

DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS AIRLANGGA

PENGUKURAN ARUS KRITIS  
SUPERKONDUKTOR KERAMIK  $T_c$  TINGGI  
SISTEM  $Yb_{a2}Cu_3O_{7-x}$   
DENGAN METODE EMPAT PROBE

PAMERAN

SELESAI

16 JUN 1997

Ketua Peneliti :

Ir. Puspa Erawati

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

Dibiayai Oleh : DIP OPF Unair 1995/1996

SK.Rektor Nomor : 6907/PT03.H/N/1995

Nomor : 32





FISIKA, ALAT - ALAT

DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS AIRLANGGA

KAS  
KR  
530.7  
Pen

PENGUKURAN ARUS KRITIS  
SUPERKONDUKTOR KERAMIK  $T_c$  TINGGI  
SISTEM  $Yb_{2}Cu_{3}O_{7-x}$   
DENGAN METODE EMPAT PROBE

MILIK  
PERPUSTAKAAN  
UNIVERSITAS AIRLANGGA  
SURABAYA

3000388963191-0

Ketua Peneliti :

Ir. Puspa Erawati

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

Dibiayai Oleh : DIP OPF Unair 1995/1996

SK.Rektor Nomor : 6907/PT03.H/N/1995

Nomor : 32

SELESAI



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS AIRLANGGA

MILIK  
PERPUSTAKAAN  
UNIVERSITAS AIRLANGGA  
SURABAYA

**PENGUKURAN ARUS KRITIS  
SUPERKONDUKTOR KERAMIK  $T_c$  TINGGI  
SISTEM  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  DENGAN METODE  
EMPAT PROBE**

**Peneliti :**

**Ir. Puspa Erawati  
Drs. Soekandar  
Ir. Trisnaningsih, M.Eng.Sc.  
Ir. Welina Ratnayanti  
Suryani Dyah Astuti, S.Si.**

**LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS AIRLANGGA**

**Dibiayai Oleh: DIP/OPF Unair 1995/1996  
SK. Rektor Nomor: 6907/PT 03.H/N/1995**



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
**UNIVERSITAS AIRLANGGA**  
**LEMBAGA PENELITIAN**

1. Puslit dan Pembangunan Regional
2. Puslit Obat Tradisional
3. Puslit Pengembangan Hukum

4. Puslit Lingkungan Hidup
5. Puslit dan Pengembangan Gizi
6. Puslit/Studi Wanita
7. Puslit Olahraga

8. Puslit Kependudukan dan Pembangunan
9. Puslit Bioenergi
10. Puslit/Studi Kesehatan Reproduksi

Jl. Darmawangsa Dalam No. 2 Telp. (031) 42322 Fax. (031) 42322 Surabaya 60286

IDENTITAS DAN PENGESAHAN  
LAPORAN AKHIR HASIL PENELITIAN

1. a. Judul Penelitian : Pengukuran Arus Kritis Superkonduktor Keramik TC Tinggi Sistem  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  Dengan Metode Empat Probe
- b. Macam Penelitian : (  ) Fundamental, (  ) Terapan, (  ) Pengembangan
2. Kepala Proyek Penelitian
  - a. Nama Lengkap Dengan Gelar : Ir. Puspa Erawati
  - b. Jenis Kelamin : W a n i t a
  - c. Pangkat/Golongan dan NIP : Penata/IIIc/131 125 970
  - d. Jabatan Sekarang : Staf Pengajar
  - e. Fakultas/Jurusan/Puslit : FMIPA/Fisika
  - f. Univ./Inst./Akademi : Universitas Airlangga
  - g. Bidang Ilmu Yang Diteliti : Fisika Material
3. Jumlah Tim Peneliti : 5 (lima) orang
4. Lokasi Penelitian : FMIPA Universitas Airlangga
5. Kerjasama dengan Instansi Lain
  - a. Nama Instansi : -
  - b. A l a m a t : -
6. Jangka Waktu Penelitian : 5 (lima) Bulan
7. Biaya Yang Diperlukan : Rp 3.000.000,00
8. Hasil Seminar Penelitian :
  - a. Dilaksanakan Tanggal : 12 Maret 1996
  - b. Hasil Penilaian : (  ) Baik Sekali (  ) B a i k  
 (  ) S e d a n g (  ) K u r a n g

Surabaya, 14 Maret 1996



Mengetahui/ Mengesahkan :  
 a.n. Rektor  
 Ketua Lembaga Penelitian,

Prof. Dr. Noor Cholies Zaini f  
 NIP. 130 355 372



## RINGKASAN PENELITIAN

Judul : Pengukuran Arus Kritis Superkonduktor Keramik Tc Tinggi Sistem  $YB_2Cu_3O_{7-x}$  Dengan Metode Empat Probe

Ketua Peneliti : Puspa Erawati

Anggota : Soekandar  
Trisnaningsih  
Welina Ratnayanti  
Suryani Dyah Astuti

Fakultas : Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dibiayai Oleh : DIP operasi Perawatan dan Fasilitas Universitas Airlangga Tahun 1995/1996 SK. Rektor Nomor 6907/PT03.H/N/1995.

---

Superkonduktivitas merupakan bagian dari ilmu pengetahuan yang saat ini masih merupakan suatu misteri. Eksplorasi terhadap superkonduktor tersebut telah mengalami grafik yang berfluktuasi. Semula kurang menarik minat untuk diteliti, tetapi setelah penemuan bahan isolator keramik oksida oleh Bednardz dan Muller, penelitian superkonduktor berkembang pesat.

Penelitian superkonduktor saat ini lebih banyak ditujukan pada perburuan masalah temperatur kritis  $T_c$ , agar pemanfaatan teknologi superkonduktor dapat dioperasikan dalam temperatur kamar. Selain temperatur kritis, arus kritis superkonduktor merupakan parameter kritis lain yang penting pula. Beberapa perencanaan divais elektronik (gerbang logik) yang menggunakan superkonduktor  $T_c$  tinggi memerlukan pengetahuan arus kritis  $I_c$  untuk ketepatan design-nya.

Selama ini pengukuran arus kritis superkonduktor banyak menggunakan Model Bean, yaitu pengukuran magnetisasi bahan dengan Hall Probe. Metode ini memerlukan probe yang memiliki daerah operasional temperatur rendah, dan sulit ditemukan di Indonesia serta harganya relatif mahal. Untuk mengatasi tersebut, penelitian ini mencoba memanfaatkan metode empat probe yang biasa digunakan mengukur temperatur kritis, untuk menentukan arus kritis. Dengan mengubah-ubah arus yang dialirkan ke superkonduktor, maka sesuai dengan hukum ohm perubahan tersebut akan diikuti pula oleh perubahan tegangannya. Selanjutnya arus tegangan ini diplot dalam grafik, dan arus kritis diperoleh saat terjadi threshold.

Dari serangkaian pengukuran terhadap sampel di peroleh Hasil sebagai berikut. Uji efek Meissner menunjukkan superkonduktor dapat menolak magnet setinggi 4 mm di atas permukaannya, suatu indikator bahwa superkonduktivitas bahan cukup baik. Temperatur kritis  $T_c$  sampel yang di ukur dengan metode empat probe 87,6 K, dan struktur kristalnya orthorhombik membentuk triplet-perovskite dengan parameter kisi  $a = 3,8131 \text{ \AA}$ ,  $b = 3,8306 \text{ \AA}$  dan  $c = 11, 5979 \text{ \AA}$ , serta arus kritisnya 49,9 mA.

Pengukuran ini dapat ditingkatkan kualitasnya, dengan membentuk sampel yang homogenitasnya cukup tinggi, dan membentuk tape sehingga terdapat banyak kemungkinan probe yang bisa dipilih.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah swt., karena atas karuniaNya semata penelitian QPF ini dapat diselesaikan.

Penelitian ini membahas superkonduktor YBCO, salah satu dari sekian banyak jenis superkonduktor oksida keramik yang memiliki  $T_c$  Tinggi. Penemuan superkonduktor ini tidak hanya mengungkapkan fenomena baru dan merangsang pengkajian ilmiah baru, tetapi juga membuka potensi dan cakrawala baru dalam bidang teknologi material. Penemuan ini cukup menguntungkan karena suhu operasinya berada pada daerah nitrogen cair yang relatif mudah untuk dicapai.

Pada kesempatan ini kami mengucapkan terima kasih kepada Rektor Unair yang telah memberikan kepercayaannya dalam mendanai penelitian ini. Tak lupa kami ucapkan terima kasih pula kepada Dekan FMIPA Unair dan Ketua Jurusan Fisika yang telah memberikan fasilitasnya.

Mudah-mudahan penelitian dapat bermanfaat bagi para pembaca dan dapat menstimulasi bagi mahasiswa fisika Unair untuk ikut "bermain" dalam superkonduktor.

Surabaya, Maret 1996

Peneliti



## DAFTAR ISI

RINGKASAN PENELITIAN . . . . .	i
KATA PENGANTAR . . . . .	iii
DAFTAR ISI . . . . .	iv
<b>BAB I 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 II TINJAUAN PUSTAKA . . . . .</b>	<b>5</b>
2.1. Fenomenologi Superkonduktor . . . . .	5
2.2. Superkonduktor Tipe I . . . . .	10
2.3. Superkonduktor Tipe II . . . . .	12
2.4. Superkonduktor Oksida $T_c$ Tinggi . . . . .	15
2.5. Struktur Kristal Superkonduktor YBCO . . . . .	19
2.6. Metode Empat Probe . . . . .	21
<b>BAB III METODE PENELITIAN . . . . .</b>	<b>25</b>
3.1. Pembentukan Sampel . . . . .	25
3.2. Pembuatan Sample Holder . . . . .	26
3.3. Pengukuran Sampel . . . . .	28
3.3.1. Uji Efek Meissner . . . . .	28
3.3.2. Pengukuran Resistivitas dan suhu . . . . .	28
3.3.3. Pengukuran XRD . . . . .	30
3.3.4. Pengukuran Arus Kritis $I_c$ . . . . .	31
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN . . . . .</b>	<b>32</b>
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN . . . . .</b>	<b>39</b>
5.1. Kesimpulan . . . . .	39
5.2. Saran . . . . .	40
<b>DAFTAR PUSTAKA . . . . .</b>	<b>41</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

# B A B I P E N D A H U L A N

## 1.1. Latar Belakang.

Saat ini pemahaman terhadap sebagian ilmu pengetahuan masih ada yang jauh dari memuaskan. Bahkan ada yang masih merupakan suatu misteri, misalnya: superkonduktor dan turbulensi (Cyrot & Pavuna, 1992).

Sejak ditemukan oleh Onnes tahun 1911, eksplorasi masalah superkonduktor telah mengalami grafik yang berfluktuasi (Tjia, 1994). Awalnya penelitian ini kurang menarik minat ilmuwan, karena temperatur operasinya yang rendah  $\sim 4$  K sehingga memerlukan biaya dan teknik yang tinggi. Perkembangan dramatis superkonduktivitas baru terjadi tahun 1986 ketika Bednartz dan Muller menemukan bahan isolator keramik oksida yang memiliki suhu kritis  $T_c$  di atas 30 K. Penemuan ini cukup menakjubkan karena disamping suhu kritisnya yang melampaui ramalan teori BCS, juga dari segi bahannya yang menggunakan bahan isolator keramik sehingga penelitian-penelitian terhadap sistem keramik yang lain makin intensif dilakukan. Setahun kemudian penemuan ini di ikuti oleh M.K. Wu (Wu, 1987), yang menemukan superkonduktor YBCO dengan  $T_c \sim 92$  K. Kemudian tahun 1989 Maeda dan kawan-kawan menemukan superkonduktor keramik sistem Bi-Sr-Ca-Cu-O dengan  $T_c \sim 110$  K, yang diikuti dengan penemuan superkonduktor Tl-Ba-Cu-O oleh Sheng dan Herman dengan  $T_c \sim 125$  K (Tjia, 1994).

Selain temperatur kritis  $T_c$ , arus kritis  $I_c$  superkonduktor merupakan parameter kritis lain yang penting pula. Beberapa perencanaan divais elektronik yang menggunakan superkonduktor  $T_c$  tinggi memerlukan pengetahuan arus kritis  $I_c$  untuk ketetapan design-nya (Wang and Hall, 1992).

Selama ini pengukuran arus kritis superkonduktor menggunakan Model Bean yaitu pengukuran magnetisasi superkonduktor dengan menggunakan Hall Probe. Metode Bean ini memerlukan probe yang memiliki daerah operasi temperatur relatif rendah 50-150 K. Hall Probe ini terlalu mahal dan tidak tersedia di Indonesia sehingga harus dipesan ke luar negeri.

Selain menggunakan Model Bean, pengukuran arus kritis dapat dilakukan dengan metode empat probe (Fourier & Aubin, 1994). Dua elektode tengah dihubungkan sumber arus yang besarnya dapat diatur, sedangkan dua elektode luar merupakan elektode tegangan. Bila arus yang mengalir ke superkonduktor dinaikkan, sesuai dengan hukum ohm tegangannya akan naik pula. Arus kritis  $I_c$  diperoleh dari kurva arus tegangan (I-V) pada saat terjadi threshold.



### 1.2. Rumusan Masalah.

Dari uraian latar belakang di atas, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimanakah mekanisme pengukuran arus kritis superkonduktor menggunakan metode empat probe.
2. Bagaimanakah hasil pengukuran arus kritis ini bila dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan metode Bean.

### 1.3. Tujuan Penelitian.

Penelitian ini akan ditujukan terutama kepada sasaran-sasaran sebagai berikut.

1. Karakterisasi superkonduktor keramik sistem YBCO, terutama efek efek Messner, temperatur kritis  $T_c$  dan struktur kristal atau parameter kisinya.
2. Menentukan arus kritis superkonduktor YBCO; suatu parameter yang berperan penting dalam perencanaan pembuatan divais elektronik.

### 1.4. Manfaat Penelitian.

Penemuan oksida keramik sebagai material superkonduktor yang memiliki  $T_c$  tinggi tidak hanya mengungkapkan fenomena baru dan merangsang pengkajian ilmiah baru, tetapi juga membuka potensi dan cakrawala baru dalam bidang teknologi material.

Penemuan ini cukup menguntungkan karena suhu operasinya berada pada daerah nitrogen cair yang relatif mudah untuk dicapai.

Sebagai akibat peristiwa itu, kita bukan hanya lebih banyak sebagian peluang memanfaatkan teknologi superkonduktor, tetapi terbuka pula kesempatan dan cakrawala baru bagi fisikawan maupun ahli teknologi untuk ikut "bermain" dalam riset dan pengembangan bidang superkonduktor tersebut. Mengingat implikasi teknologinya yang mendalam dan meluas di masa mendatang, sudah tiba saatnya kini mengangkat fisika bahan superkonduktor ke dalam jajaran fisika mainstream bersama dengan fisika semikonduktor, fisika laser dan cabang fisika utama lainnya.

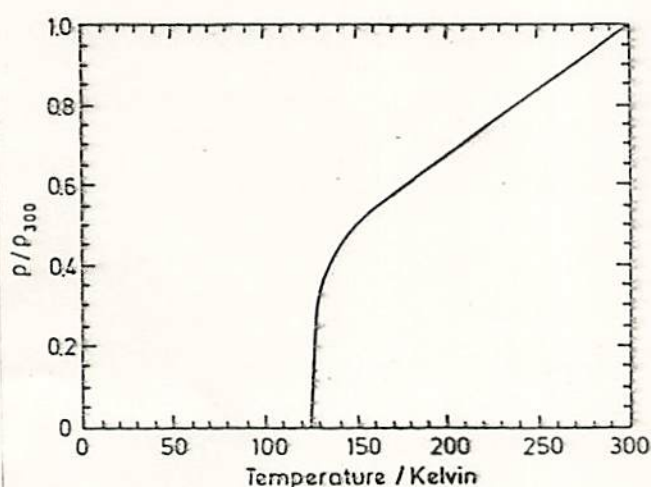
## B A B II

### T I N J A U A N P U S T A K A

#### 2.1. Fenomenologi Superkonduktor.

Suatu bahan dapat dianggap sebagai superkonduktor apabila memiliki dua sifat pokok.

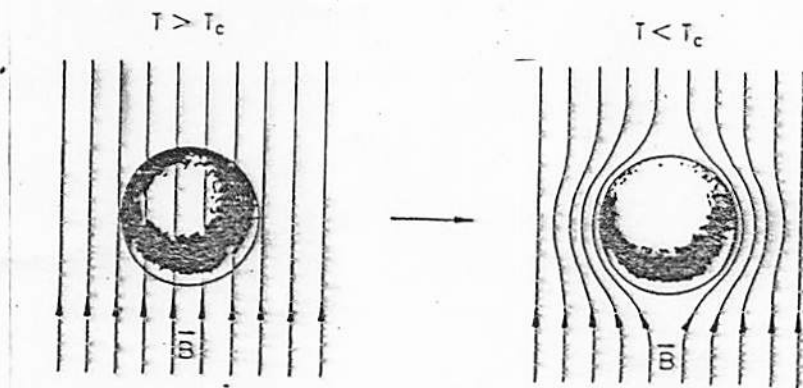
- a). Resistivitasnya nol ( $\rho=0$ ) untuk  $T < T_c$ . Resistivitas tak hingga di bawah temperatur kritis  $T_c$  (gambar 2.1.)



Gambar 2.1. Ketergantungan resistivitas listrik terhadap temperatur

- b). Tidak memiliki induksi magnet ( $B=0$ ) di dalam superkonduktor. Induktansi magnetik menjadi nol di dalam superkonduktor bila diinginkan di bawah temperatur kritis  $T_c$  dalam medan magnet eksternal yang lemah; fluks magnet di tolak dari interior superkonduktor (gambar 2.2). Keadaan tersebut menjadikan superkonduktor bersifat diamagnetik sempurna dan di namakan efek Meissner-Ochsenfeld.





Gambar 2.2. Penolakan gaya eksternal magnetik lemah bahan superkonduktor

Gejala efek Meissner superkonduktor dapat dinyatakan oleh persamaan,

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) = 0 \quad (2-1)$$

dimana  $\vec{H}$ ,  $\vec{M}$  dan  $\mu_0$  secara berturut-turut adalah medan luar magnetisasi bahan dan permeabilitas hampa. Untuk bahan isotropik yang linier, besarnya magnetisasi bahan  $\vec{M}$  sebanding dengan induksi magnet luar,

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H} \quad (2-2)$$

dengan  $\chi_m$  adalah suseptibilitas magnetik.

Substitusi persamaan (2-2) ke persamaan (2-1) diperoleh,

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \chi_m \vec{H}) = 0 \quad (2-3)$$

atau

$$\chi_m = -1 \quad (2-3)$$

Keadaan yang diungkapkan persamaan (2-1) atau persamaan (2-3) dinamakan diamagnetis sempurna pada temperatur di bawah kritis.

Sifat elektromagnetik superkonduktor dapat dipahami dengan menggunakan formulasi London. Rumusan ini diawali dengan perumusan gerak elektron dalam medan listrik  $\vec{E}$ .

$$-eE = \frac{d\vec{v}_s}{dt}$$

atau

$$E = -\frac{m}{e} \frac{d\vec{v}_s}{dt} \quad (2-4)$$

dengan  $e$ ,  $m$ ,  $t$  dan  $v_s$  secara berturut-turut adalah muatan elektron, massa elektron, waktu gerak elektron dan kecepatan gerak elektron dalam superkonduktor yang tidak bertumbukan.

Selanjutnya rapat arus yang terjadi dapat dinyatakan sebagai,

$$\vec{J}_s = n_s (-e) \vec{v}_s \quad \text{atau} \quad v_s = -\frac{J_s}{n_s e} \quad (2-5)$$

dengan  $n_s$  dan  $\vec{J}_s$  berturut-turut adalah kerapatan pembawa muatan dan rapat arus superkonduktor.

Substitusi persamaan (2-5) ke persamaan (2-4) di peroleh ungkapan medan listrik superkonduktor,

$$E = \frac{m}{n_s e^2} \frac{dJ_s}{dt}$$

$$\text{atau } E = \Lambda \frac{dJ_s}{dt} \quad (2-6)$$

$$\text{dengan } \Lambda = \frac{m}{n_s e^2} = \mu_0 \lambda_L^2 \quad (2-6a)$$

$$\text{atau } \lambda_L = \sqrt{\frac{m}{\mu_0 n_s e^2}} \quad (2-6b)$$

$\Lambda$  adalah tetapan London, yang merupakan karakteristik dari material, sedangkan  $\lambda_L$  adalah ukuran kedalaman penembusan medan magnet luar pada superkonduktor (kedalaman penetrasi London).

Untuk memperoleh medan induksi superkonduktor digunakan persamaan Maxwell  $\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$  dan persamaan (2-6), yakni:

$$\vec{B} = \Lambda \nabla \times \vec{J}_s \quad (2-7)$$

Untuk memahami arti kedalaman penetrasi London  $\lambda_L$ , tinjau persamaan Maxwell,

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}_s \quad (2-8)$$



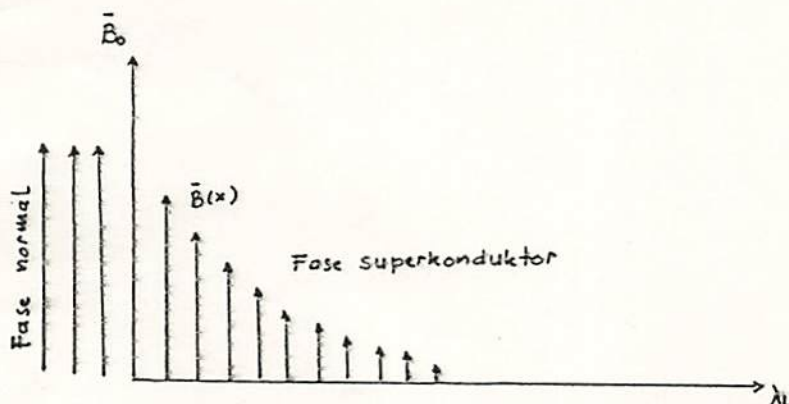
Hasil operasi "curl" pada persamaan (2-8) dan digabungkan dengan persamaan (2-7) di peroleh,

$$\nabla^2 \vec{B} = -\frac{\vec{B}}{\lambda_L^2} \quad (2-9)$$

Solusi persamaan ini adalah.

$$\vec{B}(x) = B_0 \exp(-x/\lambda_L) \quad (2-10)$$

Persamaan (2-10) ini menyatakan bahwa akan terjadi pengurangan (peredaman) medan magnet secara eksponensial dalam superkonduktor (gambar 2.3).



Gambar 2.3. Penetrasi Medan Magnet pada superkonduktor

Apabila persamaan (2-10) disubstitusikan ke persamaan (2-7) akan diperoleh,

$$J(x) = J_0(0) \exp\left(-\frac{x}{\lambda_L}\right) \quad (2-11)$$

Persamaan ini menyatakan bahwa arus yang mengalir akan menghilang secara eksponensial dengan bertambahnya jarak dari permukaan. Arus yang demikian disebut arus permukaan. Arus ini yang melindungi superkonduktor bagian dalam dari pengaruh magnet luar. Oleh karena itu superkonduktor bagian dalam tidak dapat ditembus medan magnet luar, sehingga berlaku  $\vec{B} = 0$  (efek Meissner) untuk bagian dalam superkonduktor.

## 2.2. Superkonduktor Tipe I

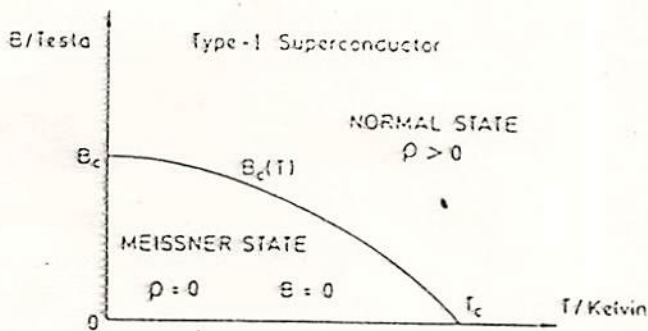
Superkonduktor tipe I dibuat dari logam murni. Misalnya; Hg, Pb, dan Nb yang secara berturut-turut memiliki suhu kritis 4,3 K, 7,2 K dan 9,2 K. Bahan ini dapat menolak fluks secara campuran dibawah suhu kritisnya sehingga, sehingga superkonduktor tipe ini merupakan diamagnetik ( $B=0$ ) yang sempurna. Sifat ini dinamakan efek Meissner-Ochsenfeld. Dan superkonduktor tipe ini sering dinamakan pula superkonduktor murni. Semua superkonduktor logam murni merupakan superkonduktor tipe I kecuali Niubium dan Vanadium.

Sifat superkonduktivitas bahan dapat dikembalikan ke keadaan normalnya (non superkonduktor) dengan cara menaikkan suhu di atas suhu kritisnya ( $T_c$ ) atau memberi medan magnet melebihi batas harga kritis ( $B_c$ ) yang diijinkan.

Medan magnet kritis ( $B_c$ ) adalah besarnya kuat medan magnet yang dibutuhkan untuk mengubah sifat superkonduktivitas bahan menjadi normal kembali. Hubungan antara medan magnet kritis  $B_c$  terhadap temperatur untuk superkonduktor tipe I dilukiskan oleh gambar 2.4, dan dapat di aproksimasikan sebagai bentuk parabolik (Cyrot & Pavuna, 1992)

$$B_c = B_0 \left\{ 1 - \left( \frac{T}{T_c} \right)^2 \right\} \quad (2 - 12).$$

dengan  $B_0$  adalah nilai ekstrapolar  $B_c$  pada  $T = 0$



Gambar 2.4. Diagram skematik  $B_c (T)$  untuk superkonduktor tipe I

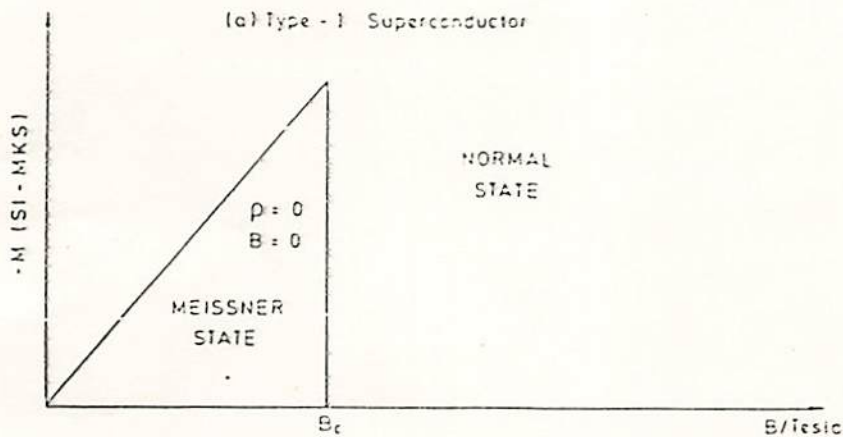
Kurva magnetisasi superkonduktor ideal diberikan dalam gambar 2.5.. Dalam satuan MKSA, magnetisasi  $M$  bahan dapat dituliskan sebagai,

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) \quad (2 - 13).$$



dimana,  $\vec{H}$ ,  $\vec{M}$ ,  $\vec{B}$  secara berturut-turut adalah induksi medan magnet, magnetisasi bahan dan medan magnetik. Sedangkan  $\mu_0$  adalah permeabilitas hampa ( $4\pi \cdot 10^{-7}$ ).

Efek Meissner-Ochsenfeld,  $\vec{B}=0$  berbaitan dengan  $\vec{M} = -\vec{H}$ . Di atas medan kritis  $B_c$  bahan superkonduktor akan menjadi normal, sehingga  $\vec{M} = 0$ . Tanda negatif menunjukkan bahwa sampel menjadi diamagnetik sempurna dengan meniadakan fluks dari interior bahan, yang berarti menimbulkan arus permukaan.



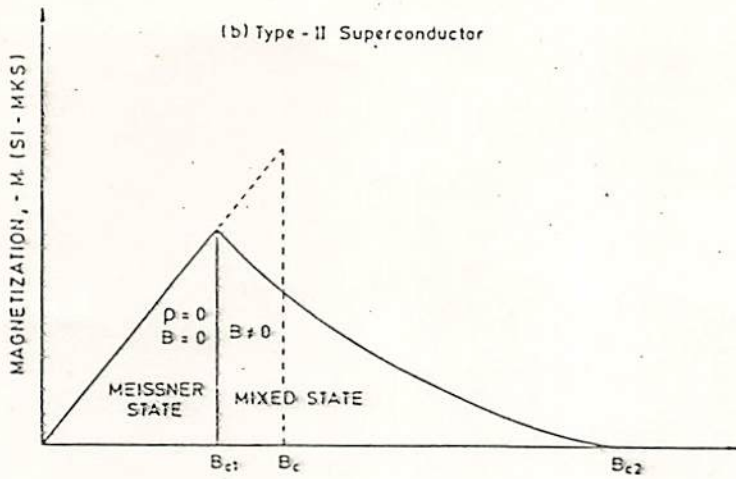
Gambar 2.5. Diagram magnetisasi sebagai fungsi medan magnet untuk superkonduktor tipe I.

### 2.3. Superkonduktor tipe II

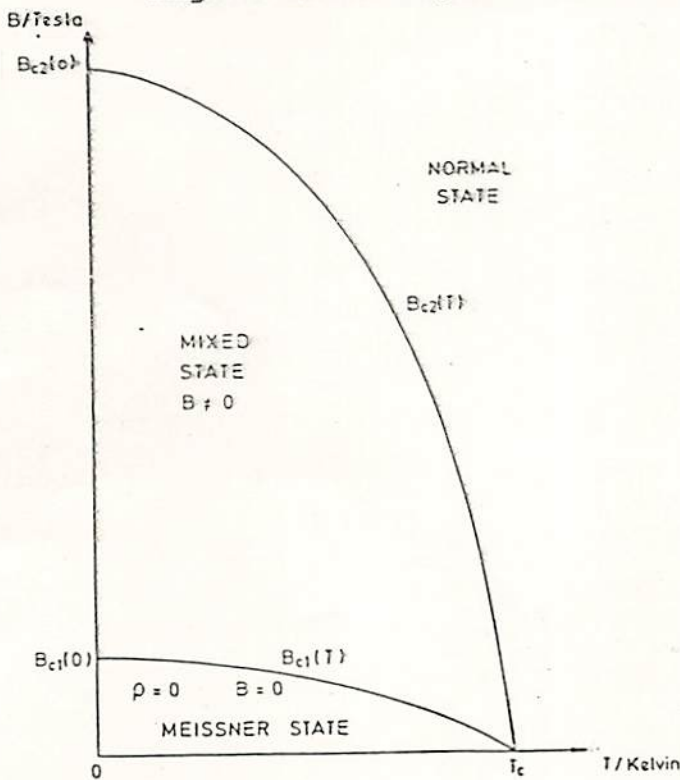
Superkonduktor tipe II banyak ditemukan pada campuran logam. Diawali penemuan alloy Nb-Ti yang memiliki  $T_c$  9K, kemudian di ikuti  $Nb_3Sn$  dan  $Nb_3Ge$  yang secara berturut-turut memiliki  $T_c$  18 K dan 23 K.



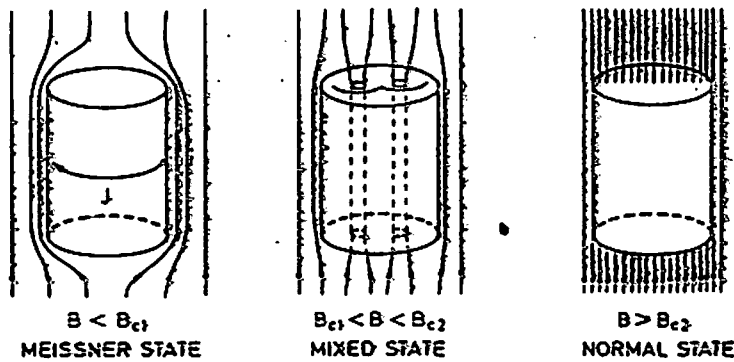
Dibandingkan dengan superkonduktor tipe I, temperatur kritis tipe II lebih tinggi meskipun masih sama-sama menggunakan helium cair sebagai pendinginnya. Superkonduktor tipe II memiliki dua medan magnet kritis; rendah  $B_{c1}$  dan tinggi  $B_{c2}$ . Fluks magnet ditolak secara sempurna hanya sampai medan kritis  $B_c$ . Dengan demikian bila dikenakan medan magnet lebih kecil dari  $B_{c1}$ , superkonduktor tipe II memiliki sifat seperti superkonduktor tipe I dibawah  $B_c$ . Di atas medan  $B_{c1}$ , sebagian fluks magnet menembus ke dalam bahan sampai daerah medan kritis  $B_{c2}$ . Di atas medan  $B_{c2}$  bahan akan kembali menjadi keadaan normal (lihat gambar 2.6). Hubungan antara  $B_{c1}$  dan  $B_{c2}$  terhadap temperatur dilukiskan dalam gambar 2.7. Keadaan superkonduktor antara  $B_{c1}$  dan  $B_{c2}$ , dinamakan keadaan tercampur (Mixed state). Di daerah tercampur ini efek Meissner hanya berlaku secara parsial. Untuk semua penggunaan medan  $B_c < B < B_{c2}$ , fluks magnetik sebagian menerobos spesimen superkonduktor dalam bentuk "filamen makroskopik kecil", yang disebut vortices. (lihat gambar 2.8.).



Gambar 2.6. Diagram magnetisasi sebagai fungsi medan magnet untuk superkonduktor tipe II.



Gambar 2.7. Variasi medan kritis  $B_{c1}$  dan  $B_{c2}$  sebagai fungsi temperatur.



Gambar 2.8. Penerobosan fluks dalam keadaan tercampur.

#### 2.4. Superkonduktor Oksida Suhu Kritis ( $T_c$ ) Tinggi.

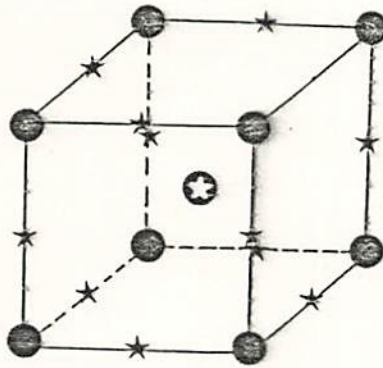
Sebagian besar superkonduktor yang telah dibahas di atas merupakan senyawa logam. Dalam dekade ini, khususnya untuk superkonduktor  $T_c$  tinggi, bahan superkonduktor berasal dari senyawa oksida keramik.

Ditinjau dari susunan unsurnya, superkonduktor  $T_c$  tinggi tersebut terdiri dari;

- Superkonduktor dengan susunan unsur tanah jarang (rare earth), yaitu R-Ba-Cu-O, dengan R adalah unsur tanah jarang; Y, La, Nd, Sm, Eu, Ho, Er, Tm dan Lu.
- Superkonduktor sistem Bi-Sr-Ca-Cu-O dengan tiga fase superkonduktif.
- Superkonduktor Tl-Ca-Ba-Cu-O.

Dari segi strukturnya, superonduktor ini memiliki ciri sebagai berikut.

a). Semuanya memiliki struktur atau , substruktur Perovskite dengan kekurangan oksigen dan distorsi bentuk. Struktur perovskite  $ABX_3$  berbentuk kubus, dengan A berkedudukan di pusat kubus dan B menempati sudut-sudut kubus. Sedangkan anion x berkedudukan di rusuk bagian tengah antara dua kation B (gambar 2.9).



Gambar 2.9. Struktur perovskite  $ABX_3$ .

Sebagai contoh, model struktur dari superkonduktor sistem YBCO, BSCCO dan TCBCO dalam dua dimensi (Sihombing, 1991) dapat dilihat pada gambar 2.10.

Sistem YBCO mempunyai tiga tumpukan struktur perovskite dalam sel satuannya, tetapi hanya mempunyai tujuh atom oksigen di dalamnya (seharusnya delapan),

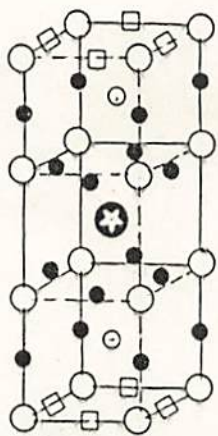


sehingga strukturnya merupakan perovskite yang terdistorsi. Dari model tersebut tampak bahwa terdapat dua satuan Ba yang menuruti struktur perovskit dengan atom Ba di pusat kubus. Atom-atom Cu terletak disetiap sudut kubus sedangkan atom O terletak dipertengahan setiap rusuk kubus. Diantara dua atom Ba terdapat atom Y yang terletak dipusat kubus.

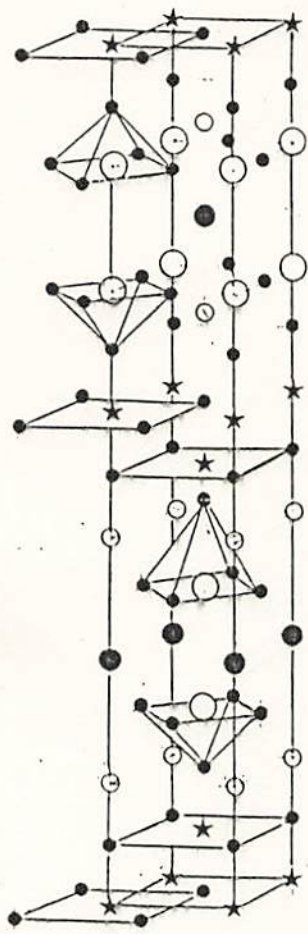
Untuk superkonduktor sistem Bi-Sr-Ca-Cu-O (BSCCO) lapisan perovskite disusun oleh lapisan struktur;  $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{-SrO-CuOx-Ca-CuOx-SrO-Bi}_2\text{O}_2$ , dimana bidang Ca-O dilapisi oleh dua bidang CuO dan bidang SrO dilapisi oleh bidang-bidang CuO dan BiO.

b). Semuanya mengandung struktur lapisan CuO yang berkaitan dengan struktur perovskite dalam sistem bersangkutan. Lapisan ini diduga mempunyai peran yang sangat penting di dalam konduksi dua dimensi. Sedangkan jumlah lapisan Cu-O yang terpisah diduga berhubungan dengan nilai suhu kritis yang dicapai (Chela-Flores, et.al, 1988).

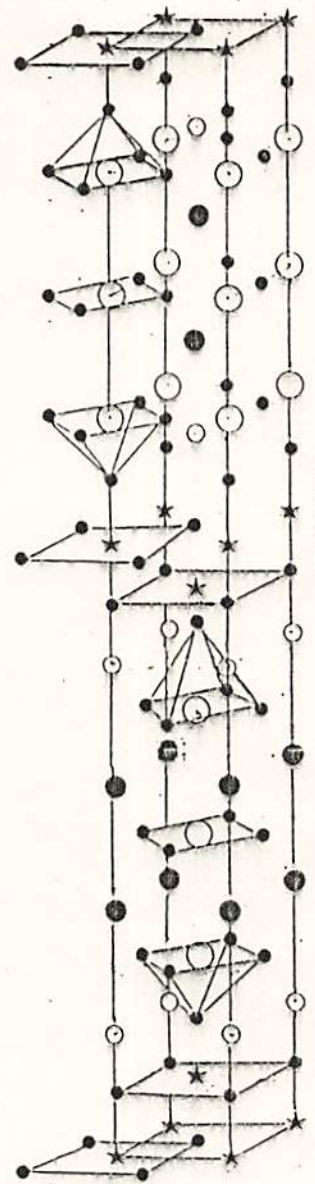
- ★ Bi atau Tl
- Ca
- Sr atau Ba
- Cu
- Oksigen
- Oksigen 50%
- ⊛ Y



(a)



(b)



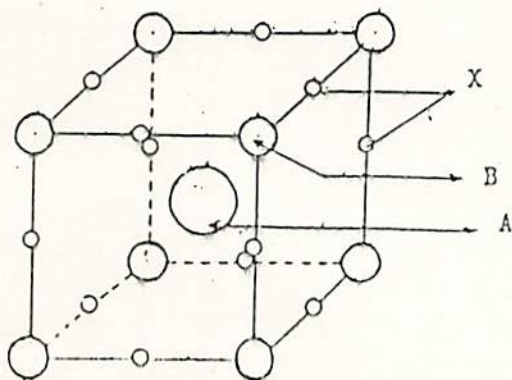
(c)

Gambar 2.10. Model struktur superkonduktor sistem  
 a. YBCO      b. BSCCO      c. TCBCO

#### 2.4. Struktur Kristal Superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$

Senyawa keramik YBCO di bentuk melalui reaksi padatan dari oksida-oksida;  $\text{BaO}$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$  dan  $\text{CuO}$  dengan stoikiometri kation; 1Y: 2 Ba: 3 Cu.

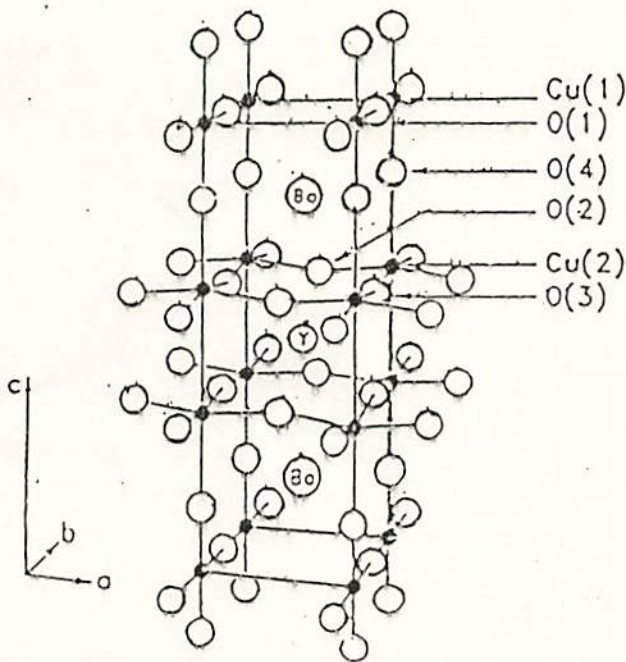
Susunan kristalnya mirip dengan struktur perovkite yang memiliki sel satuan berbentuk kubus. Struktur perovskite  $\text{ABX}_3$  memiliki dua kation, yaitu A berkedudukan di pusat kubus dan B menempati sudut-sudut kubus. Sedangkan anion X berkedudukan di rusuk bagian tengah, antara dua kation B (gambar 2.11).



Gambar 2.11. Struktur dasar perovskite  $\text{ABX}_3$

Struktur YBCO mempunyai struktur yang lebih rumit dari  $\text{ABX}_3$ . Dengan mengacu struktur  $\text{ABX}_3$ , maka kation Y dan Ba menempati kedudukan A, kation Cu menempati kedudukan B, sedangkan anion O menempati kedudukan X.

Pada sistem  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  mempunyai tiga tumpukan struktur perovskite dalam sel satuannya, tetapi hanya mempunyai tujuh atom oksigen di dalamnya (seharusnya delapan oksigen), sehingga strukturnya merupakan perovskite yang terdistorsi. Model struktur sel satuan YBCO diperlihatkan oleh gambar 2.12. Strukturnya dipandang sebagai susunan dari tiga struktur perovskite bertumpuk dalam arah C.



Gambar 2.12. Model Struktur Sel satuan YBCO

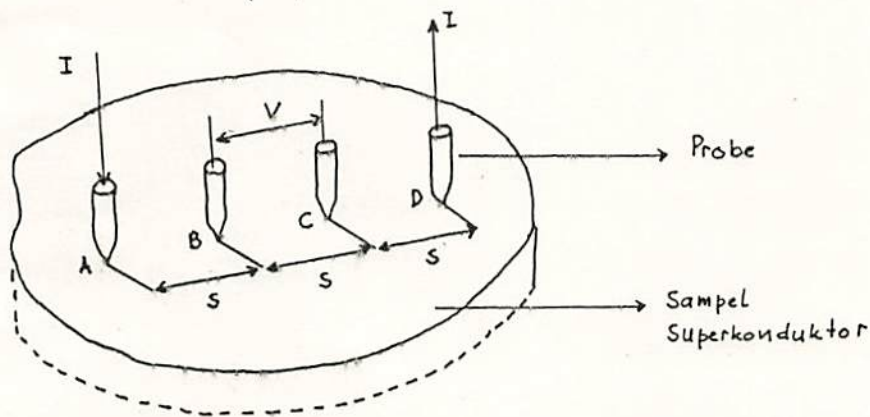
Dari model tersebut tampak terdapat dua satuan Ba yang menuruti struktur perovskite dengan atom Ba di pusat kubus. Atom-atom Cu terletak di setiap sudut kubus dan atom O terletak di pertengahan setiap rusuk kubus.



Diantara dua atom Ba terdapat satuan Y dengan atom Y berada dipusat kubus dan atom-atom Cu terletak di setiap sudut kubus, serta delapan atom O berada disisi bawah kubus. Kemudian empat atom O yang seharusnya terletak di pertengahan rusuk-rusuk samping kubus tidak ada.

### 2.6. Metode Empat Probe.

Secara sederhana, metode pengukuran empat probe ditunjukkan oleh gambar 2.13.

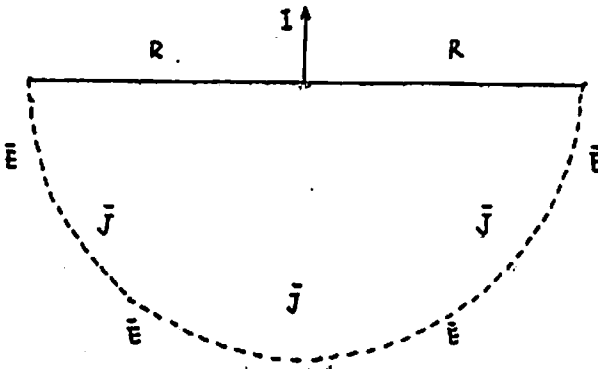


Gambar 2.13. Model Pengukuran dengan metode empat probe

Keempat probe ini diletakkan menurut sebuah garis lurus pada sampel, masing-masing dengan jarak yang sama yaitu  $s$ . Jika arus listrik  $I$  dialirkan melalui probe A, maka akan keluar melalui probe D. Tegangan antara probe B dan C ( $V_{BC}$ ) dapat dihitung dengan rumus;

$$V_{BC} = \frac{I\rho}{2\pi s} \quad (2-14)$$

Rumus ini dapat diturunkan sebagai berikut (lihat gambar 2-14).



Gambar 2.14. Model terjadinya potensial  $V$  akibat dari arus listrik  $I$  pada suatu bahan.

Jika arus  $I$  dialirkan melalui suatu bahan, maka di sekitar arus pada jarak  $R$  akan terjadi potensial (Barmawi, 1989)

$$V_{(r,z)} = \frac{C}{R} \quad (2-15)$$

dengan  $C$  adalah konstanta integral.

Di sekitar arus  $I$  akan terjadi rapat arus  $\vec{J}$  dan kuat medan  $\vec{E}$ , sehingga terjadi hubungan;

$$I = 2\pi R^2 J \quad (2-16)$$

dengan  $J = \sigma E$  (2-16a)

dan  $E = - \frac{\partial V}{\partial R}$  (2-16b)

Substitusi persamaan (2-15) ke persamaan (2-16b) diperoleh,

$$E = \frac{C}{R^2} \quad (2-17)$$

Substitusi persamaan (2-17) dan (2-16a) ke persamaan (2-16) diperoleh,

$$I = 2\pi C \quad \text{atau} \quad C = \frac{I}{2\pi\sigma} \quad (2-18)$$

Resistivitas listrik suatu bahan ( $\rho$ ) berbanding terbalik dengan konduktivitasnya ( $\sigma$ ) atau  $\rho = 1/\sigma$ , sehingga persamaan 2-18) teralihkan menjadi,

$$C = \frac{I \rho}{2 \pi} \quad (2-19)$$

Substitusi persamaan (2-19) ke persamaan (2-15) diperoleh,

$$V_{(r,z)} = \frac{I \rho}{2\pi R} \quad (2-20)$$

Bila rumus (2-20) diterapkan pada pengukuran empat probe (gambar 2.15), maka beda potensial antara titik B dan C adalah,

MILIK  
 PERPUSTAKAAN  
 UNIVERSITAS AIRLANGGA  
 SURABAYA

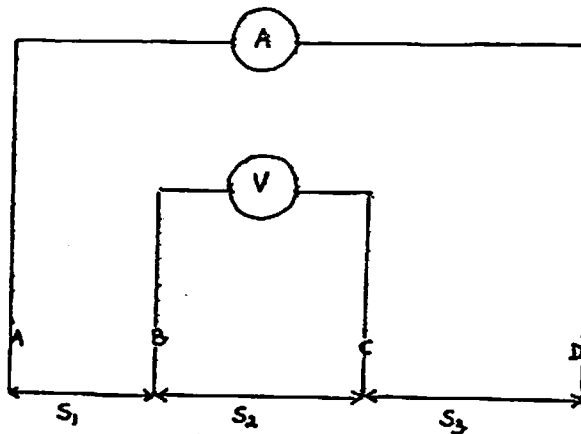
$$\begin{aligned}
 V_{BC} &= V_B - V_C \\
 &= \frac{I\rho}{2\pi} \left[ \frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2+s_3} \right] - \frac{I\rho}{2\pi} \left[ \frac{1}{s_2+s_1} - \frac{1}{s_3} \right] \quad (2-21)
 \end{aligned}$$

Untuk  $s_1 = s_2 = s_3 = s$ , maka persamaan (2-21) menjadi:

$$\begin{aligned}
 V_{BC} &= \frac{I\rho}{2\pi} \left[ \frac{1}{s} - \frac{1}{2s} - \frac{1}{2s} + \frac{1}{s} \right] \\
 V_{BC} &= \frac{I\rho}{2\pi s} \quad (2-22)
 \end{aligned}$$

Persamaan (2-22) dapat ditulis pula sebagai,

$$\rho = 2\pi s \frac{V}{I} \quad (2-23)$$



Gambar 2.15. Skema metode pengukuran empat probe.

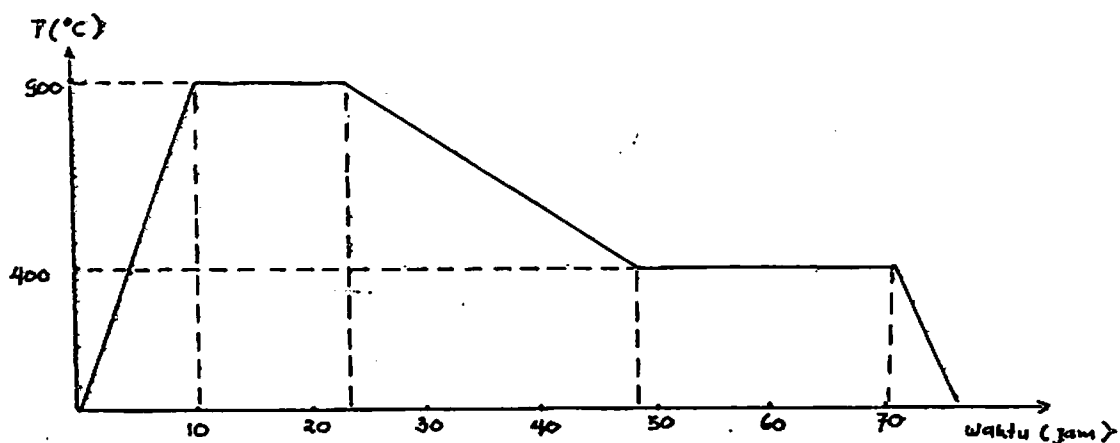


## B A B III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Pembentukan Sampel.

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah superkonduktor jenis Ytrium Barium Cuprate YBCO 123 buatan Hoecht Chem dengan formula  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ,  $x < 0,1$  yang berupa serbuk halus berwarna hitam. Sampel ini kemudian dicetak menjadi pelet (silinder). Sampel yang berupa pelet tersebut kemudian di panaskan dalam tungku pemanas. Proses pemanasannya mengikuti grafik hubungan antara temperatur dan waktu seperti gambar 3.1.



Gambar 3.1. Grafik temperatur versus waktu pada sistem pemanasan superkonduktor YBCO

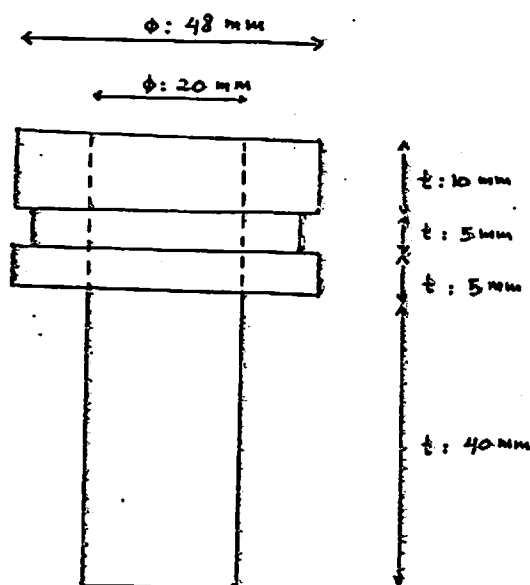
Mula-mula sampel di panaskan dari temperatur kamar sampai  $900^{\circ}\text{C}$  dengan slope garis lurus selama 10 jam. Kemudian pemanasan pada temperatur tetap selama 12 jam.

Proses ini merupakan proses peleburan dan pembentukan keramik, dinamakan sintering dan kalsinasi. Selanjutnya dilakukan penurunan temperatur dari  $900^{\circ}\text{C}$  menjadi  $400^{\circ}\text{C}$  dengan slope garis lurus selama 25 jam, dan diteruskan dengan pemanasan pada temperatur tetap  $400^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam. Pemanasan ini untuk mengatur kadar oksigen sampel. Jumlah oksigen tiap molekul YBCO adalah  $7-x$  dan pemanasan ini untuk menentukan harga penyimpangan  $x$ .

Harga  $x$  tersebut menentukan sifat bahan YBCO. Untuk  $x$  antara  $0,0 - 0,5$  maka YBCO menjadi superkonduktor dan untuk harga  $x > 0,5$  maka YBCO menjadi isolator. Selanjutnya temperatur diturunkan dari  $400^{\circ}\text{C}$  sampai temperatur kamar dengan slope garis lurus selama 4 jam.

### 3.2. Pembuatan Sample Holder.

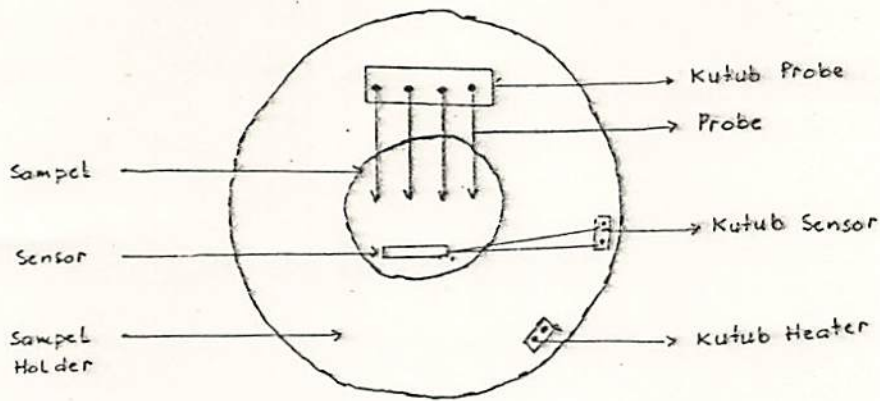
Sample holder digunakan untuk menempatkan sampel agar memudahkan penelitian. Bahan yang digunakan adalah tembaga, dengan alasan mudah menghantarkan panas dan tidak mudah terkontaminasi bahan sampel. Bentuk dan ukuran sampel holder ini ditunjukkan oleh gambar 3.2.



Gambar 3.2. Bentuk Sample Holder

Di cekungan atas sample holder diberi lilitan kawat tembaga yang berisolator (penyekat) dengan diameter 0,18 mm sebanyak 305 lilitan. Lilitan ini mempunyai resistansi sekitar 41,55 ohm, digunakan sebagai kumparan pemanas.

Sampel yang terbentuk pelet diletakkan di atas sampel holder, yang diisolasi satu sama lain dengan penyekat. Kemudian ditentukan empat buah titik dengan jarak yang sama  $s = 5$  mm. Pada ke empat titik ini diletakkan empat buah probe. Probe 1 dan 4 digunakan untuk mengalirkan arus ke sampel, sedangkan probe 2 dan 3 sebagai probe tegangan sampel. Sebagai sensor temperatur digunakan termokopel, dan secara rinci gambaran di atas dapat di ilustrasikan oleh gambar 3.3.



Gambar 3.3. Bentuk sample holder dipandang dari atas.

### 3.3. Pengukuran Sampel

#### 3.3.1. Uji Efek Meissner

Efek meissner pada superkonduktor dapat di perlihatkan dengan levitasi magnet. Pengujian efek ini dilakukan dengan meletakkan sepotong magnet kecil di atas sampel yang didinginkan dalam nitrogen cair. Pengamatan dilakukan dengan melihat seberapa besar penolakan sampel terhadap magnet tersebut atau dengan kata lain beberapa ketinggian magnet mengambang di atas sampel.

#### 3.3.2. Pengukuran Resistivitas dan Temperatur.

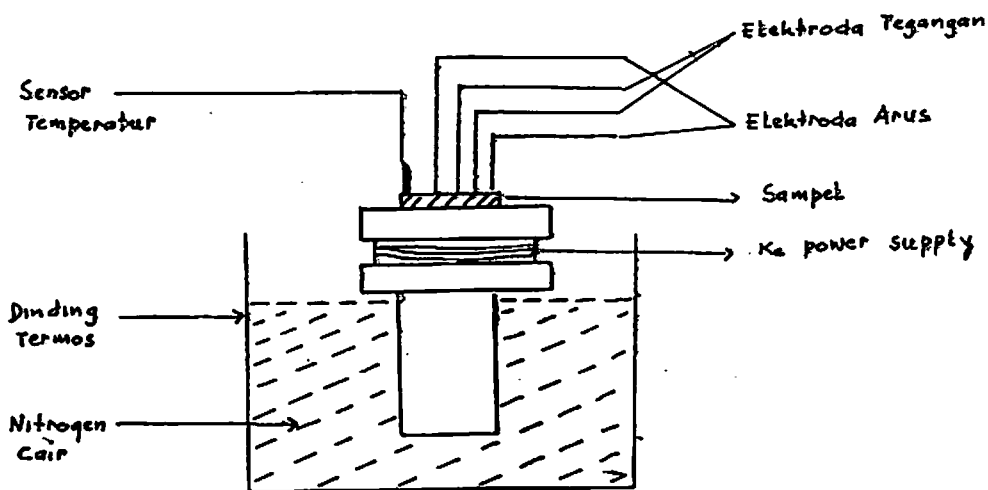
Pengukuran resistivitas terhadap temperatur dilakukan dengan metode empat probe. Tujuannya untuk menentukan titik temperatur kritis  $T_c$  ( $\rho=0$ ) sampel.



Dengan diketahuinya temperatur kritis  $T_c$ , maka dapat di tentukan daerah kerja saat melakukan pengukuran arus kritis  $I_c$ . Adapun alat-alat yang diperlukan dalam pengukuran ini adalah;

1. Digital elektrometer advantest TR 8652
2. Sumber arus advantest R 6142
3. Termokopel dan multimeter
4. Transformator sebagai sumber arus AC untuk heater.
5. Sampel holder dari tembaga
6. Termos, dewar nitrogen cair, dan statik tempat sampel.
7. Kawat elektroda dan kabel penghubung.

Skema penyusunan alat untuk pengukuran resistivitas terhadap temperatur dilukiskan oleh gambar 3.4.



Gambar 3.4. Skema pengukuran Resistivitas versus temperatur

Mula-mula sampel di pasang empat buah elektrode yang diberi jarak 0,5 cm antara elektrode tersebut. Agar elektrode dapat menempel dengan baik pada sampel maka tiap elektrode ditekan dengan sekrup yang dilengkapi dengan pegas kecil. Untuk menguji apakah elektrode tersebut sudah kontak dengan baik, kita ukur tahanan antar elektroda dengan multimeter. Bila tahanan antar elektrode di bawah 25 ohm berarti telah terjadi kontak dengan baik (Santoso, 1992). Kemudian sampel bersama-sama sample holder dimasukkan ke dalam termos. Selanjutnya ke dalam termos dimasukkan nitrogen cair. Kita diamkan beberapa saat hingga kondisi stabil. Pengukuran dimulai dari suhu paling rendah, dan kemudian sampel di panaskan perlahan-lahan dengan heater sambil di ukur perubahan yang terjadi.

### 3.4.3. Pengukuran X Ray Diffraction.

Untuk mengetahui struktur kristal atau parameter kisi dari sampel dilakukan XRD. Pengukurannya dilakukan di laboratorium Fisika Terapan LIPI Bandung. Alat ini memberikan informasi pola difraksi dan data setiap puncak intensitas, seperti nomor puncak intensitas, sudut Bragg ( $2\theta$ ), jarak kisi ( $d$ ), dan intensitas relatif ( $I/I_a$ ).

#### 3.4.4. Pengukuran Arus Kritis $I_c$ .

Kegunaan pengukuran temperatur kritis  $T_c$  pada penelitian ini adalah untuk mengetahui batas atas temperatur sampel, agar kita dapat memilih daerah kerja pengukuran arus kritis. Pada pengukuran arus kritis ini, temperatur sampel dibuat tetap yaitu 82 K. Temperatur ini di bawah temperatur kritis  $T_c$  sampel, sehingga superkonduktivitas sampel masih terjaga.

Pada prinsipnya pengukuran arus kritis sama dengan pengukuran temperatur kritis sampel. Dalam hal ini yang diubah adalah arus yang dialirkan ke sampel, sehingga dibutuhkan sumber arus yang dapat diubah-ubah. Dengan mengalirkan arus yang bervariasi dari rendah sampai tinggi, sesuai dengan hukum ohm akan diikuti pula oleh perubahan tegangannya. Selanjutnya dengan membuat plot antara arus-tegangan dapat ditentukan arus kritis sampel, yaitu saat terjadi threshold.

## B A B IV

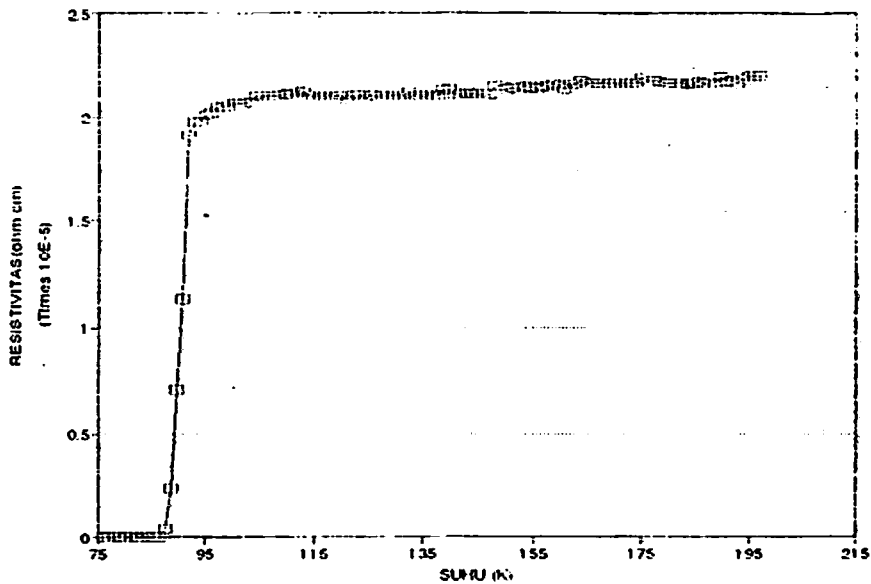
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel superkonduktor yang berupa serbuk dibentuk menjadi pellet dengan ukuran; diameter 18,15 mm, tebal 1,05 mm dan berat 1,2 gram. Hasil uji pengukuran pada sampel tersebut adalah sebagai berikut.

Uji pertama adalah uji efek Meissner. Dari sampel yang telah dibuat, ternyata dapat menolak magnet sekitar 4 mm di atas permukaan sampel. Hal ini merupakan indikator bahwa superkonduktivitas sampel cukup baik.

Uji kedua adalah pengukuran temperatur kritis  $T_c$  sampel. Setelah sampel menunjukkan efek Meissner yang baik, kemudian dilakukan pengukuran  $T_c$ . Data pengukuran tersebut dapat dilihat pada lampiran I. Selanjutnya dengan data tersebut dibuat grafik resistivitas versus temperatur, seperti dalam gambar 4.1. Dari gambar 4.1. tampak bahwa temperatur kritis  $T_c$  sampel adalah 87,6 K. Bila dibandingkan dengan hasil pengukuran yang telah dilakukan sebelumnya (Santoso, 1992),  $T_c$  sampel menurun sekitar 2 K. Hal ini disebabkan oleh karakteristik bahan YBCO yang sensitif terhadap oksigen, sehingga sampel yang digunakan mungkin sudah terkontaminasi.





Gambar 4.1. Grafik resistivitas versus temperatur.

Untuk mengetahui struktur kristal atau parameter kisi sampel dilakukan XRD. Pengukuran ini dilakukan di laboratorium Fisika Terapan LIPI Bandung. Alat tersebut beroperasi pada tegangan 40 kV dan kuat arus 30 mA, dengan radiasi  $\text{CuK}_\alpha$  pada panjang gelombang  $\lambda = 1,5405 \text{ \AA}$ . Data difraksi dan pola difraksi yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.1. dan gambar 4.2.

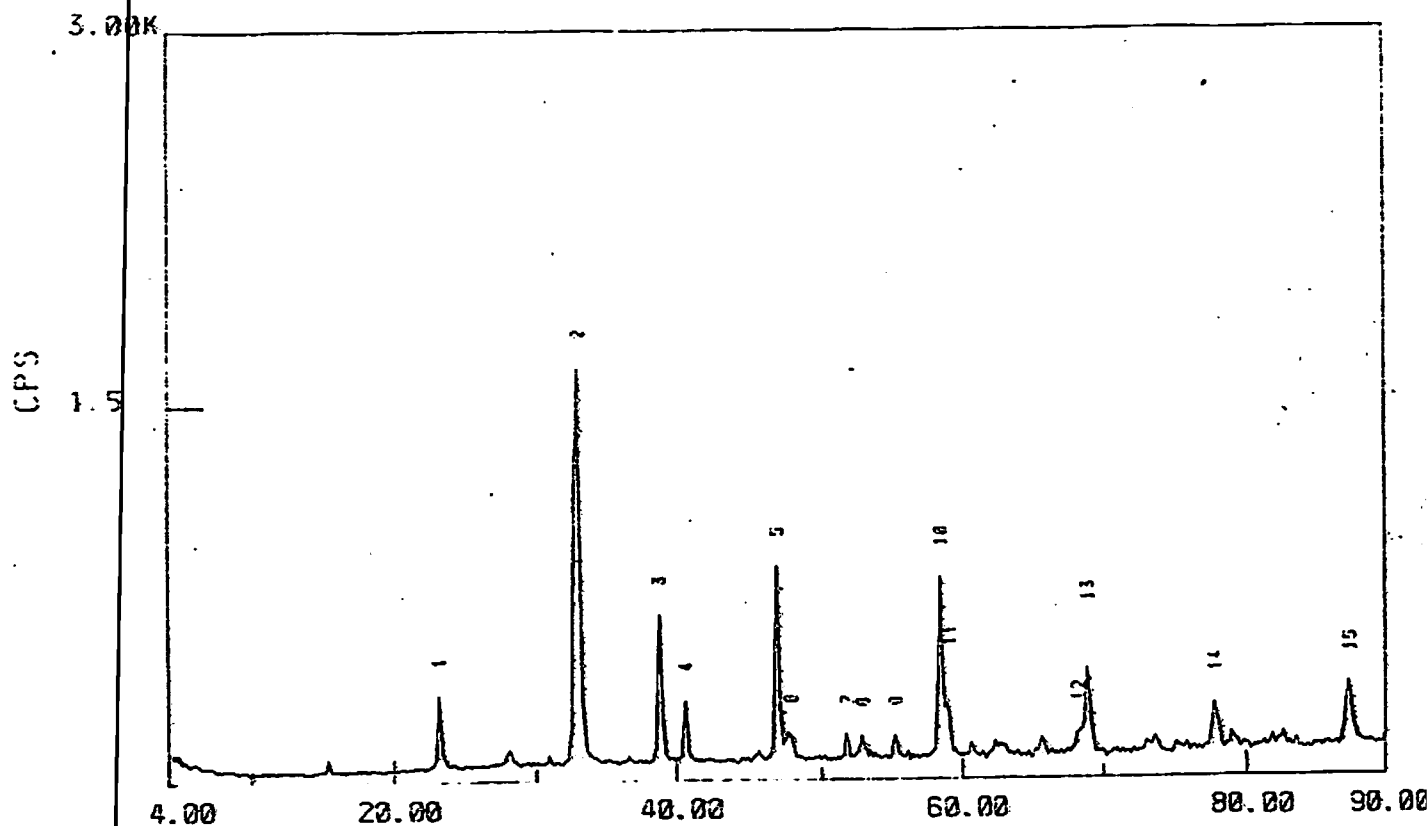
Untuk menentukan parameter kisi kristal digunakan rumus:

$$\sin^2 \theta_{h,k,l} = \frac{\lambda^2}{4} \left[ \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \right] \quad (4-1)$$

dimana,  $\lambda$ ; panjang gelombang sinar x yang dipakai;  $\theta_{h,k,l}$  adalah sudut Bragg; h, k, l, adalah indeks Miller dan a, b, c merupakan parameter kisi.

Tabel 4.1. Data difraksi sinar-x. Sampel superkonduktor  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$

No. peak	$2\theta$ (deg)	$d$ (Å)	$I/I_0$
1	23,2	3,83	21
2	33,12	2,702	100
3	38,84	2,316	40
4	40,7	2,215	20
5	46,96	1,933	52
6	47,84	1,899	12
7	51,76	1,764	11
8	52,92	1,728	11
9	55,28	1,66	11
10	58,46	1,577	49
11	59,06	1,562	16
12	68,26	1,372	12
13	68,96	1,36	27
14	77,72	1,227	18
15	87,34	1,115	23



Gambar 4.2. Pola difraksi sinar x superkonduktor  
 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

Dengan menggunakan pers. (4.1) dan tabel 4.1, diperoleh parameter kisi struktur kristal orthorhombik  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ;  $a = 3,81 \text{ \AA}$ ,  $b = 3,8306 \text{ \AA}$  dan  $c = 11,5979 \text{ \AA}$ . Struktur kristal fasa orthohombik yang diperoleh mempunyai struktur triple-perovskite karena  $c \approx 3a \approx 3b$ .

Tampak dari serangkaian uji pengukuran di atas, bahwa sampel menunjukkan sifat-sifat yang diharapkan. Dengan demikian pengukuran arus kritis dapat dilakukan, yaitu di buat pada temperatur tetap 82 K, yang dikontrol dengan termokopel.

Data hasil pengukurannya dapat dilihat dalam tabel 4.2.

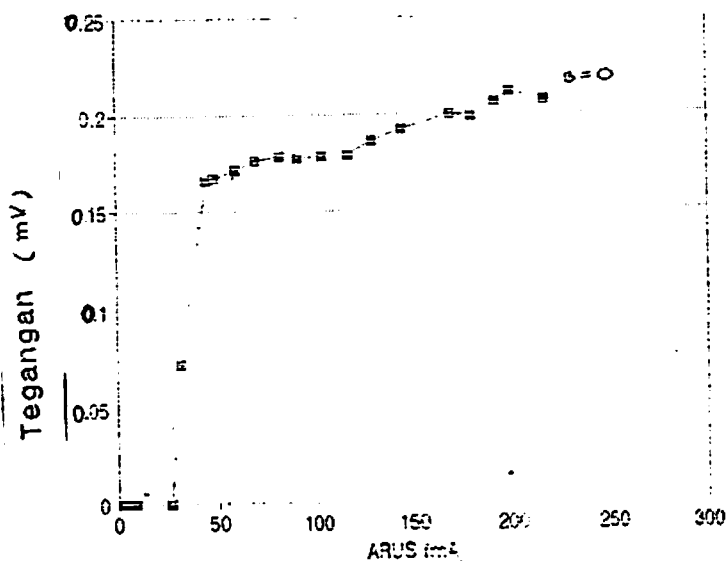
Tabel 4.2. Data pengukuran arus-tegangan pada temperatur 82 K

I ( mA )	V ( mV )
2,3	0,00
7,1	0,00
9,0	0,00
26,3	0,00
31,5	0,00
45,8	0,00
49,1	0,072
60,0	0,166
69,9	0,167
82,2	0,171
91,2	0,176
103,4	0,178
117,5	0,177
130,1	0,178
145,9	0,179
169,8	0,186
180,9	0,192
193,4	0,200
200,0	0,199
216,9	0,206
230,0	0,211
260	0,207



Dari data tersebut kemudian diplot menjadi grafik arus tegangan (gambar 4.3). Arus kritis diperoleh pada saat terjadi arus threshold, yaitu 45,8 mA.

Hasil pengukuran ini berbeda dengan hasil pengukuran yang telah dilakukan Fourier & Aubin (Fourier & Aubin, 1994), yaitu 58,2 mA. Hal ini mungkin disebabkan oleh bentuk sampel yang digunakan. Fourier dan Aubin menggunakan sampel berbentuk tape, yang probe-probenya bisa dipilih memiliki karakteristik I-V baik. Sebaliknya sampel penelitian ini berbentuk pellet yang relatif kecil, sehingga probe-probenya tidak bisa di pilih dan divariasikan.



Gambar 4.3. Grafik Arus tegangan superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

Dibandingkan dengan hasil pengukuran yang menggunakan metode Hall Probe (Bean), arus kritis yang diperoleh di penelitian ini hampir sama, yaitu 49,9 mA. Hal ini terjadi karena bentuk sampel dalam metode Bean sama-sama pellet, hanya berbeda perlakuan saja dan tidak bisa memvariasi probe-probenya. Bahkan sampel pada metode Bean relatif berukuran kecil dari pada sampel metode empat probe.

## B A B V

### K E S I M P U L A N   S A R A N

#### 5.1. Kesimpulan

Dari rangkaian pengukuran yang telah dilakukan dalam penelitian ini terhadap sampel superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Superkonduktor keramik tersebut dapat menunjukkan efek Meissner, yaitu menolak magnet setinggi 4 mm di atas permukaannya, suatu indikator bahwa superkonduktivitasnya cukup baik.
2. Hasil pengukuran temperatur kritis  $T_c$  dilakukan dengan metode empat probe dalam penelitian yang ini adalah 87,6 K. Hasil ini menurun 2 K dibandingkan dengan hasil pengukuran yang telah dilakukan sebelumnya, sehingga sampel penelitian ini dimungkinkan sudah terkontaminasi oleh oksigen.
3. Dari uji XRD terhadap sampel, menunjukkan bahwa superkonduktor ini memiliki struktur orthorhombik dengan  $a = 3,8131 \text{ \AA}$ ,  $b = 3,8306 \text{ \AA}$ , dan  $c = 11,5979 \text{ \AA}$ . Dengan demikian strukturnya triplet-perovskite.
4. Arus kritis  $I_c$  hasil pengukuran adalah 45,8 mA. Hasil ini seorde dengan hasil pengukuran menggunakan metode Hall Probe (Bean), tetapi berbeda dengan hasil pengukuran yang menggunakan tape.

## 5.2. Saran

Pengukuran ini dapat ditingkatkan kualitasnya dengan membentuk sampel yang homogenitasnya dengan membentuk tinggi dan berbentuk tape sehingga terdapat banyak kemungkinan probe yang bisa dipilih.

## DAFTAR PUSTAKA

- Barmawi, M., *Diklat Fisika Semikonduktor*, Jurusan Fisika, ITB Bandung, 1989.
- Cyrot, M and D. Pavuna, *Introduction to Superconductivity and High Tc Materials*, World Scientific, 1992.
- Fourier, P and M. Aubin, *Measuring the Critical Current of High Temperature Superconductors in Liquid Nitrogen as a Function of Temperature*, Rev. Sci. Instrum 65 (4), April 1994.
- Santoso, U., *Pengukuran Temperatur Kritis Superkonduktor  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$* , Tesis S-2, Fisika ITB Bandung, 1992.
- Tjia, M.O., *Perkembangan Fisika Bahan Superkonduktor*, 1994.
- Wang, L & S.K. Dahli, *Measurement of the Critical Current of High Tc Superconductors*, Supercon. Sci. Technol. 6 (1993).
- Wu, M.K, J.R. Ashburn, and C.W. Chu, *Superconductivity at 93 K in a New Mixed-Phase Y-Ba-Cu-O Compound System at Ambient Pressure*, Phys. Rev. Lett., 58, 1987.



# LAMPIRAN I

## DATA PENGUKURAN R-T

SUHU	TEGANGAN	dT	Tukur	Resistivitas
84	0.000000	7.874990	76.125010	0.000000
85	0.000000	7.833320	77.166680	0.000000
86	0.000000	7.791650	78.208350	0.000000
87	0.000000	7.749980	79.250020	0.000000
88	0.000000	7.708310	80.291690	0.000000
89	0.000000	7.666640	81.333360	0.000000
90	0.000000	7.624970	82.375030	0.000000
91	0.000000	7.583300	83.416700	0.000000
92	0.000000	7.541630	84.458370	0.000000
93	0.000000	7.499960	85.500040	0.000000
94	0.000000	7.458290	86.541710	0.000000
95	0.000012	7.416620	87.583380	0.000000
96	0.000074	7.374950	88.625050	0.000002
97	0.000225	7.333280	89.666720	0.000007
98	0.000360	7.291610	90.708390	0.000011
99	0.000609	7.249940	91.750060	0.000019
100	0.000629	7.208270	92.791730	0.000020
101	0.000630	7.166600	93.833400	0.000020
102	0.000640	7.124930	94.875070	0.000020
103	0.000643	7.083260	95.916740	0.000020
104	0.000652	7.041590	96.958410	0.000020
105	0.000653	6.999920	98.000080	0.000021
106	0.000654	6.958250	99.041750	0.000021
107	0.000660	6.916580	100.083420	0.000021
108	0.000660	6.874910	101.125090	0.000021
109	0.000660	6.833240	102.166760	0.000021
110	0.000661	6.791570	103.208430	0.000021
111	0.000670	6.749900	104.250100	0.000021
112	0.000669	6.708230	105.291770	0.000021
113	0.000670	6.666560	106.333440	0.000021
114	0.000670	6.624890	107.375110	0.000021
115	0.000670	6.583220	108.416780	0.000021
116	0.000672	6.541550	109.458450	0.000021
117	0.000671	6.499880	110.500120	0.000021
118	0.000676	6.458210	111.541790	0.000021
119	0.000677	6.416540	112.583460	0.000021
120	0.000670	6.374870	113.625130	0.000021
121	0.000670	6.333200	114.666800	0.000021
122	0.000670	6.291530	115.708470	0.000021
123	0.000670	6.249860	116.750140	0.000021
124	0.000670	6.208190	117.791810	0.000021
125	0.000670	6.166520	118.833480	0.000021
126	0.000670	6.124850	119.875150	0.000021
127	0.000663	6.083180	120.916820	0.000021
128	0.000670	6.041510	121.958490	0.000021
129	0.000670	5.999840	123.000160	0.000021
130	0.000665	5.958170	124.041830	0.000021
131	0.000670	5.916500	125.083500	0.000021
132	0.000670	5.874830	126.125170	0.000021
133	0.000670	5.833160	127.166840	0.000021
134	0.000670	5.791490	128.208510	0.000021
135	0.000670	5.749820	129.250180	0.000021
136	0.000670	5.708150	130.291850	0.000021



Lanjutan Lampiran I

137	0.000670	5.666480	131.333520	0.000021
138	0.000676	5.624810	132.375190	0.000021
139	0.000670	5.583140	133.416860	0.000021
140	0.000670	5.541470	134.458530	0.000021
141	0.000670	5.499800	135.500200	0.000021
142	0.000670	5.458130	136.541870	0.000021
143	0.000670	5.416460	137.583540	0.000021
144	0.000678	5.374790	138.625210	0.000021
145	0.000680	5.333120	139.666880	0.000021
146	0.000671	5.291450	140.708550	0.000021
147	0.000671	5.249780	141.750220	0.000021
148	0.000672	5.208110	142.791890	0.000021
149	0.000671	5.166440	143.833560	0.000021
150	0.000673	5.124770	144.875230	0.000021
151	0.000671	5.083100	145.916900	0.000021
152	0.000671	5.041430	146.958570	0.000021
153	0.000685	4.999760	148.000240	0.000022
154	0.000686	4.958090	149.041910	0.000022
155	0.000680	4.916420	150.083580	0.000021
156	0.000682	4.874750	151.125250	0.000021
157	0.000680	4.833080	152.166920	0.000021
158	0.000684	4.791410	153.208590	0.000021
159	0.000682	4.749740	154.250260	0.000021
160	0.000681	4.708070	155.291930	0.000021
161	0.000685	4.666400	156.333600	0.000022
162	0.000684	4.624730	157.375270	0.000021
163	0.000689	4.583060	158.416940	0.000022
164	0.000686	4.541390	159.458610	0.000022
165	0.000681	4.499720	160.500280	0.000021
166	0.000689	4.458050	161.541950	0.000022
167	0.000689	4.416380	162.583620	0.000022
168	0.000692	4.374710	163.625290	0.000022
169	0.000690	4.333040	164.666960	0.000022
170	0.000690	4.291370	165.708630	0.000022
171	0.000690	4.249700	166.750300	0.000022
172	0.000690	4.208030	167.791970	0.000022
173	0.000690	4.166360	168.833640	0.000022
174	0.000690	4.124690	169.875310	0.000022
175	0.000690	4.083020	170.916980	0.000022
176	0.000690	4.041350	171.958650	0.000022
177	0.000690	3.999680	173.000320	0.000022
178	0.000690	3.958010	174.041990	0.000022
179	0.000697	3.916340	175.083660	0.000022
180	0.000692	3.874670	176.125330	0.000022
181	0.000693	3.833000	177.167000	0.000022
182	0.000691	3.791330	178.208670	0.000022
183	0.000690	3.749660	179.250340	0.000022
184	0.000690	3.707990	180.292010	0.000022
185	0.000690	3.666320	181.333680	0.000022
186	0.000690	3.624650	182.375350	0.000022
187	0.000689	3.582980	183.417020	0.000022
188	0.000690	3.541310	184.458690	0.000022
189	0.000691	3.499640	185.500360	0.000022
190	0.000690	3.457970	186.542030	0.000022
191	0.000690	3.416300	187.583700	0.000022

Lanjutan Lampiran I

192	0.000690	3.374630	188.625370	0.000022
193	0.000698	3.332960	189.667040	0.000022
194	0.000691	3.291290	190.708710	0.000022
195	0.000692	3.249620	191.750380	0.000022
196	0.000690	3.207950	192.792050	0.000022
197	0.000695	3.166280	193.833720	0.000022
198	0.000700	3.124610	194.875390	0.000022
199	0.000700	3.082940	195.917060	0.000022
200	0.000700	3.041270	196.958730	0.000022

MILIK  
PERPUSTAKAAN  
UNIVERSITAS AIRLANGGA  
SURABAYA



PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA  
KOLEKSI KAMPUS SELATAN  
Jl. Darmawangsa Dalam. Tlp. 5340826  
S U R A B A Y A

-----  
HARUS DIKEMBALIKAN TANGGAL  
-----

SEL