

INTERAKSI Ag DENGAN SUPERKONDUKTOR BSCCO FASA 2223

Yustinus Purwamargapratala¹⁾ dan Wisnu Ari Adi¹⁾

ABSTRACT

Interaction Ag with 2223 phase BSCCO superconductor. The addition of Ag₂O (0, 2.5, 5, and 10 wt % Ag) to matrix of 2223 phase BSCCO superconductor that sintered at 845 oC for 72 hours in air have been investigated. The Ag additions promote the decomposition of 2223 phases to 2212 phases BSCCO and caused present some impurities phases. The impurities are produced by the Ag addition able to be used as effectively pinning sources to hold vortex (flux line) movement. The T_c measurement results are 111 K, 107 K, 105 K, and 103 K with addition of 0, 2.5, 5, and 10 wt % Ag, respectively. The J_c measurement results are 3.6x10⁶, 5.6x10⁶, 6.9x10⁶, and 11.8x10⁶ Am⁻² with addition of 0, 2.5, 5, and 10 wt % Ag, respectively. From the XRD analysis shown that the addititon of Ag caused peaks of 2212 phases BSCCO are clearly visible and the samples contain some impurities phases (CuO, Ca₂CuO₃, dan Ca₇PbO₄). From the SEM analysis shown that the addititon of Ag should lead to a slight increase of the plate like grain size of 2223 phase BSCCO with increasing Ag content. From this experiment we conclude that the T_c depress and the J_c enhance with increasing Ag content. The addititon of Ag should lead to a slight increase of the plate like grain size of 2223 phase BSCCO with increasing Ag content.

Kata kunci : Superconductor, 2223 phase BSCCO, Ag.

PENDAHULUAN

Penelitian superkonduktor suhu transisi kritis (T_c) tinggi (STT) dewasa ini sudah sampai pada taraf aplikasi komersial. Aplikasi praktis yang sedang dikembangkan saat ini adalah multifilamen, kawat superkonduktor (*Ag-clad superconductor wire*), dan pita superkonduktor (*Ag-clad superconductor tape*). Perak (Ag) merupakan salah satu golongan logam diantara logam mulia yang tidak merusak (*non-poisoning*) sifat superkonduktivitas bahan khususnya untuk superkonduktor keramik. Bahkan dengan penambahan Ag ke dalam matriks superkonduktor keramik tersebut dapat meningkatkan sifat mekanik dan rapat arus

kritis (J_c) bahan [1]. Nishio dan kawan-kawan [2], telah melakukan penambahan perak dengan beberapa variasi ke dalam matrik superkonduktor sistem YBCO, dan ternyata dapat meningkatkan sifat mekaniknya hampir empat sampai lima kali dengan tanpa menurunkan suhu transisi kritis (T_c) bahan superkonduktor tersebut. Hal yang sama juga dilakukan oleh Peters dan kawan-kawan [3], mereka membuktikan bahwa penambahan Ag₂O ke dalam superkonduktor sistem YBCO tidak merubah sifat superkonduktivitas bahan dan menghasilkan efek *fluks pinning* yang lebih kuat. Yustinus [4] dan Winatapura [5] juga telah berhasil menambahkan Ag₂O ke dalam matriks superkonduktor sistem YBCO dan menghasilkan peningkatan rapat arus kritis

¹⁾ Pusat Penelitian dan Pengembangan Iptek Bahan (P3IB), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)
Kawasan Puspipstek Serpong, Cisauk, Tangerang, Banten, 15314
Telp. 021-7560148 Fax. 021-7560148 E-mail: pratata_yustinus@yahoo.com

yang cukup signifikan.

Namun ada beberapa penelitian yang bertentangan, berkenaan dengan karakter pengrusakan perak ini ke dalam sistem BSCCO. *Sarkar* dan kawan-kawan [6], melaporkan bahwa dengan penambahan perak sampai 15 % volume, T_c bahan ini turun sebanyak 40 K dan fasa 2223 relatif berkurang terhadap fasa 2212 dibandingkan dengan sampel BSSCO murni. *Jin* dan kawan-kawan [7], melaporkan bahwa penambahan perak ke dalam sampel sistem BSCCO tidak merusak sifat superkonduktivitas apabila disinter di dalam oksigen murni. *Sukirman* dan kawan-kawan [8], mendapatkan bahwa dengan penambahan perak menghasilkan peningkatan rapat arus kritis sampai 2 kali lipat dibandingkan dengan tanpa penambahan Ag yang diukur pada suhu 77°K.

Berawal dari hasil penelitian sebelumnya yang sangat kontroversial ini, perlu dipelajari bagaimana interaksi Ag dengan superkonduktor BSCCO fasa 2223. Karakterisasi yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah pengaruh penambahan Ag₂O dengan variasi 0; 2,5 ; 5; dan 10 % berat Ag terhadap perubahan fasa, struktur mikro, suhu transisi kritis T_c , dan rapat arus kritis J_c . Jadi penelitian ini bertujuan untuk memahami dan mengkaji interaksi antara Ag dengan superkonduktor BSCCO fasa 2223. Sehingga diharapkan dapat diketahui lebih jauh pengaruh Ag terhadap sifat superkonduktivitas bahan BSCCO fasa 2223.

TEORI

Pengaruh Penetrasi pada Medan Magnet Kritis (H_c).

Apabila medan magnet H_a diterapkan pada bahan superkonduktor, maka superkonduktor tersebut akan berubah dari keadaan superkonduksi ke keadaan normal selama $H_a > H_c$. H_a adalah medan magnet yang diterapkan pada bahan dan bernilai dari 0 sampai tak terhingga, sedangkan H_c adalah

batas medan magnet maksimum sebelum bahan tersebut beralih sifat dari keadaan superkonduksi ke keadaan normal (resistif). Menurut tinjauan termodinamika, hal ini disebabkan oleh adanya energi bebas *Gibbs* superkonduktor yang berubah terhadap suatu harga :

$$- \int_0^{H_a} \mu_0 M dH_a,$$

dengan

μ_0 : permeabilitas udara
 M : momen magnet.

Dalam keadaan superkonduksi, M berharga negatif, jadi penambahan energi bebas ini yang membawa bahan tersebut keluar dari keadaan terkondensasi.

Momen magnetik didefinisikan sebagai :

$$M = \int IdV,$$

Dengan,

V : volume sampel
 I : intensitas magnetisasi

Medan magnet induksi diberikan oleh :

$$B = \mu_0 H + \mu_0 I,$$

Dengan,

B : medan magnet induksi
 H : medan magnet eksternal

Apabila diasumsikan bahwa $B = 0$ untuk setiap bagian dalam superkonduktor, sehingga $I = -H$ dan $M = -HV$, dengan kata lain bahwa momen magnetik per unit volum tidak dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran sampel, maka energi bebas *Gibbs* dapat didefinisikan sebagai :

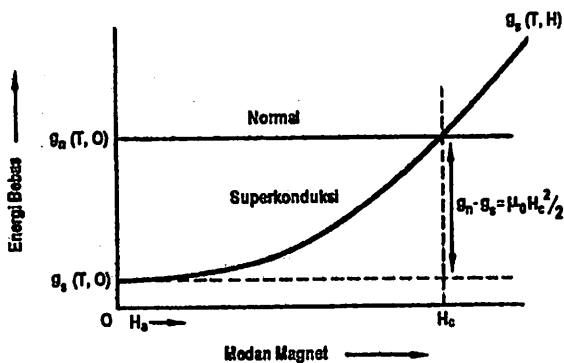
$$g_n - g_s = \frac{1}{2} \mu_0 H_c^2,$$

dengan :

g_n : energi bebas per unit volum fase normal

g_s : energi bebas per unit volum fase superkonduksi

Energi bebas ini berada dalam daerah medan magnet sama dengan nol seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 [9].



Gambar 1. Pengaruh medan magnet terhadap energi bebas *Gibbs* dari keadaan normal dan superkonduksi.

Dinamika *Vortex*

Setiap fluksoid yang berhasil menerobos ke dalam bahan superkonduktor tipe II (STK) dalam keadaan tercampur (*mixed*) seperti yang terlihat pada Gambar 2, selalu dibendung oleh arus perisai (*screening current*) yang mengelilinginya tanpa disipasi [11].

Sehingga terjadi lokalisasi fluksoid secara lateral dengan nilai kuantisasi yang tetap, yaitu $\phi_0 = h/2e = 2,0678 \times 10^{-15}$ weber (h adalah konstanta plank dan e adalah muatan elektron) [10]. Pada keadaan ini, arus yang mengalir dalam bahan superkonduktor akan menimbulkan rapat gaya *Lorentz* (F_L) pada

sistem *vortex* yang bergantung pada rapat arus yang bersangkutan, dengan besarnya gaya *Lorentz* adalah sebagai berikut :

$$F_L = \mathbf{J} \times \mathbf{B} = \mathbf{J} \times n_v \phi_0 \hat{n} \text{ dan } \mathbf{B} = n_v \phi_0$$

dengan

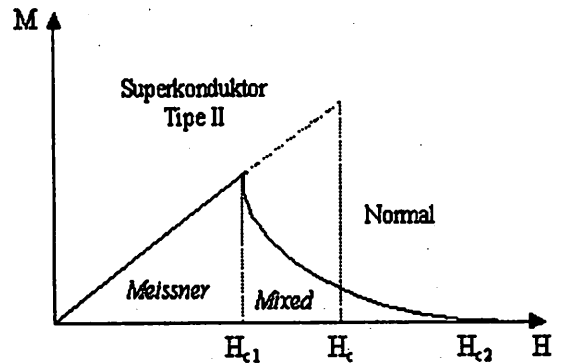
F_L : gaya *Lorentz*

J : rapat arus

B : medan magnet

n_v : rapat *vortex* persatuan luas

ϕ_0 : *flux quantum*



Gambar 2. Kurva $M-H$ untuk STK

Akibatnya *vortex* dalam keadaan bebas ini akan menimbulkan transport listrik yang disipatif seperti yang terlihat pada Gambar 3 [11].

Sehingga gerakan *vortex* ini perlu dicegah. Untuk itu diperlukan *pinning* untuk mencegah gerak *vortex* ini. Gaya *pinning* ini dapat dihitung melalui persamaan [12],:

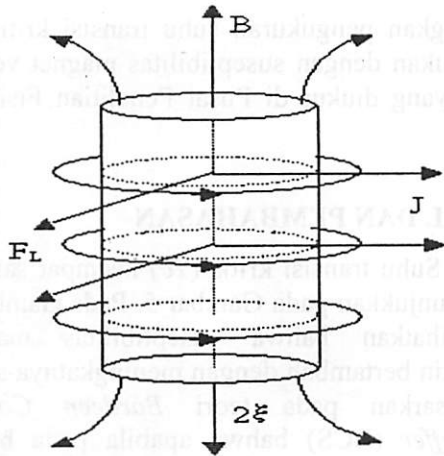
$$F_p = J_c H$$

dengan ;

F_p : Gaya *pinning*

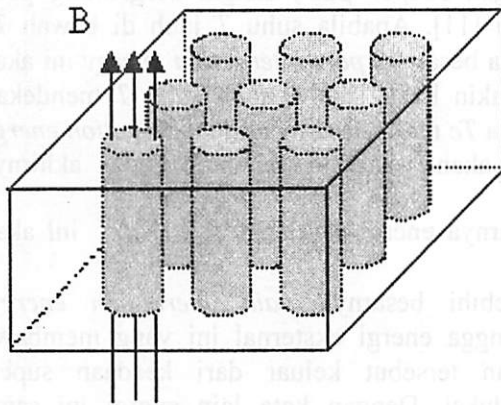
J_c : Rapat arus kritis

H : medan magnet terpasang



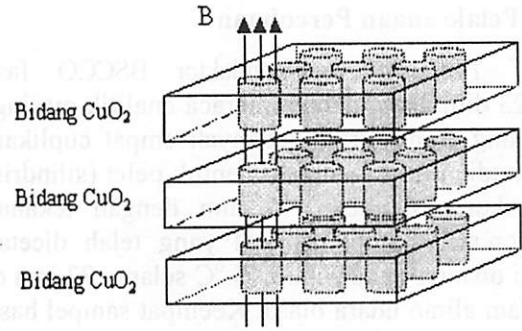
Gambar 3 : *Vortex* tunggal

Superkonduktor tipe II konvensional (STK) memiliki sistem *vortex* yang terdistribusi secara periodik yang berbentuk tubular atau kolomar dalam kerangka kisi heksagonal dengan struktur dasar segitiga *Abrikosov*, seperti tampak pada Gambar 4.



Gambar 4 : *Vortex* STK

Namun berlainan dengan STT, karena memiliki adanya impuritas sehingga pada umumnya terdapat ketidaktertiban pada strukturnya. Sehingga sistem *vortex* yang terbentuk mengandung ketidaktertiban pula.



Gambar 5 : *Vortex* STT.

Walaupun demikian, pada medan magnet dan suhu yang rendah, sistem *vortex* ini masih memiliki periodisitas berskala besar. Dan karena sifatnya yang anisotropik, maka *vortex* ini akan terlokalisasi di sekitar bidang-bidang konduksi CuO_2 , seperti yang terlihat pada Gambar 5. Secara umum, dinamika gerak *vortex* dalam STT sangat kompleks, karena munculnya faktor-faktor baru yang berkaitan dengan sifat elastik, pengaruh termal, gaya *Lorentz*, dan gaya *pinning* [10]

TATA KERJA

A. Bahan

Prekursor superkonduktor BSCCO fasa 2223 diperoleh dari *STREM* No. Katalog 83-2223, Lot#250686-S dengan kemurnian 99,9 %. Dan stoikiometri unsur superkonduktor BSCCO fasa 2223 ini adalah $\text{Bi} : \text{Pb} : \text{Sr} : \text{Ca} : \text{Cu} = 1,6 : 0,4 : 2 : 2 : 3$. Serbuk Ag_2O diperoleh dari *STREM* No. Katalog 93-4743, Lot#136011-S dengan kemurnian 99+ %.

B. Alat

Peralatan yang digunakan meliputi: timbangan analitik, *hot plate*, *magnetic stirrer*, *mortal agate*, alat press, *furnace*, magnet permanen SmCo , *scanning electron microscope (SEM)*, *x-ray diffractometer (XRD)*, alat ukur T_c dan J_c .

C. Pelaksanaan Percobaan

Prekursor superkonduktor BSCCO fasa 2223 ditimbang dengan neraca analitik masing-masing empat gram sebanyak empat cuplikan, kemudian dicetak dalam bentuk pelet (silindris) berukuran diameter 15 mm dengan tekanan 8 ton.m⁻². Sampel-sampel yang telah dicetak tadi disinter pada suhu 845 °C selama 72 jam di dalam aliran udara biasa. Keempat sampel hasil *sintering* tersebut diuji sifat *levitasnya*, yaitu dengan cara : sampel tersebut direndam ke dalam nitrogen cair selama 10 menit, kemudian satu per satu diletakkan di atas permukaan magnet permanen pada suhu nitrogen cair ($T=77K$). Apabila sampel melayang di atas permukaan magnet tersebut, maka bahan tersebut diindikasikan sebagai bahan superkonduktor dan begitu sebaliknya. Kemudian keempat sampel tersebut digerus kembali dan ditambahkan serbuk Ag₂O sebanyak 0; 2,5; 5; dan 10 % berat Ag yang selanjutnya berturut-turut disebut dengan sampel BSCCO/Ag 0 %, BSCCO/Ag 2,5 %, BSCCO/Ag 5 %, dan BSCCO/Ag 10 %. Keempat cuplikan yang telah ditambahkan Ag₂O tersebut dicetak kembali dalam bentuk pelet (sampel silindris) berukuran diameter 15 mm dengan tekanan 8 ton.m⁻² dan disinter ulang pada suhu 845 °C selama 72 jam di dalam atmosfer udara.

Pengamatan struktur mikro sampel dilakukan dengan bantuan SEM (*scanning electron microscope*) merek *Philip 515*. Sedangkan kualitas dan kuantitas fasa-fasa yang ada di dalam sampel diamati dengan teknik difraksi sinar-X. Alat yang digunakan adalah *X-ray Diffractometer Shimadzu*. Pengukuran pola difraksi sampel dilakukan dengan berkas sinar-X dari Tube anode Cu dengan panjang gelombang, $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$, *mode: continuous-scan*, *step size : 0,02°*, dan *time per step : 0.5 detik*. Rapat arus kritis J_c sampel diukur dengan menggunakan Metode *Four Point Probe* (MFPP) [13]. Ketiga karakterisasi tersebut dilakukan di Puslitbang Iptek Bahan - BATAN.

Sedangkan pengukuran suhu transisi kritis T_c ditentukan dengan suseptibilitas magnet versus suhu yang diukur di Pusat Penelitian Fisika – LIPI.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu transisi kritis (T_c) keempat sampel ini ditunjukkan pada Gambar 5. Pada Gambar 5 diperlihatkan bahwa suseptibilitas magnet semakin bertambah dengan meningkatnya suhu. Berdasarkan pada teori *Bardeen Cooper Schrieffer* (BCS) bahwa apabila pada bahan tersebut diterapkan medan magnet sebesar H maka hal ini juga berarti pemberian energi

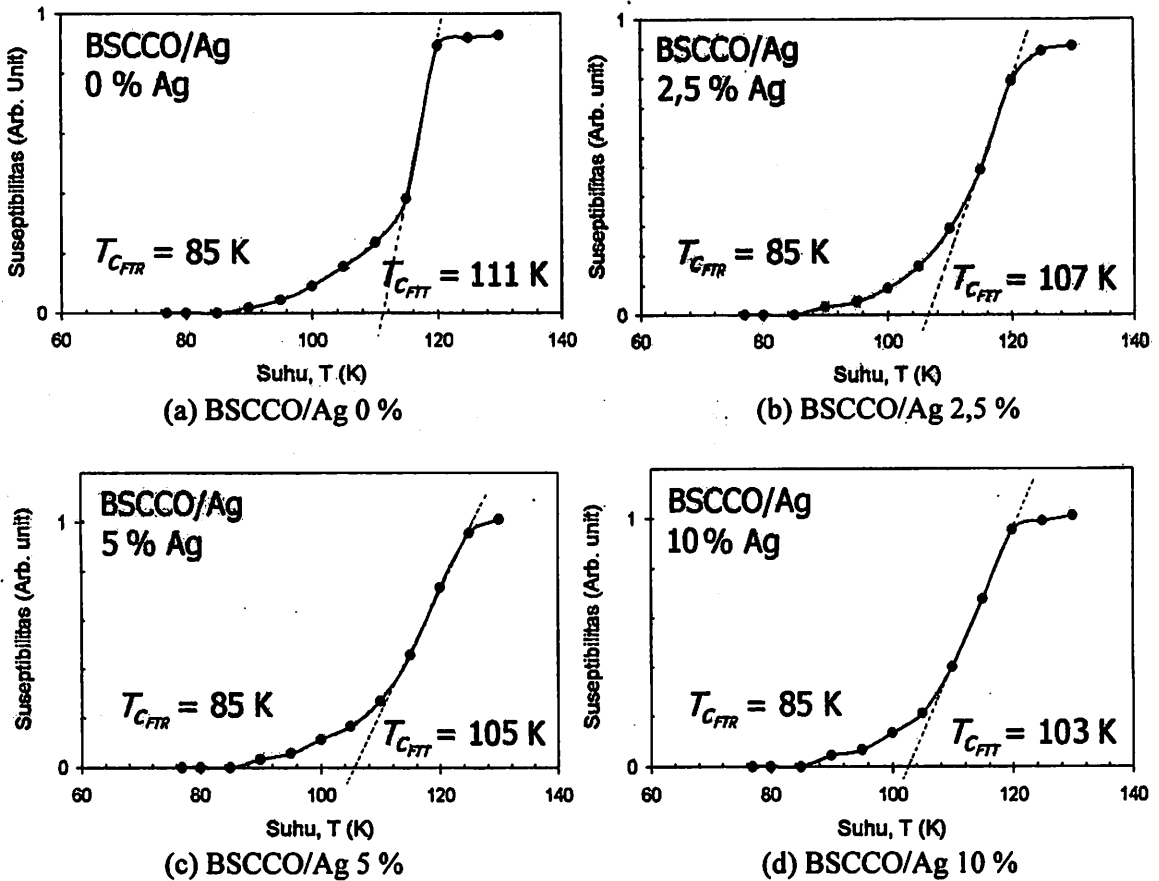
sebesar $\int_0^H \mu_0 M dH$ kepada bahan tersebut [9].

Sedangkan besarnya energi kinetik pasangan elektron yang sering disebut dengan *pair interaction energy*, yaitu energi yang diperlukan untuk pembentukan pasangan elektron (pada superkonduktor BSCCO disebut dengan *cooper pair*) sangat bergantung pada suhu [11]. Apabila suhu T jauh di bawah T_c maka besarnya *pair interaction energy* ini akan semakin kuat. Dan apabila suhu T mendekati harga T_c maka besarnya *pair interaction energy* ini akan semakin lemah. Pada akhirnya

besarnya energi eksternal $\int_0^H \mu_0 M dH$ ini akan

melebihi besarnya *pair interaction energy*, sehingga energi eksternal ini yang membawa bahan tersebut keluar dari keadaan superkonduksi. Dengan kata lain energi ini sama dengan energi yang diperlukan untuk melepaskan elektron yang berpasangan (*depairing*) menjadi elektron normal.

Pada Gambar 5 terlihat adanya dua transisi T_c , yaitu T_c untuk BSCCO fasa 2223 dan fasa 2212 yang berturut turut disebut dengan fasa T_c tinggi (T_c FTT) dan fasa T_c rendah (T_c FTR). Rerata hasil pengukuran nilai T_c FTT sampel BSCCO/Ag 0 %, BSCCO/Ag



Gambar 5. Suseptibilitas magnet versus suhu.

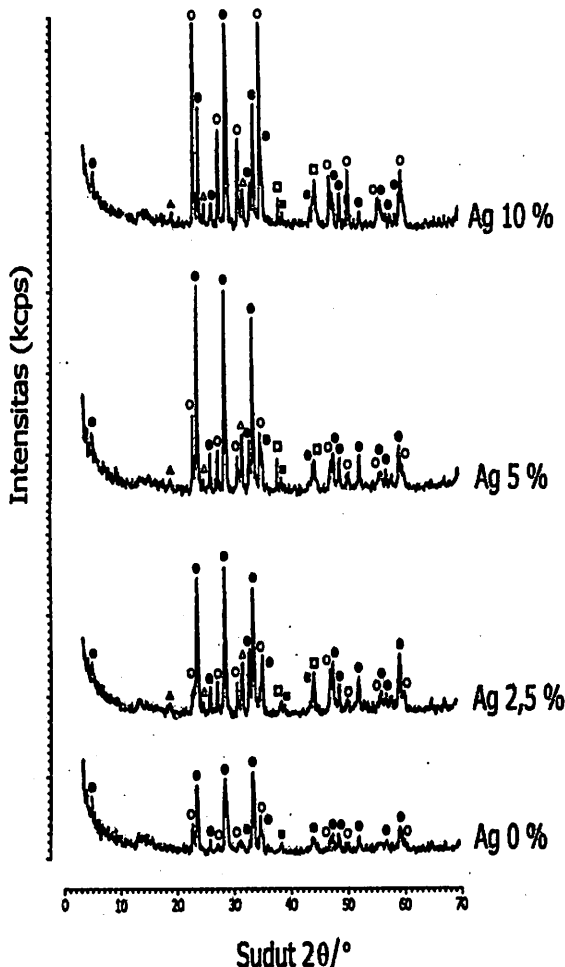
2,5%, BSCCO/Ag 5%, dan BSCCO/Ag 10 % berturut-turut adalah 111 K, 107 K, 105 K, dan 103 K.

Sedangkan T_c FTR tampak sama pada suhu 85 °K. $T_{c_{FTT}}$ menurun dengan bertambahnya kandungan Ag di dalam sampel. T_c FTT dipengaruhi oleh jumlah kandungan BSCCO fasa 2223 di dalam sampel. Jadi BSCCO fasa 2223 semakin berkurang dengan bertambahnya kandungan Ag di dalam sampel. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan Ag ini mempengaruhi kestabilan dari matrik BSCCO fasa 2223. Hasil ini didukung lebih lanjut oleh pola difraksi sinar-X seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.

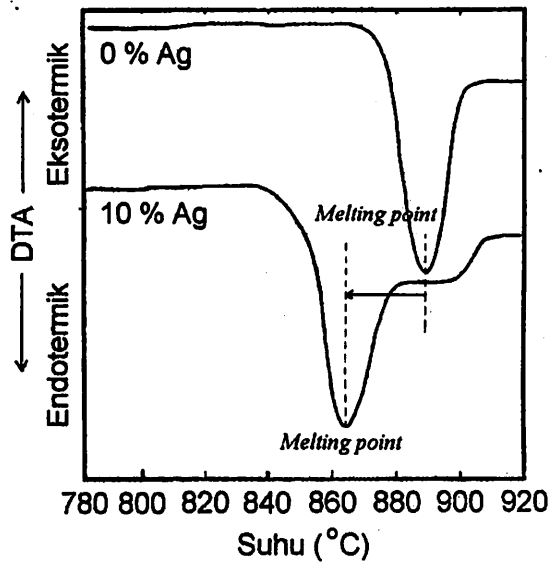
Identifikasi fasa-fasa pada Gambar 6 merujuk pada makalah Chiu dan kawan-kawan [1], kemudian dikonfirmasi dengan database JCPDS – International Center for Diffraction Data (ICDD) tahun 1997, (●) BSCCO fasa 2223, (○) BSCCO fasa 2212, (□) Ag, (■) CuO, (▲) Ca_2PbO_4 , dan (△) Ca_2CuO_3 [14–19].

Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin besar penambahan Ag, baik kualitas maupun kuantitas BSCCO fasa 2223 semakin menurun dan diikuti dengan munculnya beberapa impuritas (fasa non superkonduktor) yaitu CuO, Ca_2PbO_4 , dan Ca_2CuO_3 , sedangkan BSCCO fasa 2212 semakin tinggi.

Hasil ini bersesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh Chiu [1] dan Dou [20], mereka melaporkan bahwa berdasarkan data DTA penambahan Ag_2O akan menurunkan suhu lebur (*melting point*) pada sistem ini sehingga berakibat akan terjadi larutan padat $\text{Ag}_2\text{O-PbO-CuO}$ seperti yang terlihat pada Gambar 7. Pada Gambar 7 tampak terjadi pergeseran *melting point* untuk BSCCO dengan penambahan 10 % Ag.

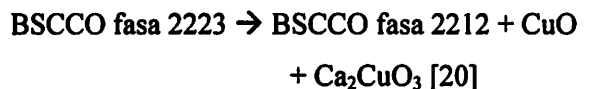


Gambar 6. Pola difraksi sinar-X sampel BSCCO/Ag dengan penambahan Ag (0–10 %) (●) BSCCO fasa 2223, (○) BSCCO fasa 2212, (□) Ag, (■) CuO, (▲) Ca_2PbO_4 , dan (△) Ca_2CuO_3 .

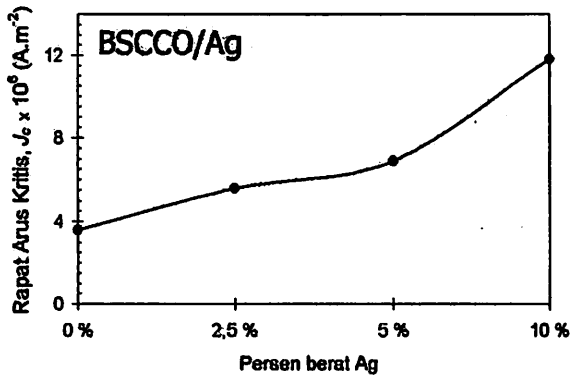


Gambar 7. Kurva DTA BSCCO dan BSCCO/Ag [20]

Larutan padat $\text{Ag}_2\text{O} - \text{PbO} - \text{CuO}$ terdekomposisi pada suhu antara $187 - 450^\circ\text{C}$ dan stabil pada suhu di atas itu [20]. Apabila dekomposisi ini terjadi pada suhu tinggi (suhu sintering), maka Ag_2O akan terdekomposisi menjadi Ag. Dan Ag ini yang mempromosikan terjadinya dekomposisi BSCCO fasa 2223 menjadi BSCCO fasa 2212 sesuai dengan persamaan reaksi sebagai berikut :



Munculnya fasa-fasa impuritas ini nampak sekali terlihat pada sampel BSCCO/Ag 10 %. Fasa Ca_2CuO_3 muncul pada sudut $2\theta = 24,66^\circ$ dan $32,28^\circ$. Fasa Ca_2PbO_4 muncul pada sudut $2\theta = 18,17^\circ$. Dan fasa CuO muncul pada sudut $2\theta = 38,73^\circ$. Kualitas dan kuantitas BSCCO fasa 2212 juga tampak semakin tinggi. Hal ini ditandai dengan semakin tajamnya puncak-puncak yang dimiliki fasa ini. Sedangkan fasa Ag tampak semakin meningkat pada sudut $2\theta = 38,12^\circ$ dan $44,28^\circ$.



Gambar 8. Rapat arus kritis versus penambahan Ag di dalam sampel

Namun demikian nilai rapat arus kritis (J_c) semakin meningkat dengan bertambahnya kandungan Ag di dalam sampel seperti yang terlihat pada Gambar 8. Harga J_c untuk sampel BSCCO/Ag 0 %, BSCCO/Ag 2,5 %, BSCCO/Ag 5 %, dan BSCCO/Ag 10 % berturut-turut adalah $3,6 \times 10^6$; $5,6 \times 10^6$; $6,9 \times 10^6$; dan $11,8 \times 10^6 \text{ Am}^{-2}$.

Hasil ini bersesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh Winatapura [5] dan Sukirman [8], mereka mendapatkan peningkatan J_c yang cukup signifikan. Salah satu faktor yang menyebabkan harga J_c meningkat adalah adanya *fluks pinning* yang cukup kuat seperti yang telah dilaporkan oleh Peter dan kawan-kawan [3]. Arus yang mengalir dalam bahan superkonduktor akan menimbulkan rapat gaya Lorentz (F_L) pada sistem *vortex* yang bergantung pada rapat arus yang bersangkutan. Akibatnya *vortex* dalam keadaan bebas ini akan menimbulkan transport listrik yang disipatif. Sehingga gerakan *vortex* ini perlu dicegah. Untuk itu diperlukan *pinning* untuk mencegah gerak *vortex* ini [10].

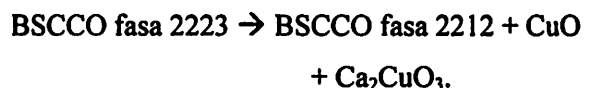
Sumber *pinning* ini dapat berupa cacat kristal yang disebabkan oleh impuritas. Dan impuritas yang dimiliki oleh superkonduktor ini ternyata efektif sebagai sumber *pinning* untuk menahan gerakan *vortex* (*flux line*). Pada Gambar 6 jelas terlihat bahwa dengan

penambahan Ag ke dalam sistem BSCCO fasa 2223 ini mengakibatkan munculnya fasa impuritas yang cukup besar. Namun apabila fasa impuritas ini berlebih akan merusak sifat superkonduktifitas bahan [13].

Faktor lain yang mempengaruhi harga J_c adalah adanya porositas dan *weak link*. Dengan penambahan Ag ke dalam matrik BSCCO fasa 2223 ini dapat mengurangi adanya porositas bahan dan meningkatkan ikatan antar butir pada bahan tersebut. Hasil ini didukung oleh pengamatan struktur mikro seperti yang terlihat pada Gambar 9.

Pada Gambar 9 menunjukkan bahwa struktur *plate like* nampak jelas terlihat di semua sampel. Struktur seperti pelat (*plat like*) pada sampel BSCCO/Ag 2,5 %, BSCCO/Ag 5 %, dan BSCCO/Ag 10 % ini memiliki bentuk yang sama (*similar*) dengan sampel BSCCO/Ag 0 %. Struktur bulat-bulat kecil merupakan BSCCO fasa 2212, dan daerah yang berwarna hitam merupakan *voids* dari sampel.

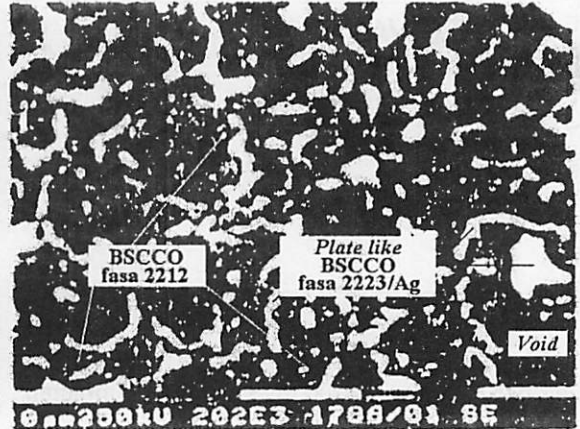
Pada Gambar 9(b), struktur *plate like* BSCCO/Ag tampak mulai membesar. Hal ini disebabkan Ag dapat mempercepat proses difusi antar butir di dalam matrik BSCCO fasa 2223. Berdasarkan data DTA bahwa penambahan Ag akan menurunkan suhu lebur (*melting point*) pada sistem ini. Disamping itu butir-butir BSCCO fasa 2212 juga tampak mulai semakin banyak dengan adanya kandungan Ag di dalam bahan. Hal ini disebabkan Ag merupakan promotor terjadinya dekomposisi BSCCO fasa 2223 menjadi BSCCO fasa 2212 sesuai dengan persamaan reaksi sebagai berikut :





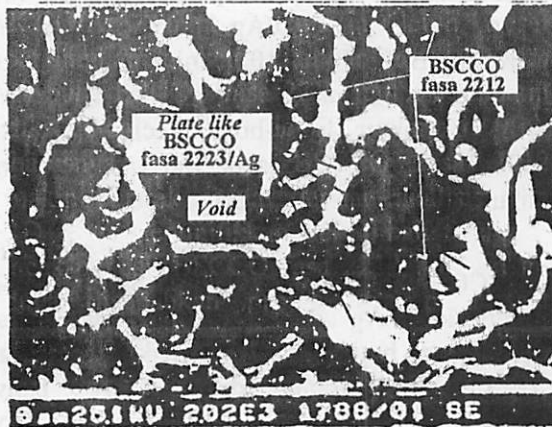
10 μm

(a). BSCCO/Ag 0 %



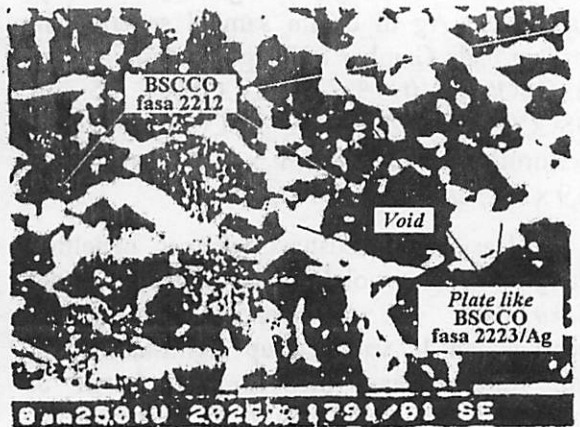
10 μm

(b). BSCCO/Ag 2,5 %



10 μm

(c). BSCCO/Ag 5 %



10 μm

(d). BSCCO/Ag 10 %.

Gambar 9. Morfologi struktur mikro menggunakan SEM dengan perbesaran 2000 kali dari sampel.

Pada Gambar 9(c), struktur *plate like* BSCCO/Ag tampak semakin lebih besar dibandingkan dengan Gambar 9(b). Namun butir-butir BSCCO fasa 2212 tampak sedikit dibandingkan dengan Gambar 9(b). Seharusnya butir-butir BSCCO fasa 2212 semakin banyak sesuai dengan analisis data XRD yang menunjukkan bertambah tajamnya puncak-puncak BSCCO fasa 2212 ini. Hal ini diduga disebabkan proses etsa pada saat

preparasi SEM terlalu lama, sehingga terjadi korosi yang cukup dalam. Dan seolah-olah terjadi peningkatan jumlah *voids* pada sampel.

Pada Gambar 9(d), struktur *plate like* BSCCO/Ag tampak semakin lebih besar dan butir-butir BSCCO fasa 2212 juga tampak semakin banyak dibandingkan dengan Gambar 9(b) dan Gambar 9(c).

Penambahan Ag ini mengakibatkan ukuran butir dari matrik BSCCO fasa 2223 semakin membesar. Hasil ini juga bersesuaian dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Chui dan kawan-kawan [1]. Dengan membesarnya ukuran butir ini maka porositas dan sumber-sumber *weak link* dapat dikurangi. Disamping itu juga butir-butir BSCCO fasa 2212 juga tampak semakin banyak dengan meningkatnya kandungan Ag di dalam bahan. Hal ini bersesuaian dengan hasil pengukuran XRD bahwa puncak-puncak BSCCO fasa 2212 tampak semakin banyak hal ini menunjukkan bahwa derajat kristalinitasnya semakin tinggi.

KESIMPULAN

Penambahan Ag (0; 2,5; 5; dan 10 % berat) ke dalam matriks superkonduktor BSCCO fasa 2223 yang disinter pada suhu 845 °C selama 72 jam telah dilakukan. Nilai T_c FTT menurun dengan penambahan Ag (0 sampai 10 % berat). Penambahan Ag ini mempengaruhi kestabilan matriks BSCCO fasa 2223. Ag ini yang menyebabkan (*promote*) terjadinya dekomposisi BSCCO fasa 2223 menjadi BSCCO fasa 2212 dan memunculkan fasa impuritas (CuO , Ca_2CuO_3 , dan Ca_2PbO_4). Sedangkan harga J_c meningkat dengan penambahan Ag (0 sampai 10 % berat). Impuritas yang dihasilkan dari penambahan Ag ini dapat digunakan sebagai sumber *pinning* yang efektif untuk menahan gerakan *vortex* (*flux line*). Penambahan Ag ini mengakibatkan ukuran butir seperti pelat (*plate like*) dari matrik BSCCO fasa 2223 semakin membesar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Drs. Gunandjar, S.U. selaku Kepala Puslitbang Iptek Bahan BATAN, Kepada Drs. W. Prasuad selaku Pimpro Puslitbang Iptek Bahan, Drs. Engkir Sukirman,

M.Sc., Drs. Didin S. Winatapura, Dra. Grace Tj. Sulungbudi, dan kepada semua pihak yang telah membantu dalam kelancaran penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Chiu, Y.D., Lei, T.S., Kao, C.H., *Journal of Materials Science*, 29, (1994), 2678 – 2682.
2. Nishio, T., Itoh, Y., Ogasawara, F., Suganuma, M., Yamada, Y., Mizurani, U., *J. Mater. Sci.*, 24, (1989), 3228.
3. Peters, P.N., Sisk, R.C., Urban, E.W., Huang, C.Y., Wu, M.K., *Appl. Phys. Lett.*, 52, (1988), 2066.
4. Yustinus P, Gunawan, I., Wuryanto, *Pembuatan Komposit YBCO-123/Ag Melalui Pelarut Garam Cair Urea*, Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Pusat Penelitian Nuklir Yogyakarta, BATAN, ISSN 0216-3128, Buku II hal 85-91, Yogyakarta, 23-25 April 1996.
5. Winatapura, D. S., Wisnu, A. A., *Pengaruh Penambahan Perak Oksida terhadap Rapat Arus Kritis Superkonduktor Tc Tinggi $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$* , *Jurnal Sains Materi Indonesia*, ISSN 1411-1098, Volume 1, No. 3, Juni 2000, hal. 21-26.
6. Sarkar, A.K., Maartense, I., Peterson, T.L., *J. Mater. Res.*, 7, (1992), 1672.
7. Jin, S., Sherwood, S.C., Tiefel, T.H., Kammlott, G.W., Fastnacht, R.A., Davis, M.E., Zahurak, S.M., *Appl. Phys. Lett.*, 52, (1988), 1628.
8. Sukirman, E., Wisnu, A. A., Sulisworo, P., Prasuad, W., *The Enhancement of Critical Current Density on the Bulk of BPSCCO-System Superconductor with Silver*, *Proceedings of the 1998 Workshop on The Utilization of Research Reactors*, JAERI-

- Conf 99-012, Department of Research Reactor, Japan Atomic Energy Research Institute, October 4, 1999, pp. 98-106.*
9. Wisnu, A. A., Sukirman, E., Winatapura, D. S., Sulungbudi, G.T., *Faktor Koreksi Dimensi Sampel pada Sifat Listrik Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ dengan Menggunakan Metode Four Point Probe, Majalah BATAN, Vol.XXXIV, No. 1 / 2, Januari/April 2001, ISSN 0303-2876, hal 15-30.*
 10. Rose-Innes, A.C., Rhoderick, E.H., *Introduction to Superconductivity, Pergamon Press, Oxford, 1969, page 92-110.*
 11. Buckell, W., *Superconductivity, VCH Publisher Inc., New York, page 112-159, 1991.*
 12. Pandey, D., et al., *Physica C, Superconductivity, 173, (1991), 476.*
 13. West, A., *University of Aberdeen, Old Aberdeen, Scotland, ICDD Grant-in-Aid, (1990).*
 14. Swanson, Tatge, *Natl. Bur. Stand. (U.S.), Ciro, 539, 1, (1953), 23.*
 15. Martin, K., Mc. Carthy, G., *North Dakota State Univ., Fargo, ND, USA, ICDD Grant-inAid, (1991).*
 16. Scheer, M., Grier, D., Mc.Carthy, G., *North Dakota State Univ., Fargo, ND, USA, ICDD Grant-inAid, (1994).*
 17. Breuer, Eysel, W., *Mineral – Petrograph. Inst., Univ. Heidelberg, Germany, ICDD Grant-inAid, (1981).*
 18. Dou, S.X., Song, K.H., Liu, H.K., Sorrel, C.C., Apperley, M.H., Gouchi, A.J., Savvides, N., Hensley, D.W., *Physica C, 160, (1989), 533-540.*
 19. Roger Wordenweber, *Rep. Prog. Phys., 62, (1999), 187-236.*
 20. Wisnu, A. A., Sukirman, E., Winatapura, D. S., Sulungbudi, G.T., *Peningkatan Flux Pinning Pada Bulk Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ Melalui Proses Melt Texture Growth, Jurnal Sains Materi Indonesia, ISSN 1411-1098, Volume 3, No. 1, Oktober 2001, hal. 38-44.*