



# SINTESIS KRISTAL SUPERKONDUKTOR Bi-2223 DENGAN METODE SELF-FLUKS

## SKRIPSI

Dijadikan Untuk Memenuhi Persyaratan Penyelesaian Program Sarjana Sains  
Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Jember

Oleh

**Andy Fathur Rahman**

**NIM. 991810201076**

Asal	: Hadrah	Klasifikasi 537.623 RAH S
Terima Tgl:	22 JAN 2004	
No. Induk :		



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2004**

MOTTO

“ Sebaik-baiknya manusia adalah manusia yang bermanfaat bagi lingkungannya ”

“ Akan lahir dari ilmu : kemuliaan walaupun orangnya hina, kekuatan walaupun orangnya lemah, kedekatan walupun orangnya jauh, kekayaan walaupun orangnya fakir, dan kewibawaan walupun orangnya tawadhu ”

(Wahab bin Munabbih)



## HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan segenap hormat, puja dan puji syukur kehadiran **Allah swt.** yang dengan pertolongan dan ridho'Nya penulisan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini penulis persembahkan untuk:

- ❶ Ayahanda Sutrisno dan Ibunda Siti Fatimah yang telah memberikan curahan kasih sayang terlebih dalam bantuan materi, motivasi serta do'a, semoga ananda dapat berhasil.
- ❷ Kakak-kakakku tercinta : Mas Gianto dan Mas Hery yang telah banyak memberikan materi, semangat, terlebih bantuan di dalam do'a.
- ❸ Almamater Universitas Jember yang telah memberikanku ilmu pengetahuan.
- ❹ Dinda Yuriati yang membantu baik suka maupun duka, terlebih memberikan bantuan do'a.
- ❺ Teman-teman tim superkonduktor : Faizah, Novi, Hendro, Ririn, Rieke dan Irgi'.
- ❻ Teman-teman di rental computer : Zoom Multiplayer, Yahoo, Langitan dan Rg-com.
- ❼ Buat adik-adikku Tridente Cs : Ali, Yudha dan Nughie.
- ❽ Semua pihak yang terkait yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya yang tidak dapat penulis sampaikan melalui kata-kata.

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diterima oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Jember Pada:

Hari : **SENIN**

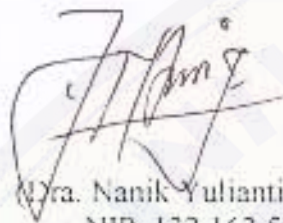
Tanggal : **27 DEC 2004**

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

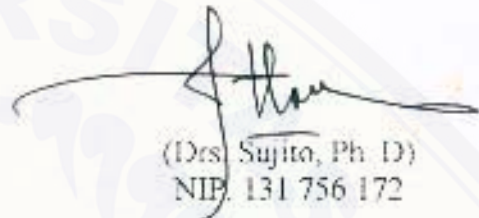
Tim Penguji

Ketua (Dosen Pembimbing Utama)

Sekretaris (Dosen Pembimbing Anggota)



(Dra. Nanik Yulianti, M. Si)  
NIP. 132 162 508



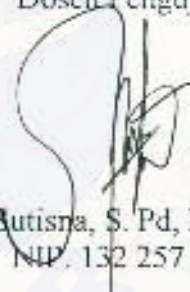
(Drs. Sujito, Ph. D)  
NIP. 131 756 172

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II



(Artoto Arkundato, M. Si)  
NIP. 132 236 059



(Sutisna, S. Pd, M. Si)  
NIP. 132 257 929

Mengesahkan  
Dekan FMIPA UNEJ



(Ir. Sumadi, M. S)  
NIP. 130 368 784

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah S.W.T yang telah melimpahkan taufik, rahmat dan hidayahnya sehingga skripsi ini dapat selesai. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada Ibu Dra. Nanik Yulianti, M.Si selaku dosen pembimbing utama (DPU) dan Bapak Drs. Sujito, Ph.D selaku dosen pembimbing anggota (DPA) yang penuh kesabaran telah membimbing dan memberi masukan kepada penulis mulai dari topik sampai selesai skripsi ini.

Banyak pihak telah memberi kontribusi dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Penulis ucapkan terima kasih kepada Bapak Sutisna, M. Si dan Bapak Agus Supriyanto, M. Si yang telah memberikan ijin penggunaan fasilitas yang ada di Laboratorium Fisika Material serta Laboratorium Elektronika dan Komputasi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan oleh karena itu penulis mengharap kritik dan saran baik dari tim penguji maupun dari rekan-rekan sekalian. Akhir kata besar harapan penulis semoga dengan segala kekurangan, skripsi ini dapat diterima dan memberikan kontribusi terhadap penelitian yang akan dilakukan selanjutnya.

Jember, November 2004

Penulis,

### Deklarasi

Skripsi ini berisi hasil penelitian bulan Februari 2004 sampai dengan Oktober 2004 di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika dan Laboratorium Kimia Fisik Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. Bersama ini saya menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan skripsi ini belum pernah diajukan pada institusi lain.

Jember, Oktober 2004

Amy Fathur Rahman



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL LUAR .....	(i)
HALAMAN JUDUL DALAM .....	(ii)
HALAMAN MOTTO .....	(iii)
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	(iv)
HALAMAN PENGESAHAN .....	(v)
KATA PENGANTAR .....	(vi)
DEKLARASI .....	(vii)
DAFTAR ISI .....	(viii)
DAFTAR TABEL .....	(x)
DAFTAR GAMBAR .....	(xi)
ABSTRAK .....	(xii)
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	(1)
1.1 Latar Belakang .....	(1)
1.2 Rumusan Masalah .....	(2)
1.3 Tujuan Penelitian .....	(2)
1.4 Manfaat Penelitian .....	(3)
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	(4)
2.1 Diagram Fase .....	(4)
2.2 Diagram Fase BPSCCO .....	(6)
2.3 Superkonduktor Sistem B(P)SCCO .....	(7)
2.4 Karakteristik Superkonduktor .....	(8)
2.4.1 Efek Meissner .....	(8)
2.4.2 Temperatur Kritis ( $T_c$ ) .....	(9)
2.4.3 Medan Kritis ( $H_c$ ) .....	(10)
2.4.4 Rapat Arus ( $J_c$ ) .....	(11)
2.5 Metode Pembentukan Kristal .....	(12)
2.5.1 Metode Self-Fluks .....	(12)
2.5.2 Metode Fluks Lain .....	(14)

<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	(15)
3.1 Bahan dan Peralatan Sintesis .....	(15)
3.2 Metode Sintesis .....	(16)
3.3 Metode Karakterisasi .....	(19)
3.3.1 Pengukuran Temperatur Kritis ( $T_c$ ) .....	(19)
3.3.2 Uji Mikroskop Optik .....	(19)
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	(21)
4.1 Hasil Eksperimen .....	(21)
4.1.1 Hasil Pengukuran Resistivitas Versus Suhu .....	(21)
4.1.2 Hasil Foto Mikroskop Optik .....	(26)
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	(29)
5.1 Kesimpulan .....	(29)
5.2 Saran .....	(29)
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b>	



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Peralatan yang digunakan .....	(15)
Tabel 3.2 Komposisi serta parameter yang digunakan dalam eksperimen .....	(15)
Tabel 4.1 Harga Tc-nol, Tc-mid, Tc-on untuk masing-masing bahan kristal Superkonduktor .....	(23)



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Peralatan yang digunakan .....	(15)
Tabel 3.2 Komposisi serta parameter yang digunakan dalam eksperimen .....	(15)
Tabel 4.1 Harga Tc-nol, Tc-mid, Tc-on untuk masing-masing bahan kristal Superkonduktor .....	(23)



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram fase senyawa yang mempunyai sifat lelehan kongruen ( $A_2B$ ) dan inkongruen ( $AB_2$ ) .....	(4)
Gambar 2.2 Diagram fase pembentukan superkonduktor BPSCCO .....	(6)
Gambar 2.3 Struktur fase kristal superkonduktor BSCCO / BPSCCO .....	(7)
Gambar 2.4 Efek Meissner .....	(9)
Gambar 2.5 Kurva suhu kritis dari superkonduktor BPSCCO dengan metode self-fluks .....	(10)
Gambar 2.6 Magnetisasi $M$ dan medan magnet luar $H$ pada superkonduktivitas tipe II .....	(11)
Gambar 2.7 Prinsip pertumbuhan kristal dengan metode self-fluks .....	(13)
Gambar 3.1 Diagram alir sintesis sampel superkonduktor .....	(16)
Gambar 3.2 Diagram proses pengeringan dalam tungku .....	(17)
Gambar 3.3 Diagram Kalsinasi .....	(18)
Gambar 3.4 Skema pengukuran $T_c$ .....	(20)
Gambar 4.1 Grafik hubungan antara resistivitas ( $\rho$ ) dengan temperatur ( $T$ ) pada kristal superkonduktor Bi-2223 dengan kadar fluks 2,1 .....	(21)
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara resistivitas ( $\rho$ ) dengan temperatur ( $T$ ) pada kristal superkonduktor Bi-2223 dengan kadar fluks 2,2 .....	(22)
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara resistivitas ( $\rho$ ) dengan temperatur ( $T$ ) pada kristal superkonduktor Bi-2223 dengan kadar fluks 2,3 .....	(22)
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara resistivitas ( $\rho$ ) dengan temperatur ( $T$ ) diatas $T_{c-on}$ untuk kadar fluks 2,1 .....	(24)
Gambar 4.5 Grafik hubungan antara resistivitas ( $\rho$ ) dengan temperatur ( $T$ ) diatas $T_{c-on}$ untuk kadar fluks 2,2 .....	(24)
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara resistivitas ( $\rho$ ) dengan temperatur ( $T$ ) diatas $T_{c-on}$ untuk kadar fluks 2,3 .....	(25)
Gambar 4.7 Korelasi $\Delta T_c$ dengan kadar fluks .....	(26)
Gambar 4.8 Uji morfologi struktur mikro dari masing-masing bahan kristal Superkonduktor .....	(27)

DAFTAR GAMBAR

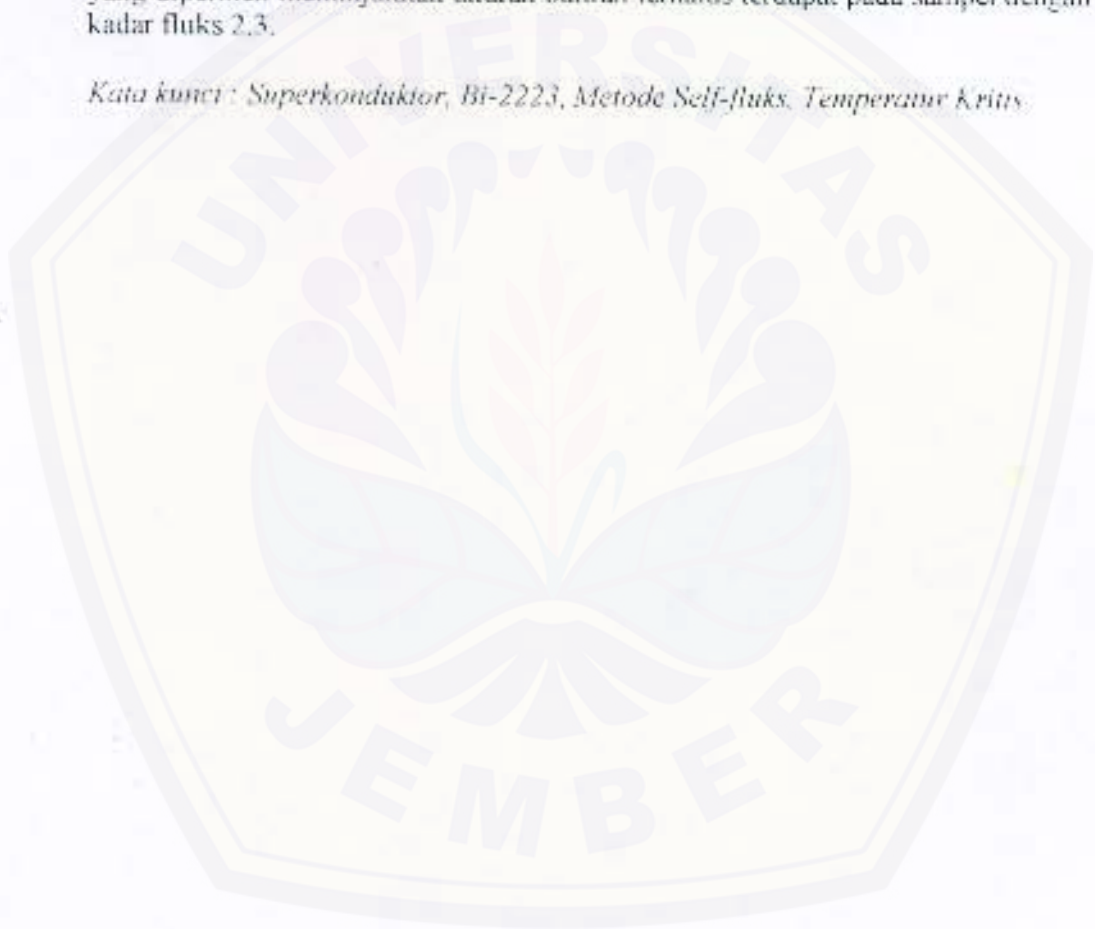
Gambar 2.1 Diagram fase senyawa yang mempunyai sifat lelehan kongruen ( $A_2B$ ) dan inkongruen ( $AB_2$ ) .....	(4)
Gambar 2.2 Diagram fase pembentukan superkonduktor BPSCCO .....	(6)
Gambar 2.3 Struktur fase kristal superkonduktor BSCCO / BPSCCO .....	(7)
Gambar 2.4 Efek Meissner .....	(9)
Gambar 2.5 Kurva suhu kritis dari superkonduktor BPSCCO dengan metode self-fluks .....	(10)
Gambar 2.6 Magnetisasi $M$ dan medan magnet luar $H$ pada superkonduktivitas tipe II .....	(11)
Gambar 2.7 Prinsip pertumbuhan kristal dengan metode self-fluks .....	(13)
Gambar 3.1 Diagram alir sintesis sampel superkonduktor .....	(16)
Gambar 3.2 Diagram proses pengeringan dalam tungku .....	(17)
Gambar 3.3 Diagram Kalsinasi .....	(18)
Gambar 3.4 Skema pengukuran $T_c$ .....	(20)
Gambar 4.1 Grafik hubungan antara resistivitas ( $\rho$ ) dengan temperatur ( $T$ ) pada kristal superkonduktor Bi-2223 dengan kadar fluks 2,1 .....	(21)
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara resistivitas ( $\rho$ ) dengan temperatur ( $T$ ) pada kristal superkonduktor Bi-2223 dengan kadar fluks 2,2 .....	(22)
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara resistivitas ( $\rho$ ) dengan temperatur ( $T$ ) pada kristal superkonduktor Bi-2223 dengan kadar fluks 2,3 .....	(22)
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara resistivitas ( $\rho$ ) dengan temperatur ( $T$ ) diatas $T_{c-on}$ untuk kadar fluks 2,1 .....	(24)
Gambar 4.5 Grafik hubungan antara resistivitas ( $\rho$ ) dengan temperatur ( $T$ ) diatas $T_{c-on}$ untuk kadar fluks 2,2 .....	(24)
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara resistivitas ( $\rho$ ) dengan temperatur ( $T$ ) diatas $T_{c-on}$ untuk kadar fluks 2,3 .....	(25)
Gambar 4.7 Korelasi $\Delta T_c$ dengan kadar fluks .....	(26)
Gambar 4.8 Uji morfologi struktur mikro dari masing-masing bahan kristal Superkonduktor .....	(27)

Abstrak

**Sintesis Kristal Superkonduktor Bi-2223 dengan Metode Self-Fluks.** Andy Fathur Rahman, 991810201076, Skripsi, bulan November, 2004, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.

Dalam penelitian ini telah dilakukan kajian mengenai pembentukan kristal superkonduktor Bi-2223 dengan metode self-fluks dengan suhu sintering  $875^{\circ}\text{C}$ . Untuk maksud tersebut, proses sintesis dilaksanakan dengan memvariasikan kadar fluks Bi sebesar 2,1, 2,2 dan 2,3 dalam perbandingan molar tertentu. Karakterisasi sampel menggunakan kurva R-T menunjukkan bahwa sampel dengan kadar fluks 2,3 memiliki temperatur kritis ( $T_c$ ) yang paling besar ( $T_{c-nol} = 104\text{ K}$ ) dan lebar temperatur transisi paling kecil ( $\Delta T_c = 3\text{ K}$ ). Selanjutnya foto mikroskop optik yang diperoleh menunjukkan ukuran butiran terhalus terdapat pada sampel dengan kadar fluks 2,3.

*Kata kunci : Superkonduktor, Bi-2223, Metode Self-fluks, Temperatur Kritis.*

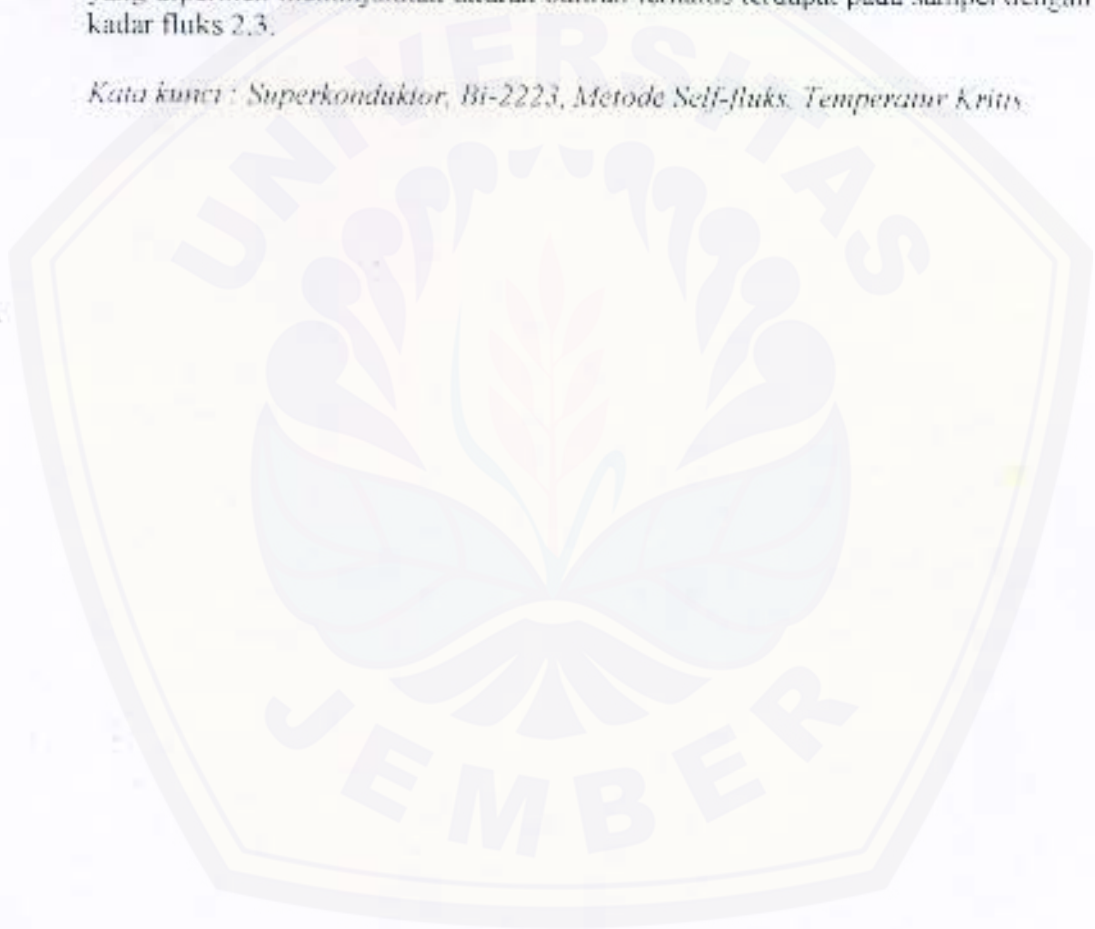


Abstrak

**Sintesis Kristal Superkonduktor Bi-2223 dengan Metode Self-Fluks**, Andy Fathur Rahman, 991810201076, Skripsi, bulan November, 2004, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.

Dalam penelitian ini telah dilakukan kajian mengenai pembentukan kristal superkonduktor Bi-2223 dengan metode self-fluks dengan suhu sintering  $875^{\circ}\text{C}$ . Untuk maksud tersebut, proses sintesis dilaksanakan dengan memvariasikan kadar fluks Bi sebesar 2,1, 2,2 dan 2,3 dalam perbandingan molar tertentu. Karakterisasi sampel menggunakan kurva R-T menunjukkan bahwa sampel dengan kadar fluks 2,3 memiliki temperatur kritis ( $T_c$ ) yang paling besar ( $T_{c-nol} = 104\text{ K}$ ) dan lebar temperatur transisi paling kecil ( $\Delta T_c = 3\text{ K}$ ). Selanjutnya foto mikroskop optik yang diperoleh menunjukkan ukuran butiran terhalus terdapat pada sampel dengan kadar fluks 2,3.

*Kata kunci* : Superkonduktor, Bi-2223, Metode Self-fluks, Temperatur Kritis.





### 1.1 Latar Belakang Masalah.

Gejala Superkonduktivitas pertama kali ditemukan oleh ahli Belanda Heike Kamerlingh onnes pada tahun 1911, bahan superkonduktor tersebut berbentuk logam sederhana berupa raksa dengan temperatur kritis 4 K. Selama 75 tahun kemudian, pada tahun 1986 George Bednortz dan Klauz Alex Muller menemukan superkonduktor keramik LaBaCuO dengan suhu kritis 30 K (Tjia, 2000). Perkembangan selanjutnya para ahli fisika menemukan bahwa logam campuran dapat menghasilkan gejala superkonduktivitas dengan temperatur yang lebih tinggi. Dengan kata lain bahan superkonduktor suhu kritis tinggi dapat berupa senyawa dengan komponen jamak serta memiliki fase struktur bahan yang jamak pula.

Bahan superkonduktor suhu kritis tinggi (SKST) umumnya mempunyai stuktur yang berlapis sehingga bersifat anisotropis. Kajian sifat fisis intrinsik dan analisis dari bahan superkonduktor diperlukan kristal tunggal yang bersih, bebas dari cacat struktur, fase tak murnian dan efek batas butir. Dalam hal ini, Teknik sintesis dan pengembangan bahan SKST ini telah dilakukan secara intensif di laboratorium – laboratorium negara maju (Darminto. dkk, 1999).

Sejak ditemukannya bahan superkonduktor  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$  (sistem BSCCO) dengan fase 2223 ( $T_c \sim 110^0\text{K}$ ) pada tahun 1988, dimana, sistem ini mempunyai kelebihan dibandingkan dengan sistem YBCO terutama dalam suhu kritisnya. Selain itu, sistem BSCCO memiliki medan kritis ( $H_c$ ) yang tinggi sehingga memungkinkan aplikasi pada teknologi yang membutuhkan medan magnet dan arus listrik besar (Li. dkk, 1997).

Banyak metode yang digunakan dalam pembuatan SKST ini antara lain melalui metode pendinginan lambat dengan memasukan pelarut pada suhu tinggi (flux) (Darminto. dkk, 1999). Pelarut (fluks) yang digunakan berupa KCl (Balestrinom. dkk, 1994),  $\text{B}_2\text{O}_3$  (Suharta, 1997) dan sebagainya. Metode ini dikembangkan dengan memvariasikan kadar flux (pelarut) dan pengolahan lainnya. Kemudian sintesis kristal yang lain dapat dilakukan dengan metode *Brigman, Travelling Solvent Floating Zone(TSFZ)* serta metode *Self Fluks* (Zhao.

dkk, 2000). Namun demikian sintesis bahan BSCCO dengan fase 2223 yang memiliki  $T_c$  tinggi (110 °K) sejauh ini belum dapat menghasilkan kristal tunggal dengan ukuran yang berarti. Bahkan untuk menghasilkan fase 2212 yang bersuhu kritis rendah dan impuritas lain, belum ditemukan cara atau proses yang reproduisibel. Upaya yang ditempuh untuk menghasilkan kristal tunggal yang dapat dikatakan berhasil adalah dengan menggunakan metode TSFZ akan tetapi kendala yang paling besar bila menggunakan metode ini adalah biayanya yang sangat mahal. Dibandingkan metode lainnya (TSFZ), maka metode fluks umumnya lebih sederhana, biayanya murah.

Dalam penelitian ini, akan dilakukan sintesa bahan dengan menggunakan metode Self Flux yaitu metode yang menggunakan kelebihan salah satu atau lebih dari unsur pembentukan senyawa itu sendiri yang berfungsi sebagai fluks.

Karena pentingnya pengertian diagram fase dalam eksperimen ini, maka bab berikutnya (II) akan memuat penjelasan dan diskusi tentang pengertian diagram fase secara umum maupun khususnya yang berkaitan dengan sistem BSCCO. Eksperimen yang dilakukan akan dijelaskan pada bab III.

### **1.2 Rumusan Masalah.**

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah pengaruh kadar Fluks pada pembentukan kristal dan temperatur kritis bahan superkonduktor Bi - 2223.

### **1.3 Tujuan penelitian.**

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Menghasilkan kristal tunggal Bi-2223 dengan metode Self-Fluks
2. Mengetahui pengaruh kadar fluks pada pembentukan kristal superkonduktor Bi - 2223
3. Mengetahui sifat superkonduktivitas bahan berdasarkan pada hasil pengukuran R-T dan uji mikroskop optik



#### 1.4 Manfaat Penelitian.

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dalam hal :

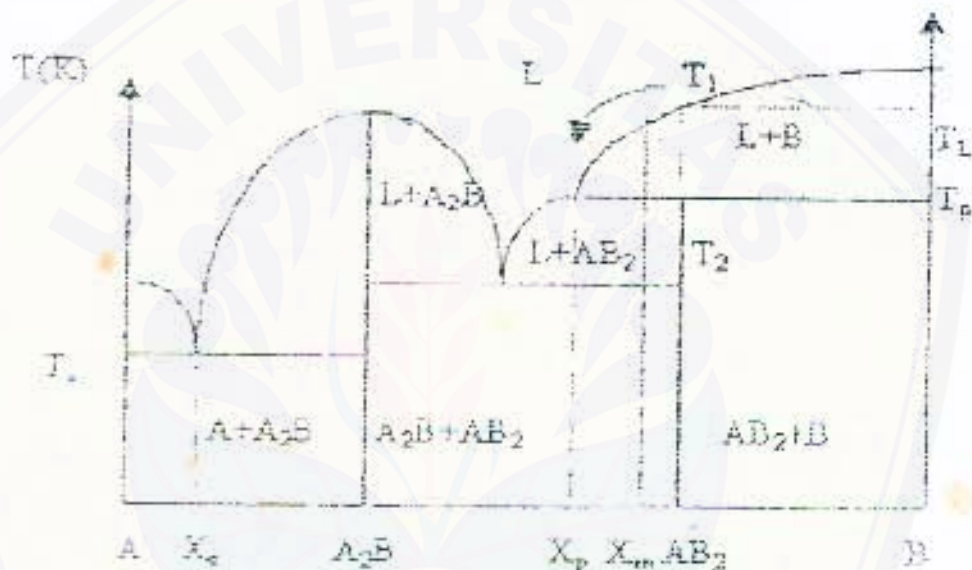
1. Pengembangan ilmu pengetahuan bahan khususnya bahan superkonduktor.
2. Bertambahnya pengetahuan tentang metode pembuatan kristal superkonduktor yakni dengan metode Self-fluks



## 2.1 Diagram Fase

Sekumpulan atom atau molekul-molekul dapat bergabung secara homogen maupun heterogen. Bagian-bagian homogen semacam itu disebut fase. Diagram fase adalah diagram yang digunakan sebagai pedoman atau peta jalan (*road maps*) untuk mencapai sasaran yang tepat, mempermudah eksperimen pertumbuhan kristal dan perencanaan pembuatan komposisi baru.

Sebagai contoh ulasan, berikut ini akan dibahas diagram fase untuk senyawa multikomponen yang ditampilkan dalam gambar 2.1.



Gambar 2.1. Diagram fase senyawa yang mempunyai sifat leleh kongruen ( $A_2B$ ) dan inkongruen ( $AB_2$ ).

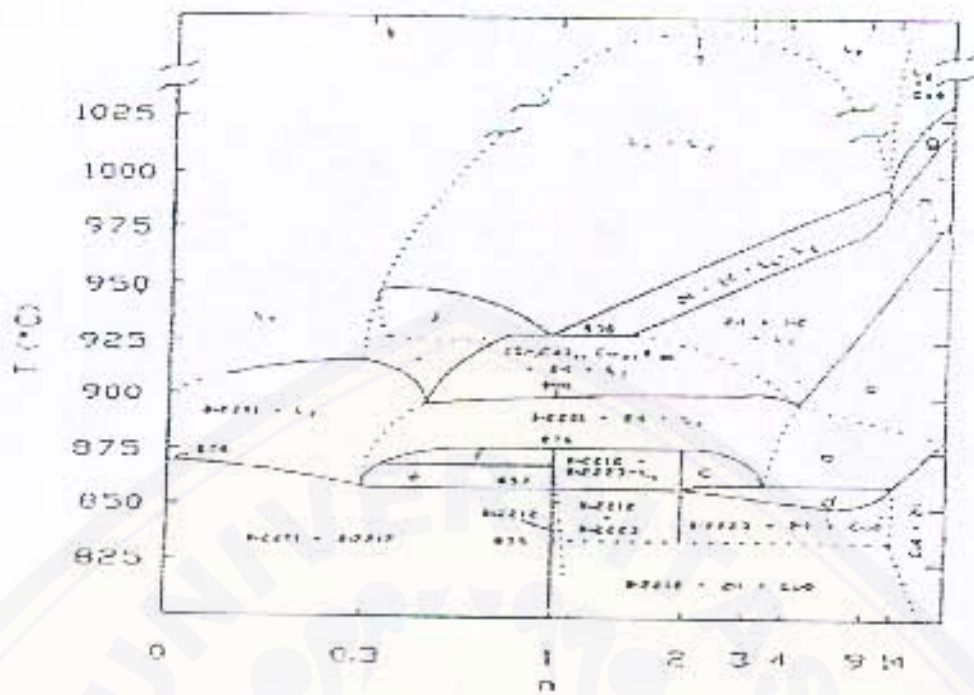
Pembahasan diagram ini akan diawali dengan pengertian sifat pelelehan yang kongruen dan inkongruen. Senyawa padatan yang meleleh secara kongruen adalah senyawa dengan fase padatan (S) yang dapat berada dalam keadaan setimbang dengan fase cairannya (L) dalam komposisi unsur yang sama. Contoh dalam diagram fase di atas adalah senyawa  $A_2B$ . Kristal senyawa kongruen dapat ditumbuhkan langsung dari lelehannya, karena senyawa jenis ini tidak mengalami perubahan komposisi kimia dalam proses transisi  $S \leftrightarrow L$ . Senyawa padatan yang

meleleh secara inkongruen akan mengalami perubahan komposisi dalam proses transisi  $S \leftrightarrow L$ . Seperti diperlihatkan oleh diagram fase di atas. Senyawa yang berawal dari fase padatan dengan komposisi  $AB_2$ , dalam proses pemanasan akan mulai mengalami dekomposisi, dan pada  $T_p$  menjadi campuran fase cairan dan fase padatan ( $L + B$ ) dengan komposisi berlainan dari semula.

Kita tinjau selanjutnya proses pendinginan dari senyawa  $AB_2$  dalam fase cairan pada suhu  $T > T_L$ . Dalam proses pendinginan, presipitasi kristal B akan mulai terjadi pada suhu  $T_1$ . Dengan suhu yang menurun lebih lanjut dibawah  $T_1$ , kristal B yang terbentuk makin banyak, sedangkan fase cairan akan berkurang dengan komposisi komponen L yang bergeser mengikuti anak panah. Pada  $T_2$  tepat dibawah  $T_2$  seluruh sistem beralih menjadi senyawa padatan atau kristal  $AB_2$ . Dengan kata lain, pada  $T_2$  telah berlangsung reaksi peritektik  $L (X_L) + B \rightarrow AB_2$ . Artinya senyawa yang meleleh secara inkongruen dapat diperoleh dari campuran fase L dan S dengan komposisi stoikiometri berlainan melalui reaksi peritektik.

Jadi pembentukan kristal dari senyawa yang meleleh secara inkongruen melalui proses peritektik (pelelehan diatas  $T_1$  dan pendinginan melalui  $T_2$ ) pada umumnya akan menimbulkan perubahan komposisi kimia atau menghasilkan senyawa yang tidak diinginkan (impuritas). Pengendalian komposisi campuran awal tidak akan menjamin stoikiometri sampel yang sama. Superkonduktor suhu tinggi pada umumnya meleleh secara inkongruen. Oleh karena itu, untuk menghasilkan senyawa dengan susunan kimia (fase) murni dalam kristal tunggal, proses sintesis yang melibatkan reaksi peritektik harus dihindari.

## 2.2 Diagram Fase BPSCCO



Gambar 2.2 Diagram fase pembentukan superkonduktor BPSCCO

Diagram fase pada gambar 2.2, menyatakan hubungan antara suhu dan komposisi pembentukan superkonduktor  $(\text{Bi,Pb})_2 \text{Sr}_2 \text{Ca}_n \text{Cu}_{n-1} \text{O}_{6+2n}$  dengan  $n$  berbeda, seperti yang dilakukan oleh Strobel dan kawan-kawan (Kotani dkk, 1989). Dalam diagram fase tersebut terdapat lima daerah fase dimana terjadi pembentukan fase 2223, yaitu:

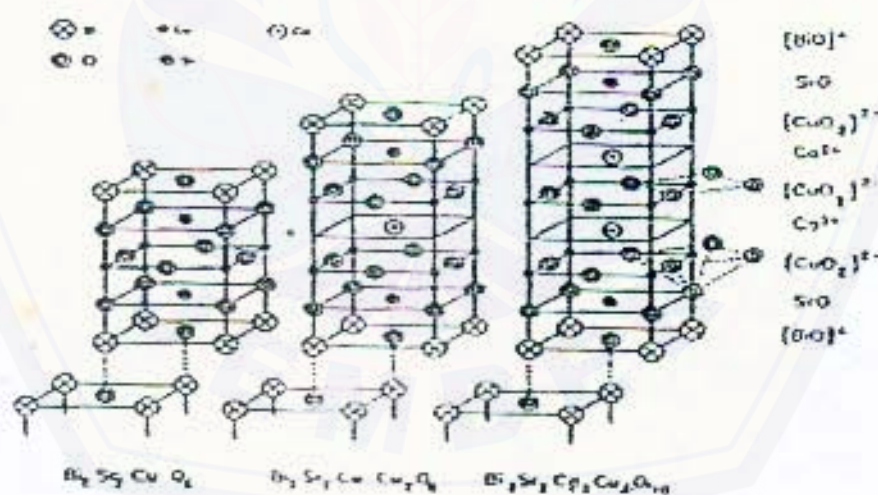
1. Daerah fase  $\text{Bi2212} + \text{Bi2223} + \text{L1}$
2. Daerah fase  $\text{Bi2223} + (\text{Sr,Ca})_2\text{CuO}_3 + \text{L1}$
3. Daerah fase  $\text{Bi2223} + (\text{Sr,Ca})_2\text{CuO}_3 + \text{CuO} + \text{L1}$
4. Daerah fase  $\text{Bi2223} + (\text{Sr,Ca})_2\text{CuO}_3 + \text{CuO}$
5. Daerah fase  $\text{Bi2212} + \text{Bi2223}$

Dari kelima daerah fase tersebut, tiga daerah mengandung cairan karena sudah mengalami *partial melting*, sedangkan dua fase lainnya adalah padatan. Sehingga untuk menghindari munculnya fase impuritas yang tidak diinginkan, maka daerah fase  $\text{Bi2212} + \text{Bi2223}$  merupakan daerah paling efektif dalam

menumbuhkan fase 2223, karena hanya mengandung fase 2212 dan fase 2223 (Diantoro, 1997)

### 2.3 Superkonduktor Sistem B(P)SCCO

Dalam superkonduktor sistem Bi-Sr-Ca-Cu-O (BSCCO) dan sistem dengan substitusi parsial dari Bi oleh Pb (BPSCCO) dikenal tiga fase superkonduktor masing-masing berkaitan dengan komposisi yang dinyatakan dengan rumus  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_n\text{Cu}_{n+1}\text{O}_x$ , dengan  $n = 1, 2, 3$ . Ketiga fase tersebut adalah fase 2201 dengan  $T_c = 10$  K, fase 2212 dengan  $T_c = 80$  K dan fase 2223 dengan  $T_c = 110$  K, masing-masing memiliki struktur kristal yang ditunjukkan dalam gambar 2.3. Semua superkonduktor  $T_c$  tinggi dengan dasar tembaga (Cu) memiliki struktur kristalografi yang terdiri dari blok-blok perovskite. Blok-blok ini tersusun sedemikian rupa dengan bidang-bidang  $\text{CuO}_2$  yang berfungsi sebagai lapisan konduksi. Superkonduktor  $T_c$  tinggi sistem kuprat dengan  $T_c$  rendah, misalnya sistem  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  dalam fase  $T'$ , superkonduktivitas diperoleh dengan dopan elektron (Yuhianti, 2002)

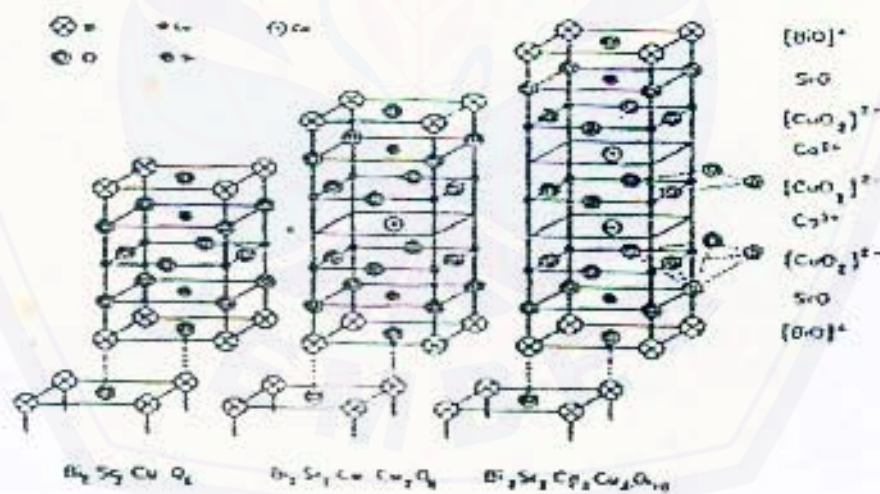


Gambar 2.3. Struktur kristal fase superkonduktor BSCCO / BPSCCO

menumbuhkan fase 2223, karena hanya mengandung fase 2212 dan fase 2223 (Diantoro, 1997)

### 2.3 Superkonduktor Sistem B(P)SCCO

Dalam superkonduktor sistem Bi-Sr-Ca-Cu-O (BSCCO) dan sistem dengan substitusi parsial dari Bi oleh Pb (BPSCCO) dikenal tiga fase superkonduktor masing-masing berkaitan dengan komposisi yang dinyatakan dengan rumus  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_n\text{Cu}_{n+1}\text{O}_x$ , dengan  $n = 1, 2, 3$ . Ketiga fase tersebut adalah fase 2201 dengan  $T_c = 10$  K, fase 2212 dengan  $T_c = 80$  K dan fase 2223 dengan  $T_c = 110$  K, masing-masing memiliki struktur kristal yang ditunjukkan dalam gambar 2.3. Semua superkonduktor  $T_c$  tinggi dengan dasar tembaga (Cu) memiliki struktur kristalografi yang terdiri dari blok-blok perovskite. Blok-blok ini tersusun sedemikian rupa dengan bidang-bidang  $\text{CuO}_2$  yang berfungsi sebagai lapisan konduksi. Superkonduktor  $T_c$  tinggi sistem kuprat dengan  $T_c$  rendah, misalnya sistem  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  dalam fase  $T'$ , superkonduktivitas diperoleh dengan dopan elektron (Yulianti, 2002)



Gambar 2.3. Struktur kristal fase superkonduktor BSCCO / BPSCCO

## 2.4 Karakteristik Superkonduktor

### 2.4.1 Efek Meisner

Pada bahan konduktor berlaku hukum faraday tentang arus induksi, yaitu jika suatu konduktor ditempatkan pada medan magnet maka arus listrik induksi dan medan magnet yang ditimbulkannya akan melawan perubahan medan magnet yang mengenainya.

Hukum faraday tersebut tidak mampu menjelaskan adanya gejala penolakan magnet oleh bahan superkonduktor. Pada saat bahan menjadi bahan superkonduktor (pada suhu dibawah temperatur kritis), superkonduktor akan menolak magnet yang berada didekatnya. Hal ini disebabkan dipol magnet pada superkonduktor terinduksi dan menolak medan magnet yang mengenainya.

Jika sebuah magnet yang relatif kecil ditempatkan di atas superkonduktor maka magnet tersebut akan mengambang beberapa mm. Magnet tersebut dapat berputar dalam waktu yang lama seolah-olah bergerak tanpa gesekan. Proses di atas dapat dijelaskan secara teoritis sebagai berikut. Induksi magnet di dalam bahan yang diberikan oleh :

$$B = \mu_0 (H + M) = \mu_0 (1 + X) H \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana :

H = intensitas medan magnet di luar bahan

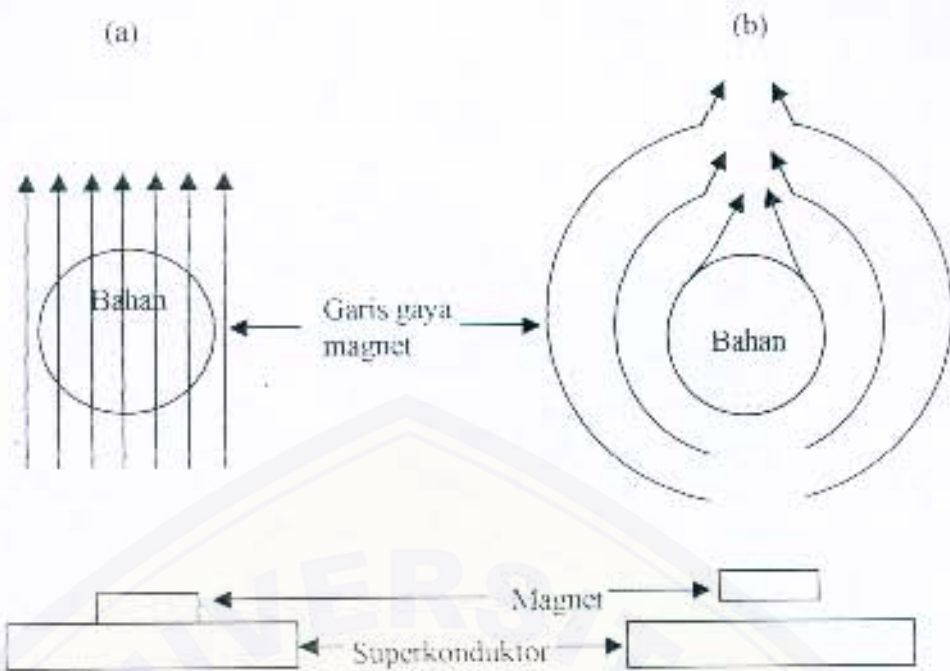
M = Magnetisasi pada medium

X = Suseptibilitas magnet dari bahan

karena dalam bahan superkonduktor  $B = 0$ , maka

$$M = -H \dots\dots\dots(2.2)$$

Berarti besarnya magnetisasi adalah sama dan melawan H. Oleh sebab itu bahan bersifat sebagai diamagnetik sempurna ( $X = -1$ ).



Gambar 2.4.

- Dalam keadaan normal garis gaya magnet dapat menembus bahan ( $T < T_c$ )
- Dalam keadaan superkonduktor garis gaya magnet akan mengembang di atas bahan superkonduktor (Efek Meissner ( $T > T_c$ ))

#### 2.4.2 Temperatur Kritis ( $T_c$ )

Sifat yang paling menarik dari bahan superkonduktor pada suhu rendah adalah hambatan listriknya sama dengan nol ( $\rho = 0$ ). Suhu yang dicapai pada saat hambatan listriknya sama dengan nol disebut *temperatur kritis* ( $T_c$ ). Temperatur kritis atau disebut juga dengan temperatur transisi karena proses terjadinya dari keadaan normal ke keadaan superkonduktif. Transisi tersebut bersifat reversible artinya jika dipanaskan akan kembali memiliki resistivitas normal pada suhu  $T_c$  (Yulianti, 2002).

Dengan menggunakan persamaan resistivitas, yang dinyatakan dengan:

$$\rho = R \frac{A}{l}$$



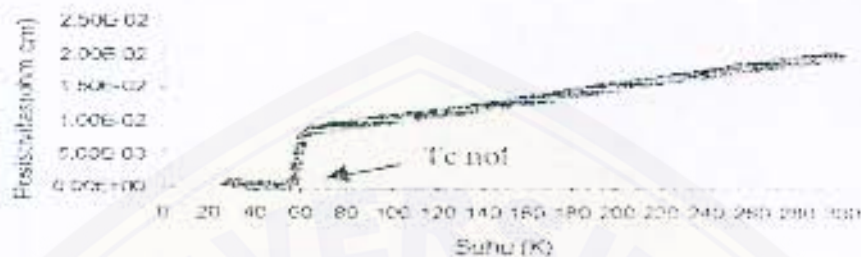
dengan:

$\rho$  = Resistivitas (Ohm. m)

R = Hambatan Listrik (Ohm),

A = Luas Penampang ( $m^2$ );

l = panjang (m);



Gambar 2.5. Kurva suhu kritis dari superkonduktor BPSCCO dengan metode self – fluks

#### 2.4.3 Medan Kritis

Medan magnet yang diperlukan untuk menghilangkan superkonduktivitas atau memulihkan resistivitas normalnya disebut medan kritis ( $H_c$ ). Hubungannya dengan  $T_c$  sebagai berikut:

$$H_c(T) = H(0) [1 - (T/T_c)^2] \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan  $H(0)$  adalah medan kritis pada  $T = 0$  K

Dalam superkonduktor tipe II terdapat dua medan kritis, yaitu: medan kritis bawah  $H_{c1}$  dan medan kritis atas  $H_{c2}$ . Di bawah  $H_{c1}$  fluks magnetik ditolak secara sempurna dan di atas  $H_{c1}$  fluks magnet sebagian dapat menembus interior bahan sampai batas medan kritis  $H_{c2}$ . Di atas  $H_{c2}$  bahan akan kehilangan sifat superkonduktivitasnya. Hal ini ditunjukkan gambar 2.6

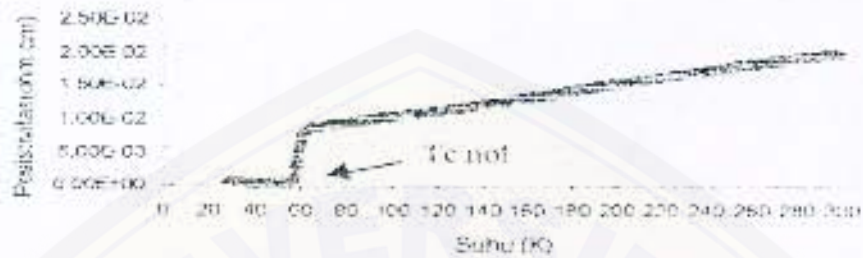
dengan,

$\rho$  = Resistivitas (Ohm, m)

R = Hambatan Listrik (Ohm);

A = Luas Penampang ( $m^2$ );

l = panjang (m);



Gambar 2.5. Kurva suhu kritis dari superkonduktor BPSCCO dengan metode self – fluks

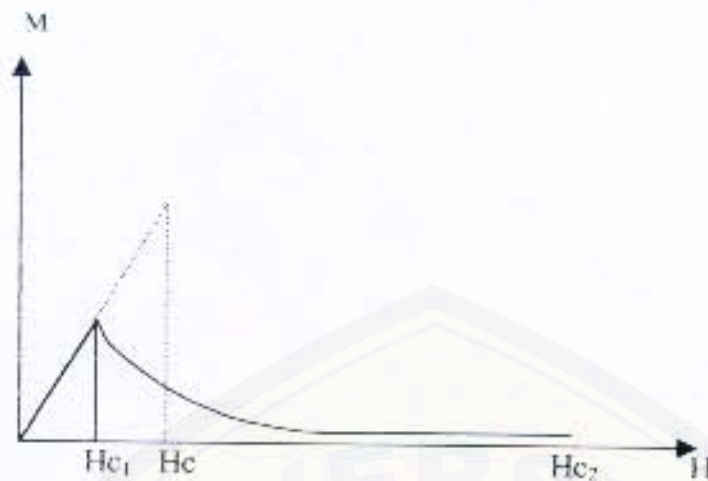
#### 2.4.3 Medan Kritis

Medan magnet yang diperlukan untuk menghilangkan superkonduktivitas atau memulihkan resistivitas normalnya disebut medan kritis ( $H_c$ ). Hubungannya dengan  $T_c$  sebagai berikut:

$$H_c(T) = H_c(0) [1 - (T/T_c)^2] \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan  $H_c(0)$  adalah medan kritis pada  $T = 0$  K.

Dalam superkonduktor tipe II terdapat dua medan kritis, yaitu: medan kritis bawah  $H_{c1}$  dan medan kritis atas  $H_{c2}$ . Di bawah  $H_{c1}$  fluks magnetik ditolak secara sempurna dan di atas  $H_{c1}$  fluks magnet sebagian dapat menembus interior bahan sampai batas medan kritis  $H_{c2}$ . Di atas  $H_{c2}$  bahan akan kehilangan sifat superkonduktivitasnya. Hal ini ditunjukkan gambar 2.6



Gambar 2.6. Magnetisasi M dan medan magnet luar H pada superkonduktivitas tipe II

#### 2.4.4 Rapat Arus Kritis ( $J_c$ )

Parameter kuantitatif untuk mengukur superkonduktor salah satunya adalah rapat arus kritis. Dengan mengukur rapat arus kritis ( $J_c$ ), bahan tanpa pengaruh medan magnet maka kita dapat mengetahui pada rapat arus kritis berapa bahan superkonduktor mulai kehilangan sifat superkonduktivitasnya. Harga rapat arus kritis yang tinggi dapat diperoleh pada bahan superkonduktor dengan tingkat kemurnian yang tinggi dan memiliki tekstur bahan yang tinggi pula. Jika pada superkonduktor suhu tinggi ditemukan  $J_c$  yang rendah dalam orde  $\sim 10^7 \text{ A cm}^{-2}$ , hal ini disebabkan antara lain ukuran butiran (grain) (Yoo. dkk, 1994), karena pada bahan superkonduktor tersusun oleh kumpulan grain.

Permasalahan rapat arus kritis pada bahan keramik superkonduktor banyak dipengaruhi oleh masalah butiran (*granularitas*) seperti rapat massa, penjajaran grain dan kemurnian fase (Yoo. dkk, 1994). Parameter rapat massa merupakan besaran makroskopis yang dikaitkan dengan porositas bahan. Adanya porositas bahan dapat menyebabkan penurunan rapat massa bahan. Superkonduktor yang diperoleh dalam sistem BSCCO diketahui memiliki rapat arus kritis yang relatif rendah, dalam ketiadaan medan magnet (Chauhan. dkk, 1998). Rapat arus kritis tersebut memiliki satuan Ampere /  $\text{cm}^2$  ( $\text{A cm}^{-2}$ )

## 2.5. Metode Pembentukan Kristal

Dalam bab ini akan dibahas beberapa metode yang biasa digunakan untuk pembentukan dan pertumbuhan kristal. Metode pembentukan dan pertumbuhan kristal dengan menggunakan metode *self-fluks* dan metode fluks lainnya.

### 2.5.1 Metode Self-Fluks

Metode self-fluks adalah metode yang menggunakan kelebihan salah satu atau beberapa unsur pembentuk dari senyawa itu sendiri sebagai fluks. Kristal dari senyawa superkonduktor suhu tinggi yang dibentuk dengan metode self-fluks lebih baik bila dibandingkan dengan menggunakan metode reaksi padatan (solid state). Pembentukan kristal dengan menggunakan metode self-fluks adalah tanpa melalui reaksi peritektik. Pertumbuhan kristal dalam metode ini terjadi pada saat pendinginan. Dalam kasus ini komposisi kimia off – stoikiometri dengan komposisi  $X_1$  antara  $X_e$  dan  $X_p$  dilelehkan dan selanjutnya didinginkan dengan lambat (gambar 2.7). Dengan menggunakan metode ini campuran kristal terbentuk akibat pelelehan. Dalam kasus ini nukleasi primer terjadi. Dalam kristalisasi primer dinyatakan dalam jangkauan variasi komposisi antara  $X_p$  dan  $X_e$  serta jangkauan variasi suhu antara  $T_p$  dan  $T_e$ . Bahan awal dengan kemurnian tinggi diperlukan untuk menghindari nukleasi heterogen, walaupun nukleasi heterogen masih dapat terjadi pada dinding crucible.

Jika batas fase cair dilewati, senyawa berkomposisi  $x_1$  yang meleleh secara peritektik akan mengalami perubahan perbandingan fraksi padatan dan cairan dalam proses pendinginan mengikuti kaidah “ lever “ sebagai berikut.

$$\frac{n(A_2B)}{n(X_1)} = \frac{d_2}{d_1}$$

dengan :

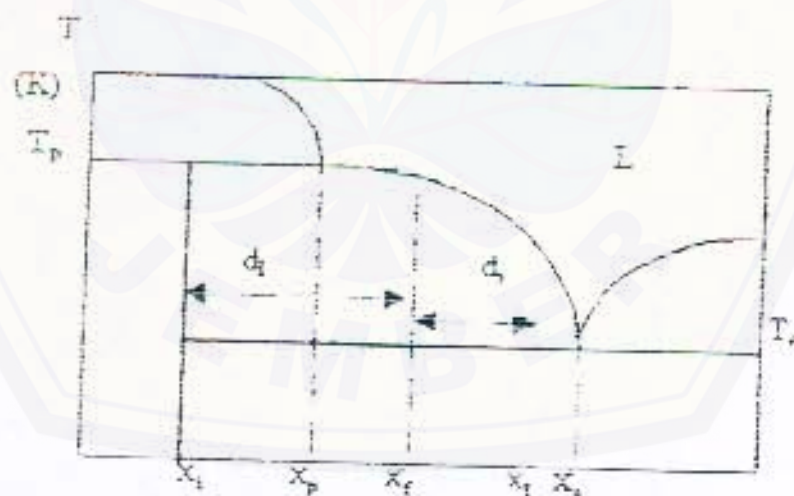
- $n(A_2B)$  = Jumlah mole dari padatan.
- $n(X_1)$  = Jumlah mol dari liquid.
- $A_2B$  = Komposisi  $A_2B$ .
- $X_1$  = Komposisi  $X_1$ .
- $d_1$  = Jarak  $A_2B$  ke  $X_m$  .  $d_2$  = Jarak  $X_m$  ke  $X_1$

Pada saat pendinginan, komposisi  $X$  dari cairan berubah. Ukuran kristal bergantung pada banyaknya diagram fase yang dilewati. Ukuran kristal dibatasi, sebab jangkauan suhu pendinginan yang diturunkan dengan diagram fase dibatasi. Dalam pertumbuhan kristal dan pelepasan fluks, keadaan supersaturasi yang diperlukan secara normal ditimbulkan oleh proses pendinginan lambat pada cairan sampel, dengan penguatan pelarut atau dengan menggunakan perbedaan suhu.

Teknik pendinginan lambat sering digunakan karena peralatan yang tersedia sangat sederhana. Untuk pertumbuhan kristal kecil dari senyawa baru, pendinginan lambat dari tungku pemanas yang besar dengan kapasitas 25–100 ml membuktikan metode self-fluks sangat efektif dan lebih baik di bandingkan dengan teknik yang biasa digunakan.

Selama pendinginan, gradien suhu kritis dalam arah berlawanan sehingga pertumbuhan terjadi pada atau dekat dasar krusible. Dalam lelehan yang didinginkan melalui daerah metastabil, beberapa kristal akan menghasilkan kristal kecil.

Dalam beberapa eksperimen, biasanya konstanta kecepatan suhu pendinginan yang digunakan adalah dalam orde  $1^{\circ}\text{C}/\text{jam}$ , dan hasil yang diperoleh sangat baik, selama peralatan tungku pemanas mempunyai kontrol yang menghasilkan perubahan linear terhadap suhu.



Gambar 2.7. Prinsip Pertumbuhan Kristal dengan Metode Self-Fluks

### 2.5.2. Metode Fluks Lain

Metode fluks dalam sub-bab ini berbeda dengan metode self-fluks. Seperti telah dijelaskan dalam sub-bab 2.5.1, metode self-fluks adalah metode yang menggunakan salah satu atau beberapa unsur dari unsur-unsur pembentuk senyawa tersebut sebagai fluks. Proses sintesis metode self-fluks adalah melalui peleleh senyawa. Sedangkan metode fluks, yang digunakan sebagai fluks adalah senyawa lain. Proses sintesis metode fluks tanpa melalui pelelehan senyawa.

Fluks dalam hal ini diartikan sebagai pelarut pada suhu tinggi. dengan menggunakan fluks diharapkan pertumbuhan kristal yang diinginkan di proses pada suhu dibawah titik leleh fase zat terlarut. Reduksi pada suhu tersebut, secara prinsip memberikan kemungkinan untuk pertumbuhan dengan menggunakan fluks lebih besar dibandingkan pada proses pelelehan murni. Fluks yang biasa digunakan, dalam eksperimen adalah  $B_2O_3$ , NaCl, KCl dan KI.



### BAB III METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian laboratorium. Dalam hal ini, penelitian dilakukan di Laboratorium Fisika Bahan jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember. Secara garis besar kegiatan-kegiatan yang akan dilakukan dalam penelitian ini diuraikan sebagai berikut.

#### 3.1 Bahan dan Peralatan Sintesis

##### a. Bahan

Bahan dasar yang digunakan dalam eksperimen ini terdiri dari :  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  (99,9 %),  $\text{CaCO}_3$  (99,0 %),  $\text{SrCO}_3$  (99,99 %),  $\text{CuO}$  (99,9 %),  $\text{HNO}_3$  (65 %), aquades, pasta perak untuk elektroda.

##### b. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam eksperimen ini dicantumkan dalam tabel 3.1 :

Peralatan Sintesis	Peralatan Karakterisasi
♦ Penggerus mortal dan cawan keramik	♦ Pengukur Temperatur kritis ( $T_c$ )
♦ Alat pencetak stainless steel	♦ Mikroskop Optik
♦ Alat penekan	
♦ Furnace dengan pengontrol temperatur	

Selanjutnya komposisi sampel yang dibuat dan parameter proses yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

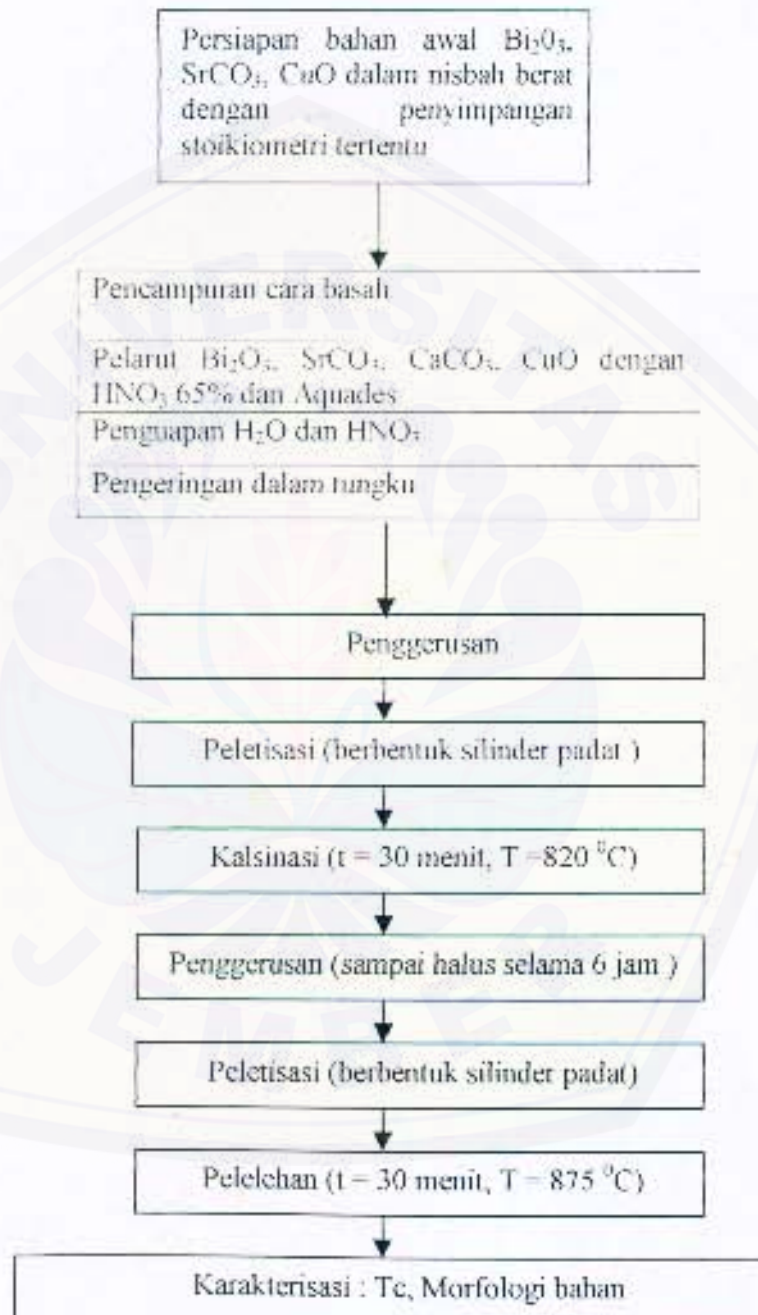
Tabel 3.2 komposisi serta parameter yang digunakan dalam eksperimen

Komposisi	Kadar Fluks	Suhu Leleh	Waktu leleh (menit)
$\text{Bi}_{2,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$	2,1	$875^{\text{d}}$	30
$\text{Bi}_{2,2}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$	2,2	$875^{\text{d}}$	30
$\text{Bi}_{2,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$	2,3	$875^{\text{d}}$	30

Masing-masing sampel dibuat dengan bahan awal 5 gram.

### 3.2 Metode Sintesis

Secara umum metode yang digunakan dalam pembuatan sampel adalah metode reaksi padatan yang didahului pencampuran secara basah untuk menjamin homogenitas sampel yang dihasilkan. Sintesis superkonduktor fase Bi-2223 dalam penelitian ini dijelaskan dalam diagram alir yang ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir sintesis sampel superkonduktor



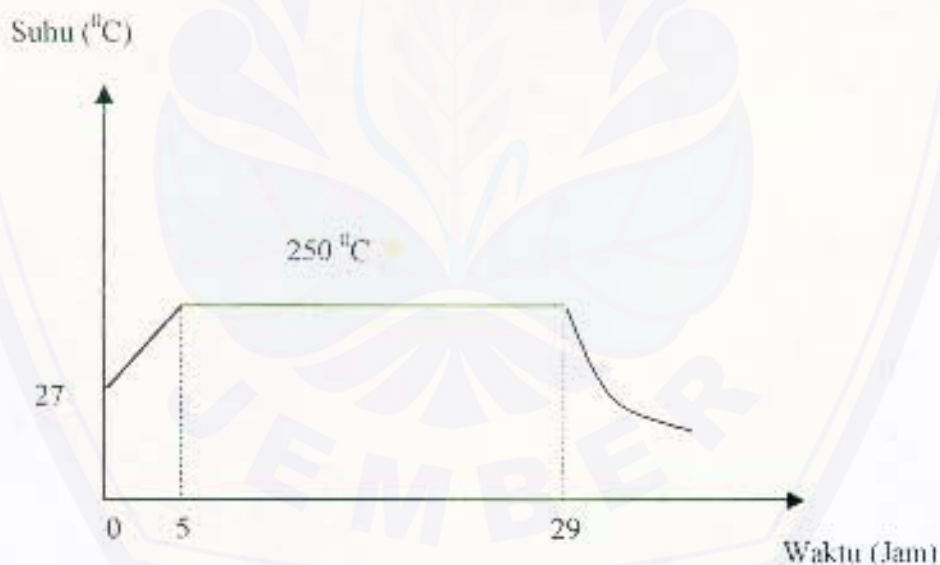
Masing-masing mata rantai dari proses sintesis dalam diagram ini dijelaskan secara lebih rinci berikut ini :

### Pencampuran cara basah

Bahan-bahan awal yang sudah tercampur dalam bejana gelas dicampur dengan aquades dan  $\text{HNO}_3$  (65%) diaduk sampai seluruh bahan larutan dengan sempurna dan berwarna biru jernih. Larutan tersebut dipanaskan sampai terbentuk gumpalan padatan yang berwarna biru kehitam-hitaman.

### Pengeringan dalam tungku

Setelah pencampuran cara basah, bahan superkonduktor yang sudah kering segera dimasukkan ke dalam tungku (furnace) dengan crucibel alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Tujuan pengeringan ini adalah untuk pelepasan asam nitrat dan uap air yang masih tertinggal di dalam bahan (Yulianti, 2002). Suhu di tungku diatur seperti gambar 3.2.



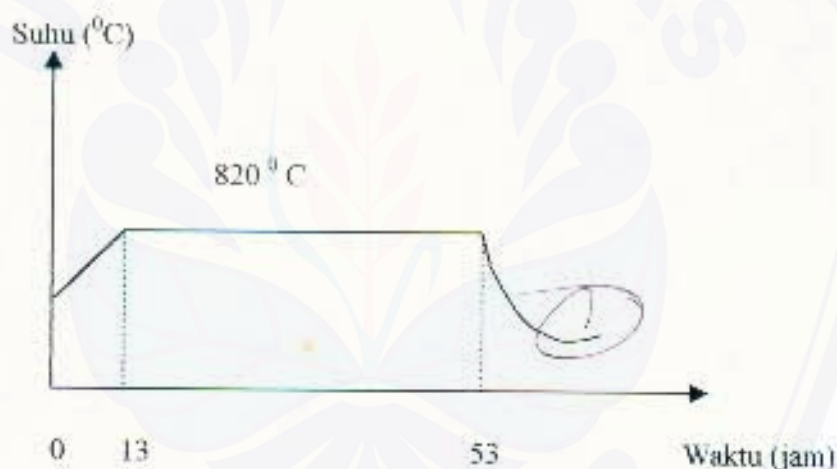
Gambar 3.2 Diagram proses pengeringan dalam tungku

### Penggerusan

Setelah proses pengeringan selesai dilaksanakan dalam tungku, penggerusan dilakukan dengan mortal dan pastel secara manual selama 6 jam (bertahap) sampai bahan terasa halus. Tujuan dari penggerusan selain membuat bahan superkonduktor menjadi semakin halus, juga diharapkan lebih meningkatkan homogenitas campuran bahan. Dengan bahan yang halus dan homogen akan terjadi peningkatan efektivitas reaksi padatan yang membentuk benih-benih senyawa (prekursor).

### Kalsinasi

Pada proses selanjutnya bahan superkonduktor dipanaskan dalam tungku selama 40 jam pada suhu  $820^{\circ}\text{C}$ . Tujuan kalsinasi adalah membentuk senyawa prekursor Bi-2223 melalui reaksi padatan. Diagram kalsinasi ditunjukkan pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Diagram kalsinasi

### Peletisasi

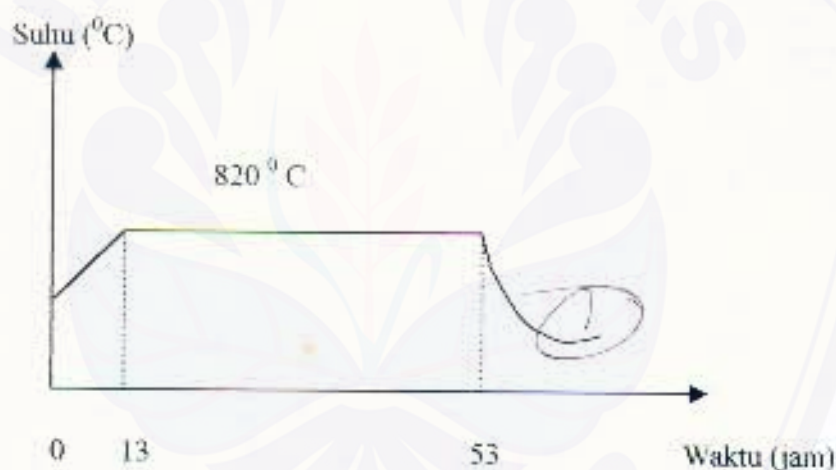
Untuk meningkatkan efektifitas reaksi padatan dari bahan superkonduktor, jarak antara serbuk perlu diperkecil dengan memanfaatkan serbuk dalam bentuk cetakan keping lingkaran dengan diameter 0.3 cm dan tebal 0.3 cm. peletisasi sebaiknya dilakukan 2 kali, yaitu sebelum dan sesudah kalsinasi.

### Penggerusan

Setelah proses pengeringan selesai dilaksanakan dalam tungku, penggerusan dilakukan dengan mortal dan pastel secara manual selama 6 jam (bertahap) sampai bahan terasa halus. Tujuan dari penggerusan selain membuat bahan superkonduktor menjadi semakin halus, juga diharapkan lebih meningkatkan homogenitas campuran bahan. Dengan bahan yang halus dan homogen akan terjadi peningkatan efektivitas reaksi padatan yang membentuk benih-benih senyawa (prekursor).

### Kalsinasi

Pada proses selanjutnya bahan superkonduktor dipanaskan dalam tungku selama 40 jam pada suhu  $820^{\circ}\text{C}$ . Tujuan kalsinasi adalah membentuk senyawa prekursor Bi-2223 melalui reaksi padatan. Diagram kalsinasi ditunjukkan pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Diagram kalsinasi

### Peletisasi

Untuk meningkatkan efektifitas reaksi padatan dari bahan superkonduktor, jarak antara serbuk perlu diperkecil dengan memanfaatkan serbuk dalam bentuk cetakan keping lingkaran dengan diameter 0.3 cm dan tebal 0.3 cm. peletisasi sebaiknya dilakukan 2 kali, yaitu sebelum dan sesudah kalsinasi.

### Pelelehan

Setelah proses kalsinasi pada sampel bersangkutan dilakukan pelelehan. Yang dimaksud pelelehan disini adalah pemanasan sampai suhu 875 °C (T) hingga terjadi pelelehan selama waktu (t) yakni 30 menit.

### 3.3 Metode Karakterisasi

Sampel yang telah selesai dibuat dikarakterisasi dengan uji Tc dan perekaman gambar dengan mikroskop optik.

#### 3.3.2 Pengukuran Suhu Kritis (Tc)

Parameter penting yang perlu diamati adalah suhu kritis (Tc) dan kurva R-T yang dapat memberikan indikasi kualitas sampel yang diperoleh seperti dijelaskan dalam pasal 2.2.2. Kontak sampel dengan kabel digunakan pasta perak dengan metode empat probe.

Dengan suhu nitrogen cair, pelan-pelan dinaikkan, sambil diukur resistivitasnya. Data yang terukur adalah suhu dalam derajat celsius dan tegangan dalam volt, sedangkan arus dibuat tetap dalam skala mili Ampere. Sistem peralatan telah dikomputerisasi lengkap dengan interfacenya. Dari hasil ini dapat dibuat plot grafik, sehingga Tc setiap sampel dapat ditentukan.

Untuk menghitung resistivitas (dc), digunakan persamaan sederhana, yaitu .

$$\rho = \left( \frac{\rho l}{d} \right) \left( \frac{V}{I} \right) \Omega cm$$

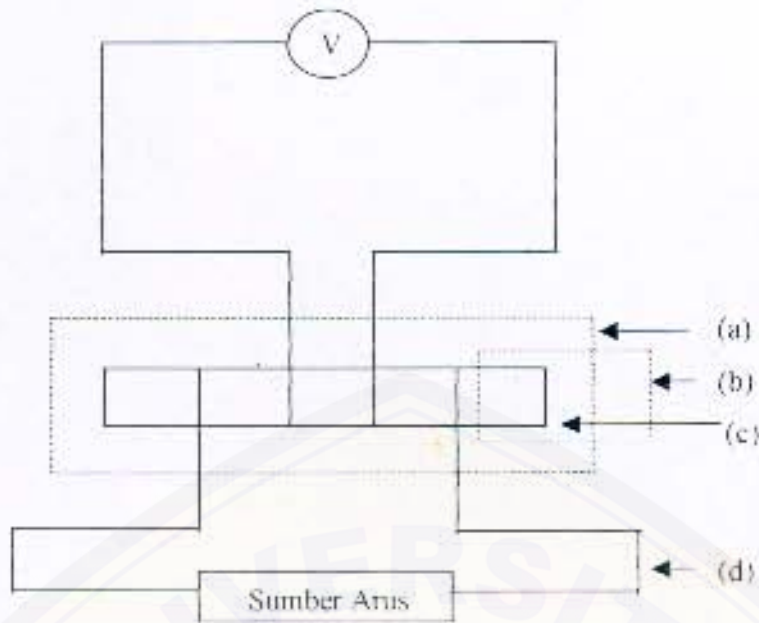
Dimana :

d adalah jarak antara probe (mm)

p adalah panjang bahan (mm)

l adalah lebar bahan (mm)

V dan I berturut adalah tegangan (V (mVolt)) dan arus (I (mA)) (dc)



Keterangan :

- (a) Cryogenic System / nitrogen cair
- (b) Termokopel
- (c) Sampel
- (d) Kawat penghubung

Gambar 3.4 Skema pengukuran  $T_c$

### 3.3.4 Uji Mikroskop Optik

Uji struktur mikro dari sampel dianalisa dengan menggunakan mikroskop optik yang dilakukan di laboratorium fisika material, sehubungan dengan hal tersebut untuk mengetahui morfologi suatu bahan dengan daya perbesaran 100 kali.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dengan menggunakan metode self-fluks telah dihasilkan bahan kristal superkonduktor  $\text{Bi}_x\text{Sr}_{2-x}\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  ( $x = 2,1$ ;  $x = 2,2$ ;  $x = 2,3$ ). Berdasarkan hasil karakterisasi, diketahui bahwa temperatur kritis yang diperoleh untuk sampel dengan  $x = 2,1$ ;  $x = 2,2$ ; dan  $x = 2,3$  adalah 102,5 K; 103 K; 104 K. Dari grafik hubungan antara resistivitas terhadap temperatur masing-masing sample, maka dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya kadar fluks pada bahan  $\text{Bi}_x\text{Sr}_{2-x}\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  ( $x = 2,1$ ;  $x = 2,2$ ;  $x = 2,3$ ) superkonduktor akan menyebabkan temperatur kritis ( $T_c$ ) semakin naik sehingga temperatur transisi ( $\Delta T_c$ ) yang diperoleh semakin kecil. Uji struktur mikro juga menunjukkan bahwa struktur terhalus diperoleh pada sampel dengan temperatur kritis tertinggi yaitu 104 K pada sampel dengan kadar fluks ( $x$ ) = 2,3.

#### 5.2 Saran

Dengan melihat hasil-hasil eksperimen dan kesimpulan di atas maka disarankan dalam penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengukuran rapat arus kritis ( $J_c$ ), untuk lebih mengetahui sifat superkonduktivitas bahan tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Balestrino, G, Milani, E, Paoletti, A, Tebano, A, Wang, Y.H, Ruosi, A, Vaglio, Valentino, M, Paroli, P, *Fast growth of  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10-x}$  and  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$  thin crystals surface of the KCl fluxes*, American Institute of Physics, March 1994.
- Chauhan, H.S, Mochida, T, Muralidhar, M, and Murakami, M, *Advances in Superkonduktiviti-x*, eds. L. Osamura and I. Hirabayashi, Springer-Verlag, Tokyo, (1998), P.725.
- Darminto, A.A Nugroho, A.Rusyidi, AA. Menovsky, dan W. Loeksmanto, *Variasi Tekanan Oksigen dalam penumbuhan kristal tunggal superkonduktor  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8-\delta}$  dan pengaruhnya*, Proc ITB, Vol 31, No 3, 1999.
- Diantoro M., *Studi Kinematika Pembentukan Superkonduktor Sistem  $\text{Bi}_{1-x}\text{Pb}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$  Melalui Prekursor Fase  $(\text{Bi},\text{Pb})_2\text{212}$* , Tesis S2, Fakultas Pasca Sarjana, ITB,1997.
- Kotani, T, T. Kancho, H. Takei, and K. Tada., *Jpn. J. Appl. Phys.* 28, 1. 1378 (1989)
- Li, S, M.Bredheoft, Q.Y.Hu, H.K. Liu, S.X.Dou and W Gao, *The effect of annealing and mechanical deformation on the grain alignment of  $(\text{Bi},\text{Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$  superconductors*, Physica C 275, 1997
- Suharta W. G., *Pengaruh Fluks  $\text{B}_2\text{O}_3$  dan Beberapa Parameter Pemrosesan pada Pembentukan Superkonduktor BPSCCO-2223*, Tesis Magister S2, Jurusan Fisika, Fakultas Pasca Sarjana, ITB,1997.
- Tjia, M. O. 2000. *Diktat Kuliah Superkonduktor*, Program magister, ITB, Bandung.
- Yoo, S.I, M. Murakami, N. Sakai, T. Higuchi, and S. Tanaka, *Japan, J. Appl. Phys.* 33, 1000 (1994)
- Yoo, S.I, Sakai, H. Takaichi, T. Higuchi and M. murakami, *J. Appl. Phys. Lett* 65, 633 (1994)

Yuhanti, N. *Sintesis Kristal Superkonduktor Bi-2212 Dengan Metode Self-Fluks*, Tesis S2, Fakultas Pasca Sarjana, ITB, 2002

Zhao, Y., H. Zhang, D.P Feng, Y.G. Liu, X.F. Hou, S.H. Han., *Growth and Annealing effect on resistivity anisotropy of  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$  Single Crystals*, Physica C 4965, 2000





Yuhanti, N. *Sintesis Kristal Superkonduktor Bi-2212 Dengan Metode Self-Fluks*, Tesis S2, Fakultas Pasca Sarjana, ITB, 2002

Zhao, Y., H. Zhang, D.P Feng, Y.G. Liu, X.F. Hou, S.H. Han., *Growth and Annealing effect on resistivity anisotropy of  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$  Single Crystals*, Physica C 4965, 2000

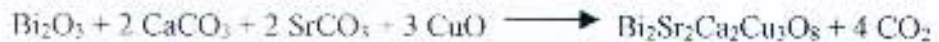




**Lampiran-Lampiran**

Lampiran I.

- ◆ Rumus reaksi secara umum



- ◆ Perhitungan Sampel dengan kadar fluks 2,1 (dengan rumus  $\text{Bi}_{2,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$ )

Berat masing-masing senyawa :

$$\text{BM Bi}_2\text{O}_3 = 465,9589$$

$$\text{BM SrCO}_3 = 147,6292$$

$$\text{BM CaCO}_3 = 100,0872$$

$$\text{BM CuO} = 79,5454$$

BM total  $\text{Bi}_{2,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$

$$\text{Bi} = \text{BM Bi}_2\text{O}_3 \times 0,5 \times 2,1 = 489,2568$$

$$\text{Sr} = \text{BM SrCO}_3 \times 1 \times 2 = 295,2584$$

$$\text{Ca} = \text{BM CaCO}_3 \times 1 \times 2 = 200,1744$$

$$\text{Cu} = \text{BM CuO} \times 1 \times 2 = 159,0908$$

$$\text{Berat molekul total} = 1143,7804$$

Apabila setiap sampel 1 gram maka mol total =  $1 / 1143,7804 = 0,000874$

Jadi bahan yang diperlukan untuk 1 gram bahan superkonduktor  $\text{Bi}_{2,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$  adalah :

$$\text{Untuk 1 gram Bi} = 0,000874 \times 489,2568 = 0,42761$$

$$\text{Untuk 5 gram Bi} = 5 \times 0,42761 = 2,1380$$

$$\text{Untuk 1 gram Sr} = 0,000874 \times 295,2584 = 0,2580$$

$$\text{Untuk 5 gram Sr} = 5 \times 0,2580 = 1,29000$$

$$\text{Untuk 1 gram Ca} = 0,000874 \times 200,1744 = 0,17495$$

$$\text{Untuk 5 gram Ca} = 5 \times 0,17495 = 0,87475$$

$$\text{Untuk 1 gram Cu} = 0,000874 \times 159,0908 = 0,13904$$

$$\text{Untuk 5 gram Cu} = 5 \times 0,13904 = 0,6952$$

- ◆ Perhitungan Sampel dengan kadar fluks 2,2 (dengan rumus  $\text{Bi}_{2,2}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ )

Berat masing-masing senyawa :

$$\text{BM Bi}_2\text{O}_3 = 465,9589$$

$$\text{BM SrCO}_3 = 147,6292$$

$$\text{BM CaCO}_3 = 100,0872$$

$$\text{BM CuO} = 79,5454$$

BM total  $\text{Bi}_{2,2}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$

$$\text{Bi} = \text{BM Bi}_2\text{O}_3 \times 0,5 \times 2,2 = 512,55479$$

$$\text{Sr} = \text{BM SrCO}_3 \times 1 \times 2 = 295,2584$$

$$\text{Ca} = \text{BM CaCO}_3 \times 1 \times 2 = 200,1744$$

$$\text{Cu} = \text{BM CuO} \times 1 \times 2 = 159,0908$$

$$\text{Berat molekul total} = 1167,07839$$

Apabila setiap sampel 1 gram maka mol total =  $1 / 1167,07839 = 0,000857$

Jadi bahan yang diperlukan untuk 1 gram bahan superkonduktor  $\text{Bi}_{2,2}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  adalah :

$$\text{Untuk 1 gram Bi} = 0,000857 \times 512,55479 = 0,43926$$

$$\text{Untuk 5 gram Bi} = 5 \times 0,43926 = 2,1963$$

$$\text{Untuk 1 gram Sr} = 0,000857 \times 295,2584 = 0,2530$$

$$\text{Untuk 5 gram Sr} = 5 \times 0,2530 = 1,2656$$

$$\text{Untuk 1 gram Ca} = 0,000857 \times 200,1744 = 0,17155$$

$$\text{Untuk 5 gram Ca} = 5 \times 0,17155 = 0,85775$$

$$\text{Untuk 1 gram Cu} = 0,000857 \times 159,0908 = 0,13634$$

$$\text{Untuk 5 gram Cu} = 5 \times 0,13634 = 0,6817$$

- ◆ Perhitungan Sampel dengan kadar fluks 2,3 (dengan rumus  $\text{Bi}_{2,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ )

Berat masing-masing senyawa :

$$\text{BM Bi}_2\text{O}_3 = 465,9589$$

$$\text{BM SrCO}_3 = 147,6292$$

$$\text{BM CaCO}_3 = 100,0872$$

$$\text{BM CuO} = 79,5454$$

BM total  $\text{Bi}_{2,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$

$$\text{Bi} = \text{BM Bi}_2\text{O}_3 \times 0,5 \times 2,3 = 535,8527$$

$$\text{Sr} = \text{BM SrCO}_3 \times 1 \times 2 = 295,2584$$

$$\text{Ca} = \text{BM CaCO}_3 \times 1 \times 2 = 200,1744$$

$$\text{Cu} = \text{BM CuO} \times 1 \times 2 = 159,0908$$

$$\text{Berat molekul total} = 1190,3763$$

Apabila setiap sampel 1 gram maka mol total =  $1 / 1190,3763 = 0,000840$

Jadi bahan yang diperlukan untuk 1 gram bahan superkonduktor  $\text{Bi}_{2,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  adalah :

$$\text{Untuk 1 gram Bi} = 0,000840 \times 535,8527 = 0,4501$$

$$\text{Untuk 5 gram Bi} = 5 \times 0,4501 = 2,2505$$

$$\text{Untuk 1 gram Sr} = 0,000840 \times 295,2584 = 0,2480$$

$$\text{Untuk 5 gram Sr} = 5 \times 0,2480 = 1,240$$

$$\text{Untuk 1 gram Ca} = 0,000840 \times 200,1744 = 0,1681$$

$$\text{Untuk 5 gram Ca} = 5 \times 0,1681 = 0,8405$$

$$\text{Untuk 1 gram Cu} = 0,000840 \times 159,0908 = 0,1336$$

$$\text{Untuk 5 gram Cu} = 5 \times 0,1336 = 0,6681$$

Lampiran 2.

- Untuk Kadar Fluks 2,1

T(C)	T(K)	V (volt)	Rho
-189	84	0.0027	0.000759
-188	85	0.0026	0.000731
-187	86	0.0028	0.000787
-186	87	0.0022	0.000618
-185	88	0.0016	0.00045
-184	89	0.0014	0.000393
-183	90	0.0008	0.000225
-182	91	0.0015	0.000422
-181	92	0.0007	0.000197
-180	93	0.0003	8.43E-05
-179	94	0	0
-178	95	0	0
-177	96	0	0
-176	97	0	0
-175	98	0	0
-174	99	0	0
-173	100	0	0
-172	101	0	0
-171	102	0	0
-170.5	102.5	0	0
-170	103	0.0007	0.000197
-169.5	103.5	0.0015	0.000422
-169	104	0.0074	0.002079
-168.5	104.5	<b>0.0118</b>	0.003316
-168	105	0.0326	0.009161
-167.5	105.5	0.0508	0.014275
-167	106	0.0878	0.024672
-166.5	106.5	<b>0.1445</b>	0.040605
-166	107	0.1492	0.041925
-165.5	107.5	0.1523	0.042796
-165	108	0.15	0.04215
-164.5	108.5	0.1519	0.042684
-164	109	0.1534	0.043105
-163.5	109.5	0.1528	0.042937
-163	110	0.1551	0.043583
-162.5	110.5	0.1587	0.044595
-162	111	0.1621	0.04555
-161.5	111.5	0.163	0.045803
-161	112	0.1635	0.045944
-160.5	112.5	0.1658	0.04659

$$\rho = \left( \frac{\rho l}{d} \right) \left( \frac{V}{I} \right)$$

$$\rho = 0,55 \text{ cm}$$

$$l = 0,255 \text{ cm}$$

$$d = 0,2 \text{ cm}$$

$$I = 25 \text{ mA}$$

$$T_{\text{cool}} = 102,5 \text{ K}$$

$$T_{\text{min}} = 104,5 \text{ K}$$

$$T_{\text{on}} = 106,5 \text{ K}$$

-160	113	0.166	0.046646
-159.5	113.5	0.1645	0.046225
-159	114	0.1679	0.04718
-158.5	114.5	0.1682	0.047264
-158	115	0.1686	0.047377
-157.5	115.5	0.1686	0.047377
-157	116	0.1694	0.047601
-156.5	116.5	0.1697	0.047686
-156	117	0.1712	0.048107
-155.5	117.5	0.1689	0.047461
-155	118	0.1698	0.047714
-154.5	118.5	0.1726	0.048501
-154	119	0.1734	0.048725
-153.5	119.5	0.1752	0.049231
-153	120	0.1766	0.049625
-152.5	120.5	0.1781	0.050046
-152	121	0.1788	0.050243
-151.5	121.5	0.1767	0.049653
-151	122	0.178	0.050018
-150.5	122.5	0.1816	0.05103
-150	123	0.1825	0.051283
-149.5	123.5	0.184	0.051704
-149	124	0.1865	0.052407
-148.5	124.5	0.1869	0.052519
-148	125	0.1888	0.053053
-147.5	125.5	0.1872	0.052603
-147	126	0.1895	0.05325
-146.5	126.5	0.1921	0.05398
-146	127	0.1928	0.054177
-145.5	127.5	0.1897	0.053306
-145	128	0.192	0.053952
-144.5	128.5	0.1943	0.054598
-144	129	0.195	0.054795
-143.5	129.5	0.1965	0.055217
-143	130	0.1971	0.055385
-142.5	130.5	0.1971	0.055385
-142	131	0.197	0.055357
-141.5	131.5	0.1982	0.055694
-141	132	0.1985	0.055779
-140.5	132.5	0.1989	0.055891
-140	133	0.1983	0.055722
-139.5	133.5	0.1991	0.055947
-139	134	0.1994	0.056031
-138.5	134.5	0.1981	0.055666
-138	135	0.1945	0.054655

-137.5	135.5	0.1966	0.055245
-137	136	0.1987	0.055835
-136.5	136.5	0.1998	0.056144
-136	137	0.2004	0.056312
-135.5	137.5	0.2062	0.057942
-135	138	0.211	0.059291
-134.5	138.5	0.211	0.059291
-134	139	0.2191	0.061567

◆ Kadar Fluks 2,2

T(C)	T(K)	V (volt)	Rho
-189	84	0.0016	4.08E-05
-188	85	0.0014	3.57E-05
-187	86	0.0017	4.34E-05
-186	87	0.0014	3.57E-05
-185	88	0.001	2.55E-05
-184	89	0.0007	1.79E-05
-183	90	0.0004	1.02E-05
-182	91	0.0004	1.02E-05
-181	92	0.0001	2.55E-06
-180	93	0	0
-179	94	0	0
-178	95	0	0
-177	96	0	0
-176	97	0	0
-175	98	0	0
-174	99	0	0
-173	100	0	0
-172	101	0	0
-171	102	0	0
-170.5	102.5	0	0
<b>-170</b>	<b>103</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
-169.5	103.5	0.0003	7.65E-06
-169	104	0.0011	2.81E-05
-168.5	104.5	0.0116	0.000296
<b>-168</b>	<b>105</b>	<b>0.0228</b>	<b>0.000581</b>
-167.5	105.5	0.0612	0.001561
-167	106	0.0864	0.002203
-166.5	106.5	0.0935	0.002384
<b>-166</b>	<b>107</b>	<b>0.1332</b>	<b>0.003397</b>
-165.5	107.5	0.1355	0.003455
-165	108	0.1326	0.003381

$$\rho = \left( \frac{pI}{d} \right) \left( \frac{V}{l} \right)$$

p = 0,50 cm  
 l = 0,255 cm  
 d = 0,2 cm

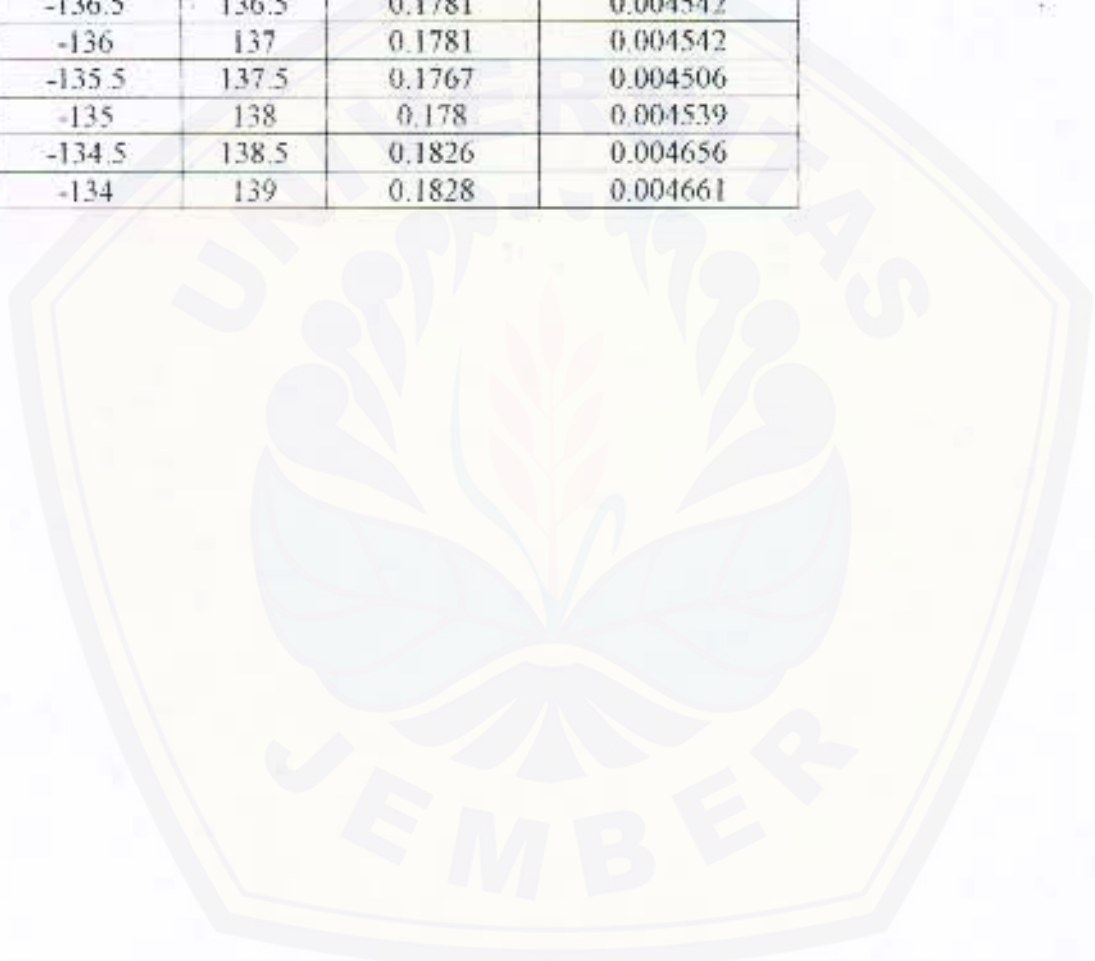
T<sub>cool</sub> = 103 K  
 T<sub>mid</sub> = 105 K  
 T<sub>hot</sub> = 107 K



-164.5	108.5	0.1368	0.003488
-164	109	0.1379	0.003516
-163.5	109.5	0.1388	0.003539
-163	110	0.1413	0.003603
-162.5	110.5	0.1426	0.003636
-162	111	0.1435	0.003659
-161.5	111.5	0.1452	0.003703
-161	112	0.1446	0.003687
-160.5	112.5	0.1442	0.003677
-160	113	0.1451	0.0037
-159.5	113.5	0.1464	0.003733
-159	114	0.1478	0.003769
-158.5	114.5	0.1493	0.003807
-158	115	0.1512	0.003856
-157.5	115.5	0.1495	0.003812
-157	116	0.1512	0.003856
-156.5	116.5	0.152	0.003876
-156	117	0.1524	0.003886
-155.5	117.5	0.1529	0.003899
-155	118	0.1548	0.003947
-154.5	118.5	0.1546	0.003942
-154	119	0.1549	0.00395
-153.5	119.5	0.1557	0.00397
-153	120	0.155	0.003953
-152.5	120.5	0.1564	0.003988
-152	121	0.1564	0.003988
-151.5	121.5	0.1582	0.004034
-151	122	0.1587	0.004047
-150.5	122.5	0.1592	0.00406
-150	123	0.1583	0.004037
-149.5	123.5	0.1578	0.004024
-149	124	0.1585	0.004042
-148.5	124.5	0.1611	0.004108
-148	125	0.1626	0.004146
-147.5	125.5	0.1618	0.004126
-147	126	0.1625	0.004144
-146.5	126.5	0.163	0.004157
-146	127	0.1638	0.004177
-145.5	127.5	0.1645	0.004195
-145	128	0.1641	0.004185
-144.5	128.5	0.1642	0.004187
-144	129	0.1657	0.004225
-143.5	129.5	0.1678	0.004279
-143	130	0.1675	0.004271
-142.5	130.5	0.1682	0.004289

-164.5	108.5	0.1368	0.003488
-164	109	0.1379	0.003516
-163.5	109.5	0.1388	0.003539
-163	110	0.1413	0.003603
-162.5	110.5	0.1426	0.003636
-162	111	0.1435	0.003659
-161.5	111.5	0.1452	0.003703
-161	112	0.1446	0.003687
-160.5	112.5	0.1442	0.003677
-160	113	0.1451	0.0037
-159.5	113.5	0.1464	0.003733
-159	114	0.1478	0.003769
-158.5	114.5	0.1493	0.003807
-158	115	0.1512	0.003856
-157.5	115.5	0.1495	0.003812
-157	116	0.1512	0.003856
-156.5	116.5	0.152	0.003876
-156	117	0.1524	0.003886
-155.5	117.5	0.1529	0.003899
-155	118	0.1548	0.003947
-154.5	118.5	0.1546	0.003942
-154	119	0.1549	0.00395
-153.5	119.5	0.1557	0.00397
-153	120	0.155	0.003953
-152.5	120.5	0.1564	0.003988
-152	121	0.1564	0.003988
-151.5	121.5	0.1582	0.004034
-151	122	0.1587	0.004047
-150.5	122.5	0.1592	0.00406
-150	123	0.1583	0.004037
-149.5	123.5	0.1578	0.004024
-149	124	0.1585	0.004042
-148.5	124.5	0.1611	0.004108
-148	125	0.1626	0.004146
-147.5	125.5	0.1618	0.004126
-147	126	0.1625	0.004144
-146.5	126.5	0.163	0.004157
-146	127	0.1638	0.004177
-145.5	127.5	0.1645	0.004195
-145	128	0.1641	0.004185
-144.5	128.5	0.1642	0.004187
-144	129	0.1657	0.004225
-143.5	129.5	0.1678	0.004279
-143	130	0.1675	0.004271
-142.5	130.5	0.1682	0.004289

-142	131	0.1686	0.004299
-141.5	131.5	0.1686	0.004299
-141	132	0.1694	0.00432
-140.5	132.5	0.1697	0.004327
-140	133	0.1722	0.004391
-139.5	133.5	0.1688	0.004304
-139	134	0.1714	0.004371
-138.5	134.5	0.1729	0.004409
-138	135	0.1733	0.004419
-137.5	135.5	0.175	0.004463
-137	136	0.1762	0.004493
-136.5	136.5	0.1781	0.004542
-136	137	0.1781	0.004542
-135.5	137.5	0.1767	0.004506
-135	138	0.178	0.004539
-134.5	138.5	0.1826	0.004656
-134	139	0.1828	0.004661



## ◆ Kadar Fluks 2,3

T(C)	T(K)	V (volt)	Rho
-189	84	0.0021	0.00005775
-188	85	0.0017	0.00004675
-187	86	0.0015	0.00004125
-186	87	0.0015	0.00004125
-185	88	0.0012	0.000033
-184	89	0.0007	0.00001925
-183	90	0.0003	0.00000825
-182	91	0	0
-181	92	0	0
-180	93	0	0
-179	94	0	0
-178	95	0	0
-177	96	0	0
-176	97	0	0
-175	98	0	0
-174	99	0	0
-173	100	0	0
-172	101	0	0
-171	102	0	0
-170.5	102.5	0	0
-170	103	0	0
-169.5	103.5	0	0
<b>-169</b>	<b>104</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
-168.5	104.5	0.0005	0.00001375
-168	105	0.0017	0.00004675
<b>-167.5</b>	<b>105.5</b>	<b>0.0086</b>	<b>0.0002365</b>
-167	106	0.0224	0.000616
-166.5	106.5	0.0658	0.0018095
<b>-166</b>	<b>107</b>	<b>0.1215</b>	<b>0.00334125</b>
-165.5	107.5	0.1221	0.00335775
-165	108	0.1229	0.00337975
-164.5	108.5	0.124	0.00341
-164	109	0.1244	0.003421
-163.5	109.5	0.1248	0.003432
-163	110	0.1241	0.00341275
-162.5	110.5	0.1252	0.003443
-162	111	0.1246	0.0034265
-161.5	111.5	0.1254	0.0034485
-161	112	0.1259	0.00346225
-160.5	112.5	0.1263	0.00347325
-160	113	0.1268	0.003487
-159.5	113.5	0.1274	0.0035035

$$\rho = \left( \frac{\rho l}{d} \right) \left( \frac{V}{I} \right)$$

$$p = 0.55 \text{ cm}$$

$$l = 0.250 \text{ cm}$$

$$d = 0.2 \text{ cm}$$

$$I = 25 \text{ mA}$$

$$T_{\text{cool}} = 104 \text{ K}$$

$$T_{\text{cool}} = 105.5 \text{ K}$$

$$T_{\text{cool}} = 107 \text{ K}$$

-159	114	0.1268	0.003487
-158.5	114.5	0.1271	0.00349525
-158	115	0.1275	0.00350625
-157.5	115.5	0.1279	0.00351725
-157	116	0.1283	0.00352825
-156.5	116.5	0.1278	0.0035145
-156	117	0.1285	0.00353375
-155.5	117.5	0.1287	0.00353925
-155	118	0.1292	0.003553
-154.5	118.5	0.1296	0.003564
-154	119	0.1287	0.00353925
-153.5	119.5	0.1293	0.00355575
-153	120	0.1312	0.003608
-152.5	120.5	0.1325	0.00364375
-152	121	0.1344	0.003696
-151.5	121.5	0.1356	0.003729
-151	122	0.1354	0.0037235
-150.5	122.5	0.1358	0.0037345
-150	123	0.1361	0.00374275
-149.5	123.5	0.1364	0.003751
-149	124	0.136	0.00374
-148.5	124.5	0.1367	0.00375925
-148	125	0.1376	0.003784
-147.5	125.5	0.1378	0.0037895
-147	126	0.1371	0.00377025
-146.5	126.5	0.1375	0.00378125
-146	127	0.138	0.003795
-145.5	127.5	0.1386	0.0038115
-145	128	0.1392	0.003828
-144.5	128.5	0.1422	0.0039105
-144	129	0.1424	0.003916
-143.5	129.5	0.1431	0.00393525
-143	130	0.1454	0.0039985
-142.5	130.5	0.1448	0.003982
-142	131	0.1445	0.00397375
-141.5	131.5	0.1451	0.00399025
-141	132	0.1474	0.0040535
-140.5	132.5	0.1478	0.0040645
-140	133	0.1483	0.00407825
-139.5	133.5	0.1522	0.0041855
-139	134	0.1493	0.00410575
-138.5	134.5	0.1516	0.004169
-138	135	0.152	0.00418
-137.5	135.5	0.1525	0.00419375
-137	136	0.1529	0.00420475

-136.5	136.5	0.1548	0.004257
-136	137	0.1543	0.00424325
-135.5	137.5	0.1543	0.00424325
-135	138	0.1556	0.004279
-134.5	138.5	0.1551	0.00426525
-134	139	0.1573	0.00432575



-136.5	136.5	0.1548	0.004257
-136	137	0.1543	0.00424325
-135.5	137.5	0.1543	0.00424325
-135	138	0.1556	0.004279
-134.5	138.5	0.1551	0.00426525
-134	139	0.1573	0.00432575



-136.5	136.5	0.1548	0.004257
-136	137	0.1543	0.00424325
-135.5	137.5	0.1543	0.00424325
-135	138	0.1556	0.004279
-134.5	138.5	0.1551	0.00426525
-134	139	0.1573	0.00432575







Departemen Pendidikan Nasional RI  
Universitas Jember  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

SURAT TA-04

SURAT KETERANGAN SELESAI PENELITIAN

Kami selaku Dosen Pembimbing Utama/Anggota yang mengawasi penelitian/percobaan mahasiswa sebagai tersebut di bawah ini :

Nama : Andy Faturrhman  
NIM : 991810201076  
Jurusan/PS : Fisika/MIPA  
Semester : XI (Sebelas)

Menerangkan dengan sebenarnya bahwa mahasiswa yang bersangkutan betul-betul telah melaksanakan penelitian/percobaan, tentang :

*Sintesis Kristal Superkonduktor Bi-2223 Dengan Metode Self-Fluks*

Bertempat :

Di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika dan Laboratorium Kimia Fisik Jurusan Kimia Universitas Jember

Dimulai bulan Februari 2004 s/d Oktober 2004

Surat keterangan ini dibuat sebagai persyaratan pengajuan permohonan ujian Tugas Akhir/Skripsi.

Demikian untuk diketahui dan dipergunakan sebagaimana mestinya.

Dosen Pembimbing Utama

(Dra. Nanik Yulianti M.Si)  
NIP. 132 162 508

Jember, 14 Oktober 2004

Dosen Pembimbing Anggota

(Drs. Sujito, Ph. D)  
NIP. 131 756 172



SURAT KETERANGAN SELESAI PERBAIKAN SKRIPSI

Kami selaku Tim Penguji Tugas Akhir / Skripsi dari mahasiswa sebagai tersebut di bawah ini :

Nama : Andy Fathur Rahman  
NIM : 991810201076  
Jurusan/PS : Fisika/MIPA  
Semester : XI (Sebelas)  
Judul Skripsi : Sintesis Kristal Superkonduktor Bi-2223 dengan metode *Self-Fluks*.

Menerangkan dengan sebenarnya bahwa mahasiswa yang bersangkutan betul-betul telah melaksanakan perbaikan Tugas Akhir / Skripsi sebelum berakhirnya batas waktu yang telah ditetapkan.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan sebagaimana mestinya.

Jember, Desember 2004

Mengetahui  
Tim Penguji Skripsi

Ketua (Dosen Pembimbing Utama)

Sekretaris (Dosen Pembimbing Anggota)

(Dra. Nanik Yulianti, M.Si)  
NIP. 132 162 508

(Drs. Sujito, Ph. D)  
NIP 131756 172

Tim Penguji I

(Artoto Arkundato, M. Si)  
NIP. 132 236 059

Tim Penguji II

(Sutisna, S. Pd, M. Si)  
NIP. 132 257 929