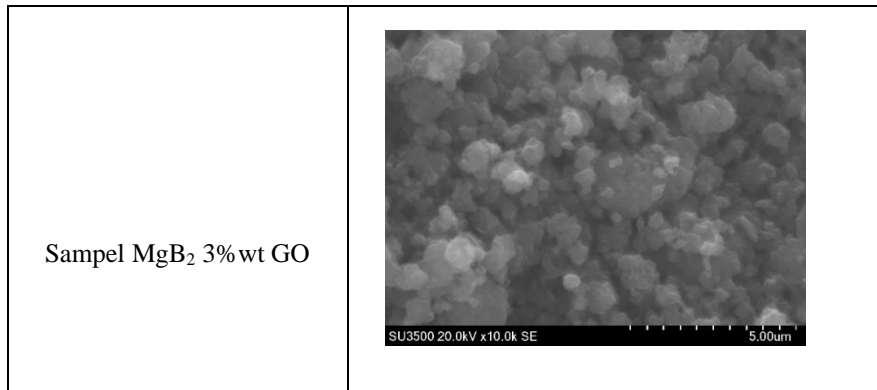
baik untuk selanjutnya dilakukan pengujian. Pengujian yang di lakukan meliputi XRD (*X-Ray Diffractometer*) sebagai analisis senyawa & fasa sampel, Uji SEM untuk mengetahui mikrostruktur sampel dan *cryogenic* sebagai pengamatan resistivitas sampel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Analisis Morfologi Permukaan

Morfologi permukaan membentuk padatan seperti butiran tebal yang saling mengikat berupa gumpalan-gumpalan padat. Sampel tanpa doping memiliki rongga yang merupakan poros, sampel dengan doping 0,3% wt GO memiliki tekstur yang lebih menggumpal, sedangkan sampel dengan doping 3% wt GO memiliki ukuran butir lebih kecil dan padat. Tiap-tiap butir terhubung sangat baik pada setiap sampel, sampel yang ditandai panah terdapat struktur seperti film dengan adanya kehadiran doping.





Gambar 1 Hasil SEM dengan perbesaran 1000x pada sampel MgB₂ dengan suhu sintering 800°C dengan metode PIST

Dimensi butir yang terbentuk diukur menggunakan *software* imageJ pada perbesaran 5000x dengan skala 10µm pada 10 butir. Berdasarkan hasil pengukuran dapat dilihat ukuran butir mengalami pengurangan ukuran butir dengan adanya penambahan *doping Graphene Oxide*. Analisis hasil pengukuran juga diolah menggunakan SPSS dan uji normalitas menggunakan *Kolmogorov-Smirnov* and *Shapiro-Wilk*.

Tabel 1 Data ukuran butir menggunakan uji Anova SPSS

HARDNESS	SUM OF SQUARES	DF	MEAN SQUARE	F	SIG.
<i>Between groups</i>	.448	2	.224	1.758	.192
<i>Within groups</i>	3.438	27	.127		
Total	3.886	29			

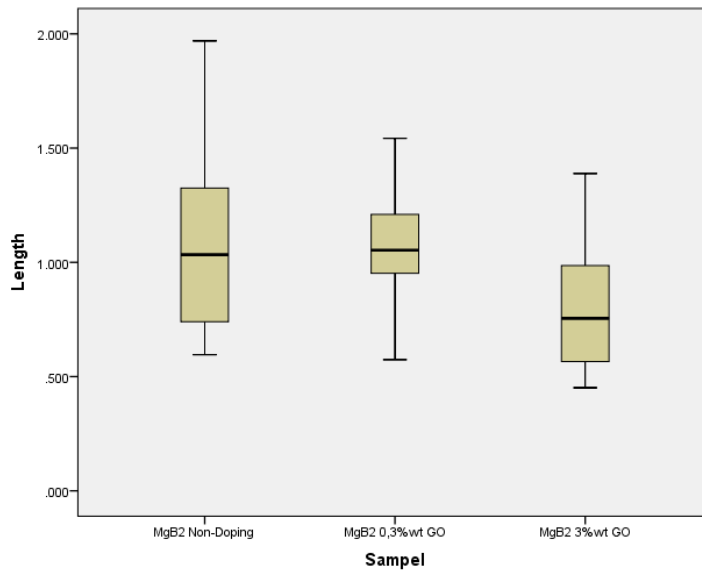
Pada tabel 1 diatas diperoleh nilai probabilitas 0,192 lebih besar dari signifikansi sebesar 0,05. Dengan demikian hasil dari uji anova menunjukkan bahwa data dalam penelitian ini dinyatakan valid dan terdistribusi secara merata.

Tabel 2 Data ukuran butir menggunakan uji normalitas SPSS

	SAMPSEL	KOLMOGOROV-SMIRNOV ^A			SHAPIRO-WILK		
		STATISTIC	DF	SIG.	STATISTIC	DF	SIG.
Length	MgB ₂ 0% wt GO	.172	10	.200*	.916	10	.328
	MgB ₂ 0,3% wt GO	.148	10	.200*	.982	10	.976
	MgB ₂ 3% wt GO	.165	10	.200*	.938	10	.535

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction



Gambar 2 Grafik data ukuran butir yang diolah menggunakan SPSS

Berdasarkan hasil penelitian dari uji Normalitas pada tabel 2 diatas untuk sampel MgB₂ 0%wt GO diperoleh nilai probabilitas 0,328 lebih besar dari signifikansi sebesar 0,200. Untuk sampel MgB₂ 0,3%wt GO diperoleh nilai probabilitas 0,976 lebih besar dari signifikansi sebesar 0,200. Untuk sampel MgB₂ 3%wt GO diperoleh nilai probabilitas 0,535 lebih besar dari signifikansi sebesar 0,200. Dengan demikian hasil dari uji normalitas ini menunjukkan bahwa data-data dalam penelitian ini dinyatakan valid dan terdistribusi dengan normal.

Tabel 3 Ukuran butir sampel MgB₂

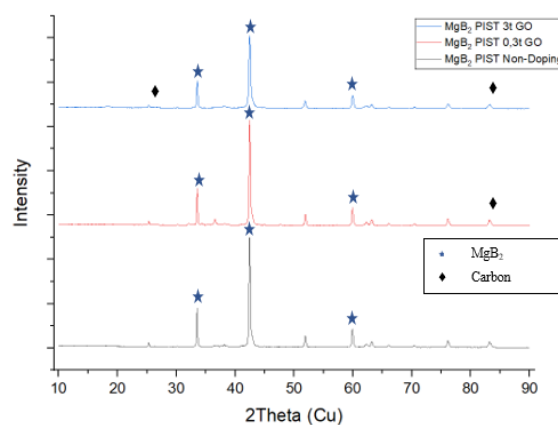
Sampel	No	Length(µm)	Sampel	No	Length(µm)	Sampel	No	Length(µm)
MgB ₂ 0%wt GO PIST	1	0.955	MgB ₂ 0,3%wt GO PIST	1	1.543	MgB ₂ 3%wt GO PIST	1	0.451
	2	0.74		2	1.02		2	1.389
	3	0.599		3	1.001		3	0.986
	4	1.695		4	1.369		4	0.55
	5	1.325		5	1.087		5	1.195
	6	1.969		6	1.135		6	0.637
	7	1.112		7	1.21		7	0.92
	8	1.126		8	0.574		8	0.566
	9	0.596		9	0.731		9	0.691
	10	0.821		10	0.952		10	0.818
Rata-rata	1.098			1.0622			0.8203	

Dapat dilihat pada **Gambar 1** dimana morfologi permukaan pada tiap sampel berupa gumpalan-gumpalan yang merupakan karakteristik dari superkonduktor.

Dengan adanya perbedaan doping yang digunakan terjadi perbedaan ukuran gumpalan atau butir yang terbentuk pada setiap sampel. Ukuran butir dengan rata-rata terpanjang dimiliki oleh sampel MgB_2 dengan 0%wt GO dengan nilai 1.098 μm , dengan adanya penambahan GO terjadi penurunan ukuran panjang butir dimana MgB_2 dengan 3%wt GO memiliki nilai rata-rata 0.8203 μm .

b. Analisis Hasil Uji XRD

Analisis XRD dilakukan untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk pada tiap-tiap sampel MgB_2 tanpa doping juga dengan doping seberat 0,3 dan 3%wt GO. Berdasarkan hasil analisis didapati fasa dominan yang terbentuk adalah MgB_2 yang merupakan fasa utama dengan adanya fasa pengotor berupa MgO yang cukup sedikit dengan presentase sekitar 4,7% dari total fasa yang terbentuk. Dapat dilihat di gambar 3 dengan adanya penambahan doping *Carbon* yang berupa *Graphene Oxide*, sampel dengan penambahan doping sebesar 0,3%wt GO memiliki fasa ikatan carbon yang terbentuk yaitu Lonsdaleite (C4) dengan presentase 3,2%. Sampel dengan doping sebesar 3%wt GO terdapat fasa *Graphite* yang terbentuk, dimana fasa ini terbentuk karena adanya penambahan doping *Carbon* yang berupa *Graphene Oxide*, fasa *Graphite* yang terbentuk sebesar 0,3% dari total fasa yang terbentuk. Dapat dilihat pada **Tabel 4** bahwa dengan adanya penambahan GO sebesar 0,3% wt terjadi penurunan nilai FWHM yang tidak signifikan dengan diikuti dengan peningkatan ukuran kristal. Namun, sampel dengan tambahan doping sebesar 3% wt GO terjadi peningkatan nilai FWHM yang cukup signifikan dengan diikuti oleh penurunan ukuran kristal.



Gambar 3 Grafik hasil uji XRD

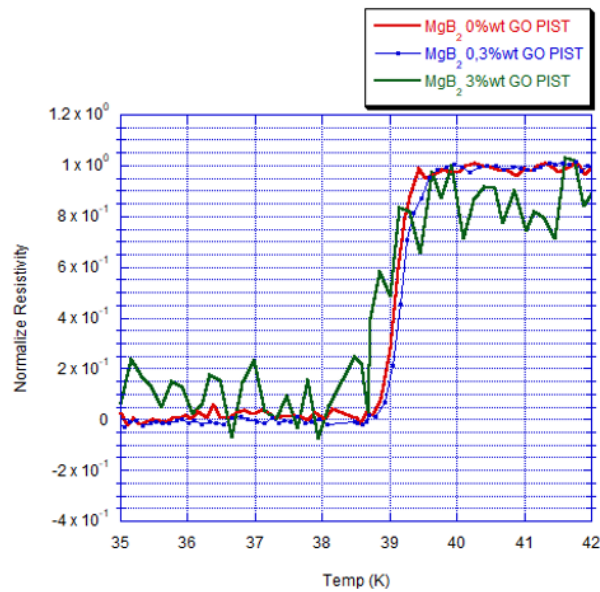
Tabel 4 Analisis crystallite size sample kawat MgB₂ variasi doping GO

Variasi Doping	FWHM. [°2Th]	B std. [°2Th]	Peak pos. [°2Th]	B struct. [°2Th]	Crystallite size [Å]
MgB ₂ 0%wt GO	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
MgB ₂ 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
MgB ₂ 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

Nilai *crystallite size* dihitung menggunakan *shcerer calculator* yang terdapat pada aplikasi *Highscore Plus*, dimana sampel dengan doping 0,3%wt GO memiliki ukuran rata-rata kital paling besar diantara ketiganya yaitu 427 Å dan rata-rata ukuran terkecil terdapat pada sampel dengan doping 3%wt GO yaitu sebesar 295 Å.

c. Analisis Sifat Superkonduktivitas Material

Analisis sifat superkonduktivitas material dilakukan melalui uji *Resistivity Measurement Cryogenic*, untuk mengetahui suhu kritis dari material. Dapat dilihat pada **Gambar 4** bahwa material tersebut memiliki sifat superkonduktivitas dimana ditandai dengan adanya penurunan suhu yang drastis. Suhu kritis pada tiap-tiap sampel berbeda-beda dimana Sampel tanpa doping atau 0%wt GO memiliki nilai nilai T_c^{Onset} sebesar 39,4 K dan T_c^{Zero} sebesar 38,7 K. Sampel dengan doping 0,3%wt GO memiliki nilai T_c^{Onset} terdapat pada suhu 39 K dan T_c^{Zero} pada 38,6 K. Sampel dengan doping 3%wt GO memiliki nilai T_c^{Onset} sebesar 39,6 K dan T_c^{Zero} sebesar 38 K. Dengan hadirnya *Graphene Oxide* sebagai doping mengakibatkan pergeseran suhu kritis yang cenderung bergerak ke suhu yang lebih rendah.



Gambar 4 Grafik hasil uji *Resistivity Measurement Cryogenic*

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan hasil yang telah di Analisis dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan doping *Graphene Oxide* terjadi pengurangan ukuran panjang butir pada morfologi permukaan sampel MgB₂. Fasa MgB₂ mendominasi dan terbentuk cukup baik dengan sedikitnya fasa pengotor MgO yang terbentuk. Fasa MgB₂ terbentuk sebesar 95,5% dan MgO sebesar 4,5% pada sampel MgB₂ 0% wt GO. Sampel MgB₂ 0,3% wt GO fasa MgB₂ dan MgO yang terbentuk sebesar 92,1% dan 4,7% dengan ditemukannya juga fasa Lonsdaleite sebesar 3.2%. Untuk sampel MgB₂ 3% wt GO memiliki fasa MgB₂, MgO dan Graphite sebesar 95%, 4,3% dan 0,7%, besaran persen fasa tersebut dihitung menggunakan *software* HighScorePlus dengan metode rietveld refinement. Dengan adanya penambahan doping *Graphene Oxide* ditemukan senyawa carbon yang terbentuk seperti *Lonsdaleite* (C4) dan *Graphite*. Efek penambahan doping *Graphene Oxide* juga mempengaruhi sifat superkonduktivitas sampel dimana dengan adanya doping maka suhu kritis bergerak ke arah suhu yang lebih rendah.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Imaduddin *et al.*, “The doping effects of sic and carbon nanotubes on the manufacture of superconducting monofilament mgb2 wires,” *Mater. Sci. Forum*, vol. 966 MSF, pp. 249–256, 2019, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.966.249.
- [2] S. Herbirowo, A. Imaduddin, N. Sofyan, and A. H. Yuwono, “Ex-situ manufacturing of SiC-doped MgB₂ used for superconducting wire in medical device applications,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 1817, no. February, 2017, doi: 10.1063/1.4976762.
- [3] B. A. Glowacki, M. Majoros, M. Vickers, J. E. Evetts, and Y. Shi, “Superconductivity of powder-in-tube MgB₂ wires,” vol. 193.
- [4] S. D. Yudanto, A. Imaduddin, Hendrik, B. Siswayanti, and S. Herbirowo, “ANALISIS HAMBAT JENIS PENAMBAHAN NANO SiC PADA SUPERKONDUKTOR MgB₂,” *Pros. Semin. Mater. Metal.*, no. October, pp. 287–292, 2015, doi: 10.13140/RG.2.1.1786.0889.
- [5] Sudesh, N. Kumar, S. Das, C. Bernhard, and G. D. Varma, “Effect of graphene oxide doping on superconducting properties of bulk MgB₂,” *Supercond. Sci. Technol.*, vol. 26, no. 9, 2013, doi: 10.1088/0953-2048/26/9/095008.
- [6] Rohmaniah, “SINTESIS SUPERKONDUKTOR MgB₂ DENGAN PENAMBAHAN NI MENGGUNAKAN METODE POWDER IN SEALED TUBE (PIST) TERHADAP VARIASI TEMPERATUR SINTERING”, Skripsi, Tidak Diterbitkan, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2020.
- [7] J. Nagamatsu, N. Nakagawa, T. Muranaka, Y. Zenitani, and J. Akimitsu, “Superconductivity at 39 K in magnesium diboride,” *Nature*, vol. 410, no. 6824, pp. 63–64, 2001, doi: 10.1038/35065039.
- [8] M. S. Anwar, E. J. Yulianto, S. A. Chandra, R. N. Hakim, S. Hastuty, and E. Mabururi, “Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketahanan Oksidasi Suhu Tinggi Pada Baja Tahan Karat Martensitik 13Cr3Mo3Ni-Cor,” *Teknik*, vol. 40, no. 1, p. 11, 2019, doi: 10.14710/teknik.v40i1.23058.
- [9] C. M. Lee *et al.*, “Fabrication of ex situ processed MgB₂ wires using nano carbon doped powder,” *Phys. C Supercond. its Appl.*, vol. 469, no. 15–20, pp. 1527–1530, 2009, doi: 10.1016/j.physc.2009.05.228.

-
- [10] J. H. Lim *et al.*, “Effects of nano-carbon doping and sintering temperature on microstructure and properties of MgB₂,” *Phys. C Supercond. its Appl.*, vol. 469, no. 15–20, pp. 1182–1185, 2009, doi: 10.1016/j.physc.2009.05.193.
- [11] Q. Wang, “Fabrication and superconducting properties of MgB₂/Nb/Cu wires with chemical doping by using Powder-In-Tube (PIT) method,” pp. 1–141, 2012.
- [12] C. Cao, M. Daly, C. V. Singh, Y. Sun, and T. Filleter, “High strength measurement of monolayer graphene oxide,” *Carbon N. Y.*, vol. 81, no. 1, pp. 497–504, 2015, doi: 10.1016/j.carbon.2014.09.082.
- [13] W. K. Yeoh *et al.*, “On the roles of graphene oxide doping for enhanced supercurrent in MgB₂ based superconductors,” *Nanoscale*, vol. 6, no. 11, pp. 6166–6172, 2014, doi: 10.1039/c4nr00415a.
- [14] R. Yadav, A. Subhash, N. Chemmenchery, and B. Kandasubramanian, “Graphene and Graphene Oxide for Fuel Cell Technology,” *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 57, no. 29, pp. 9333–9350, 2018, doi: 10.1021/acs.iecr.8b02326.
- [15] S. Herbirowo *et al.*, “Properties of carbon nanotubes-doped Fe-sheath MgB₂ for superconducting wires,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 1826, 2017, doi: 10.1063/1.4979223.