

**KESAN PENGGANTIAN Fe SECARA SEPARA
KE ATAS KESUPERKONDUKSIAN
 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7 [(\text{Y}_{1-x}\text{Fe}_x) \text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7]$**

MUN KOK LIM

**DISERTASI INI DIKEMUKAKAN UNTUK MEMENUHI SEBAHAGIAN
DARIPADA SYARAT MEMPEROLEH IJAZAH SARJANA MUDA SAINS
DENGAN KEPUJIAN**

**PROGRAM FIZIK DENGAN ELEKTRONIK
SEKOLAH SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH**

MAC 2004



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

BORANG PENGESAHAN STATUS TESIS@

JUDUL: Kesan Penggantian Fe secara Separa ke atas
Kempekaan konduksian $YBa_2Cu_3O_7 [(Y_{1-x}Fe_x)Ba_2Cu_3O_7]$

Ijazah: Sarjana Muda Sains Dengan Kejuruteraan

SESI PENGAJIAN: 2001/02

Saya MUN KOK LIM

(HURUF BESAR)

mengaku membenarkan tesis (LPS/Sarjana/Doktor/Falsafah)* ini disimpan di Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut:

1. Tesis adalah hakmilik Universiti Malaysia Sabah.
2. Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dibenarkan membuat salinan untuk tujuan pengajian sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat salinan tesis ini sebagai bahan pertukaran antara institusi pengajian tinggi.
4. **Sila tandakan (/)

SULIT

(Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di dalam AKTA RAHSIA RASMI 1972)

TERHAD

(Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan)

TIDAK TERHAD

Disahkan oleh

[Signature]
 (TANDATANGAN PENULIS)

 (TANDATANGAN PUSTAKAWAN)

Alamat Tetap: 13-4-3, Jln. 1/78
Off - Jln. Istana Block 3 PPR

Sq. BES: 5710 KL

 Nama Penyelia

Tanah: 12-03-04

Tarikh: _____

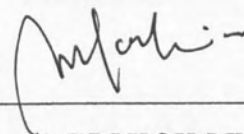
- CATATAN:
- * Potong yang tidak berkenaan.
 - ** Jika tesis ini SULIT atau TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh tesis ini perlu dikelaskan sebagai SULIT dan TERHAD.
 - @ Tesis dimaksudkan sebagai tesis bagi Ijazah Doktor Falsafah dan Sarjana secara penyelidikan, atau disertasi bagi pengajian secara kerja kursus dan penyelidikan, atau Laporan Projek Sarjana Muda (LPSM).



PENAKUAN

Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang setiap satunya telah dijelaskan sumbernya.

13 Mac 2004



MUN KOK LIM

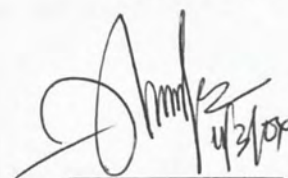
HS 2001-2411

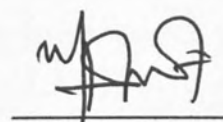


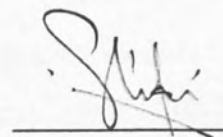
DIPERAKUKAN OLEH

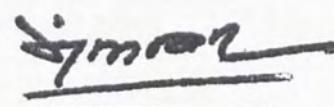
Tanda tangan

1. PENYELIA
(En. Alvie Lo Sin Voi)
2. PEMERIKSA 1
(Pn. Zulistiana Zulkifli)
3. PEMERIKSA 2
(En. Saafie Salleh)
4. DEKAN
(Prof. Madya Dr. Amran Ahmed)











PENGHARGAAN

Secara ikhlasnya, saya amat bersyukur bahawa saya telah berjaya menyiapkan projek tahun akhir ini atas kerjasama, bantuan dan nasihat pihak dan individu tertentu sepanjang penyelidikan ini dijalankan. Saya ingin mengambil kesempatan ini untuk menyampaikan setinggi-tingginya penghargaan saya kepada mereka yang terlibat.

Pertama, saya ingin menunjukan jutaan terima kasih kepada penyelia saya, En. Alvie Lo Sin Voi yang banyak memberikan bimbingan dan dorongan kepada saya dalam menjayakan projek ini.

Tidak dilupakan juga penghargaan saya kepada Prof. Madya Dr. Roslan Abd. Shukor dari UKM yang telah memberikan tunjuk ajar dan memberikan kemudahan dalam menggunakan alat radas dalam makmal Fizik Gunaan di UKM. Begitu juga dengan cik Azila, seorang pelajar senior di UKM.

Jutaan terima kasih ingin saya sampaikan juga kepada pensyarah-pensyarah Program Fizik Dengan Elektronik atas bantuan dan sokongan yang diberikan, pembantu makmal, En. Ahmad Manik, En. Rahim dan En. Jimmy yang menyediakan segala kemudahan peralatan dalam menjayakan penyelidikan ini.

Akhir sekali, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada rakan-rakan seperjuangan dan seisi keluarga saya yang banyak memberi sokongan moral dan bantuan dalam menjayakan projek ini. Segala kerjasama akan sentiasa dikenang.



ABSTRAK

Kajian terhadap kesan penggantian ferum secara separa ke atas kesuperkonduksian sistem $(Y_{1-x}Fe_x)Ba_2Cu_3O_7$ dengan komposisi $x = 0.1, 0.2$ dan 0.3 telah dilakukan. Sampel kajian disediakan melalui kaedah tindak balas keadaan pepejal dengan menggunakan serbuk logam oksida yang berketulenan 99.99%. Setiap pelet yang terbentuk diuji sifat kerintangan elektrik, ρ pada suhu bilik dengan kaedah Van der Pauw manakala suhu genting, T_c didapatkan melalui kaedah penduga empat titik. Fasa bahan dan perubahan pada parameter kekisi telah dikenal pasti melalui pembelauan serbuk sinar-X. Sifat mensuperkonduksi telah ditunjukkan oleh sistem $(Y_{1-x}Fe_x)Ba_2Cu_3O_7$ bagi semua julat penggantian Fe ($x = 0.1 - 0.3$) dengan T_{c-mula} dan $T_{c-sifar}$ dalam julat suhu 68 K hingga 78 K dan 23 K hingga 39 K masing-masing. Menurut data piawai, sistem $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ fasa 123 tanpa sebarang penggantian menunjukkan $T_c \sim 92$ K. Suhu genting, T_c adalah tertinggi bagi sampel dengan penggantian komposisi Fe, $x = 0.1$ dan semakin menurun dengan penggantian komposisi Fe, x yang semakin bertambah. Ketiga-tiga sampel menunjukkan sifat logam pada suhu bilik dengan kerintangan elektrik berada dalam julat $(5.5381 - 6.5986) \times 10^{-5} \Omega m$ secara relatif. Kajian sifat elektrik menunjukkan bahawa penggantian Fe secara separa ke atas $(Y_{1-x}Fe_x)Ba_2Cu_3O_7$ telah menurunkan suhu genting, T_c dan meningkatkan kerintangan elektrik, ρ pada suhu bilik. Data pembelauan sinar-X menunjukkan fasa 123 telah distabilkan dalam sistem walaupun kandungan fasa 123 berkurangan dengan x dengan kehadiran fasa asing. Kajian parameter kekisi menunjukkan penggantian ion Fe^{3+} yang lebih kecil saiz menyebabkan pengecilan kekisi c sedangkan pengecutan pada kekisi a dan b adalah disebabkan oleh pengurangan kepekatan lohong dalam sistem yang bermakna nisbah bilangan Cu^{2+} kepada Cu^{3+} besar.



ABSTRACT

Experiment on partial substitution of Fe towards superconducting YBCO system 123 phase $(Y_{1-x}Fe_x)Ba_2Cu_3O_7$ with composition of $x = 0.1, 0.2$ dan 0.3 were carried out. These samples were prepared through solid state reaction using metal oxide powder with high purity. Electrical properties of these samples such as room temperature resistivity, ρ and critical temperature, T_c were measured by using Van der Pauw method and four point probe technique. The phases were studied by X-ray diffraction analysis. Superconducting behavior were shown by $(Y_{1-x}Fe_x)Ba_2Cu_3O_7$ system for all substitution ($x = 0.1 - 0.3$) with $T_{c-onset}$ and T_{c-zero} range from $68\text{ K} - 78\text{ K}$ and $23\text{ K} - 39\text{ K}$ respectively. From the standard data, $(Y_{1-x}Fe_x)Ba_2Cu_3O_7$ system 123 phase without any substitution showed $T_c \sim 92\text{ K}$. The highest critical temperature was shown by the sample with composition of $x = 0.1$ and decreases when the Fe substitution increase. These samples showed metallic behavior with room temperature resistivity with range from $(5.5381 - 6.5986) \times 10^{-5}\ \Omega\text{m}$ respectively. Research on the electrical properties showed that partial substitution of Fe towards $(Y_{1-x}Fe_x)Ba_2Cu_3O_7$ system causes critical temperature in decrease but increase of electrical resistivity at room temperature. The powder X-ray diffraction data showed that the $(Y_{1-x}Fe_x)Ba_2Cu_3O_7$ system 123 phase was stabilized even though the 123 phase content decreased with composition of x with the presence of unidentified phases. Substitution of Fe^{3+} ion which is smaller size than Y^{3+} ion caused the decrease in c -axis while the reducing of a and b axis were caused by the decreasing of hole intensity in the system.



KANDUNGAN

Halaman

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1	Pengenalan	1
1.2	Sejarah Perkembangan Superkonduktor	3
1.3	Sifat Asas Superkonduktor	6
1.4	Penggunaan Superkonduktor	8
1.5	Skop kajian	11
1.6	Objektif kajian	11

BAB 2 ULASAN LITERATUR

2.1	Teori Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS)	12
2.2	Kelas-kelas Superkonduktor	14
2.21	Superkonduktor Jenis I	15
2.22	Superkonduktor Jenis II	17
2.3	Sistem Superkonduktor Suhu Tinggi (SST)	19
2.4	Yttrium-Barium-Kuprum-Oksida (YBCO)	21
2.5	Latar Belakang Kajian	23

BAB 3 METODOLOGI

3.1	Pendahuluan	26
3.2	Penyediaan Sampel	26
3.3	Pengukuran Kerintangan Elektrik Pada Suhu Bilik	29
3.4	Pengukuran Suhu Genting, T_c	30
3.5	Kajian Pembelauan sinar-X	33
3.6	Hipotesis Kajian	36

BAB 4 KEPUTUSAN DAN ANALISIS DATA

4.1	Kerintangan Elektrik, ρ Pada Suhu Bilik	39
4.1.1	Analisis Kerintangan Elektrik, ρ Bagi Sampel	39
4.2	Pengukuran Suhu Genting, T_c	41



4.3	Pembelauan Sinar-X (X-Ray Diffraction)	44
-----	--	----

BAB 5 PERBINCANGAN DAN KESIMPULAN

5.1	Perbincangan Kajian dan Ujikaji	48
5.2	Penyediaan Sampel	49
5.3	Kerintangan Elektrik, ρ dan Sifat Elektrik	50
5.4	Suhu Genting, T_c	51
5.5	Pembentukan dan kestabilan fasa 123	55
5.6	Cadangan Kajian	58
5.7	Kesimpulan	58

RUJUKAN		60
----------------	--	----

LAMPIRAN

A	Contoh pengiraan jisim sampel ($Y_{1-x}Fe_x$) $Ba_2Cu_3O_7$	63
B	Data pengukuran kerintangan elektrik, ρ pada suhu bilik dan ralat ketakpastian.	64
	Data pengukuran suhu genting, T_c .	64
C	Pengiraan peratusan kedominan fasa 123	69
	Data Pembelauan sinar-X	70
D	Fotograf Tetimbang Berdigit dan Relau Pemanasan Sampel	71
	Fotograf Diffractometer	72



SENARAI RAJAH

No. Rajah	Halaman
1.1 Graf rintangan elektrik, R melawan suhu, K bagi merkuri.	2
1.2 Ketumpatan fluks dalam bahan (a) diamagnet sempurna, (b) diamagnet biasa dan (c) paramagnet.	7
2.1 Perlakuan medan magnet ke atas superkonduktor Jenis I.	16
2.2 Pemagnetan (M) melawan aruhan magnet untuk superkonduktor Jenis I.	17
2.3 Medan magnet, B melawan suhu, T.	17
2.4 Penusukan separa medan magnet Superkonduktor Jenis II.	18
2.5 Pemagnetan, M melawan aruhan magnet Superkonduktor Jenis II.	19
2.6 Medan magnet, B melawan suhu, T.	19
2.7 Ilustrasi lapisan CuO_2 diapit oleh blok ion dalam SST berasaskan Kuprum oksida.	21
2.8 Struktur satu unit sel YBCO.	23
3.1 Carta aliran bagi proses penyediaan sampel sistem $(\text{Y}_{1-x}\text{Fe}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$.	28
3.2 Susunan litar bagi kaedah Van der Pauw.	30
3.3 Graf rintangan, R melawan suhu, T.	32
3.4 Susunan litar bagi kaedah penduga empat titik.	33
3.5 Skema kaedah pembelauan sinar-X.	34
3.6 Prinsip pembelauan sinar-X, hubungan di antara jarak antara satah, d dan sudut belauan, θ .	34



4.1	Kerintangan elektrik pada suhu bilik melawan komposisi x bagi sampel $(Y_{1-x}Fe_x) Ba_2Cu_3O_7$.	40
4.2	Graf kerintangan elektrik, ρ melawan suhu, T bagi sampel $(Y_{0.9}Fe_{0.1}) Ba_2Cu_3O_7$.	42
4.3	Graf kerintangan elektrik, ρ melawan suhu, T bagi sampel $(Y_{0.8}Fe_{0.2}) Ba_2Cu_3O_7$.	42
4.4	Graf kerintangan elektrik, ρ melawan suhu, T bagi sampel $(Y_{0.7}Fe_{0.3}) Ba_2Cu_3O_7$.	43
4.5	Corak pembelauan serbuk sinar-X sampel $(Y_{0.9}Fe_{0.1}) Ba_2Cu_3O_7$.	45
4.6	Corak pembelauan serbuk sinar-X sampel $(Y_{0.8}Fe_{0.2}) Ba_2Cu_3O_7$.	46
4.7	Corak pembelauan serbuk sinar-X sampel $(Y_{0.7}Fe_{0.3}) Ba_2Cu_3O_7$.	47
5.1	Kombinasi graf kerintangan elektrik, ρ melawan suhu, T bagi sampel $(Y_{1-x}Fe_x) Ba_2Cu_3O_7$ dengan $x = 0.1, 0.2$ dan 0.3 .	53
5.2	Suhu genting permulaan, T_{c-mula} dan suhu genting sifar, $T_{c-sifar}$ melawan komposisi x bagi sampel $(Y_{1-x}Fe_x) Ba_2Cu_3O_7$ dengan $x = 0.1, 0.2$ dan 0.3 .	54
5.3	Graf lebar antara suhu genting, ΔT_c melawan komposisi x bagi sampel $(Y_{1-x}Fe_x) Ba_2Cu_3O_7$ dengan $x = 0.1, 0.2$ dan 0.3 .	54



SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN

T	Suhu
T_c	Suhu genting mensuperkonduksi
$T_{c\text{-mula}}$	Suhu genting mensuperkonduksi permulaan
$T_{c\text{-sifar}}$	Suhu genting mensuperkonduksi pada rintangan sifar
δ	Parameter kandungan oksigen
BCS	Teori Bardeen-Cooper-Schrieffer
SST	Superkonduktor suhu tinggi
2D	Ruang dua dimensi
3D	Ruang tiga dimensi
JAR	Jisim atom relatif
JMR	Jisim molekul relatif
t	Tebal pelet
s	Jarak antara wayar
I	Nilai arus
V	Voltan
R	Rintangan elektrik
ρ	Kerintangan elektrik
Δ	Ralat ketakpastian
XRD	Pembelauan sinar-X (X-Ray Diffraction)
a, b, c	Parameter kekisi
YBCO	Yttrium Barium Kuprum Oksida



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan

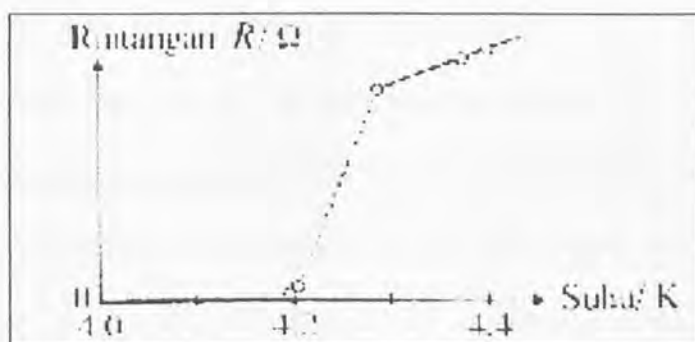
Bagi logam, kekonduksian elektriknya bertambah apabila suhu berkurang, maka wujudnya spekulasi bahawa rintangan suatu logam akan menjadi sifar pada suhu sifar mutlak iaitu 0 K. Ini secara langsung telah memberi kepada pengembangan idea tentang kesuperkonduksian.

Superkonduktor ialah bahan yang (i) berkeupayaan untuk membawa arus elektrik tanpa sebarang rintangan (ii) menunjukkan sifat diamagnet sempurna. Superkonduktor boleh berupa suatu konduktor, semikonduktor ataupun suatu insulator pada keadaan ruang. Kerintangan elektrik superkonduktor akan menjadi sifar apabila mencapai suhu genting, T_c yang cukup rendah di mana suhu genting, T_c yang juga dikenali suhu curie merupakan suhu yang melebihi nilai genting tertentu apabila sesuatu bahan itu mula menjadi superkonduktor (Asiah, 1992). Dengan ketiadaan rintangan elektrik, arus elektrik dibenarkan mengalir dalamnya tanpa mengalami kehilangan sebarang bentuk tenaga.



Superkonduktor juga menunjukkan sifat sebagai bahan diamagnet sempurna di mana bahan diamagnet sempurna berkeupayaan mengeluarkan semua medan magnet yang dikenakan ke atasnya. Medan magnet yang dikenakan dari luar akan dibatalkan oleh medan magnet yang dihasilkan dalam bahan superkonduktor (Ginzburg *et al.*, 1994). Kesan ini disebut kesan Meissner sempena nama ahli sains yang mengemukakan penemuan ini, W. Meissner.

Penemuan fenomena kesuperkonduksian oleh ahli sains Belanda *H.K. Onnes* pada tahun 1911 merupakan penemuan buat pertama kali dan telah memulakan satu era baru bukan sahaja dalam perkembangan bidang superkonduktor tetapi juga dalam bidang sains dan teknologi. Penemuan *H.K. Onnes* dengan fenomena kesuperkonduksian adalah berikutan kejayaan beliau dengan menghasilkan helium cecair pada suhu 4.2 K pada tahun 1908. Beliau mengukur rintangan merkuri tulen pada suhu-suhu yang rendah.



Rajah 1.1 Graf rintangan elektrik, R melawan suhu, K bagi merkuri.

Rintangan elektrik dalam merkuri didapati berkurang apabila suhu berkurang sehingga jatuh dengan mendadak kepada sifar pada suhu 4.2 K seperti yang ditunjukkan dalam

Rajah 1.1. Merkuri pada suhu 4.2 K dikenal sebagai superkonduktor. Suhu $T_c = 4.2$ K disebut suhu genting bagi merkuri di mana merkuri menjadi superkonduktor. Fenomena rintangan elektrik suatu bahan menjadi sifar pada suhu genting masing-masing dikenali sebagai kesuperkonduksian.

1.2 Sejarah Perkembangan Superkonduktor

Selepas penemuan oleh H. K. Onnes pada tahun 1911, beberapa bahan logam lain seperti plumbum, aluminium dan aloi seperti Niobium Nitrat, Nb_3Sn didapati juga mensuperkonduksi dengan tiada sebarang rintangan elektrik pada suhu rendah (Duzer *et al.*, 1999). Walau bagaimanapun, suatu kelemahan menghadkan penggunaan bahan superkonduktor ini secara meluas iaitu superkonduktor yang terdiri daripada logam dan aloi ini mempunyai T_c yang rendah di mana suhu operasi yang rendah ini telah menimbulkan masalah mengkomersilkannya. Antaranya melibatkan kos penyejukan yang tinggi untuk menjadikan bahan tersebut superkonduktor.

Pemahaman teori mengenai kesuperkonduksian bahan superkonduktor dikembangkan buat pertama kali pada tahun 1957 dan mendapat pengiktirafan dunia oleh sekumpulan ahli sains bernama John Bardeen, Leon Cooper dan Robert Schrieffer. Teori ini dikenali sebagai teori BCS telahpun menjadi tulang belakang kepada pemahaman dan kajian seterusnya dalam bidang fenomena kesuperkonduksian.

Pada tahun 1986, suatu era baru dikatakan tercapai dalam bidang kesuperkonduksian apabila superkonduktor dengan suhu genting yang lebih tinggi



(30K) ditemui dalam bahan kuprum oksida oleh J. G. Bednorz dan K. A. Müller, dan dikenali sebagai Superkonduktor Suhu Tinggi (SST). Dengan penemuan ini, wujudnya idea bahawa seramik adalah sejenis bahan penebat yang baik. Maka, perhatian lebih ditumpukan ke atas bahan seramik dalam kajian-kajian seterusnya oleh para saintis dengan anggapan bahan seramik berpotensi menjadi bahan superkonduktor suhu tinggi.

Pada tahun 1987, bahan-bahan yang berasaskan kuprum oksida didapati mensuperkonduksi pada suhu yang melebihi takat didih nitrogen cecair, 78K. Kejayaan ini telah menarik perhatian para saintis dari serata dunia untuk meneruskan usaha penyelidikan dengan tujuan menghasilkan bahan superkonduktor yang boleh bertindak pada suhu genting yang lebih tinggi.

Salah satu superkonduktor suhu tinggi (SST) ialah superkonduktor sistem Y-Ba-Cu-O (YBCO) yang ditemui oleh M.K. Wu dan C.W. Chu pada tahun 1987. Sistem YBCO ialah superkonduktor sistem Iterium yang berasaskan kuprum oksida $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ di mana suhu gentingnya 92K, yang menggunakan cecair nitrogen sebagai pendingin. Dengan penemuan ini, minat dan usaha para saintis dan penyelidik terhadap penyelidikan dalam bidang superkonduktor bertambah giat lagi kerana bahan SST ini memerlukan kos dan teknologi proses pendinginan cecair nitrogen yang lebih murah dan mudah jika berbanding dengan pendingin cecair helium sebelum ini yang kurang efisien. Bahan superkonduktor dengan suhu genting yang lebih tinggi menjadi aspek penting yang diutamakan dalam kajian dan penyelidikan oleh para saintis disebabkan proses penghasilannya adalah lebih mudah dan murah.



Superkonduktor sistem YBCO merupakan satu sistem kompleks yang berpotensi untuk menjadi bahan superkonduktor pada nilai-nilai T_c yang lebih tinggi. Maka, terdapat banyak kajian yang melibatkan proses penggantian dan pendopan komponen-komponen kimia lain ke atas superkonduktor sistem YBCO telah dijalankan bagi mencapai tujuan tersebut. Penyelidikan ke atas sistem YBCO yang terulung di Malaysia, telah dilakukan di Makmal Pepejal Sains Fizik, Universiti Pertanian Malaysia yang berjaya mencapai suhu genting 100K. (Penyelidikan U.P.M., 1987 dalam Lally *et al.*, 1991).

Bidang kesuperkonduksian dimajukan lagi apabila kelas-kelas sebatian seramik disintesis di bawah suhu genting setinggi 125 K. Sehingga hari ini terdapat beberapa sistem superkonduktor suhu tinggi dengan suhu genting, T_c melebihi suhu genting sistem YBCO yang telah ditemui termasuk:

- I. Sistem bismut strontium kalsium kuprum oksida (BSCCO), $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan T_c 110K.
- II. Sistem talium barium kalsium kuprum oksida (TBCCO) dengan T_c 125K.
- III. Sistem merkuri barium kalsium kuprum oksida (Hg-Ba-Ca-Cu-O) dengan T_c 134K.

Penemuan superkonduktor kuprum oksida sistem merkuri dengan $T_c \sim 134\text{K}$ merupakan bahan superkonduktor dengan T_c yang tertinggi sehingga catatan hari ini.



1.3 Sifat Asas Superkonduktor

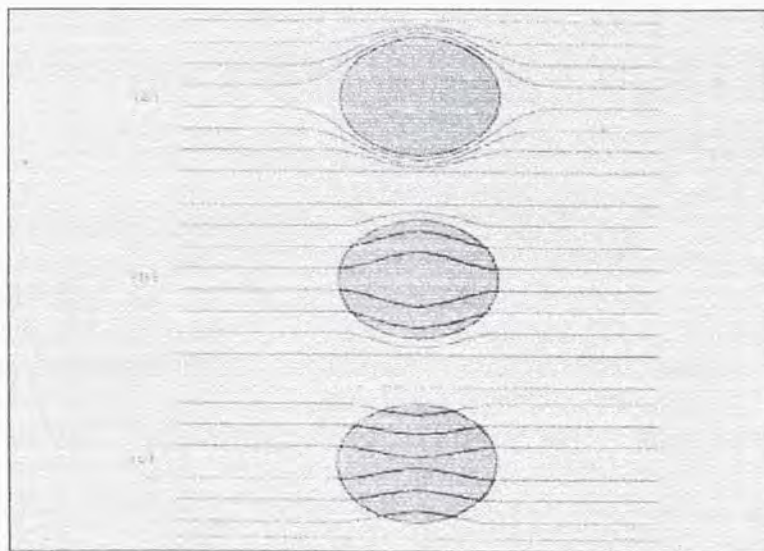
Seperti yang diketahui, kesuperkonduksian merujuk kepada ciri-ciri unik yang terkandung dalam kebanyakan unsur dan aloi. Antaranya, menunjukkan rintangan sifar bagi suatu aliran arus elektrik di bawah suhu genting, T_c . Di samping itu, superkonduktor mempamerkan sifat diamagnet sempurna iaitu keupayaan menolak medan magnet. Dengan adanya kedua-dua sifat keistimewaan ini, kesuperkonduksian hanya boleh tercapai di bawah suhu genting, T_c ($T \leq T_c$) dan medan magnet genting, H_c ($H \leq H_c$) di mana masing-masing adalah berbeza magnitudnya mengikut jenis bahan. Selain itu, terdapat satu faktor yang mempengaruhi sifat kesuperkonduksian suatu bahan iaitu ketumpatan arus di mana ketumpatan arus yang dilalui pada superkonduktor tidak boleh melebihi ketumpatan arus genting, J_c bagi superkonduktor tersebut ($J \leq J_c$).

Penemuan fenomena oleh W. Meissner dan R. Ochsenfeld di mana apabila suatu magnet diletakkan di atas superkonduktor yang telah disejukkan ke bawah suhu genting, ia didapati terapung di atasnya dikenali sebagai kesan Meissner. Ini dijelaskan oleh sifat diamagnet sempurna yang dipamerkan oleh bahan superkonduktor dalam keadaan mensuperkonduksi, iaitu medan magnet yang dikenakan akan ditolak keluar dari pedalaman bahan superkonduktor tanpa mengambil kira tertib medan itu. Menurut Hukum Lenz, penggunaan medan magnet pada pengkonduksi elektrik menghasilkan arus yang cenderung menentang medan yang dikenakan (Abu, 1995). Di bawah keseimbangan terma, suatu superkonduktor dalam medan magnet dengan keamatan sederhana akan mewujudkan arus permukaan.



Arus permukaan ini akan menghasilkan medan magnet dalam bahan superkonduktor dan seterusnya membatalkan sebarang medan magnet luar tersebut.

Rajah 1.2 meringkaskan perbezaan di antara bahan diamagnet sempurna, diamagnet biasa dan paramagnet di bawah tindakan medan magnet. Secara ringkasnya, bahan diamagnet biasa hanya bertindak mengurangkan ketumpatan fluks magnet yang dikenakan ke atasnya tetapi bahan diamagnet sempurna pula bertindak mengeluarkan semua medan magnet yang dikenakan ke atasnya. Walau bagaimanapun, kesan Meissner hanya dipatuhi jika medan magnet yang dikenakan adalah kurang daripada medan genting (H_c) bagi bahan superkonduktor itu. Sekiranya medan magnet yang melebihi H_c dikenakan, sebahagian daripada fluks medan magnet itu berupaya menyusuk ke pedalaman bahan superkonduktor dalam bentuk vorteks. Keadaan ini akan membatalkan sifat diamagnet sempurna dan seterusnya memusnahkan kesuperkonduksian bahan superkonduktor tersebut. (Lally *et al.*, 1991).



Rajah 1.2 Ketumpatan fluks dalam bahan (a) diamagnet sempurna, (b) diamagnet biasa dan (c) paramagnet.

1.4 Penggunaan Superkonduktor

Fenomena kesuperkonduksian yang ditemui sejak awal abad ke-20 telahpun mencapai pertumbuhan yang pesat dari segi pemahaman teori mahupun kegunaan. Walau bagaimanapun, bahan hanya boleh mensuperkonduksi apabila disejukkan ke suatu suhu yang terlampau sejuk, telahpun mengehendkan penggunaan dan aplikasinya. Dengan penemuan bahan superkonduktor suhu tinggi (SST) berasaskan kuprum oksida yang boleh beroperasi pada suhu genting yang lebih tinggi, iaitu melebihi suhu cecair nitrogen, 77K, maka penggunaan superkonduktor telahpun berjaya dipertingkatkan lagi.

Secara umumnya, kegunaan superkonduktor boleh dikelaskan kepada dua kategori iaitu peralatan saiz besar dan peralatan saiz kecil. Kegunaan saiz besar adalah seperti sistem keretapi terapung (Maglev), sistem penyimpanan tenaga magnet, pengimejan resonans meanet (MRI) sebagai peralatan unuk perubatan, sistem penghantaran kuasa elektrik dan sebagainya. Manakala peralatan saiz kecil pula dimanfaatkan dalam bidang elektronik sebagai peranti dan komponen elektronik, dalam teknologi filem nipis seperti peranti nanosaat, pengesan fluks magnet dengan sensitiviti yang tinggi dan juga dalam bidang meteorologi.

Antara penggunaan fenomena kesuperkonduksian yang amat memberangsangkan di mana telahpun diaplikasikan dalam hidupan harian kita adalah seperti perkembangan sistem keretapi terapung (Maglev), pengimejan resonan magnet (MRI) dalam bidang perubatan, dan aplikasi simpang Josephson yang begitu luas



kegunaannya dalam peralatan saiz kecil seperti peranti sensitif interferens kuantum superkonduktor (superconducting quantum interference device, SQUID).

Penciptaan keretapi terapung prototaip yang dikenali juga sebagai Maglev adalah berdasarkan kepada prinsip kesan Meissner di mana elektromagnet yang kuat digunakan untuk menyebabkan kenderaan terapung di atas landasan sepanjang pergerakan tanpa geseran. Sifat penolakan medan magnet luar sebagai bahan diamagnet sempurna yang dipamerkan dalam kesan Meissner dan keupayaan untuk membawa arus besar dalam kehadiran medan magnet tinggi menjelaskan kesan pengapungan yang diaplikasi dalam sistem keretapi Maglev (Isaac *et al.*, 1998). Jenis keretapi terapung ini yang mencatat kelajuan lebih tinggi telahpun berjaya mengubah arah teknologi semasa dan meningkatkan kualiti hidup sejajar dengan perkembangan teknologi moden.

Sistem pengimejan resonan magnet (MRI) merupakan alat diagnosis perubatan dan penyelidikan yang diaplikasikan berdasarkan prinsip sistem magnet superkonduktor dalam bidang perubatan dan biomagnetik. MRI memainkan peranan yang penting dalam bidang perubatan selepas ciptaan alatnya yang digunakan untuk tujuan imbasan organ dalaman manusia terutamanya bahagian otak.

Simpang Josephson merupakan suis yang cepat dan digunakan dalam osiloskop pantas yang beroperasi pada 10 GHz. Ia mempunyai struktur sandwich superkonduktor-penebat-superkonduktor yang biasanya penebat adalah bahan yang nipis ($\sim 10\text{\AA}$). Ini membawa implikasi terhadap perkembangan dalam teknologi filem nipis. Peranti interferens kuantum superkonduktor (SQUID) yang diperbuat daripada



SST filem nipis adalah berasas pada kesan Josephson, suatu fenomena kuantum yang membolehkan pembinaan suis dalam julat nanosaat telah dimanfaatkan dalam pengesanan perubahan fluks magnet yang sangat kecil (2.0678×10^{-15} Weber) dan juga sebagai alat pengesan fluks magnet dan peralatan sensitif dalam bidang meteorologi seperti magnetometer dan gradiometer yang sensitif (Braginski, 1998).

Di samping itu, penyelidikan dari semasa ke semasa mengenai superkonduktor menunjukkan bahawa aliran arus dalam satu gegelung akan kekal bertahun-tahun walaupun tiada sumber d.g.e. dibekalkan (Halliday, 2001). Ini adalah kerana tanpa sebarang rintangan elektrik dalam superkonduktor, arus mengalir dalam gegelung tanpa sebarang lesapan tenaga. Ini memberi kemajuan dalam sistem penghantaran kuasa elektrik pada jarak yang jauh dengan kehilangan kuasa yang minimum.

Dengan pemahaman tentang kesuperkonduksian bahan kian meningkat melalui kajian penyelidikan dari semasa ke semasa, boleh dijangkakan bahawa potensi untuk kegunaan superkonduktor adalah terbuka pada masa depan. Juga dijangkakan kegunaan peralatan saiz kecil dapat dikomersilkan secara berkesan disebabkan penyediaan bahan dan sistem kriogenik yang lebih mudah berbanding dengan peralatan saiz besar.



1.5 Skop kajian

Penyelidikan ini merangkumi tiga skop kajian yang perlu dicapai. Antaranya meliputi penyediaan sampel kajian superkonduktor suhu tinggi (SST) sistem Yttrium-Barium-Kuprum-Oksida (Yttrium-Barium-Copper-Oxide) Y-Ba-Cu-O atau YBCO bersama dengan penggantian sebatian Fe_2O_3 secara separa ke atas sistem tersebut. Seterusnya, sifat elektrik sampel SST yang terbentuk tersebut termasuk kerintangan dan suhu genting diukur dengan kaedah Van der Pauw dan kaedah pengukuran empat titik. Akhirnya, pembelauan sinar-X dijalankan ke atas setiap sampel bagi mengkaji kesan penggantian Fe dengan komposisi yang berlainan terhadap pembentukan dan kestabilan struktur fasa 123.

1.6 Objektiviti Kajian

Objektiviti kajian ini adalah untuk menentukan kesan penggantian secara separa sebatian Fe_2O_3 ke atas kesuperkonduksian sampel sistem YBCO dari segi sifat kerintangan elektrik, suhu genting dan kedominan fasa tulen YBCO. Penggantian berkenaan dilakukan secara separa dengan kandungan komposisi Fe, $x = 0.1, 0.2$ dan 0.3 .



BAB 2

ULASAN LITERATUR

2.1 Teori Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS)

Teori mikroskopik superkonduktor pertama yang diterima sebagai teori piawai kesuperkonduksian dikenali sebagai teori Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS) yang dikemukakan oleh sekumpulan ahli sains bernama John Bardeen, Leon N. Cooper dan Robert J. Schrieffer pada tahun 1957. Teori BCS menjadi tulang belakang kepada segala kajian penyelidikan terhadap fenomena kesuperkonduksian, di mana menyatakan bahawa jika elektron bebas berinteraksi secara berkesan sesama sendiri, maka mereka akan mempamerkan

- i) rintangan elektrik sifar
- ii) kesan Meissner
- iii) diamagnet sempurna dalam kehadiran medan magnet lemah (Jha, 1998).

Pemerihalan mikroskopik mengenai mekanisma kesuperkonduksian dalam bahan superkonduktor logam dan aloi termasuk mengapa rintangan elektrik menjadi sifar diterangkan dengan teori BCS. Penemuan teori ini adalah hasil daripada kejayaan



RUJUKAN

- Abu, H. (ptrj.), 1995. *Fizik untuk Jurutera dan Ahli Sains*. Dewan Bahasa Pustaka, Kuala Lumpur.
- Asiah, S. (ptrj.), 1992. *Fizik 2*. Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur.
- Blakemore, J. S., 1974. *Solid State Physics*. Ed. ke-2. W. B. Saunders Company, Philadelphia.
- Braginski, A. I., 1998. Application of high-temperature SQUID magnetometers to nondestructive evaluation and geomagnetic exploration. *Advances in Superconductivity XI* **1**, 9-23.
- Doi, T., Usami, K. and Kamo, T., 1990. Rietveld refinement of structure of $TlSr_2CaCu_2O_7$ by X-ray powder diffraction data. *Jpn. J. Appl. Phy.* **29** (1), L57 – L59.
- Duzer, T. V. dan Turner, C. W., 1991. *Superconductive Devices and Circuits*. Ed. ke-2. Prentice Hall, New Jersey.
- Emsley, J., 1991. *The Elements*. Ed. ke-2. Prentice Hall, New Jersey.
- Giancoli, D. C., 2000. *Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics*. Prentice Hall., Upper Saddle River.
- Ginzburg, V. L. dan Andryushin, A. E., 1994. *Superconductivity*. World Scientific, Singapore.
- Halliday, D., Resnick, R. dan Walker, J., 2001. *Fundamentals of Physics*. Ed. ke-6. John Wiley & Sons, Inc., New York.



- Isaac, I., Ohsaki, H. dan Jung, J., 1998. Current dependence of the effective pinning potential in grain aligned high- T_c superconductors. *Advances in Superconductivity XI* **1**, 279-282.
- Jha, A. R., 1998. *Superconductor Technology: Application to Microwave, Electro-optics, Electrical Machines, and Propulsion Systems*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Lally Raflah Abdullah, Abdul Halim Shaari dan Sidek Hj. Ab. Aziz, 1991. Dibentangkan pada Bengkel Teknologi Sensor dan Seminar Sains Keadaan Pepejal ke-8, Universiti Pertanian Malaysia, Malaysia. *kertaskerja* **1** (3), 13-24.
- Loh, L.K., 2003. *Pembinaan litar untuk mengukur kerintangan dan suhu genting bagi superkonduktor suhu tinggi*. Disertasi Sarjana Muda Sains, Universiti Malaysia Sabah.
- Marezio, M., Licci, F. dan Gauzzi, A., 1998. The effect of chemical pressure on T_c of layered cuprate superconductors. *Advances in Superconductivity XI* **1**, 31-36.
- Miyatake, T., Yamaguchi, K., Wada, T. *et al.*, 1990. Critical current density and microstructure of $YBa_2Cu_3O_8$. *Superconductivity Research Laboratory, International Superconductivity Technology Center Journal* **29**, 531-534.
- Renner, C., Revaz, B., Kadowaki, K. *et al.*, 1998. STM vortex core spectroscopy and non-BCS pairing in high temperature superconductors. *Advances in Superconductivity XI* **1**, 145-150.
- Roslan Abd Shukor, 1996. *Superkonduktor Konvensional dan Suhu Tinggi*. Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur.



- Sheng, Z.Z., Li, Y.F. dan Pederson, D.O., 1991c. Derivatives of $\text{TlSr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_7$ from elemental substitutions of Pb for Tl, La for Sr and Y for Ca. *Solid State Communication* **80** (11), 913-915.
- Suyama, Y., Matsumoto, M. dan Hayakawa, T., 1990. Determination of oxygen content of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ superconductors. *Advances in Superconductivity* **2**, 103-107.
- Suyama, Y., Matsumoto, M., Kageyama, S. *et al.*, 1990. Effect of oxygen deficiency on the superconducting properties of YBCO. *Advances in Superconductivity* **2**, 391-394.
- Tochihara, S., Mashino, M., Yasuoka, H. *et al.*, 1998. Effect of Ca doping on the lower critical field of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$ single crystals. *Advances in Superconductivity XI* **1**, 267-270.
- Tokura, Y., 1991. Material overview of high- T_c oxide. *Physica C* **185-189**, 174-179.
- Turton, R., 2000. *The Physics of Solids*. Oxford University Press Inc., New York.
- Vlaeminck, H., Depla, D. dan Hoste, S., 1991. The Determination of the oxygen content in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ superconductors using thermal analysis. *Laboratory Of General and Inorganic Chemistry Journal* **1** (5), 271-276.
- Wang, X. Z. dan Bauerle, D., 1991. High- T_c Superconducting in $\text{GdBaSrCu}_3\text{O}_7$. *Physica C*. **176**, 507-510.

