

SINTESIS SUPERKONDUKTOR Bi-Sr-Ca-Cu-O FASA 2223 YANG DIDOPING Pb

Engkir Sukirman*), Bambang Sugeng*), Bambang Heru P.*)
Suhardjo Poertadji**), Eddy Caturanda**)

*) Pusat Penelitian Sains Materi - Badan Tenaga Atom Nasional

**) Jurusan Fisika, FMIPA-Universitas Indonesia

ABSTRAK

SINTESIS SUPERKONDUKTOR Bi-Sr-Ca-Cu-O FASA 2223 YANG DIDOPING Pb. Dua jenis cuplikan superkonduktor keramik sistem oksida Bi-Pb-Sr-Ca-Cu telah disintesis dengan metode reaksi padatan. Kedua cuplikan dibedakan dalam hal perlakuan panas yang diberikan. Cuplikan I dan cuplikan II berturut-turut dikalsinasi pada suhu 800°C dan 820°C masing-masing selama 20 jam. Selanjutnya, cuplikan I dan cuplikan II disinter berturut-turut pada suhu 820°C selama 20 jam dan 865°C selama 72 jam. Fasa superkonduktor yang terbentuk diidentifikasi selain dengan menguji sifat listrik dan sifat magnetik juga dengan mengamati pola difraksi sinar-x dari cuplikan secara kualitatif. Hasilnya menunjukkan bahwa cuplikan I secara dominan mengandung fasa 2212 ($T_{co} = 50$ K) dan kemungkinan ada fasa 2201 dalam jumlah kecil. Kehadiran fasa 2223 pada cuplikan ini sama sekali tidak teramati. Cuplikan II terdiri dari dua fasa superkonduktor, yakni fasa 2223 ($T_{co} = 105$ K) kira-kira 5% dan 95% fasa 2212 ($T_{co} = 59$ K). Dari data yang diperoleh disimpulkan bahwa sintesis fasa 2223 dengan metode reaksi padatan, bergantung pada suhu dan periode sintering.

ABSTRACT

THE SYNTHESIS OF THE Pb DOPED 2223 PHASE Bi-Sr-Ca-Cu-O SUPERCONDUCTOR. Two kinds of the ceramic superconductor samples of the Pb doped Bi-Sr-Ca-Cu oxide system were synthesized using solid state reaction method. The two samples were differentiated by the applied heat-treatments. Sample I and sample II were calcinated at 800°C and 820°C for 20 hours respectively. Then, sample I and sample II were sintered at 820°C for 20 hours and 865 °C for 72 hours respectively. The superconducting phases were identified through the resistivity, susceptibility and x rays diffraction pattern measurements. The result shows that sample I contains dominantly 2212 phase ($T_{co} = 50$ K) and might be 2201 phase in a small amount. The presence of the 2223 phase on this sample could not be observed, sample II consist of two superconducting phases, i.e., 2223 phase ($T_{co} = 105$ K) about 5% and 95% 2212 phase ($T_{co} = 59$ K). It is summarized that the synthesis of the Pb doped 2223 phase using solid state reaction method depends on the temperature and the period of the sintering process.

PENDAHULUAN

Superkonduktor keramik sistem Bi-Sr-Ca-Cu-O memiliki tiga fasa superkonduksi, yakni $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_6$ (fasa 2201, $T_c = 7-22$ K) [1], $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ (fasa 2212, $T_c = 85$ K) [2,3] dan $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ (fasa 2223, $T_c = 110$ K) [4]. Jika fasa 2223 didoping Pb, fraksi volume superkonduksi fasa ini meningkat, ditunjukkan dengan meningkatnya rapat arus kritis J_c hingga 100 kali lebih besar dan fasa 2223 yang terbentuk lebih stabil [5]. Untuk selanjutnya yang dimaksud fasa 2223 dalam penelitian ini adalah fasa 2223 yang telah didoping Pb.

Sintesis fasa 2223 jauh lebih sulit dibandingkan dengan sintesis senyawa $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (fasa 123). Hal ini disebabkan bahan baku senyawa oksida yang diperlukan

untuk sintesis fasa 2223 lebih banyak jenisnya, sehingga homogenisasi senyawa menjadi tidak mudah, selain itu juga diperlukan kondisi penunbuan yang khusus [6]. Jadi sedikitnya ada dua faktor yang sangat menentukan keberhasilan sintesis fasa 2223, yakni teknik homogenisasi senyawa dan kondisi tertentu yang harus dipenuhi untuk penunbuan fasa tersebut (kondisi penunbuan yang khusus). Masalahnya adalah apa dan bagaimana kondisi penunbuan yang khusus tersebut.

Fasa 2223 tumbuh dari fasa 2212 ketika fasa 2212 dipanaskan pada suhu tinggi dengan periode pemanasan (sintering) yang cukup lama [7]. Berbeda dengan fasa 123, superkonduktivitas fasa 2223 tidak peka terhadap kandungan oksigen. Sehingga pada akhir proses sintering

oksigen. Sehingga pada akhir proses sintering senyawa ini dapat didinginkan melalui pendinginan cepat atau lambat juga dapat ditumbuhkan dalam lingkungan udara biasa atau oksigen [8,9,10]. Jadi mungkin yang dimaksud dengan "kondisi penumbuhan yang khusus" pada pustaka nomor 6 tersebut adalah perlakuan panas yang diberikan yakni suhu dan periode sintering. Jika asumsi ini benar, sejauh mana pengaruh suhu dan periode sintering dalam penumbuhan fasa 2223.

Beberapa kelompok peneliti [11-15] melakukan sintesis fasa 2223 yang didoping Pb pada suhu sintering bervariasi dari 840°C hingga 880°C dan waktu sintering dari 100 jam hingga 624 jam. Untuk menguji kebenaran asumsi di atas, dilakukan sintering pada dua kondisi suhu T - periode t , yakni pada $T < 840^\circ\text{C}$ - $t < 100$ jam dan pada $840^\circ\text{C} < T < 880^\circ\text{C}$ - $t < 100$ jam. Diharapkan pada kondisi yang disebut pertama tidak akan dihasilkan fasa 2223 sama sekali dan pada kondisi kedua akan ada fasa 2223 yang terbentuk dalam jumlah sedikit.

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari proses sintesis superkonduktor fasa 2223. Pengamatan dititikberatkan pada kedua faktor suhu dan periode sintering tersebut. Fasa superkonduktor yang terbentuk diidentifikasi dengan mengamati pola difraksi sinar x secara kualitatif dan dengan menguji sifat listrik dan sifat magnetik cuplikan.

Suatu bahan kristalit (fasa bahan) selalu menghasilkan pola difraksi karakteristik dan membentuk semacam sidik jari fasa bahan tersebut. Apakah fasa itu ada dalam keadaan murni atau sebagai salah satu unsur dari suatu campuran, selalu dihasilkan pola difraksinya sendiri tidak bergantung pada fasa lain.

Analisis kualitatif dilakukan dengan cara membandingkan dan mencocokkan pola difraksi fasa bahan yang diteliti dengan pola-pola difraksi yang sudah dikenal dan sudah tersedia pada Tabel Hanawalt. Setiap satu pola difraksi dicari oleh satu set harga jarak antar bidang penghambur d_{hkl} dan satu set harga intensitas relatif I_r . Namun demikian, senyawa oksida Bi-Sr-Ca-Cu adalah bahan baru dan Tabel Hanawalt untuk senyawa tersebut belum tersedia. Oleh karena itu, harga d_{hkl} dan I_r yang diperoleh dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu, antara lain dari makalah Fukushima [16], L. Pierre et. al. [17] dan A. De et. al. [18].

TATAKERJA DAN PERCOBAAN

Proses sintesis superkonduktor sistem Bi-Sr-Ca-Cu-O yang didoping Pb dilakukan berdasarkan metode reaksi padatan (solid-state reaction). Pendopingan dirancang agar atom Pb menempati sebagian titik tempat (kisi) atom Bi di dalam sel satuan kristal Bi-Sr-Ca-Cu-O. Jadi setelah didoping senyawa oksida tersebut dapat dituliskan sebagai $(\text{Bi}_{1-x}\text{Pb}_x)\text{-Sr-Ca-Cu-O}$.

Senyawa $(\text{Bi}_{1-x}\text{Pb}_x)\text{-Sr-Ca-Cu-O}$ dibuat dari oksida serbuk, yakni PbO , Bi_2O_3 , SrCO_3 , Ca(OH)_2 dan CuO buatan Strem Chemicals dengan kemurnian 99,999 %. Dalam penelitian ini disintesis dua jenis oksida $(\text{Bi}_{1-x}\text{Pb}_x)\text{-Sr-Ca-Cu}$ masing-masing disebut cuplikan I dan cuplikan II. Cuplikan tersebut disintesis dari campuran bahan baku dengan perbandingan berat : 34,59% Bi_2O_3 , 5,85% PbO , 25,78% SrCO_3 , 12,94% Ca(OH)_2 dan 20,84% CuO .

Campuran serbuk cuplikan I digerus dengan mesin penggerus Wirtz Duo selama 1 jam, selanjutnya dikalsinasi pada suhu 800 °C selama 20 jam. Kalsinasi dilakukan dua kali dalam kondisi yang sama. Proses kalsinasi dapat diulang beberapa kali hingga cuplikan serbuk benar-benar homogen dengan ukuran butiran sesuai dengan yang dikehendaki. Kemudian serbuk dibentuk menjadi beberapa buah pelet dengan memberikan tekanan 8 ton, selanjutnya disinter pada suhu 820 °C selama 20 jam. Pendinginan dilakukan secara mendadak ke suhu kamar.

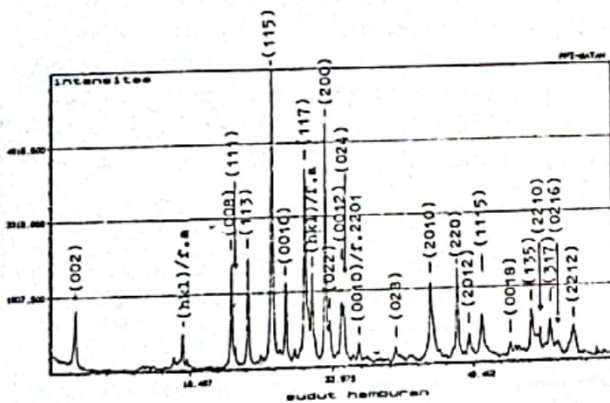
Campuran serbuk cuplikan II digerus dengan mesin selama 1 jam, selanjutnya dikalsinasi pada suhu 820 °C selama 36 jam. Kalsinasi dilakukan satu kali. Cuplikan berbentuk pelet disinter selama 72 jam pada suhu 865 °C. Kemudian, tungku dimatikan dan cuplikan dibiarkan di dalam tungku hingga suhunya mencapai suhu kamar. Pengukuran hambatan listrik dilakukan dengan metode probe empat titik seperti pada penelitian terdahulu [19].

Untuk mengetahui sifat magnetik bahan, dilakukan pengukuran magnetisasi atau suseptibilitas magnetik AC (Alternating Current) terhadap perubahan suhu. Hubungan antara suseptibilitas magnetik (χ) dan magnetisasi (M) dituliskan dalam hubungan $\chi = \frac{M}{H}$, di mana H adalah medan magnet eksternal. Sistem pengukuran ini memanfaatkan rangkaian induktor yang dihubungkan dengan alat pengontrol su-

hu. Cuplikan dimasukkan ke dalam kumparan induktor, kemudian didinginkan dari suhu ruang hingga 15 K. Terjadinya transisi fasa magnetik teramati dengan adanya perubahan suseptibilitas magnetik secara mendadak. Suhu pada titik awal transisi disebut suhu transisi magnetik T_{cm} , harganya mendekati T_{co} , yakni suhu ketika hambatan listrik cuplikan nol. Pengukuran hambatan listrik dan suseptibilitas magnetik cuplikan dilakukan di JAERI (Japan Atomic Energy Research Institute) menggunakan AC Susceptometer Chino. Analisis pembentukan kristal secara kualitatif dilakukan dengan mengukur pola difraksi sinar-x pada cuplikan serbuk menggunakan Difraktometer Sinar-x Shimadzu, XD - 610 di Pusat Penelitian Sains Materi BATAN.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola difraksi sinar-x dari cuplikan I (Gambar 1) menampilkan secara dominan puncak-puncak fasa 2212 dan hanya ada satu puncak difraksi dari fasa 2201 yang teramati yakni (0010) pada posisi $2\theta = 36,90^\circ$. Posisi sudut puncak Bragg $2\theta_{hkl}$, jarak antara bidang d_{hkl} , intensitas relatif I_r , dan bidang refleksi (hkl) dari cuplikan I ditunjukkan pada Tabel 1.

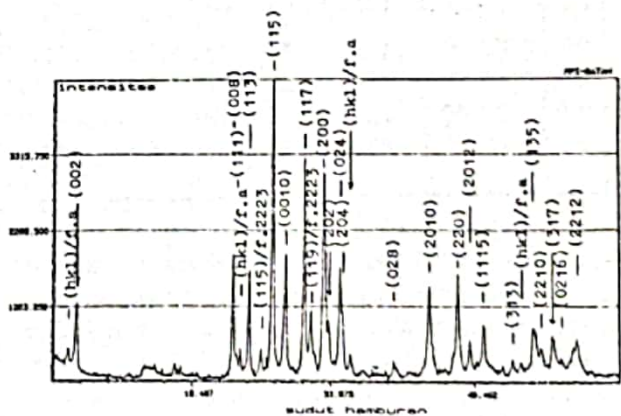


Gambar 1. Pola difraksi sinar-x cuplikan I menampilkan secara dominan puncak difraksi fasa 2212, hanya ada satu puncak difraksi dari fasa 2201 yang teramati yakni (0010) pada posisi sudut hamburan $36,90^\circ$.

Pola difraksi sinar-x dari cuplikan II ditunjukkan pada Gambar 2. Tampak bahwa puncak-puncak yang muncul secara dominan adalah puncak difraksi fasa 2212 dan sedikitnya ada dua puncak fasa 2223 yang teramati yakni (115) dan (119) berturut-turut pada posisi $2\theta = 26,25^\circ$ dan $31,85^\circ$. Posisi sudut puncak Bragg

Tabel 1. Posisi sudut puncak Bragg $2\theta_{hkl}$, jarak antar bidang d_{hkl} , intensitas relatif I_r dan bidang refleksi (hkl) fasa superkondisi yang muncul dari cuplikan I.

No.	$2\theta_{hkl}$	d_{hkl}	I_r	(hkl) fasa superkondisi
1	5,80	15,22	24	(002)/fasa 2212
2	17,70	5,00	16	(hkl) /fasa asing
3	23,15	3,83	38	(008)/fasa 2212
4	23,55	3,77	12	(111) /fasa 2212
5	24,95	3,56	39	(113) /fasa 2212
6	27,55	3,23	100	(115) /fasa 2212
7	29,05	3,07	32	(0010)/fasa 2212
8	31,10	2,87	68	(117) /fasa 2212
9	31,90	2,80	68	(hkl) /fasa asing
10	33,25	2,69	82	(200) /fasa 2212
11	33,75	2,65	19	(022) /fasa 2212
12	35,00	2,56	25	(0012)/fasa 2212
13	35,25	2,54	24	(024) /fasa 2212
14	36,90	2,43	12	(0010)/fasa 2201
15	40,85	2,20	10	(028) /fasa 2212
16	44,70	2,02	30	(2010)/fasa 2212
17	47,70	1,90	35	(220) /fasa 2212
18	49,05	1,85	14	(2012)/fasa 2212
19	50,45	1,80	20	(1115)/fasa 2212
20	53,65	1,70	11	(0018)/fasa 2212
21	55,95	1,64	21	(135) /fasa 2212
22	56,75	1,62	13	(2210)/fasa 2212
23	58,00	1,58	18	(317) /fasa 2212
24	58,90	1,56	11	(0216)/fasa 2212
25	60,60	1,52	16	(2212)/fasa 2212



Gambar 2. Pola difraksi sinar-x cuplikan II menampilkan secara dominan puncak difraksi fasa 2212, ada dua puncak difraksi dari fasa 2223 yang teramati yakni (115) dan (119) berturut-turut pada posisi sudut hamburan $26,25^\circ$ dan $31,85^\circ$.

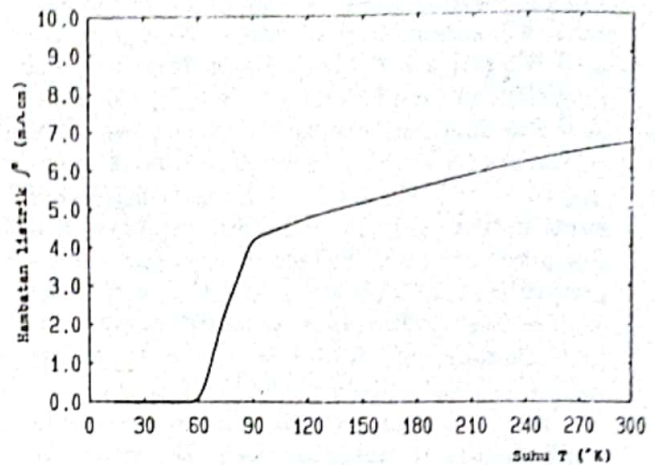
$2\theta_{hkl}$, jarak antar bidang d_{hkl} , intensitas relatif I_r dan bidang refleksi (hkl) dari cuplikan II ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Posisi sudut puncak Bragg $2\theta_{hkl}$, jarak antar bidang d_{hkl} , intensitas relatif I_r dan bidang refleksi (hkl) fasa superkondisi yang muncul dari cuplikan II.

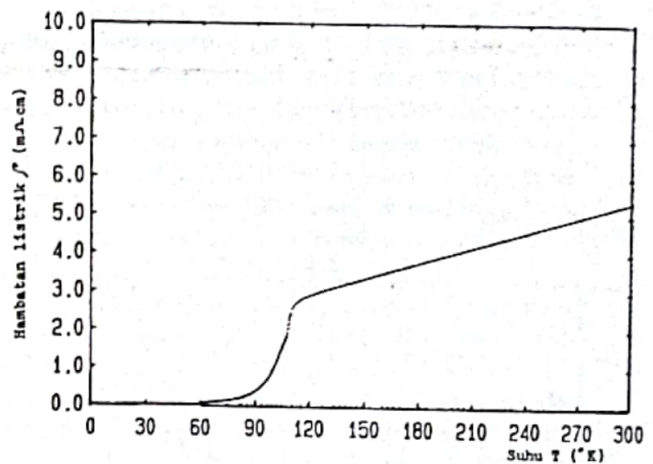
No.	$2\theta_{hkl}$	d_{hkl}	I_r	(hkl) fasa superkondisi
1	4,75	18,58	16	(hkl)/fasa asing
2	5,75	15,35	30	(002) /fasa 2212
3	23,15	3,83	45	(008)/fasa 2212
4	23,45	3,79	14	(111) /fasa 2212
5	23,95	3,71	16	(hkl) /fasa asing
6	24,95	3,56	40	(113) /fasa 2212
7	26,25	3,39	16	(115) /fasa 2212
8	27,55	3,23	100	(115) /fasa 2212
9	29,00	3,07	45	(0010)/fasa 2212
10	31,10	2,87	75	(117) /fasa 2212
11	31,85	2,80	28	(119) /fasa 2212
12	33,20	2,69	70	(200) /fasa 2212
13	33,75	2,65	24	(202) /fasa 2212
14	35,00	2,56	41	(024)/fasa 2212
15	35,30	2,54	28	(204) /fasa 2212
16	36,15	2,48	14	(hkl)/fasa asing
17	40,85	2,20	12	(028) /fasa 2212
18	44,70	2,02	35	(2010)/fasa 2212
19	47,75	1,90	39	(220) /fasa 2212
20	49,05	1,85	18	(2012)/fasa 2212
21	50,50	1,80	23	(1115)/fasa 2212
22	54,65	1,67	12	(313)/fasa 2212
23	55,25	1,66	10	(hkl) /fasa asing
24	55,95	1,64	22	(135)/fasa 2212
25	56,75	1,62	16	(2210)/fasa 2212
26	58,00	1,58	20	(317) /fasa 2212
27	58,90	1,56	13	(0216)/fasa 2212
28	60,60	1,52	19	(2212)/fasa 2212

Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan kurva hambatan listrik ρ terhadap perubahan suhu T , berturut-turut untuk cuplikan I dan cuplikan II. Kurva ρ - T kedua cuplikan menampilkan sifat logam pada pendinginan dari suhu kamar hingga suhu transisi superkonduksi ($dp/dT > 0$). Transisi superkonduksi (onset point) cuplikan I dan cuplikan II mulai terjadi berturut-turut pada suhu 93°K, 114 K.

Hambatan listrik nol cuplikan I tercapai pada suhu 50 K ($T_{co} = 50$ K), dengan daerah suhu transisi yang lebar ($\Delta T = 43$ K). Gambar 5 (Kurva Q) menunjukkan hubungan antara

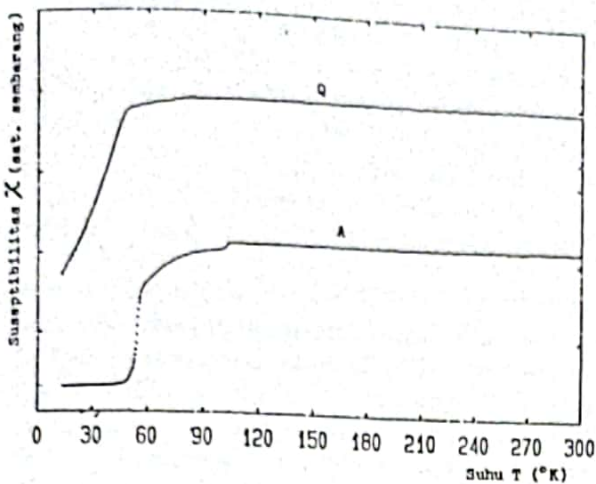


Gambar 3. Hubungan antara hambatan listrik ρ terhadap suhu T cuplikan I. Transisi superkonduksi mulai terjadi pada $T = 93$ K dan hambatan listrik nol tercapai pada $T_{co} = 50$ K.



Gambar 4. Hubungan antara hambatan listrik ρ terhadap suhu T cuplikan II. Transisi superkonduksi mulai terjadi pada $T = 114$ K dan hambatan listrik nol tercapai pada $T_{co} = 59$ K.

suseptibilitas $AC\chi$ terhadap perubahan suhu T untuk cuplikan I. Jelas bahwa cuplikan I menampilkan transisi superkonduksi yang *single step* seperti ditunjukkan baik pada Gambar 3 maupun Gambar 5 (Kurva Q). Namun demikian, penurunan harga χ cuplikan I dari $T_{cm} = 50^\circ K$, tidak setajam pada cuplikan II (Gambar 5-Kurva A). Tampak pada Gambar 5 (Kurva Q), transisi fasa magnetik cuplikan I masih menampilkan ekor pada suhu 15 K. Ini berarti



Gambar 5. Hubungan antara suseptibilitas χ terhadap suhu T. Kurva Q dan kurva A berturut-turut adalah data dari cuplikan I dan cuplikan II.

bahwa hingga suhu 15 K fasa diamagnetik masih belum terbentuk secara sempurna. Hal ini terjadi karena ada fasa lain, dalam hal ini adalah fasa 2201 ($T_{co} = 20$ K) dan/atau fasa asing yang tidak superkonduktif seperti ditunjukkan pada data difraksi sinar-x (Tabel 1).

Hambatan listrik nol cuplikan II baru dicapai pada suhu 59 K. Selain memiliki daerah suhu transisi yang juga lebar ($\Delta T = 55$ K), cuplikan II menampilkan transisi superkonduksi yang tidak *single step*. Hal ini dapat dilihat lebih jelas pada kurva χ terhadap T (Gambar 5 -

dua fasa superkonduktor, yang paling mungkin berdasarkan data difraksi sinar-x (Tabel 2) adalah fasa 2223 ($T_{co} = 105$ K) dan fasa 2212 ($T_{co} = 59$ K). Dilihat dari harga perbandingan tinggi kedua *step*, dapat disimpulkan bahwa fasa 2212 adalah yang paling besar kuantitasnya (sekitar 95%) sesuai dengan yang diharapkan.

Harga T_{co} cuplikan I lebih besar dari T_{co} fasa 2201, tetapi lebih kecil dari T_{co} fasa 2223. Jadi, cuplikan I secara dominan terdiri dari fasa 2212 seperti halnya cuplikan II. Namun demikian, cuplikan I tidak menunjukkan adanya fasa 2223 baik ditinjau dari perilaku hambatan listrik maupun transisi fasa magnetik. Hal ini juga sesuai dengan yang diharapkan.

Peneliti terdahulu [11-15] melakukan sintesis fasa 2223 yang didoping Pb pada suhu sintering bervariasi dari 840 °C hingga 880 °C dan waktu sintering dari 100 jam hingga 624 jam. Proses kalsinasi dan penggerusan dilakukan sebanyak satu hingga beberapa kali (Tabel 3). Tidak jelas apakah penggerusan dilakukan secara manual (dengan tangan) atau menggunakan mesin penggerus. Nampaknya suhu sintering 840 °C adalah suhu terendah untuk penumbuhan fasa 2223.

Cuplikan I dan cuplikan II masing-masing disintesis dari oksida unsur-unsur penyusun dengan komposisi nominal memenuhi komposisi fasa 2223, tetapi yang terbentuk secara dominan adalah fasa 2212, baik pada cuplikan I maupun cuplikan II. Dengan mengacu pada Tabel 3, dapat ditarik kesimpulan bahwa :

Tabel 3. Variasi sintering dan kalsinasi yang dilakukan beberapa kelompok peneliti dalam sintesis fasa 2223 yang didoping Pb dalam lingkungan udara.

Peneliti	Sintering		Kalsinasi		Pendinginan	Tc (°K)
	Suhu (°C)	Waktu (jam)	Suhu (°C)	Ulangan (kali)		
N. Murayama (12)	840	100	800	Beberapa kali	Di dalam tungku	105
Schi Fan (13)	880	148	800	1	Di dalam tungku	108
T. K. Chaki (14)	860	120	840	2	Quenching	105
R. Escudero (15)	860	624	800	1	Quenching	109
C. J. Zhou (16)	855	120	800	1	Di dalam tungku	103
Engkir S.	820	20	800	2	Quenching	-
(Penelitian ini)	865	72	820	1	Di dalam tungku	105

Kurva A). Cuplikan II memiliki transisi superkonduksi dua *step*, yang terjadi berturut-turut pada $T_{cm} = 105$ K dan $T_{cm} = 59$ K. Hal ini menunjukkan bahwa cuplikan II terdiri dari

1. Tidak terbentuknya fasa 2223 pada cuplikan I karena baik suhu maupun periode waktu sintering masih rendah.

2. Sedikitnya fasa 2223 yang terbentuk pada cuplikan II adalah karena periode waktu sintering belum cukup untuk menumbuhkan fasa 2223, sementara suhunya sudah memadai.

Baik cuplikan I maupun cuplikan II menampilkan daerah suhu transisi yang lebar, hal ini disebabkan komposisi fasa yang tidak homogen akibat adanya fasa superkonduktor yang lain dan/atau fasa asing akibat penumbuhan yang belum sempurna. Ini juga menunjukkan bahwa pengerusan cuplikan masih belum memadai.

KESIMPULAN

Sintesis senyawa oksida Bi-Sr-Ca-Cu fasa 2223 yang didoping Pb dengan metode reaksi

padatan (solid state reaction) bergantung pada suhu dan periode sintering. Pada kondisi suhu sintering $T = 820\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($T \leq 840\text{ }^{\circ}\text{C}$) dengan periode $t = 20$ jam ($t \leq 100$ jam) sama sekali tidak dihasilkan fasa 2223. Namun, jika suhu sintering dinaikan hingga $T = 865\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($840\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T \leq 880\text{ }^{\circ}\text{C}$) dengan periode $t = 72$ jam ($t < 100$ jam) terbentuk fasa 2223 dalam jumlah sedikit.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Ir. Mulyadi (P3FT) atas bantuannya dalam pembuatan pelet dan Mr. Kato (JAERI, Jepang) atas bantuannya dalam pengukuran sifat listrik dan sifat magnetik cuplikan dan Dra. Kasih W. (PPI) atas batuan menggambarkan grafik pola difraksi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Michel, C., et. al., J. Phys. B68 (1987) 421.
2. Subramanian, M. A., et. al., Science 239 (1988) 1015.
3. Hazen, R. M., et. al., Phys. Rev. Lett. 60 (1988) 1174.
4. Zandbergen, H. W., et. al., Nature 332 (1988) 620.
5. Chongde Wei et. al., Modern Phys. Lett. B3 (1989) 1353.
6. Shi Fan et. al., Phys. Rev. B41 (1990) 6541.
7. Tarascon, J. M., et. al., Phys. Rev. B38 (1988) 2504.
8. Maeda, H., et. al., Jpn. J. Appl. Phys. Lett. 27, L209 (1988).
9. Tarascon, J. M., et. al., Phys. Rev. B37 (1988) 9382.
Torrance, J. B., et. al., Solid State Commun. 66 (1988) 703.
Shaw, T. M., et. al., Phys. Rev. B37 (1988) 9856.
10. Xing Zhu et. al., Modern Phys. Lett. B3 (1989) 707.
11. Murayama, N., et. al., Jpn. J. Appl. Phys. 27, L1629 (1988).
12. Shi Fan, et. al., Chinese Sci. Bull. 34 (1989) 1857.
13. Chaki, T. K. and Shiaw, C. T., Supercond. Sci. Technol. 3, (1990) 517.
14. Escudero, R., Chavira, E. and Jara, D. R., Appl. Phys. Lett. 54 (1989) 1576.
15. Zhou, C. J., Tao, D. L. and Chen, T., Physica C 180 (1991) 365.
16. Fukushima, K., Jpn. J. Appl. Phys. 29, L2195-L2198 (1990).
17. Pierre, L., et. al., Solid State Commun. 69 (1989) 499 - 502.
18. De, A., et. al., Jpn. J. Appl. Phys. 30, L1873-L1876 (1991)
19. Engkir Sukirman, Pengaruh distribusi kekosongan oksigen pada superkonduktivitas $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, Tesis S2 Materials Science Universitas Indonesia, Jakarta (1991).

DISKUSI

Budi Santoso:

1. Apakah maksudnya dua jenis cuplikan disintesis (dicampur)?
2. Bagaimana sifat-sifat superkonduktor Bismuth dibandingkan dengan Ytrium?
3. Dengan doping Pb, apakah juga menaikkan H_c ?

Engkir S.:

1. Disintesis maksudnya dibuat, disenyawakan dengan mencampurkan oksida Bi, Sr, Pb, Ca, Cu, dan O berbentuk serbuk.
2. Sifat-sifat superkonduktor Ytrium dan Bismuth tidak ada bedanya dalam penghantaran listrik, perbedaannya dalam hal parameter Tc, Hc, dan Yc.
3. Belum diteliti (tidak tahu).

Suwardi:

Disimpulkan-disarikan bahwa didapat suhu minimum dan waktu proses sintesisnya (840°C, 72 jam). Apakah tidak menarik untuk menaikkan suhu dengan harapan menyingkat waktu, bila tanpa batas temperatur maksimum?

Engkir S.:

Akan dilakukan pada penelitian tahap selanjutnya.

Lasijo:

Mohon penjelasan tentang pembuatan bahan sebelum diadakan doping dan sebagainya, apakah setelah diadakan pencampuran dari bahan mentahnya juga diadakan pemilihan antara yang telah terjadi dan tidak terjadi sesuai dengan karakteristik yang dikehendaki?

Engkir S.:

Bahan baku oksida Bi, Pb, Sr, Ca, dan Cu berbentuk serbuk dengan kemurnian tinggi (99,999%) sudah dijamin oleh pabrik pembuatnya.

Jadi, kami tidak perlu menguji kemurniannya kembali.

Joko Warsito:

1. Kenapa memilih waktu percobaan yang relatif pendek, padahal *range* suhu yang lama (percobaan orang lain sudah berhasil), dasarnya apa?
2. Apa yang dimaksud homogenitas itu, padahal ini bisa mempengaruhi hasil percobaan? Apakah Bapak melakukan pengetesan homogenitas itu?

Engkir S.:

1. Penelitian ini dibuat secara bertahap, pada penelitian pertama ini (tahap I) sasarannya adalah mengidentifikasi apa yang dimaksud dengan kondisi penumbuhan khusus saja.
2. Homogenitas maksudnya setiap unsur penyusun membentuk cuplikan secara serba sama/merata sehingga akan dihasilkan cuplikan fasa tunggal. Saya tidak melakukan pengujian homogenitas.

Wardaya:

Apakah ada/apa yang terjadi pada suhu Tc sehingga terjadi perubahan yang sangat drastis dari sifat hantaran listriknya? (Apa terjadi perubahan struktur kristal atau terjadi perubahan posisi elektron dalam bahan).

Engkir S.:

Pada bahan superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ memang benar ada perubahan struktur dari ortorombik (keadaan superkonduktor) ke struktur tetragonal (keadaan nonsuperkonduktor). Sedangkan untuk bahan superkonduktor Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O strukturkristal tidak berubah.

Guntur DS.:

Identifikasi fasa. Saudara melakukan identifikasi fasa menggunakan difraksi sinar-x. Yang saya tanyakan dari mana Saudara mendapatkan pola difraksi dari fasa-fasa yang Saudara amati?

Engkir S.:

Dari makalah orang lain yang di antaranya ditulis oleh Fukushima, L. Pierre, dan A. De.