

PERGESERAN SUHU KRITIS SUPERKONDUKTOR Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O PADA MEDAN MAGNET TINGGI

Agung Imaduddin*, Sigit Dwi Yudanto, Bintoro Siswayanti dan Hendrik

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI

Gedung 470, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan

E-mail : *agung@gmail.com

Masuk tanggal : 03-09-2014, revisi tanggal : 07-11-2014, diterima untuk diterbitkan tanggal : 21-11-2014

Intisari

PERGESERAN SUHU KRITIS SUPERKONDUKTOR Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O PADA MEDAN MAGNET TINGGI. Pada penelitian ini dipelajari proses pembuatan pelet superkonduktor Bi-Sr-Ca-Cu-O sebagai dasar prekursor bahan pada kawat superkonduktor yang diberi doping unsur Pb untuk menggantikan Bi, dan dibuat dengan memakai metoda pencampuran basah. Sampel yang dibuat dianalisa dengan XRD (*X-ray diffractometer*), EDS (*energy dispersive spectroscopy*) dan juga hambatan jenis listrik (*resistivity*) pada suhu rendah dan pada medan magnet tinggi. Berdasarkan hasil XRD dan EDS, diketahui bahwa fasa yang terbentuk adalah fasa 2212, namun terlihat juga bahwa unsur C masih banyak tersisa di dalam sampel. Dari hasil pengukuran hambatan jenis listriknya, diketahui bahwa sampel ini memiliki suhu kritis awal superkonduktor ($T_{C\text{ onset}}$) sebesar 79K, dan suhu kritis akhir ($T_{C\text{ final}}$) sebesar 48K. Pengukuran hambatan jenis listrik sampel terhadap suhu juga dilakukan pada medan magnet 2 dan 4 T. T_C bergeser ke suhu yang lebih rendah akibat adanya medan magnet. Pergeseran T_C juga menunjukkan bahwa sampel ini memiliki fasa 2212. Pada suhu di atas 79K terlihat sifat semikonduktor pada sampel ini, yang menunjukkan masih banyaknya unsur pengotor yang bersifat semikonduktor.

Kata kunci: Bi-2212, Metoda padatan, Superkonduktor, BPSCCO, Hambatan jenis listrik

Abstract

THE SHIFT IN CRITICAL TEMPERATURE OF Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O SUPERCONDUCTORS IN HIGH MAGNETIC FIELD. This work studied the process of making bulk Bi-Sr-Ca-Cu-O superconducting materials as the precursor material of superconducting wire, which was given Pb doping to substitute Bi. The sampel was prepared using wet mixing method. Analyzed by XRD (*X-ray diffractometer*), EDS (*energy dispersive spectroscopy*) and electrical resistivity at low temperatures and high magnetic fields. Based on the results of XRD and EDS, it is known that it formed 2212 phase, but a lot of element of C still remains in the sampel. According to the results of resistivity measurement, it shows that this sampel has initial critical temperature ($T_{C\text{ onset}}$) at 79K, and final critical temperature ($T_{C\text{ final}}$) at 48K. The measurements of the resistivity were also carried out on the magnetic field of 2 and 4 T. T_C shifts to lower temperatures due to the presence of a magnetic field. The shift of T_C also indicates that the sample has phase of 2212. At temperatures above 79K, visible property of semiconductor appeared, which indicates there are many impurities that are semiconductors.

Keywords: Bi-2212, Solid state method, Superconductor, BPSCCO, The resistivity

PENDAHULUAN

Sejak penemuan superkonduktor tipe oksida Cu yang memiliki suhu kritis tinggi pada tahun 1986, penelitian untuk aplikasi superkonduktor menjadi semakin gencar dilakukan. Aplikasi superkonduktor suhu tinggi terutama dilakukan dalam bentuk kawat superkonduktor untuk menghasilkan medan magnet tinggi. Dalam pembuatan kawat superkonduktor perlu dilakukan pembuatan serbuk superkonduktor sebagai

prekursor bahan pada kawat superkonduktor^[1].

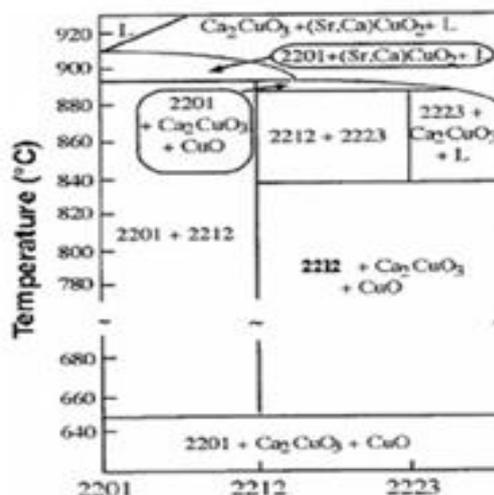
Superkonduktor merupakan bahan material yang memiliki hambatan listrik bernilai nol pada suhu dibawah suhu kritisnya, yang artinya dapat menghantarkan arus walaupun tanpa adanya sumber tegangan. Superkonduktor akan kehilangan tahanan terhadap arus listrik jika material tersebut didinginkan di

bawah temperatur tertentu disebut dengan *critical temperature* atau temperatur kritis (T_c)^[1].

Superkonduktor *BSCCO* (*bismuth – strontium – calcium - copper oxide*), memiliki 3 fasa yaitu fasa 2201, 2212, dan 2223. Suhu kritis dari fasa 2201, 2212, dan 2223 secara berturut-turut adalah 10 K, 80 K, dan 110 K^[1]. Fase BSCCO-2201, 2212 maupun 2223 memiliki struktur kristal yang memiliki lapisan (*layer*) pada bidang *ab*. Elektron dari ikatan luar Cu-O mengalir pada bidang *ab* tersebut^[1].

Fasa tunggal superkonduktor fasa 2223 yang mempunyai suhu kritis sekitar 110 K merupakan fasa yang sulit dibentuk yang disebabkan range suhu pembentukan 2223 sangat pendek^[2]. Hal ini dapat dilihat pada diagram fasa pada Gambar 1.

Aplikasi bahan superkonduktor dilakukan dengan membentuk bahan superkonduktor dalam bentuk kawat^[4-5]. Dalam pembuatan kawat superkonduktor, penyiapan prekursor bahan superkonduktor merupakan hal yang sangat penting dilakukan. Pada penelitian ini akan dibuat *pellet* superkonduktor BSCCO dengan unsur Pb sebagai substitusi unsur Bi^[6]. Pada penelitian ini akan dilakukan analisa sifat superkonduktor pada medan magnet. Sifat superkonduktor pada kawat penghasil medan magnet tinggi adalah sangat ditentukan oleh sifat penurunan suhu kritisnya. Dengan hilangnya sifat superkonduktivitas pada medan magnet akan menyebabkan berkurangnya fungsi kawat superkonduktor.



Gambar 1. Diagram fasa pembentukan Bi-Sr-Ca-Cu-O superkonduktor^[2]

PROSEDUR PERCOBAAN

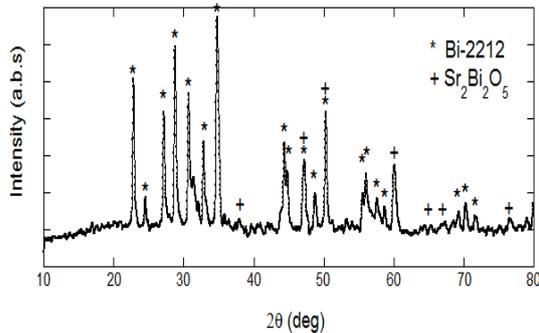
Pembuatan Sampel Superkonduktor BPSCCO

Metoda pembuatan material superkonduktor BPSCCO ini dilakukan dengan metoda pencampuran basah. Bahan baku awal berupa serbuk Bi_2O_3 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, SrCO_3 , CaO dan CuO dicampur dalam ukuran stoikiometri Bi : Pb : Sr : Ca : Cu = 1,6 : 0,4 : 2 : 2 : 3^[7]. Perincian metoda pembuatan sampel ini telah dilaporkan pada tulisan kami sebelumnya^[8]. Setelah dilakukan pembuatan sampel material superkonduktor BPSCCO, kemudian dianalisa dengan XRD (*x-ray diffraction*) merek Rigaku, dan SEM/ EDS (*scanning electron microscopy-energy dispersive spectroscopy*) merek JEOL-6390A. Setelah itu sampel material superkonduktor BPSCCO dianalisa sifat superkonduktivitasnya dengan mengukur hambatan jenis listrik pada perubahan suhu dan medan magnet (merek Teslatron buatan Oxford).

HASIL DAN PEMBAHASAN

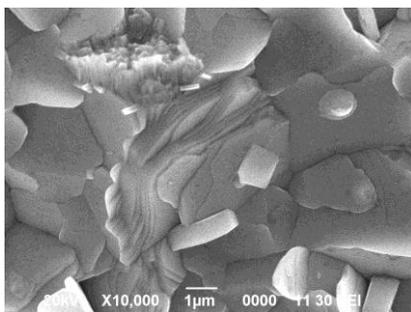
Pengujian XRD, SEM dan EDS

Hasil analisa XRD pada superkonduktor BPSCCO dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini. Tabel 1 memperlihatkan komposisi unsur yang terjadi (wilayah spot).



Gambar 2. Analisa XRD pada material superkonduktor BPSCCO

Dari hasil analisa XRD terlihat bahwa fasa 2212 sudah terbentuk, tidak terlihat adanya fasa 2223. Selain itu terlihat adanya fasa minor $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$. Puncak hasil XRD yang terlihat cukup tajam yang menunjukkan bahwa fasa 2212 terbentuk dengan baik (Gambar 2).



Gambar 3. Morfologi permukaan material superkonduktor BPSCCO berdasarkan analisa SEM⁽⁸⁾

Gambar 3 memperlihatkan morfologi permukaan material superkonduktor BPSCCO dengan analisa SEM. Dari morfologi permukaannya terlihat bahwa material superkonduktor BPSCCO masih belum terlihat struktur lapisannya secara menyeluruh, namun terlihat adanya bagian yang telah berbentuk lapisan yang

Tabel 1. Komposisi unsur pada sampel berdasarkan analisa EDS

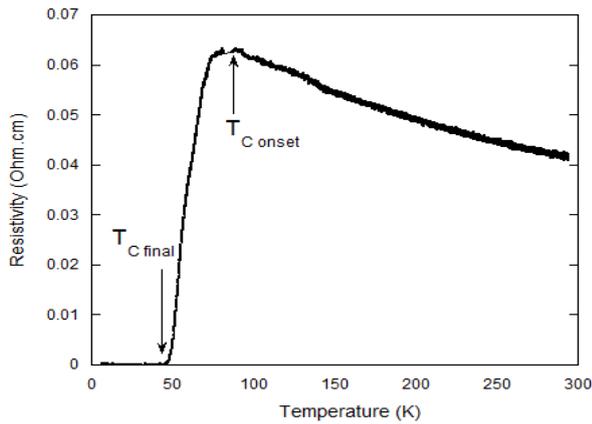
Element	Mass%	Atom%
C	0,09	19,66
O	0,09	20,47
Ca	0,09	10,45
Cu	0,32	25,51
Sr	0,16	8,84
Pb	0,24	3,26
Bi	0,25	11,81
Total	100	100

diperkirakan merupakan struktur BSCCO. Setelah itu, dilakukan analisa EDS untuk mengetahui komposisi unsur yang terjadi.

Persentase unsur Bi, Pb, Sr, Ca, dan Cu memperlihatkan komposisi yang tidak jauh berbeda dengan komposisi 2223, namun unsur C terlihat masih banyak tersisa. Unsur C tersisa cukup banyak diperkirakan akibat bahan baku dari SrCO_3 yang tidak terurai menjadi SrO saat membuat material superkonduktor BPSCCO. Hal ini didukung dengan data referensi DTA yang menunjukkan bahwa bahan SrCO_3 terurai menjadi SrO pada suhu sekitar 1200°C ^[3].

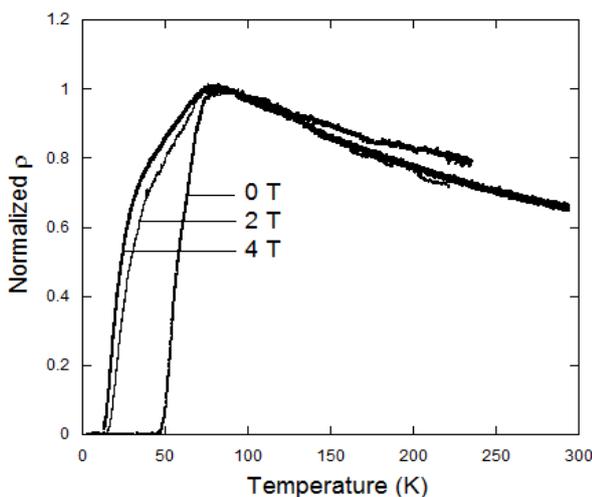
Pengujian Resistivity

Pengujian sifat superkonduktivitas dilakukan dengan mengukur hambatan jenis listrik material superkonduktor BPSCCO memakai metoda *four point probe*. Alat Cryogenic ini memakai gas helium yang diekspan dan dimampatkan sehingga suhu gas helium turun hingga 1,5 K. Untuk menghasilkan medan magnet tinggi, dipakai kumparan kawat superkonduktor yang dapat menghasilkan medan magnet hingga 8T. Pengujian sifat superkonduktivitas dilakukan dengan mengukur hambatan listrik terhadap suhu pada material superkonduktor BPSCCO. Pengukuran hambatan listrik dilakukan dalam medan magnet 0, 2, dan 4 Tesla. Medan magnet dipakai untuk melihat sifat superkonduktor di dalam medan magnet.



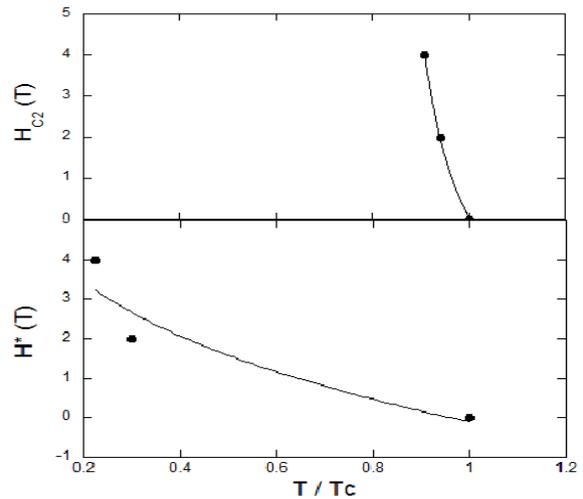
Gambar 4. Grafik hambatan jenis listrik terhadap suhu pada material superkonduktor BPSCCO

Pada Gambar 4 terlihat nilai hambatan jenis listrik dari material superkonduktor BPSCCO pada medan magnet nol. Terlihat T_C onset pada material superkonduktor BPSCCO terjadi sekitar suhu 79 K, dan T_C final terjadi pada suhu sekitar 48 K. Dari hasil itu diketahui bahwa material superkonduktor BPSCCO ini didominasi oleh fasa 2212^[9]. Pada suhu di atas 79 K terlihat sifat hambatan jenis listrik yang berupa semikonduktor (berupa kurva eksponensial ke atas). Hal ini menunjukkan bahwa bahan superkonduktor BPSCCO masih berupa material semikonduktor.



Gambar 5. Hambatan jenis listrik material superkonduktor BPSCCO pada medan magnet 0, 2 dan 4 Tesla

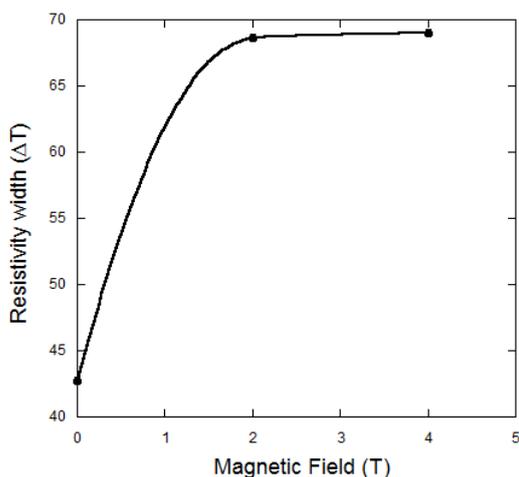
Gambar 5 menunjukkan normalisasi hasil pengukuran hambatan jenis listrik pada medan magnet 0, 2 dan 4 T pada material superkonduktor BPSCCO. Pada grafik dilakukan normalisasi nilai ρ yang dihitung dari $\rho / \rho(79 \text{ K})$. Akibat adanya medan magnet, baik T_C onset (titik awal terjadinya superkonduktor) maupun T_C final (Titik dimana hambatan jenis listrik mulai menjadi nol) menunjukkan pergeseran ke kanan. Pada T_C onset pergeserannya terlihat lebih kecil dibandingkan pergeseran T_C final.



Gambar 6. Pergeseran nilai T_C akibat medan magnet luar pada material superkonduktor BPSCCO

Gambar 6 menunjukkan plot nilai T_C onset dan T_C final akibat adanya medan magnet yang terjadi. Garis kurva hanya merupakan penuntun gambaran perubahan pada titik-titik pengukuran. Grafik dibagian atas menunjukkan pergeseran T_C onset, sedangkan grafik bagian bawah menunjukkan pergeseran T_C final. Dibandingkan T_C final, T_C onset tidak menunjukkan pergerakan yang berarti, namun dari grafik bawah (pergeseran T_C final) terlihat nilai T/T_C pada 2 dan 4 T masing-masing sekitar 0,3 dan 0,22 yang menunjukkan fasa 2212. Untuk fasa 2223, nilai T/T_C pada 2 dan 4T masing-masing sekitar 0,4 dan 0,35 (Gambar 6). Hal ini juga menunjukkan bahwa material superkonduktor BPSCCO ini memang didominasi oleh fasa 2212^[10].

Akibat penambahan medan magnet, terlihat $T_{C\text{ onset}}$ tidak mengalami pergeseran (pada 4 Tesla sekitar 10 %) dibandingkan $T_{C\text{ final}}$ (pada 4 Tesla sekitar 80 %). Hal ini memperlihatkan bahwa medan magnet luar mempengaruhi hambatan listrik saat kondisi material telah menjadi superkonduktor.



Gambar 7. Plot jarak antara $T_{C\text{ onset}}$ dan $T_{C\text{ final}}$ akibat adanya medan magnet pada material superkonduktor BPSCCO

Gambar 7 menunjukkan pergeseran lebar antara nilai $T_{C\text{ final}}$ dan $T_{C\text{ onset}}$, atau ΔT . Pada medan magnet 0 s/d 2 T pergeserannya terlihat besar, namun setelah di atas 2T, pergeseran ΔT -nya semakin kecil. Hal ini menunjukkan pergeseran terjadi perubahan yang besar pada hambatan listriknya pada 2 T. Dan setelah di atas 2T, perubahan nilai hambatan jenis listriknya semakin berkurang.

KESIMPULAN

Dari hasil pembuatan bahan superkonduktor dan analisa yang telah dilakukan maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa dari hasil analisa XRD menunjukkan sintesa yang terbentuk adalah 2212, selain itu juga terdapat pengotor lain yakni $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$. Berdasarkan analisa EDS, unsur karbon masih banyak tersisa, hal ini diperkirakan dari bahan SrCO_3 yang tidak terurai sempurna

menjadi SrO saat dikalsinasi^[3]. Berdasarkan pengujian hambatan jenis listrik pada sampel, diketahui bahwa sampel menunjukkan sifat semikonduktor pada suhu 79 K ke atas, namun di bawah 79 K, sampel ini menunjukkan sifat superkonduktor dan mencapai hambatan jenis listrik nol pada suhu di bawah 48K. Dengan adanya medan magnet, T_C bergeser ke suhu yang lebih rendah. Pergeseran suhu T_C tersebut terhadap medan magnet bersifat kurva eksponensial. Pada medan magnet 2T dan 4T, terjadi pergeseran T_C sebesar masing-masing 70% dan 80%. Dan dari pergeseran T_C tersebut juga terlihat bahwa material superkonduktor BPSCCO ini memiliki fasa 2212.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Maeda, Hiroshi., Kazumasa Togano.1996.,,Discovery and Progress in Bi-Based Oxide High-Tc Superconductors". *Series: Applied Physics*;6.
- [2] Nilson, Andreas., Dipl-Ing.2009.,,BSCCO superconductors processed by the glass-ceramic route. Dissertation". Fakultas Teknik Mesin dari Technical University of Dresden Jerman.
- [3] Agung Imaduddin.2001.,,The Growth of $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$ Single Crystal and Its Physical properties". Doctoral Thesis, Iwate University.
- [4] Hirose, Masayuki., Yuichi Yamada, Takato Masuda, Ken-ichi Sato and Ryosuke Hata.2006.,,Study on Commercialization of High-Temperature Superconductor". *SEI Technical Review*, Number 62, 15-23
- [5] Kikuchi, Masashi., Naoki Ayai, Tomonobu Ishida, Kazuaki Tatamidani, Kazuhiko Hayashi, Shinichi Kobayashi, Eisaku Ueno, Kouhei Yamazaki, Satoru Yamade, Hideo Takaaze, Jun Fujikami and Ken-ichi Sato.2008.,,Development of New Types of BI-BSCCO Wire".

- SEI Technical Review*, Number 66, 73-80.
- [6] Frutha, V., M. Popab, A. Ianculescuc, M. Stird, S. Predaa, G. Aldica. 2004., "High-Tc phase obtained in the Pb/Sb doped Bi-Sr-Ca-Cu-O system". *Journal of the European Ceramic Society*, 24, 1827-1830.
- [7] Hatano, T., K. Aota, H. Hattorit, S. Ikeda, K. Nakamura and K. Ogawa. 1990., "Growth mechanism of high Tc phase in leaded Bi-Sr-Ca-Cu- O system". *Cryogenics* Vol 30, 611-613.
- [8] Siswayanti, Bintoro., Sigit Dwi Yudanto, Agung Imaduddin, Lusiana, Pius Sebleku. 2014., "Sintesis material Nanokristalin BPSCCO melalui metode pencampuran basah". *Prosiding Seminar Material Metalurgi 2014*, ISSN 2085-0492.
- [9] Yurchenko, I.A., A.F. Alekseev, D.O. Yurchenko, P.Badica, T.Y. Gridasova, V.V. Morozov, I. A.V. Nemirovsky, V.F. Peklun. 2003., "Intensification of synthesis and examination of technological parameters influence on the properties and structure of Bi-(Pb)-Sr-Cu-Ca-O ceramics". *Physica C* 384, 111-124.
- [10] Kaushik, S. D., and S. Patnaik. 2007., "Intergrain connectivity and resistive broadening in vortex state: a comparison between MgB_2 , $NbSe_2$ and $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ superconductors". *Applied Superconductivity, IEEE Transactions*:17, Issue: 2, 3016 - 3019.