

FISIKA MOLEKULER

IR-PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

kkc

kk

539-6

sis

h-1

**KARAKTERISASI ARUS KRITIS SUPERKONDUKTOR
TC TINGGI TERHADAP PERUBAHAN MEDAN
MAGNET DAN TEMPERATUR**

Ketua Peneliti :

Drs. SISWANTO, M.Si.

3000 455 983141



LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

Dibiayai Oleh : Proyek Pengkajian dan Penelitian Ilmu Pengetahuan Terapan

DIP Nomor : 172/XXIII/3/--/1997 Tanggal 31 Maret 1997

Kontrak Nomor : 083/P2 IPT/DPPM/LITMUD/V/1997

Ditbinlitabmas, Ditjen Dikti, Depdikbud

Nomor Urut : 05



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDRAL PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

**KARAKTERISASI ARUS KRITIS SUPERKONDUKTOR TC TINGGI
TERHADAP PERUBAHAN MEDAN MAGNET DAN TEMPERATUR**

3000 455 983 141

Peneliti

Drs. Siswanto, MSi

LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS AIRLANGGA
Dibiayai Oleh : DIP P2IPT DITJEN DIKTI DEPDIBUD
Nomor Kontrak : 172/XXIII/3/12/1997 Tanggal 31 Maret 1997

- | | | |
|------------------------------------|---------------------------------|--|
| 1. Puslit dan Pembangunan Regional | 4. Puslit Lingkungan Hidup | 8. Puslit Kependudukan dan Pembangunan |
| 2. Puslit Obat Tradisional | 5. Puslit dan Pengembangan Gizi | 9. Puslit Bioenergi |
| 3. Puslit Pengembangan Hukum | 6. Puslit/Studi Wanita | 10. Puslit/Studi Kesehatan Reproduksi |
| | 7. Puslit Olahraga | |

Jl. Darmawangsa Dalam No. 2 Telp. (031) 5342322 Fax. (031) 5342322 Surabaya 60286

LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN
LAPORAN AKHIR HASIL PENELITIAN DOSEN MUDA

1. a. Judul Penelitian : **Karakterisasi Arus Kritis Superkonduktor
Tc Tinggi Terhadap Perubahan Medan Magnet Dan Temperatur.**
- b. Macam Penelitian : Dasar () Terapan () Pengembangan
- c. Kategori : I/II/III *)
2. Kepala Proyek Penelitian :
- a. Nama Lengkap dan Gelar : **Drs. Siswanto, M.Si**
- b. Jenis Kelamin : **L/P**
- c. Pangkat/Gol. dan NIP. : **Penata / III C / 131836618**
- d. Jabatan Fungsional : **Lektor Muda**
- e. Fakultas/Jurusan : **MIPA / Fisika**
- f. Univ./Inst./Akademi/
Instansi *) : **Universitas Airlangga**
- g. Bidang Ilmu Yang Diteliti : **Fisika Material**
3. Jumlah Tim Peneliti : **1** orang
4. Lokasi Penelitian : **Lab. Fisika Eksperimental Unair dan ITB**
5. Bila Penelitian ini merupakan peningkatan kerjasama kelembagaan sebutkan :
- a. Nama Instansi : **-**
- b. Alamat : **-**
6. Jangka Waktu Penelitian : **6** bulan
7. Biaya yang diperlukan : **Rp 5.000.000**
8. Seminar Hasil Penelitian
- a. Dilaksanakan Tanggal : **23 April 1998**
- b. Hasil Penilaian : Baik Sekali () Baik
 Sedang () Kurang

Surabaya, 4 Mei 1998

Mengetahui :
Dekan Fakultas : MIPA

Drs. Herjens, M.Sc

NIP. 130335371

Ketua Peneliti,

Drs. Siswanto, M.Si

NIP. 131836618

Mengesahkan :
Ketua Lembaga Penelitian Unair

Prof. Dr. Noor Cholies Zaini

RINGKASAN

KARAKTERISASI ARUS KRITIS SUPERKONDUKTOR Tc TINGGI TERHADAP PERUBAHAN MEDAN MAGNET DAN TEMPERATUR, (Siswanto, 1998, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, 42 halaman).

Kajian tentang superkonduktor sebagian besar diarahkan pada proses yang dapat menghasilkan temperatur kritis tinggi dan medan magnet kritis tinggi. Kedua parameter kritis tinggi tersebut akan berkaitan dengan aplikasi bahan superkonduktor pada teknologi. Pada superkonduktor generasi baru, ternyata T_c dan H_c yang tinggi saja belum cukup untuk menjamin prospek aplikasi yang cerah. Salah satu faktor penting dalam aplikasi superkonduktor adalah arus kritis I_c . Beberapa teknologi mikroelektronik superkonduktor seperti gerbang logik, Josephson logik, Magnetometer, Magnet Akselerator Energi Tinggi memerlukan pengetahuan tentang arus kritisnya.

Dalam aplikasi bahan superkonduktor, gangguan eksternal yang paling berpengaruh terhadap sifat superkonduktivitasnya adalah medan magnet dan temperatur. Oleh sebab itu penelitian ini difokuskan pada kajian tentang pengaruh kedua gangguan eksternal tersebut terhadap arus kritis superkonduktor T_c tinggi. Tujuannya adalah mengamati dan mengetahui kaitan antara nilai arus kritis terhadap perubahan medan magnet dan temperatur. Medan magnet dan temperatur yang digunakan sebagai gangguan besarnya dibawah T_c dan H_{c2} .

Superkonduktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah oksida keramik sistem YBCO. Pembuatannya dilakukan dengan menggunakan reaksi padatan antara oksida-oksida Y_2O_3 , BaCaO dan CuO_2 dengan stoikiometri kation $1Y : 2Ba : 3Cu$. Sebagaimana pembuatan keramik, prosesnya melalui tahapan pembakaran yaitu kalsinasi dan sintering pada temperatur $900^\circ C$ selama 15 jam dan 70 jam.

Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut. Adanya medan magnet maupun temperatur sama-sama memberikan kontribusi terhadap perubahan nilai arus kritis superkonduktor T_c tinggi. Semakin besar medan magnet yang digunakan semakin kecil nilai arus kritisnya. Demikian pula terjadi pada perubahan temperatur. Semakin tinggi temperaturnya semakin kecil arus kritisnya.

SUMMARY

CRITICAL CURRENT CHARACTERIZATION OF HIGH TC SUPERCONDUCTOR IN VARIOUS OF MAGNETIC FIELD AND TEMPERATURE (Siswanto, 1998, Department of Physics Airlangga University, 42 pages).

Most of the superconductors research are oriented on a processing that produce high critical temperature and high critical magnetic. The both of critical parameter are useful on application of superconductor materials. High T_c and high B_c not enough for its application; we need also high critical current I_c . Some of superconductor microelectronic technology like logical gate, logical Josephson, magnetometer, high energy accelerator magnetic, involved knowledge of materials critical current.

On the application of superconductor materials, magnetic field and temperature are external disturbance that influenced on its superconductivity properties. Thus, the research focussed to the effect of these factors on the critical current of high T_c superconductor and with the purpose to get some relationship between the external disturbance and critical current. The magnitude of magnetic field and temperature were under T_c and B_{c2} of materials.

The sample used in this research is ceramic oxide superconductor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$. This sample made by solid state reaction : Y_2O_3 , $BaCO_3$ and CuO_2 compound, with kation stoichiometry 1Y:2Ba:3Cu. This sample had calcinated and sintered at $900^\circ C$ for 15 hours and 70 hours respectively.

The result of this research is : The external disturbance (magnetic field and temperature) contribute to varied critical current high T_c superconductor. On the increase of magnetic field or temperature, the less its critical current superconductor.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadapan Allah Yang Maha Kuasa, karena berkat karunia-Nya penelitian ini dapat terselesaikan.

Penelitian ini mengambil obyek superkonduktor, yaitu suatu bahan yang memiliki prospek aplikasi teknologi yang cerah. Selain itu, topik ini masih memiliki banyak tantangan, terutama mencari komposit-komposit yang memiliki temperatur kritis tinggi dan karakterisasinya terhadap pengaruh-pengaruh gaya eksternal.

Di kesempatan ini, kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Dit. Bimlittabmas dan Rektor Universitas Airlangga, yang telah memberikan kepercayaan dalam membiayai penelitian. Tak lupa kami ucapkan terima kasih pula kepada Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Airlangga dan Kepala Laboratorium Fisika Eksperimental dan Kepala Laboratorium Fisika Material ITB Bandung yang telah memberikan dan meminjamkan fasilitasnya.

Kami sadar bahwa penelitian ini masih banyak kekurangan, sehingga saran dan kritik sehat sangat diperlukan. Mudah-mudahan penelitian ini dapat memberi kontribusi bagi perkembangan fisika superkonduktor di Indonesia.

Surabaya, April 1998.

Peneliti

DAFTAR ISI

	Hal.
HALAMAN JUDUL	i
RINGKASAN	ii
SUMMARY	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Fenomena Superkonduktor	4
2.2 Superkonduktor Tipe I	7
2.3 Superkonduktor Tipe II	10
2.4 Superkonduktor T_c Tinggi	13
2.5 Superkonduktor Organik	16
2.6 Aplikasi Superkonduktor	19
2.7 Metode Empat Probe	21
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	25
3.1 Tujuan Penelitian	25
3.2 Manfaat Penelitian	25
BAB IV METODE PENELITIAN	26
4.1 Alat-Alat dan Bahan	26
4.2 Pembuatan Sampel	26
4.3 Pengukuran Sampel	31
4.3.1 Uji Efek Meissner	31
4.3.2 Pengukuran R-T	31
4.4 Pemilihan Probe Terbaik	33
4.5 Pengukuran Arus Kritis I_c	33
4.6 Analisis Data	34

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	35
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	41
6.1 Kesimpulan	41
6.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1 Parameter-parameter superkonduktor yang dimiliki oleh beberapa bahan	16
Tabel 5.1 Nilai arus kritis sampel	39

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 Ketergantungan resistivitas listrik terhadap temperatur pada superkonduktor	5
Gambar 2.2 Penolakan gaya eksternal magnetik lemah bahan superkonduktor	6
Gambar 2.3 Grafik $B_c(T)$ pada superkonduktor tipe I	8
Gambar 2.4 Diagram magnetisasi sebagai fungsi medan untuk (a) superkonduktor tipe I dan (b) superkonduktor tipe II	9
Gambar 2.5 Penerobosan fluks dalam keadaan tercampur	10
Gambar 2.6 Penetrasi Medan Magnet pada Superkonduktor	12
Gambar 2.7 Struktur Perovskite ABX_3	14
Gambar 2.8 Model Struktur superkonduktor	15
Gambar 2.9 Struktur kimia superkonduktor bahan organik	18
Gambar 2.10 Struktur simetri bahan fullereite	18
Gambar 2.11 Pengukuran dengan metode empat probe	22
Gambar 2.12 Model terjadinya potensial akibat dari arus pada suatu bahan	22
Gambar 2.13 Skema metode pengukuran empat probe	24
Gambar 4.1 Proses pembuatan sampel	28
Gambar 4.2 Proses kalsinasi sampel	29
Gambar 4.3 Proses sintering sampel	30
Gambar 4.4 Skema pengukuran sampel superkonduktor	32
Gambar 5.1 Hasil pengukuran temperatur kritis sampel	36
Gambar 5.2 Karakteristik I-V untuk berbagai kombinasi probe	37

Gambar 5.2	Karakteristik I-V untuk berbagai kombinasi probe	37
Gambar 5.3	Karakteristik I-V pada temperatur 66K	38
Gambar 5.4	Karakteristik I-V pada temperatur 76K	38
Gambar 5.5	Karakteristik I-V pada temperatur 86K	38
Gambar 5.6	Hubungan antara arus kritis dengan perubahan medan magnet dan temperatur	39

BAB I

PENDAHULUAN

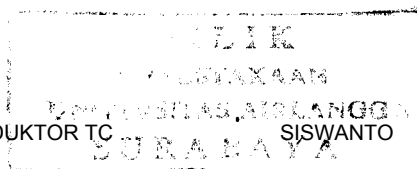
1.1 Latar Belakang Permasalahan

Penemuan superkonduktor oksida keramik temperatur kritis tinggi telah mengungkapkan fenomena baru dan mampu membuka cakrawala baru dalam bidang teknologi material. Bagi negara berkembang seperti Indonesia, penemuan ini cukup menguntungkan karena temperatur operasinya berada di daerah nitrogen cair, sehingga relatif mudah untuk dicapai. Sejak itulah kajian tentang superkonduktor sangat menarik, terutama sintesis dan karakterisasinya.

Penelitian superkonduktor sebagian besar diarahkan pada proses yang dapat menghasilkan temperatur kritis T_c dan medan magnet kritis H_c tinggi. Kedua parameter kritis tersebut akan berkaitan dengan aplikasi bahan pada teknologi. Keduanya saling terkait satu sama lainnya.

Pada superkonduktor generasi baru, ternyata T_c dan H_{c2} ($>100T$) yang tinggi saja belum cukup untuk menjamin prospek aplikasi yang cerah. Salah satu faktor penting dalam aplikasi superkonduktor adalah arus kritis I_c . Beberapa teknologi mikroelektronik superkonduktor, seperti gerbang logik, Josephson logik, magnetometer, SQUID, magnet akselerator energi tinggi [*Barmawi, dkk, 1993*] memerlukan pengetahuan tentang rapat arus kritisnya.

Dari penelitian arus kritis superkonduktor YBCO yang sudah dilakukan dengan sampel berbentuk pellet (*Siswanto & Supardi, 1996*) terdapat kelemahan untuk mengatasi homogenitas bahan yang kurang merata.



Threshold kurva ($I - V$) tidak menunjukkan penurunan yang tajam, dan arus kritis I_c yang diperoleh bernilai kecil. Dengan demikian perubahan bentuk sampel yang probe tegangannya dapat dibuat kombinasi, mungkin dapat mengatasi ketidak homogenan porositas sampel dan dapat memperbaiki pengukuran arus kritis I_c .

Pada aplikasi bahan superkonduktor, gangguan eksternal yang paling berpengaruh terhadap sifat superkonduktivitasnya adalah medan magnet dan temperatur. Oleh sebab itu, bila bahan superkonduktor dikenai medan magnet atau temperatur yang melebihi ambang batasnya, bahan tersebut akan berubah kembali menjadi isolator atau konduktor biasa.

Penelitian ini akan mengamati pengaruh gangguan eksternal medan magnet dan temperatur terhadap arus kritis bahan superkonduktor T_c tinggi sistem YBCO. Besarnya medan magnet dan temperatur yang diaplikasikan sebagai gangguan dibawah nilai medan magnet kritis H_{c2} dan dibawah T_c . Sebagaimana yang sudah diketahui [*Cyrot & Pavina, 1992*], medan magnet kritis merupakan fungsi temperatur dan sebaliknya temperatur kritis bergantung pada medan magnet. Dari kedua hubungan ini, dapat diprediksi bahwa nilai arus kritis bergantung pada medan magnet maupun temperatur. Hal ini disebabkan arus kritis merupakan fungsi dari medan lokal, yang keberadaannya sangat ditentukan oleh besarnya medan magnet dan temperatur.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang diatas, dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut :

1. Apakah pemilihan probe tegangan dapat mengoptimalkan pengukuran arus kritis superkonduktor T_c tinggi ?
2. Apakah gangguan eksternal (medan magnet dan temperatur) berpengaruh terhadap nilai arus kritis bahan superkonduktor ?
3. Bagaimanakah kaitan antara arus kritis terhadap medan magnet dan temperatur ?
4. Manakah diantara kedua gangguan eksternal tersebut yang paling dominan terhadap perubahan arus kritis ?

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fenomena Superkonduktor

Superkonduktivitas pertama kali diamati oleh H.K. Onnes pada tahun 1911 [Cytrot Pavuna, 1992] dalam eksperimennya pada logam merkuri yang didinginkan dibawah 4,2 K. Sejak itu berbagai upaya dilakukan para ilmuwan untuk menjelaskan fenomena tersebut dan melakukan penelitian terhadap logam dan paduan logam untuk mendapatkan suhu kritis tinggi. Namun, sampai kurun waktu 75 tahun pertama temperatur kritis (T_c) yang dicapai baru sekitar 23,2 K yang diperoleh dari paduan logam Nb_3Ge .

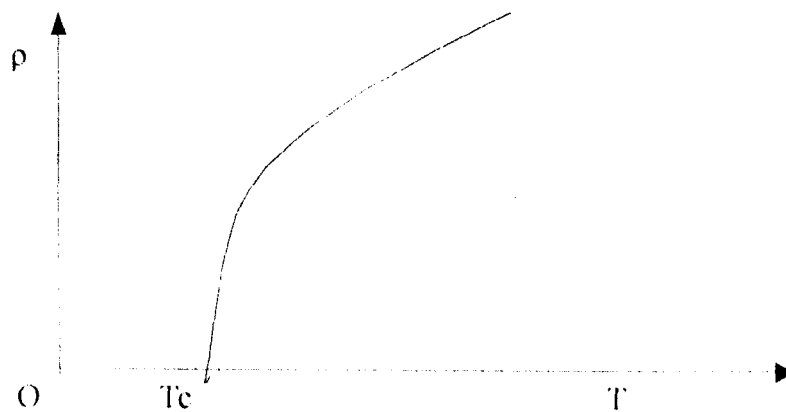
Pada tahun 1986 terjadi terobosan secara drastis, ketika J.G. Bednartz dan K.A. Muller [Anwari, 1993] menemukan superkonduktor dengan T_c diatas 30 K. Penemuan ini cukup menakjubkan, karena disamping suhu kritisnya yang melampaui ramalan dengan menggunakan teori BCS, juga dari bahannya yang menggunakan bahan isolator keramik, sehingga penelitian-penelitian terhadap sistem keramik yang lain makin intensif dilakukan.

Bulan Februari 1987, M.K. Wu [1987] menemukan superkonduktor dengan komposisi Y-Ba-Cu-O dengan $T_c = 93$ K. Setahun kemudian Maeda dkk. [1988] menemukan superkonduktor keramik sistem Bi-Sr-Ca-Cu-O dengan $T_c = 110$ K, yang diikuti dengan penemuan superkonduktor sistem Tl-Ba-Cu-O oleh Sheng dan Herman [1988] dengan $T_c = 125$ K.

Penemuan-penemuan pada akhir 1980-an ini cukup menguntungkan bagi negara berkembang seperti Indonesia, karena suhu operasinya berada pada daerah nitrogen cair, yang relatif mudah untuk dicapai.

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

- a. Resistivitasnya nol ($\rho = 0$) untuk $T < T_c$. Resistivitas nol berarti superkonduktor memiliki konduktivitas tak hingga dibawah kritis T_c (gambar 2.1)



Gambar 2.1 Ketergantungan resistivitas listrik terhadap temperatur pada superkonduktor.

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

Gejala efek Meissner pada superkonduktor dapat dinyatakan oleh persamaan,

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

dimana H, M dan μ_0 secara berturut-turut adalah medan magnet luar, magnetisasi bahan dan permeabilitas hampa.

Untuk bahan isotropik linear, besarnya magnetisasi bahan M sebanding dengan induksi magnet luar,

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

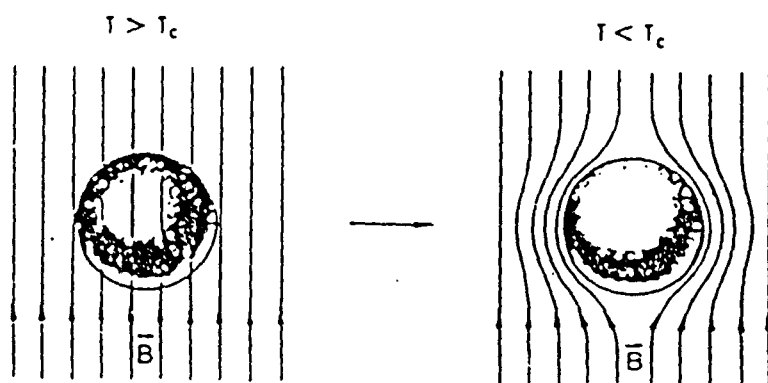
dengan χ_m adalah susceptibilitas magnetik.

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

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

Atau $\chi_m = -1$

Kadaan yang diungkapkan oleh persamaan ini dinamakan diamagnetik sempurna. Dengan demikian superkonduktor merupakan bahan yang bersifat diamagnetik sempurna dibawah temperatur kritisnya.



Gambar 2.2 Penolakan gaya eksternal magnetik lemah Bahan Superkonduktor

2.2 Superkonduktor Tipe I

Superkonduktor tipe I terbuat dari bahan logam murni. Misalnya: Hg, Pb dan Nb merupakan superkonduktor tipe I, yang secara berturut-turut memiliki suhu kritis 4,3K, 7,2K dan 9,2K. Unsur-unsur lainnya yang dapat menjadi superkonduktor (dengan tekanan) adalah: Si, Ge, P, As, Y, Sb, Te, Cs, Ba, Bi, Ce dan U. Bahan-bahan ini dapat menolak fluks magnet secara sempurna dibawah suhu kritisnya [efek Meisner-Ochsenfeld], sehingga superkonduktor ini merupakan diamagnetik ($B=0$) yang sempurna pula. Dengan demikian, 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 diatas suhu kritisnya T_c . Fenomena ini dapat dijelaskan melalui pengertian konduktivitas model elektron bebas, dimana resistivitasnya dapat dinyatakan [*Sihombing, 1991*].

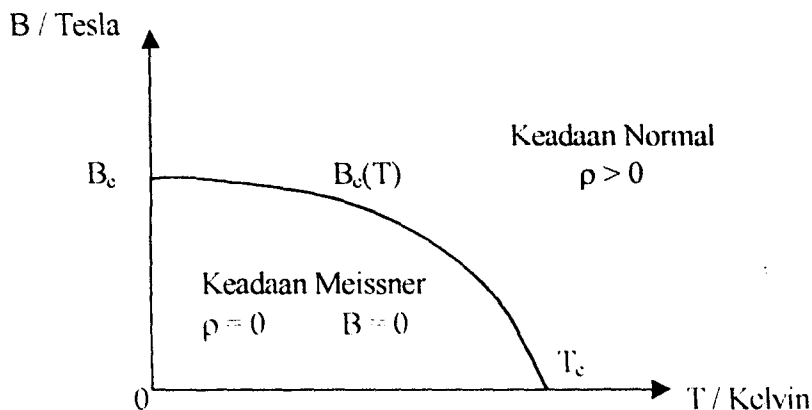
$$\rho = \frac{m}{ne^2\tau} \quad (2.4)$$

dengan m, n, e dan τ secara berturut turut adalah masa elektron, konsentrasi elektron dan waktu tumbukan. Nilai resistivitas (ρ) akan berkurang seiring dengan turunnya temperatur, yang mengakibatkan vibrasi kisi dan hamburan elektron akan berkurang pula, sehingga pada suatu temperatur tertentu resistivitas (ρ) dapat mencapai suatu harga minimum atau nol. Temperatur pada saat $\rho = 0$ dinamakan temperatur kritis T_c , seperti diperlihatkan pada gambar 2.1.

Selain perubahan temperatur, sifat superkonduktivitas bahan dapat dikembalikan ke keadaan normal dengan cara memberi medan magnet melebihi batas harga kritis (B_c) yang diijinkan. Adanya medan magnet ini ($B > B_c$) akan merusak keadaan diamagnetik sempurna di dalam interior spesiemn superkonduktor, yang disebut medan magnet kritis B_c . Hubungan antara medan magnet kritis B_c terhadap perubahan temperatur pada superkonduktor tipe I dilukiskan oleh gambar 2.3 dan dapat diaproksimasikan sebagai bentuk parabolik [*Cyrot & Pavuna*].

$$B_c = B_0 \left\{ 1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 \right\} \dots\dots\dots (2 - 5)$$

dimana B_0 adalah nilai ekstrapolasi B_c pada $T = 0$



Gambar 2-3. Grafik $B_c(T)$ pada superkonduktor tipe I

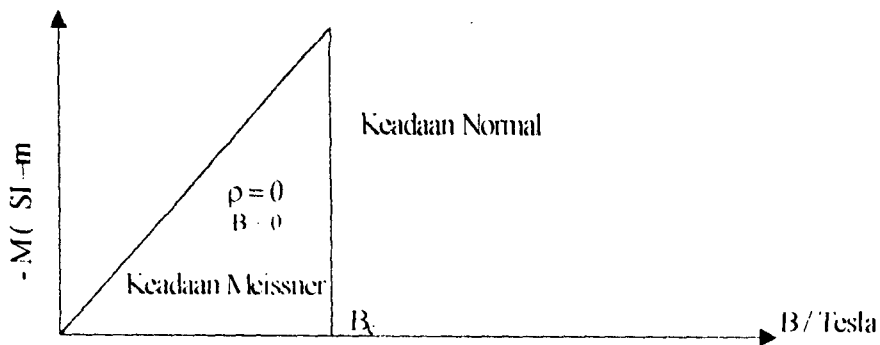
Apabila superkonduktor tipe I ditempatkan dalam medan magnet, maka garis-garis fluks magnetik akan berlangsung hingga mencapai harga medan magnet kritis B_c yang dimiliki superkonduktor tersebut.

Fenomena magnetisasi superkonduktor ini dilukiskan oleh gambar 2.4a. Dalam sistem satuan MKS, magnetisasi (M) tersebut dapat dituliskan sebagai,

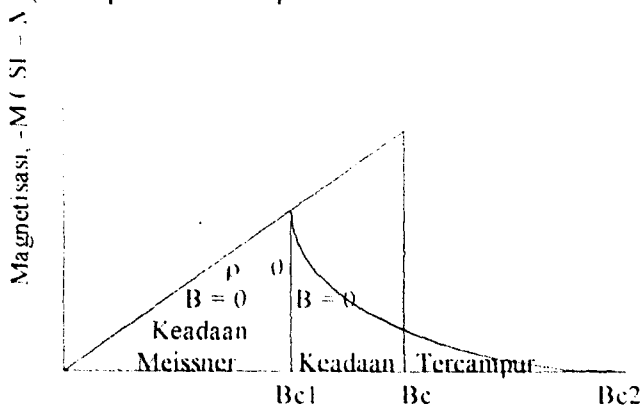
$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}) \quad (2-6)$$

dimana H, M, B dan μ_0 secara berturut-turut adalah induksi magnet, magnetisasi dalam bahan, medan magnet luar dan permeabilitas hampa.

Efek Meissner ($B = 0$) berkaitan dengan $M = -H$. Di atas medan kritis B_c , superkonduktor akan menjadi normal kembali, sehingga $M = 0$. Tanda negatif menunjukkan bahwa bahan menjadi diamagnetik sempurna, yaitu meniadakan fluks dari interior bahan dengan menggunakan arus permukaan.



(a) Superkonduktor tipe I



(b) Superkonduktor tipe II

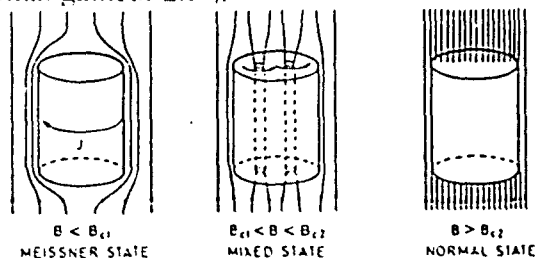
Gambar 2.4 Diagram magnetisasi sebagai fungsi medan magnet untuk (a) superkonduktor tipe I dan (b) superkonduktor tipe II

2.3 Superkonduktor tipe II

Superkonduktor tipe II banyak ditemukan pada campuran logam. Diawali penemuan Alloy Nb-Ti yang memiliki $T_c = 9K$, kemudian diikuti Nb_3Sn dan Nb_3Ge yang secara berturut-turut memiliki temperatur kritis 18K dan 23K. Dibandingkan dengan superkonduktor tipe I, temperatur kritis tipe II lebih tinggi.

Superkonduktor tipe II memiliki dua medan magnet kritis, yaitu medan magnet kritis rendah B_{c1} dan tinggi B_{c2} . Fluks magnet ditolak secara sempurna hanya sampai medan kritis B_{c1} . Dengan demikian, bila dikenakan medan magnet ($B < B_{c1}$), superkonduktor tipe II memiliki sifat seperti superkonduktor tipe I dibawah B_c . Di atas medan kritis B_{c1} , sebagian fluks menembus kedalam bahan sampai daerah medan kritis B_{c2} . Di atas medan B_{c2} bahan akan kembali menjadi keadaan normal (lihat gambar 2.4b).

Keadaan superkonduktor antara B_{c1} dan B_{c2} dinamakan keadaan tercampur (mixed state). Di daerah ini efek Meissner hanya berlaku secara parsial. Untuk aplikasi medan magnet $B_{c1} < B < B_{c2}$, sebagian fluks magnet menerobos spesimen superkonduktor dalam bentuk filamen makroskopik kecil, yang disebut vortice (lihat gambar 2.5).



Gambar 2.5 Penerobosan fluks dalam keadaan tercampur

Kedalaman penerobosan (penetrasi) fluks magnet ini dapat dilukiskan oleh London sebagai berikut. Pemahaman ini diawali dengan perumusan gerak elektron dalam medan listrik E . Jika V_s merupakan kecepatannya, persamaan elektron dapat dituliskan sebagai,

$$e\vec{E} = m \frac{d\vec{V}_s}{dt} \quad (2-7)$$

dimana e dan m secara berturut-turut adalah muatan elektron dan massa elektron. Rapat arus superkonduktor yang terjadi dapat dinyatakan sebagai,

$$\frac{d\vec{J}_s}{dt} = \frac{n_s e^2}{m} \vec{E} \quad \text{atau} \quad \vec{J}_s = n_s e \vec{V}_s \quad (2-8)$$

dimana n_s dan J_s secara berturut-turut adalah kerapatan pembawa muatan dan rapat arus superkonduktor.

Substitusi persamaan (2-8) ke persamaan (2-7) diperoleh ungkapan medan listrik superkonduktor,

$$\vec{E} = \wedge \frac{d\vec{J}_s}{dt} \quad (2-9a)$$

$$\text{dengan } \wedge = \frac{m}{n_s e^2} = \mu_0 \lambda_L^2 \quad \text{atau} \quad \lambda_L = \sqrt{\frac{m}{\mu_0 n_s e^2}} \quad (2-9b)$$

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

Dengan melakukan operasi "curl" pada persamaan (2-9a) dan menggunakan

persamaan Maxwell $\nabla \cdot \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$, diperoleh

$$\vec{B} = \wedge \nabla \times \vec{J}_s \quad (2-10)$$

Untuk memahami arti kedalaman penetrasi London λ_L , tinjau persamaan Maxwell,

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}_s \quad (2-11)$$

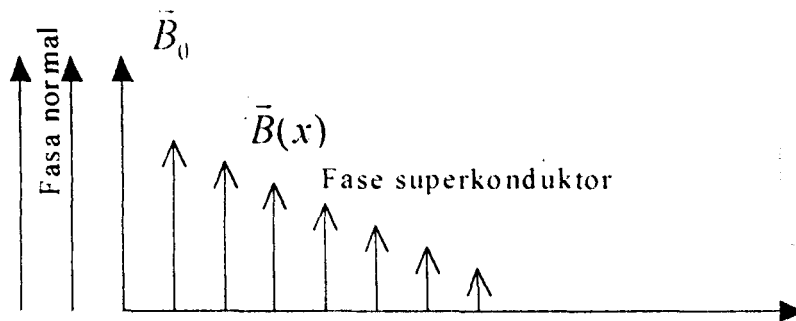
Dengan melakukan operasi "curl" pada persamaan (2-11) dan mengaitkan dengan persamaan (2-10) diperoleh :

$$\nabla^2 \vec{B} = \frac{\vec{B}}{\lambda_L^2} \quad (2-12)$$

Solusi persamaan ini adalah,

$$\vec{B}(x) = B_0 \exp\left(-\frac{x}{\lambda_L}\right) \quad (2-13)$$

Persamaan (2-13) ini menyatakan bahwa akan terjadi pengurangan medan magnet secara eksponensial dalam superkonduktor (gambar 2-6).



Gambar 2.6 Penetrasi medan magnet pada superkonduktor

Apabila persamaan (2-13) di substitusikan ke persamaan (2-10) memberikan

$$\vec{J}(x) = J_0 \exp\left(-\frac{x}{\lambda_L}\right) \quad (2-14)$$

Persamaan ini menyatakan bahwa arus yang mengalir akan menghilang secara eksponensial dengan bertambahnya jarak dari permukaan. Arus yang demikian disebut arus permukaan. Arus ini melindungi superkonduktor bagian dalam dari pengaruh medan magnet luar.

Dengan demikian superkonduktor bagian dalam tidak dapat ditembus medan magnet luar, dan berlaku efek Meissner. Karena resistivitasnya nol, arus permukaan ini tidak menimbulkan (membuang) energi, dan oleh sebab itu disebut juga arus superfluida atau arus super.

2.4 Superkonduktor Tc Tinggi

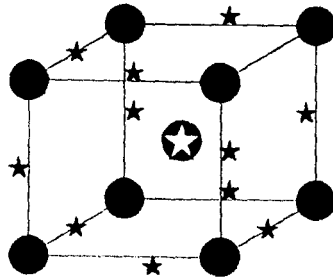
Sebagian besar superkonduktor yang telah dibahas di atas merupakan senyawa logam. Khusus untuk superkonduktor Tc tinggi, pada umumnya materialnya berasal dari senyawa oksida keramik.

Ditinjau dari susunan unturnya, superkonduktor Tc 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, 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, superkonduktor 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 2.7).

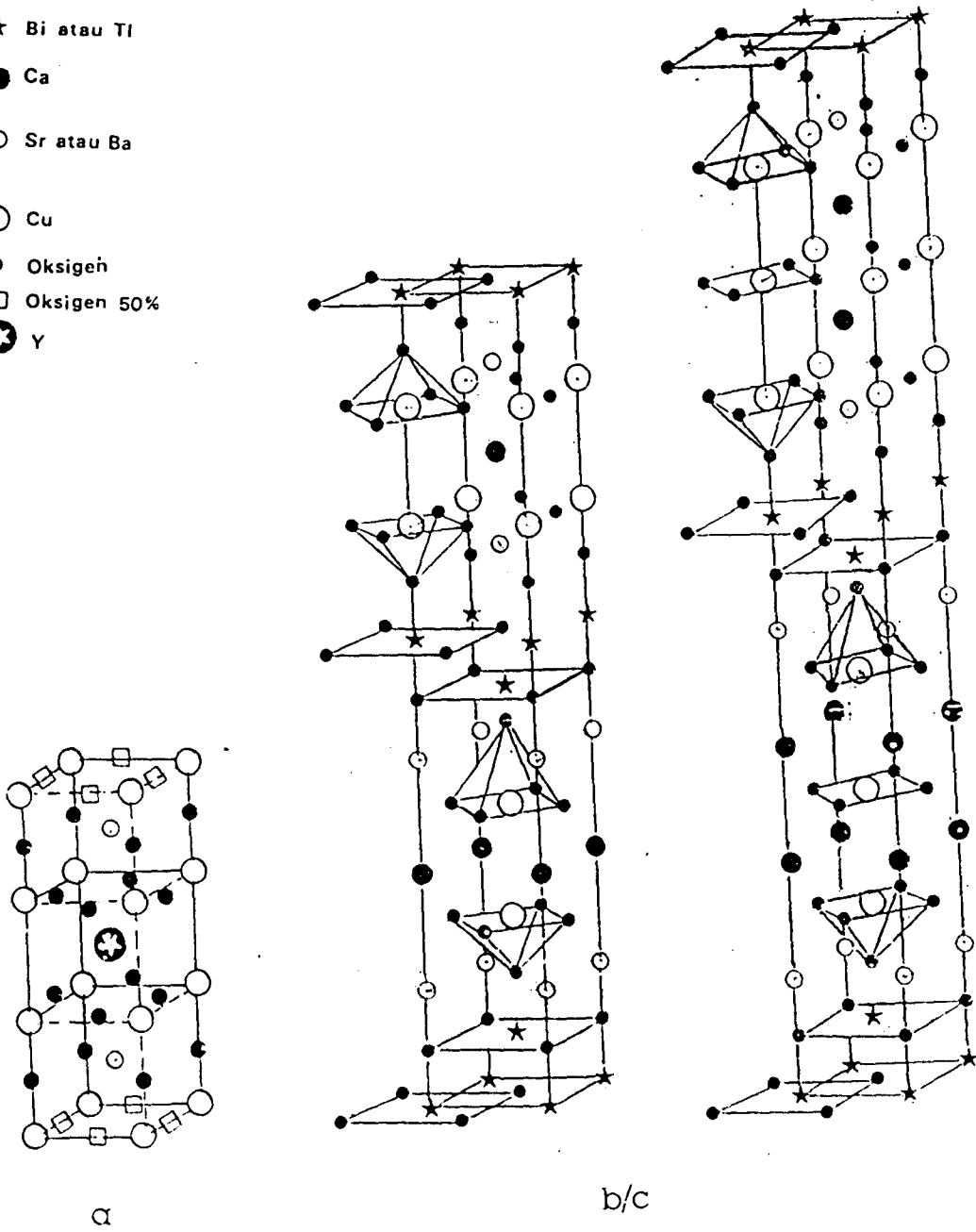
Gambar 2.7 Struktur perovskite ABX_3

Sebagai contoh, model struktur dari superkonduktor dari superkonduktor sistem YBCO, BSCO dan TBCO dalam dua dimensi (*Sihombing, 1991*) dapat dilihat pada gambar 2.8.

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 mengikuti struktur perovskite dengan atom Ba di pusat kubus. Atom-atom Cu terletak di setiap 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 (BSCO) lapisan perovskite disusun oleh lapisan struktur: Bi_2O_2 -SrO-CuOx-Ca-CuOx-SrO- Bi_2O_2 dimana bidang Ca-O dilapisi oleh dua bidang CuO dan bidang SrO dilapisi oleh bidang-bidang CuO dan BiO.

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



Gambar 2.8 Model Struktur Superkonduktor Sistem (a.) YBCO

(b.) BSCCO

(c.) TBCCO

- 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*).
- c. Memiliki medan magnet kritis kedua (Bc2) yang tinggi dan panjang kohernsi yang sangat pendek, serta memiliki penetrasi kedalaman magnet yang panjang (lihat tabel 2.1)

Tabel 2.1 Parameter-parameter Superkonduktor Beberapa Bahan

Bahan Superkonduktor senyawa	Tc (K)	Bc2 (T)	λ (Å)	ξ (Å)
Al	1,1	0,02	500	16.000
Nb	9,2	0,2	400	380
Ni-Ti	9,5	14	600	450
Nb ₃ Su	18,3	24	800	35
Rb ₃ C ₆₀	29,3	50	1600	20
La _{1-x} Sr _x CuO ₄	38	65	2500	15
Yba ₂ Cu ₃ O ₇	92	120	4000	10

2.5 Superkonduktor Organik

Dibandingkan dengan superkonduktor bahan anorganik, perkembangan superkonduktor organik jauh tertinggal dan belum berhasil mendekati rekor Tc yang sudah dicapai superkonduktor keramik. Namun, perkembangan material organik telah menunjukkan betapa luas dan canggihnya aspek aplikasi yang dapat dijangkau oleh bahan organik, terutama bahan polimer, melalui berbagai penemuan terobosan.

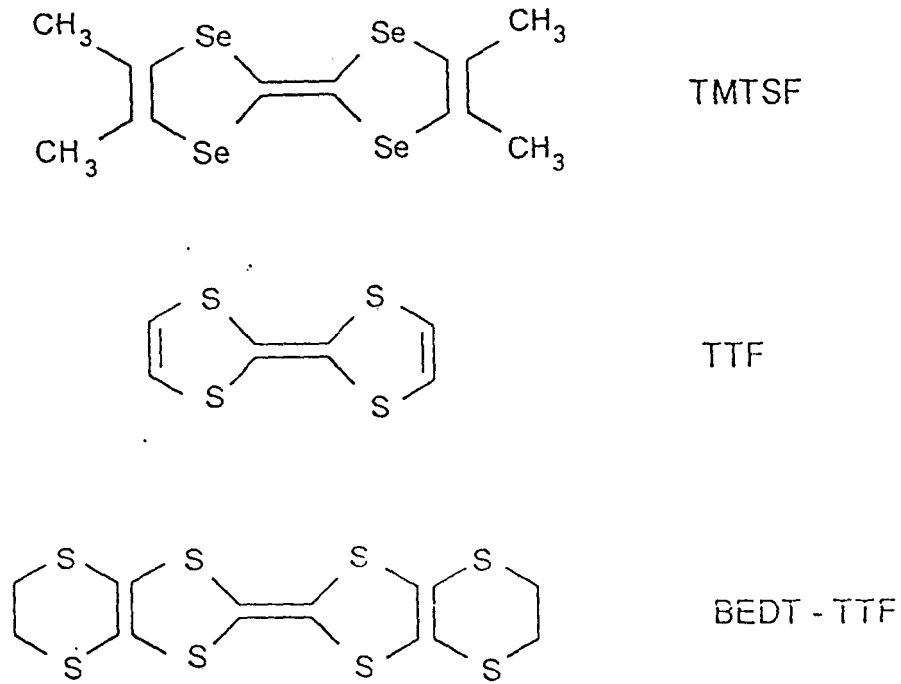
Bahan organik $(TMTSF)_2PF_6$, yang pertama kali dibuat oleh K. Bechgaard pada tahun 1979 ditemukan sifat superkonduktivitasnya pada tahun 1980 dengan $T_c \sim 1K$ dibawah tekanan sebesar 12 Kbar. Bahan ini dikenal sebagai salah satu jenis dari garam Bechgaard yang memiliki rumus umum $(TMTSF)_2X$ dengan X adalah anion anorganik (lihat gambar 2.9).

Dalam perkembangan selanjutnya telah diperoleh variasi dengan hasil sebagai berikut

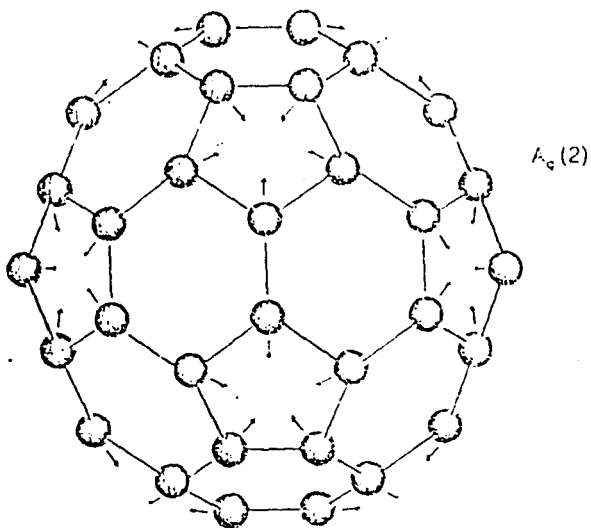
X	T _c
ClO ₄	} 1K - 1,5K
AsF ₆	
ReO ₄	

Fase perkembangan berikutnya diawali dengan penemuan senyawa $(BEDT-TTF)_2ReO_4$ pada tahun 1983 yang menunjukkan t_c sekitar 2,5 K. Kelompok bahan yang lebih dikenal dengan singkatan $(ET)_2X$ (garam ET, rumus senyawa ini diberikan oleh gambar 2.19) mengalami perkembangan cukup pesat seperti ditunjukkan daftar berikut

X	T _c
AuI ₂ (β-fase)	4K
I ₃	8K (1,5 lebar)
Cu(SCN) ₂	10 K
Cu[N(Cn) ₂]Br	11,6K
Cu[N(Cn) ₂]Cl	12,8K



Gambar 2.9 Struktur Kimia Superkonduktor Bahan Organik



Gambar 2.10 Struktur Simetri Bahan Fullereite

Fase perkembangan ketiga (mutakhir) ditandai penemuan bahan grafit pada tahun 1991, dengan struktur interaksi dan rumus stoikiometri A_3C_{60} yang memperlihatkan $T_c \sim 18K$ untuk $A=K$ (potasium). Dalam tahun yang sama, rekor T_c tersebut telah diterobos berturut-turut oleh C_{60} dengan dopan dan T_c sebagai berikut

$K_3 C_{60}$	18K
$Rb_3 C_{60}$	28 K
$CS_2 Rb C_{60}$	33 K

Walaupun harga tersebut belum menyaingi T_c tinggi superkonduktor keramik, namun laju perkembangan yang agak dramatis itu merupakan tanda terobosan yang tidak dapat diabaikan. Bahan yang kini di kenal dengan sebutan "*Fullerene*" atau "*Fullerene*" itu merupakan salah satu pokok riset yang gencar dilakukan, karena selain kenaikan T_c yang dicapai itu, komposisinya yang sederhana dan strukturnya yang sangat simetrik (lihat gambar 2.12), memungkinkan analisis dan pengkajian teoritis yang lebih rinci dan mudah diuji dengan hasil eksperimen.

2.6 Aplikasi Superkonduktor

Hampir semua gagasan pokok mengenai potensi dan arah perkembangan teknologi superkonduktor sudah lama disadari dan dipahami oleh para ahli. Bahkan berbagai jenis produk teknologi tersebut sudah dimanfaatkan oleh lingkungan tertentu, baik untuk kepentingan ilmiah maupun keperluan praktis.

Teknologi aplikasi superkonduktor lazim dibagi dalam dua kategori : (1) Aplikasi skala besar atau aplikasi medan/kerapatan arus tinggi, dan (2) aplikasi film tipis dan divais. Dalam kategori pertama terdapat contoh-contoh terkenal sebagai berikut.

1. Akselerator energi tinggi untuk penelitian fisika partikel dan ion berat serta mesin pembendung plasma fusi.
2. Magnet bermedan tinggi untuk studi permukaan Fermi zat padat.
3. Spektrometer NMR (Nuclear Magnetic Resonance) untuk analisis bahan organik dan alat MRI (Magnetic Resonance Imaging) untuk diagnosis medis.
4. Motor dan generator listrik berefisiensi tinggi.
5. Levitasi magnet (Maglev) untuk transportasi darat berkecepatan tinggi.
6. Jaringan transmisi daya listrik tanpa rugi (lossless)
7. Sistem propulsi magnetohidrodinamik dan elektromagnetik.
8. Bearing tanpa gesekan untuk penyimpanan energi dengan sistem roda gila (Fly Wheels).

Empat contoh terakhir dari daftar diatas masih berupa aplikasi pada taraf pengujian atau pengembangan (*Tjia, 1994*).

Termasuk dalam kategori kedua adalah contoh-contoh terkenal sebagai berikut .

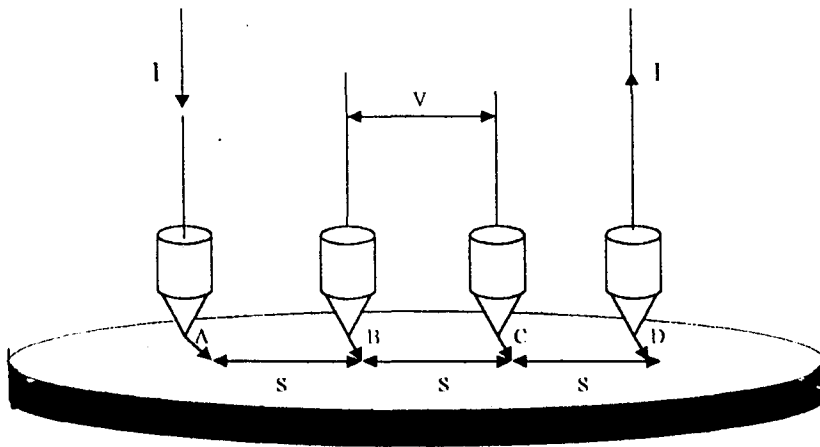
1. Komponen pasif gelombang mikro seperti pandu gelombang, resonator, filter dan antena. Ini merupakan jenis aplikasi film paling sederhana, yaitu sistem lapisan tunggal (single layer).
2. Heterostruktur epitaksial untuk divais hibrida semikonduktor-superkonduktor atau "interconnect" serpih IC.
3. Detektor balomatrik untuk gelombang mikro dan gelombang optik dengan kecepatan respon tinggi.

4. Standar tegangan listrik berdasarkan prinsip kerja persambungan Josephson, yang memiliki stabilitas dan presisi 100-1000 kali lebih baik dari stabilitas sel standar Weston (~ 1 ppm).
5. Magnetometer SQUID (Superconducting Quantum Interference Device) RF maupun DC yang dibuat dengan struktur persambungan Josephson non histerik, dan memiliki kepekaan medan magnet setinggi 10^{-15} T, sehingga cukup peka untuk mendeteksi gelombang gravitasi dan studi biomagnetisme.
6. Divais *weak link* dengan struktur SIS, SNS, *point contact* dan *micro bridge*.
7. Divais elektronik digital dengan struktur persambungan Josephson histerik yang memiliki waktu switching < 1 ps dan konsumsi daya ~ 1 pW per gelombang logika.

Semua contoh aplikasi di atas telah menghasilkan produk komersial atau prototipe yang mendekati taraf komersial, khususnya divais persambungan tipe SIS. Sejauh aplikasi bahan superkonduktor konvensional, perkembangan dalam kedua katagori aplikasi itu kurang lebih berimbang.

2.7 Metode Empat Probe

Sebagian besar karakterisasi superkonduktor keramik menggunakan metode empat probe. Hal ini disebabkan bentuk sampel yang digunakan adalah pellet. Secara sederhana, metode pengukuran empat probe ditunjukkan oleh gambar 2.11.

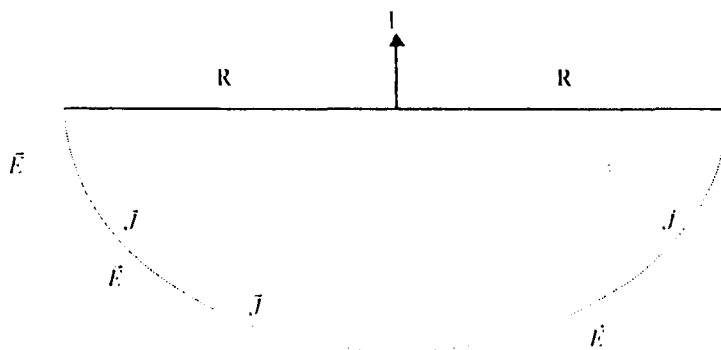


Gambar 2.11 Pengukuran Dengan Metode Empat Probe

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

$$V_{BC} = \frac{I\rho}{2\pi S} \quad (2-15)$$

Rumus ini dapat diturunkan sebagai berikut (lihat gambar 2.12).

Gambar 2.12 Model terjadinya potensial V akibat dari arus kritis I pada suatu bahan

Jika arus I dialirkan melalui suatu bahan, maka disekitar arus pada jarak R akan terjadi potensial [Barmawi, 1989].

$$V_{(r,z)} = \frac{C}{R} \quad (2-16)$$

dimana c adalah konstanta integral.

Disekitar arus I akan terjadi rapat arus \vec{J} dan kuat medan \vec{E} , sehingga terjadi hubungan

$$I = 2\pi\sigma R^2 E \quad (2-17a)$$

$$\text{dimana } E = -\frac{\partial V}{\partial R} \quad (2-17b)$$

Substitusi persamaan (2-16) ke persamaan (2-17b) diperoleh

$$E = \frac{C}{R^2} \quad (2-18)$$

Substitusi persamaan (2-18) ke persamaan (2-17a), diperoleh

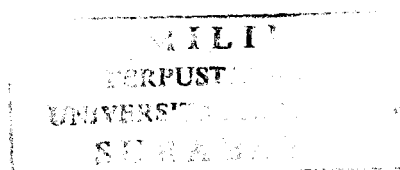
$$I = 2\pi C\sigma \text{ atau } C = \frac{I}{2\pi\sigma} \quad (2-19)$$

resistivitas listrik suatu bahan (ρ) berbanding terbalik dengan konduktivitasnya (σ) atau $\rho = 1/\sigma$, sehingga persamaan (2-19) teralihkan menjadi

$$C = \frac{I\rho}{2\pi} \quad (2-20)$$

Dengan demikian, persamaan (2-16) menjadi

$$V_{(r,z)} = \frac{I\rho}{2\pi R} \quad (2-21)$$

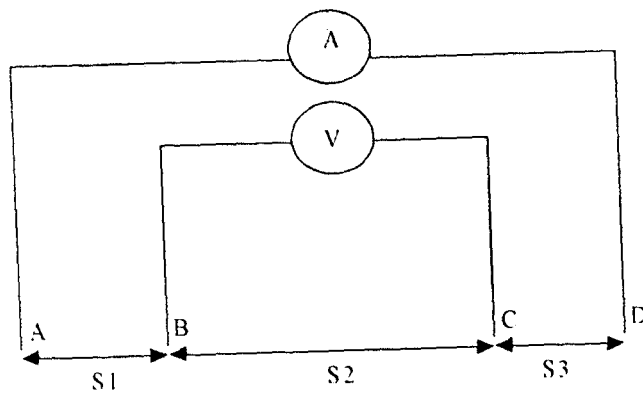


Bila rumus 2-21 ditetapkan pada pengukurat empat probe (gambar 2-13), maka beda potensial antara titik b dan c adalah,

$$V_{bc} = V_b - V_c = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_1 + s_3} \right\} - \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \frac{1}{s_1 + s_2} - \frac{1}{s_3} \right\} \quad (2-22)$$

Untuk $s_1 = s_2 = s_3 = s$, maka persamaan (2-22) menjadi

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



Gambar 2.13 Skema Metode Pengukuran Empat Probe

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Melakukan pengukuran arus kritis superkonduktor T_c tinggi secara optimal, yaitu dengan mengubah bentuk sampel untuk mengatasi homogenitas yang kurang merata.
2. Mengamati nilai arus kritis superkonduktor terhadap pengaruh gangguan eksternal (medan magnet dan temperatur).
3. Mengetahui kaitan antara arus kritis dengan medan magnet dan temperatur.
4. Melengkapi deskripsi superkonduktor T_c tinggi sistem YBCO fase 123 yang sudah ada.

3.2 Manfaat Penelitian

Implikasi dari ditemukannya superkonduktor keramik temperatur kritis tinggi, kita di negara berkembang tidak hanya sebagian memanfaatkan teknologi superkonduktor, tetapi terbuka kesempatan bagi fisikawan maupun ahli teknologinya untuk ikut dalam riset pengembangannya. Mengingat implikasinya yang mendalam dan meluas di masa mendatang, saatnya kini mengangkat fisika bahan superkonduktor ke dalam jajaran fisika mainstream bersama-sama dengan fisika semikonduktor, fisika laser dan fisika cabang lainnya. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat melengkapi deskripsi tentang karakteristik superkonduktor T_c tinggi sistem YBCO yang sudah ada dan mampu memberikan masukan informasi tentang basic science-nya.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Alat-Alat dan Bahan

Alat alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Tungku pemanas yang dilengkapi termokopel dan kontrol suhu digital
2. Mortar dan pestel
3. Cawan alumina atau keramik
4. Pencetak (*hydraulic press*) dan cetakan sampel
5. Neraca analitis asrtorius dengan ketelitian 0,1 mg
6. Pipet dan beaker gelas (250 ml)
7. Pengaduk magnetik yang dilengkapi pemanas (*hot magnetic stirer*)
8. Magnet kecil

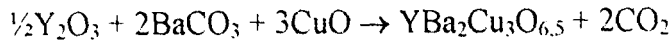
Bahan yang diperlukan :

1. Y_2O_3
2. $BaCO_3$
3. CuO_2
4. Polivinil Alkohol
5. Aquades bebas mineral
6. Nitrogen cair

4.2 Pembuatan Sampel

Superkonduktor yang akan diteliti adalah sistem $YBa_2Cu_3O_{7-x}$. Proses pembuatannya, seperti lazimnya pembuatan keramik dilakukan dengan reaksi

padatan, yang selanjutnya dilakukan pembakaran (lihat gambar 4.1). Bahan-bahan dasarnya adalah ; Y_2O_3 (kemurnian 99%), $BaCO_3$ (kemurnian 99%) dan CuO (kemurnian 99%). Ketiga komponen zat ini dicampur dengan stoikiometri:



Banyaknya masing-masing bahan kimia yang digunakan dapat ditentukan dengan perbandingan molar di atas, yaitu:

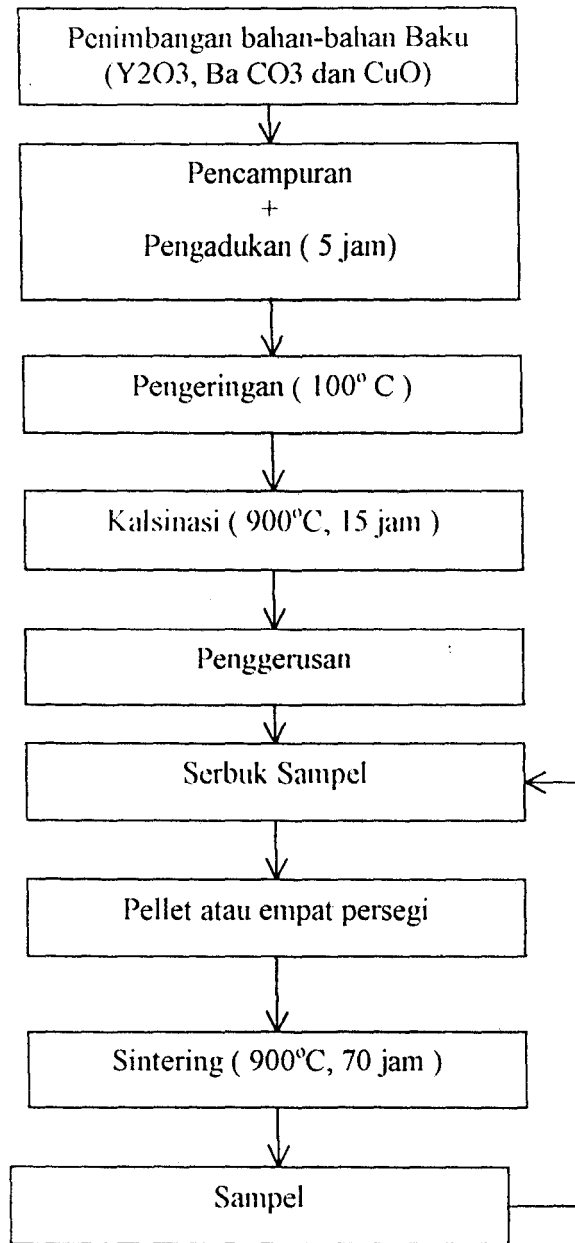
$\frac{1}{2}$ mol Y_2O_3	=	112,9041 gr	= 15,13 %
2 mol $BaCO_3$	=	394,6988 gr	= 52,89 %
3 mol CuO	=	238,6182 gr	= 31,98 %

Jika jumlah seluruh bahan yang digunakan adalah 60 gr, maka masing-masing bahan yang diperlukan adalah:

Y_2O_3	=	15,13 % x 60 gr	= 9,0780 gr
$BaCO_3$	=	52,89 % x 60 gr	= 31,7340 gr
CuO	=	31,98 % x 60 gr	= 19,1880 gr

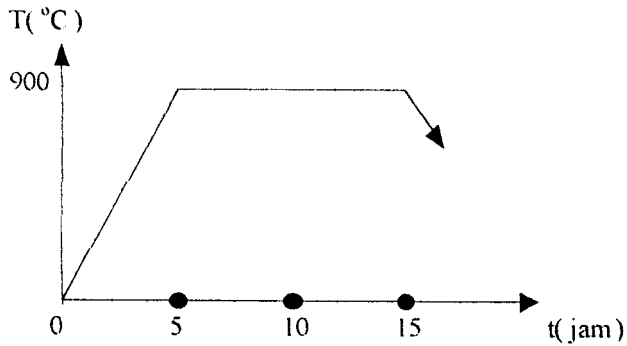
Semua bahan kimia tersebut ditimbang dengan menggunakan neraca analitis Sartorius yang memiliki ketelitian 0,1 m gr.

Bahan-bahan superkonduktor sistem $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ tersebut dicampur dalam beaker glass berisi aquades. Selanjutnya dilakukan pengadukan dengan menggunakan pengaduk magnetik yang dilengkapi pemanas. Pengadukan ini bertujuan untuk mendapatkan campuran dengan tingkat homogenitas yang tinggi, dan dilakukan sekitar lima jam sampai diperoleh campuran yang berbentuk pasta. Bahan yang diperoleh kemudian di panaskan dalam oven pada temperatur $100^\circ C$ selama 4 jam.



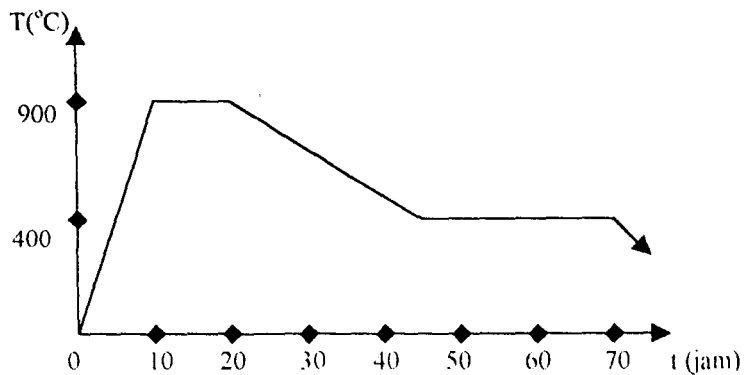
Gambar 4.1 Proses Pembuatan Sampel

Campuran yang diperoleh selanjutnya dikalsinasi di dalam tungku pada temperatur 900°C selama 15 jam, mengikuti pola gambar 3.2. Pada saat melakukan kalsinasi, diusahakan terjadi sirkulasi udara di dalam tungku, agar diperoleh superkonduktor sistem $\text{YBa}_2\text{Cu}_2\text{O}_{7-x}$.



Gambar 4.2 Proses Kalsinasi Sampel

Dari kalsinasi, akan diperoleh sampel yang berwarna hijau keabu-abuan. Selanjutnya sampel ini dihaluskan atau digerus dalam mortar sampai diperoleh kehalusan serbuk kira-kira $\approx 90 \mu\text{m}$. Serbuk sampel yang diperoleh dari penggerusan, kemudian dicetak menjadi pellet (cakram). Sampel yang berupa pellet tersebut kemudian disintering, mengikuti pola hubungan antara temperatur dan waktu seperti gambar 4.3.



Gambar 4.3 Proses Sintering Sampel

Mula-mula sampel dipanaskan dari temperatur kamar sampai 900°C dengan slope garis lurus selama 10 jam. Kemudian pemanasan pada temperatur tetap selama 12 jam. Proses ini merupakan proses peleburan dan pembentukan keramik. Selanjutnya dilakukan penurunan temperatur dari 900°C menjadi 400°C dengan slope garis lurus selama 25 jam, dan diteruskan dengan pemanasan pada temperatur tetap 400°C selama 24 jam. Pemanasan ini untuk mengatur kadar oksigen sampel, sehingga pada temperatur tersebut dialirkan gelembung-gelembung oksigen sebanyak 16 gelembung ke furnace. Jumlah oksigen tiap molekul sampel adalah $7-x$ dan pemanasan ini untuk menentukan sifat bahan sampel. Untuk x antara $0,0 - 0,5$, sampel bersifat superkonduktor, sedangkan untuk $x > 0,5$ sampel bersifat isolator. Selanjutnya temperatur diturunkan dari 400°C sampai temperatur kamar dengan slope garis lurus selama 4 jam.

4.3 Pengukuran Sampel

4.3.1 Uji Efek Meissner

Efek Meissner pada superkonduktor dapat diperlihatkan dengan levitasi magnet. Pengujian efek ini dilakukan dengan meletakkan sepotong magnet kecil berdimensi $(1,5 \times 1,5 \times 1) \text{ mm}^3$, yang memiliki kuat medan 0,5 gauss di atas sampel yang didinginkan dalam nitrogen cair.

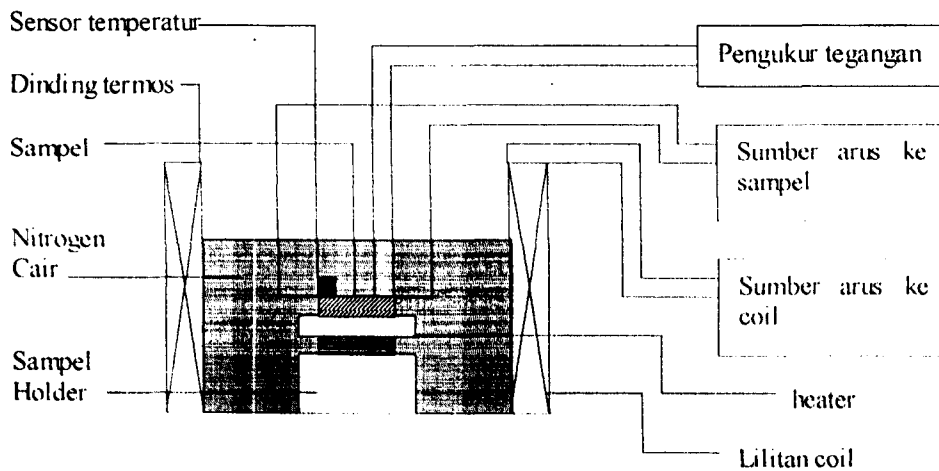
Pengamatan dilakukan dengan melihat seberapa besar penolakan sampel terhadap magnet atau dengan kata lain berapa ketinggian magnet tersebut mengambang di atas sampel.

4.3.2 Pengukuran R-T

Pengukuran resistivitas terhadap temperatur dilakukan dengan metode empat probe. Tujuannya untuk menentukan titik temperatur kritis T_c ($\rho = 0$) sampel. Titik ini merupakan temperatur tertinggi yang masih dapat menunjukkan sifat superkonduktivitas bahan, sehingga pengukuran ($I - V$) nanti harus mengambil temperatur dibawah T_c . Alat-alat yang diperlukan dalam pengukuran ini adalah

1. Digital elektrometer Advantest TR 8652
2. Sumber arus Advantest R6142
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 4.4



Gambar 4.4 Skema pengukuran sampel superkonduktor

Mula-mula sampel dipasang empat buah elektrode yang diberi jarak 0.5 cm antara elektrode tersebut. Agar tiap 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 elektrode dengan multimeter. Bila tahanan antar elektrode dibawah 25 ohm berarti telah terjadi kontak dengan baik [Erawati, dkk, 1996]. Kemudian sampel bersama-sama sampel 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 dipanaskan perlahan-lahan dengan heater sambil diamati perubahan resistivitas yang terjadi.

4.4 Pemilihan Probe Terbaik

Selain sampel berbentuk pellet, juga dibentuk sampel yang berbentuk empat persegi ($30 \times 10 \times 2$)mm³. Proses yang dilalui sama dengan proses pembentukan sampel pellet, yakni kalsinasi dan sintering dengan waktu dan temperatur yang sama.

Bentuk sampel empat persegi tersebut selanjutnya dibuat enam titik probe, dimana dua probe terluar merupakan probe arus dan empat probe didalamnya merupakan probe tegangan. Pemilihan probe terbaik dilakukan dengan mengukur karakteristik arus tegangan (I-V) dari kombinasi empat probe tegangan yang dibuat. Probe terbaik adalah probe yang menunjukkan treshold tajam pada kurva (I-V).

4.5 Pengukuran Arus Kritis Ic.

Pengukuran karakteristik arus kritis Ic dilakukan menggunakan probe tegangan yang memiliki karakteristik (I-V) terbaik (langkah 4.3). Untuk mengetahui efek medan magnet dan temperatur terhadap arus kritis, diluar termos (kriogenik) dililiti kumparan berdiameter 0,9 mm yang akan dialiri arus I. Jumlah lilitan dalam kumparan tersebut sebanyak 2000, dipilih

sedemikian hingga sekitar superkonduktor dapat dibangkitkan medan magnet yang cukup tinggi untuk arus sekitar 1A. Panjang lilitan di termos ini 20 cm. Medan magnet kumparan dapat diukur dengan menggunakan Gaussmeter.

Dengan mengalirkan arus (dari sumber arus) ke lilitan kumparan kita dapat memvariasi besarnya medan magnet.

Untuk masing-masing medan magnet beragam besarnya tersebut ditentukan karakteristik arus kritisnya, yaitu dengan mengalirkan arus ke sampel (probe terluar) dan pada saat bersamaan diamati tegangan yang ditimbulkan. Dari kurva karakteristik ($I-V$) ini selanjutnya bisa ditentukan besaran arus kritis I_c sebagai fungsi medan magnet, yaitu saat terjadi treshold arus. Percobaan ini diulangi untuk beberapa temperatur yang berbeda, yaitu 66K, 76K, dan 86K.

4.6 Analisis Data

Semua hasil pengukuran dinyatakan dalam bentuk grafik. Fenomena yang di peroleh dari grafik selanjutnya dianalisis berdasarkan teori superkonduktivitas yang berlaku.

BAB V

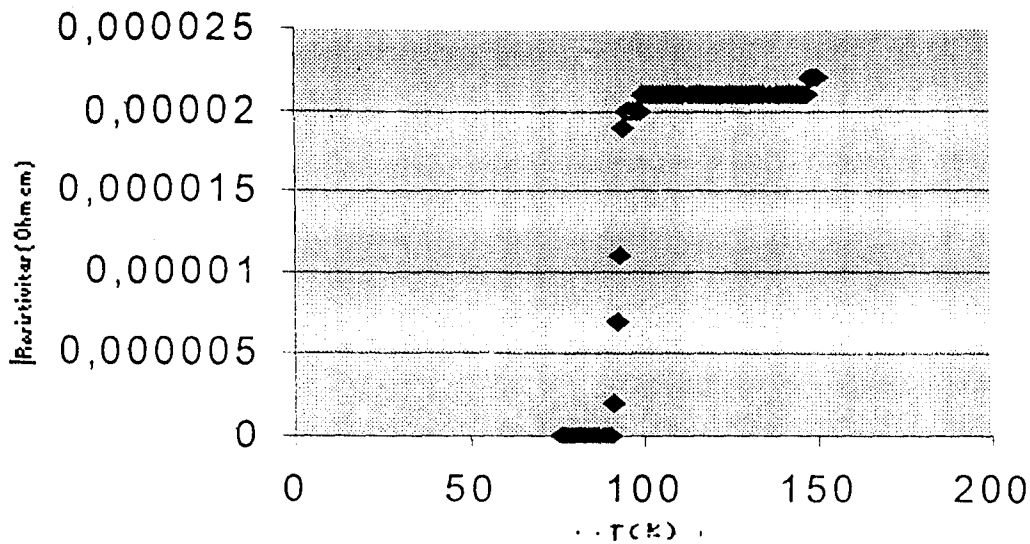
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari semua rangkaian pembuatan sampel, diperoleh bentuk pellet dan empat persegi. Bentuk pellet digunakan untuk pengukuran temperatur kritisnya T_c , sedangkan bentuk empat persegi digunakan untuk pengukuran arus kritis $I_c(B,T)$. Sebelum pengukuran-pengukuran tersebut dilakukan, sampel diuji sifat superkonduktifitasnya dengan menggunakan uji efek Meissner.

Dari uji efek Meissner dengan menggunakan magnet kecil yang memiliki kuat medan 0,5 gauss diperoleh hasil bahwa kedua bentuk sampel dapat menolak magnet sekitar 4 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa sampel yang dibuat telah menunjukkan sifat superkonduktivitas yang cukup baik.

Selanjutnya sampel berbentuk pellet diuji temperatur kritisnya T_c . Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui batas temperatur maksimum yang diijinkan ketika dilakukan pengukuran efek temperatur terhadap arus kritis I_c . Hasil dari pengukuran ini dilukiskan oleh gambar 5.1, dan diperoleh nilai temperatur kritis sampel 90K. Bila dibandingkan dengan T_c tertinggi yang dimiliki bahan $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ yaitu 90K (*Wu, et. al., 1987*), tampak ada sedikit perbedaan. Perbedaan ini mungkin disebabkan oleh kadar x dalam oksigen (O_{7-x}) yang terdapat pada sampel.

Peranan nilai x secara mikroskopis bisa terlukis dari pembentukan distorsi oksigen pada struktur dasar perovskite, yang selanjutnya akan berpengaruh terhadap jumlah lapisan CuO. Jumlah lapisan ini diprediksi memiliki peranan dalam pencapaian T_c yang tinggi (*Chela-Flores, et. al., 1988*).



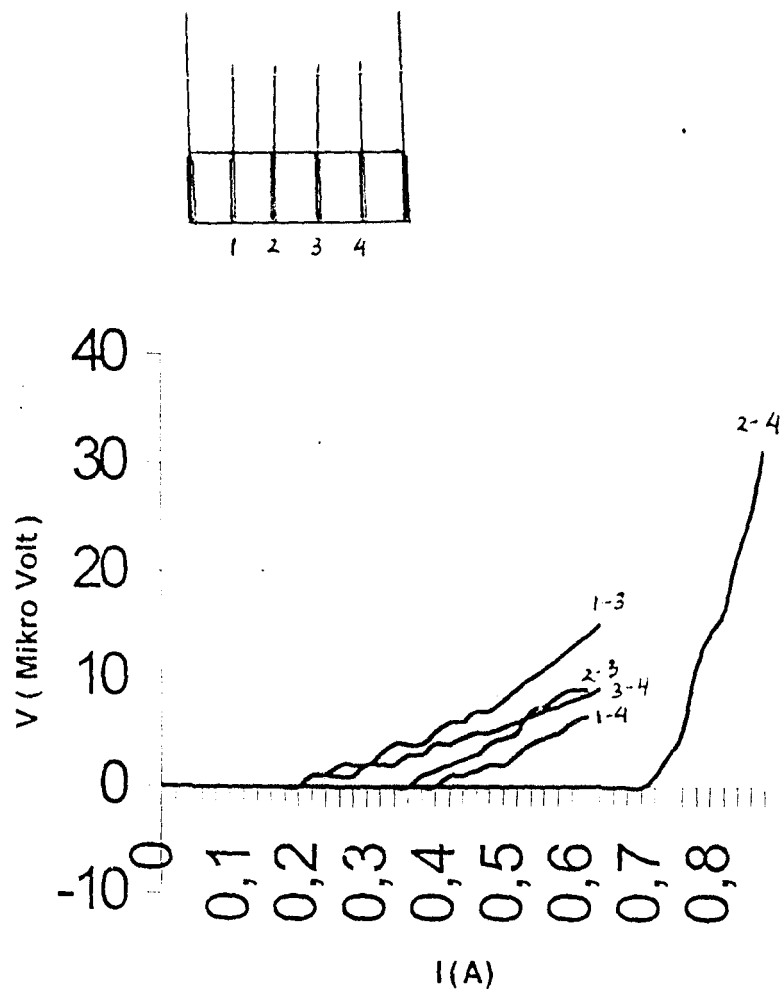
Gambar 5.1 Hasil pengukuran temperatur kritis sampel.

Dengan melihat hasil uji levitasi magnet sampel empat persegi dan pellet (yang menolak magnet ~ 4 mm) dapat diasumsikan bahwa sampel empat persegi memiliki temperatur kritis sama dengan pellet, yakni 90K.

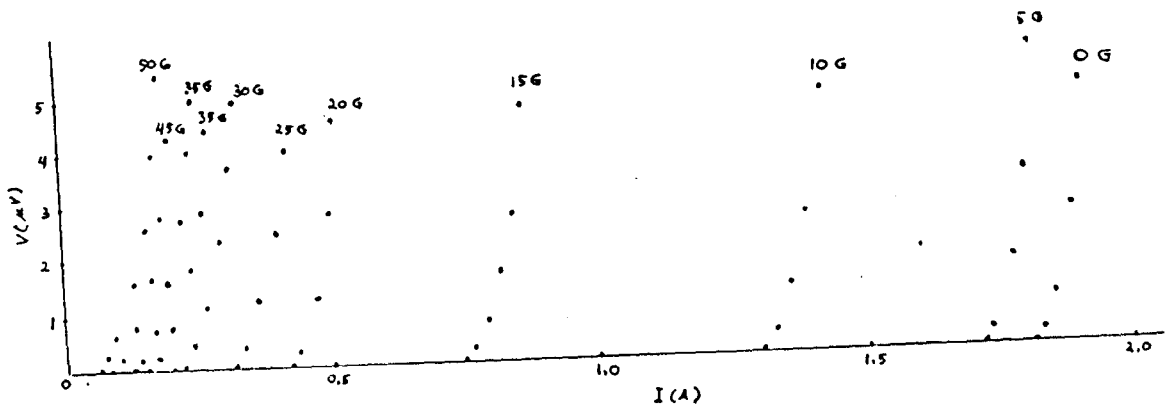
Untuk memperoleh arus kritis yang tinggi, dilakukan pengukuran karakteristik arus tegangan (I-V) dengan berbagai kombinasi probe tegangan. Dari empat probe tegangan yang dibuat dan beberapa kombinasinya, ternyata pasangan probe 2 -- 4 memiliki kurva I-V terbaik (lihat gambar 5.2). Pengukuran dilakukan pada temperatur 80K. Fenomena tersebut bisa terjadi karena terkait dengan homogenitas dan densitas yang kurang merata.

Pasangan probe 2 -- 4 selanjutnya digunakan untuk mengukur karakteristik arus kritis terhadap perubahan medan magnet dan temperatur. Pengukuran dilakukan pada temperatur yang berbeda, yaitu 66K, 76K, dan 86K.

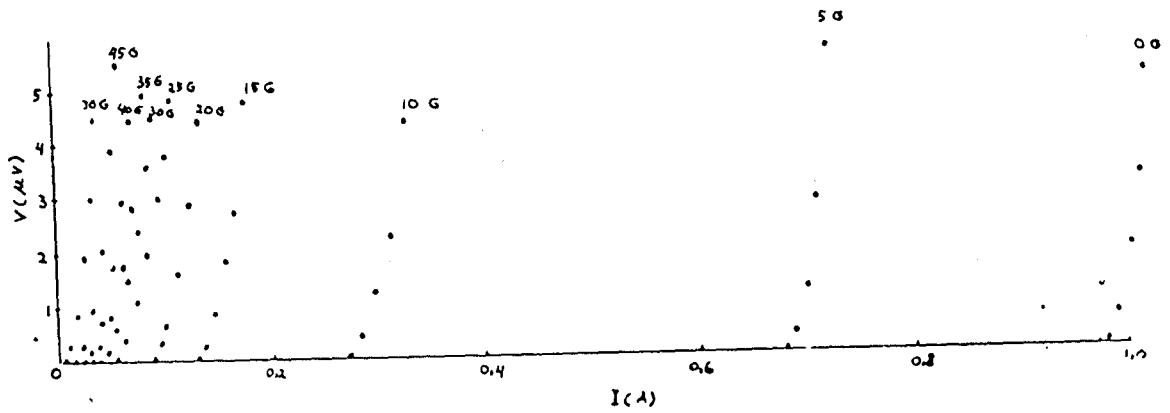
Pada masing-masing temperatur tersebut dialirkan medan magnet secara berturut-turut 0; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; dan 50 Gauss. Medan magnet ini dibangkitkan dengan mengalirkan arus ke coil lilitan termos. Semua hasil pengukuran yang dilakukan dilukiskan pada gambar 5.3, gambar 5.4 dan gambar 5.5.



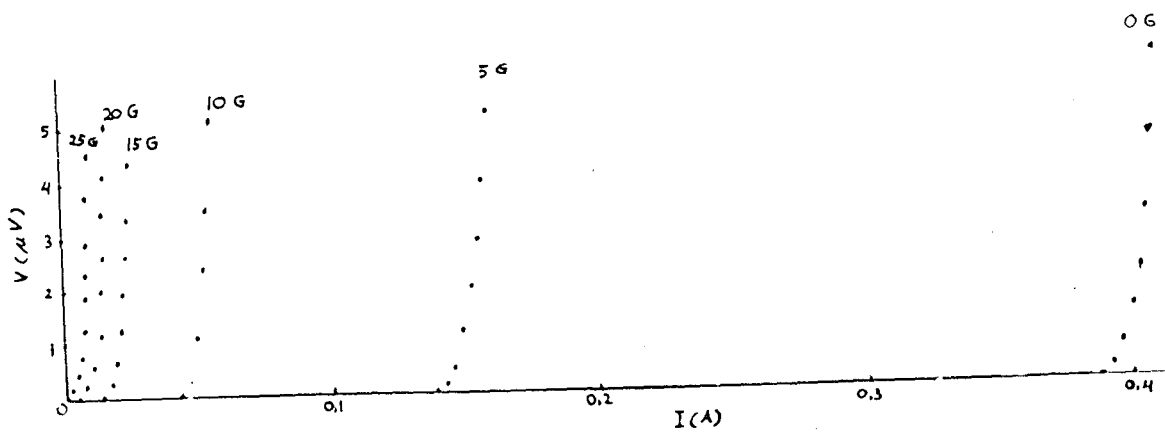
Gambar 5.2 Karakteristik I-V untuk berbagai kombinasi probe



Gambar 5.3 Karakteristik I-V pada temperatur 66K



Gambar 5.4 Karakteristik I-V pada temperatur 76K

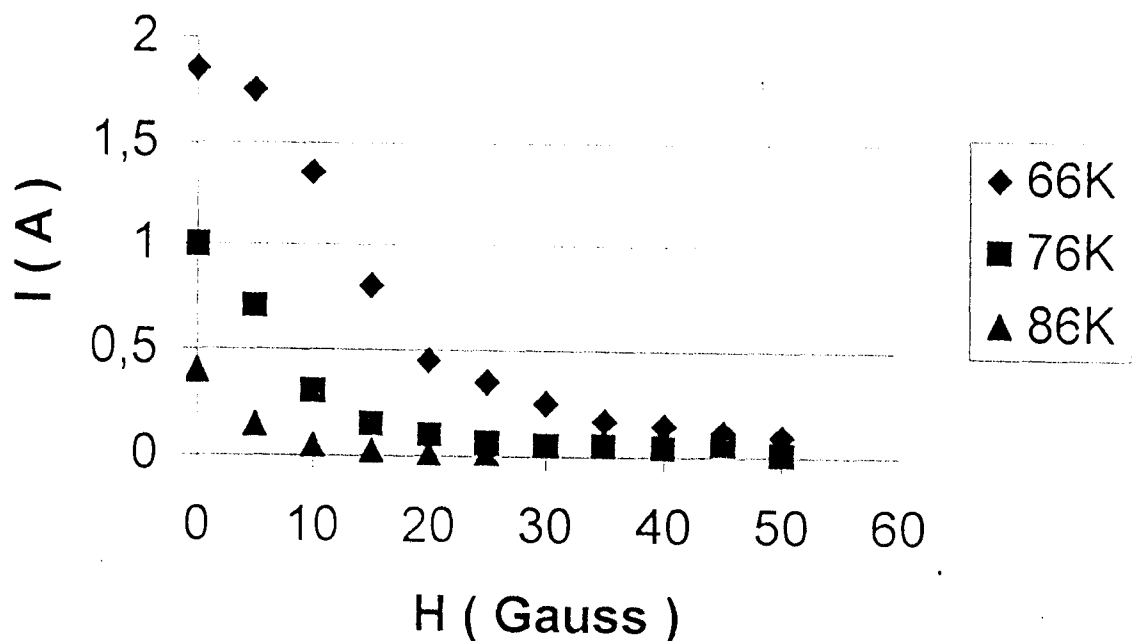


Gambar 5.5 Karakteristik I-V pada temperatur 86K

Dari gambar tersebut dapat diperoleh nilai arus kritis untuk berbagai temperatur dan medan magnet yang berbeda, seperti yang dilukiskan oleh tabel 5.1. Secara grafis karakterisasi arus kritis terhadap perubahan medan magnet dan temperatur dilukiskan oleh gambar 5.6.

Tabel 5.1 Nilai arus kritis sampel

H (Gauss)	Ic (A)		
	66K	70K	86K
0	1,85	1	0,4
5	1,75	0,7	0,15
10	1,35	0,3	0,05
15	0,8	0,15	0,02
20	0,45	0,1	0,008
25	0,35	0,06	0,004
30	0,25	0,05	
35	0,17	0,05	
40	0,15	0,04	
45	0,12	0,06	
50	0,1	0,01	



Gambar 5.6 Hubungan antara arus kritis dengan perubahan medan magnet dan temperatur

Dari gambar 5.6 tampak bahwa semakin besar medan magnet maupun temperatur (semuanya dibawah T_c dan B_{c2}), semakin kecil arus kritisnya. Secara mikroskopis penambahan medan magnet dan temperatur menyebabkan jumlah fluks yang dapat menerobos bahan semakin banyak dan kedalaman penetrasi London-nya semakin besar, sehingga nilai arus kritisnya menjadi semakin kecil. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (Siswanto dan Supardi, 1997).

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari serangkaian pengukuran yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Sampel penelitian yang digunakan cukup baik. Hal ini ditunjukkan oleh hasil uji efek Meissner yang menolak magnet berkekuatan 0,5 gauss setinggi 4 mm dan memiliki temperatur kritis T_c 90K.
2. Bentuk sampel dapat mengoptimalkan pengukuran arus kritis I_c bahan superkonduktor. Hal ini ditunjukkan oleh perbedaan karakteristik I-V dari berbagai kombinasi probe tegangan. Kombinasi probe 2-4 memiliki karakteristik terbaik dibandingkan dengan kombinasi probe yang lainnya.
3. Adanya medan magnet maupun temperatur sama-sama memberikan kontribusi terhadap perubahan nilai arus kritis superkonduktor T_c tinggi. Semakin besar medan magnet yang dikenakan, semakin kecil nilai arus kritisnya. Demikian pula terjadi pada perubahan temperatur. Semakin tinggi temperturnya semakin kecil arus kritisnya.

6.2 Saran

Beberapa kekurangan dalam penelitian ini mungkin dapat disempurnakan dengan membentuk sampel yang memiliki homogenitas dan densitas yang merata. Selain itu perlu dilakukan pengukuran kadar oksigennya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwari, N.R.A., *Sintesis Superkonduktor Fase Tc Tinggi Dengan Metode Sol-Gel Sitrat.*, Skripsi Fisika ITB, 1993.
- Barmawi, M., M. Budiman, V.M. Ratag, Toto Winata, Sukirno, *Karakterisasi Film Tipis Superkonduktor Tc Tinggi*, Penelitian DP3M, 1993.
- Chela-Flores, J.P. Martin and J.J. Rodriguez Nunez, *Int. J. Mod. Phys.* B1, 5, 1988.
- Cyrot, M and D. Pavuna., *Introduction to Superconductivity and High Tc Materials*, World Scientific, 1992.
- Erawati, P., Soekandar, Trisnaningsih, W. Ratnayanti, S.D. Astuti, *Pengukuran Arus Kritis Superkonduktor dengan Metode Empat Probe*, OPF Unair, 1996.
- Maeda, Y. Tanakan, M. Fukutomi and T. Asano, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 27, 1988.
- Sihombing, E., *Sintesa dan Karakterisasi Superkonduktor Keramik Sistem BSCCO*, Tesis S2 Fisika ITB, 1991.
- Siswanto dan Adri Supardi, *Efek Medan Magnet Terhadap Karakteristik Arus Tegangan (I-V) Superkonduktor Sistem YBCO*, Laporan SPP-DPP Unair, 1997.
- Tjia, M.O., *Perkembangan Fisika bahan Superkonduktor*, Makalah Seminar ITB Bandung, 1994.
- Wu, M.K., J.R. Ashburu and C.W. Chu., *Phys. Rev. Lett.*, 58, 1988.