
EFEK SIFAT SUPERKONDUKTOR (SMEU)1BA2CU3O7- δ AKIBAT PENAMBAHAN FASA 211 DENGAN METODE MTG

Mukti Harahap

Jurusan fisika fimpa unimed, jl. Willem Iskandar psr v, medan estate, medan

muktihrp@gmail.com

ABSTRAK

Dalam eksperimen ini telah dilakukan sintesis (SmEu)1Ba2Cu3O7- δ + x% 211 dengan variasi x dari 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% menggunakan proses Melt Textured growth (MTG) yang dilengkapi dengan aniling oksigen pada suhu 325 oC untuk lama waktu yang berbeda. Dari hasil pengukuran R-T tampak bahwa sampel dengan x yang paling kecil memiliki suhu kritis (Tc) yang paling besar. Selain itu, semakin lama waktu aniling (ta) secara umum meningkatkan suhu kritis. Sampel dengan x= 0% dan ta 24 jam memiliki suhu kritis tertinggi yaitu 95.88 K. Dari pola spektrum X-RD, tampak bahwa sampel yang sama memiliki fraksi volume fasa 123 yang paling besar (98.7%) yang menjelaskan Tc tertinggi diperoleh pada sampel ini. Tetapi sampel dengan x = 25% dan tanpa aniling oksigen memiliki fraksi volume 211 yang paling besar (25.11%).

Keywords: sitesa, penambaha fasa

1. PENDAHULUAN

Tingginya kebutuhan energi dewasa ini menuntut para akademisi untuk berinovasi menemukan solusi yang terbaik. Banyak cara yang telah dilakukan diantaranya mencari sumber energi alternatif, rekayasa material dan efisiensi energi. Salah satu yang menjadi harapan saat ini adalah dengan merekayasa material sehingga diharapkan energi dapat dimanfaatkan seefisien mungkin.

Bahan superkonduktor saat ini dikembangkan sebagai penghantar arus dengan kerapatan tinggi diatas 104 A/cm2 pada 5 K dan tanpa medan luar (H=0). Nilai rapat arus kritis (Jc) yang tinggi ini diperoleh berkat kehadiran pusat "pinning" vorteks yang kuat. Pusat pinning akan menghambat atau bahkan mencegah pergerakan fluksoid magnet yang dapat menimbulkan disipasi dalam superkonduktor dan mencegah terlepasnya fluksoid dari bahan tersebut. Pusat pinning tersebut dapat berupa cacat struktur mikro seperti sesar tumpuk (stacking fault), cacat kembar (twinning), dislokasi (dislocation), kekosongan oksigen (oxygen vacancy), batas butir (grain boundary) atau kehadiran impuritas dalam bahan [7].

Selain sistem yang berbasis Bi, superkonduktor sistem RE-123 adalah bahan yang paling banyak ditelaah untuk aplikasi kawat dan bantalan magnet. Salah satu jenis bahan superkonduktor dalam sistem ini adalah bahan berkomposisi (SmEu)1Ba2Cu3O7- δ .

Untuk menghasilkan efek pining yang kuat telah dikembangkan bahan dengan komposisi (SmEu)1Ba2Cu3O7- δ + x % 211 (x=0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%) dengan metode MTG (Melt Texture Growth) yang meliputi proses kalsinasi, melting dan proses aniling [4].

Dalam eksperimen ini, selain dilakukan variasi x (kadar impuritas fasa 211) juga dilakukan proses aniling dengan jangka waktu (ta) yang berbeda. Disamping menghasilkan efek doping oksigen, proses aniling ini juga akan mempengaruhi struktur bahan yang dihasilkan. Untuk menentukan pengaruh kadar impuritas dan parameter proses aniling pada sifat bahan (Tc dan Jc) maka sampel yang dihasilkan dikarakterisasi dengan pengukuran kurva transisi resistif R-T, pola difraksi sinar-X.

2. METODE PENELITIAN

Rancangan Eksperimen

Sesuai dengan tujuan untuk mengkaji pengaruh fasa impuritas 211 pada kekuatan pining vorteks dan transport listrik dalam bahan superkonduktor (SmEu)1Ba2Cu3O7- δ maka sampel yang dibuat divariasikan kadar fasa 211 yaitu sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%.

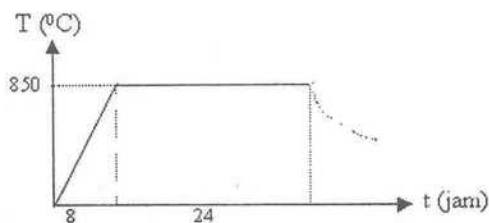
Laju aniling, pemanasan, pendinginan dan suhu aniling merupakan parameter tetap. Parameter lain yang divariasikan adalah lama waktu aniling (ta).

Karakterisasi pada eksperimen ini meliputi pengukuran resistivitas terhadap suhu untuk menentukan suhu kritis (T_c), penentuan fasa bahan menggunakan difraksi sinar-X (XRD). Dari hasil karakterisasi ini pada gilirannya diharapkan diketahui efek sifat transport dan magnetik bahan superkonduktor (SmEu)1Ba2Cu3O7- δ akibat penambahan fasa 211 dan pengaruh aniling.

Proses Sintesis

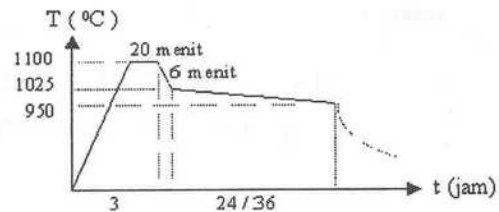
Persiapan awal dalam proses sintesis ini adalah penimbangan bahan yang terdiri dari Sm2O3, Eu2O3, BaCO3, dan CuO dengan kemurnian 99.99% sesuai dengan komposisi yang diinginkan. Semua bahan ini tersedia dalam bentuk padatan serbuk halus. Setelah proses penimbangan, maka semua bahan dicampur dan kemudian digerus sehingga akan lebih homogen. Penggerusan ini dilakukan dengan mortal dan pastel secara manual selama kurang lebih 8 jam secara bertahap sampai bahan terasa halus. Sebelum mereaksikan, beberapa senyawa awal berbentuk karbonat perlu didekomposisi (dihilangkan) pada suhu dibawah titik leleh untuk membuang komposisi yang tidak perlu.

Proses ini disebut kalsinasi dengan suhu 850oC selama 24 jam seperti terlihat pada gambar 1



Gambar 1 Proses kalsinasi

Sampai pada proses ini, hasil reaksi belum sempurna, karena adanya porositas, penangkapan gas sekitar dan kecilnya luas permukaan kontak, selanjutnya bahan digerus ulang dan dipres sehingga berbentuk pelet dengan diameter 1.2 cm dan tebal 0.3 cm. Setelah bahan berbentuk pelet, bahan dimelting menggunakan metode MTG dengan lamanya penumbuhan fasa 123 divariasikan yang terlihat dari gambar .2. Akibat proses pemanasan yang cukup lama mengakibatkan kadar oksigen dalam sampel berkurang sehingga diperlukan proses oksigenasi (aniling). Proses oksigenasi ini dilakukan pada suhu 325oC.

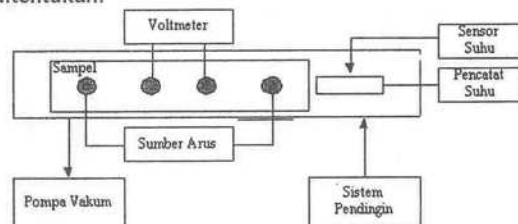


Gambar 2 Proses MTG

Dari gambar 2 proses MTG dapat diuraikan sebagai berikut bahan yang berbentuk pelet dipanaskan sampai suhu diatas suhu lelehnya (1100 oC) kemudian ditahan sesaat selama 20 menit kemudian didinginkan secara cepat sampai suhu 1025 oC setelah itu bahan didinginkan secara perlahan.

Pengukuran R- T

Untuk menentukan suhu kritis $T_{c\text{ nol}}$ dan $T_{c\text{ on}}$ dilakukan dengan menggunakan metode empat titik (four-probe method). Pengukuran resistivitas ρ dilakukan secara kontinu dengan suhu (T) yang terus diturunkan. Resistivitas diukur melalui pengukuran beda potensial yang timbul ketika arus listrik dialirkan dalam sampel. Data yang terukur adalah suhu dalam derajat kelvin dan tegangan dalam volt sedangkan arus dibuat tetap yaitu 15 mA. Dalam pengukuran ini, pendinginan dilakukan dengan menggunakan helium dan sistem pendingin CTI-Cryogenic, dimana sebelum itu ruangan untuk sampel divakumkan terlebih dahulu. Arus listrik dialirkan oleh Keithley source meter 244 dan beda potensial yang ditimbulkan diukur dengan Keithley nanovoltmeter 2182, sedangkan suhu diukur dengan menggunakan sensor platinum resistor PT-100 dan pengatur suhu oleh Temperature controller 330. Sistem peralatan telah dikomputerisasi lengkap dengan interfacenya. Dari hasil ini dibuat plot grafik sehingga suhu kritis, T_c setiap sampel dapat ditentukan.



Gambar 3 Skema pengukuran T_c

Nilai resistivitas diperoleh dengan menggunakan rumus

$$\rho = 2\pi a \frac{V}{I} \dots\dots\dots (1)$$

dengan ρ sebagai resistivitas ($\Omega.m$), V adalah tegangan dalam volt dan I adalah arus listrik dalam

miliampere, sedangkan a adalah jarak antar titik dalam centimeter.

Pengukuran suhu kritis ini dilakukan di lab FISMOTS departemen Fisika, ITB.

Pola Difraksi X-RD (Cu-K α)

Dengan mengetahui pola difraksi sinar-X dapat diketahui fasa-fasa yang terbentuk selama proses. Tujuan lainnya adalah menganalisis kemurnian fasa dan jenis impuritas serta untuk menentukan struktur kristal berdasarkan identifikasi intensitas sinar-X terhadap sudut 2θ . Karakterisasi X-RD ini dilakukan dengan bantuan mesin Philips PW370. Tegangan diset pada 40 kV, arus 30 mA dengan menggunakan radiasi Cu-K α dengan panjang gelombang 1.54056 Å digunakan dalam analisa XRD ini. Perhitungan fraksi volume dipilih untuk sampel terdeteksi dengan persamaan

$$F_v(n) = \frac{I(n)}{I_{total}}$$

.....(2)

dengan $F_v(n)$ adalah fraksi volume fasa n yang dihitung dan $I(n)$ merupakan intensitas dari fasa n dan I_{total} adalah total intensitas yang terdeteksi.

Pengkodean Sampel

Berkenaan dengan banyaknya sampel yang akan dikarakterisasi, maka diperlukan pengkodean sampel sehingga memudahkan untuk mengetahui karakteristik yang sudah dilakukan setiap sampel. Setiap sampel diberi kode umum CMA. Karakter C merupakan konsentrasi fasa 211 yang ditambahkan yaitu sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%, M merupakan waktu penumbuhan dan A adalah waktu aniling.

Sebagai contoh sampel dengan kode C5M36A12, berarti sampel mengandung 5% fasa 211, waktu penumbuhan 36 jam dan lama proses aniling 12 jam. Dari hasil pengukuran suhu kritis untuk sampel tanpa aniling diketahui waktu penumbuhan terbaik adalah 36 jam dan untuk lebih menyederhanakan kode sampel untuk proses sintesis selanjutnya hanya diwakilkan dengan CA saja.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu Kritis

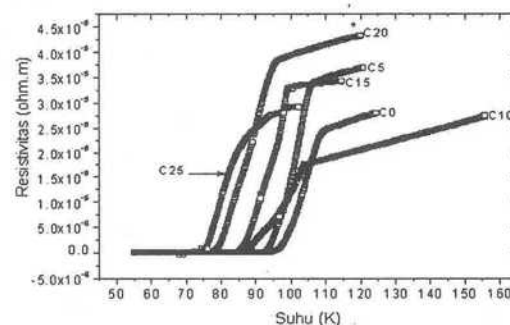
Karakterisasi suhu kritis diperoleh dari data variasi resistivitas terhadap fungsi suhu. Arus yang digunakan dalam pengukuran ini ditetapkan pada 15 mA dan jarak antar elektroda tegangan sama dengan 0.2 cm. Hasil pengukuran tegangan terhadap fungsi suhu dapat dialihkan menjadi kurva resistivitas sebagai fungsi suhu. Selanjutnya suhu kritis ditulis T_c dan $T_c \text{ nol}$ dari kurva ρ - T .

Hasil pengukuran resistivitas-suhu untuk sampel tanpa aniling oksigen dengan lama sintering 36 jam

terlihat bahwa sampel dengan campuran fase 211 relatif rendah ($C < 20\%$) telah menunjukkan gejala superkonduktivitas. Dipihak lain, sampel C20M36A0 dan C25M36A0 masih bersifat semikonduktor dengan resistivitas yang meningkat bersamaan dengan menurunnya suhu. Perlu ditambahkan bahwa sampel yang diperoleh dengan proses sintesis selama 24 jam tanpa aniling oksigen pada umumnya tidak memperlihatkan gejala superkonduktif untuk $C < 20\%$.

Suhu kritis untuk sampel dengan aniling oksigen 12 jam memperlihatkan peningkatan dibanding sampel dengan aniling oksigen 6 jam. Dengan x yang semakin besar suhu kritis yang diperoleh semakin menurun. Hal ini konsisten dengan sampel yang dianiling oksigen 6 jam.

Hasil pengukuran resistivitas-suhu dari sampel oksigenasi 24 jam dengan lama sintering 36 jam. (Gambar 4)



Gambar 4 Kurva variasi resistivitas terhadap suhu dari sampel dengan variasi konsentrasi C yang diperoleh dari proses sintesis selama 36 jam dengan aniling oksigen 24 jam.

Dari gambar 4, suhu kritis untuk sampel dengan aniling oksigen 24 jam mengalami peningkatan dari aniling oksigen sebelumnya. Suhu kritisnya akan menurun seiring dengan membesarnya x . Untuk sampel yang dianiling oksigen 30 jam, beberapa sampel dengan x tertentu mengalami penurunan suhu kritis jika dibandingkan dengan sampel yang dianiling oksigen 24 jam, akan tetapi masih terlihat kekonsistenan yaitu untuk x yang semakin besar, suhu kritis yang diperoleh akan semakin menurun.

Tabel 1 menyajikan nilai suhu kritis dari setiap sampel.

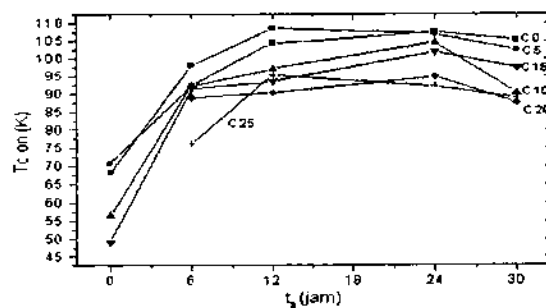
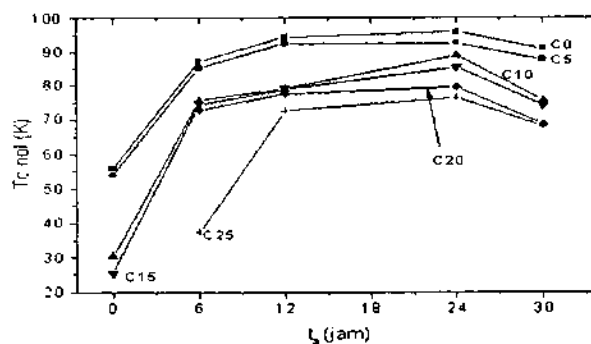
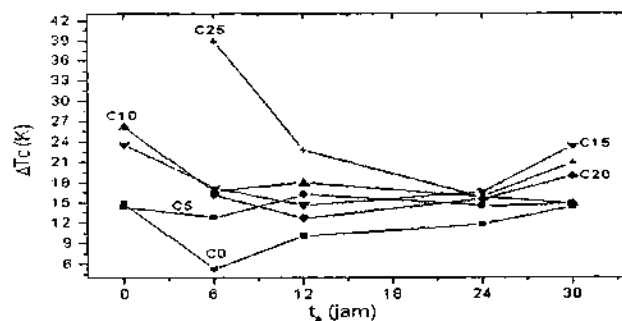
Pengukuran ρ - T diperlukan untuk menunjukkan apakah bahan sudah bersifat superkonduktor. Selanjutnya pengukuran ini juga akan menentukan suhu kritis (T_c) dari bahan yang bersifat superkonduktor. Dalam gambar IV.1 ditampilkan kurva resistivitas bahan terhadap variasi temperatur untuk sampel tanpa aniling oksigen dengan lama proses sintering 36 jam. Dalam eksperimen ini, sampel tanpa aniling oksigen setelah sintering selama 36 jam telah menunjukkan gejala superkonduktivitas, kecuali pada sampel C20M36A0

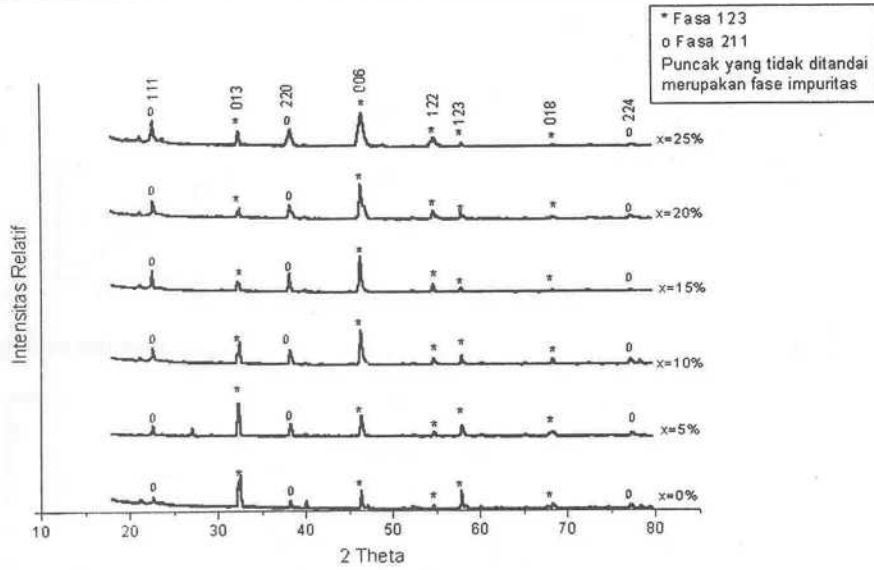
dan C25M36A0. Sampel C25M36A0 masih bersifat isolator dengan resistivitas yang meningkat terhadap menurunnya suhu. Hal ini dapat dipahami karena kandungan fasa 211 dalam kedua sampel tersebut sangat besar dalam komposisi awalnya dan kadar oksigen dalam sampel juga masih sangat rendah untuk mengubah sampel menjadi superkonduktif.

Sampel dengan lama sintering 24 jam tidak menunjukkan keadaan superkonduktif. Hal ini disebabkan oleh waktu sintering yang kurang untuk membentuk fasa superkonduktif 123 yang cukup berarti.

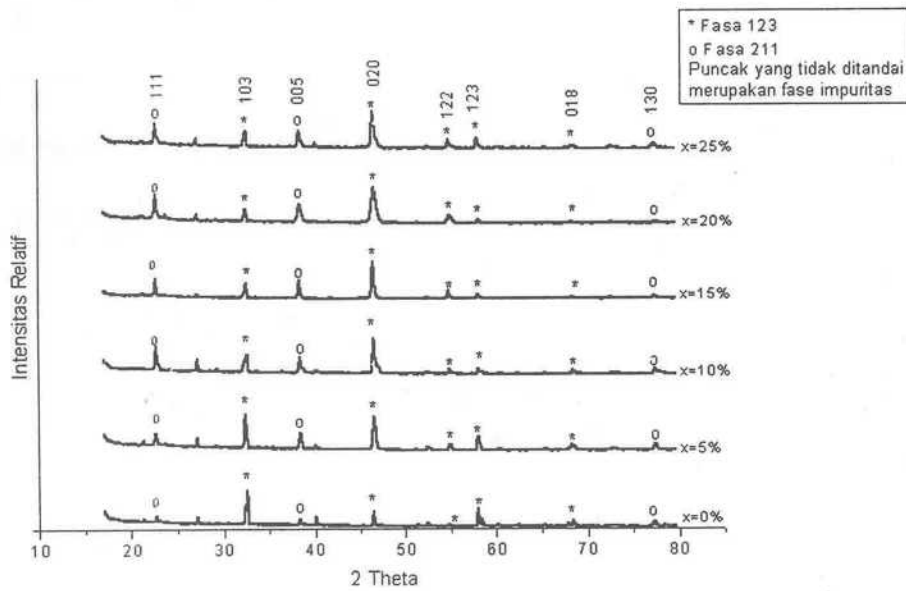
Tabel.1 Data hasil pengukuran suhu kritis

Aniling oksigen	0 jam			6 jam			12 jam			24 jam			30 jam		
Kode Sampel	Tcon (K)	Tcnol (K)	ΔT_c (K)	Tcon (K)	Tcnol (K)	ΔT_c (K)	Tcon (K)	Tcnol (K)	ΔT_c (K)	Tcon (K)	Tcnol (K)	ΔT_c (K)	Tcon (K)	Tcnol (K)	ΔT_c (K)
C0	70.74	55.96	14.78	92.32	87.08	5.24	104.47	94.4	10.07	107.63	95.88	11.75	105.37	91.01	14.36
C5	68.26	53.92	14.34	97.95	85.18	12.77	108.64	92.45	16.19	107.17	92.62	14.5	102.4	87.6	14.8
C10	56.6	30.36	26.24	92.16	75.47	16.69	97.07	79.08	17.99	104.78	88.9	15.82	90.28	75.45	14.83
C15	49.06	25.45	23.61	91.55	74.37	17.18	93.44	78.82	14.62	101.93	85.32	16.6	97.45	73.99	23.46
C20				88.86	72.76	16.1	90.22	77.52	12.7	94.91	79.45	15.46	87.49	68.59	18.9
C25				76.19	37.34	38.85	95.23	72.43	22.8	92.19	76.3	15.89	88.79	67.84	20.95

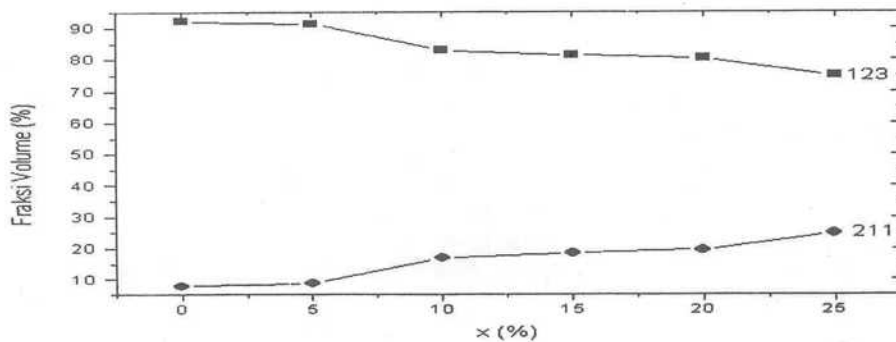
Gambar 5 Kurva T_c on terhadap waktu aniling oksigenGambar 6 Kurva T_c nol terhadap waktu aniling oksigenGambar 7 Kurva ΔT_c terhadap waktu aniling oksigen.



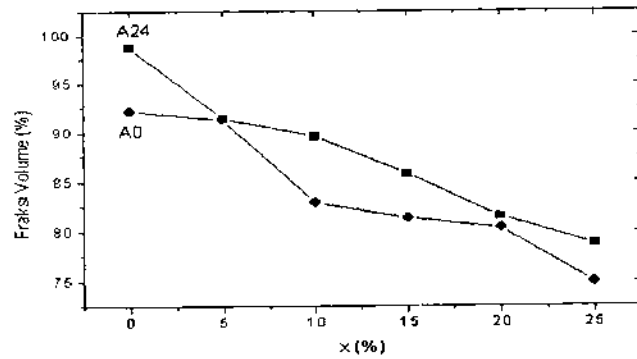
Gambar 8 Pola difraksi XRD dari sampel dengan variasi konsentrasi C yang diperoleh dari proses sintesis selama 36 jam tanpa aniling oksigen



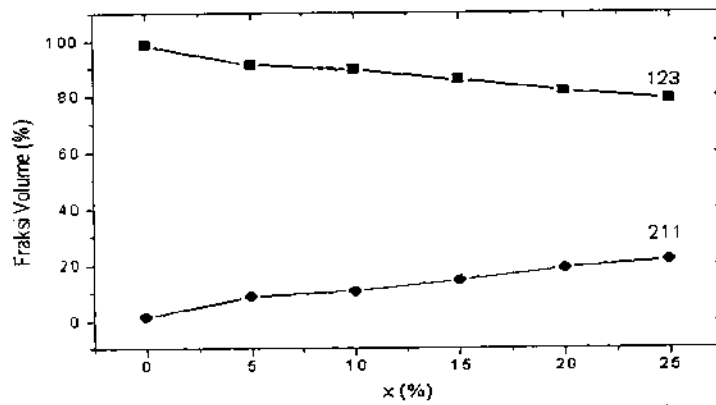
Gambar 9 Pola difraksi XRD dari sampel dengan variasi konsentrasi C yang diperoleh dari proses sintesis selama 36 jam dengan aniling oksigen 24 jam.



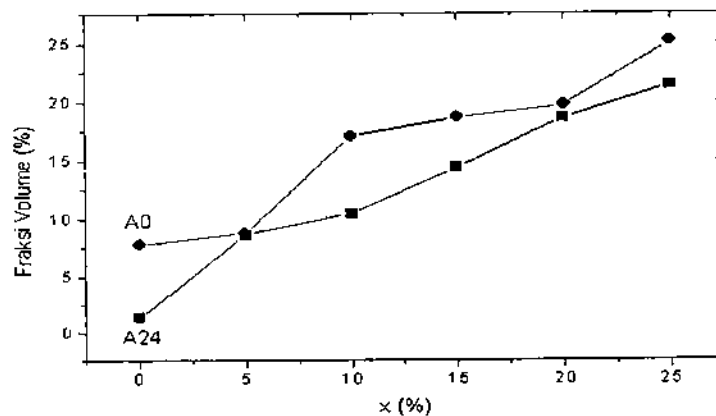
Gambar 10 Perbandingan fraksi volume terhadap x dari sampel tanpa aniling oksigen



Gambar 12 Fraksi volume 123 terhadap x dari sampel tanpa aniling oksigen dan aniling oksigen 24 jam.



Gambar 11 Fraksi volume terhadap x dari sampel dengan aniling oksigen 24 jam



Gambar 13 Fraksi volume 211 terhadap x dari sampel tanpa aniling oksigen dan aniling oksigen 24 Jam

Dari hasil pengukuran T_c tersebut terlihat bahwa sampel tanpa aniling oksigen yang dihasilkan dari proses sintering 36 jam sudah menunjukkan gejala superkonduktif. Hal ini ditandai oleh transisi kurva resistivitas yang tajam dari keadaan normal ke keadaan superkonduktivitas. Berdasarkan hasil pengukuran suhu kritis maka karakteristik lebih lanjut hanya akan dilakukan pada sampel yang dihasilkan dari proses sintering 36 jam.

Dari table 1 tampak suhu kritis meningkat secara signifikan pada setiap sampel seiring bertambahnya waktu aniling. Untuk mempermudah deskripsi korelasi antara suhu kritis, T_c dan pengaruh variasi komposisi fasa 211, data dalam tabel 1.

$T_{c\text{ on}}$ dan $T_{c\text{ nol}}$ maksimum dihasilkan oleh sampel dengan komposisi $(\text{SmEu})_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta} + 0\%$ 211 untuk semua keadaan aniling oksigen yang berbeda. Sedangkan ΔT_c minimum diperoleh dari komposisi $(\text{SmEu})_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta} + 0\%$ 211. Jadi

penambahan fasa 211 pada komposisi dasar (SmEu)1Ba2Cu3O7- δ secara umum akan mengakibatkan penurunan Tc nol dan memperbesar ΔT_c . Ini jelas berkaitan dengan semakin besarnya impuritas di dalam bahan fraksi fasa superkonduktif yang berkurang. Gambar 5, 6 dan 7 menunjukkan korelasi antara suhu kritis dengan waktu aniling oksigen.

Jelas dari gambar 5 dan 6 bahwa proses aniling oksigen menghasilkan sifat superkonduktif yang lebih baik yang ditandai dengan suhu kritis, Tc yang semakin meningkat. Peningkatan suhu kritis ini diduga sebagai hasil membaiknya konektivitas butir. Dapat ditambahkan dalam hubungan ini bahwa sampel yang tidak dianiling oksigen relatif rapuh dan mudah patah sedangkan sampel yang telah dianiling memiliki sifat mekanik yang lebih baik. Namun proses aniling oksigen yang terlalu lama juga dapat menurunkan Tc seiring dengan membesarnya ΔT_c . Dalam eksperimen ini waktu aniling oksigen optimum adalah 24 jam.

Dari hasil pengukuran resistivitas terhadap suhu diketahui Tc tertinggi diperoleh dari sampel C0A24 dengan Tc on 107.63 K dan Tc nol 95.88 K dan lebar transisi (ΔT_c) 11.75 K. Besarnya ΔT_c ini dapat dipengaruhi oleh kehomogenan bahan atau kehadiran cacat dalam bahan.

X-Ray Diffraction

Hasil karakterisasi X-RD pada sampel tanpa aniling oksigen dan dengan aniling oksigen 24 jam akan disajikan dalam gambar 8. Pola difraksi yang ditampilkan telah dinormalisasi dengan intensitas tertinggi dari masing-masing sampel. Dari ini tampak puncak yang mengidentifikasi dengan fasa 211 semakin meningkat dengan membesarnya x sebaliknya puncak yang diidentifikasi dengan fasa 123 semakin menurun seiring dengan membesarnya x, terkecuali puncak pada $2\theta = 46.9$, yang terlihat semakin meningkat dan melebar dan hal ini menunjukkan adanya kemungkinan pengaruh kehadiran fasa lain yang memiliki puncak berdekatan.

Hasil pengukuran yang dilukiskan pada gambar 9 dari keenam sampel memperlihatkan pola yang serupa dengan puncak-puncak utama muncul pada sudut 2θ yang sama.

Difraksi sinar-X digunakan untuk menganalisa fasa-fasa yang terbentuk selama proses pelelehan. Dalam gambar 8 dan 9 ditampilkan pola difraksi untuk setiap sampel sebelum dan setelah aniling oksigen selama 24 jam. Tampak keenam sampel pada kedua gambar tersebut memperlihatkan pola yang sama yaitu puncak-puncak utama muncul pada sudut 2θ yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa sampel mengandung senyawa atau fasa yang sama. Dengan demikian proses sintesis yang meliputi

kalsinasi dan pelelehannya sudah dapat menghasilkan fasa 123 yang diharapkan. Selanjutnya dari pola difraksi tersebut dapat dianalisis fasa 211 yang terbentuk seperti dijelaskan berikut ini.

Fraksi Volume

Dari data difraksi dapat diperkirakan fraksi volume dari fasa-fasa yang ada di dalam bahan, termasuk fasa superkonduktif yang memang diharapkan hadir dalam bahan tersebut maupun fasa impuritas yang terbentuk. Untuk fasa tertentu misalkan n, perbandingan fraksi volume $F_v(n)$ dapat diperkirakan menurut persamaan

$$F_v(n) = \frac{\sum I(f_n)}{I_{total}} \dots\dots\dots(3)$$

dengan $\sum I(f_n)$ menyatakan jumlah intensitas dari fasa f_n yang ditinjau dan I_{total} adalah jumlah intensitas dari fasa 123 dan fasa 211. Fraksi volume dari fasa 123 dan 211 yang terbentuk dalam sampel pada eksperimen ini dapat dilihat seperti gambar dibawah ini.

Dari gambar 10, terlihat bahwa penambahan x (fasa 211) akan menyebabkan berkurangnya fasa 123 yang terbentuk, dan peningkatan fraksi volume 211 yang cukup signifikan.

Pola fraksi volume untuk sampel dengan lama aniling oksigen 24 jam yang ditunjukkan gambar 11 sama seperti sampel tanpa aniling oksigen, yaitu fraksi volume 123 yang terbentuk akan semakin berkurang dengan penambahan x seiring dengan meningkatnya fraksi volume fase 211.

Gambar 12 akan menunjukkan pengaruh aniling oksigen terhadap jumlah fraksi volume 123 dan 211.

Dari gambar 12 dan 13 dapat disimpulkan bahwa secara umum masuknya oksigen menyebabkan fraksi volume fasa 123 meningkat.

KESIMPULAN

Bahan superkonduktor (SmEu)1Ba2Cu3O7- δ + x % 211 dengan variasi x dari 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% menggunakan proses pelelehan Melt Textured growth (MTG) dengan waktu sintering fasa (123) selama 36 jam yang dilengkapi dengan variasi lama waktu aniling oksigen pada suhu 325 oC. Dari hasil karakterisasinya dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Suhu kritis tertinggi dicapai oleh sampel C0A24 yaitu Tc on 107.63 K, Tc nol 95.88 K dan ΔT_c 11.75 K. Hal ini bersesuaian dengan fraksi volume 123 yang paling besar.

Penambahan fasa 211 secara umum menyebabkan menurunnya Tc. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya fasa 123 yang merupakan fasa superkonduktif. Waktu aniling optimum adalah 24 jam.

Proses MTG (Melt Textured Growth) yang telah dilakukan pada eksperimen ini telah berhasil menumbuhkan fasa 123 dan 211.

Fraksi volume 123 terbesar (98.7%) diperoleh sampel B0A24 sedangkan fraksi volume 211 terbesar (25.11%) diperoleh sampel B25A0.

Penambahan fasa 211 sangat berpengaruh terhadap struktur mikro sampel. Semakin banyak fasa 211, kualitas butiran kristal yang dihasilkan semakin berkurang.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Hu, N. Sakai, K. Ogaswara, M. Murakami, *Physica C* 000 (2001) 000-000.
- David Lanbalestier, *Critical Currents and Magnet Application of High T_c Superconductivity*, Physic Today, 199.
- E. A. Goodilin, N. N. Oleynikov, E. V. Antipov, *Physica C* 272 (1996) 65-78.
- E. Goodilin, M. Kambara, T. Umeda, Y. Shiohara, *Physica C* 289 (1997). 37-50.
- E. M. Savitskii, V. V. Baron, *Superconducting Materials*, Plenum Press, London, 1973.
- M. Kambara, M. Nakamura, Y. Shiohara, T. Umeda, *Physica C* 275 (1997) 127-134.
- M. Murakami, *Melt Processed High Temperature Superconductors*, World Scientific, London, 1992.
- M. R. Koblishka, M. Muralidhar, M. Murakami, *Physica C* 337(2000), 31-38.
- M. Tinkham, *Introduction to Superconductivity*, second edition, McGraw-Hill, Inc (1996).
- Noriko Chikumoto, Marcin Konecny Keowski, *Superconductor Science and Technology* 14 (2001) 663-665.
- Rid Martin, *Pembuatan Superkonduktor NdBa2Cu3O7- δ dengan Proses Melt Textured Melt Growth*, Tesis magister, Jurusan Teknik Material, Institut Teknologi Bandung, 2002.
- Terry P. Orlando, Kevin A. Delin, *Foundation of Applied Superconductivity*, Addison Wesley, 1991.
- V. V. Petrykin, E. A. Goodilin, J. Hester, *Physica C* 357-360 (2001) 388-392.
- W. Assmus, W. Schimidbave, *Superconductor Science Technology* 6 (1993), 555-566.