

6292
IR-PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

PENGUKURAN ARUS KRITIS SUPERKONDUKTOR KERAMIK
SISTEM $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ SEBAGAI FUNGSI TEMPERATUR

PAMERAN

SELESAI

01 OCT 1997

Ketua Peneliti :

Ir. Welina Ratnayanti

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

Dibiayai Oleh : DIP OPF Unair 1996/1997
SK.Rektor Nomor : 6229/J03/PL/1996
Nomor : 64

DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

KK e
KK
530.072
Pen

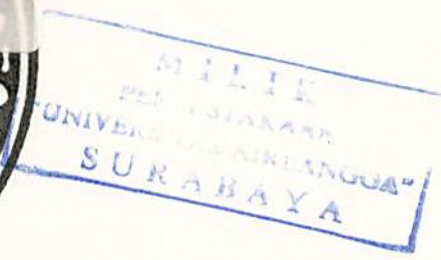
**PENGUKURAN ARUS KRITIS SUPERKONDUKTOR KERAMIK
SISTEM $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ SEBAGAI FUNGSI TEMPERATUR**

3000038973141 - 9

Ketua Peneliti :

Ir. Welina Ratnayanti

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

Dibiayai Oleh : DIP OPF Unair 1996/1997
SK.Rektor Nomor : 6229/J03/PL/1996
Nomor : 64

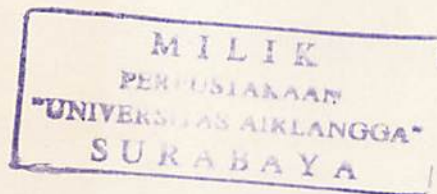
**PENGUKURAN ARUS KRITIS SUPERKONDUKTOR KERAMIK
SISTEM $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ SEBAGAI FUNGSI TEMPERATUR**

Peneliti:

**Ir. Welina Ratnayanti
Drs. Sistojo Pramudiswojo
Drs. Siswanto, MSi.
Ir. Puspa Erawati
Drs. Djoni Izak R.**

3000038973141

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM



LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

Dibiayai Oleh : DIP-OPF Unair 1996/1997

SK. Rektor 6229/J03/PL/1996

Tanggal : 1 Agustus 1996



DEPARTEMEN PENDIDIKAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

UNIVERSITAS AIRLANGGA LEMBAGA PENELITIAN

- | | | |
|------------------------------------|---------------------------------|--|
| 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

IDENTITAS DAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR HASIL PENELITIAN

1. a. Judul Penelitian : Pengukuran Arus Kritis Superkonduktor Keramik Sistem YBa₂Cu₃O_{7-x} Sebagai Fungsi Temperatur
- b. Macam Penelitian : (V) Fundamental, () Terapan, () Pengembangan
2. Kepala Proyek Penelitian
- a. Nama Lengkap Dengan Gelar : Ir. Welina Ratnayanti
- b. Jenis Kelamin : W a n i t a
- c. Pangkat/Golongan/NIP : Penata Tk.I/IIId/130 701 436
- 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 : 1. FMIPA Unair, 2. FMIPA UGM
5. Kerjasama dengan Instansi Lain
- a. Nama Instansi : -
- b. A l a m a t : -
6. Jangka Waktu Penelitian : 6 (enam) Bulan
7. Biaya Yang Diperlukan : Rp 3.000.000,00
8. Hasil Seminar Penelitian :
- a. Dilaksanakan Tanggal : 17 Maret 1997
- b. Hasil Penilaian : (~~()~~) Baik Sekali (~~()~~) Baik
(V) Sedang () Kurang



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

Surabaya, 17 Maret 1997

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

RINGKASAN PENELITIAN

Judul : Pengukuran Arus Kritis Superkonduktor
Keramik Sistem $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ Sebagai Fungsi
Temperatur.

Ketua Peneliti : Welina Ratnayanti

Anggota : Sistojo Pramudiswojo
Siswanto
Puspa Erawati
Djoni Izak R.

Fakultas : Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dibiayai Oleh : DIP Operasi Perawatan dan Fasilitas
Universitas Airlangga Tahun 1996/1997
SK.Rektor Nomor: 6229/J03/PL/96
Tanggal : 1 Agustus 1996

Salah satu parameter kritis superkonduktor yang penting adalah arus kritis I_c . Beberapa perencanaan pembuatan divais elektronik seperti gerbang logik, IC atau aplikasi lainnya memerlukan pengetahuan tentang arus kritisnya.

Aplikasi semua bahan, termasuk superkonduktor sebagai teknologi material akan selalu berkaitan dengan fluktuasi temperatur. Karena material superkonduktor bergantung pada perubahan temperatur, maka diperkirakan arus kritisnya akan memiliki sifat serupa, meskipun perubahan temperatur tersebut masih dibawah temperatur kritisnya. Masalah inilah yang akan menjadi sasaran dalam penelitian, dengan harapan dapat memperhitungkan efek negatif yang ditimbulkan oleh fluktuasi temperatur ketika bahan superkonduktor tersebut diaplikasikan dalam teknologi kelak.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengamati perubahan arus kritis I_c superkonduktor YBCO terhadap perubahan temperatur dan melengkapi diskripsi yang sudah ada.

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah superkonduktor keramik sistem $\text{YBa}_2\text{Cu}_9\text{O}_{7-x}$. Bahan dasarnya adalah Y_2O_3 , BaCO_3 dan CuO . Pembuatannya dilakukan menggunakan reaksi padatan, serta proses kalsinasi dan sintering, dengan bentuk akhir pellet. Pengukuran arus kritis sebagai fungsi temperatur dilakukan dengan metode empat probe dalam suatu kriogenik, sebagaimana pengukuran temperatur kritisnya. Data-data pengukuran untuk berbagai temperatur, selanjutnya diplot dalam grafik arus tegangan (I-V), dan arus kritisnya diperoleh saat terjadi threshold.

Hasil penelitian yang diperoleh, menunjukkan bahwa perubahan temperatur akan mengubah nilai arus kritis superkonduktor Sistem $\text{YBa}_2\text{Cu}_9\text{O}_{7-x}$. Pada temperatur 76,5 K, 77,5 K, 78,8 K, 80 K dan 85 K secara berturut-turut arus kritisnya adalah 2,5 A; 2,0 A; 1,7 A; 1,4 A dan 0,3 A. Ketergantungan arus kritis terhadap temperatur tersebut bersifat linear dekat daerah temperatur kritisnya.

Pengukuran ini akan lebih baik bila bentuk sampel yang digunakan berbentuk tape, bukan pellet. Hal ini untuk menghindari homogenitas yang kurang merata dan kemungkinan pemilihan probe bisa lebih banyak.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah Yang Maha Esa, karena berkat karunia dan ijinNya penelitian yang dibiayai DIP/OPF tahun 1996/1997 ini dapat terselesaikan.

Topik penelitian ini adalah karakterisasi arus kritis superkonduktor Sistem YBCO. Parameter kritis ini sangat penting untuk diketahui, karena untuk perencanaan beberapa piranti mikroelektronik misalnya gerbang logik, perlu pengetahuan tentang arus kritisnya. Dengan demikian, terdapat tiga parameter kritis pada superkonduktor T_c tinggi yang perlu dikarakterisasi, yaitu temperatur kritis T_c , medan magnet kritis B_c dan arus kritis I_c .

Di kesempatan ini kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Rektor Universitas Airlangga yang telah memberikan kepercayaan dalam membiayai penelitian ini. Tak lupa kami ucapkan terima kasih pula kepada Dekan FMIPA Universitas Airlangga dan Ketua Jurusan Fisika yang telah memberikan 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.

Surabaya, Mei 1997

Peneliti

DAFTAR ISI

RINGKASAN PENELITIAN	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	1
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Fenomena Superkonduktor	6
2.2. Superkonduktor Tipe I	9
2.3. Superkonduktor Tipe II	13
2.4. Superkonduktor Oksida Suhu Tinggi	18
2.5. Struktur Kristal $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$	20
2.6. Metode Empat Probe	25
BAB III. METODE PENELITIAN	29
3.1. Pembuatan Sampel	29
3.2. Pengukuran Sampel	34
3.2.1. Uji efek Meissner	34
3.2.2. Pengukuran resistivitas dan temperatur	35
3.2.3. Pengukuran arus kritis I_c sebagai fungsi temperatur	37
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	39
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	44
5.1. Kesimpulan	44
5.2. Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN	

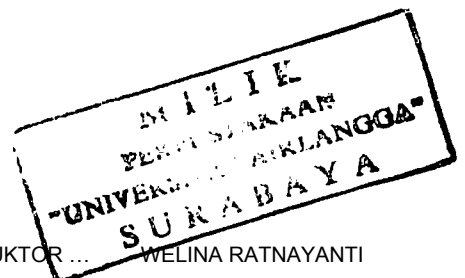
B A B I

P E N D A H U L U A N

1.1. Latar Belakang

Penemuan Superkonduktor oksida keramik temperatur tinggi telah mengungkapkan fenomena baru dan mampu membuka cakrawala baru dalam bidang teknologi material. Bagi negara berkembang seperti Indonesia, penemuan ini cukup menguntungkan karena suhu operasinya berada pada daerah nitrogen cair, sehingga relatif mudah untuk dicapai. Sejak itulah kajian tentang suerkonduktor sangat menarik, terutama sintesis dan karakterisasinya [Tjia, 1994].

Di samping temperatur kritis T_c , terdapat parameter kritis superkonduktor lain yang penting, yaitu medan magnet kritis B_c dan arus I_c . Penelitian ini difokuskan pada karakterisasi salah satu parameter kritis tersebut, yakni arus kritis I_c . Parameter ini sangat penting, karena beberapa perencanaan pembuatan piranti elektronik [Fourier & Aubin, 1994] serta aplikasi lain sebagai magnet, SQUID, Josephson Junction [Barmawi, dkk, 1993] memerlukan pengetahuan tentang arus kritisnya.



Terdapat tiga teknik pengukuran untuk menentukan arus kritis I_c ; teknik dc transport, teknik pulsa dan teknik magnetisasi [Wang & Dhali, 1992]. Dalam teknik dc transport, karakteristik arus tegangan (I-V) diperoleh dengan mengaplikasikan arus secara langsung ke superkonduktor kemudian tegangannya diukur. Arus kritis I_c ditentukan dari kurva (I-V) pada saat terjadi threshold. Dalam metode pulsa arus berdurasi pendek dikenakan pada superkonduktor dan tegangannya diukur menggunakan osiloskop. Amplitudo pulsa arus dinaikkan sampai tegangan superkonduktor sama dengan tegangan yang terpilih dan arus yang terkait merupakan arus kritis I_c . Selain itu arus kritis juga dapat ditentukan dari pengukuran magnetik superkonduktor dengan menggunakan model Bean. Dari ketiga teknik tersebut, dc transport merupakan teknik yang paling mudah dan murah, yaitu dengan mengaplikasikan arus secara langsung ke sampel yang berbentuk pellet dan pengukuran selanjutnya dapat menggunakan metode empat probe [Erawati, dkk, 1996].

Pada bahan superkonduktor, gangguan eksternal yang paling berpengaruh terhadap superkonduktivitas bahan adalah medan magnet dan temperatur.

Oleh sebab itu, bila material superkonduktor dikenai medan magnet atau kalor melebihi ambang batasnya, maka bahan tersebut akan berubah kembali menjadi isolator atau konduktor biasa. Ambang batas yang berkaitan dengan medan magnet dan temperatur ini secara berturut-turut dinamakan medan magnet kritis B_c dan temperatur kritis T_c . Dari uraian tersebut, tampak bahwa superkonduktivitas bahan sangat sensitif terhadap perubahan medan magnet ataupun temperatur.

Penelitian ini akan mencoba mengamati perubahan salah satu gangguan eksternal tersebut, yaitu perubahan temperatur. Pemilihan fungsi temperatur ini dengan alasan bahwa aplikasi sama bahan superkonduktor maupun non superkonduktor sebagai teknologi material akan selalu berkaitan dengan fluktuasi temperatur, baik temperatur lingkungan atau efek dari proses itu sendiri. Perubahan temperatur yang dilakukan dalam penelitian ini di bawah temperatur kritis T_c , karena arus kritis superkonduktor muncul pada saat bahan tersebut bersifat superkonduktor, yang terjadi di bawah temperatur T_c .

Bila terbukti bahwa arus kritis I_c merupakan fungsi temperatur ($T < T_c$) maka sekali lagi akan menambah ke misteriusan sifat-sifat superkonduktor, seperti yang diungkapkan oleh de Gennes [Cyrot & Pavuna, 1992]. Dengan mengetahui pengaruh temperatur terhadap besarnya arus kritis, kita dapat mendisain komponen-komponen mikroelektronik atau teknologi superkonduktor lainnya secara optimal. Selain itu dapat mengetahui batas-batas toleransi temperatur yang diinginkan, sehingga dapat dihindari efek negatif yang ditimbulkan oleh perubahan temperatur tersebut.

1.2. Rumusan Masalah.

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

1. Apakah perubahan temperatur berpengaruh terhadap besarnya arus kritis I_c superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$?.
2. Bagaimana sifat perubahan arus kritis I_c sebagai fungsi temperatur tersebut; linear, eksponensial ataukah polinom ?.

1.3. Tujuan Penelitian.

Penelitian ini ditunjukkan terutama kepada sasaran-sasaran sebagai berikut.

1. Mengamati perubahan arus kritis I_c superkonduktor YBCO terhadap perubahan temperatur secara kuantitatif.
2. Melengkapi deskripsi superkonduktor oksida keramik sistem $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ yang sudah ada, sehingga dapat dilakukan peninjauan dalam aplikasi teknologi untuk masa yang akan datang.
3. Mengembangkan fisika material di Jurusan Fisika FMIPA Unair Surabaya.

1.4. Manfaat Penelitian.

Penelitian ini diharapkan dapat melengkapi deskripsi superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ yang sudah ada dan memberikan masukan informasi tentang landasan basic sciencenya.

B A B II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fenomena Superkonduktor

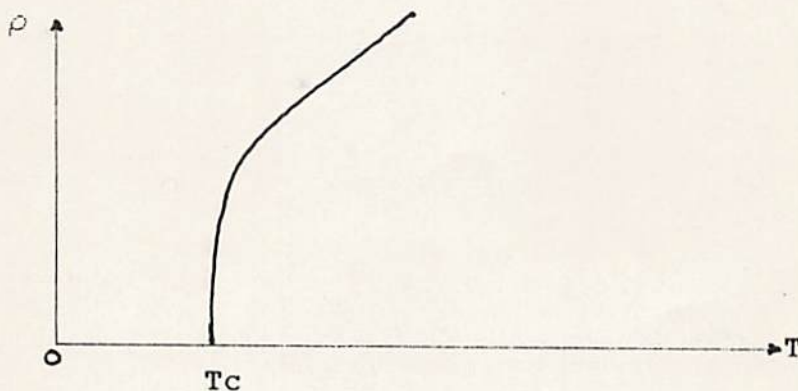
Superkonduktivitas pertama kali diamati oleh H.K. Onnes pada tahun 1911 [Cyrot & Pavuna, 1992] dalam eksperimennya pada logam merkuri yang didinginkan dibawah 4,2 K. Sejak itu berbagai upaya dilakukan para ilmuwan untuk menjelaskan fenomena tersebut dan melakukan penelitian terhadap logam dan paduan 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 di atas 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-Ca-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 di bawah kritis T_c (gambar 2.1.)



Gambar 2.1. Ketergantungan resistivitas listrik terhadap temperatur pada superkonduktor

b. Tidak memiliki induksi magnet ($B = 0$) di dalam superkonduktor. Induktansi magnetik menjadi nol di dalam superkonduktor bila didinginkan di bawah temperatur kritis T_c dalam medan magnet eksternal yang lemah; karena fluks magnet di tolak dari interior superkonduktor (gambar 2.1.). Keadaan tersebut menjadikan superkonduktor bersifat diamagnetik sempurna dan dinamakan efek Meissner Ochsenfeld.

Gejala efek Meissner pada superkonduktor dapat dinyatakan oleh persamaan,

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

dimana \vec{H} , \vec{M} dan μ_0 secara berturut-turut adalah medan magnet luar, magnetisasi bahan dan permeabilitas hampa. Untuk bahan isotropik yang linear, besarnya magnetisasi bahan \vec{M} sebanding dengan induksi magnet luar,

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

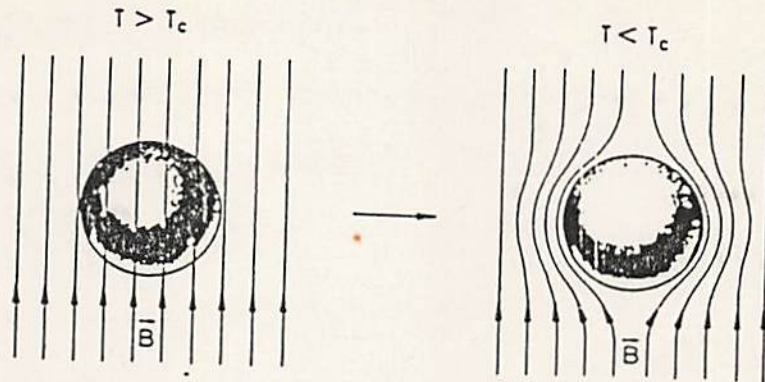
dengan χ_m adalah suseptibilitas magnetik.

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

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \chi_m \vec{H}) = 0$$

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

Keadaan 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 4,3 K, 7,2 K dan 9,2 K. 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 Meissner-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 di atas suhu kritisnya T_c . Fenomena ini dapat dijelaskan melalui pengertian konduktivitas model elektron bebas, dimana resistivitasnya dapat dinyatakan [Sihombing, 1991].

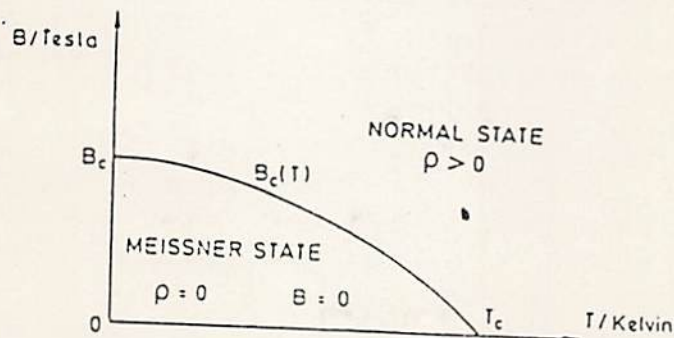
$$\rho = \frac{m}{ne^2 \tau} \quad (2-4)$$

dengan m , n , e dan τ secara berturut-turut adalah massa elektron, konsentrasi elektron, muatan 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 spesimen 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].

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

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



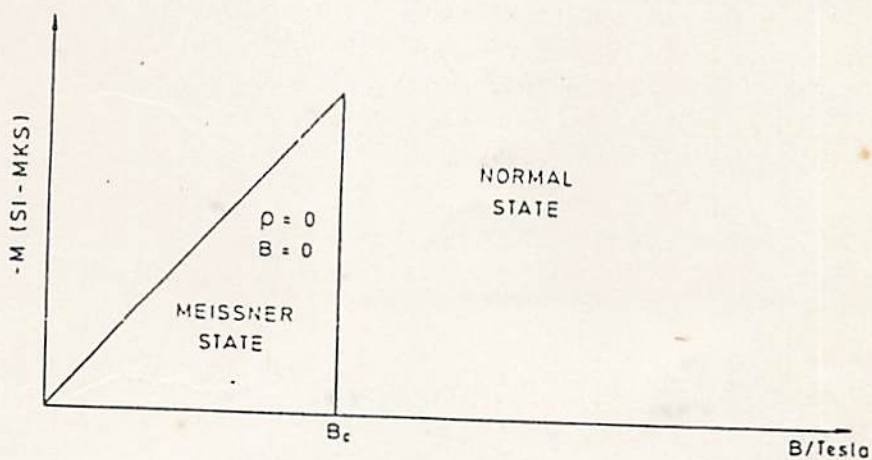
Gambar 2-3. Grafik $B_c(T)$ pada superkonduktor tipe I
 Apabila superkonduktor tipe I ini ditempatkan pada daerah medan magnet, maka garis-garis fluks magnetik akan berlangsung hingga mencapai harga medan magnet kritis B_c yang dimiliki superkonduktor tersebut.

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

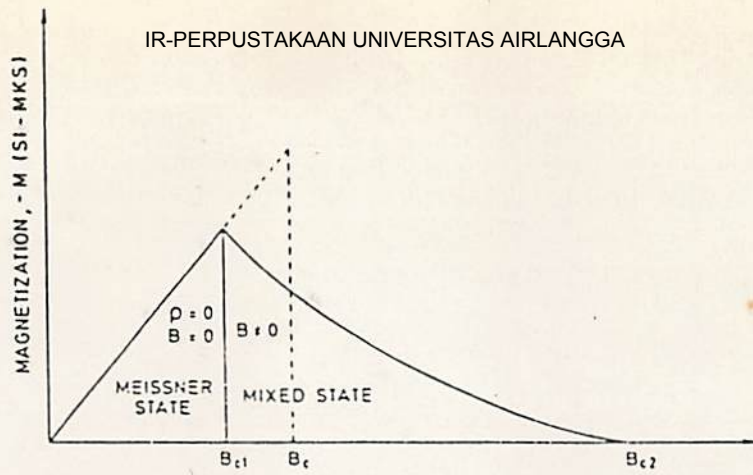
$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) \quad (2-6)$$

dimana \vec{H} , \vec{M} , \vec{B} dan μ_0 secara berturut-turut adalah induksi medan magnet luar, magnetisasi dalam bahan, medan magnet dan permeabilitas hampa ($4\pi \cdot 10^{-7}$).

Efek Meissner-Ochsenfeld ($B = 0$) berkaitan dengan $\vec{M} = -\vec{H}$. Di atas medan kritis B_c , superkonduktor akan menjadi normal kembali, sehingga $\vec{M} = 0$. 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

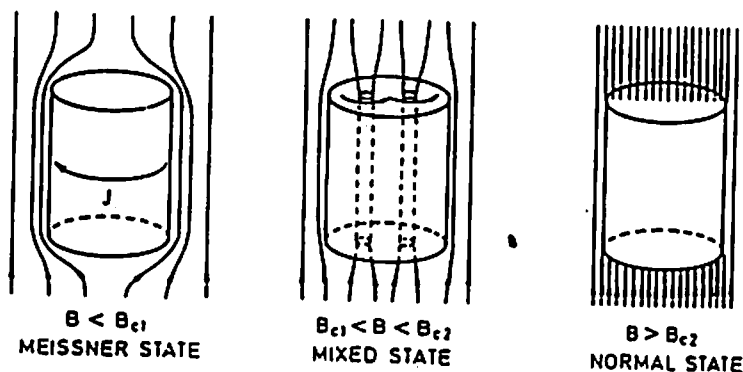
2.3. Superkonduktor Tipe II

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 magnet menembus ke dalam bahan sampai daerah medan kritis B_{c2} . Di atas medan B_{c2} bahan akan kembali menjadi keadaan normal (lihat gambar 2.4 b).

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 vortices (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;

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

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

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

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,

$$E = \Lambda \frac{dJ_s}{dt} \quad (2-9a)$$

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

Λ 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 $\bar{\nabla} \times \bar{E} = - \frac{\partial \bar{B}}{\partial t}$, diperoleh

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

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

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

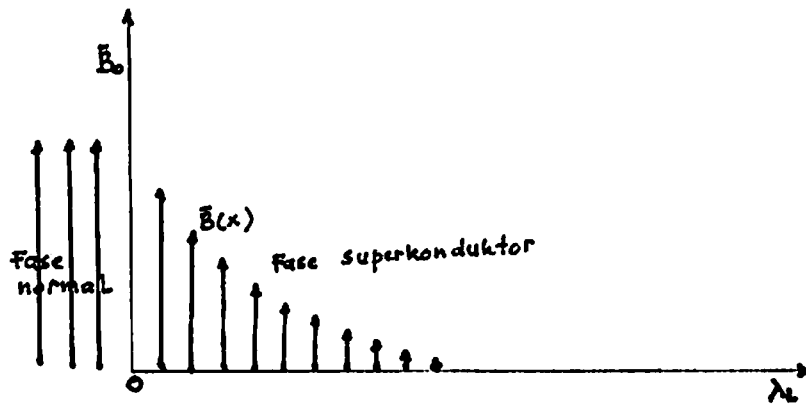
Dengan melakukan operasi "curl" pada persamaan (2-11) dan mengaitkan dengan persamaan (2-10) diperoleh;

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

Solusi persamaan ini adalah,

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

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

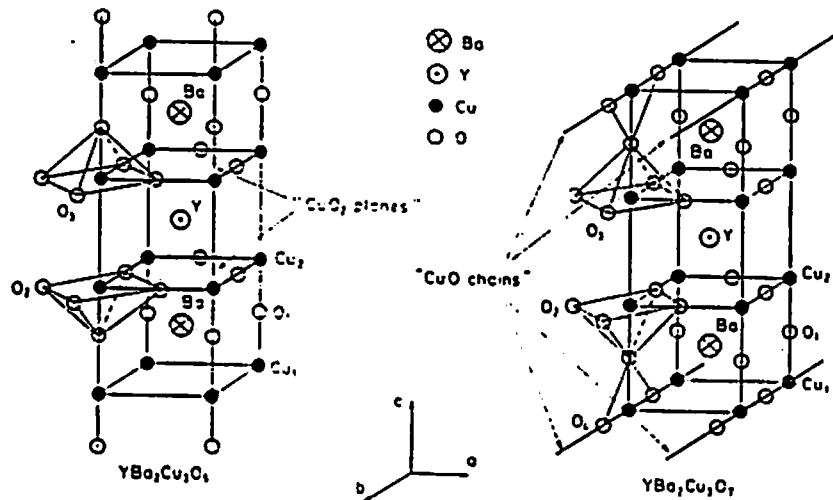
Apabila persamaan (2-13) di substitusikan ke persamaan (2-10) memberikan

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

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 sebagai arus superfluida atau arus super.

2.4. Superkonduktor Oksida Suhu Tinggi (HTSC)

Sebagian besar superkonduktor yang telah dibahas diatas merupakan senyawa logam. Untuk superkonduktor HTSC, kebanyakan berasal dari senyawa oksida [Cyrot & Pavuna, 1992]. Dan sebagian besar HTSC oksida ini, kecuali beberapa bahan (seperti $Ba_{1-x}K_xB_2O_3$), merupakan senyawa Cuprat. Kehadiran oksida Cuprat (CuO_2) ini membentuk lapisan-lapisan dan mendominasi sebagian besar sifat-sifatnya (lihat gambar 2.7).



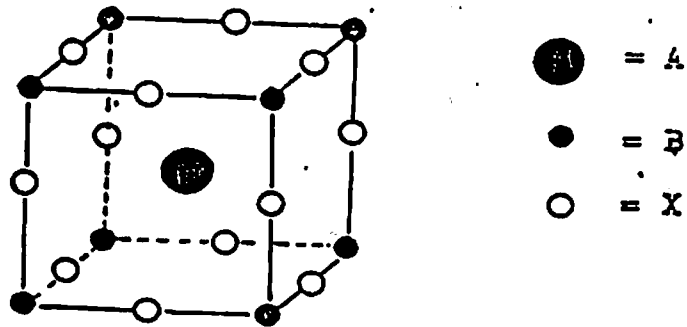
Gambar 2.7. Skema diagram (a) isolator $YBa_2Cu_3O_6$ dan (b) superkonduktor oksida $YBa_2Cu_3O_7$

Ditinjau dari susunan unsurnya, HTSC dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian;

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

Dari segi strukturnya, superkonduktor HTSC memiliki ciri-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 (lihat gambar 2.8). Superkonduktor 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.



Gambar 2.8. Struktur Perovskite ABX_3

b. Semuanya mengandung struktur lapisan CuO yang berkaitan dengan struktur Perovskite dalam sistem bersangkutan. Lapisan ini di duga mempunyai peran yang sangat penting di dalam konduksi du dimensi. Sedangkan jumlah lapisan CuO yang terpisah diduga berhubungan dengan nilai suhu kritis yang dicapai [Chela-Flares, et. al., 1988].

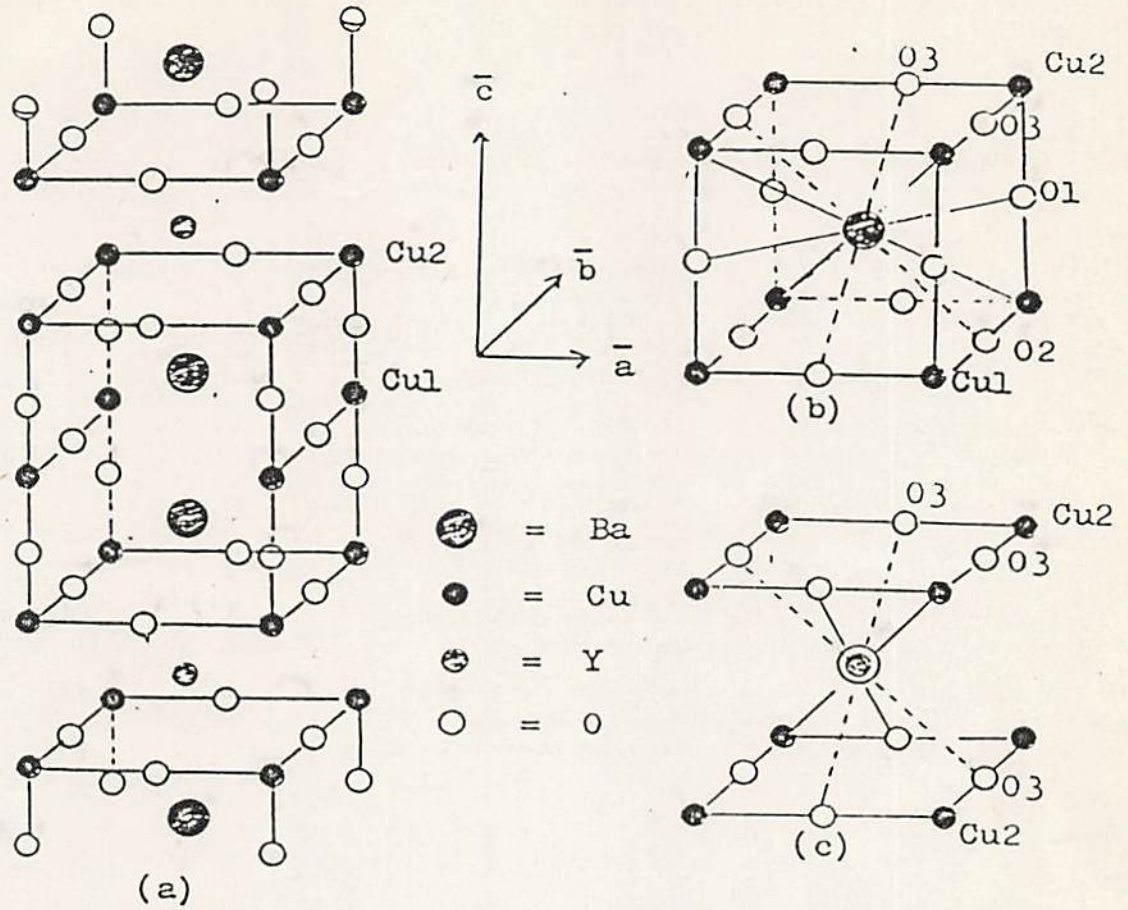
2.5. Struktur Kristal $YBa_2Cu_3O_{7-x}$

Campuran $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ dibentuk melalui reaksi padatan (solid state reaction) antara oksida-oksida: Ba O, Y_2O_3 dan CuO. Struktur kristal campuran $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ menyerupai struktur perevskite (gambar 2.8) yang membentuk tumpukan triplet.

Untuk $0,5 \leq x \leq 1$, sistem kristalnya tetragonal dan bersifat isolator, sedangkan untuk $0 \leq x < 0,5$, sistem kristalnya orthorombik dan bersifat superkonduktif. Sistem $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ memiliki triplet perovskite dalam sel satuannya, tetapi dalam kenyataannya hanya memiliki tujuh oksigen dalam satu satuan sel, bukan delapan, sehingga struktur kristalnya merupakan struktur perovskite yang terdistorsi.

Struktur kristal superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ dapat dipandang sebagai penumpukan dari tiga lapisan perovskite dengan satu bidang atom Ytrium setiap tiga lapisan yang terdiri dari dua jenis satuan tipe perovskite. Gambar 2.9 melukiskan struktur kristal superkonduktor tersebut, yaitu:

- a. Satuan Ba merupakan tipe perovskite kubus regular yang mengandung satu atom Ba pada pusat kubus, sedangkan atom-atom Cu berada pada sudut-sudut kubus dan atom O berada di pertengahan sisi kubus.
- b. Satuan Y mengandung satu atom Y pada pusat kubus, sedangkan atom Cu berada di sudut kubus, tetapi empat atom O yang berada disisi samping kubus berkurang.



Gambar 2.9. Penumpukan lapisan pada struktur $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

(a) Struktur $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

(b) Satuan Ba (koordinasi disekitar atom Ba)

(c) Satuan Y (koordinasi disekitar atom Y)

Sel satuan $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ yang terdiri dari dua satuan Ba dan satu satuan Y tersusun dalam suatu bentuk keteraturan; Ba-Y-Ba sepanjang sumbu c.

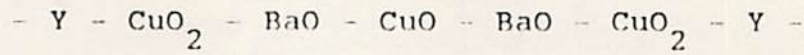
Gambar (2.9 b) memperlihatkan bahwa atom Ba terkoordinasi dengan 12 atom O, yaitu empat atom O(1) terdekat dan empat atom O(3) yang lebih jauh, serta empat atom O(2) yang paling jauh.

Atom Ba biasanya terkoordinasi enam sampai 12 atom oksigen. Jarak Ba-O(2) jauh lebih besar dari pada jarak Ba-O(1) yang menunjukkan kelemahan pembentukan ikatan. Hal ini menguntungkan untuk pembentukan cacat oksigen pada titik letak O(2). Dengan kata lain, atom Y terkoordinasi dengan delapan atom O(3) yang membentuk satu prisma tetragonal (gambar 2.9 c). Gambar tersebut juga menampakkan terjadinya pengurangan empat oksigen yang menyebabkan pergeseran O(3) dari bidang Cu menuju ke atom Y, sehingga Cu(2) dan O(3) membentuk suatu bidang yang membelit.

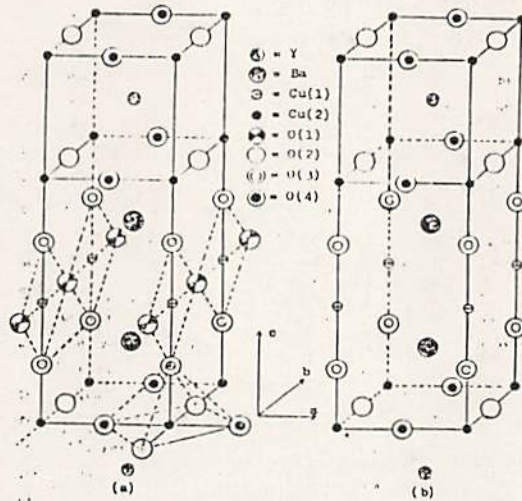
Struktur kristal $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (gambar 2.10 a) untuk $x = 0,0$, dikenal sebagai arthorhombik dengan parameter kisi $a = 3,8250 \text{ \AA}$, $b = 3,8864 \text{ \AA}$ dan $c = 11,6945 \text{ \AA}$ pada suhu kamar [Siswanto, 1994].



Struktur kristal superkonduktor ini mempunyai lapisan dua dimensi (2D):

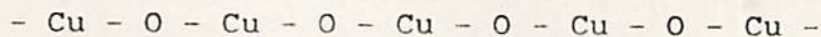


yang menumpuk secara periodik sepanjang sumbu-c.



Gambar 2.10. (a) Sel satuan Orthohombik $YBa_2Cu_3O_{7-x}$
 (b) Sel satuan tetragonal $YBa_2Cu_3O_6$

Lapisan tengah (lapisan CuO) membentuk rantai satu dimensi (1D):

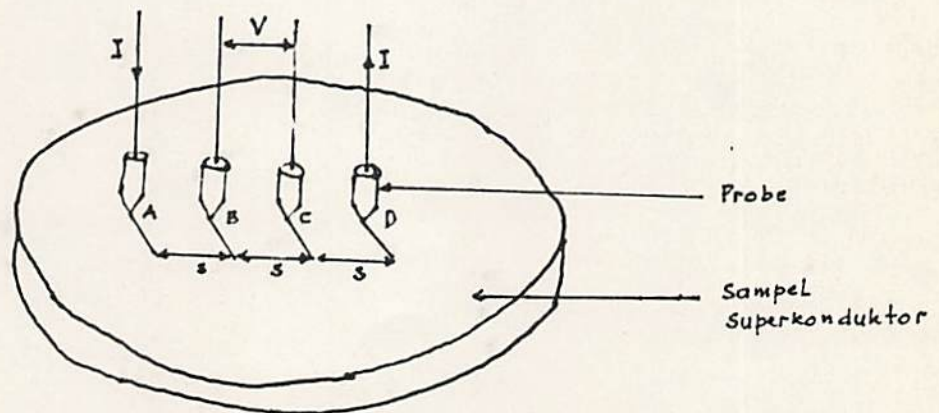


Sepanjang sumbu b dengan Cu (1) ditempatkan pada pusat bidang planar yang dibentuk oleh dua atom O(1) dan dua atom O(3) [disebut satuan Cu O₄]. Atom Cu(2) juga dikelilingi empat atom oksigen, yaitu dua atom O(2) dan dua atom O(4) yang membentuk koplanar dan satu atom O(3), sehingga membentuk konfigurasi piramida.

Bila $Y = 1,0$ struktur kristalnya tetragonal, dimana rantai Cu-O-Cu-O-Cu- menjadi kosong atau satuan CuO_4 tidak ada lagi. Sebagai penggantinya muncul satuan CuO_2 sepanjang sumbu-c oleh atom Cu(1) dari lapisan tengah yang menggunakan O(3) dari lapisan BaO (gambar 2.10 b).

2.6. 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.

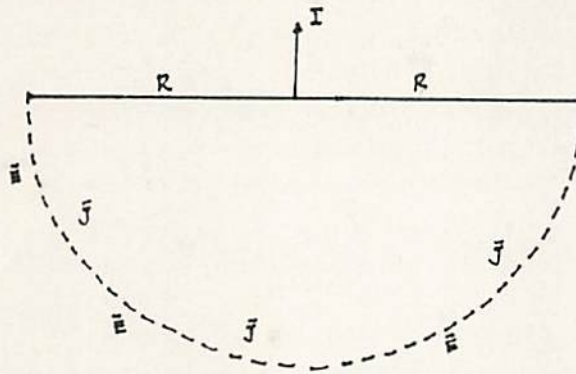


Gambar 2.11. Pengukuran Dengan Metode Empat Probe

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 entragonal.

Disekitar arus I akan terjadi rapat arus \bar{J} dan kuat medan \bar{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,

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

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;

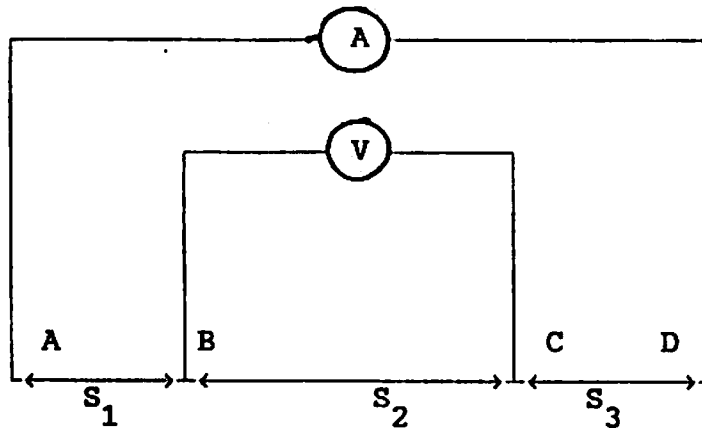
$$V_{(r,z)} = \frac{I\rho}{2\pi R} \quad (2-21)$$

Bila rumus (2-21) diterapkan pada pengukuran empat probe (gambar 2-13), maka beda potensial antara titik B dan C adalah,

$$\begin{aligned}
 V_{BC} &= V_B - V_C \\
 &= \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_1 + s_3} \right\} - \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \frac{1}{s_1 + s_2} - \frac{1}{s_3} \right\} \quad (2-22)
 \end{aligned}$$

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

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



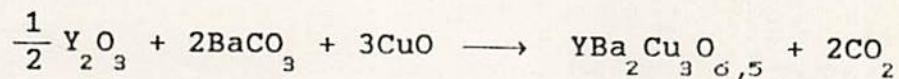
Gambar 2.13. Skema metode Pengukuran Empat Probe

B A B III

M E T O D E P E N E L I T I A N

3.1. 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 3.1). 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;

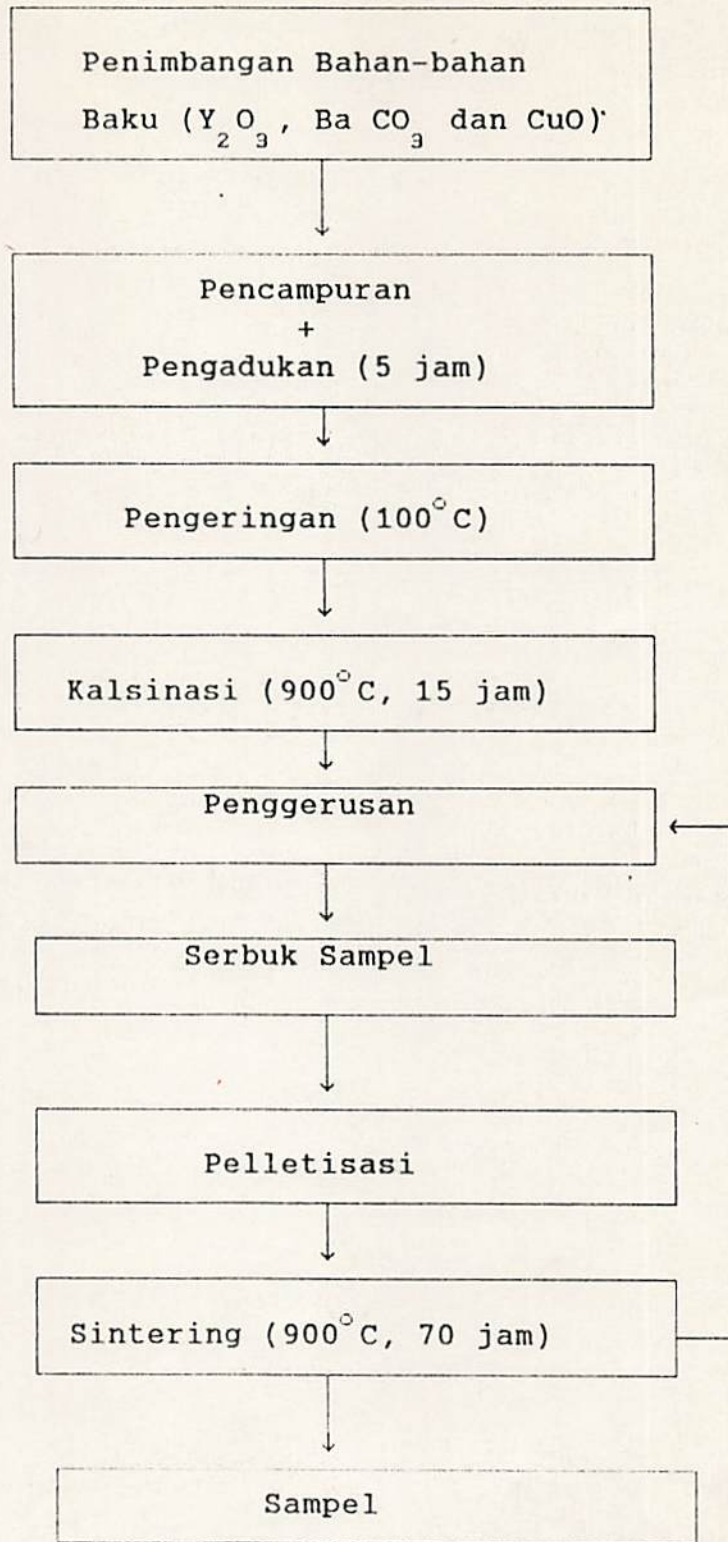
$1/2 \text{ mol } Y_2O_3$	= 112,9041 gr	= 15,13 %.
$2 \text{ mol } BaCO_3$	= 394,6988 gr	= 52,89 %.
$3 \text{ mol } CuO$	= 238,6182 gr	= 31,98 %.

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

$$\begin{aligned} \text{Y}_2\text{O}_3 &= 15,13 \% \times 60 \text{ gr} &&= 9,0780 \text{ gr} \\ \text{BaCO}_3 &= 52,89 \% \times 60 \text{ gr} &&= 31,7340 \text{ gr} \\ \text{Cu O} &= 31,98 \% \times 60 \text{ gr} &&= 19,1880 \text{ gr} \end{aligned}$$

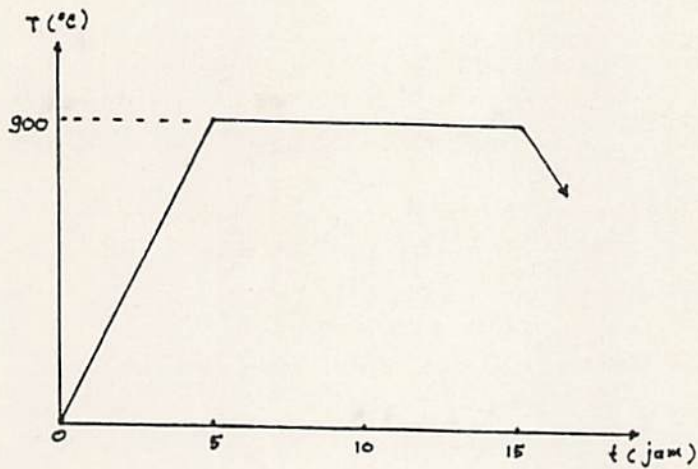
Semua bahan kimia tersebut ditimbang dengan menggunakan neraca analitis Sartorius yang memiliki ketelitian 0,1 m gr.

Bahan-bahan superkonduktor sistem $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ tersebut dicampur dalam beaker yang 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°C selama 4 jam.



Gambar 3.1. Proses Pembuatan Sampel

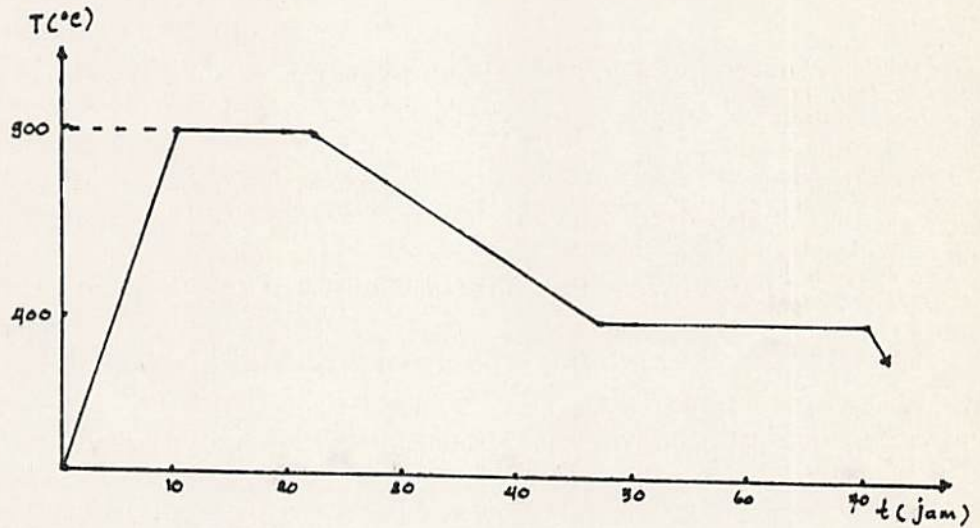
Campuran yang diperoleh selanjutnya dikalsinasi di dalam tungku pada temperatur 900°C selama 15 jam, mengikuti pola gambaran 3.2. Pada saat melakukan kalsinasi, diusahakan terjadi sirkulasi udara di dalam tungku, agar diperoleh superkonduktor sistem $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$.



Gambar 3.2. 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 3.3.



Gambar 3.3. 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.

Jumlah oksigen tiap molekul sampel adalah $7-x$ dan pemanasan ini untuk menentukan harga penyimpangan x . Harga x tersebut menentukan sifat bahan sampel. Untuk x antara $0,0 - 0,5$, sampel bersifat superkonduktor, sedangkan untuk $x > 0,5$ sampel akan bersifat isolator. Selanjutnya temperatur diturunkan dari 400°C sampai temperatur kamar dengan slope garis lurus selama 4 jam.

3.2. Pengukuran Sampel

3.2.1. Uji Efek Meissner

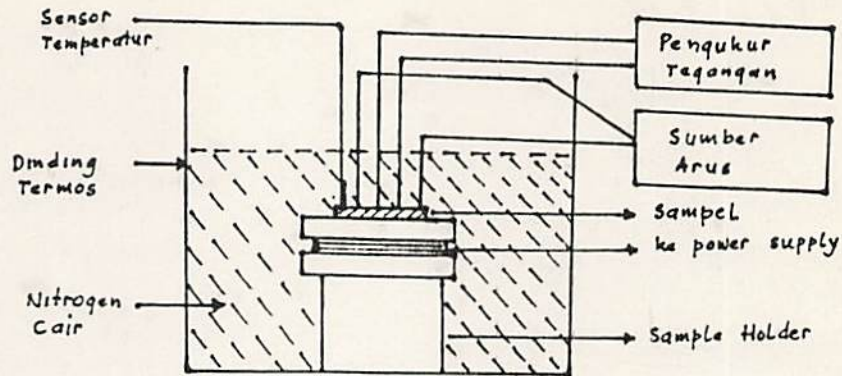
Efek Meissner pada superkonduktor dapat diperlihatkan dengan levitasi magnet. Pengujian efek ini dilakukan dengan meletakkan sepotong magnet kecil di atas sampel yang didinginkan dalam nitrogen cair. Pengamatan dilakukan dengan melihat seberapa besar penolakan sampel terhadap magnet atau dengan kata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

3.2.2. 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 ditentukan daerah kerja pengukuran arus kritis sebagai fungsi temperatur ($I_c(T)$). Alat-alat yang diperlukan dalam pengukuran ini adalah

1. Digital elektrometer advantest TR 8652
2. Sumber arus adventest R 6142
4. 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 sampel superkonduktor

Mula-mula sampel dipasang empat buah elektrode yang diberi jarak 0,5 cm antara elektroda 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 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.

3.2.3. Pengukuran Arus Kritis I_c Sebagai Fungsi Temperatur

Pengukuran arus kritis I_c sebagai fungsi temperatur dilakukan dibawah temperatur kritis T_c , dimana bahan masih menunjukkan sifat superkonduktivitasnya. Di atas temperatur T_c , bahan tidak bersifat superkonduktor lagi. Oleh karena itu, sebelum melakukan pengukuran I_c , pengukuran T_c sampel mutlak diperlukan, untuk menentukan batas atas (maksimum) temperatur. Skema pengukuran I_c sama seperti pengukuran T_c (lihat gambar 3.4.). Elektrode arus dihubungkan dengan sumber arus yang bisa diubah-ubah, sedangkan dua elektrode tengah digunakan untuk mengukur tegangan yang terjadi. Selanjutnya arus yang disuplaikan ke elektrode arus diubah-ubah besarnya dan pada saat bersamaan diamati tegangan yang ditimbulkannya.

Data yang diperoleh ini dilukiskan ke dalam grafik (I-V), dengan I sebagai absis dan V sebagai ordinatnya. Arus kritis I_c ditentukan dari kurva (I-V) tersebut saat terjadi threshold tegangan. Pengukuran I_c ini dilakukan untuk temperatur yang berbeda-beda (tetapi dibawah temperatur kritis T_c), dengan melakukan pengaturan suplai arus ke heater.

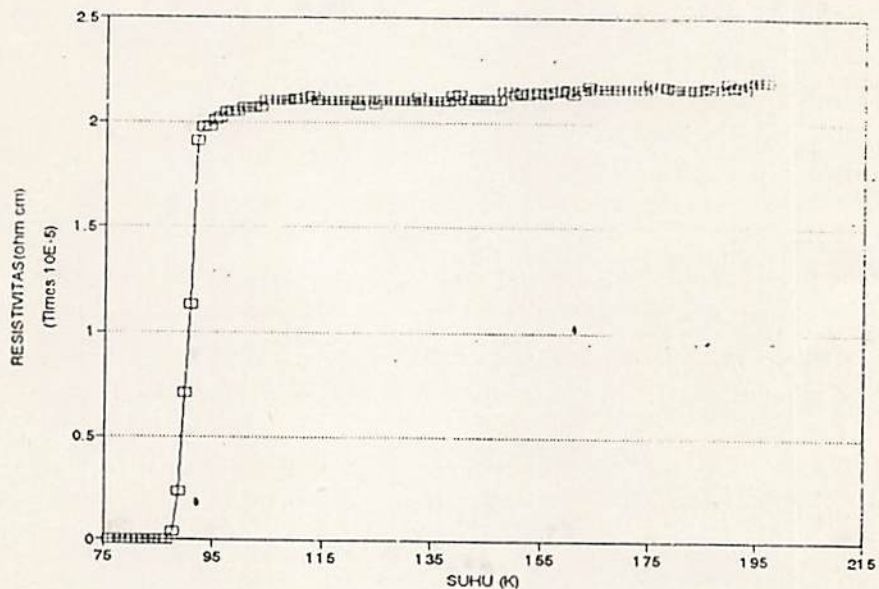
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel yang diuji berbentuk pellet, dengan diameter 20 mm dan tebal 3,4 mm yang sudah mengalami proses sintering dan kalsinasi. Kerapatan dari sampel ini adalah $5,5 \text{ gr/cm}^3$, artinya baru mencapai sekitar 90 % dari kerapatan idealnya $6,2 \text{ gr/cm}^3$ [Usler, 1992].

Hasil uji efek Meissner-Oschenfeld, yaitu meletakkan sepotong magnet di atas superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_2\text{O}_{7-x}$ menunjukkan bahwa magnet dapat melayang diatas sampel ~ 4mm. Hal ini menunjukkan bahwa superkonduktivitas sampel cukup baik. Tinggi rendahnya penolakan superkonduktor terhadap magnet bergantung pada besar kecilnya magnet yang digunakan dan kuat lemahnya sifat superkonduktivitas bahan itu sendiri. Semakin kuat sifat superkonduktivitas bahan, semakin tinggi menolak magnet yang ada disekitarnya. Artinya bahan tersebut akan memiliki temperatur kritis yang semakin tinggi pula. Setelah sampel menunjukkan efek Meissner-Oschenfeld yang cukup baik, selanjutnya dilakukan pengukuran temperatur kritis T_c . Pengukuran dilakukan dengan metode empat probe.

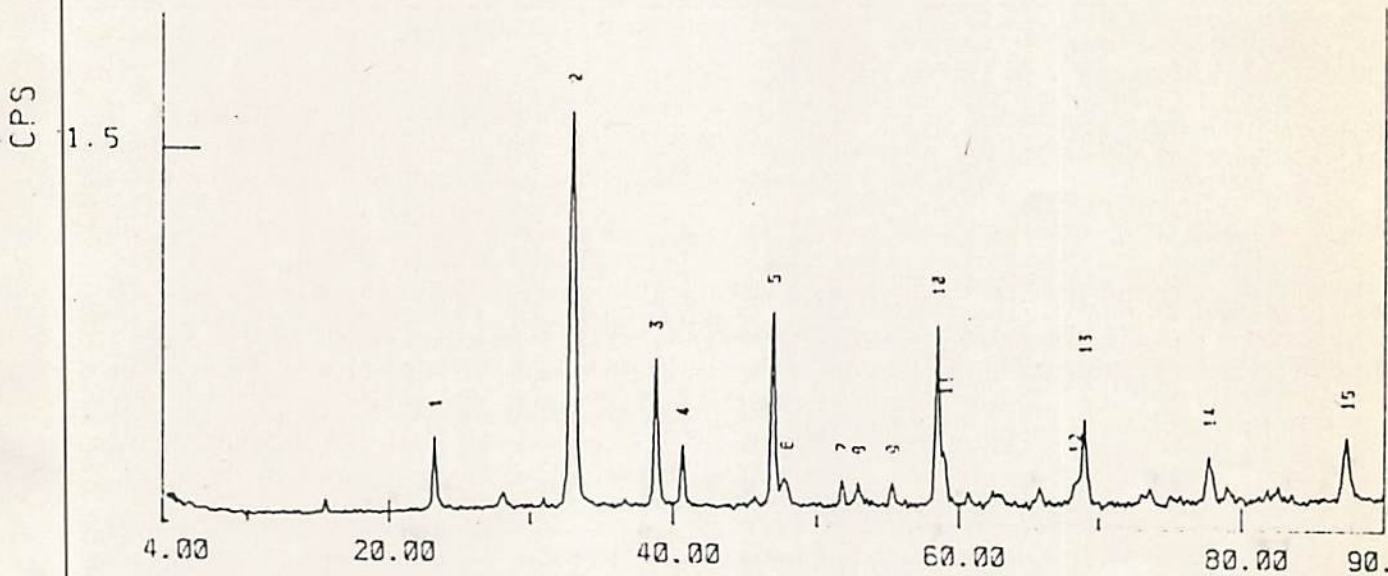
Data hasil pengukuran ini dapat dilihat pada lampiran I. Dari data tersebut dibuat grafik resistivitas versus temperatur, yang hasilnya seperti tampak pada gambar 4.1. Dari gambar 4.1. tampak bahwa temperatur kritis T_c sampel yang dibuat adalah 88 K. Bila dibandingkan dengan temperatur kritis tertinggi yang pernah dicapai $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, sampel ini memiliki perbedaan 4 K dibawahnya (T_c tertinggi sistem $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ adalah 92 K). Perbedaan ini mungkin disebabkan oleh perlakuan proses yang dilakukan, sehingga memiliki perbedaan porositas dan homogenitas yang tidak merata.



Gambar 4.1. Grafik resistivitas versus temperatur

Untuk memperkuat bahwa sampel yang kita buat memiliki superkonduktivitas baik, dilakukan uji XRD. Pengukuran ini dilakukan dilaboratorium Fisika Terapan LIPI Bandung.

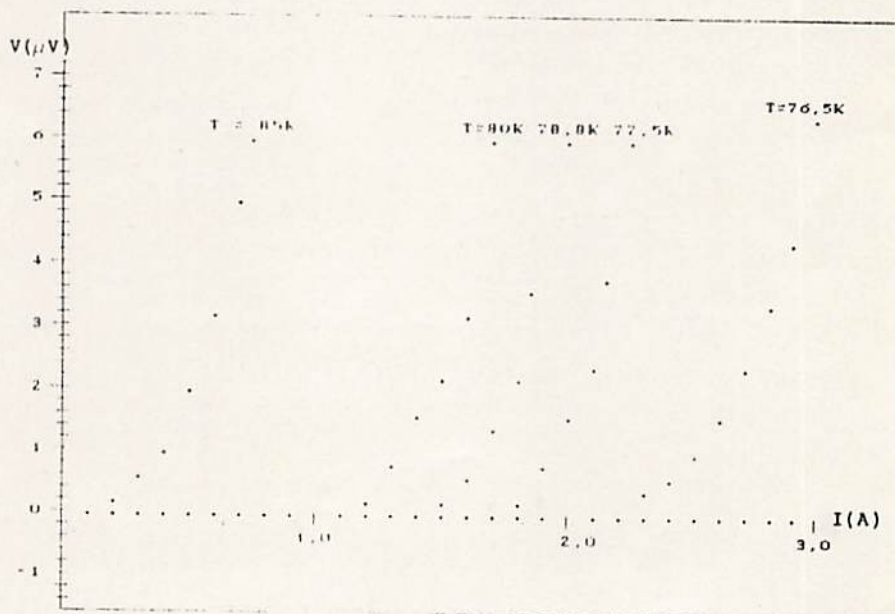
Alat tersebut beroperasi pada tegangan 40 KV dan kuat arus 30 mA, dengan radiasi Cu $K\alpha$ pada panjang gelombang $\lambda = 1,5405 \text{ \AA}$. Data XRD yang diperoleh dapat dilihat pada lampiran II, sedangkan pola difraksinya diperlihatkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Pola Difraksi sinar x sampel

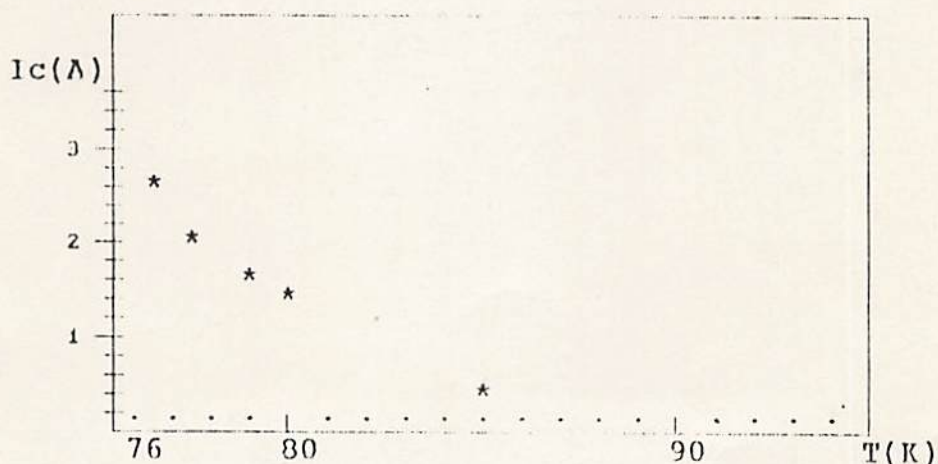
Setelah dilakukan perhitungan, diperoleh parameter kisi struktur kristal Orthorhombik $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ yaitu; $a = 3,8131 \text{ \AA}$; $b = 3,8106 \text{ \AA}$ dan $c = 11,5979 \text{ \AA}$. Artinya diperoleh struktur orthorhombik yang triplet-perovskite ($a=b=3c$), sesuai dengan yang telah ditemukan Wu, et.al., [1988].

Dari serangkaian uji pengukuran di atas, sampel telah menunjukkan sifat-sifat yang baik. Selanjutnya dilakukan pengukuran arus kritis sebagai fungsi temperatur $I_c(T)$, yang dilakukan dibawah temperatur kritis T_c 88 K. Pengukuran dilakukan pada 5 titik, yaitu 76,5 K, 77,5 K, 78,8 K, 80 K dan 85 K. Data-data hasil pengukuran tersebut dapat dilihat pada lampiran III. Dari data tersebut kemudian diplot menjadi grafik arus tegangan seperti tampak pada gambar 4.3. Arus kritis diperoleh pada saat terjadi threshold arus, pada temperatur 76,5 K, 77,5 K, 78,8 K, 80 K dan 85 K secara berturut-turut adalah 2,5 A; 2,0 A; 1,7 A; 1,4 A dan 0,3 A.



Gambar 4.3. Kurva arus tegangan (I-V) sampel pada beberapa temperatur

Ketergantungan arus kritis terhadap temperatur ini bila diplot dalam grafik (lihat gambar 4.4) menunjukkan hampir linear, khususnya yang dekat dengan temperatur kritis T_c . Ketergantungan arus kritis pada temperatur superkonduktor bergantung pada sifat-sifat bahan. Kebanyakan bahan superkonduktor adalah polikristalin, dengan butiran-butiran yang terpisahkan oleh bahan non superkonduktor. Jika bahan non superkonduktor tersebut bersifat seperti logam, maka akan membentuk sambungan superkonduktor-metal-superkonduktor (SMS), dimana prakiraan nilai I_c sebanding dengan $(1 - T/T_c)^2$ pada temperaturi dekat T_c sebanding dengan $(1 - T/T_c)$. Dengan demikian, ketergantungan arus kritis terhadap temperatur superkonduktor-isolator-superkonduktor (SIS).



Gambar 4.4. Ketergantungan arus kritis pada temperatur

B A B V

K E S I M P U L A N D A N S A R A N

5.1. Kesimpulan

Dari serangkaian 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. Sampel superkonduktor yang digunakan dalam penelitian ini cukup baik. Hal ini ditunjukkan oleh uji efek Meissner yang menolak magnet ~ 4 mm, temperatur kritis $T_c \sim 88$ K, dan uji struktur bahan dengan XRD menunjukkan struktur orthohombik yang bersifat triplet-perovskite ($a = 3,8131 \text{ \AA}$, $b = 3,8306 \text{ \AA}$ dan $c = 11,5979 \text{ \AA}$).
2. Perubahan temperatur bahan akan mempengaruhi besarnya arus kritis I_c , meskipun perubahan temperatur tersebut dilakukan dibawah temperatur kritisnya. Dari hasil yang telah dilakukan pada temperatur 76,5 K, 77,5 K, 78,8 K, 80 K, dan 85 K secara berturut-turut arus kritisnya adalah, 2,5 A; 2,0 A; 1,7 A; 1,4 A; dan 0,3 A.

3. Ketergantungan arus kritis I_c terhadap temperatur bersifat linear di daerah dekat temperatur kritisnya.

5.2. Saran - saran

Pengukuran arus kritis sebagai temperatur ini mungkin dapat ditingkatkan kualitasnya dengan membentuk sampel yang homogenitasnya tinggi. Jika hal ini sulit dilakukan, mungkin dapat diakali dengan mengubah bentuk sampel pellet menjadi "tape", sehingga kita dapat memilih titik-titik yang memiliki karakteristik (I-V) terbaik.

D A F T A R P U S T A K A

- Anwari, N.R.A., *Sintesis Superkonduktor Fase Tc Tinggi Sistem BiSrCaCuO Dengan Menggunakan Metode Kimia Rute Sol-Gel Sitrat*, Skripsi S1 ITB, 1993.
- Barmawi, M., *Diktat Fisika Semikonduktor*, Jurusan Fisika ITB Bandung, 1989.
- Barmawi, M., M. Budiman, U.M. Ratag, Toto Winata, Sukirno, Sri Jatmiko, *Karakterisasi Film Tipis Superkonduktor Tc Tinggi*, Laporan DP3M, 1993.
- Chela-Flores, J.P. Martin, and J.J. Rodriguez Nunez, *Int. J. Mod. Phys*, BI, 5 (1988).
- Cyrot, M and D. Pavuna, *Introduction to Superconductivity And High Tc Materials*, Wolrd Scientific, 1992.
- de Vries, J.Wc, M.A. Gijs, G.M. Stollman, T.S. Baller and G.N.A. Van Veen, *J. Appl. Phys.* 64, 1988.
- Erawati, P., Soekandar, Trisnaningsih, W. Ratnayanti, S..D Astuti, *Pengukuran Arus Kritis Superkonduktor Keramik Tc Tinggi Sistem $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ Dengan Metode Empat Probe*, OPF Unair, 1996.
- Fourier, P. and M. Aubin, *Rev. Sci. Instrum.* 65(4), 1994.
- Maeda, H, Y. Tanakan, M. Fukutomi, and T. Asano, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 27, 1988.
- Sheng, Z.Z, and A.M. Herman, *Nature* 332, 1988.
- Sihombing, E., *Sintesa Dan Karakterisasi Superkonduktor Keramik Sistem Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O*, Tesis S-2 Fisika ITB, 1991.
- Siswanto, *Pengukuran Arus Kritis Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ Pada Temperatur Nitrogen Cair*, Fisika Unair, 1994.
- Tjia, M.O., *Sintesis Bulk Dan Doping Superkonduktor*, Laporan Penelitian ITB, 1994.
- Usler, S., *Preparasi Dan Karakterisasi Superkonduktor Sistem $YBa_2Cu_3O_{7-x}$* , Tesis S-2 Fisika ITB, 1992.
- Wang, L and S.K. Dhali, *Supercond. Sci. Technol.*, 6, 1993.
- Nu, M.K, J.R. Ashburu, and C.W. Chu, *Phys. Rev. Lett.*, 58, 1988.

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

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

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

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

LAMPIRAN II

Data Difraksi Sinar X Bahan Superkonduktor YBCO

No. Puncak	2θ (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

LAMPIRAN III

Data Pengukuran Arus Kritis I_c (T)

I (Ampere)	T=76,5K	T=77,5K	T=78,8K	T=80K	T=85K
	V(μ V)	V(μ V)	V(μ V)	V(μ V)	V(μ V)
0,1	0	0	0	0	0
0,2	0	0	0	0	0,2
0,3	0	0	0	0	0,6
0,4	0	0	0	0	1,0
0,5	0	0	0	0	2,0
0,6	0	0	0	0	3,1
0,7	0	0	0	0	4,9
0,8	0	0	0	0	6,3
0,9	0	0	0	0	
1,0	0	0	0	0	
1,1	0	0	0	0	
1,2	0	0	0	0	
1,3	0	0	0	0,2	
1,4	0	0	0	0,7	
1,5	0	0	0	1,6	
1,6	0	0	0,1	2,1	
1,7	0	0	0,6	3,1	
1,8	0	0	1,3	5,9	
1,8	0	0,2	2,1		
1,9	0	0,7	3,6		
2,0	0	1,5	6,0		
2,1	0	2,4			
2,2	0,1	3,8			
2,3	0,3	5,9			
2,4	0,6				
2,5	1,0				
2,6	1,6				
2,7	2,4				
2,8	3,1				
2,9	4,3				
3,0	6,4				

01 OCT 1997

PAMERAN

SELESAI