

PROSES PEMBUATAN MATERIAL SUPERKONDUKTOR BSCCO DENGAN METODA PADATAN

Lusiana

Pusat Penelitian Metalurgi LIPI
Gedung 470, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan
E-mail : lusianand@yahoo.com

Masuk tanggal : 08-01-2014, revisi tanggal : 13-03-2014, diterima untuk diterbitkan tanggal : 21-03-2014

Intisari

PROSES PEMBUATAN MATERIAL SUPERKONDUKTOR BSCCO DENGAN METODA PADATAN.

Material superkonduktor BSCCO (*bismuth strontium calcium copper oxide*) adalah material superkonduktor yang banyak digunakan dalam bentuk kabel bawah tanah, kabel transmisi, kabel penghubung, *maglev train*, dan lain-lain. Pada penelitian ini dipelajari proses pembuatan bulk superkonduktor BSCCO dari campuran berbagai oksida yaitu Bi_2O_3 , SrCO_3 , CaO , CaCO_3 , dan PbO dengan metoda padatan atau pencampuran kering dan dilanjutkan dengan proses sintering. Tujuan penelitian ini adalah mencari temperatur optimum proses sintering untuk menghasilkan material superkonduktor BSCCO dengan menggunakan metoda padatan. Campuran serbuk sebelumnya ditekan menggunakan mesin kompresi dengan beban 1000 KPa pada temperatur kamar menggunakan cetakan berbentuk silinder dengan diameter 10 mm. Temperatur sintering ($^{\circ}\text{C}$) dilakukan pada $T = 800, 820, 845, \text{ dan } 865$ dengan waktu penahanan 90 jam. Hasil sintering kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan XRD (*x-ray diffraction*), SEM (*scanning electron microscopy*) dan uji Meissner. Dari hasil analisa XRD diperoleh fasa Bi2212 dan fasa Bi2223. Fraksi volume fasa Bi2212 terbesar diperoleh pada $T = 845^{\circ}\text{C}$ yaitu sebesar 73,6%, sedangkan untuk fasa Bi2223 terbesar diperoleh pada $T = 865^{\circ}\text{C}$ sebesar 42,4%. Efek dari tingginya fraksi volume fasa-fasa pada kondisi tersebut secara berturut-turut memberikan efek levitasi kuat dan sedang.

Kata kunci: Metoda padatan, Superkonduktor, BSCCO, Fasa Bi2212, Fasa Bi2223

Abstract

MANUFACTURING BSCCO SUPERCONDUCTOR MATERIALS USING SOLID METHOD. BSCCO (*bismuth strontium calcium copper oxide*) superconductor material is widely used in the form of underground cable, transmission cable, transformers, maglev train, etc. In this present work, a manufacturing of bulk superconductor of BSCC was constructed by mixing various oxides of Bi_2O_3 , SrCO_3 , CaO , CaCO_3 , and PbO continued by sintering process. The purpose of this work find the optimum sintering temperature to obtain BSCCO superconductor by solid method. Sintering process was carried out at $T = 800^{\circ}\text{C}$, 820°C , 845°C , and 865°C for 90 h. The oxide powders were compressed in $\phi 10$ mm of cylindrical dies using compression machine with the load of 1000 Kpa at room temperature. The sintered of compact oxide powders were examined by XRD (*X-ray diffraction*), SEM (*scanning electron microscopy*) and Meissner test. The XRD results show the present phases of Bi2212 and Bi2223. The higher volume fraction of Bi2212 and Bi2223 phase obtained approximately around 73.6% at $T = 845^{\circ}\text{C}$ and 42.4% at $T = 865^{\circ}\text{C}$, respectively. Those conditions lead to strong and medium of levitation effect.

Keywords : Solid method, Superconductor, BSCCO, Bi2212 phase, Bi2223 phase

PENDAHULUAN

Superkonduktor merupakan bahan material yang memiliki hambatan listrik bernilai nol pada temperatur di bawah temperatur kritisnya, yang artinya dapat menghantarkan arus walaupun tanpa

adanya sumber tegangan. Superkonduktor pun akan kehilangan tahanan terhadap arus listrik jika material tersebut didinginkan di bawah temperatur kritisnya (T_c)^[1].

Pada tahun 1986 Fisikawan dari Switzerland yaitu Alex Müller dan Georg Bednorz, melakukan penelitian di

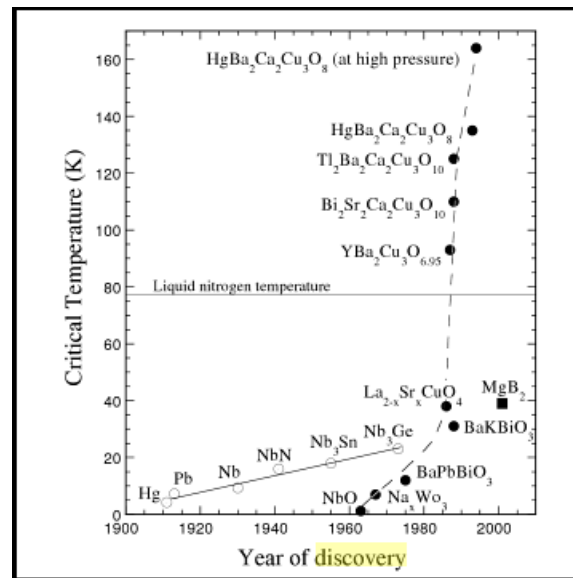
Laboratorium Riset IBM di Rüsçhlikon. Mereka berhasil membuat suatu keramik yang terdiri dari unsur lanthanum, barium, tembaga, dan oksigen yang bersifat superkonduktor pada temperatur tertinggi 30 K. Penemuan ini menjadi populer karena selama ini keramik dikenal sebagai isolator, dan pada temperatur ruang tidak dapat menghantarkan listrik sama sekali. Setahun kemudian keduanya diberi penghargaan hadiah Nobel^[2].

Pada bulan Februari 1987, ditemukan suatu keramik yang bersifat superkonduktor pada temperatur 90 K, dimana dengan karakteristik tersebut maka nitrogen cair dapat digunakan sebagai media pendinginnya. Karena sifat superkonduktor muncul pada temperatur cukup tinggi dibandingkan dengan material superkonduktor yang lain, maka material-material tersebut diberi nama superkonduktor temperatur tinggi. Temperatur tertinggi suatu material menjadi superkonduktor saat ini adalah 138 K, yaitu untuk material yang memiliki rumus molekul $\text{Hg}_{0,8}\text{Tl}_{10}\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8,33}$ ^[3].

Setelah ditemukannya sifat superkonduktor dari Hg, temperatur kritis (T_c) dari material superkonduktor naik secara perlahan sampai tahun 1980. Baru pada tahun 1986, sejak ditemukannya superkonduktor jenis *cuprate oxide*, temperatur kritis meningkat drastis mencapai 164 K pada tekanan 30 GPa. Hal ini berarti T_c telah mencapai setengah dari target sifat superkonduktor material pada temperatur ruang (~300 K). Material inilah yang sekarang dikenal dengan *high- T_c superconductor* atau HTS^[4]. Perkembangan temperatur kritis (T_c) dari material superkonduktor ditunjukkan pada Gambar 1^[5].

Salah satu bukti adanya peningkatan temperatur kritis dari material superkonduktor ditemukan oleh H. Maeda^[5] pada tahun 1988. Dari penemuan H. Maeda teridentifikasi bahwa material superkonduktor *BSCCO* (*bismuth strontium calcium copper oxide*) memiliki

3 fasa yaitu fasa 2201, fasa 2212, dan fasa 2223, dimana temperatur kritis dari fasa-fasa tersebut berturut-turut adalah 10 K, 80 K, dan 110 K.



Gambar 1. Perkembangan temperatur kritis (T_c) dari material superkonduktor^[5]

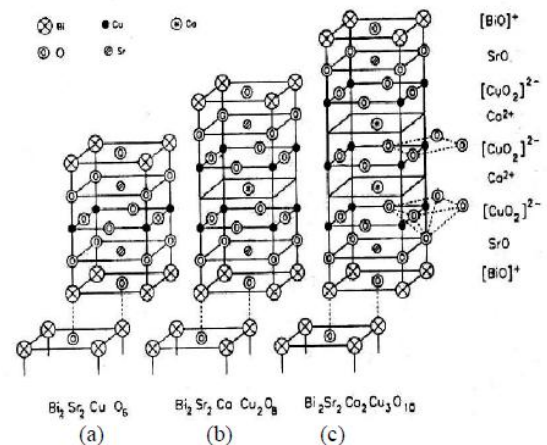
Struktur kristal dari fasa yang terbentuk dalam material superkonduktor akan sangat berpengaruh terhadap temperatur kritisnya (T_c). Derajat ketidakteraturan struktur fasa yang tinggi sangat dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya adalah temperatur sintering dan lamanya waktu sintering saat dilakukan proses manufaktur dari material superkonduktor tersebut. Gambar 2(a) menunjukkan fasa BSCCO-2201 yang disusun oleh bidang (BiO)/SrO/CuO/SrO/(BiO) dimana piramida Cu berada diantara dua bidang SrO. BSCCO-2201 memiliki parameter kisi $a = b = 5,39\text{\AA}$ dan $c = 24,6\text{\AA}$. Bidang BiO berada pada bagian ujung struktur dan atom Cu dihubungkan dengan 6 atom oksigen dalam struktur oktahedral. Sedangkan pada Gambar 2(b), fasa BSCCO-2212 disusun oleh bidang senyawa (BiO)/SrO/CuO/CaO/CuO/SrO/(BiO) dimana piramida atom Cu dipisahkan oleh adanya bidang Ca. Struktur kristal berbentuk tetragonal ini memiliki parameter

kisi $a = b = 5,4\text{\AA}$ dan $c = 30,7\text{\AA}$ ^[6]. Struktur kristal dari fasa Bi-2223 membentuk struktur orthorombik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2(c). Rantai Sr–Sr memiliki ikatan yang paling lemah, sedangkan atom Cu(1) sebagai kation yang paling tidak stabil memiliki tiga rantai ikatan yaitu Cu(1)-Ca, Cu(1)-O(1) dan Cu(1)-Cu(2). Rantai ikatan Cu(1)-O(1) merupakan ikatan yang paling kuat ($r = 1,916\text{\AA}$). Atom oksigen O(3) hanya memiliki satu rantai ikatan dengan atom Bi yang memiliki panjang ikatan sebesar $2,231\text{\AA}$ ^[6]. Hal ini terjadi karena struktur kristalnya tidak stabil, akibat adanya derajat ketidakteraturan yang tinggi antara lapisan bidang-bidang CuO, SrO, BiO, dan CaO. Ketidakteraturan itu terjadi karena reaksi padat pembentukan fasa berlangsung pada temperatur mendekati titik leleh senyawa ($\approx 870\text{ }^\circ\text{C}$), disaat mana mobilitas ion penyusun sangat tinggi^[7].

Penggunaan doping Pb dalam sintesis superkonduktor sistem bismut, selain memudahkan pembentukan senyawa bersangkutan dengan tingkat kemurnian fasa yang tinggi, juga berperan menentukan sifat senyawa yang dihasilkan. Karena kemiripan ukuran ion dan valensi dari atom Pb, maka penambahan Pb sebagai doping menghasilkan substitusi atom Bi oleh atom Pb pada lapisan ganda BiO^[1].

Untuk metode sintesis fasa tunggal superkonduktor sistem bismut, khususnya fasa temperatur tinggi (fasa 2223) yang mempunyai temperatur kritis sekitar 110 K, sulit untuk mendapatkan kualitas tinggi karena mempunyai struktur modulasi dengan periode 26\AA sepanjang arah sumbu b pada sistem kristalnya. Dalam hal ini jangkauan temperatur pembentukan superkonduktor fasa 2223 menjadi sangat pendek, terlihat pada diagram fasa yang ditunjukkan dalam Gambar 4. Untuk dapat mensintesis senyawa Bi2223 yang stabil, maka distorsi modulasi harus dihilangkan atau setidaknya tidak dikurangi. Pengurangan modulasi dapat dilakukan dengan mensubstitusi sebagian atom Bi

dengan atom Pb, sehingga dapat memperpanjang jarak modulasi menjadi 46\AA ^[8].



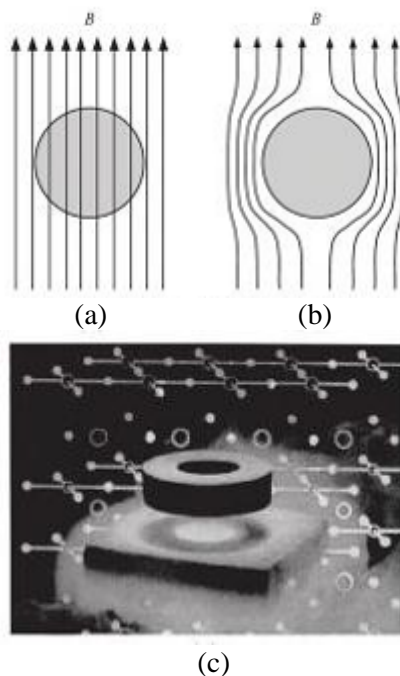
Gambar 2. Struktur kristal sistem BSCCO untuk fasa : (a) 2201, (b) 2212 dan (c) 2223^[6]

Akan tetapi lain halnya dengan material BSCCO yang memiliki fasa 2223 dengan sifat mekanik mudah dibentuk, tidak mudah patah, tidak beracun dan dapat dikembangkan untuk pembuatan lapisan tipis. Fasa 2223 adalah fasa yang paling potensial untuk aplikasi dibandingkan dengan fasa-fasa lainnya karena T_c yang tinggi. Kendala yang dihadapi dalam mendapatkan fasa 2223 murni adalah saat proses sintesa, karena ketika mensintesa fasa 2223 pada umumnya masih tercampuri dengan fasa lain yang tidak menguntungkan maupun pengotor seperti Ca_3CuO_2 , CuO , Ca_2PbO_4 ^[9].

Efek Meissner

Pada tahun 1933, *Meissner* dan *Ochsenfeld* mengamati sifat kemagnetan superkonduktor. Ternyata superkonduktor berkelakuan seperti bahan diamagnetik sempurna. Material superkonduktor menolak medan magnet sehingga apabila sebuah magnet tetap diletakkan di atas material superkonduktor maka magnet tersebut akan melayang. Jadi kerentanan magnetnya (*susceptibility*) $\chi = -1$, dibandingkan dengan konduktor biasa yang

$\chi = -10$. Fenomena ini dikenal dengan nama efek *Meissner*. Jika material non superkonduktor diletakkan di atas suatu medan magnet, maka fluks magnet akan menerobos ke dalam material, sehingga terjadi induksi magnet di dalam material. Sebaliknya, jika material superkonduktor yang berada di bawah suhu kritisnya dikenai medan magnet, maka superkonduktor akan menolak fluks magnet yang mengenainya. Perbedaan dan persamaan antara konduktor yang baik dengan superkonduktor adalah dalam hal resistivitas (ρ) dan efek *Meissner*. Persamaannya adalah bahwa kedua kelompok material ini memiliki resistivitas nol ($\rho = 0$), sehingga nilai hambatan (R) listriknya pun nol. Perbedaannya adalah bahwa konduktor yang unggul tidak memiliki efek *Meissner* (Gambar 3(a)), sedangkan superkonduktor memiliki efek *Meissner* (Gambar 3(b) dan 3(c))^[10].



Gambar 3. (a) *Normal state* ($B=0$), (b) *Superconducting state* ($B \neq 0$), (c) Ilustrasi yang menggambarkan efek Meissner yaitu material superkonduktor dapat melayangkan magnet (dalam foto berbentuk silinder) di atasnya^[10]

Pada tulisan ini akan dipelajari pengaruh temperatur pemanasan terhadap pembentukan fasa Bi2212 dengan metoda

yang digunakan adalah metode reaksi padatan^[2]. Metode ini digunakan karena memiliki keuntungan antara lain mudah dibuat dan sederhana serta tidak mahal dalam mensintesa bahan superkonduktor. Dalam mensintesa superkonduktor BSCCO dengan menggunakan metode padatan ini diharapkan mendapatkan homogenitas yang tinggi. Karena dalam produksi besar, kehomogenan campuran lebih baik sehingga didapatkan mutu superkonduktor yang baik. Adapun analisa yang digunakan adalah *x-ray diffractometer* (XRD), *scanning electron microscopy* (SEM) dan uji efek Meissner dengan melayangnya magnet yang diletakkan di atas sampel.

PROSEDUR PERCOBAAN

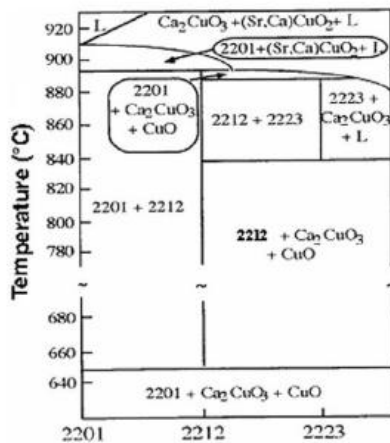
Bahan dasar pembuatan $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ adalah bahan-bahan yang masih berbentuk senyawa Bi_2O_3 , SrCO_3 , CaCO_3 , CuO , PbO . Sebelum dilakukan proses penimbangan, terlebih dahulu dilakukan pemanasan awal untuk menghilangkan kadar air yang masih terkandung dalam bahan-bahan dasar tersebut. Setelah dilakukan pemanasan awal massa Bi, Sr, Ca, Cu, Pb dihitung sesuai dengan perbandingan stoikiometri untuk membuat $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$.

Sintesis $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ dilakukan dengan metoda padatan, yaitu dengan mencampurkan semua bahan-bahan dasar kemudian diaduk secara manual dilanjutkan dengan pyrolisis, penggerusan, kalsinasi, proses kompaksi dan sintering. Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan teknik difraksi sinar-x (XRD). Data yang diperoleh berupa jarak antar bidang, intensitas dan sudut (2θ) yang kemudian dianalisis.

Pemilihan temperatur sintering diperoleh dari diagram fasa Bi2212, Bi2223 dan Bi 2201 yang ditunjukkan dalam Gambar 4. Dari diagram fasa tersebut fasa yang terbentuk pada temperatur 650 – 840 °C adalah fasa Bi 2212, Ca_2CuO_3 dan CuO , sedangkan pada

temperatur 840 – 890 °C diperoleh fasa 2212 dan 2223.

Untuk penelitian ini temperatur sintering yang digunakan adalah 800 °C, 820 °C, 845 °C, dan 860 °C sedangkan waktu penahanan digunakan 90 jam.



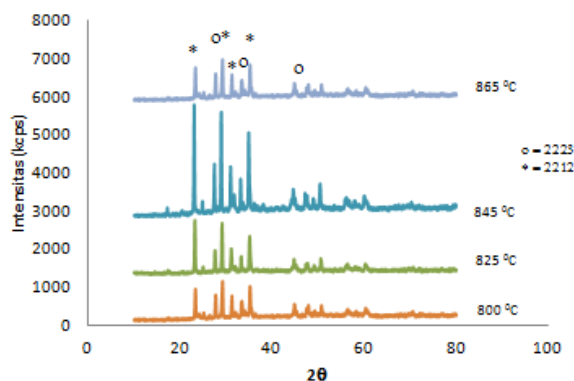
Gambar 4. Diagram fasa Bi2201, Bi2212, dan Bi2223^[11]

Untuk mengetahui telah terbentuk atau tidaknya kristal fasa Bi2223 atau fasa Bi2212 dilakukan pengukuran XRD. Berdasarkan hasil pengukuran XRD dilakukan perhitungan fraksi volume (FV) fasa Bi yang terbentuk, dengan persamaan^[12] :

$$FV = \frac{\text{Intensitas Fasa Bi}}{\text{Intensitas total}} \times 100\% \quad \dots(1)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa XRD



Gambar 5. Hasil XRD dari campuran oksida Bi₂O₃, SrCO₃, CaCO₃, CuO, PbO yang disintering pada T (°C) = 800, 825, 845, dan 865

Gambar 5 menunjukkan hasil XRD dari campuran Bi₂O₃, SrCO₃, CaCO₃, CuO, PbO pada temperatur sintering 800, 825, 845, dan 865 °C. Analisa menggunakan XRD dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk dari berbagai campuran senyawa oksida. Dari Gambar 5 terlihat puncak-puncak fasa Bi2212 pada 2θ = 35,13°, fasa Bi2223 pada 2θ = 29,12°. Puncak-puncak yang tidak ditandai pada Gambar 5 adalah fasa pengotor berupa Ca₂CuO₃, CuO, Ca₂PbO₄. Intensitas puncak-puncak fasa Bi2212 dan Bi2213 meningkat secara signifikan pada T = 845 °C (Gambar 5).

Dari hasil spektrum XRD dan menggunakan persamaan 1 dapat ditentukan besar fraksi volume fasa Bi2212, Bi2223, dan pengotor. Tabel 1 menunjukkan fraksi volume fasa-fasa yang terbentuk dari hasil pencampuran Bi₂O₃, SrCO₃, CaCO₃, CuO, PbO pada temperatur sintering 800, 825, 845, dan 865 °C.

Tabel 1. Fraksi volume (%) fasa hasil XRD dari pencampuran Bi₂O₃, SrCO₃, CaCO₃, CuO, PbO pada T_{sintering} (°C) = 800, 825, 845, dan 865

Temp. (°C)	Fraksi Volume (%)			
	Bi 2212	Bi 2223	Ca ₂ PbO ₄	lainnya
800	65,8	30,7	1,38	2,08
820	64,4	34,2	1,34	0,04
845	73,6	25,0	0,73	0,59
865	55,6	42,4	0,86	1,15

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa fraksi volume fasa Bi 2212 meningkat secara signifikan pada T= 845 °C sebesar 73,6%, akan tetapi fasa Bi2223 mengalami penurunan pada temperatur tersebut sebesar 25%. Hal ini terjadi karena dengan semakin naiknya temperatur (di atas 840 °C) efek doping Pb menyebabkan peningkatan fraksi volume Bi2223. Dapat dibuktikan dengan letak atom Pb (Z=82, Gol. IVA, Periode 6) dalam susunan unsur berkala periodik berada di sebelah kiri atom Bi (Z=83, Gol.VA, Periode 6). Hal ini memberikan *doping hole* pada fasa Bi2223, sehingga meningkatkan fraksi

volume Bi2223. Pb yang bermuatan ion Pb^{4+} mensubstitusi atom Bi (muatan ionnya Bi^{3+}) dengan fraksi molar Pb ($x=0,4$) pada $Bi_{2x}Pb_xSr_2Ca_2Cu_3O_{10+\delta}$ ^[9]. Persentasi fraksi volume dari fasa Bi2212 pada $T = 800, 820, \text{ dan } 865 \text{ } ^\circ\text{C}$ pada umumnya adalah meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur sintering, akan tetapi sebaliknya untuk fasa Bi2223.

Hasil Efek Meissner

Untuk mengetahui keberhasilan proses sintesa superkonduktor $Bi_{1,6}Pb_{0,4}Sr_2Ca_2Cu_3O_{10+\delta}$ dari campuran $Bi_2O_3, SrCO_3, CaCO_3, CuO, PbO$, maka cara yang paling mudah adalah dengan uji efek Meissner^[13]. Tabel 2 menunjukkan hasil efek Meissner berupa ada tidaknya efek levitasi yaitu adanya pengangkatan atau penolakan magnet dari hasil sintering campuran $Bi_2O_3, SrCO_3, CaCO_3, CuO, PbO$ pada berbagai temperatur sintering.

Tabel 2. Hasil efek Meissner pada material BSCCO hasil sintering dari campuran serbuk oksida $Bi_2O_3, SrCO_3, CaCO_3, CuO, PbO$

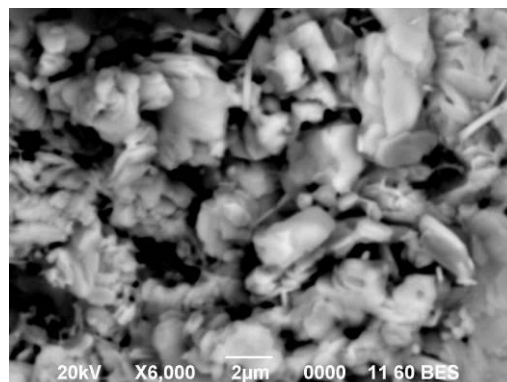
Temperatur ($^\circ\text{C}$)	Efek Meissner (Levitasi)
800	sedang
825	sedang
845	kuat
865	sedang

Dari Tabel 2 terlihat efek levitasi pada temperatur $845 \text{ } ^\circ\text{C}$ lebih besar dibandingkan dengan temperatur 800, 820 dan $865 \text{ } ^\circ\text{C}$. Hal ini menunjukkan bahwa fasa Bi2212 memberikan efek levitasi yang lebih kuat dibandingkan fasa Bi2223.

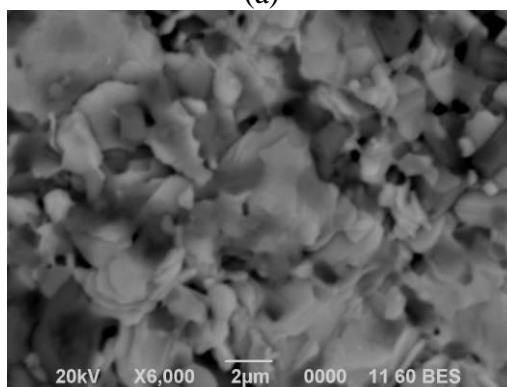
Hasil Uji SEM

Dari uji SEM pada Gambar 6(a) dengan temperatur sintering $800 \text{ } ^\circ\text{C}$, struktur yang terbentuk masih berbentuk gumpalan. Pada Gambar 6 (b) dengan pemanasan $820 \text{ } ^\circ\text{C}$ struktur berubah menjadi bentuk pipih dan

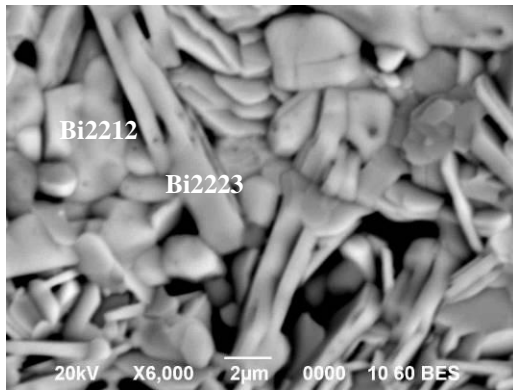
sebagian masih ada yang berbentuk gumpalan. Pada Gambar 6 (c) dan 6 (d) dengan naiknya temperatur sintering menjadi $845 \text{ } ^\circ\text{C}$ dan $865 \text{ } ^\circ\text{C}$ struktur yang terbentuk berupa serpihan. Untuk bentuk serpih pada $T = 845 \text{ } ^\circ\text{C}$ dan $865 \text{ } ^\circ\text{C}$ teridentifikasi adalah fasa Bi2223 sedangkan bentuk bulat adalah fasa Bi2212. Pada saat proses sinter berlangsung terjadi difusi kristal melewati batas butir (*grain boundaries*) dan perluasan area singgungan antar kristal sehingga akan memperbesar ukuran butir dan terjadi proses rekristalisasi dan pertumbuhan butir. Proses difusi atom-atom terjadi dan menghasilkan penyusutan material yang diiringi dengan pengurangan porositas^[9].



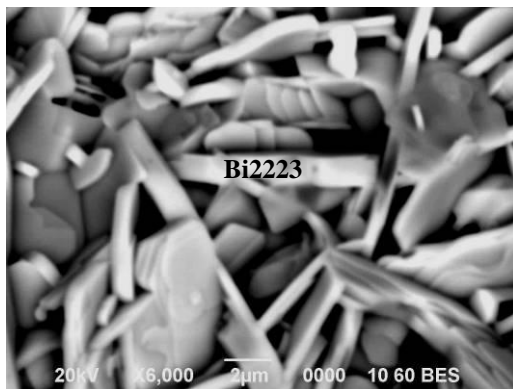
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 6. Hasil uji SEM dari campuran serbuk oksida Bi_2O_3 , SrCO_3 , CaCO_3 , CuO , PbO pada waktu penahanan 90 jam dan $T_{\text{sintering}}$ ($^{\circ}\text{C}$); (a) 800, (b) 825, (c) 845, dan (d) 865

KESIMPULAN

Proses pembuatan material superkonduktor BSCCO (*bismuth strontium calcium copper oxide*) dengan metoda padatan dari campuran serbuk Bi_2O_3 , SrCO_3 , CaCO_3 , CuO , PbO dan disintering pada $T = 800, 825, 845,$ dan 865°C dengan waktu penahanan 90 jam dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil analisa XRD diperoleh fasa Bi2212 pada $2\theta = 35,13^{\circ}$, fasa Bi2223 pada $2\theta = 29,12^{\circ}$ dan pengotor berupa Ca_2CuO_3 , CuO , dan Ca_2PbO_4 .
2. Fraksi volume fasa Bi2212 terbesar dihasilkan pada temperatur sintering 845°C sebesar 73,6%, sedangkan fraksi volume fasa Bi2223 terbesar dihasilkan pada temperatur sintering 865°C dengan nilai 42,4%.

3. Temperatur sintering optimum adalah 845°C dengan fraksi volume fasa Bi2212 dan fasa Bi2223 dihasilkan sebesar 73,6% dan 25% dan memberikan efek Meissner kuat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nurmalita. 2011.,,The Effect of Pb Dopant On The Volume Fraction Of BSCCO-2212 Superconducting Crystal". *Jurnal Natural.*: vol. 11, no. 2.
- [2] Tatik Yuliaty. 2010.,,Sintesis Superkonduktor BPSCCO/Ag Menggunakan Metoda Padatan". Skripsi Universitas Sebelas Maret.
- [3] Beate R. Lehndorff. 2001.,,High - Tc Superconductors for Magnet and Energy Technology". *Physics and Astronomy.*: volume 171.
- [4] Andrei Mourachkine. 2004.,,Room-Temperature Superconductivity". *Cambridge International Science Publishing.*: p.7
- [5] Hiroshi Maeda, Kazumasa Togano. 1996.,,Discovery and Progress in Bi-Based Oxide High-Tc Superconductors". *Applied Physics.*: volume 6.
- [6] Lehndorff, B. R. 2001.,,High-Tc Superconductors for Magnet and Energy Technology". *Springer-Verlag.*
- [7] Engkir. S, Prasud, Puji. S, dan D Wuryanto. 1996.,,Mekanisme Peranan Dopan Pb pada superkonduktivitas Fasa Tc Tinggi Bi-Sr-Ca Cu-O". *Prosiding Pertemuan Ilmiah Sains Materi.*
- [8] W. Prasud, E. Sukirman. 1994. ,,Identifikasi Struktur Fasa 2223 Superkonduktor (Bi,Pb)SrCaCuO Menggunakan Pendekatan Group Ruang Fmmm (No-69) Dengan Menggunakan Teknik Diffraksi Neutron". *Pusat Penelitian Sains Materials Batan.*
- [9] Widodo, Henry. 2009. ,,Nanokristalisasi Superkonduktor

$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ dan $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ dengan Metode Kopresipitasi dan Pencampuran Basah”. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi TELAAH.*: Vol. 28. ITS. Surabaya. Hal 6-9.

- [10] Yinsun Wang. 2013., „Fundamental Elements of Applied Superconductivity in Electrical Engineering”. *Wiley Science Press.*: p-11
- [11] Andreas Nilson. 2009., „BSCCO superconductors processed by the glass-ceramic route”. *Disertation. Fakultas Teknik Mesin dari Technical University of Dresden Jerman.*
- [12] D.Coutsouradis, J.H.Davidson, J.Ewald, P.Grenfiled, T.Khan, M.Malik, D.B. Meadowcroft, V.Regis, R.B. Scarlin, F.Schubert, D.V.Thornton. 1994., „Materials for Advanced power Engineering”. *Kluwer Academic Publishers.*: p.877.
- [13] Indras Marhaendrajaya, 2001. „Eksperimen Pembentukan Kristal BPSCCO-2223 dengan metoda lelehan”. *Berkala Fisika.*: Vol 4, No 2.