



**PENGARUH WAKTU SINTERING TERHADAP TEMPERATUR KRITIS ( $T_c$ )  
BAHAN KERAMIK SUPERKONDUKTOR  $\text{Bi}_{1,9} \text{Ag}_{0,1} \text{Sr}_2 \text{Ca}_2 \text{Cu}_3 \text{O}_{10}$**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Fisika (S1) dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh :

**YUNI SULISTYOWATI**  
NIM 021810201112

Asal :	Hadiah	Klass 537.623
	Pembelian	
Terima Tgl	09 MAR 2007	SUS P
No. Induk :		
Penyatalog :		

**JURUSAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER**

2007

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan dengan penuh rasa cinta, syukur dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda dan Ibunda, atas kasih sayang, cinta dan doa yang senantiasa terlimpah kepadaku dengan segenap ketulusan hati.
2. Masku, dan Semua keluarga di Malang yang telah memberikan bantuan dan dukungan.
3. Sahabat-sahabatku Heny, Ratih dan Hanik atas kebersamaan kita selama ini.
4. Almamater Universitas Jember yang ku banggakan.

**MOTTO**

Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman  
di antara kamu dan orang-orang yang diberi  
ilmu pengetahuan beberapa derajat  
(*terjemahan Surat Al-Mujadalah ayat 11\** )

Karena sesudah kesulitan itu ada kemudahan.  
Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.  
Maka apabila kamu sudah selesai (urusan dunia),  
Bersungguh-sungguhlah dalam beribadah.  
Dan hanya pada Tuhanmulah  
Kamu berharap.  
(*terjemahan Surat Al-Insyirahh ayat 5-6\*\** )

\*) Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al Quran dan Terjemahannya*.  
Semarang: PT Kumudasmoro Grafindo

\*\*\*) Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al Quran dan Terjemahannya  
dengan Transliterasi*. Semarang: PT Karya Toha Putra

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yuni Sulistyowati

NIM : 021810201112

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul : ” Pengaruh Waktu Sintering Terhadap Temperatur Kritis ( $T_c$ ) Bahan Keramik  $\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ ” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 26 Februari 2007

Yang menyatakan



Yuni Sulistyowati

NIM. 021810201112

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diterima oleh Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada :

Hari : **RABU**  
Tanggal : **07 MAR 2007**  
Tempat : Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

Tim Penguji

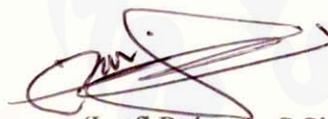
Ketua



(Drs. Sujito, PhD)

NIP. 131 759 172

Sekretaris



(Lutfi Rohman, S.Si, M.Si)

NIP. 132 206 037

Penguji I



(Ir. Misto, Msi.)

NIP. 131 945 799

Penguji II



(Artoto Arkundato, M.Si)

NIP.132 236 059

Mengesahkan,

Dekan FMIPA Universitas Jember



(M.S)

30 368 784

RINGKASAN

**Pengaruh Waktu Sintering Terhadap Temperatur Kritis ( $T_c$ ) Bahan Keramik  $\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ , Yuni Sulistyowati, 021810201112, 2007, 31 halaman.**

Secara umum bahan superkonduktor sistem BSCCO memiliki tiga fase yang masing-masing berkaitan dengan komposisi yang dinyatakan dengan rumus  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_n\text{Cu}_{n+1}\text{O}_y$  dengan  $n = 0,1,2$ . Fase pertama adalah fase 2201 memiliki suhu kritis 10 K, fase kedua adalah fase 2212 dengan suhu kritis 80 K, dan fase ketiga 2223 dengan suhu kritis 110 K. Dalam penelitian ini, bahan dengan fase Bi-2223 dengan dopan Ag digunakan sebagai sampel dengan waktu sintering sebagai parameter ubahan. Sampel hasil sintesis diukur untuk mengetahui karakteristik temperatur kritis.

Penelitian dilakukan pada bulan Mei 2006 sampai bulan Januari 2007 di Laboratorium Fisika Bahan Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember.

sintesis bahan superkonduktor (Bi,Ag)-2223 diawali dengan pencampuran cara basah dengan menggunakan  $\text{HNO}_3$  65% + aquades kemudian dilanjutkan dengan reaksi padatan. Proses kalsinasi dilakukan pada suhu  $820^\circ\text{C}$  selama 20 jam, sedangkan proses sintering dilakukan pada suhu  $850^\circ\text{C}$  selama waktu ( $t_{bc}$ ) yang divariasasi yaitu 20 jam, 40 jam, dan 60 jam

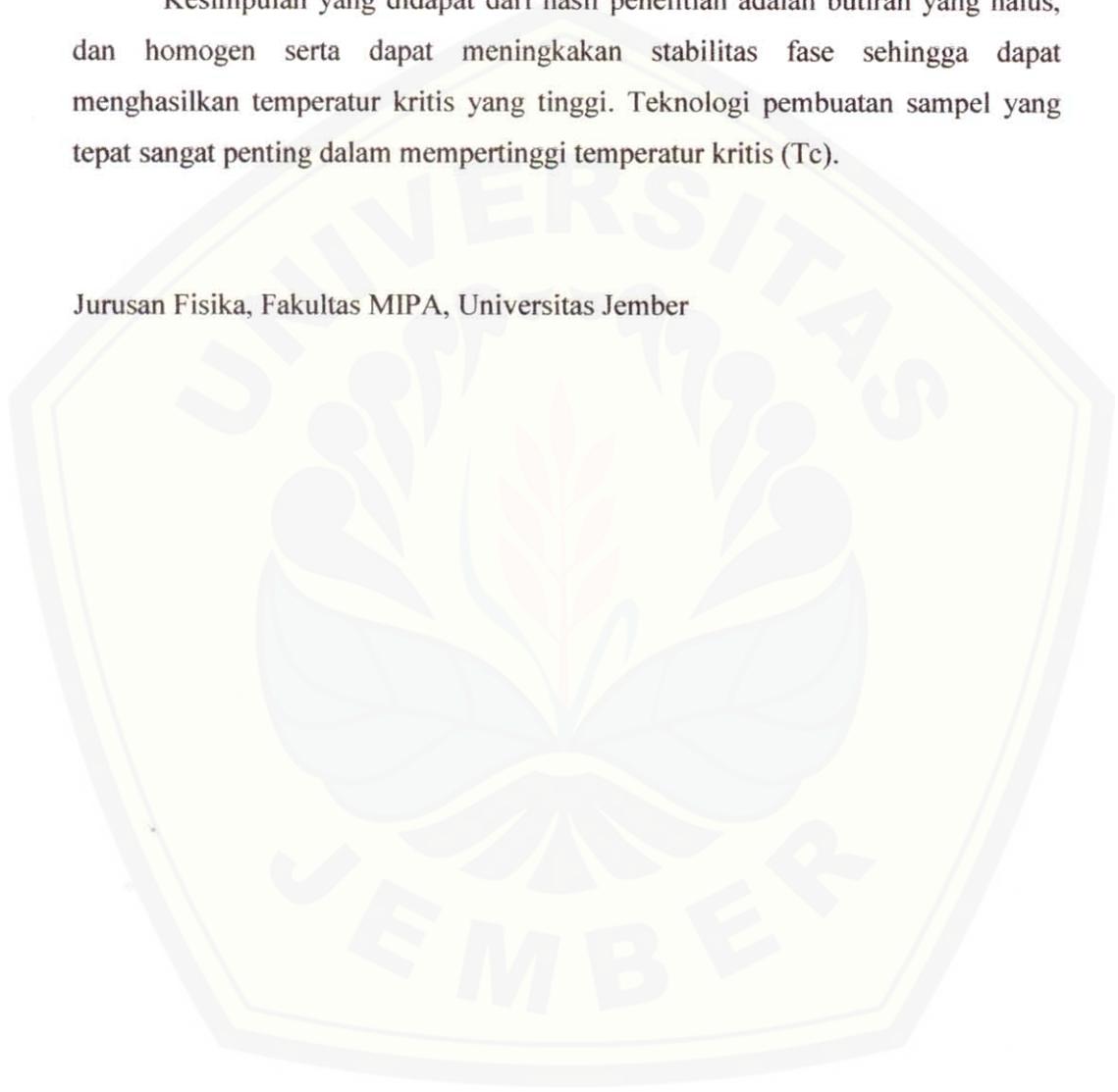
Karakterisasi hasil sintesis meliputi uji struktur mikro permukaan bahan dan pengukuran suhu kritis. Untuk karakterisasi, sampel dipotong berbentuk balok tipis kemudian dibuat elektroda dengan menggunakan pasta perak. Pengukuran I-V menggunakan metode *four point probes*.

Dari hasil karakterisasi, sampel  $\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$  dengan waktu sintering 60 jam menunjukkan struktur mikro permukaan yang lebih bagus dari  $\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$  dengan waktu sintering 20 jam dan 40 jam. Ukuran butiran butiran terlihat lebih kecil, halus dan penyebarannya merata. Hal ini menunjukkan tingkat homogenitas yang lebih tinggi dari kedua sampel lainnya.

Dari hasil yang diperoleh, sampel  $\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$  yang disintering selama 60 jam menghasilkan suhu kritis yang paling tinggi. Hal ini didukung oleh struktur mikro yang lebih baik dari kedua sampel  $\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$  yang disintering selama 20 jam dan 40 jam.

Kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian adalah butiran yang halus, dan homogen serta dapat meningkatkan stabilitas fase sehingga dapat menghasilkan temperatur kritis yang tinggi. Teknologi pembuatan sampel yang tepat sangat penting dalam mempertinggi temperatur kritis ( $T_c$ ).

Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jember



## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul ” **Pengaruh Waktu Sintering Terhadap Temperatur Kritis ( $T_c$ ) Bahan Keramik  $\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$** ” dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan program strata satu (S1) Jurusan Fisika, Fakultas MIPA Universitas Jember.

Dalam menyelesaikan karya tulis ilmiah ini penulis tidak lepas dari dukungan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ir. Sumadi, M.S., selaku Dekan Fakultas MIPA Universitas Jember.
2. Bapak Bowo Eko Cahyono M.Si, selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember.
3. Bapak Drs. Sujito, PhD, selaku Dosen Pembimbing Utama (DPU). Bapak Lutfi Rohman, S.Si, M.Si, selaku Dosen Pembimbing Anggota (DPA) atas segala waktu, perhatian dan kesabaran dalam membimbing penulis dari awal sampai terselesaikannya skripsi ini.
4. Bapak Ir. Misto, M.Si, selaku dosen penguji I, Bapak Artoto Arkundato M.Si, selaku dosen penguji II atas segala kritik, masukan dan saran yang telah diberikan bagi kesempurnaan penulisan skripsi ini.
5. Semua staff akademik di Fakultas MIPA khususnya jurusan Fisika, serta semua pihak yang ikut membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulisan skripsi ini jauh dari sempurna, hal ini tidak lepas dari keterbatasan pengetahuan dan penalaran dari penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan masukan dan saran demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Jember, Februari 2007

Penulis

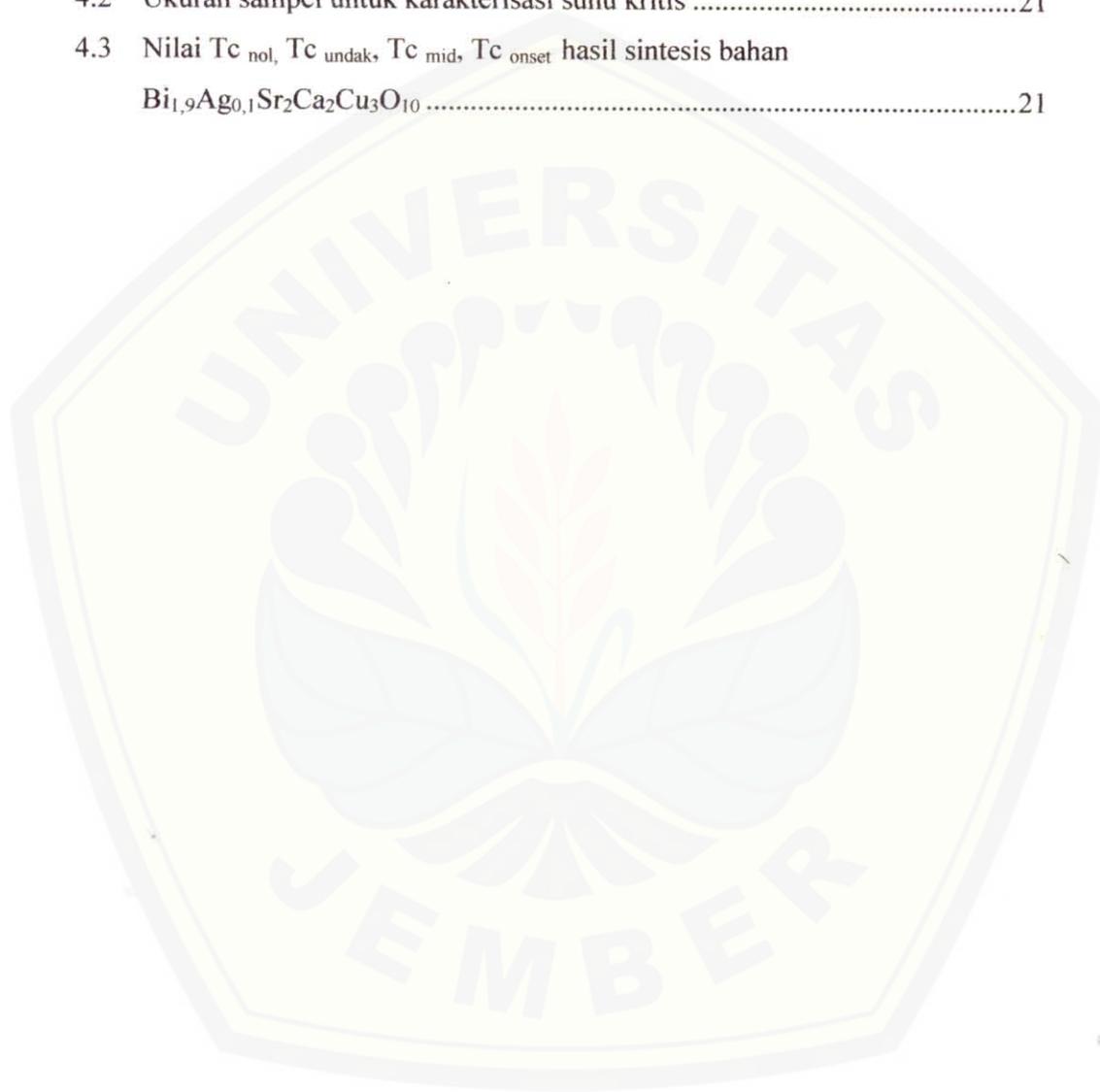
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	ii
HALAMAN MOTTO .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
RINGKASAN .....	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Gejala dan Perkembangan Superkonduktifitas Bahan .....	4
2.2 Superkonduktor .....	5
2.2.1 Superkonduktor Tipe I .....	5
2.2.2 Superkonduktor Tipe II .....	6
2.3 Diagram Fase.....	6
2.3.1 Dasar Kesetimbangan Fase .....	7
2.3.2 Diagram Fase Superkonduktor Suhu Tinggi.....	8
2.4 Peranan Dopan Pada Superkonduktor BSCCO .....	8
2.5 Pengaruh Waktu Sintering Terhadap Superkonduktivitas Bahan.....	9
2.6 Karakterisasi Bahan Superkonduktor .....	9

2.6.1 Temperatur Kritis ( $T_c$ ) .....	10
2.6.2 Rapat Arus Kritis ( $J_c$ ) .....	11
2.6.3 Efek Meissner.....	11
2.6.4 Medan Kritis ( $H_c$ ) .....	12
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>14</b>
3.1 Waktu dan Tempat .....	14
3.2 Alat dan Bahan.....	14
3.2.1 Alat .....	14
3.2.2 Bahan .....	14
3.3 Sintesis Bahan.....	15
3.4 Karakterisasi Bahan .....	17
3.4.1 Mikroskop Optik .....	17
3.4.2 Temperatur Kritis ( $T_c$ ) .....	18
3.5 Analisa Hasil Penelitian .....	19
<b>BAB 4. HASIL DAN ANALISA DATA .....</b>	<b>20</b>
4.1 Hasil Sintesis Sampel .....	20
4.2 Morfologi Permukaan Bahan $\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ Superkonduktor .....	20
4.3 Pengukuran Temperatur Kritis.....	21
<b>BAB 5. PEMBAHASAN .....</b>	<b>25</b>
5.1 Hasil Sintesis Bahan $\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ .....	25
5.2 Morfologi Permukaan Bahan.....	25
5.3 Pengaruh Waktu Sintering Terhadap Temperatur Kritis ( $T_c$ ) Bahan.....	26
<b>BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>31</b>
6.1 Kesimpulan .....	31
6.2 Saran.....	31
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>32</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>34</b>

DAFTAR TABEL

	Halaman
4.1 Dimensi sampel $\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ .....	20
4.2 Ukuran sampel untuk karakterisasi suhu kritis .....	21
4.3 Nilai $T_{c\text{ nol}}$ , $T_{c\text{ undak}}$ , $T_{c\text{ mid}}$ , $T_{c\text{ onset}}$ hasil sintesis bahan $\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ .....	21



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Grafik medan magnet kritis terhadap temperatur kritis untuk bahan superkonduktor Tipe I .....	5
Gambar 2.2 Grafik medan magnet kritis terhadap temperatur kritis untuk bahan superkonduktor Tipe II .....	6
Gambar 2.3 Diagram fase senyawa yang memiliki sifat lelehan kongruen ( $A_2B$ ) dan inkongruen ( $AB_2$ ).....	7
Gambar 2.4 Kurva temperatur kritis dari superkonduktor BSCCO .....	10
Gambar 2.5 Fenomena Efek Meissner pada Bahan Superkonduktor .....	12
Gambar 2.6 Grafik Magnetisasi (M) terhadap Medan Magnet Luar (H) pada Superkonduktor Tipe I dan Tipe II .....	13
Gambar 3.1 Diagram alir sintesis bahan superkonduktor .....	15
Gambar 3.2 Diagram Sintering .....	17
Gambar 3.3 Skema metode “ <i>Four Point Probes</i> ” .....	18
Gambar 4.1.a Morfologi permukaan sampel dengan waktu sintering 20 jam .....	20
Gambar 4.1.b Morfologi permukaan sampel dengan waktu sintering 40 jam .....	21
Gambar 4.1.c Morfologi permukaan sampel dengan waktu sintering 60 jam .....	21
Gambar 4.2.a Grafik resistivitas sebagai fungsi temperatur untuk sampel dengan waktu sintering 20 jam .....	22
Gambar 4.2.b Grafik resistivitas sebagai fungsi temperatur untuk sampel dengan waktu sintering 40 jam .....	22
Gambar 4.2.c Grafik resistivitas sebagai fungsi temperatur untuk sampel dengan waktu sintering 20 jam) .....	23
Gambar 5.1.a Grafik resistivitas sebagai fungsi temperatur di atas temperatur kritis onset ( $T_{c \text{ onset}}$ ) sampel yang disintering dengan waktu 20 jam .....	28

Gambar 5.1.a Grafik resistivitas sebagai fungsi temperatur di atas temperatur kritis onset ( $T_{c \text{ onset}}$ ) sampel yang disintering dengan waktu 40 jam .....	28
Gambar 5.1.a Grafik resistivitas sebagai fungsi temperatur di atas temperatur kritis onset ( $T_{c \text{ onset}}$ ) sampel yang disintering dengan waktu 60 jam .....	29
Gambar 4.2.b Grafik hubungan antara waktu sintering dan temperatur kritis .....	30



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Perhitungan Massa Bi/Ag-2223 .....	32
B. Hasil pengukuran resistivitas bahan superkonduktor Bi <sub>1,9</sub> Ag <sub>0,1</sub> Sr <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>10</sub> dengan waktu sintering 20 jam .....	34
C. Hasil pengukuran resistivitas bahan superkonduktor Bi <sub>1,9</sub> Ag <sub>0,1</sub> Sr <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>10</sub> dengan waktu sintering 40 jam .....	36
D. Hasil pengukuran resistivitas bahan superkonduktor Bi <sub>1,9</sub> Ag <sub>0,1</sub> Sr <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>10</sub> dengan waktu sintering 60 jam .....	38



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Superkonduktor masih menjadi topik yang hangat dikaji, mengingat besarnya sumbangan yang akan diberikan apabila suhu kritis yang akan dicapai dapat mendekati suhu ruang. Banyak fenomena fisis yang menarik yang tidak dapat dilihat hanya pada suhu ruang saja, misalnya material keramik yang dibuat dengan proses pemanasan hingga mencapai suhu  $900^{\circ}\text{C}$  selama beberapa hari, lalu didinginkan secara bertahap ternyata hambatan menurun secara drastis hingga mencapai nol pada suhu tertentu (Kurniawan, 1998).

Fenomena fisis dimana nilai hambatan menjadi nol memiliki arti bahwa pada saat itu material tersebut memiliki daya hantar (konduktivitas) yang tidak berhingga dengan kata lain ketika material tersebut diberi arus listrik, maka arus dapat dengan bebas terhantarkan tanpa mengalami hambatan atau disipasi energi. Menurunnya hambatan listrik pada suatu bahan jika didinginkan sampai pada suhu tertentu sehingga mengakibatkan hambatannya nol disebut gejala superkonduktivitas. Sedangkan material yang memiliki gejala superkonduktivitas disebut material superkonduktor. Material bersifat superkonduktor pada rentang temperatur tertentu. Dengan menurunnya temperatur maka resistivitasnya akan mengalami penurunan juga sehingga nilainya semakin kecil. Temperatur tertentu dicapai pada saat resistivitas berada pada nilai minimum ( $\rho \sim 0$ ) disebut temperatur kritis ( $T_c$ ).  $T_c$  pada material dapat dicapai pada suhu di atas 77 K (Nitrogen cair).

Banyak usaha yang dilakukan oleh para ilmuwan untuk mendapatkan bahan superkonduktor yang murni. Namun dewasa ini para peneliti masih dihadapkan dengan beberapa macam permasalahan yang menjadi tantangan. Salah satu bahan superkonduktor dengan suhu kritis tinggi yang selanjutnya dikenal dengan SKST yang berbahan oksida keramik adalah superkonduktor BSCCO yang terdiri dari lima komponen yaitu Bi, Sr, Ca, Cu, dan O. Dalam rumus kimia komponen tersebut dapat dituliskan  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_n\text{Cu}_{n+1}\text{O}_{2n+4}$ . Khusus superkonduktor sistem Bismuth ini memiliki tiga fase berbeda yang konduktif. Fase pertama adalah fase 2201 memiliki suhu kritis 10 K, fase kedua adalah fase 2212 dengan

suhu kritis 80 K, dan fase ketiga 2223 dengan suhu kritis 110 K. Melihat suhu tersebut maka hanya fase 2212 dan fase 2223 yang dapat diaplikasikan menggunakan nitrogen cair dengan kata lain dua fase tersebut memiliki suhu kritis tinggi. Sintesis fase tunggal superkonduktor sistem bismuth, khususnya fase suhu tinggi (fase 2223) yang mempunyai suhu kritis sekitar 110K, masih sangat susah. Hal ini disebabkan jangkauan suhu pembentukan superkonduktor fase 2223 sangat pendek, yaitu berkisar antara  $835^{\circ}\text{C}$  sampai  $857^{\circ}\text{C}$ . Beberapa upaya yang telah dilakukan untuk memperoleh fase tunggal superkonduktor fase 2223, seperti penggunaan doping Pb dan doping Sb, penggunaan fluks ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ , KCl, dan NaCl). Disamping itu juga dilakukan dengan mengubah beberapa parameter pemrosesan seperti variasi komposisi awal dan variasi suhu sintering. Namun semua penelitian itu belum mampu menghasilkan sesuai dengan apa yang diharapkan.

Untuk mendapatkan bahan superkonduktor Bi-2223 yang murni telah banyak usaha yang dilakukan oleh para fisikawan seperti “studi kinetika pembentukan superkonduktor sistem BPSCCO (2223) melalui prekursor fase (Bi,Pb)-2223”. (Diantoro,1997). Dalam studi ini membahas tentang sintesis bahan superkonduktor yang disintering pada suhu  $820^{\circ}\text{C}$  hingga  $850^{\circ}\text{C}$  dengan waktu sebagai parameter ubahan. Sintering merupakan suatu proses pemanasan pada suhu tertentu selama selang waktu  $n$  jam dengan tujuan untuk membentuk bahan superkonduktor dengan fase yang diinginkan. Hasil studi ini menyatakan bahwa sampel yang disintering dengan suhu  $825^{\circ}\text{C}$ ,  $830^{\circ}\text{C}$ ,  $840^{\circ}\text{C}$ , dan  $850^{\circ}\text{C}$  terjadi pembentukan fase 2223. Untuk hasil  $850^{\circ}\text{C}$  selama  $n$  jam memiliki laju transformasi pembentukan fase 2223 yang paling cepat. Hasil sampel yang disintering pada suhu  $850^{\circ}\text{C}$  dengan waktu sintering (ts) 20 jam adalah 85 K sedangkan pada waktu sintering (ts) 40 jam dan 60 jam berturut-turut adalah 102,5 K dan 105,3 K. Sampel yang disintering pada suhu  $840^{\circ}\text{C}$  dengan waktu sintering (ts) 20 jam, 40 jam, dan 60 jam, semuanya memberikan hasil  $T_c$  yang tidak teramati diatas suhu Nitrogen cair (Widharma, 2004).

Salah satu cara untuk memperoleh fase tunggal  $T_c$  tinggi adalah dengan pemberian dopan. Pemberian dopan pada superkonduktor 2223 dapat meningkatkan stabilitas fase sehingga dapat mempercepat reaksi (Yuniarti, 2004).

Dalam upaya pembentukan BSCCO yang memiliki fase 2223 dengan temperatur kritis ( $T_c$ ) yang tinggi, selain pemberian dopan maka pada penelitian ini akan dilakukan proses sintering dengan variasi waktu yang berbeda.

### 1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang tersebut di atas, permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimanakah pengaruh waktu sintering terhadap temperatur kritis ( $T_c$ ) bahan keramik  $\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ ? Dengan waktu sintering yang dibatasi untuk 20 jam, 40 jam, dan 60 jam.

### 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji pengaturan parameter waktu sintering pada bahan keramik  $\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ .

### 1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah dapat memberikan sumbangan penelitian atau pemikiran dalam memperbaiki dan mengembangkan cara sintesis bahan superkonduktor suhu tinggi yang lebih efektif dan efisien.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Gejala dan Perkembangan Superkonduktivitas Bahan

Superkonduktor sudah lama menjadi topik pembicaraan dan penelitian yang sangat populer. Superkonduktor menjanjikan banyak hal bagi kita, misalnya transmisi listrik yang efisien (tak ada lagi kehilangan energi selama transmisi). Superkonduktor adalah suatu material yang tidak memiliki hambatan dibawah suatu nilai suhu tertentu. Suatu superkonduktor dapat saja berupa suatu konduktor, semikonduktor ataupun suatu insulator pada keadaan suhu ruang. Suhu dimana terjadi perubahan sifat konduktivitas menjadi superkonduktor disebut dengan temperatur kritis ( $T_c$ ) (Ismunandar, 2004).

Superkonduktor pertama kali ditemukan oleh seorang fisikawan Belanda, Heike Kamerlingh Onnes, dari Universitas Leiden pada tahun 1911. Pada tanggal 10 Juli 1908, Onnes berhasil mencairkan helium dengan cara mendinginkan hingga 4 K atau  $269^{\circ}\text{C}$ . Kemudian pada tahun 1911, Onnes mulai mempelajari sifat-sifat listrik dari logam pada suhu yang sangat dingin. Pada waktu itu telah diketahui bahwa hambatan suatu logam akan turun ketika didinginkan dibawah suhu ruang, akan tetapi belum ada yang dapat mengetahui berapa batas bawah hambatan yang dicapai ketika temperatur logam mendekati 0 K atau nol mutlak. Beberapa ahli ilmuwan pada waktu itu seperti William Kelvin memperkirakan bahwa elektron yang mengalir dalam konduktor akan berhenti ketika suhu mencapai nol mutlak. Dilain pihak, ilmuwan yang lain termasuk Onnes memperkirakan bahwa hambatan akan menghilang pada keadaan tersebut. Untuk mengetahui yang sebenarnya terjadi, Onnes kemudian mengalirkan arus pada kawat merkuri yang sangat murni dan kemudian mengukur hambatannya sambil menurunkan suhunya. Pada suhu 4,2 K, Onnes terkejut ketika mendapatkan bahwa hambatannya tiba-tiba menjadi hilang.

Dengan tidak adanya hambatan, maka arus dapat mengalir tanpa kehilangan energi. Percobaan Onnes dengan mengalirkan arus pada suatu kumparan superkonduktor dalam suatu rangkaian tertutup dan kemudian mencabut sumber arusnya lalu mengukur arusnya satu tahun kemudian ternyata

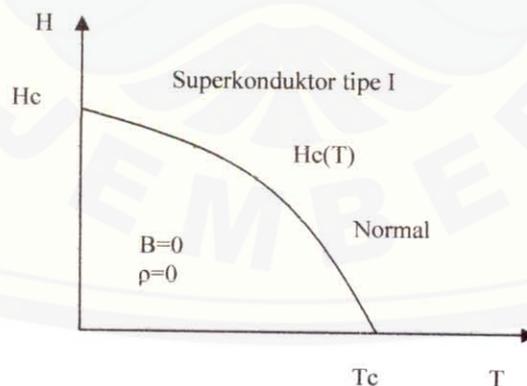
arus masih tetap mengalir. Fenomena ini kemudian oleh Onnes diberi nama superkonduktivitas.

## 2.2 Superkonduktor

### 2.2.1 Superkonduktor Tipe I

Nilai ambang antara nilai kritis medan magnet sebagai fungsi temperatur yang diberikan untuk merusak superkonduktivitas bahan dinotasikan dalam ( $H_c$ ). Medan kritis ( $H_c$ ) dapat menentukan nilai  $T_c$ , dengan medan magnet yang cukup kuat dapat menurunkan suhu kritis superkonduktor. Bahan-bahan percobaan logam murni yang menunjukkan medan kritis ( $H_c$ ) = 0 pada temperatur kritis ( $T_c$ ) = 0, maka perilaku ini disebut dengan superkonduktor tipe I. Unsur logam ini jika diletakkan pada suhu kamar akan bersifat konduktor, dan diantara unsur-unsur logam tersebut tidak sedikit yang memiliki sifat superkonduktor pada suhu rendah seperti tembaga, perak, dan golongan alkali. Pada umumnya superkonduktor tipe I memiliki  $H_c$  rendah (Yoo, et.al 1994).

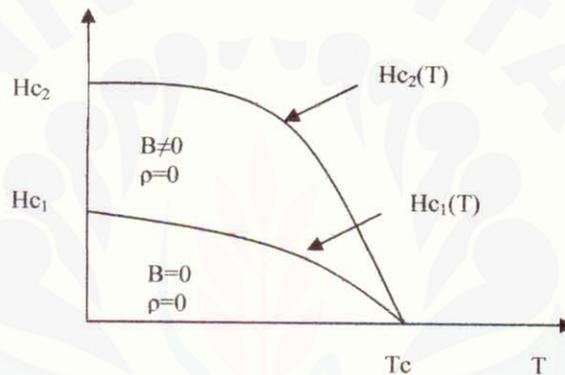
Superkonduktor tipe I pada umumnya terdiri dari bahan elemen tunggal, hanya memiliki satu nilai medan kritis, dengan suhu kritis ( $T_c$ ) yang rendah sekitar 20 K, dan masih kecilnya rapat arus kritis ( $J_c$ ), yaitu di bawah  $10^3$  A/cm<sup>2</sup>.. Adapun superkonduktor tipe I dapat dijelaskan dalam diagram pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Grafik medan magnet kritis terhadap temperatur kritis untuk bahan superkonduktor Tipe I (Yulianti, 2002).

### 2.2.2 Superkonduktor Tipe II

Merupakan superkonduktor suhu tinggi (SKST) yang memiliki dua medan kritis  $H_{c1}$  dan  $H_{c2}$ , suhu kritis ( $T_c$ ) dan rapat arus kritis ( $J_c$ ) umumnya lebih tinggi dari pada tipe I. Daerah antara  $H_{c1}$  dan  $H_{c2}$  adalah *vorteks* yaitu suatu keadaan dimana superkonduktor dapat menolak sebagian medan luar tetapi bahan masih memperlihatkan sifat superkonduktor. Superkonduktor tipe II yang baik dapat menolak medan magnet luar sepenuhnya sampai pada batas medan kritis  $H_{c1}$  sedangkan diatas  $H_{c2}$  *fluks* medan magnet sebagian dapat menembus bahan sampai batas medan kritis  $H_{c2}$ . diatas  $H_{c2}$  bahan akan kembali bersifat normal.



Gambar 2.2 Grafik medan magnet kritis terhadap temperatur kritis untuk bahan superkonduktor Tipe II (Yulianti, 2002).

### 2.3 Diagram Fase

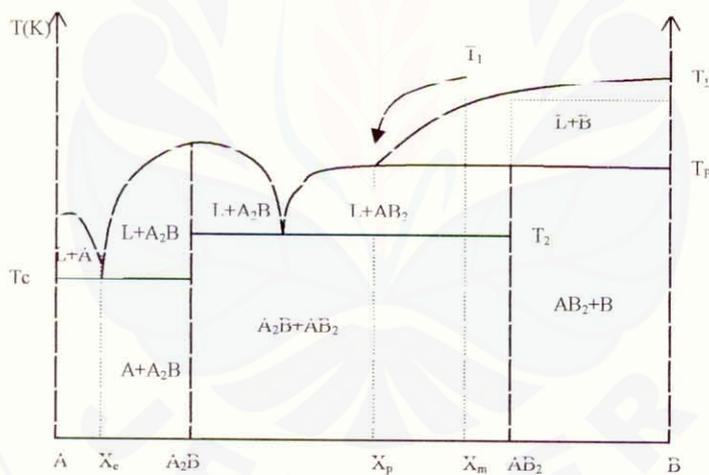
Fase adalah sekumpulan atom atau molekul yang tergabung secara homogen. Fase suatu sistem selain ditentukan oleh komposisi kimianya juga ditentukan oleh struktur (energi bebas Gibbs) dan harus memiliki batas permukaan antar *bulk* yang jelas serta berukuran setingkat di atas ukuran sel satuan kristal agar memiliki sifat termodinamik yang jelas seperti suhu, tekanan, volume dan energi (William, 1979)

Diagram fase adalah diagram yang dapat digunakan sebagai pedoman atau peta jalan (*roadmaps*) untuk mencapai sasaran yang tepat, mempermudah eksperimen penumbuhan kristal (informasi praktis yang sesuai) dan perencanaan pembuatan komposisi yang baru.

### 2.3.1 Dasar Kesetimbangan Fase

Diagram fase untuk kesetimbangan fase padat cair ditentukan oleh metode kurva pendingin. Kurva ini dibentuk dengan pengambilan suatu padatan dari komposisi tertentu, dilelehkan secara sempurna dalam fase cair dan kemudian mencatat suhu pada berbagai waktu sampai sistem memadat dengan sempurna. Jadi kurva pendinginan adalah grafik antara suhu dan waktu.

Fase dari suatu sistem ditentukan oleh komposisi kimianya juga ditentukan oleh struktur (yaitu energi bebas Gibbs) dan harus mempunyai batas permukaan yang jelas serta berukuran setingkat di atas ukuran sel satuan kristal agar memiliki sifat termodinamik (sifat *bulk* yang jelas) seperti suhu dan tekanan. Jadi salah satu variabel yang paling penting dalam pembentuk fase tertentu adalah perbandingan komposisi dalam sistem yang bersangkutan. Perbandingan ini dapat diungkapkan dalam persentase berat, persentase mol, atau fraksi mol.



Gambar 2.3 diagram fase senyawa yang memiliki sifat leleh kongruen ( $A_2B$ ) dan inkongruen ( $AB_2$ ) (Yulianti, 2002)

Senyawa padatan yang meleleh secara kongruen adalah senyawa yang dapat berada dalam keadaan setimbang dengan fase cairnya dalam komposisi komponen yang sama. Contoh dalam diagram fase di atas adalah senyawa  $A_2B$ . kristal senyawa kongruen dapat ditumbuhkan langsung dari lelehannya, karena

senyawa sejenis ini tidak mengalami perubahan komposisi kimia dalam proses transisi  $S \leftrightarrow L$ .

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

### 2.3.2 Diagram Fase Superkonduktor Suhu Tinggi

Superkonduktor suhu tinggi umumnya merupakan senyawa yang mempunyai sifat lelehan inkongruen, yang terbentuk melalui peritektik. Senyawa ini dapat terbentuk melalui komposisi yang berbeda. Ukuran grain tergantung pada perlakuan pemanasan sebelum reaksi peritektik terjadi. Sebagai contoh, pada pendinginan lambat sampai mencapai suhu peritektik, grain umumnya akan terbentuk.

Secara umum reaksi peritektik sangat lambat sebab difusinya lambat. Kemudian pertumbuhan kristal dari senyawa peritektik dengan mengontrol komposisi stoikiometri adalah tidak mungkin.

### 2.4 Peranan Dopan Pada Superkonduktor BSCCO

Dopan berperan penting dalam pembentukan superkonduktor  $T_c$  tinggi. Dopan dapat berupa substitusi artinya mengganti atom asli di dalam superkonduktor dengan atom dopan yang ukurannya tidak jauh berbeda dengan ukuran atom aslinya, atau dopan juga dapat berupa penambahan artinya menambahkan atom-atom dopan kedalam atom asli superkonduktor. Dopan berupa substitusi secara kimiawi dapat diprediksi dari informasi letak hole yang dihasilkan sebagai akibat dari pemberian dopan tersebut. Dopan yang tidak dapat larut atau memiliki solubilitas rendah dan konsentrasinya bertambah melebihi batas solubilitas, mengakibatkan terbentuknya fase kedua biasanya berupa insulasi juga terkadang membentuk lapisan intergranular. Pengaruh dopan akan tampak lebih nyata jika fase impuritas berdekatan dengan hole-hole superkonduksi yang

terbentuk pada bidang  $\text{CuO}_2$ . efek impuritas dapat digunakan menghitung stabilitas superkonduktor dalam berbagai lingkungan baik dalam bentuk bulk maupun dalam bentuk lapisan tipis (Yuniarti, 2004).

Penambahan Ag sebagai dopan berperan penting dalam pembentukan superkonduktor Tc tinggi yang menghasilkan substitusi Bi oleh Ag sehingga memperoleh fase 2223 dengan laju formasi yang lebih cepat dan meningkatkan pembentukan fase 2223.

### **2.5 Pengaruh Waktu Sintering Terhadap Superkonduktivitas Bahan**

Pembentukan superkonduktor Bi-2223 melewati dua kali pemanasan yaitu kalsinasi dan sintering. Didalam sintering, butiran-butiran partikel bahan superkonduktor yang bersebelahan bereaksi dan berikatan atau terjadi pengompakan komposisi bahan untuk membentuk senyawa tertentu, dalam hal ini untuk membentuk senyawa BSCCO fase 2223.

Untuk mencapai suhu  $845^{\circ}\text{C}$  dibutuhkan waktu n jam, kemudian suhu diturunkan hingga mencapai suhu ruang. Suhu sintering untuk Bi-2223 biasanya diatas  $800^{\circ}\text{C}$ , suhu sintering yang semakin tinggi dapat mempercepat reaksi kimia dan memperkuat gaya adhesi antar molekul. Sedang waktu sintering yang lebih lama dari 60 jam ( $t > 60$  jam) justru menumbuhkan fase impuritas (Suharta, 1997). Peristiwa ini terjadi pada sintesis superkonduktor yang menggunakan fluks  $\text{BiO}_3$ . oleh karena itu dapat dipahami bahwa walaupun jangkauan daerah operasi temperatur berbeda, parameter waktu juga sangat menentukan.

### **2.6 Karakterisasi Bahan Superkonduktor**

Superkonduktivitas suatu bahan akan lenyap bila temperatur bahan lebih tinggi dari suhu kritis, bila bahan berada pada medan magnet yang cukup kuat atau mengalirkan arus dengan kerapatan tinggi. Kekuatan medan magnet kritis ( $H_c$ ), Rapat arus kritis ( $J_c$ ), dan Suhu kritis ( $T_c$ ), merupakan variabel yang paling bergantung satu sama lainnya. Apabila bahan superkonduktor diberi medan magnet luar yang diperbesar, maka pada suatu nilai medan magnet tertentu, sifat

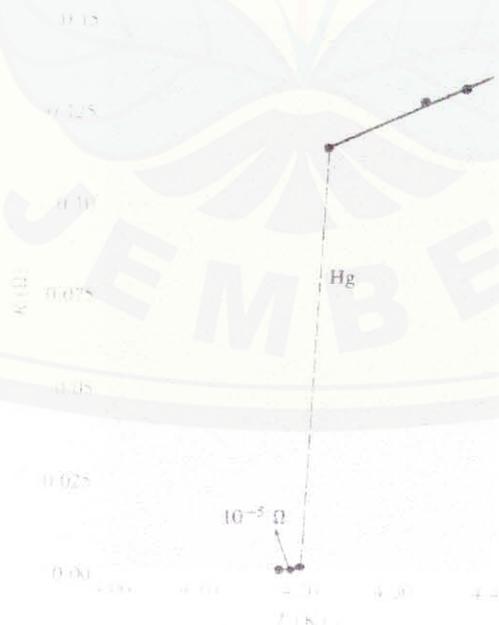
superkonduktor tersebut akan hilang. Nilai atau besar medan magnet pada suatu bahan kehilangan sifat superkonduktivitasnya disebut medan magnet kritis ( $H_c$ ).

Karakterisasi bahan superkonduktor secara umum ditentukan oleh empat besaran fisis yaitu temperatur kritis, gejala penolakan medan magnet oleh superkonduktor (efek Meissner), medan magnet kritis dan rapat arus kritis bahan. Keempat besaran fisis tersebut secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut:

### 2.6.1 Temperatur Kritis $T_c$

Secara sederhana fenomena superkonduktivitas dapat dikatakan sebagai menurunnya hambatan listrik pada bahan logam bilamana suhunya diturunkan sampai pada suatu besaran suhu tertentu dan sampai diperoleh hambatan listrik pada bahan tersebut sama dengan nol disebut temperatur kritis.

Resistivitas semakin kecil dengan menurunnya temperatur, karena berkurangnya temperatur mengakibatkan temperatur vibrasi kisi dan hamburan elektron akan berkurang sehingga pada suatu temperatur tertentu resistivitasnya dapat mencapai harga minimum (nol) yang disebut temperatur kritis.



Gambar 2.4 Kurva temperatur kritis dari superkonduktor BSCCO  
(Bordillon, 1994)

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

Parameter kuantitatif untuk superkonduktor selain suhu kritis 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 kemurnian fase yang tinggi. Jika pada superkonduktor suhu tinggi (SKST) ditemukan nilai rapat arus ( $J_c$ ) yang rendah dalam orde  $\sim 10^2$  A/cm<sup>2</sup>, hal ini disebabkan antara lain oleh ukuran butiran (*grain*), karena pada bahan superkonduktor tersusun oleh kumpulan *grain* (Murahami, 1994).

Permasalahan rapat arus kritis pada bahan keramik superkonduktor banyak dipengaruhi oleh masalah butiran (*granularitas*) seperti rapat massa, penajajaran *grain*, dan kemurnian fase. Harga rapat arus kritis yang tinggi dapat diperoleh pada bahan superkonduktor yang memiliki kemurnian fase dan ketersambungan antar butiran yang tinggi. Kemurnian fase berkaitan dengan homogenitas bahan sehingga fase-fase yang tidak diinginkan dapat dihindari. Sedangkan peningkatan ketersambungan antar butiran mempermudah aliran arus listrik.

Rapat arus kritis adalah sifat struktur yang sangat sensitif dan dapat berubah-ubah dalam beberapa orde yang besarnya merupakan hasil dari perlakuan termal atau mekanik bahan (Muller dan Schdint, 1982)

Rapat arus kritis merupakan rapat arus maksimum, dan apabila nilai ini dilampaui maka superkonduktor berubah menjadi konduktor normal. Rapat arus juga dipandang sebagai batas antara proses transport listrik yang bersifat non disipatif. Timbulnya keadaan disipatif berkaitan dengan timbulnya tegangan listrik pada superkonduktor yang dialiri arus dengan  $J > J_c$ , maka penentuan  $J_c$  dapat dilakukan dengan metode "*four point probes*" yaitu mengukur tegangan pada elektroda bersangkutan dengan susunan empat probes.

### 2.6.3 Efek Meissner

Efek ini dikemukakan pertama kali oleh Meissner dan Ochsenfeld pada tahun 1933, yaitu bila superkonduktor didinginkan di bawah temperatur transisi

dan berada dalam pengaruh medan magnet, maka fluks medan magnet  $B$  akan ditolak keluar dari bahan superkonduktor. Efek Meissner menunjukkan bahwa superkonduktor *bulk* berperilaku seolah-olah  $B=0$  didalam bahan. Fenomena ini secara umum dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Fenomena Efek Meissner pada bahan superkonduktor

Medan magnet internal dapat lenyap dalam bahan superkonduktor disebabkan karena adanya “*arus screen*” yang melingkupi bahan, sehingga menolak medan eksternal yang masuk kedalam bahan dan medan magnet internal menjadi nol. Fenomena ini dapat dilihat dari hubungan antara medan magnet ( $H$ ) dan magnetisasi ( $M$ ) pada bahan superkonduktor, dinyatakan sebagai berikut:

$$B = \mu_0 (H + M) = 0 \text{ Wb/m}^2$$

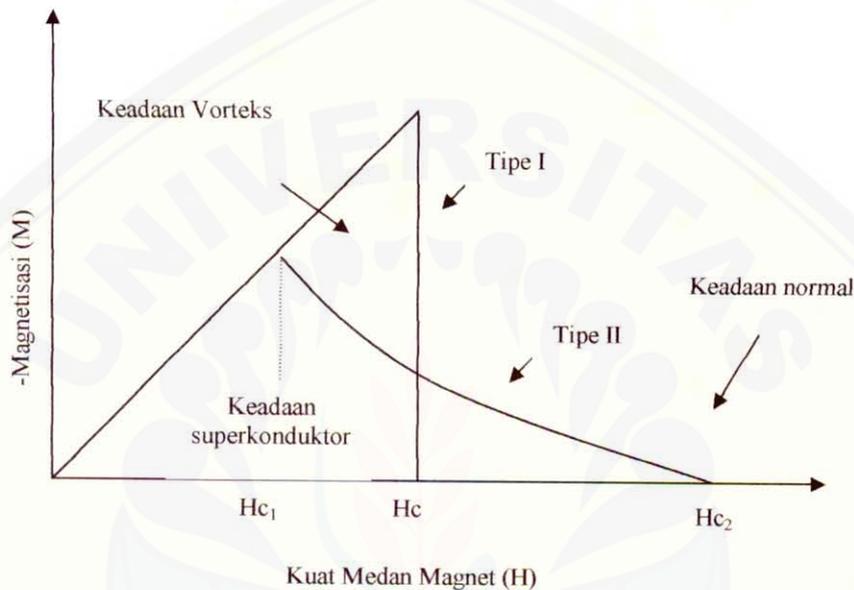
$$\text{Dengan } \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-3} \text{ Wb/Am dan } M = -H \text{ karena } X = \frac{\partial M}{\partial H} = -1$$

Suseptibilitas ( $X$ ) maksimum dari bahan diamagnet ini dapat menunjukkan bahwa superkonduktor merupakan bahan diamagnetik sempurna.

#### 2.6.4 Medan Kritis ( $H_c$ )

Medan kritis adalah medan magnet yang diperlukan untuk menghilangkan superkonduktivitas atau memulihkan resistivitas normalnya (Shaoyan Chu, 1997)

pada kondisi  $H > H_{c1}$  keadaan bersifat diamagnet sempurna artinya terjadi perolehan medan magnet luar oleh bahan, keadaan ini disebut juga dengan keadaan Meissner. Sedangkan pada kondisi  $H_{c1} < H < H_{c2}$  sebagian *fluks* magnet dapat menembus masuk kedalam bahan. Keadaan ini disebut keadaan campuran (*mixed state*) sedangkan daerah  $H > H_{c2}$  adalah keadaan normal.



Gambar 2.6 Grafik magnetisasi (M) terhadap medan magnet luar (H) pada superkonduktor tipe I dan tipe II

### BAB 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei 2006 sampai Januari 2007, di laboratorium superkonduktor jurusan Fisika fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

#### 3.2 Alat dan Bahan

##### 3.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan untuk sintesis bahan superkonduktor :

1. Neraca sartorius
2. Beker Glass
3. Sendok kecil
4. pengaduk
5. Mortal
6. Krusibel
7. Tungku pemanas
8. Cetakan sampel



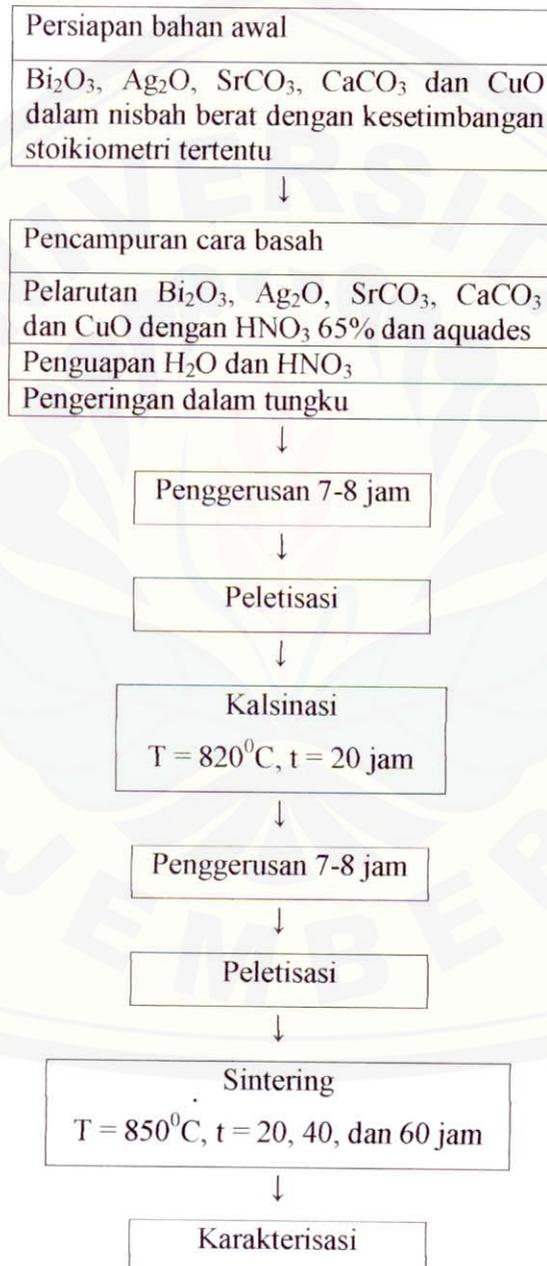
##### 3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam eksperimen yaitu :

1.  $\text{Bi}_2\text{O}_3$
2.  $\text{Ag}_2\text{O}$
3.  $\text{SrCO}_3$
4.  $\text{CaCO}_3$
5.  $\text{CuO}$
6.  $\text{HNO}_3$  (65,0%)
7. Aquades
8. Nitrogen cair
9. Pasta perak untuk elektroda

### 3.3 Sintesis Bahan

Proses sintesa bahan superkonduktor (Bi,Ag)-2223 dilakukan dengan metode reaksi padatan dengan didahului pencampuran cara basah yang bertujuan untuk menjamin homogenitas bahan. Diagram sintesis bahan dinyatakan dengan gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram alir sintesis bahan superkonduktor

### **Pencampuran Cara Basah**

Semua bahan dasar yaitu  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ag}_2\text{O}$ ,  $\text{SrCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{CuO}$  dicampur dalam beker gelas kemudian dilarutkan dengan asam nitrat  $\text{HNO}_3$  (65%) dan aquades. Selanjutnya larutan tersebut dipanaskan di atas hot plate sambil terus diaduk perlahan sampai semua bahan larut dengan sempurna hingga terbentuk larutan yang berwarna biru jernih. Setelah itu larutan terus dipanaskan sampai terbentuk endapan padat berwarna biru kehitam-hitaman.

### **Pengeringan**

Untuk menghilangkan air dan asam nitrat yang masih tersisa dalam bahan dilakukan proses pengeringan dalam oven dengan suhu  $250^\circ\text{C}$  selama 24 jam dengan menempatkan bahan didalam krusibel Alumina.

### **Penggerusan**

Setelah bahan kering, dilakukan penggerusan hingga bahan halus menggunakan mortal dan pastel keramik. Penggerusan ini selain bertujuan untuk meningkatkan homogenitas campuran, juga untuk meningkatkan efektivitas reaksi pada saat proses kalsinasi dan sintering. Semakin halus butir serbuk, maka semakin luas permukaan butir sehingga reaksi dapat berlangsung optimal. Penggerusan ini dilakukan sebelum dan sesudah proses kalsinasi dilakukan. Penggerusan dilakukan selama 7-8 jam.

### **Peletisasi**

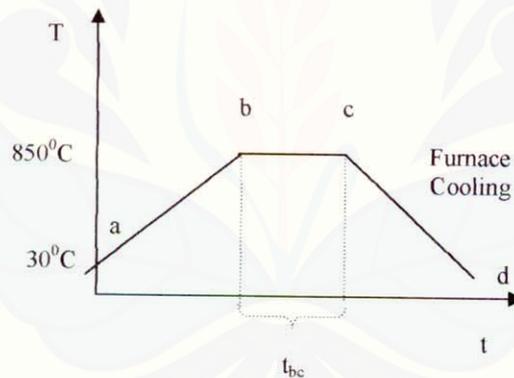
Peletisasi dilakukan dengan cara penekanan menggunakan alat penekan dan pencetak dengan diameter  $\pm 2,3$  cm. Sedangkan ketebalan sampel diatur berdasarkan banyaknya serbuk yang dimasukkan kedalam cetakan. Peletisasi ini bertujuan untuk meningkatkan efektivitas reaksi pada saat dilakukan proses pemanasan, sebab dengan butir serbuk yang halus maka reaksi padatan akan mudah berlangsung jika jarak antar serbuk sedekat mungkin. Proses pemeletan ini juga dilakukan setelah proses kalsinasi selesai dilakukan.

### Kalsinasi

Kalsinasi dilakukan untuk membentuk senyawa prekursor fase 2212 dan impuritas lain guna memperoleh senyawa superkonduktor BSCCO fase 2223. Kalsinasi ini dilakukan pada suhu  $820^{\circ}\text{C}$  selama 20 jam. Selama proses ini berlangsung terjadi pelepasan senyawa karbon berbentuk  $\text{CO}_2$  sehingga diperoleh senyawa yang lebih stabil.

### Sintering (pelelehan)

Proses pelelehan ini dilakukan dengan cara memanaskan sampel pada suhu  $850^{\circ}\text{C}$  selama waktu ( $t_{bc}$ ) yang divariasikan yaitu 20 jam, 40 jam, dan 60 jam. Pelelehan ini bertujuan agar *fluks* beserta bahan-bahan lain bisa mengalami pelelehan dengan sempurna sehingga terbentuk kristal superkonduktor Bi-2223 yang baik



Gambar 3.2 Diagram Sintering

## 3.4 Karakterisasi Bahan

Sampel bahan superkonduktor yang telah selesai dibuat, dikarakterisasi menggunakan foto mikroskop optik dan pengukuran suhu kritis.

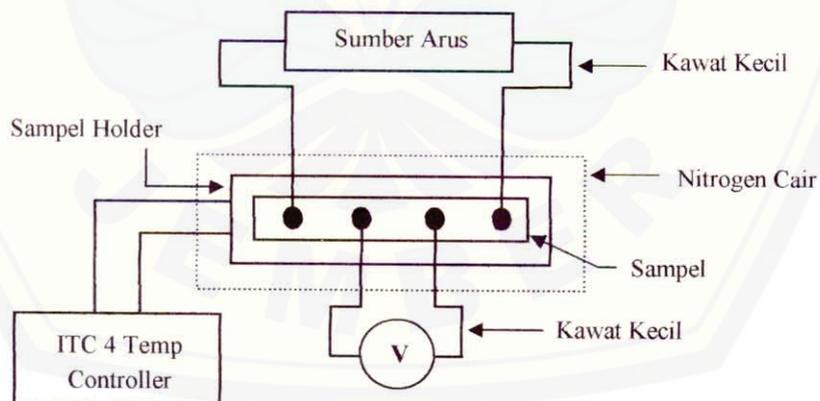
### 3.4.1 Mikroskop Optik

Agar dapat mempelajari kaitan antara struktur dan sifat bahan, dan juga agar dapat mengetahui sifat-sifat bahan bila strukturnya telah diketahui, maka perlu diamati keadaan mikroskopik bahan dalam orde mikrometer. Pengamatan

dengan menggunakan mikroskop optik memiliki perbesaran yang terbatas, karena alat ini menggunakan sumber cahaya dan sekumpulan lensa optik.

### 3.4.2 Temperatur Kritis ( $T_c$ )

Pengukuran temperatur kritis ini memberikan indikasi kualitas sampel yang diperoleh. Untuk mengukur nilai dari suhu kritis ini akan digunakan pengukuran 'Four points probes' yaitu metode empat elektroda. Dinamakan demikian karena ada empat titik kontak yang disentuhkan pada permukaan sampel. Keempat titik kontak tersebut dibuat berderet dalam satu garis lurus dengan jarak antar *probes* diatur sedemikian sehingga antara *probes* yang satu dengan *probes* yang lain berjarak sama. Elektroda-elektroda yang merupakan *probes* disambungkan ke sampel menggunakan kawat kecil tembaga dengan pasta perak. Arus listrik dialirkan secara konstan sepanjang permukaan sampel melalui dua *probes* terluar. Jadi dua *probes* terluar dihubungkan dengan sumber arus DC. Sedangkan dua *probes* paling dalam dihubungkan dengan alat pendeteksi tegangan atau voltmeter. Skema pengukuran temperatur kritis dengan menggunakan metode empat elektroda dapat dilihat pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Skema metode "Four Point Probes"

Untuk menentukan nilai temperatur kritis ( $T_c$ ) bahan maka harus didapatkan data berupa arus ( $I$ ) yang nilainya dapat langsung ditentukan yaitu 25

mA, tegangan (V) dan temperatur bahan dalam derajat Celcius ( $T(^{\circ}\text{C})$ ) yang kemudian diubah dalam derajat Kelvin ( $T(\text{K})$ ). Temperatur bahan ini langsung dapat diketahui dari *Thermocouple thermometer* yang dipasang didekat bahan. Sedangkan untuk menghitung resistivitas bahan maka perlu diketahui ukuran panjang bahan ( $l$ ), tebal bahan ( $t$ ), dan jarak antar *probes* ( $d$ ) bahan, sehingga resistivitas bahan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\rho = \frac{p w V}{d I}$$

Dimana :

$\rho$  = resistivitas bahan ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )

$p$  = panjang bahan (cm)

$w$  = tebal bahan (cm)

$d$  = jarak antar probes untuk mengukur tegangan (cm)

$V$  = tegangan bahan (mV)

$I$  = arus yang mengalir pada bahan (mA)

### 3.5 Analisa Data Hasil Penelitian

Untuk mengetahui pengaruh waktu leleh terhadap morfologi permukaan bahan hasil sintesis dilakukan dengan menganalisis gambar foto mikrograph hasil foto mikroskop optik. Sementara itu untuk mengetahui pengaruh waktu leleh terhadap temperatur kritis dilakukan dengan menganalisis grafik hubungan antara temperatur kritis dan waktu leleh.

Analisis morfologi permukaan bahan dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik. Berdasarkan pengamatan foto morfologi permukaan bahan nantinya akan diketahui bagaimana besar kecilnya ukuran butiran (*grain*) dari bahan, selain itu akan diketahui bagaimana persebaran butirannya.

## BAB 4. HASIL DAN ANALISA DATA

### 4.1 Hasil Sintesis Sampel

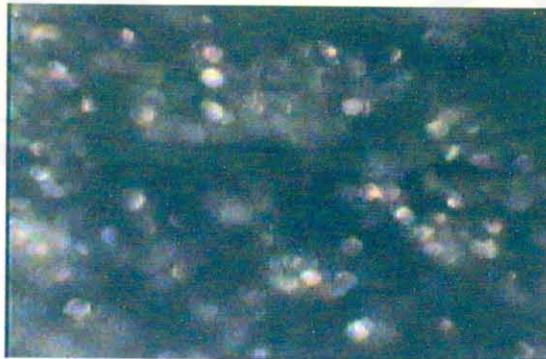
Bahan keramik superkonduktor Bi-2223 yang dihasilkan dari penelitian ini berupa bahan keramik berbentuk tablet, berwarna hitam pekat.

Tabel 4.1 Dimensi sampel  $\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$

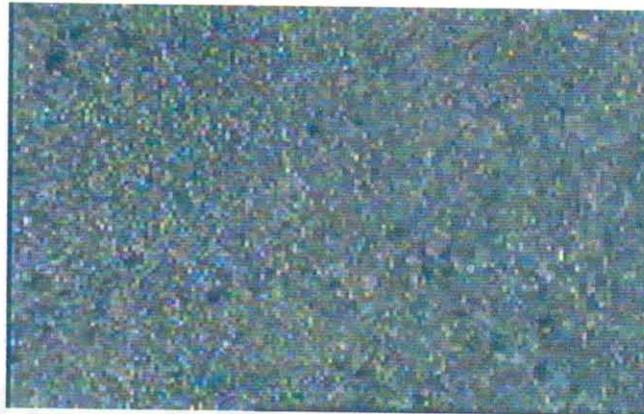
Jenis Sampel	Dimensi Sampel	
	Diameter	Tebal
$\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ (t=20 jam)	(2,25±0,05)cm	(0,21±0,05)cm
$\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ (t=40 jam)	(2,20±0,05)cm	(0,20±0,05)cm
$\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ (t=60 jam)	(2,12±0,05)cm	(0,19±0,05)cm

### 4.2 Morfologi Permukaan Bahan $\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ Superkonduktor

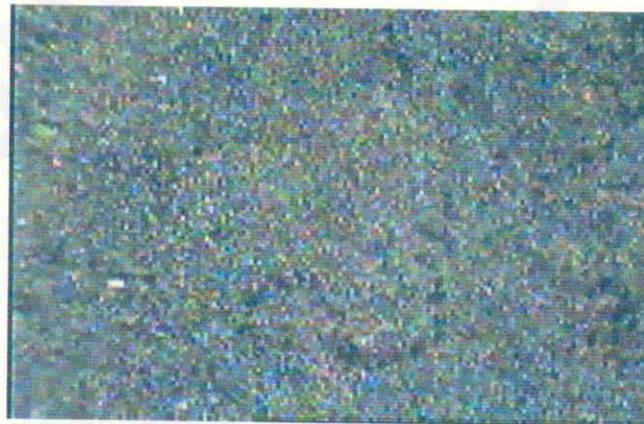
Morfologi permukaan bahan (sampel) hasil sintesis diamati dengan menggunakan mikroskop optik Panasonic WV-CP230/G dengan perbesaran 40X di laboratorium Geofisika Fakultas MIPA Universitas Jember. Hasil pemotretan morfologi permukaan untuk masing-masing sampel ditampilkan pada gambar berikut ini



Gambar 4.1.a Morfologi permukaan sampel dengan waktu sintering 20 jam.



Gambar 4.1.b Morfologi permukaan sampel dengan waktu sintering 40 jam.



Gambar 4.1.c Morfologi permukaan sampel dengan waktu sintering 60 jam.

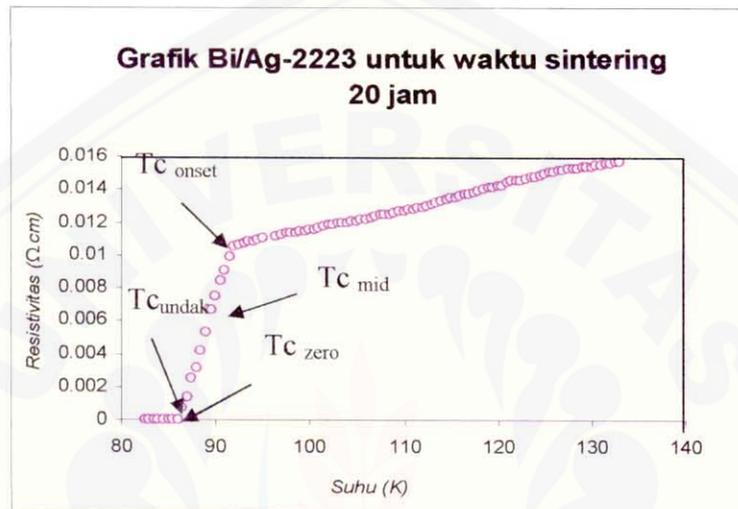
### 4.3 Pengukuran Temperatur Kritis

Setelah bahan Bi-2223 dianalisis morfologi permukaannya dengan menggunakan mikroskop optik, selanjutnya dilakukan pengukuran temperatur kritis bahan dengan menggunakan metode empat titik (*Four Point Probes*). Bahan yang masih utuh dipotong sehingga berbentuk balok tipis.

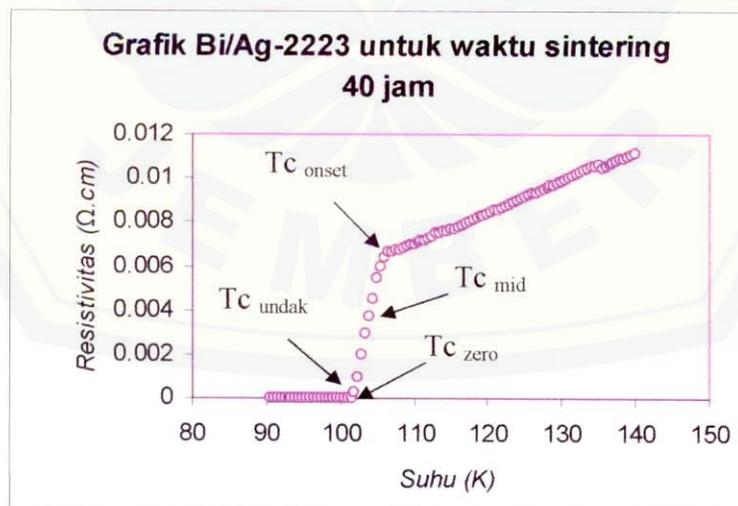
Tabel 4.2 Ukuran sampel untuk karakterisasi suhu kritis

Jenis Sampel	Panjang(cm)	Tebal(cm)	Jarak titik(cm)
$\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ (20 jam)	(2,00±0,05)	(0,21±0,05)	(0,40±0,05)
$\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ (40 jam)	(2,00±0,05)	(0,20±0,05)	(0,40±0,05)
$\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ (60 jam)	(2,00±0,05)	(0,19±0,05)	(0,40±0,05)

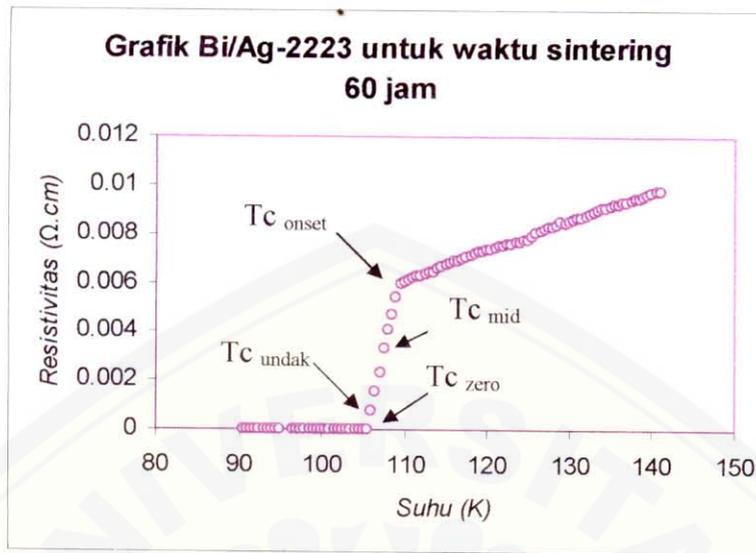
Dengan menggunakan metode empat titik, sampel dialiri arus sebesar 25 mA dan temperatur sampel dibiarkan naik secara alami. Perubahan tegangan yang terjadi pada sampel dicatat selama terjadi kenaikan temperatur kemudian dihitung harga resistivitas sampel. Dari hasil perhitungan resistivitas akan didapatkan grafik resistivitas sebagai fungsi temperatur.



Gambar 4.2.a Grafik resistivitas sebagai fungsi temperatur untuk sampel dengan waktu sintering 20 jam.



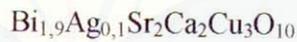
Gambar 4.2.b Grafik resistivitas sebagai fungsi temperatur untuk sampel dengan waktu sintering 40 jam.



Gambar 4.2.c Grafik resistivitas sebagai fungsi temperatur untuk sampel dengan waktu sintering 60 jam.

Untuk harga  $T_{c\ nol}$ ,  $T_{c\ undak}$ ,  $T_{c\ mid}$ ,  $T_{c\ onset}$ . Pada masing-masing sampel ditunjukkan dengan tabel di bawah ini

Tabel 4.3. Nilai  $T_{c\ nol}$ ,  $T_{c\ undak}$ ,  $T_{c\ mid}$ ,  $T_{c\ onset}$  hasil sintesis bahan



Sampel	$T_{c\ nol}$ (K)	$T_{c\ undak}$ (K)	$T_{c\ mid}$ (K)	$T_{c\ onset}$ (K)	$\Delta T_c$ (K)
20 jam	$86,0 \pm 0,5$	$86,5 \pm 0,5$	$89,0 \pm 0,5$	$92,0 \pm 0,5$	6
40 jam	$101,5 \pm 0,5$	$102,0 \pm 0,5$	$104,0 \pm 0,5$	$106,5 \pm 0,5$	5
60 jam	$105,5 \pm 0,5$	$106,0 \pm 0,5$	$107,0 \pm 0,5$	$109,5 \pm 0,5$	4

Dalam teori superkonduktor dikenal tiga jenis temperatur kritis selain temperatur kritis murni ( $T_{c\ nol}$ ) yaitu  $T_{c\ undak}$ ,  $T_{c\ mid}$ ,  $T_{c\ onset}$  (Diantoro, 1997). Pengertian dari masing-masing  $T_c$  adalah :

- $T_{c\ nol}$  atau  $T_c$  adalah temperatur dimana bahan superkonduktor masih mempunyai harga resistivitas sama dengan nol
- $T_{c\ undak}$  adalah temperatur dimana harga resistivitas bahan superkonduktor saat mulai tidak sama dengan nol

- $T_{c \text{ mid}}$  adalah temperatur dimana harga resistivitas bahan superkonduktor berada di tengah-tengah antara  $T_{c \text{ nol}}$  dan  $T_{c \text{ onset}}$
- $T_{c \text{ onset}}$  adalah temperatur dimana bahan superkonduktor sudah bertransisi menjadi sifat normal
- $\Delta T_c$  ( $T_{c \text{ onset}} - T_{c \text{ nol}}$ ) disebut temperatur transisi, yaitu daerah dimana resistivitas bahan berangsur-angsur naik sampai mencapai keadaan onset dan bahan bertransisi menjadi konduktor normal.



## BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Dalam penelitian ini telah dilakukan sintesis bahan superkonduktor Bi/Ag-2223 dengan variasi waktu sintering pada suhu yang sama. Karakterisasi dilakukan dengan dengan pengamatan butiran-butiran sampel menggunakan mikroskop optik dan pengukuran suhu kritis. Dari hasil penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sampel yang disintering selama 20, 40 dan 60 jam masing-masing menghasilkan temperatur kritis sebesar  $(86 \pm 0,5)K$ ,  $(101,5 \pm 0,5)K$  dan  $(105,5 \pm 0,5)K$ . Temperature kritis optimum yang didapatkan sebesar  $(105,5 \pm 0,5)K$  pada sampel yang disintering selama 60 jam.
2. Semakin lama waktu sintering maka dapat menghasilkan temperatur kritis yang tinggi, Namun demikian ada kemungkinan dengan bertambahnya waktu sintering justru menumbuhkan fase impuritas yang dapat menyebabkan harga temperatur kritis ( $T_c$ ) menurun.

### 6.2 Saran

1. Perlunya dilakukan penelitian sintesis bahan yang sama tetapi dengan waktu sintering di atas 60 jam, untuk mengetahui apakah  $T_c$  bahan tersebut semakin tinggi.
2. Perlunya dilakukan pengukuran  $J_c$  untuk mengetahui karakteristik rapat arus.



DAFTAR PUSTAKA

- Bordillon A. & Tan Bordillon N.X, 1994. *High Temperature Superkonduktors; Processing and Science*. San Diego : Academic Press, Inc, Har Court Brace Jovanovich, Publisher
- Diantoro M, 1997, *Studi Kinetika Pembentukan Superkonduktor Sistem  $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$  (2223) Melalui Prekursor  $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$  (2223)*, Tesis S-2 Jurusan Fisika ITB
- Ismunandar dan Cun Sen. 2004, 5 Desember. *Mengenal Superkonduktor*. [www.tempointeraktif.com](http://www.tempointeraktif.com)
- Kurniawan B, 1998, *Sekilas Tentang Teknologi Suhu Rendah*, Dimensi Vol.1 No.2
- Kittel C, 1976. *Introduction To Solid State Physics*, John Willey and sons Inc, New York
- Muller, P dan Schmidt, V.V. 1982. *The Physics of Superconductor : Introduction to Fundamental and Application*. Germany : Springer
- Murahami. M. et al, 1994, J. App. Phisc. 33,1000.
- Shaoyan Chu and Michael E. 1997. *Growth and Characterization of  $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3$* . Department and Material Science and Engineering, Carnegie Mellon University. Pittsburg. Pennsylvania.
- S. I Yoo Sakai, H. Takaichi, T. Higuchi & M. Murakami, 1994, APPL. Phys. Lett,58,405
- Suharta W.G, 1997, *Pengaruh Fluks  $\text{B}_2\text{O}_3$  dan Beberapa Parameter Pemrosesan Pada Pembentukan Superkonduktor BPSCCO-2223*, Tesis Magister S-2. Bandung: Jurusan Fisika ITB
- Widharma S, I Gede, I Wayan T, 2004, *Pengaturan Waktu Sintering dalam Sintesis Superkonduktor Dengan Mikrokontroler SCM 831*.

William B. White, 1979, *Crystal Growth a Tutorial Approach*, North Holland Publishing Company, hal 17-66

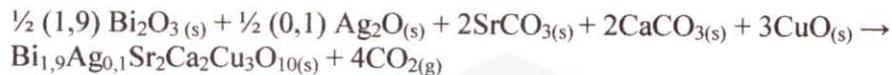
Yulianti N, 2002, *Sintesis Kristal Superkonduktor Bi-2223 dengan menggunakan pMetode Self-fluk.*, Tesis S2. Bandung : Program Pasca Sarjana.

Yuniarti R, 2004, *Pengaruh Konsentrasi Dopan Pb Pada Bi Terhadap Temperatur Kritis, Tc, Bahan Kristal Bi/Pb-2223*, Universitas Jember.



**Lampiran A. Perhitungan Massa Bi/Ag-2223**

Rumus reaksi secara umum



Berat Molekul (BM) masing-masing senyawa:

- $\text{Bi}_2\text{O}_3 = (208,980 \times 2) + (15,9994 \times 3)$   
 $= 417,96 + 47,9982$   
 $= 465,9582 \text{ gram/mol}$
- $\text{Ag}_2\text{O} = (107,868 \times 2) + (15,9994 \times 1)$   
 $= 215,736 + 15,9994$   
 $= 231,7354 \text{ gram/mol}$
- $\text{SrCO}_3 = (87,62 \times 1) + (12,01115 \times 1) + (15,9994 \times 3)$   
 $= 87,62 + 12,01115 + 47,9982$   
 $= 147,6294 \text{ gram/mol}$
- $\text{CaCO}_3 = (40,08 \times 1) + (12,01115 \times 1) + (15,9994 \times 3)$   
 $= (40,08) + 12,01115 + 47,9982$   
 $= 100,0894 \text{ gram/mol}$
- $\text{CuO} = (65,37 \times 1) + (15,9994 \times 1)$   
 $= 65,37 + 15,9994$   
 $= 81,3694 \text{ gram/mol}$

Perhitungan massa sampel  $\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$

- Bi =  $\text{BM}(\text{Bi}_2\text{O}_3) \times 0,5 \times 1,9$   
 $= 465,9582 \times 0,5 \times 1,9$   
 $= 442,6603 \text{ gram/mol}$
- Ag =  $\text{BM}(\text{Ag}_2\text{O}) \times 0,5 \times 0,1$   
 $= 231,7354 \times 0,5 \times 0,1$   
 $= 11,5867 \text{ gram/mol}$
- Sr =  $\text{BM}(\text{SrCO}_3) \times 1 \times 2$   
 $= 147,6294 \times 1 \times 2$   
 $= 295,2587 \text{ gram/mol}$
- Ca =  $\text{BM}(\text{CaCO}_3) \times 1 \times 2$   
 $= 100,08935 \times 1 \times 2$   
 $= 200,1787 \text{ gram/mol}$
- Cu =  $\text{BM}(\text{CuO}) \times 1 \times 2$   
 $= 81,3694 \times 1 \times 2$   
 $= 244,1082 \text{ gram/mol}$

Berat Molekul Total  $\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10} = 1193,7927 \text{ gram/mol}$

Dalam setiap sampel 5 gram maka mol total =  $\frac{5 \text{ gram}}{1193,7927 \text{ gram/mol}}$

$$= 0,0041883 \text{ mol}$$

Jadi massa bahan yang diperlukan untuk 5 gram bahan superkonduktor

$\text{Bi}_{1,9}\text{Ag}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$  adalah :

- Bi =  $0,0041883 \text{ mol} \times 442,66029 \text{ gram/mol} = 1,8540 \text{ gram}$
- Ag =  $0,0041883 \text{ mol} \times 11,58677 \text{ gram/mol} = 0,0485 \text{ gram}$
- Sr =  $0,0041883 \text{ mol} \times 295,2587 \text{ gram/mol} = 1,2366 \text{ gram}$
- Ca =  $0,0041883 \text{ mol} \times 200,1787 \text{ gram/mol} = 0,8384 \text{ gram}$
- Cu =  $0,0041883 \text{ mol} \times 244,1082 \text{ gram/mol} = 1,0224 \text{ gram}$



**Lampiran B. Hasil pengukuran resistivitas bahan superkonduktor****Bi<sub>1.9</sub>Ag<sub>0.1</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>10</sub> dengan waktu sintering 20 jam**

T (°C)	T (K)	V (mV)	p (cm)	t (cm)	d (cm)	I (mA)	$\rho$ ( $\Omega$ .cm)
-190.5	82.5	0	2	0.21	0.4	25	0
-190.0	83.0	0	2	0.21	0.4	25	0
-189.5	83.5	0	2	0.21	0.4	25	0
-189.0	84.0	0	2	0.21	0.4	25	0
-188.5	84.5	0	2	0.21	0.4	25	0
-188.0	85.0	0	2	0.21	0.4	25	0
-187.5	85.5	0	2	0.21	0.4	25	0
-187.0	86.0	0.0010	2	0.21	0.4	25	0.000042
-186.5	86.5	0.0165	2	0.21	0.4	25	0.000693
-186.0	87.0	0.0325	2	0.21	0.4	25	0.001365
-185.5	87.5	0.0592	2	0.21	0.4	25	0.002486
-185.0	88.0	0.0734	2	0.21	0.4	25	0.003083
-184.5	88.5	0.1001	2	0.21	0.4	25	0.004204
-184.0	89.0	0.1254	2	0.21	0.4	25	0.005267
-183.5	89.5	0.1593	2	0.21	0.4	25	0.006691
-183.0	90.0	0.1784	2	0.21	0.4	25	0.007493
-182.5	90.5	0.1999	2	0.21	0.4	25	0.008396
-182.0	91.0	0.2152	2	0.21	0.4	25	0.009038
-181.5	91.5	0.2346	2	0.21	0.4	25	0.009853
-181.0	92.0	0.2502	2	0.21	0.4	25	0.010508
-180.5	92.5	0.2521	2	0.21	0.4	25	0.010588
-180.0	93.0	0.2540	2	0.21	0.4	25	0.010668
-179.5	93.5	0.2565	2	0.21	0.4	25	0.010773
-179.0	94.0	0.2581	2	0.21	0.4	25	0.010840
-178.5	94.5	0.2599	2	0.21	0.4	25	0.010916
-178.0	95.0	0.2630	2	0.21	0.4	25	0.011046
-176.5	96.5	0.2653	2	0.21	0.4	25	0.011143
-176.0	97.0	0.2678	2	0.21	0.4	25	0.011248
-175.5	97.5	0.2686	2	0.21	0.4	25	0.011281
-175.0	98.0	0.2693	2	0.21	0.4	25	0.011311
-174.5	98.5	0.2705	2	0.21	0.4	25	0.011361
-174.0	99.0	0.2716	2	0.21	0.4	25	0.011407
-173.5	99.5	0.2729	2	0.21	0.4	25	0.011462
-173.0	100.0	0.2738	2	0.21	0.4	25	0.011500
-172.5	100.5	0.2746	2	0.21	0.4	25	0.011533
-172.0	101.0	0.2766	2	0.21	0.4	25	0.011617
-171.5	101.5	0.2789	2	0.21	0.4	25	0.011714
-171.0	102.0	0.2817	2	0.21	0.4	25	0.011831
-170.5	102.5	0.2823	2	0.21	0.4	25	0.011857
-170.0	103.0	0.2835	2	0.21	0.4	25	0.011907
-169.5	103.5	0.2849	2	0.21	0.4	25	0.011966
-169.0	104.0	0.2855	2	0.21	0.4	25	0.011991
-168.5	104.5	0.2864	2	0.21	0.4	25	0.012029
-168.0	105.0	0.2879	2	0.21	0.4	25	0.012092
-167.5	105.5	0.2892	2	0.21	0.4	25	0.012146
-167.0	106.0	0.2901	2	0.21	0.4	25	0.012184
-166.5	106.5	0.2926	2	0.21	0.4	25	0.012289

-166.0	107.0	0.2937	2	0.21	0.4	25	0.012335
-165.5	107.5	0.2959	2	0.21	0.4	25	0.012428
-165.0	108.0	0.2967	2	0.21	0.4	25	0.012461
-164.5	108.5	0.2979	2	0.21	0.4	25	0.012512
-164.0	109.0	0.2996	2	0.21	0.4	25	0.012583
-163.5	109.5	0.3015	2	0.21	0.4	25	0.012663
-163.0	110.0	0.3024	2	0.21	0.4	25	0.012701
-162.5	110.5	0.3036	2	0.21	0.4	25	0.012751
-162.0	111.0	0.3048	2	0.21	0.4	25	0.012802
-161.5	111.5	0.3061	2	0.21	0.4	25	0.012856
-161.0	112.0	0.3075	2	0.21	0.4	25	0.012915
-160.5	112.5	0.3089	2	0.21	0.4	25	0.012974
-160.0	113.0	0.3113	2	0.21	0.4	25	0.013075
-159.5	113.5	0.3137	2	0.21	0.4	25	0.013175
-159.0	114.0	0.3165	2	0.21	0.4	25	0.013293
-158.5	114.5	0.3189	2	0.21	0.4	25	0.013394
-158.0	115.0	0.3219	2	0.21	0.4	25	0.013520
-157.5	115.5	0.3228	2	0.21	0.4	25	0.013558
-157.0	116.0	0.3245	2	0.21	0.4	25	0.013629
-156.5	116.5	0.3267	2	0.21	0.4	25	0.013721
-156.0	117.0	0.3277	2	0.21	0.4	25	0.013763
-155.5	117.5	0.3292	2	0.21	0.4	25	0.013826
-155.0	118.0	0.3320	2	0.21	0.4	25	0.013944
-154.5	118.5	0.3345	2	0.21	0.4	25	0.014049
-154.0	119.0	0.3352	2	0.21	0.4	25	0.014078
-153.5	119.5	0.3366	2	0.21	0.4	25	0.014137
-153.0	120.0	0.3386	2	0.21	0.4	25	0.014221
-152.5	120.5	0.3399	2	0.21	0.4	25	0.014276
-152.0	121.0	0.3428	2	0.21	0.4	25	0.014398
-151.5	121.5	0.3453	2	0.21	0.4	25	0.014503
-151.0	122.0	0.3464	2	0.21	0.4	25	0.014549
-150.5	122.5	0.3475	2	0.21	0.4	25	0.014595
-150.0	123.0	0.3489	2	0.21	0.4	25	0.014654
-149.5	123.5	0.3502	2	0.21	0.4	25	0.014708
-149.0	124.0	0.3521	2	0.21	0.4	25	0.014788
-148.5	124.5	0.3543	2	0.21	0.4	25	0.014881
-148.0	125.0	0.3561	2	0.21	0.4	25	0.014956
-147.5	125.5	0.3585	2	0.21	0.4	25	0.015057
-147.0	126.0	0.3598	2	0.21	0.4	25	0.015112
-146.5	126.5	0.3601	2	0.21	0.4	25	0.015124
-146.0	127.0	0.3614	2	0.21	0.4	25	0.015179
-145.5	127.5	0.3626	2	0.21	0.4	25	0.015229
-145.0	128.0	0.3635	2	0.21	0.4	25	0.015267
-144.5	128.5	0.3648	2	0.21	0.4	25	0.015322
-144.0	129.0	0.3658	2	0.21	0.4	25	0.015364
-143.5	129.5	0.3664	2	0.21	0.4	25	0.015389
-143.0	130.0	0.3673	2	0.21	0.4	25	0.015427
-142.5	130.5	0.3682	2	0.21	0.4	25	0.015464
-142.0	131.0	0.3691	2	0.21	0.4	25	0.015502
-141.5	131.5	0.3709	2	0.21	0.4	25	0.015578
-141.0	132.0	0.3718	2	0.21	0.4	25	0.015616
-140.5	132.5	0.3728	2	0.21	0.4	25	0.015658
-140.0	133.0	0.3733	2	0.21	0.4	25	0.015679

**Lampiran C. Hasil pengukuran resistivitas bahan superkonduktor****Bi<sub>1.9</sub>Ag<sub>0.1</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>10</sub> dengan waktu sintering 40 jam**

T (°C)	T (K)	V (mV)	p (cm)	t (cm)	d (cm)	I (mA)	$\rho$ ( $\Omega$ .cm)
-182.5	90.5	0	2	0.2	0.4	25	0
-182.0	91.0	0	2	0.2	0.4	25	0
-181.5	91.5	0	2	0.2	0.4	25	0
-181.0	92.0	0	2	0.2	0.4	25	0
-180.5	92.5	0	2	0.2	0.4	25	0
-180.0	93.0	0	2	0.2	0.4	25	0
-179.5	93.5	0	2	0.2	0.4	25	0
-179.0	94.0	0	2	0.2	0.4	25	0
-178.5	94.5	0	2	0.2	0.4	25	0
-178.0	95.0	0	2	0.2	0.4	25	0
-177.5	95.5	0	2	0.2	0.4	25	0
-177.0	96.0	0	2	0.2	0.4	25	0
-176.5	96.5	0	2	0.2	0.4	25	0
-176.0	97.0	0	2	0.2	0.4	25	0
-175.5	97.5	0	2	0.2	0.4	25	0
-175.0	98.0	0	2	0.2	0.4	25	0
-174.5	98.5	0	2	0.2	0.4	25	0
-174.0	99.0	0	2	0.2	0.4	25	0
-173.5	99.5	0	2	0.2	0.4	25	0
-173.0	100.0	0	2	0.2	0.4	25	0
-172.5	100.5	0	2	0.2	0.4	25	0
-172.0	101.0	0	2	0.2	0.4	25	0
-171.5	101.5	0	2	0.2	0.4	25	0
-171.0	102.0	0.0073	2	0.2	0.4	25	0.000292
-170.5	102.5	0.0243	2	0.2	0.4	25	0.000972
-170.0	103.0	0.0491	2	0.2	0.4	25	0.001964
-169.5	103.5	0.0735	2	0.2	0.4	25	0.002940
-169.0	104.0	0.0927	2	0.2	0.4	25	0.003708
-168.5	104.5	0.1112	2	0.2	0.4	25	0.004448
-168.0	105.0	0.1354	2	0.2	0.4	25	0.005416
-167.5	105.5	0.1497	2	0.2	0.4	25	0.005988
-167.0	106.0	0.1593	2	0.2	0.4	25	0.006372
-166.5	106.5	0.1662	2	0.2	0.4	25	0.006648
-166.0	107.0	0.1672	2	0.2	0.4	25	0.006688
-165.5	107.5	0.1683	2	0.2	0.4	25	0.006732
-165.0	108.0	0.1692	2	0.2	0.4	25	0.006768
-164.5	108.5	0.1704	2	0.2	0.4	25	0.006816
-164.0	109.0	0.1716	2	0.2	0.4	25	0.006864
-163.5	109.5	0.1739	2	0.2	0.4	25	0.006956
-163.0	110.0	0.1753	2	0.2	0.4	25	0.007012
-162.5	110.5	0.1776	2	0.2	0.4	25	0.007104
-162.0	111.0	0.1786	2	0.2	0.4	25	0.007144
-161.5	111.5	0.1799	2	0.2	0.4	25	0.007196
-161.0	112.0	0.1817	2	0.2	0.4	25	0.007268
-160.5	112.5	0.1839	2	0.2	0.4	25	0.007356
-160.0	113.0	0.1868	2	0.2	0.4	25	0.007472
-159.5	113.5	0.1881	2	0.2	0.4	25	0.007524

-159.0	114.0	0.1893	2	0.2	0.4	25	0.007572
-158.5	114.5	0.1902	2	0.2	0.4	25	0.007608
-158.0	115.0	0.1918	2	0.2	0.4	25	0.007664
-157.5	115.5	0.1928	2	0.2	0.4	25	0.007712
-157.0	116.0	0.1952	2	0.2	0.4	25	0.007808
-156.5	116.5	0.1972	2	0.2	0.4	25	0.007888
-156.0	117.0	0.1984	2	0.2	0.4	25	0.007936
-155.5	117.5	0.2007	2	0.2	0.4	25	0.008028
-155.0	118.0	0.2028	2	0.2	0.4	25	0.008112
-154.5	118.5	0.2046	2	0.2	0.4	25	0.008184
-154.0	119.0	0.2062	2	0.2	0.4	25	0.008248
-153.5	119.5	0.2079	2	0.2	0.4	25	0.008316
-153.0	120.0	0.2092	2	0.2	0.4	25	0.008368
-152.5	120.5	0.2111	2	0.2	0.4	25	0.008444
-152.0	121.0	0.2135	2	0.2	0.4	25	0.008540
-151.5	121.5	0.2141	2	0.2	0.4	25	0.008564
-151.0	122.0	0.2152	2	0.2	0.4	25	0.008608
-150.5	122.5	0.2184	2	0.2	0.4	25	0.008736
-150.0	123.0	0.2203	2	0.2	0.4	25	0.008812
-149.5	123.5	0.2219	2	0.2	0.4	25	0.008876
-149.0	124.0	0.2246	2	0.2	0.4	25	0.008984
-148.5	124.5	0.2262	2	0.2	0.4	25	0.009048
-148.0	125.0	0.2287	2	0.2	0.4	25	0.009148
-147.5	125.5	0.2315	2	0.2	0.4	25	0.009260
-147.0	126.0	0.2325	2	0.2	0.4	25	0.009300
-146.5	126.5	0.2331	2	0.2	0.4	25	0.009324
-146.0	127.0	0.2358	2	0.2	0.4	25	0.009432
-145.5	127.5	0.2372	2	0.2	0.4	25	0.009488
-145.0	128.0	0.2394	2	0.2	0.4	25	0.009576
-144.5	128.5	0.2416	2	0.2	0.4	25	0.009664
-144.0	129.0	0.2417	2	0.2	0.4	25	0.009668
-143.5	129.5	0.2434	2	0.2	0.4	25	0.009736
-143.0	130.0	0.2454	2	0.2	0.4	25	0.009816
-142.5	130.5	0.2487	2	0.2	0.4	25	0.009948
-142.0	131.0	0.2501	2	0.2	0.4	25	0.010004
-141.5	131.5	0.2526	2	0.2	0.4	25	0.010104
-141.0	132.0	0.2542	2	0.2	0.4	25	0.010168
-140.5	132.5	0.2567	2	0.2	0.4	25	0.010268
-140.0	133.0	0.2582	2	0.2	0.4	25	0.010328
-139.5	133.5	0.2613	2	0.2	0.4	25	0.010452
-139.0	134.0	0.2628	2	0.2	0.4	25	0.010512
-138.5	134.5	0.2636	2	0.2	0.4	25	0.010544
-138.0	135.0	0.265	2	0.2	0.4	25	0.010600
-137.5	135.5	0.2621	2	0.2	0.4	25	0.010484
-137.0	136.0	0.2634	2	0.2	0.4	25	0.010536
-136.5	136.5	0.2652	2	0.2	0.4	25	0.010608
-136.0	137.0	0.2678	2	0.2	0.4	25	0.010712
-135.5	137.5	0.2693	2	0.2	0.4	25	0.010772
-135.0	138.0	0.2713	2	0.2	0.4	25	0.010852
-134.5	138.5	0.2713	2	0.2	0.4	25	0.010852
-134.0	139.0	0.2741	2	0.2	0.4	25	0.010964
-133.5	139.5	0.2763	2	0.2	0.4	25	0.011052
-133.0	140.0	0.2785	2	0.2	0.4	25	0.011114

**Lampiran D. Hasil pengukuran resistivitas bahan superkonduktor**

**Bi<sub>1-x</sub>Ag<sub>x</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>10</sub> dengan waktu sintering 60 jam**

T (°C)	T (K)	V (mV)	p (cm)	t (cm)	d (cm)	I (mA)	ρ (Ω.cm)
-182.5	90.5	0	2	0.19	0.4	25	0
-182.0	91.0	0	2	0.19	0.4	25	0
-181.5	91.5	0	2	0.19	0.4	25	0
-181.0	92.0	0	2	0.19	0.4	25	0
-180.5	92.5	0	2	0.19	0.4	25	0
-180.0	93.0	0	2	0.19	0.4	25	0
-179.5	93.5	0	2	0.19	0.4	25	0
-179.0	94.0	0	2	0.19	0.4	25	0
-178.5	94.5	0	2	0.19	0.4	25	0
-178.0	95.0	0	2	0.19	0.4	25	0
-176.5	96.5	0	2	0.19	0.4	25	0
-176.0	97.0	0	2	0.19	0.4	25	0
-175.5	97.5	0	2	0.19	0.4	25	0
-175.0	98.0	0	2	0.19	0.4	25	0
-174.5	98.5	0	2	0.19	0.4	25	0
-174.0	99.0	0	2	0.19	0.4	25	0
-173.5	99.5	0	2	0.19	0.4	25	0
-173.0	100.0	0	2	0.19	0.4	25	0
-172.5	100.5	0	2	0.19	0.4	25	0
-172.0	101.0	0	2	0.19	0.4	25	0
-171.5	101.5	0	2	0.19	0.4	25	0
-171.0	102.0	0	2	0.19	0.4	25	0
-170.5	102.5	0	2	0.19	0.4	25	0
-170.0	103.0	0	2	0.19	0.4	25	0
-169.5	103.5	0	2	0.19	0.4	25	0
-169.0	104.0	0	2	0.19	0.4	25	0
-168.5	104.5	0	2	0.19	0.4	25	0
-168.0	105.0	0	2	0.19	0.4	25	0
-167.5	105.5	0.0008	2	0.19	0.4	25	3.04E-05
-167.0	106.0	0.0197	2	0.19	0.4	25	0.000749
-166.5	106.5	0.0406	2	0.19	0.4	25	0.001543
-166.0	107.0	0.0612	2	0.19	0.4	25	0.002326
-165.5	107.5	0.0884	2	0.19	0.4	25	0.003359
-165.0	108.0	0.1085	2	0.19	0.4	25	0.004123
-164.5	108.5	0.1235	2	0.19	0.4	25	0.004693
-164.0	109.0	0.1426	2	0.19	0.4	25	0.005419
-163.5	109.5	0.1571	2	0.19	0.4	25	0.005970
-163.0	110.0	0.1592	2	0.19	0.4	25	0.006050
-162.5	110.5	0.1606	2	0.19	0.4	25	0.006103
-162.0	111.0	0.1622	2	0.19	0.4	25	0.006164
-161.5	111.5	0.1641	2	0.19	0.4	25	0.006236
-161.0	112.0	0.1656	2	0.19	0.4	25	0.006293
-160.5	112.5	0.1672	2	0.19	0.4	25	0.006354
-160.0	113.0	0.1690	2	0.19	0.4	25	0.006422
-159.5	113.5	0.1701	2	0.19	0.4	25	0.006464
-159.0	114.0	0.1725	2	0.19	0.4	25	0.006555
-158.5	114.5	0.1755	2	0.19	0.4	25	0.006669

-158.0	115.0	0.1772	2	0.19	0.4	25	0.006734
-157.5	115.5	0.1786	2	0.19	0.4	25	0.006787
-157.0	116.0	0.1806	2	0.19	0.4	25	0.006863
-156.5	116.5	0.1818	2	0.19	0.4	25	0.006908
-156.0	117.0	0.1832	2	0.19	0.4	25	0.006962
-155.5	117.5	0.1851	2	0.19	0.4	25	0.007034
-155.0	118.0	0.1873	2	0.19	0.4	25	0.007117
-154.5	118.5	0.1894	2	0.19	0.4	25	0.007197
-154.0	119.0	0.1907	2	0.19	0.4	25	0.007247
-153.5	119.5	0.1915	2	0.19	0.4	25	0.007277
-153.0	120.0	0.1935	2	0.19	0.4	25	0.007353
-152.5	120.5	0.1939	2	0.19	0.4	25	0.007368
-152.0	121.0	0.1950	2	0.19	0.4	25	0.007410
-151.5	121.5	0.1982	2	0.19	0.4	25	0.007532
-151.0	122.0	0.1980	2	0.19	0.4	25	0.007524
-150.5	122.5	0.1992	2	0.19	0.4	25	0.007570
-150.0	123.0	0.1999	2	0.19	0.4	25	0.007596
-149.5	123.5	0.2009	2	0.19	0.4	25	0.007634
-149.0	124.0	0.2016	2	0.19	0.4	25	0.007661
-148.5	124.5	0.2035	2	0.19	0.4	25	0.007733
-148.0	125.0	0.2046	2	0.19	0.4	25	0.007775
-147.5	125.5	0.2069	2	0.19	0.4	25	0.007862
-147.0	126.0	0.2112	2	0.19	0.4	25	0.008026
-146.5	126.5	0.2143	2	0.19	0.4	25	0.008143
-146.0	127.0	0.2162	2	0.19	0.4	25	0.008216
-145.5	127.5	0.2171	2	0.19	0.4	25	0.008250
-145.0	128.0	0.2185	2	0.19	0.4	25	0.008303
-144.5	128.5	0.2204	2	0.19	0.4	25	0.008375
-144.0	129.0	0.2232	2	0.19	0.4	25	0.008482
-143.5	129.5	0.2229	2	0.19	0.4	25	0.008470
-143.0	130.0	0.2243	2	0.19	0.4	25	0.008523
-142.5	130.5	0.2267	2	0.19	0.4	25	0.008615
-142.0	131.0	0.2275	2	0.19	0.4	25	0.008645
-141.5	131.5	0.2291	2	0.19	0.4	25	0.008706
-141.0	132.0	0.2305	2	0.19	0.4	25	0.008759
-140.5	132.5	0.2322	2	0.19	0.4	25	0.008824
-140.0	133.0	0.2345	2	0.19	0.4	25	0.008911
-139.5	133.5	0.2367	2	0.19	0.4	25	0.008995
-139.0	134.0	0.2381	2	0.19	0.4	25	0.009048
-138.5	134.5	0.2388	2	0.19	0.4	25	0.009074
-138.0	135.0	0.2401	2	0.19	0.4	25	0.009124
-137.5	135.5	0.2416	2	0.19	0.4	25	0.009181
-137.0	136.0	0.2434	2	0.19	0.4	25	0.009249
-136.5	136.5	0.2435	2	0.19	0.4	25	0.009253
-136.0	137.0	0.2451	2	0.19	0.4	25	0.009314
-135.5	137.5	0.2468	2	0.19	0.4	25	0.009378
-135.0	138.0	0.2479	2	0.19	0.4	25	0.009420
-134.5	138.5	0.2493	2	0.19	0.4	25	0.009473
-134.0	139.0	0.2510	2	0.19	0.4	25	0.009538
-133.5	139.5	0.2522	2	0.19	0.4	25	0.009584
-133.0	140.0	0.2540	2	0.19	0.4	25	0.009652
-132.5	140.5	0.2562	2	0.19	0.4	25	0.009736
-132.0	141.0	0.2569	2	0.19	0.4	25	0.009762