

Pengaruh Proses Penarikan (*Rolling*) Terhadap Suhu Kritis (T_c) dalam Pembuatan Kawat Superkonduktor $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan Penambahan CNT

Effect of Rolling Process on Critical Temperature (T_c) in $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ Superconducting Wire with Addition of CNT Manufacture

Hilda Ayu Marlina^{1*}, Agung Imaduddin², Kerista Sebayang¹, Pius Sebleku²

¹Program Studi Magister (S2) Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Sumatera Utara, Jalan Bioteknologi No. 1 Kampus USU, Medan 20155, Indonesia

²Pusat Penelitian Metalurgi dan Material (P2MM) LIPI, Gedung 470, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan, Indonesia

Received: September, 2017 Accepted: October, 2017

Analisa pengaruh proses penarikan (*rolling*) terhadap suhu kritis (T_c) dalam pembuatan kawat superkonduktor $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan penambahan CNT (*carbonnanotube*) telah dilakukan. Kawat superkonduktor $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan penambahan CNT merupakan kawat superkonduktor berbasis bismuth dengan penambahan CNT yang diselubungi Ag (*Argentum*), dalam penelitian ini Ag yang digunakan berdiameter awal 8 mm. Pembuatan kawat $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan penambahan CNT tersebut dilakukan menggunakan metode PIT (*Powder in Tube*). Salah satu proses dalam metode PIT yang mempengaruhi suhu kritis (T_c) kawat $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan penambahan CNT adalah proses penarikan (*rolling*). Dalam penelitian ini, T_c optimum didapatkan pada penarikan pertama dengan diameter kawat menjadi 5 mm dengan nilai $T_{c\text{onset}}$ 109,17 K dan nilai $T_{c\text{zero}}$ 71 K. Namun, pada penarikan kedua (penarikan berulang) hingga kawat berdiameter 2,6 mm diperoleh nilai $T_{c\text{onset}}$ sebesar 90 K, tetapi $T_{c\text{zero}}$ tidak dihasilkan.

*The analysis of rolling process to critical temperature (T_c) in the manufacture of $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ superconducting wire with additional CNT (*carbonnanotube*) has been done. The $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ superconducting wire with additional CNT is a superconducting wire based on bismuth by adding CNT shrouded by Ag (*Argentum*), in this study Ag used an initial diameter of 8 mm. This wire manufacture is done by using PIT (*Powder in Tube*) method. One of processes in the PIT method which affect on T_c value is the process of withdrawal (*rolling*). In this study, the optimum T_c obtained at the first rolling with wire diameter to 5 mm with $T_{c\text{onset}}$ 109.17 K and $T_{c\text{zero}}$ 71 K. However, in the second rolling (*rolling repeatedly*) until the 2.6 mm diameter wire produced a value of $T_{c\text{onset}}$ of 90 K, but $T_{c\text{zero}}$ not produced.*

Keywords: $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$, CNT, PIT method, Rolling

PENDAHULUAN

Material superkonduktor merupakan material yang kehilangan resistansi listriknya dan menolak medan magnet saat didinginkan di bawah karakteristik suhu kritis (T_c) (Abbas et. al., 2015).

Superkonduktor pertama kali ditemukan oleh Kamerlingh Onnes pada awal 1900-an, yaitu pada merkuri, resistansi merkuri tiba-tiba turun menjadi nol pada suhu 4 K, fenomena ini disebut superkonduktivitas (De Bruyn Ouboter et. al., 2012).

Sejak penemuan tersebut superkonduktor terus berkembang hingga saat ini. Pada 1988 terjadi peningkatan suhu kritis (T_c) pada material superkonduktor BSCCO, yaitu pada penemuan H. Maeda, dimana superkonduktor berbahan keramik BSCCO teridentifikasi memiliki tiga fasa, yaitu fasa 2201, fasa 2212, dan fasa 2223 dengan temperatur kritis fasa-fasa tersebut berturut-turut adalah 10, 80, dan 110 K (Lusiana, 2013). Karena hal tersebut, superkonduktor berbasis bismuth (Bi) banyak diminati para peneliti untuk diteliti. Namun, pada sintesis fasa tunggal superkonduktor sistem bismuth (Bi), khususnya fasa 2223, sulit untuk mendapatkan kualitas tinggi karena terdapat fasa pengotor seperti Ca_2CuO_3 dan CuO (Nurmalita, 2011).

Beberapa tahun belakangan, berbagai doping seperti CNT telah menaikkan sifat *cuprate* (Dadras, 2009; Galvan, 2004; Galvan, 2008; Z. Q. Yang, 1999), karena diketahui dapat memperkecil ukuran butir sehingga dapat memperbesar rapat arus kritis (J_c) (Galvan dkk, 2000). Di samping itu, teknologi superkonduktor telah sampai pada pembuatan kawat superkonduktor monofilamen dan multifilamen, salah satunya pada pembuatan kawat superkonduktor Bi-2223 temperatur tinggi diselubungi oleh Ag (*silver*) menggunakan metode PIT (*powder in tube*) (Jabur, 2012). Metode PIT banyak digunakan terutama karena merupakan prosedur yang paling sederhana. Prosedur dalam metode ini terdiri dari dua jenis, yaitu (i) serbuk dimasukkan dalam tabung dan dipadatkan di dalam tabung secara manual, (ii) serbuk ditekan secara isostatik dan dimasukkan ke dalam tabung logam dalam bentuk *precompacted* (Rey, 2015). Dalam kedua prosedur tersebut terdapat proses penarikan (*rolling*) sesuai diameter yang ingin dicapai. Proses penarikan ini mempengaruhi nilai T_c (suhu kritis) yang dihasilkan kawat superkonduktor.

Dalam penelitian ini dilakukan penyelidikan mengenai pengaruh proses penarikan (*rolling*) terhadap suhu kritis (T_c) dalam pembuatan kawat superkonduktor $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan penambahan CNT (*carbonnanotube*).

METODOLOGI

Pembuatan kawat superkonduktor $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan penambahan CNT dilakukan menggunakan metode PIT secara *in-situ* (sintering dilakukan saat serbuk prekursor superkonduktor berada di dalam tabung Ag). Tahap

pertama yang dilakukan adalah preparasi dan penimbangan prekursor Bi_2O_3 , SrCO_3 , CaCO_3 , CuO_2 , dan PbO_2 dengan perhitungan stoikiometri BPSCCO fasa 2223. Kemudian, serbuk CNT yang ditambahkan sebesar 0,1 (%wt) dari massa serbuk BPSCCO fasa 2223. Pencampuran prekursor dilakukan menggunakan mortar selama 3 jam. Selanjutnya, dilakukan *solutionize* tabung Ag untuk menghilangkan ketidakmurnian sebelum serbuk dimasukkan ke dalam tabung tersebut. Pendinginan tabung Ag dilakukan menggunakan metode *annealing* pada temperatur 820°C selama 1 jam. Kemudian, serbuk $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan penambahan 0,1 (%wt) CNT dimasukkan ke dalam tabung Ag yang berdiameter 8 mm dan memiliki panjang 5 cm. Penekanan dilakukan secara manual. Kawat superkonduktor $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan penambahan CNT yang telah disiapkan dikalsinasi pada temperatur 820°C selama 20 jam. Lalu, dilakukan penarikan (*rolling*) pertama dengan diameter awal 8 mm menjadi 5 mm. Selanjutnya dilakukan sintering pertama pada temperatur 850°C selama 30 jam (disebut sampel R1). Penarikan kedua dilakukan setelah kawat superkonduktor $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ hasil penarikan pertama (diameter 5 mm) dikarakterisasi. Penarikan kedua dilakukan hingga kawat berdiameter 2,6 mm, selanjutnya dilakukan karakterisasi (disebut sampel R2). Kawat $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan penambahan CNT dikarakterisasi menggunakan *Cryogenic Teslatron Oxford Instrumen* untuk mengetahui T_c (suhu kritis) yang diperoleh, XRD merk Rigaku Miniflex 600 untuk menganalisa fasa yang terbentuk, dan SEM merk Zeiss & Jeol untuk menganalisa morfologi kawat superkonduktor $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ tersebut. Data hasil pengukuran XRD dianalisis menggunakan *software Match v1.10* sesuai dengan *database International Centre for Diffraction Data* (ICDD) edisi tahun 2003 dan fraksi volume hasil pengukuran XRD dianalisa dengan Pers. (1).

$$\text{Fraksi Volume} = \frac{\text{intensitas fasa Bi}}{\text{intensitas total}} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

Untuk menentukan ukuran kristal dari pengujian XRD digunakan metode hasil modifikasi persamaan Debye Scherrer digunakan untuk menentukan satu nilai ukuran kristal (Monshi, 2012). Persamaan

modifikasi Debye Scherrer dirumuskan sebagai berikut.

$$\frac{\kappa\lambda}{D} = \beta \cos \theta \dots\dots\dots(2)$$

$$\ln \frac{\kappa\lambda}{D} = \ln \beta \cos \theta \dots\dots\dots(3)$$

$$\ln \beta \cos \theta = \text{Nilai intersep} \quad (4)$$

dengan mensubstitusi Pers. (4) kedalam Pers. (3) didapatkan :

$$\text{Nilai intersep} = \ln \frac{\kappa\lambda}{D} \quad (5)$$

$$e^{\text{intersep}} = \frac{\kappa\lambda}{D} \quad (6)$$

$$D = \frac{\kappa\lambda}{e^{\text{intersep}}} \quad (7)$$

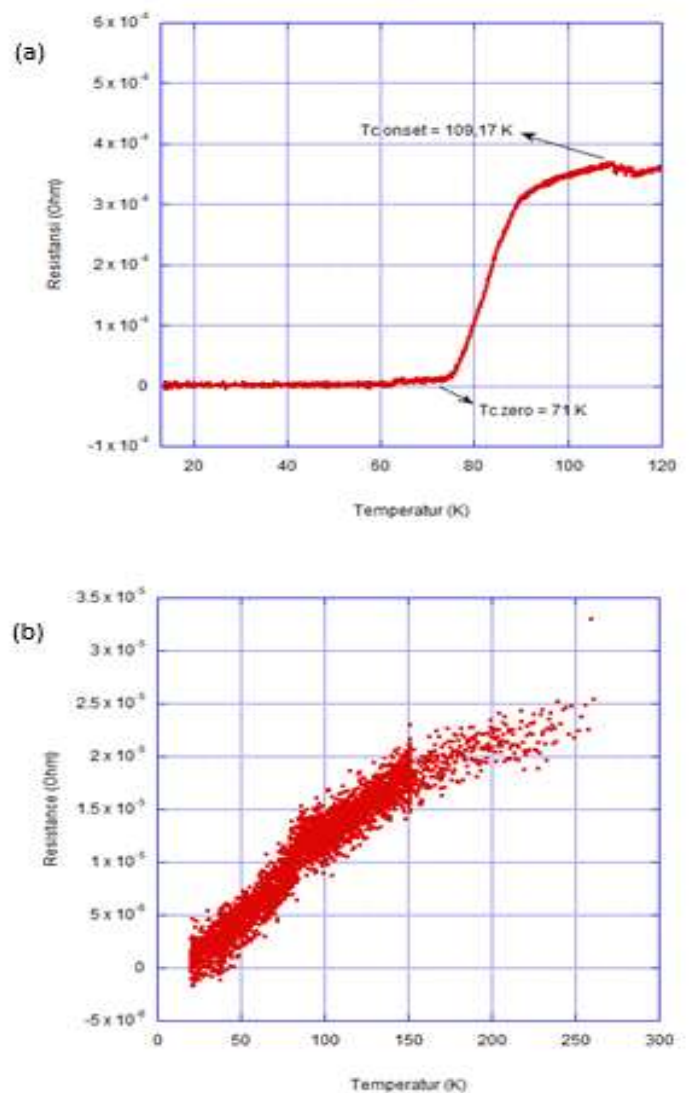
Dengan D adalah ukuran kristal (nm), κ adalah faktor bentuk dari kristal (0,9-1), λ adalah panjang gelombang sinar X (0,15406 nm), β adalah nilai dari *Full Width at Half Maximum* (FWHM) (rad) dan θ adalah sudut difraksi (derajat).

HASIL PENELITIAN

Gambar 1(a) dan (b) menunjukkan hasil pengujian menggunakan *Cryogenic Teslatron Oxford Instrumen* untuk nilai T_c pada sampel R1 (sampel hasil penarikan pertama) dan sampel R2 (sampel hasil penarikan kedua/penarikan berulang), pada grafik tersebut dapat dilihat hubungan resistivitas dan suhu. Dari grafik hubungan resistansi dan temperatur yang ditunjukkan oleh gambar dapat diamati bahwa untuk sampel penarikan pertama atau R1 (sampel hasil sintering I, $T=850^\circ\text{C}$ selama 30 jam, diameter=5 mm) diperoleh $T_{c\text{onset}}=109,17\text{ K}$ dan $T_{c\text{zero}}=71\text{ K}$. Namun, pada saat penarikan (*rolling*) kedua atau R2 hingga diameter kawat berukuran 2,6 mm diperoleh $T_{c\text{onset}}=90\text{ K}$, tetapi T_c zero tidak dihasilkan. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.(b) dengan grafik cenderung seperti grafik hubungan resistansi dan temperatur karakteristik material konduktor. Hasil pengujian suhu kritis (T_c) menggunakan *crayogenic* juga ditunjukkan pada Tabel 1.

Dari hasil dapat dilihat bahwa penarikan kawat hingga berukuran 5 mm merupakan penarikan

maksimal dalam pembuatan kawat superkonduktor berbasis $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$, hal ini juga didukung oleh penelitian sebelumnya pada pembuatan kawat superkonduktor $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ tanpa penambahan unsur lain (nondopan) dimana T_c optimal dihasilkan pada penarikan sekitar 5 mm, yaitu 93 K untuk $T_{c\text{onset}}$ dan 64 K untuk $T_{c\text{zero}}$ (Joshua dkk, 2016).

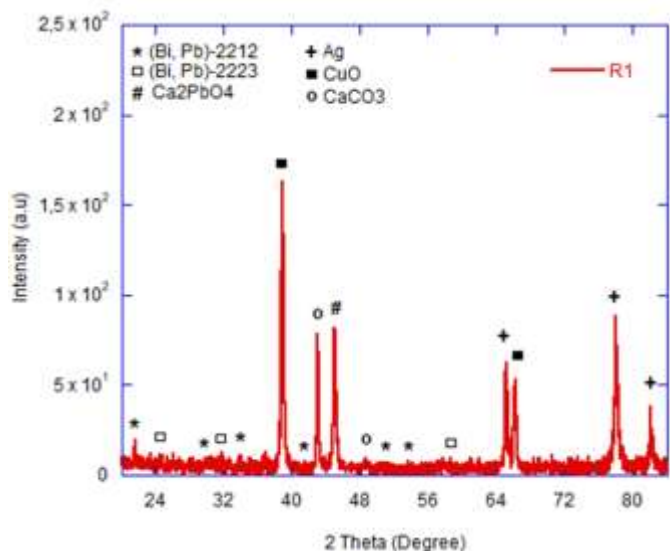


Gambar 1 Hubungan Resistansi Terhadap Temperatur (a) R1 dan (b) R2.

Tabel 1 Hasil Pengujian T_c (Suhu Kritis) menggunakan *Cryogenic*

Kode Sampel	Diam. (mm)	Sintering		T_c Onset (K)	T_c Zero (K)
		T ($^\circ\text{C}$)	t (jam)		
R1	5	850	30	109,17	71
R2	2,6	850	30	90	-

Hasil pengujian XRD untuk mengidentifikasi fasa yang terbentuk pada pembuatan kawat $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan penambahan CNT pada penarikan pertama (sampel R1) ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Pola Difraksi Sampel R1 diameter 5 mm

Data XRD yang diperoleh dianalisis menggunakan *software Match v1.10* sesuai dengan *database International Centre for Diffraction Data (ICDD)* edisi tahun 2003. Pada Gambar 2, yaitu hasil pengujian Tc menggunakan *cryogenic* pada sampel R1, fasa yang terbentuk yaitu (Bi,Pb)-2212, (Bi, Pb)-2223, Ag, dan 3 fasa pengotor, yaitu CuO, CaCO_3 , dan Ca_2PbO_4 . Fasa (Bi,Pb)-2212 optimum pada $2\theta=23,15^\circ$ dengan intensitas 7 cts, fasa (Bi,Pb)-2223 optimum pada $2\theta=59,15^\circ$ dengan intensitas 6 cts, fasa Ag terdapat pada $2\theta=44,54^\circ$ dengan intensitas 12 cts; $2\theta=64,69^\circ$ dengan intensitas 8 cts; $2\theta=77,68^\circ$ dengan intensitas 23 cts; dan $2\theta=81,88^\circ$ dengan intensitas 8 cts, fasa pengotor CuO terdapat pada 2 sudut yaitu pada $2\theta=38,72^\circ$ dengan intensitas 85 cts dan $2\theta=65,84^\circ$ dengan intensitas 11 cts, fasa pengotor CaCO_3 terdapat pada 2 sudut, yaitu $2\theta=43,11^\circ$ dengan intensitas 49 cts dan $2\theta=48,46^\circ$ dengan intensitas 6 cts, dan fasa pengotor Ca_2PbO_4 terdapat pada $2\theta=45,02^\circ$ dengan intensitas 78 cts. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dalam pembuatan kawat $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan penambahan 0,1 (%wt) CNT menyebabkan terbentuknya fasa pengotor yaitu CuO, CaCO_3 dan Ca_2PbO_4 . Jika dibandingkan dengan pembuatan kawat superkonduktor $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$

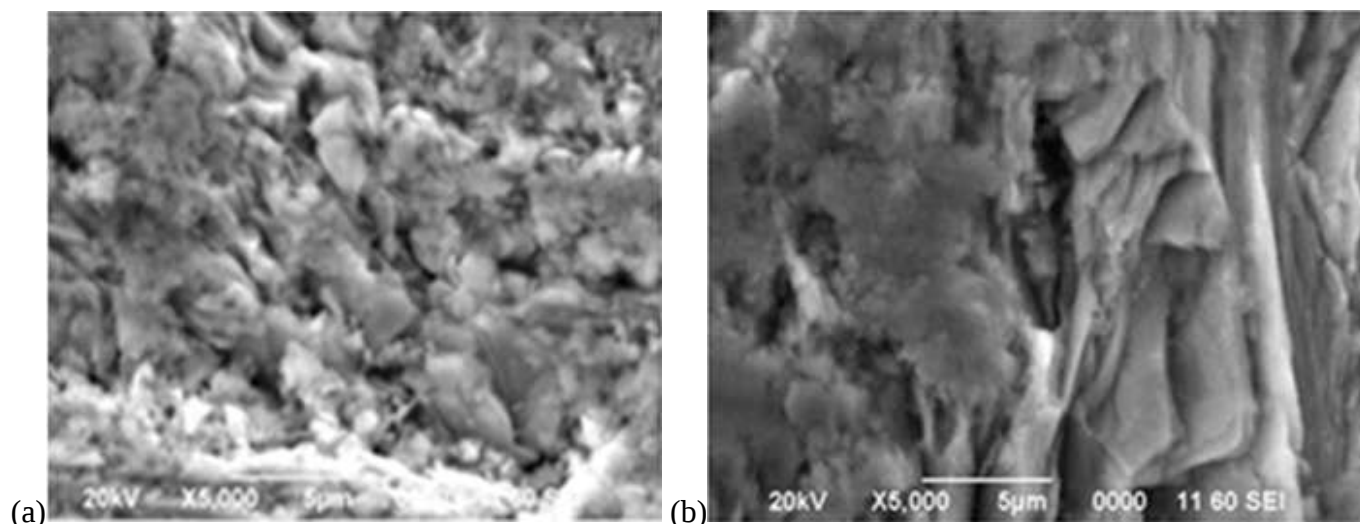
nondopan, intensitas fasa (Bi, Pb)-2223 dan (Bi, Pb)-2212 lebih tinggi yaitu senilai 19 cts dan 22 cts, disamping itu fasa impuritas (pengotor) yang terbentuk hanya CuO (Joshua dkk, 2016) yang menunjukkan bahwa impuritas kawat $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ nondopan lebih rendah daripada kawat $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ penambahan CNT. Untuk mengidentifikasi fasa dominan yang terbentuk, maka persentase kemurnian dapat diketahui dengan menghitung perbandingan fraksi volume. Nilai fraksi volume dan ukuran kristal untuk sampel R1 ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Fraksi Volume dan ukuran kristal untuk R1

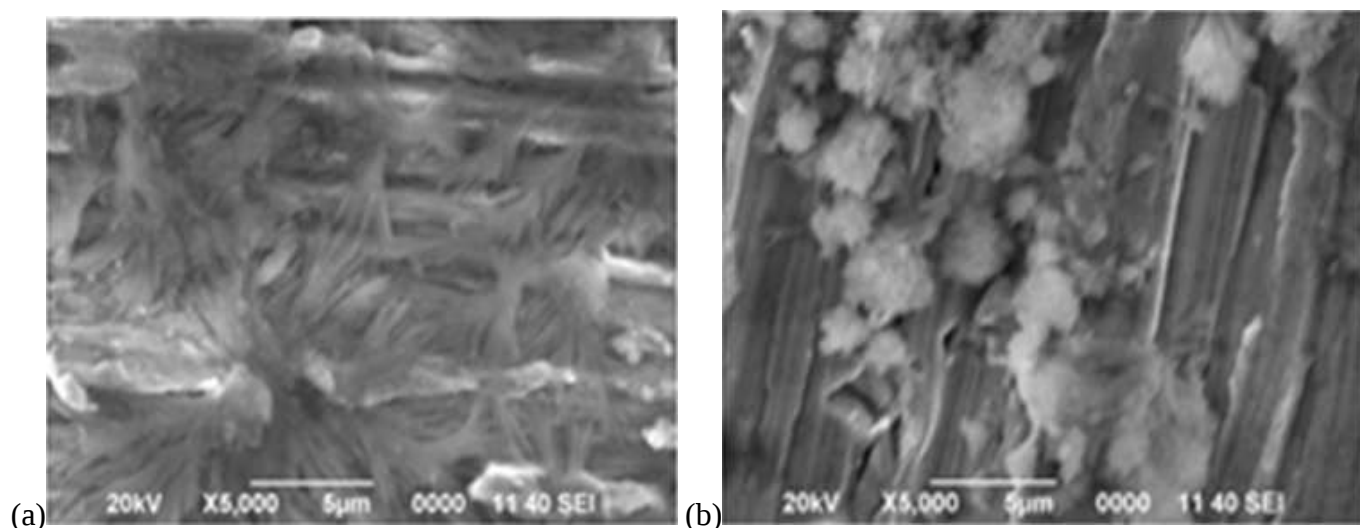
Kode Sampel	Fraksi Volume (%)		Ukuran Kristal (nm)
	(Bi,Pb)- 2212	(Bi,Pb)- 2223	
R1	65,91	34,09	160,73

Tabel 2 menunjukkan bahwa perbandingan volume (Bi,Pb)-2212 dan (Bi,Pb)-2223 pada sampel R1 dengan waktu sintering 30 jam yaitu 65,91 dan 34,09%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dalam pembuatan kawat $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan penambahan 0,1 %wt CNT memiliki fasa dominan (Bi, Pb)-2212. Dari hasil analisa XRD didapatkan bahwa pada sampel R1 struktur kristal yang terbentuk adalah orthorombik dengan parameter kisi $a=5,347 \text{ \AA}$, $b=5,416 \text{ \AA}$ dan $c=30,67 \text{ \AA}$.

Gambar 3 dan 4 menunjukkan hasil pengambilan foto menggunakan SEM pada sampel kawat superkonduktor $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan penambahan 0,1 %wt CNT dengan perbesaran 5000x. Dari gambar 3 (a) dan (b) menunjukkan bahwa ukuran butir pada sampel R1 dimana merupakan sampel kawat $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan penambahan 0,1 %wt CNT yang pada temperatur 850°C selama 30 jam hasil penarikan pertama terlihat cukup homogen dengan porositas yang terlihat cukup rendah. Kehomogenan yang tinggi dan porositas yang cukup rendah ini menyebabkan terbentuknya fasa (Bi,Pb)-2212 seperti diperlihatkan oleh hasil XRD sebelumnya. Berbeda dengan hasil foto SEM untuk sampel R2 yang merupakan sampel hasil penarikan kedua yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Morfologi Sampel R1 (a) Perbesaran 5000x, tampak pinggir (b) Perbesaran 5000x, tampak tengah.



Gambar 4. Morfologi Sampel R2 (a) Perbesaran 5000x, tampak pinggir (b) Perbesaran 5000x, tampak tengah

Dari Gambar 4. hasil foto SEM untuk sampel R2 yang merupakan sampel hasil penarikan kedua (penarikan berulang) terlihat bahwa ukuran butir kristal tidak homogen jika dibandingkan sampel R1, karena sebagian berbentuk lelehan dan sebagian menggumpal. Hal tersebut mengindikasikan bahwa sampel R2 bersifat amorf atau dapat dikatakan tidak terbentuknya ikatan-ikatan penyusun keramik yang diakibatkan rusaknya material kawat superkonduktor pada penarikan kedua, mengingat kawat tersebut berbasis keramik yang mudah rapuh bila dilakukan penarikan terus-menerus. Oleh sebab itu, fasa superkonduktor tidak terbentuk pada sampel R2.

KESIMPULAN

Proses penarikan (*rolling*) yang dilakukan pada pembuatan kawat superkonduktor $\text{Ag/Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan penambahan CNT berpengaruh pada suhu kritis (T_c) yang dihasilkan, dimana suhu kritis optimum dihasilkan pada penarikan pertama (kawat berdiameter 5 mm) dengan $T_{c\text{onset}}=109,17$ K dan nilai $T_{c\text{zero}}=71$ K. Dari analisa morfologi yang telah dilakukan, sampel hasil penarikan kedua (R2) dengan diameter 2,6 mm menghasilkan ketidakhomogenan yang lebih tinggi dibandingkan sampel R1 (sampel penarikan pertama) hal ini mengindikasikan bahwa sampel R2 bersifat amorf atau dapat dikatakan tidak terbentuknya ikatan-

ikatan penyusun keramik yang diakibatkan rusaknya material kawat superkonduktor pada penarikan kedua, mengingat kawat tersebut berbasis keramik yang mudah rapuh bila dilakukan penarikan terus-menerus. Oleh sebab itu, fasa superkonduktor tidak terbentuk pada sampel R2.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Hibah Dana Unggulan LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia) Serpong dan Pusat Penelitian Metalurgi dan Material (P2MM) LIPI Serpong.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, M.M. et.al. 2015. "Superconducting Properties of $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_{1,9}\text{Ba}_{0,1}\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ ". *Journal of Applied Sciences Research*. No. 22. Hal 164-172.
- Dadras, Y. Liu, Y.S. Chai, V. Daadmehr, K.H. Kim, *Physica C* 469 (2009) 55.
- De Bruyn Ouboter, R., Van Delft, D., & Kes, P. H. 2012. "Discovery and Early History of Superconductivity". In H. Rogalla, & P. H. Kes (Eds.), 100 years of superconductivity (pp.1-29). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Galvan, A. Durán, F.F. Castellón, E. Adem, R. Escudero, D. Ferrer, A. Torres, M. José-Yacamán, J. *Supercond. Nov. Magn.* 21 (2008) 271.
- Galvan, D.H., J.H.Kim., M.B. Maple, Hirata, G.A., dan E. Adem. 2000. Flux Pinning Effect of Embedded Carbon Nanotubes in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$. *Physica C*, Vol : 341-348 : 1269-1270.
- Galvan, Shi Li, W.M. Yuhasz, J.H. Kim, M.B. Maple, E. Adem, *Physica C* 403 (2004) 145.
- Jabur, Akram R. 2012. "B2223 High Temperature Superconductor Wires in Silver Sheath, Filament Diameter Effect on Critical Temperature and Current Density". *Energy Procedia*. 18. Hal 254-264.
- Joshua, dkk. 2016. Pembuatan Kawat Superkonduktor BSCCO-2223. Laporan Kerja Praktik.
- Lusiana. 2013. "Proses Pembuatan Material Superkonduktor BSCCO dengan Metoda Padatan". *Majalah Metalurgi*. V 28.2.2013. Hal 73-82.
- Nurmalita. 2011. "The Effect of Pb Dopant On The Volume Fraction Of BSCCO-2212 Superconducting Crystal". *Jurnal Natural* Vol. 11, No. 2.
- Rey, Christopher. 2015. "Superconductors in The Power Grid". Woodhead Publishing. pp : 86.
- Z.Q. Yang, X.D. Su, G.W. Qiao, Y.C. Guo, S.X. Dou, F.R. de Boer, *Physica C* 325 (1999)