

SINTESIS SUPERKONDUKTOR $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ SECARA KOPRESIPITASI UNTUK APLIKASI INDUSTRI NUKLIR

Yustinus Purwamargapratala

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) – BATAN

Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang

ABSTRAK

SINTESIS SUPERKONDUKTOR $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ SECARA KOPRESIPITASI UNTUK APLIKASI INDUSTRI NUKLIR. Telah dilakukan penelitian sintesa superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO-123) secara kopresipitasi. Campuran garam-garam nitrat dengan komposisi stoikiometris 1:2:3 diatur tingkat keasamannya dengan penambahan amonia sehingga terjadi pengendapan bersama. Dengan perlakuan panas untuk proses pirolisis, kalsinasi, dan sinter maka didapatkan superkonduktor. Hasil uji meissner menunjukkan adanya levitasi, observasi *x-ray diffraction* menunjukkan adanya fasa YBCO-123, hal ini didukung dengan adanya morfologi YBCO-123 dari hasil *scanning electro microscopic*, sedangkan hasil pengukuran *LCR meter* menunjukkan fenomena konduktansi yang meningkat dengan penurunan temperatur.

Kata kunci : sintesa, $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, kopresipitasi, industri nuklir

ABSTRACT

SYNTHESIS OF $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ SUPERCONDUCTOR BY COPRESIPITATION FOR NUCLEAR INDUSTRY APPLICATIONS. Synthesis research has been done superconducting $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO-123) in copresipitation. Mixture of nitrate salts with 1:2:3 composition stoichiometry acid levels regulated by the addition of ammonia that occur with precipitation. With heat treatment for pyrolysis process, calcination, and sintering the obtained superconductors. Meissner test results indicate levitation, observed X-ray diffraction showed the existence of YBCO-123 phase, it is supported by the morphology of the YBCO-123 scanning electro microscopic results, while the LCR meter measurement results show that the phenomenon of conductance increases with decreasing temperature.

Keywords: synthesis, $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, copresipitation, nuclear industry

PENDAHULUAN

Sistem reaktor fusi terdiri dari bagian plasma teras, selimut, bejana vakum, magnet superkonduktor, dan lain-lain. Dibandingkan dengan reaktor fisi, reaktor fusi tidak akan mengalami lepas kendali, dan sedikit menghasilkan produk radioaktif, sehingga

memiliki tingkat keselamatan yang tinggi. Ada dua cara untuk menahan plasma sehingga tidak bersentuhan dengan dinding reaktor. Cara pertama adalah dengan mengeksploitasi inersia (massa) partikel. Pada metode ini bahan bakar fusi berbentuk pelet ditembaki dengan partikel berenergi tinggi atau dengan sinar laser dari segala

arah. Hasilnya berupa partikel α dan neutron bergerak ke arah dinding reaktor untuk diserap energinya. Metode ini dinamakan *inertial confinement*. Cara yang kedua memanfaatkan mutan partikel. Partikel-partikel bermuatan (dalam hal ini plasma) dapat dijaga agar mengorbit pada satu lintasan di dalam reaktor dengan menggunakan medan magnet superkuat yang dibangkitkan oleh superkonduktor. Pada *magnetic confinement* ini, superkonduktor berguna untuk menahan plasma bersuhu sekitar 50 juta derajat celsius agar tetap berada di tengah-tengah tokamak itu. Sebagian besar neutron yang dihasilkan dalam proses fusi akan terhambur ke dinding pertama tokamak yang harus dibuat dari material khusus mengingat beban panas yang dialaminya berkisar 10 juta watt per meter kuadrat. Neutron yang diserap dinding ini akan melepaskan sebagian besar energinya. Energi inilah yang kelak dipergunakan menggerakkan turbin pembangkit listrik.

Dinding ini juga berguna sebagai media untuk proses *breeding* tritium untuk kembali diinjeksikan ke dalam plasma sebagai bahan bakar. Contoh reaktor tipe ini adalah Tokamak Fusion Test Reactor (TFTR) yang dibangun di Princeton USA, Joint European Torus di Culham Laboratory Oxford Inggris, atau Tokamak JT-60 yang baru dibangun di Jepang.

Negara-negara Eropa, Jepang, Rusia, dan Amerika Serikat bergabung membangun *International Thermo-nuclear Experimental Reactor* (ITER) yang akan menjadi tokamak terbesar di dunia. ITER dibangun untuk menyelidiki efisiensi pembakaran termonuklir dan mekanisme pengendalian plasma. Untuk tujuan ini, ITER memfokuskan diri pada pembangunan superkonduktor terbesar di dunia, penguasaan teknologi *cryogenic*, kerapatan tinggi, pembiakan serta penanganan tritium,

pemanasan plasma, pengendalian jarak jauh, dan robotika, yang belum pernah ada sebelumnya. ^[1-2]

Penggunaan superkonduktor memungkinkan tidak ada energi yang terbuang ketika superkonduktor menghantar arus listrik. Dengan tidak adanya resistansi dalam superkonduktor maka sirkuit yang menggunakan superkonduktor tidak akan menjadi panas sehingga semakin banyak sirkuit yang bisa dikompres dimensinya. Dengan menggunakan konduktor biasa, maka semakin banyak material yang dikompres mengakibatkan sirkuit bisa terbakar karena panas yang terakumulasi dari resistansi material tersebut. Superkonduktor bisa berfungsi sebagai transistor yang dapat mengamplifikasi *signal* listrik dengan sangat cepat dan dapat mendeteksi medan magnet yang sangat kecil ^[3].

Banyak jenis material superkonduktor yang telah diteliti antara lain BSCCO, YBCO, GdBaCuO, dan lain-lain. Penelitian tersebut menggunakan berbagai metode reaksi kimia basah atau pun *solid state reaction*. Penelitian menggunakan metode kimia basah yang telah dilakukan misalnya metode sol-gel dan metode *molten salt* ^[4-9]. Metode kopresipitasi merupakan bagian dari metode reaksi kimia basah, yang merupakan pengembangan dari metode presipitasi.

Pada metode presipitasi, masing-masing material dasar diendapkan dengan suatu reaktan. Hasil pengendapan tersebut kemudian digabungkan untuk pembentukan senyawaan yang diharapkan secara stoikiometris. Pada metode kopresipitasi material-material dasar diendapkan bersama secara stoikiometris dengan reaktan tertentu. Dengan demikian alur proses metode kopresipitasi lebih sederhana daripada presipitasi.

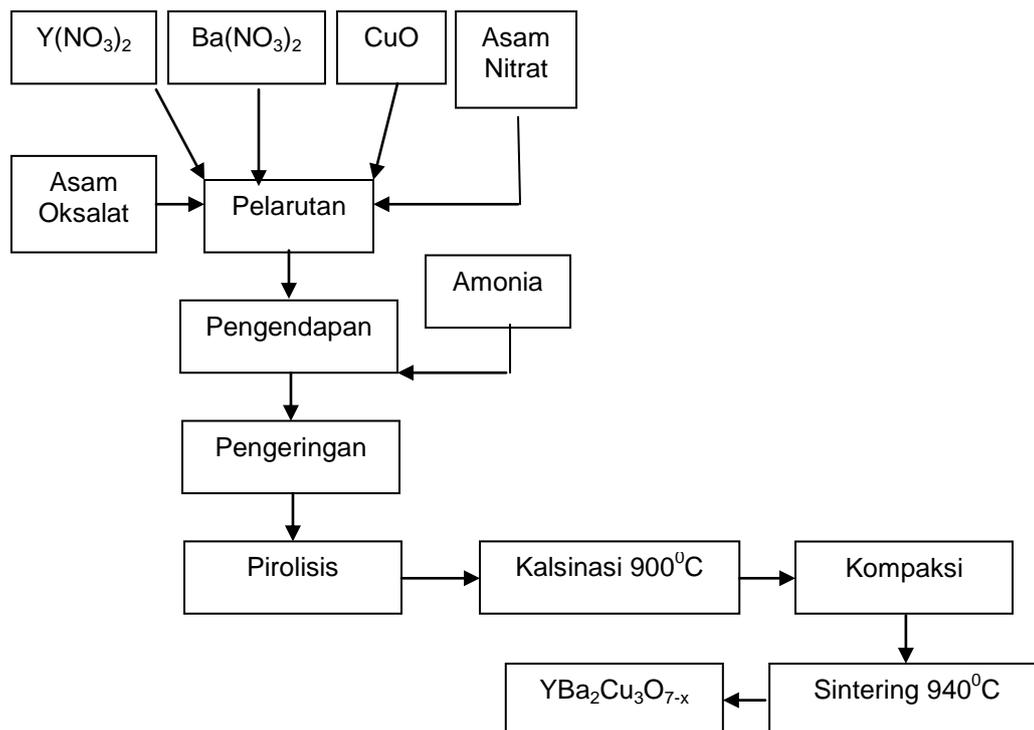
Pada penelitian ini digunakan metode kopresipitasi. Metode kopresipitasi dilakukan dengan cara melarutkan bahan pembentuk superkonduktor YBCO-123, yaitu garam-garam nitratnya. Dengan pengaturan kondisi fasa cairnya maka akan terjadi pengendapan bersama yaitu kopresipitasi dari ytrium, barium, dan tembaga. Perlakuan panas yang diberikan terhadap endapan tersebut akan membentuk suatu oksida secara stoikiometris yang merupakan superkonduktor YBCO-123.

Dengan metode ini diharapkan dapat terbentuk superkonduktor yang stoikiometris berukuran butir sangat kecil dan memperbaiki sifat fisisnya yaitu efek meissner, konduktifitas, morfologi, struktur fasa, dan

lain-lain. Untuk itu hasil sintesa dikarakterisasi dengan uji efek meissner, *impedance conductance resistance meter (LCR)*, *X-ray diffractometer (XRD)*, dan *scanning electro microscopy (SEM)*.

TATA KERJA

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ytrium nitrat, barium nitrat, tembaga oksida, asam oksalat, asam nitrat, ammonia. Sedangkan peralatan yang digunakan adalah neraca semi analitis, peralatan gelas, alat uji meissner, pengaduk dan pemanas magnet, alat kompaksi, *X-ray diffractometer*, dan LCR-meter.

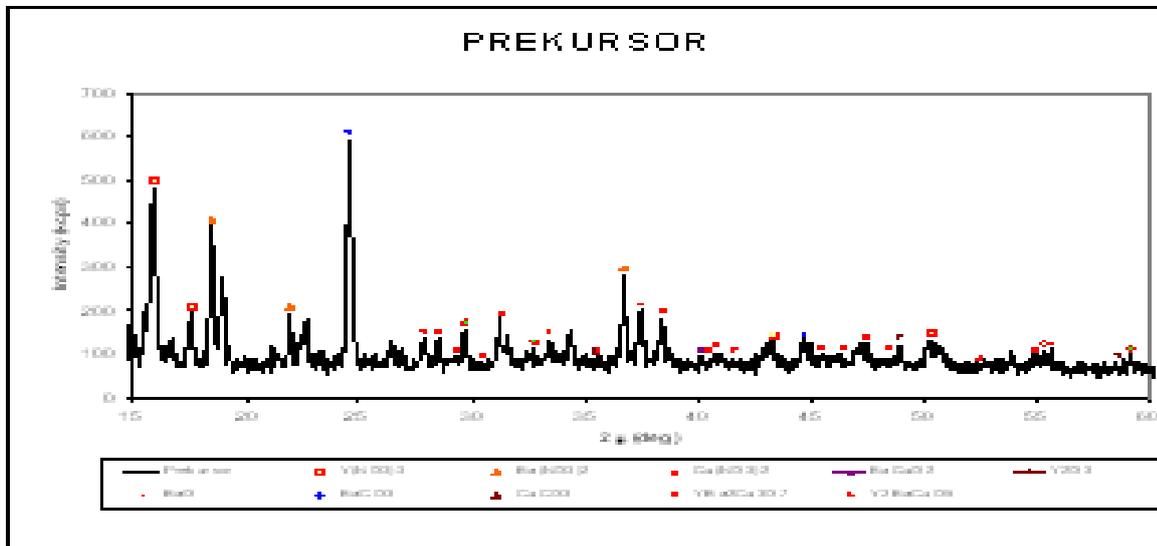


Gambar 1. Alur proses sintesa superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ dengan metode kopresipitasi

Bahan garam-garam nitrat dari ytrium dan barium dicampur dengan tembaga oksida dan asam oksalat dengan perbandingan mol 1:2:3. Ditambahkan asam nitrat sebagai pelarut. Larutan diendapkan kembali dengan penambahan ammonia pekat. Campuran endapan dan larutan diaduk dan dipanaskan sehingga terjadi pengeringan. Tahapan berikutnya adalah pirolisis suhu 300 °C hasil pirolisis berupa gumpalan serbuk sehingga perlu digerus dengan mortar dan dikalsinasi pada suhu 900 °C selama 10 jam, serbuk halus yang didapatkan kemudian dikompaksi. Hasil kompaksi berupa pelet dengan diameter 1,5 cm dan ketebalan sekitar 3 mm, disinter pada suhu 940 °C selama 10 jam. Superkonduktor yang didapatkan dikarakterisasi menggunakan alat uji meisner, X-ray difractometer (XRD), *Scanning Electro Microscopy* (SEM) dan *Impedance Conductance Resistance meter* (LCR).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Garam-garam nitrat yang dilarutkan dalam air dengan komposisi tertentu akan melarut sehingga pada tahapan pencampuran semua reaktan dalam bentuk larutan. Penambahan asam oksalat, dan ammonia akan mengkondisikan tingkat keasaman yang sesuai untuk terjadinya pengendapan bersama (kopresipitasi) ytrium, barium, dan tembaga. Pengaturan keasaman (pH) dilakukan sangat berhati-hati dan perlahan serta diikuti pengadukan dengan kecepatan putar yang stabil dan dilakukan di ruang asam sehingga pengendapan terjadi secara efektif dan homogen. Campuran berupa *slurry* berwarna biru muda kebiru berlin, hal ini menunjukkan terjadinya pengendapan. Hasil penge-ringan bahan ini berupa gel dan dicuplik sebagai cuplikan prekursor dan dianalisis dengan difraksi sinar-X (XRD).



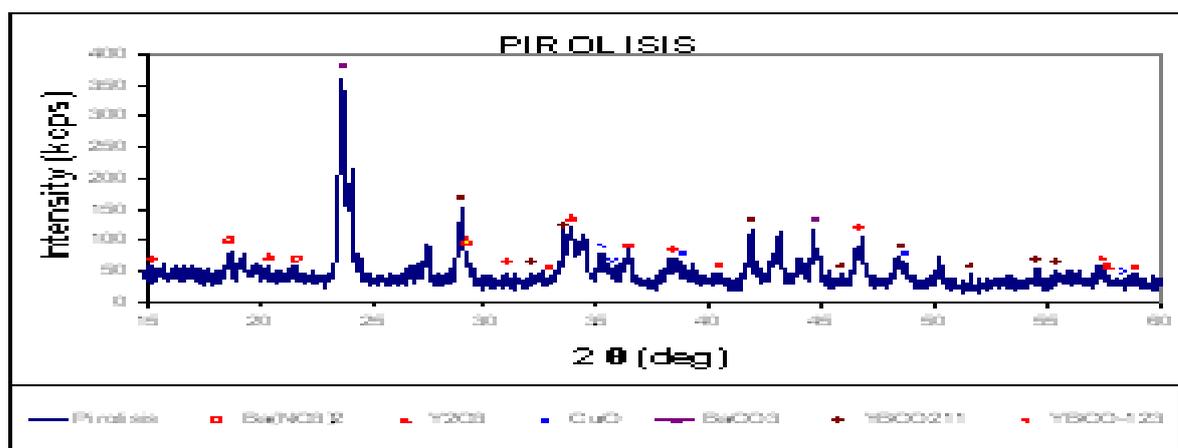
Gambar 2. Pola difraksi sinar-X cuplikan prekursor

Hasil analisis prekursor seperti diperlihatkan pada Gambar 2, yang menunjukkan bahwa hasil kopresipitasi merupakan campuran dari fasa YBCO-123, YBCO-211, $\text{Y}(\text{NO}_3)_3$, BaCO_3 , dan CuCO_3 . Hal ini menunjukkan bahwa pada tahap kopresipitasi yang dilakukan dengan pH 7 telah terbentuk YBCO-123 meskipun dengan fraksi massa yang masih kecil. Adanya YBCO-211 menunjukkan bahwa sebagian Y, Ba, dan Cu membentuk fasa 211, sedangkan sisanya masih dalam bentuk nitrat dan karbonat.

Proses pirolisis dilakukan dengan memanaskan prekursor pada suhu $350\text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam di dalam tungku pemanas, tungku tersebut dilengkapi dengan instalasi pirolisis untuk menangani gas yang dihasilkan. Gas hasil pirolisis merupakan gas

beracun, yang pada tahap awal berwarna kekuningan dan akhirnya tak berwarna. Proses pirolisis ini untuk menghilangkan gas-gas yang tidak diharapkan.

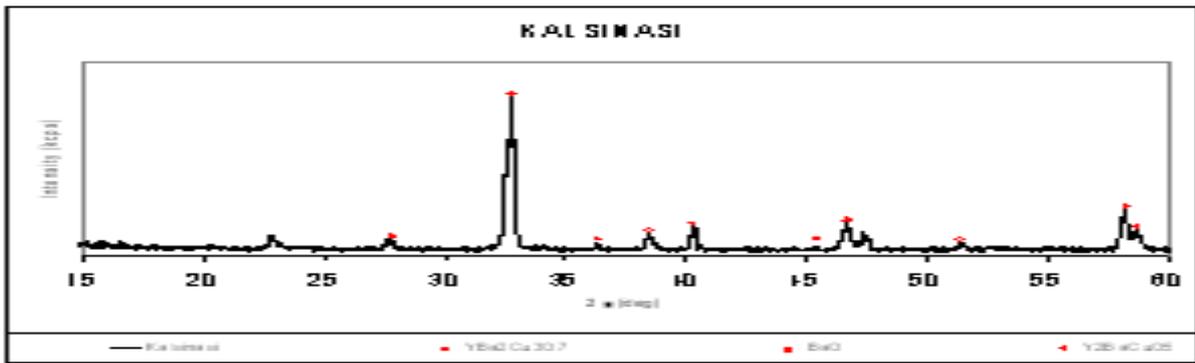
Hasil pirolisis berupa serbuk berwarna coklat kehitaman dan dianalisis menggunakan difraksi sinar-X. Pola difraksi sinar-X diperlihatkan pada Gambar 3. Gambar 3. tersebut menunjukkan bahwa hasil proses pirolisis adalah berupa oksida-oksida YBCO-123, YBCO-211, Y_2O_3 , BaCO_3 , BaO, dan CuO sedangkan hasil proses yang berupa gas CO_2 , CO, NO_2 , dan NO merupakan gas yang beracun dihisap melalui instalasi pirolisis. Instalasi ini selain berfungsi menghisap gas dan juga melarutkan gas tersebut dalam media air sebelum dibuang ke lingkungan.



Gambar 3. Pola difraksi sinar-X cuplikan hasil pirolisis.

Adanya BaCO_3 dalam cuplikan hasil pirolisis mungkin terjadi karena titik leleh dari BaCO_3 $810\text{ }^\circ\text{C}$ belum tercapai, dengan demikian belum terjadi degradasi BaCO_3 .

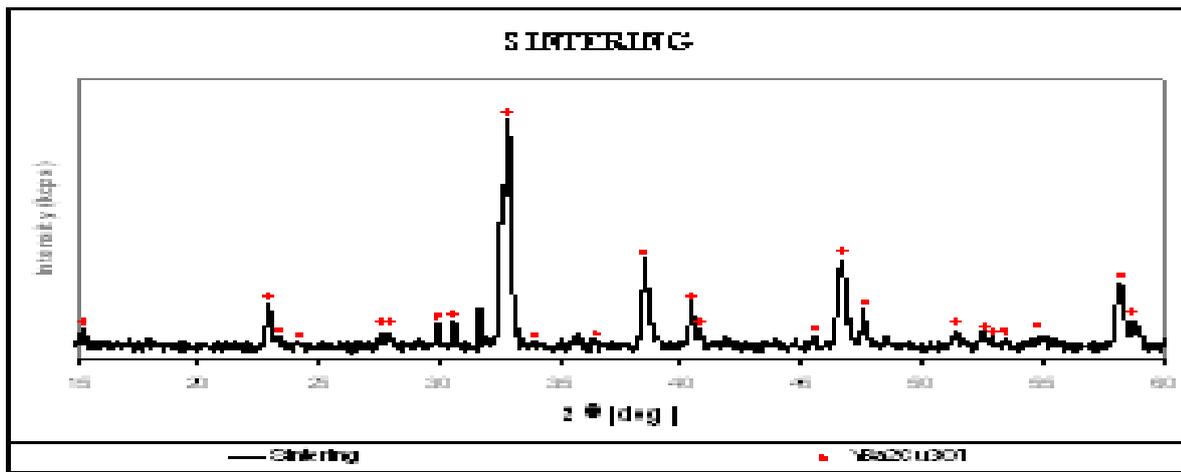
Proses kalsinasi dilakukan pada suhu puncak $900\text{ }^\circ\text{C}$ sebanyak tiga kali masing-masing selama 10 jam. Hasil kalsinasi dianalisis dengan difraksi sinar-X dan diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pola difraksi sinar-X cuplikan hasil kalsinasi.

Gambar 4. menunjukkan bahwa hasil kalsinasi terdiri dari fasa YBCO-123, YBCO-211 dan BaO. Keberadaan fasa BaO ini menunjukkan bahwa pada tahap kalsinasi belum semua komponen membentuk YBCO-123. Hal ini didukung oleh munculnya YBCO-

211. Sedangkan pada hasil sinter cuplikan tersebut menunjukkan bahwa fasa yang muncul adalah YBCO-123, fasa lain tidak nampak, seperti diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pola difraksi sinar-X cuplikan

Hasil ini menunjukkan bahwa fasa 211 telah bereaksi dengan BaO dan menghasilkan YBCO-123 sehingga fraksi fasa 123 meningkat.

Pembuktian adanya superkonduktor YBCO-123 antara lain dengan cara melakukan pengujian efek Meissner. Pengujian ini

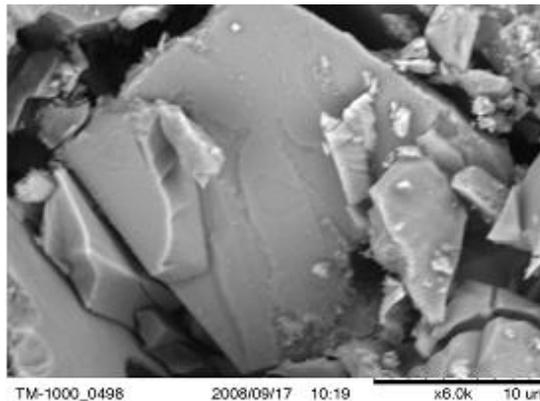
dilakukan dengan mendinginkan cuplikan di dalam nitrogen cair kemudian meletakkan cuplikan tersebut di atas magnet permanen. Cuplikan tersebut yang menunjukkan levitasi di atas magnet membuktikan adanya fasa superkonduktor.



Gambar 6. Uji efek Meissner

Pembuktian lain adanya fasa superkonduktor YBCO-123 adalah dengan pengamatan morfologi. Pengamatan yang dilakukan dengan SEM (*Scanning Electron*

Microscopic) terhadap cuplikan hasil kopresipitasi diperlihatkan pada Gambar 7. Gambar 7. menunjukkan morfologi superkonduktor YBCO-123.

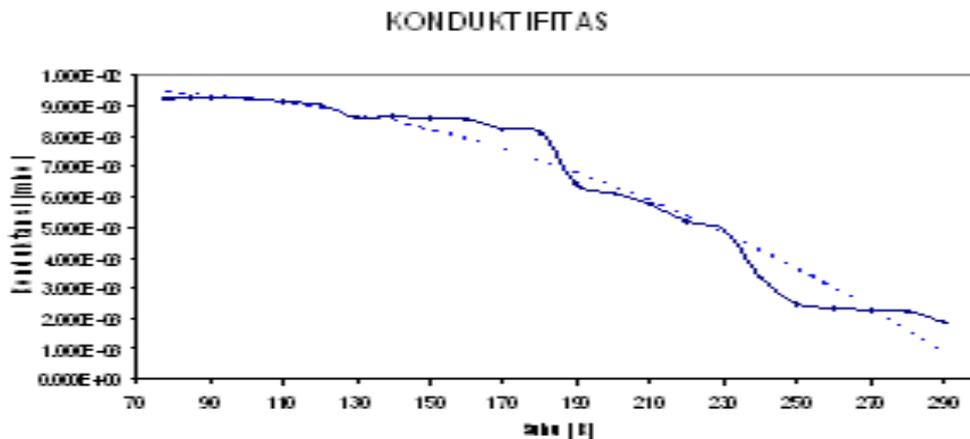


Gambar 7. Morfologi cuplikan hasil sintering

Pengukuran dengan menggunakan *LCR meter* variasi suhu cuplikan 80-300 K menunjukkan adanya pola superkonduktifitas, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.

Pada Gambar 8, terlihat bahwa ada hubungan erat antara suhu dan nilai konduktifitas cuplikan. Pada suhu semakin rendah nilai konduktifitasnya semakin meningkat, hal ini menunjukkan karakteristik dari superkonduktor. Peningkatan nilai konduktifitas ini terjadi karena cuplikan

mengarah pada suhu kritisnya, dimana pada suhu kritis maka resistansi superkonduktor adalah nol sehingga tercapai konduktifitas maksimumnya. Dalam sistem pengukuran, resistansi dipengaruhi oleh faktor kontak dan impuritas bahan sehingga nilai resistansi nol ini dalam pengukuran sulit tercapai maka dilakukan pendekatan konduktifitas pada suhu nitrogen cair (77 K) adalah $9,3 \times 10^{-3}$ mho.



Gambar 8. Kurva hasil pengukuran konduk tiftas cuplikan hasil sintering.

SIMPULAN

Superkonduktor YBCO-123 dapat disintesa dengan metode kopresipitasi yaitu dengan menggunakan garam-garam nitrat ytrium, barium, dan tembaga. Pengaturan tingkat keasaman merupakan bagian sangat penting dalam kopresipitasi. Nilai konduktifitas superkonduktor YBCO-123 hasil sintesa adalah $9,3 \times 10^{-3}$ S/ cm.

DAFTAR PUSTAKA

1. YUDIONO, "Tahun 2050 Reaktor Fusi Dioperasikan", Jakarta , Kompas, 23 Juli 2004.
2. KOMPAS MINGGU, " Menunggu Rampungnya Raktor Fusi", Jakarta, 14 April 1996
3. INFOTEKKOM, "Sifat-Sifat Superkonduktor", Jakarta, 24 April 2008.
4. YUSTINUS PURWAMARGAPRATALA DAN WISNU ARI ADI, " Interaksi Ag dengan superkonduktor BSCCO fasa 2223", Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Universitas Trisakti, Jakarta Volume 8, Nomor 1, Januari 2006, Terakreditasi Nomor 39/DIKTI/Kep/2004, Halaman 10-20.
5. YUSTINUS PURWAMARGAPRATALA, WISNU A ADI, ENKIR S, UKIRMAN DAN DIDIN, " Karakterisasi Sifat Intrinsik Ring $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ Tanpa dan Dengan Bahan Aditif PVA", *Jurnal Sains Materi Indonesia*, ISSN 1411-1098, Edisi Khusus Oktober 2006, Halaman 160-165. Akreditasi No.39/DIKTI/KEP/2004
6. YUSTINUS PURWAMARGAPRATALA, ENKIR SUKIRMAN DAN DIDIN S., "Pengaruh Suhu dan Waktu Sinter Terhadap Penumbuhan Fasa Superkonduktor $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ ", *Jurnal Sains Materi Indonesia*, ISSN 1411-1098, Edisi Khusus Oktober 2007, Halaman 77-82. Akreditasi No.39/DIKTI/KEP/2004
7. ENKIR SUKIRMAN, YUSTINUS P, WISNU A ADI, DAN DIDIN S., " Pengaruh Prekursor Nonstoikiometris Terhadap Pembentukanm Fasa Superkonduktor YBCO Pengaruh Dopping Ca Terhadap Struktur Kristal Superkonduktor YBCO", *Jurnal Sains Materi Indonesia*, ISSN 1411-1098, Edisi Khusus Desember 2008, Halaman 187-194.
8. DIDIN S., YUSTINUS P, WISNU A ADI DAN, E SUKIRMAN, "Pengaruh Annealing Terhadap Pembentukan Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ Fasa 123 Hasil High Energy Milling ", *Jurnal Sains Materi*

Indonesia, ISSN 1411-1098, Edisi Khusus
Desember 2008, Halaman 181-186.

9. ENKIR SUKIRMAN, WISNU ARI ADI,
DIDIN S. DAN YUSTINUS P.,” Proses

Pelelehan $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ”, *Prosiding
Pertemuan Ilmiah Iptek Bahan '04*,
Serpong, 7 September 2004, Halaman
233-240.