



EFEK DOPING Pb RENDAH PADA SUPERKONDUKTOR SISTEM BSCCO-2223

Usman Santosa¹, Fuad Anwar², Agung Imaduddin³, Dwi Teguh Rahardjo⁴

^{1,2} Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Sebelas Maret.

³ P2MM LIPI Tangerang Banten

⁴ Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Sebelas Maret.

Jl. Ir. Sutami No. 36A, Surakarta, Jawa Tengah 57126 Telp. (0271) 646994

E-mail : usmansantosa@yahoo.com

Abstrak

Tujuan penelitian ini yaitu melakukan sintesis superkonduktor $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ dengan doping Pb rendah yaitu dengan komposisi molar awal stoikiometri pada variasi molar Pb 0,02, 0,04, 0,06, 0,08, dan 0,10. Dalam penelitian ini digunakan metode eksperimen melalui pemberian perlakuan pada bahan superkonduktor dengan doping Pb yang rendah. Sintesis superkonduktor $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ ini menggunakan metode reaksi padatan yang berupa pencampuran bahan – bahan oksida Bismuth, oksida Timbal, oksida Stronsium, oksida Kalsium dan oksida Tembaga. Setelah melalui proses pencampuran lalu bahan superkonduktor disintering pada suhu 845°C selama 48 jam. Hasil pengukuran temperatur kritis (T_c) diperoleh T_c nol tertinggi diperoleh dari doping Pb dengan molaritas 0,06 yaitu sebesar 57,7 K. Hasil pengukuran XRD menunjukkan profil yang sama ke fase BSCCO - 2212.

Kata kunci : BSCCO-2223, doping Pb, metode reaksi padatan

1. Pendahuluan

Sebuah kristal terdiri dari atom-atom yang tersusun dalam suatu pola yang berulang secara periodik dalam tiga dimensi dalam bentuk yang khas. Sistem superkonduktor T_c tinggi (SKST) pada umumnya merupakan senyawa multi komponen yang memiliki sejumlah fase struktur yang berbeda, dan struktur kristal yang rumit. Suhu transisi atau suhu kritis bahan superkonduktor dan sifat fisisnya berkaitan erat dengan struktur kristal bahan yang bersangkutan. Pengetahuan struktur kristal superkonduktor secara rinci dan tepat diperlukan untuk memahami korelasi struktur-sifat bahan superkonduktor yang berguna untuk mengembangkan bahan superkonduktor suhu tinggi dan pengendalian proses pembuatannya. Sistem superkonduktor T_c tinggi pada umumnya merupakan senyawa multi komponen yang memiliki sejumlah fase struktur yang berbeda dan struktur kristal yang rumit. Sistem Bi-2223 juga merupakan senyawa multi komponen oksida keramik yang mempunyai struktur berlapis-lapis dengan ciri khas sisipan lapisan CuO_2 .

Sistem superkonduktor T_c tinggi pada umumnya merupakan senyawa multi komponen yang memiliki sejumlah fase struktur yang berbeda dan struktur kristal yang rumit. Sistem $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ juga merupakan senyawa oksida keramik yang mempunyai struktur berlapis-

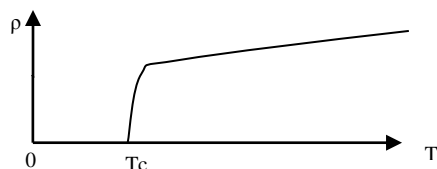
lapis dengan ciri khas sisipan lapisan CuO_2 . Proses sintesis senyawa multi komponen superkonduktor juga ditentukan oleh komposisi awal bahan pembentuk superkonduktor. Sebagai senyawa multi komponen sistem $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ memerlukan beberapa komponen-komponen penyusun sebagai bahan pembentuk lapisan-lapisan struktur yang kompleks. Pada proses sintesis $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ dengan komposisi molar awal *stoichiometric* sering dijumpai kekurangan unsur-unsur tertentu senyawa superkonduktor $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ yang telah terbentuk. Hal ini disebabkan molekul-molekul pembentuk senyawa superkonduktor $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ mempunyai titik leleh yang berbeda-beda, sehingga dalam proses sintesis ada beberapa molekul menguap dan tidak membentuk reaksi padatan yang semestinya (Ming Xu, dkk : 1993). Untuk mengatasi kekurangan unsur pembentuk superkonduktor akibat titik leleh bahan pembentuk yang berbeda-beda, maka diperlukan komposisi molar awal bahan penyusun senyawa superkonduktor yang dilebihkan (*off-stoichiometric*) agar dapat membentuk fase murni $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$, $T_c = 110$ K yang dapat menggantikan peran superkonduktor $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ dengan $T_c = 105$ K. (Trivijitkasem, S. dkk : 2000)..

2. Pembahasan

a. Landasan Teori

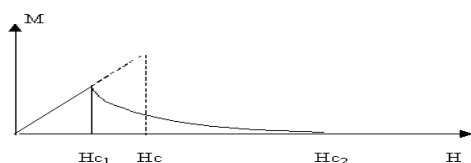
Salah satu sifat paling menarik dari bahan superkonduktor pada suhu rendah adalah resistivitasnya nol ($\rho = 0$) pada suhu tertentu. Suhu tersebut dikenal sebagai suhu kritis (T_c) atau suhu transisi yaitu suhu terjadinya transisi dari keadaan normal ke keadaan superkonduktif. Transisi tersebut reversibel artinya apabila dipanaskan akan kembali memiliki resistivitas normal pada suhu T_c . Pada superkonduktor konvensional, misalnya Hg harga $\Delta T_c = T_{c\text{ on}} - T_{c\text{ nol}} \cong 0.01\text{K}$. Sedangkan superkonduktor suhu tinggi (SKST) mempunyai harga $\Delta T_c \cong 9\text{K}$. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu faktor intrinsik dan faktor ekstrinsik. Faktor intrinsik antara lain sifat anisotropi karena struktur kristal yang berlapis, fluktuasi termal (struktur vortek superkonduktor suhu tinggi sangat dipengaruhi oleh suhu) serta komposisi dan struktur dari senyawa yang dibuat. Faktor ekstrinsik antara lain akibat adanya impuritas..

Superkonduktor merupakan suatu material yang mempunyai karakteristik dapat mengalirkan arus listrik tanpa mengalami hambatan di mana resistivitas menjadi nol (transisi fase orde kedua) dan dapat menolak fluks magnet eksternal yang melewatinya atau mengalami diamagnetisme sempurna (efek Meissner – Ochsenfeld). (Hcamargo-Martinez, dkk, 2014).

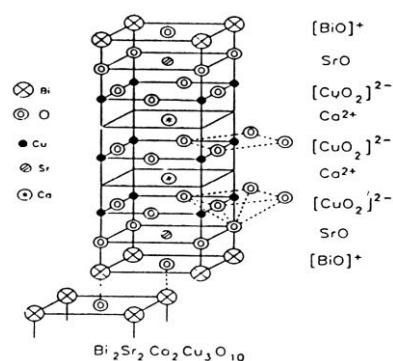


Gambar 1. Resistivitas bahan superkonduktor

Superkonduktor $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ termasuk dalam golongan superkonduktor tipe II dan merupakan oksida keramik yang mempunyai suhu tinggi. Dalam super-konduktor tipe II terdapat dua medan kritis, yaitu: medan kritis bawah H_{c1} dan medan kritis atas H_{c2} . Dibawah H_{c1} fluks magnetik ditolak secara sempurna dan diatas H_{c1} fluks magnet sebagian dapat menembus interior bahan sampai batas medan kritis H_{c2} . Di atas H_{c2} bahan akan kehilangan sifat superkonduktivitasnya (gambar 2). Hubungan medan kritis dengan T_c sebagai berikut:



Gambar 2. Magnetisasi bahan superkonduktor terhadap kuat medan



Gambar 3. Struktur superkonduktor $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$

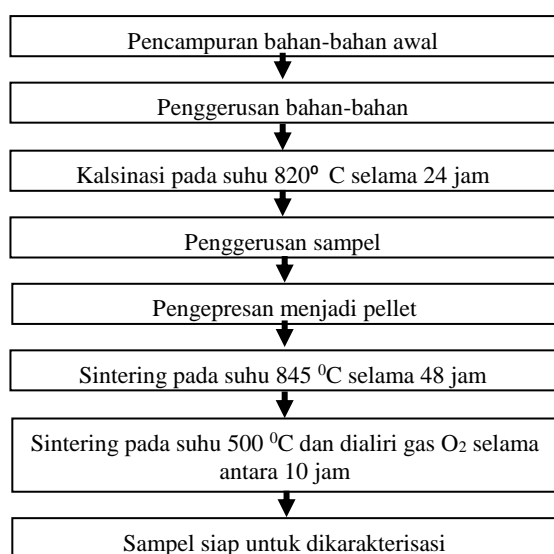
Semua superkonduktor T_c tinggi dengan dasar tembaga (Cu) memiliki struktur kristalografi yang terdiri dari blok-blok perovskite. Blok-blok ini tersusun sedemikian rupa dengan bidang-bidang CuO_2 yang berfungsi sebagai lapisan konduksi. Superkonduktor T_c tinggi sistem kuprat pada umumnya diperoleh dengan dopan lubang. $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ merupakan superkonduktor oksida keramik yang mempunyai struktur berlapis-lapis dengan ciri khas sisipan lapisan CuO_2 yang menyebabkan sistem tersebut mempunyai kecenderungan bersifat metalik pada suhu kamar. Struktur sistem $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ seperti terlihat dalam gambar 3 juga mempunyai sifat fisik yang berlapis-lapis sehingga menyebabkan bahan superkonduktor sistem $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ mudah patah dan sangat rapuh karenanya sulit untuk diterapkan pada pembuatan kabel aliran listrik.

Proses sintesis senyawa multi komponen umumnya akan menghadirkan beberapa fase lain dan melibatkan reaksi peralihan antara fase yang berbeda. Oleh karena itu, untuk mencapai fase sasaran yang tepat diperlukan peta jalan (road maps) yang dikenal sebagai diagram fase dan dengan bantuan diagram fase, komposisi bahan, suhu pada setiap tahap proses sintesis dan route sintesisnya, secara menyeluruh dapat dirancang secara cermat (Strobel P, dkk:1992). Proses sintesis senyawa multi komponen superkonduktor juga ditentukan oleh komposisi awal bahan pembentuk superkonduktor. Hal ini disebabkan molekul-molekul bahan pembentuk mempunyai titik leleh yang berbeda-beda, sehingga dapat menyebabkan berkurangnya unsur-unsur tertentu pada senyawa superkonduktor $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ setelah proses sintesis. (Huashan Liu, dkk : 1999).

b. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, di mana pada sintesis sistem $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ digunakan metode reaksi padatan dengan molekul pembentuk awal yaitu Bi_2O_3 , PbO , SrCO_3 , CaCO_3 , dan CuO . Proses awal

dimulai dengan penimbangan bahan-bahan pembentuk senyawa $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ dengan variabel bebas yaitu molekul PbO yang komposisi awal molarnya dibuat berbeda-beda dan molekul Bi_2O_3 yang komposisi awal molarnya dibuat berbeda-beda juga disesuaikan dengan komposisi molekul PbO . Setelah bahan siap lalu dilarutkan dalam HNO_3 agar senyawa campuran homogen, lalu dianneling di atas hot plate dengan panas sedang untuk menguapkan HNO_3 . Bahan campuran awal kemudian digerus sampai halus lalu dipres dan dicetak dalam bentuk pelet/pil, selanjutnya dikalsinasi dengan suhu 820°C selama 24 jam untuk menguapkan senyawa CO_2 dalam campuran awal bahan pembentuk senyawa $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$.



Gambar 4. Diagram Proses Sintesis Superkonduktor

Pada tahap sintesis ini dilakukan dengan menggunakan metode reaksi padatan (solid state reaction method). Metode ini digunakan karena dapat dilakukan dengan alat yang sederhana, murah dan mudah didapat. Dan jika dilakukan dengan cermat dengan metode ini juga dapat menghasilkan sampel dengan kemurnian tinggi.

1.1. Tahap Sintesis

1.1.1. Alat-alat dan bahan

- Alat-alat
 1. Alat penggeres sampel hidrolik
 2. Alat pencetak sampel
 3. Neraca Sartorius, ketelitian 0,1 mg
 4. Furnace Nabertherm 0 - 1100°C
- Bahan-bahan
 1. Strontium Carbonate, 99,9%
 2. Calcium Carbonat, 99,9%
 3. Copper (II) Oxide 99,9%
 4. Timbal (II) Oxide 99,9%
 5. Bismuth (III) Oxide 99,9%

Data yang diambil

Tabel 1. Sampel yang dibuat dengan variasi Pb

Sampel	Molaritas senyawa	Sintering	Waktu
S1	$\text{Bi}_{2,00}\text{Pb}_{0,00}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$	845°C	48 jam
S2	$\text{Bi}_{1,98}\text{Pb}_{0,02}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$	845°C	48 jam
S3	$\text{Bi}_{1,96}\text{Pb}_{0,04}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$	845°C	48 jam
S4	$\text{Bi}_{1,94}\text{Pb}_{0,06}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$	845°C	48 jam
S5	$\text{Bi}_{1,92}\text{Pb}_{0,08}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$	845°C	48 jam
S6	$\text{Bi}_{1,90}\text{Pb}_{0,10}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$	845°C	48 jam

Tahap sintesis ini dilakukan di Lab Fisika Material Jurusan Fisika FMIPA dan Sub Lab Fisika Laboratorium MIPA UNS Surakarta.

1.2. Tahap karakterisasi

1.2.1. Uji Meissner

Merupakan pengujian awal sampel untuk mengetahui apakah sampel telah menunjukkan sifat superkonduktivitas. Pengujian ini akan dilakukan di Sub Lab Fisika Lab. Pusat MIPA UNS.

1.2.2. Pengukuran Temperatur Kritis (T_c)

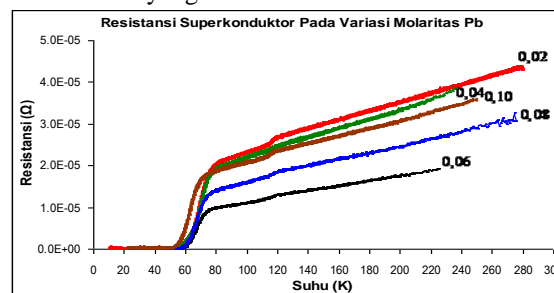
Untuk mengetahui suhu kritis bahan superkonduktor $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$. Pengujian ini akan dilakukan di Lab P2MM LIPI Tangerang

1.2.3. Scanning XRD

Untuk mengetahui profil puncak XRD $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ dilakukan di Lab Fisika Material FMIPA.

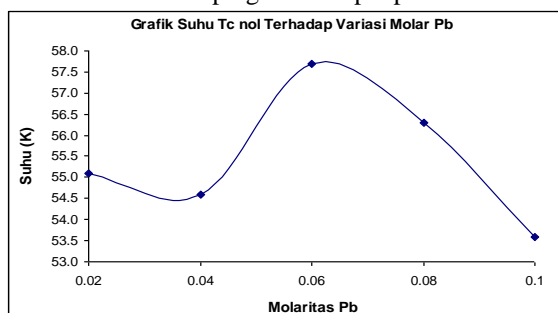
c. Hasil dan Pembahasan

Sintesis superkonduktor BSCCO-2223 dapat memunculkan fase-fase lain yang masih dalam satu sistem Bi yaitu fase Bi-2201, fase Bi-2212, dan Bi-2223. Pada sintesis superkonduktor Bi-2223 umumnya juga terdapat fraksi impuritas sebagai hasil reaksi padatan yang tidak terbentuk secara merata dan sempurna, kecuali pembentukan kristal tunggal Bi-2212 yang tingkat kemurniannya tinggi. Rekapan antara suhu kritis dan variasi molaritas doping Pb terdapat pada Gambar 5. Terlihat kemiripan pada kurva resistivitas dengan kemiringan transisi suhu yang sedikit berbeda



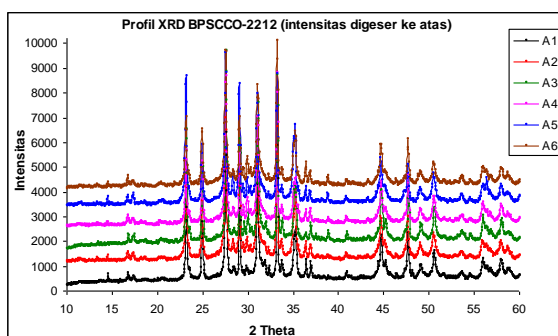
Gambar 5. Suhu kritis sampel BSCCO doping Pb

Terdapat kemiringan kurva transisi resistivitas dan suhu transisi bagian atas kurva (T_{c-on}) dan suhu transisi bagian bawah kurva (T_{c-off}) berbeda-beda nilai tiap sampel. Dari hasil penelitian juga ditemukan bahwa pembuatan fase murni sangat bergantung pada suhu sintering dan juga komposisi molar awal bahan-bahan pembentuk superkonduktor BSCCO-2223. Hasil pengukuran T_c sampel BSCCO-2223 yang didoping Pb pada molaritas 0,02, 0,04, 0,06, 0,08, 0,10 dapat dilihat pada Gambar 5, terlihat T_c tertinggi yaitu 57,7 K pada doping Pb 0,06. Rekapitan antara suhu kritis dan variasi molaritas doping Pb terdapat pada Gambar 6



Gambar 6. Rekapitan T_c dan Molaritas doping Pb

Dari hasil scanning XRD diperoleh profil sampel – sampel BSCCO yang didoping Pb dengan molaritas 0,02, 0,04, 0,06, 0,08, 0,10. Dari scanning XRD didapat profil yang hampir sama bentuknya dan hanya selisih sedikit pada ketinggian profil, rekapitan profil XRD terdapat pada Gambar 7. Dari profil XRD setelah dibandingkan dengan profil XRD standar, teramati bahwa fase hasil sintesis bahan superkonduktor yang terbentuk yaitu BSCCO-2212.



Gambar 7. Profil XRD sampel BSCCO doping Pb

3. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan dari analisis data dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

Fase yang terbentuk dari hasil sintesis bahan superkonduktor berupa sistem BSCCO-2212 dan suhu kritis tertinggi hasil pengukuran didapat 57,7 K pada doping Pb 0,06

Saran

Studi lebih lanjut diperlukan penelitian variasi komposisi molar awal unsur-unsur lain bahan pembentuk superkonduktor fase Bi-2223 dan analisis refinement struktur kristal Bi-2223.

Ucapan Terima Kasih

Tim peneliti mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah membiayai penelitian ini melalui Dana DIPA PNBB Universitas Sebelas Maret pada skim Hibah Unggulan Fakultas (HUF-UNS) melalui rujukan MRG-UNS tahun 2015.

Daftar Pustaka

- Hcamargo-Martinez, J.A, Espitia, D., and Baquero, R. 2014. "First Principles Study of Electronic Structure of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ ", *Revista Mexicana de Fisica*, 60, pp.39-45.
- Huashan Liu, Libin Liu, Hao Yu, Yuelan Zhang, Zhanpeng Jin., 1999 : "Optimization of the composition for synthesizing the high- T_c phase in $\text{Bi}(\text{Pb})\text{SrCaCuO}$ system", *Journal of Materials Science* 34, p. 4329-4332.
- Ming Xu, Polonka, J., Goldman, A.I, Finnemore, D.K., 1993 : "Investigations of Crystalline Phase in the Melting of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_x$ ", *Applied Superconductivity Vol I No.I/2*, pp 53-60 , Pergamon Press Ltd.
- Stobel, P., Tolédano, J.C., Morin, D. Schneck, J., Vaquier, G., Monnereau, O., Primot, J., dan Fournier, T., 1992 , "Phase diagram of the system $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{CuO}_6\text{-CaCuO}_2$ between 825°C and 1100°C", *Physica C*, 201 pp. 27-42.
- Trivijitkasem, S. 2000 : "Superconducting Properties of $(\text{Bi,Pb})\text{-Sr-Ca-Cu-O}$ Ceramics", *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 34 : 159 – 170.