

KETUMPATAN ARUS GENTING ANTARA BUTIRAN SUPERKONDUKTOR  
 $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$  DALAM BENTUK PUKAL DAN PITA BERSARUNG  
PERAK DENGAN PENAMBAHAN NANOZARAH MAGNET  $\text{NiF}_2$ ,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$   
DAN  $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  SEBAGAI PUSAT PENGEPINAN FLUKS

MUHAMMAD HAFIZ BIN MAZWIR

DISERTASI YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT  
MEMPEROLEH IJAZAH DOKTOR FALSAFAH

FAKULTI SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA  
BANGI

2015

## **PENAKUAN**

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

31 Julai 2015

MUHAMMAD HAFIZ BIN MAZWIR  
P 62275

## PENGHARGAAN

Alhamdulillah dan segala syukur ke hadrat ilahi atas kesihatan, kesempatan masa dan ketenangan minda ketika meyiapkan kajian ini. Jutaan terima kasih diucapkan kepada penyelia, Prof. Dato Dr. Roslan Abd-Shukor di atas segala tunjuk ajar, bantuan dan dorongan sepanjang penyelidikan ini. Terima kasih atas khidmat kepakaran yang banyak membantu saya menjalankan kajian ini.

Terima kasih juga diucapkan kepada Pn. Zainon Kamazaman, Pn. Faridah Hood dan En. Mohamad Saini Sain dari Pusat Pengajian Fizik Gunaan yang banyak membantu dari segi keperluan makmal. Tidak lupa juga kepada En. Ridhuan dan En. Zaki dari Pusat Penyelidikan UKM yang membantu menjalankan ujian XRD dan SEM.

Saya juga ingin mengucapkan terima kasih yang tidak terhingga kepada rakan-rakan makmal di Pusat Pengajian Fizik Gunaan iaitu Ali Agail, Maryam Ranjbar, Nabil Ahmed, Annas Saeed dan Nur Jannah Azman atas bantuan, dorongan serta perkongsian idea.

Terima kasih khusus diucapkan kepada Kementerian Pendidikan Malaysia dan Universiti Kebangsaan Malaysia di atas geran penyelidikan FRGS/2/2013/SGD2/UKM/01/1 dan UKM-DPP-2014-055.

Jutaan terima kasih juga diucapkan kepada Universiti Malaysia Pahang dan Kementerian Pendidikan Malaysia di atas biasiswa Skim Latihan Akademik IPTA (SLAI) yang diberikan sepanjang pengajian.

Akhir sekali, penghargaan juga ditujukan kepada kedua ibu bapa serta adik-beradik yang telah banyak memberikan sokongan moral, kasih sayang dan galakan selama ini.

## ABSTRAK

Kesan penambahan zarah bersaiz nanometer  $\text{NiF}_2$ ,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  dan  $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  terhadap sifat superkonduktor  $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$  (Bi-2223) dalam bentuk pukal dan pita telah dikaji. Serbuk superkonduktor  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$  telah disediakan menggunakan teknik sepemendakan. Nanozarah  $\text{NiF}_2$ ,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  dan  $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  dengan saiz masing-masing 10 nm, 60 nm dan 20 nm telah ditambah ke dalam superkonduktor  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$  dengan komposisi nominal 0.00, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 dan 0.05% berat. Kesan penambahan nanozarah ke atas pembentukan fasa, mikrostruktur, suhu genting dan ketumpatan arus genting,  $J_c$  dalam medan sifar dan dalam medan magnet telah dikaji. Keputusan pembelauan sinar-X (XRD) menunjukkan sampel dengan penambahan nanozarah  $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  mempunyai pecahan isipadu fasa Bi-2223 tertinggi berbanding sampel lain. Sampel dengan penambahan nanozarah  $\text{NiF}_2$  menunjukkan fasa Bi-2223 yang lebih rendah berbanding dengan sampel tanpa tambahan. Suhu genting sifar,  $T_{c\text{-sifar}}$  bagi sampel tanpa tambahan adalah 97 K. Sampel dengan penambahan nanozarah  $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  0.01% berat menunjukkan  $T_{c\text{-sifar}}$  tertinggi iaitu 102 K yang melebihi suhu genting sifar sampel tanpa tambahan.  $T_{c\text{-sifar}}$  tertinggi bagi sampel dengan penambahan  $\text{NiF}_2$  dan  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  adalah 96 K (0.04% berat) dan 99 K (0.01% berat) masing-masing. Sampel dengan penambahan nanozarah dalam kuantiti yang lain menurunkan nilai  $T_{c\text{-sifar}}$ . Ketumpatan arus genting dalam medan sifar bagi semua sampel dengan penambahan nanozarah adalah lebih tinggi daripada sampel tanpa tambahan. Sampel dengan nilai  $J_c$  maksimum telah dipilih untuk dibuat ke dalam bentuk pita bersarung perak iaitu sampel dengan penambahan 0.04% berat  $\text{NiF}_2$ , 0.01% berat  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  dan 0.01% berat  $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ . Pita disediakan menggunakan kaedah serbuk dalam tiub (PIT) dan dibahagikan kepada dua kumpulan yang disinter pada suhu  $845^\circ\text{C}$  selama 50 dan 100 jam. Analisis XRD menunjukkan kesemua sampel pita mempunyai fasa Bi-2223 sebagai fasa dominan dan fasa sekunder Bi-2212. Kesemua sampel pita menunjukkan nilai  $J_c$  dalam medan sifar sebanyak dua hingga tiga kali lebih tinggi berbanding sampel tanpa penambahan nanozarah. Ini menunjukkan penambahan nanozarah meningkatkan ketumpatan arus genting superkonduktor  $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ . Sampel yang disinter selama 100 jam juga menunjukkan nilai  $J_c$  yang lebih tinggi daripada sampel yang disinter selama 50 jam. Pada suhu 30 K,  $J_c$  pita dengan penambahan nanozarah  $\text{NiF}_2$ ,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  dan  $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  yang disinter selama 100 jam adalah  $17270 \text{ A/cm}^2$ ,  $22420 \text{ A/cm}^2$  dan  $19830 \text{ A/cm}^2$  masing-masing.  $J_c$  pita tanpa tambahan pada suhu 30 K adalah  $8280 \text{ A/cm}^2$ .  $J_c$  berkurang dengan peningkatan suhu akibat daripada rayapan fluks diaktifkan secara terma.  $J_c$  dalam medan magnet bagi pita dengan penambahan nanozarah juga adalah lebih tinggi berbanding pita tanpa tambahan.  $J_c$  menurun apabila kekuatan medan magnet ditambah. Tenaga pengepinan fluks bagi sampel dalam bentuk pukal turut dikira dan tenaga pengepinan tersebut menunjukkan korelasi dengan nilai  $J_c$ . Kajian ini menunjukkan kehadiran nanozarah  $\text{NiF}_2$ ,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  dan  $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  dalam kuantiti yang kecil mampu meningkatkan ketumpatan arus genting superkonduktor  $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ .

**INTERGRAIN CRITICAL CURRENT DENSITY OF  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$  SUPERCONDUCTOR IN BULK AND TAPE FORM WITH ADDITION OF  $\text{NiF}_2$ ,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  AND  $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  MAGNETIC NANOPARTICLES AS FLUX PINNING CENTER**

**ABSTRACT**

The effects of nanometer sized particles  $\text{NiF}_2$ ,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  and  $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  addition on the superconducting properties of  $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$  in bulk and tape form were investigated.  $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$  superconductor powder was prepared using co-precipitation technique.  $\text{NiF}_2$ ,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  dan  $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanoparticles with average sizes of 10 nm, 60 nm and 20 nm respectively were added to the  $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$  superconductor with nominal composition 0.00, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 and 0.05 wt.%. Effect of the nanoparticles addition on the phase formation, microstructure, critical temperature and critical current density,  $J_c$  in zero and applied magnetic field was investigated. X-ray diffraction (XRD) results showed that samples with  $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanoparticle addition have the highest Bi-2223 phase volume fraction compared to other samples. Samples with  $\text{NiF}_2$  nanoparticle addition showed a lower Bi-2223 phase volume fraction compared to the non-added samples. The zero-critical temperature,  $T_{c\text{-zero}}$  for non-added sample was 97 K. The sample with 0.01 wt.%  $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  addition showed the highest  $T_{c\text{-zero}}$  of 102 K, which is higher than the critical temperature for non-added sample. The highest  $T_{c\text{-zero}}$  for samples with  $\text{NiF}_2$  and  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  additions were 96 K (0.04 wt.%) and 99 K (0.01 wt.%), respectively. Samples with nanoparticles addition in other quantities showed a lower  $T_{c\text{-zero}}$  value. Critical current density in self-field for all samples with nanoparticle addition was higher than non-added samples. Samples with the maximum  $J_c$  were chosen to be fabricated into Ag-sheathed tapes which were 0.04 wt.%  $\text{NiF}_2$ , 0.01 wt.%  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  and 0.01 wt.%  $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  added samples. The tapes were prepared using the powder-in-tube (PIT) method and divided into two groups sintered at 845 °C for 50 and 100 h. XRD analysis showed Bi-2223 as the dominant phase in all tape samples, with Bi-2212 as the secondary phase. All tapes showed two to three times higher value of  $J_c$  in zero-field compared with non-added tapes. This shows that the addition of nanoparticles increased the critical current density of  $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$  superconductor. Tapes that were sintered for 100 h also showed a higher value of  $J_c$  compared to tapes that were sintered for only 50 h. At 30 K,  $J_c$  for tapes with  $\text{NiF}_2$ ,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  and  $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  addition sintered for 100 h were 17270 A/cm<sup>2</sup>, 22420 A/cm<sup>2</sup> and 19830 A/cm<sup>2</sup>, respectively.  $J_c$  of non-added tape at temperature of 30 K was 8280 A/cm<sup>2</sup>.  $J_c$  decreased with increasing temperature due to thermal flux creep.  $J_c$  in applied magnetic field of tapes with nanoparticle is also higher compared with non-added tapes.  $J_c$  decreased when the applied magnetic field was increased. Flux activation energy in bulk samples was calculated and it showed correlation with value of  $J_c$ . This work showed that the presence of small amount of  $\text{NiF}_2$ ,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  and  $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanoparticles can increase the critical current density of  $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$  superconductor.

## KANDUNGAN

		<b>Halaman</b>
<b>PENGAKUAN</b>		ii
<b>PENGHARGAAN</b>		iii
<b>ABSTRAK</b>		iv
<b>ABSTRACT</b>		v
<b>KANDUNGAN</b>		vi
<b>SENARAI JADUAL</b>		xi
<b>SENARAI ILUSTRASI</b>		xiii
<b>SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN</b>		xviii
<b>BAB I</b>	<b>Pengenalan</b>	
1.1	Sejarah Superkonduktor	1
1.2	Sifat-sifat Superkonduktor	3
	1.2.1 Kerintangan elektrik sifar	3
	1.2.2 Diamagnet sempurna	4
1.3	Jenis Superkonduktor	6
1.4	Superkonduktor Suhu Tinggi	8
1.5	Wayar Superkonduktor Suhu Tinggi	9
1.6	Pernyataan Masalah	10
1.7	Bidang Kajian	10
1.8	Objektif Kajian	11
<b>BAB II</b>	<b>KAJIAN LATAR BELAKANG DAN TEORI</b>	
2.1	Pengenalan	12
2.2	Teori-teori Superkonduktor	12
	2.2.1 Teori Bardeen-Cooper-Schrieffer (Teori BCS)	14
2.3	Kesan Josephson Dalam Superkonduktor	16
2.4	Vorteks di dalam Superkonduktor Suhu Tinggi	17
	2.4.1 Pergerakan Vorteks dan Pengepinaan Fluks	18
	2.4.2 Pengepinaan Fluks oleh Nanozarah Magnet	22

2.5	Model Angkutan Arus dalam Pita Superkonduktor Suhu Tinggi	23
2.5.1	Model Dinding Bata	23
2.5.2	Model Suis Landasan Keretapi	24
2.6	Superkonduktor Sistem BSCCO	26
2.7	Nanozarah NiF <sub>2</sub> , CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> dan Co <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	28
<b>BAB III</b>	<b>KAJIAN LITERATUR</b>	
3.1	Pengenalan	30
3.2	Penyediaan bahan superkonduktor sistem BSCCO	30
3.3	Penggantian separa pada bahagian kuprum	34
3.4	Faktor yang mempengaruhi $J_c$ pita superkonduktor	36
3.5	Penambahan nanozarah sebagai pusat pengepitan fluks	38
3.5.1	Zarah bersaiz nanometer sebagai pusat pengepitan fluks	38
3.5.2	Nanozarah magnet sebagai pusat pengepitan fluks	42
<b>BAB IV</b>	<b>KAEDAH UJI KAJI</b>	
4.1	Pengenalan	45
4.2	Kaedah penyediaan sampel	45
4.2.1	Penyediaan serbuk pelopor melalui kaedah sepemendakan	45
4.2.2	Penambahan nanozarah dan pembentukan sampel pukal	47
4.2.3	Penyediaan pita	48
4.2.4	Pensinteran pita	54
4.3	Pencirian sampel	55
4.3.1	Pembelauan Sinar-X	55
4.3.2	Mikroskop Elektron Imbasan	56
4.3.3	Pengukuran rintangan elektrik	57
4.3.4	Pengukuran ketumpatan arus genting, $J_c$	58

<b>BAB V</b>	<b>KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>	
5.1	Pengenalan	60
5.2	Analisis pembelauan sinar-X	61
5.2.1	Kesan nanozarah $\text{NiF}_2$ ke atas pembentukan fasa sampel pukal $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{NiF}_2)_x$	61
5.2.2	Kesan nanozarah $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ke atas pembentukan fasa sampel pukal $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{CoFe}_2\text{O}_4)_x$	64
5.2.3	Kesan nanozarah $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ke atas pembentukan fasa sampel pukal $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4)_x$	66
5.2.4	Kesan tempoh pensinteran ke atas pembentukan fasa pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{NiF}_2)_x$	68
5.2.5	Kesan tempoh pensinteran ke atas pembentukan fasa pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{CoFe}_2\text{O}_4)_x$	69
5.2.6	Kesan tempoh pensinteran ke atas pembentukan fasa pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4)_x$	69
5.3	Mikrostruktur	74
5.3.1	Mikrograf TEM	74
5.3.2	Mikrograf pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{NiF}_2)_x$	76
5.3.3	Mikrograf pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{CoFe}_2\text{O}_4)_x$	79
5.3.4	Mikrograf pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4)_x$	81
5.3.5	Mikrostruktur pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$	83
5.4	Pengukuran suhu genting ( $T_c$ )	88
5.4.1	Kesan nanozarah $\text{NiF}_2$ ke atas $T_c$ pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{NiF}_2)_x$	88
5.4.2	Kesan nanozarah $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ke atas $T_c$ pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{CoFe}_2\text{O}_4)_x$	91
5.4.3	Kesan nanozarah $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ke atas $T_c$ pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4)_x$	93



5.5	Ketumpatan arus genting ( $J_c$ ) dalam medan sifar	96
5.5.1	Kesan nanozarah $\text{NiF}_2$ ke atas $J_c$ dalam medan sifar pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{NiF}_2)_x$	96
5.5.2	Kesan nanozarah $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ke atas $J_c$ dalam medan sifar pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{CoFe}_2\text{O}_4)_x$	98
5.5.3	Kesan nanozarah $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ke atas $J_c$ dalam medan sifar pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4)_x$	100
5.5.4	Kesan nanozarah $\text{NiF}_2$ , $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ dan $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ke atas daya pengepinaan fluks pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$	104
5.5.5	Kesan nanozarah $\text{NiF}_2$ , $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ dan $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ serta tempoh pensinteran ke atas $J_c$ dalam medan sifar pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$	108
5.6	Ketumpatan arus genting ( $J_c$ ) dalam medan magnet	114
5.6.1	Kesan nanozarah $\text{NiF}_2$ ke atas $J_c$ dalam medan magnet pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{NiF}_2)_{0.04}$	114
5.6.2	Kesan nanozarah $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ke atas $J_c$ dalam medan magnet pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{CoFe}_2\text{O}_4)_{0.01}$	119
5.6.3	Kesan nanozarah $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ke atas $J_c$ dalam medan magnet pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4)_{0.01}$	122
<b>BAB VI KESIMPULAN</b>		
6.1	Kesimpulan	125
6.1.1	Pengepinaan fluks dalam sampel pukal $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$	125
6.1.2	Pengepinaan fluks dalam pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$	128
6.2	Cadangan	129
<b>RUJUKAN</b>		130

**LAMPIRAN**

A1	Serakan Tenaga Sinar-X Pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{NiF}_2)_x$	139
A2	Serakan Tenaga Sinar-X Pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{CoFe}_2\text{O}_4)_x$	144
A3	Serakan Tenaga Sinar-X Pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4)_x$	149
A4	Serakan Tenaga Sinar-X Pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{NiF}_2)_{0.04}$	154
A5	Serakan Tenaga Sinar-X Pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{CoFe}_2\text{O}_4)_{0.01}$	156
A6	Serakan Tenaga Sinar-X Pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4)_{0.01}$	158
B1	Senarai Penerbitan	160

## SENARAI JADUAL

No. Jadual		Halaman
1.1	Contoh utama superkonduktor suhu tinggi berdasarkan kuprum oksida	8
2.1	Suhu genting dan parameter kekisi hablur bagi tiga fasa BSCCO	27
3.1	Ringkasan kajian penambahan nanozarah sebagai pusat pengepitan fluks	41
3.2	Kesan penambahan nanozarah magnet terhadap $J_c$ dalam Bi-2223 sebagai pusat pengepitan fluks	43
3.3	Kesan penambahan nanozarah bukan magnet terhadap $J_c$ dalam Bi-2223 sebagai pusat pengepitan fluks	44
4.1	Kumpulan pita bersarung Ag/Bi-2223 dengan penambahan nanozarah NiF <sub>2</sub> , CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> dan Co <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	54
5.1	Parameter kekisi dan pecahan isipadu fasa Bi-2223 dan Bi-2212 pelet (Bi <sub>1.6</sub> Pb <sub>0.4</sub> )Sr <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (NiF <sub>2</sub> ) <sub>x</sub>	62
5.2	Parameter kekisi dan pecahan isipadu fasa Bi-2223 dan Bi-2212 pelet (Bi <sub>1.6</sub> Pb <sub>0.4</sub> )Sr <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>x</sub>	64
5.3	Parameter kekisi dan pecahan isipadu fasa Bi-2223 dan Bi-2212 pelet (Bi <sub>1.6</sub> Pb <sub>0.4</sub> )Sr <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (Co <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>x</sub>	66
5.4	Pecahan isipadu fasa Bi-2223 dan Bi-2212 pita (Bi <sub>1.6</sub> Pb <sub>0.4</sub> )Sr <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>10</sub> /Ag	73
5.5	Taburan unsur Ni dan F per unit luas pelet (Bi <sub>1.6</sub> Pb <sub>0.4</sub> )Sr <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (NiF <sub>2</sub> ) <sub>x</sub>	77
5.6	Taburan unsur Co dan Fe per unit luas pelet (Bi <sub>1.6</sub> Pb <sub>0.4</sub> )Sr <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>x</sub>	79
5.7	Taburan unsur Co, Ni dan Fe per unit luas pelet (Bi <sub>1.6</sub> Pb <sub>0.4</sub> )Sr <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (Co <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>x</sub>	81
5.8	Suhu genting mula, $T_{c\text{-mula}}$ , suhu genting sifar, $T_{c\text{-sifar}}$ dan julat suhu genting, $\Delta T$ pelet (Bi <sub>1.6</sub> Pb <sub>0.4</sub> )Sr <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (NiF <sub>2</sub> ) <sub>x</sub>	89
5.9	Suhu genting mula, $T_{c\text{-mula}}$ , suhu genting sifar, $T_{c\text{-sifar}}$ dan julat suhu genting, $\Delta T$ pelet (Bi <sub>1.6</sub> Pb <sub>0.4</sub> )Sr <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>x</sub>	91

5.10	Suhu genting mula, $T_{c\text{-mula}}$ , suhu genting sifar, $T_{c\text{-sifar}}$ dan julat suhu genting, $\Delta T$ pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4)_x$	93
5.11	$J_c$ dalam medan sifar pada suhu 30, 40, 50, 60, 70 dan 77 K bagi pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{NiF}_2)_x$	96
5.12	$J_c$ dalam medan sifar pada suhu 30, 40, 50, 60, 70 dan 77 K bagi pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{CoFe}_2\text{O}_4)_x$	98
5.13	$J_c$ dalam medan sifar pada suhu 30, 40, 50, 60, 70 dan 77 K bagi pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4)_x$	100
5.14	$J_c$ dalam medan sifar bagi pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}/\text{Ag}$ dengan penambahan nanozarah yang disinter selama 50 dan 100 jam	113
5.15	$J_c$ dalam medan magnet berselari dan berserenjang pada 77 K bagi pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}/\text{Ag}$ tanpa tambahan nanozarah yang disinter selama 50 dan 100 jam	116
5.16	$J_c$ dalam medan magnet berselari dan berserenjang pada 77 K bagi pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}/\text{Ag}$ dengan penambahan nanozarah $\text{NiF}_2$ yang disinter selama 50 dan 100 jam	118
5.17	$J_c$ dalam medan magnet berselari dan berserenjang pada 77 K bagi pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}/\text{Ag}$ dengan penambahan nanozarah $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ yang disinter selama 50 dan 100 jam	121
5.18	$J_c$ dalam medan magnet berselari dan berserenjang pada 77 K bagi pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}/\text{Ag}$ dengan penambahan nanozarah $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ yang disinter selama 50 dan 100 jam	124

## SENARAI ILUSTRASI

No. Rajah		Halaman
1.1	Graf rintangan elektrik melawan suhu bagi merkuri oleh Heine Kamerlingh Onnes	1
1.2	Evolusi perubahan suhu genting	3
1.3	Graf rintangan melawan suhu bagi suatu superkonduktor	4
1.4	Interaksi bahan superkonduktor dengan medan magnet luar di dalam (a) keadaan biasa dan (b) keadaan mensuperkonduksi	5
1.5	Pemagnetan, $M$ melawan aruhan magnet, $B$ untuk (a) superkonduktor Jenis I dan (b) superkonduktor Jenis II	6
1.6	Penusukan separa medan magnet di dalam superkonduktor Jenis II melalui vorteks	7
2.1	Parameter tertib dan medan magnet melawan jarak di dalam keadaan superkonduktor	13
2.2	Pembentukan pasangan Cooper	15
2.3	Simpang Josephson dengan lapisan penebat oksida yang nipis di antara dua superkonduktor	16
2.4	Kekisi vorteks Abrikosov. Setiap vorteks mebawa medan magnet, $B$ dan dikelilingi arus, $J$	17
2.5	Bendasing yang bertindak sebagai pusat pengepitan fluks berinteraksi dengan garis-garis fluks dalam superkonduktor	18
2.6	Pergerakan vorteks oleh daya Lorentz, $F_P$ daripada saling tindakan antara ketumpatan arus, $J$ dengan medan magnet fluks, $B$	19
2.7	Mekanisme aliran fluks	20
2.8	Tenaga pengepitan fluks	21
2.9	Model Dinding Bata	23
2.10	Model Suis Landasan Keretapi	24
2.11	Struktur (a) koloni, (b) (001) <i>twist</i> , (c) sempadan butiran sengetan paksi- $c$ (ECB) dan (d) sempadan butiran sengetan paksi- $c$ pinggiran (SCB)	25

2.12	Model Suis Landasan Keretapi yang telah diubahsuai	26
2.13	Struktur kekisi hablur bagi tiga fasa BSCCO iaitu (a) fasa Bi-2201, (b) fasa Bi-2212 dan (c) fasa Bi-2223	27
4.1	Carta alir penyediaan serbuk pelopor BPSCCO melalui kaedah sepemendakan dan pembentukan sampel pukal dan pita	50
4.2	Kaedah serbuk dalam tiub (PIT)	51
4.3	Roda penggelek wayar dengan saiz berlainan	51
4.4	Mesin penggelek wayar	51
4.5	Mesin penarik wayar	52
4.6	Acuan berlubang. Acuan dengan diameter 1.00 mm telah dipilih di dalam uji kaji ini	52
4.7	Carta alir penyediaan sampel pita daripada serbuk pelopor BPSCCO	53
4.8	Proses pensinteran pita di dalam relau tiub dengan tempoh pensiteran 50 dan 100 jam	55
4.9	Kaedah penduga empat titik bagi sampel pukal dan pita SST	58
4.10	(a) Pengukuran arus genting dalam medan magnet, (b) arah medan magnet yang dikenakan secara selari ( $B_{\parallel}$ ) dan secara serenjang ( $B_{\perp}$ ) dengan permukaan pita.	59
5.1	Corak XRD sampel pukal $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{NiF}_2)_x$	63
5.2	Corak XRD sampel pukal $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{CoFe}_2\text{O}_4)_x$	65
5.3	Corak XRD sampel pukal $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4)_x$	67
5.4	Corak XRD pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{NiF}_2)_{0.04}$ yang disinter pada 845 °C selama 50 dan 100 jam	70
5.5	Corak XRD pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{CoFe}_2\text{O}_4)_{0.01}$ yang disinter pada 845 °C selama 50 dan 100 jam	71
5.6	Corak XRD pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4)_{0.01}$ yang disinter pada 845 °C selama 50 dan 100 jam	72
5.7	Mikrograf TEM nanozarah $\text{NiF}_2$ dengan saiz purata 10 nm	74
5.8	Mikrograf TEM nanozarah $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ dengan saiz purata 60 nm	75

5.9	Mikrograf TEM nanozarah $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ dengan saiz purata 20 nm	75
5.10	Mikrograf SEM pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ yang disinter pada $850\text{ }^\circ\text{C}$ selama 48 jam	76
5.11	Mikrograf SEM pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{NiF}_2)_x$ yang disinter pada suhu $850\text{ }^\circ\text{C}$ selama 48 jam. Titik putih menunjukkan taburan nanozarah $\text{NiF}_2$	78
5.12	Mikrograf SEM sampel $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{CoFe}_2\text{O}_4)_x$ yang disinter pada suhu $850\text{ }^\circ\text{C}$ selama 48 jam. Titik putih menunjukkan taburan nanozarah $\text{CoFe}_2\text{O}_4$	80
5.13	Mikrograf SEM pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4)_x$ yang disinter pada suhu $850\text{ }^\circ\text{C}$ selama 48 jam. Titik putih menunjukkan taburan nanozarah $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$	82
5.14	Mikrograf SEM pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ yang disinter pada $845\text{ }^\circ\text{C}$ selama 50 jam	83
5.15	Lakaran Model Suis Landasan Keretapi yang telah diubahsuai	84
5.16	Mikrograf SEM pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{NiF}_2)_{0.04}$ yang disinter selama (a) 50 jam dan (b) 100 jam. Titik putih menunjukkan taburan nanozarah $\text{NiF}_2$	85
5.17	Mikrograf SEM pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{CoFe}_2\text{O}_4)_{0.01}$ yang disinter selama (a) 50 jam dan (b) 100 jam. Titik putih menunjukkan taburan nanozarah $\text{CoFe}_2\text{O}_4$	86
5.18	Mikrograf SEM pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4)_{0.01}$ yang disinter selama (a) 50 jam dan (b) 100 jam. Titik putih menunjukkan taburan nanozarah $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$	87
5.19	Perubahan rintangan elektrik melawan suhu pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{NiF}_2)_x$	90
5.20	Perubahan rintangan elektrik melawan suhu pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{CoFe}_2\text{O}_4)_x$	92
5.21	Perubahan rintangan elektrik melawan suhu pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4)_x$	94
5.22	Perubahan $T_{c\text{-sifar}}$ pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan penambahan nanozarah $\text{NiF}_2$ , $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ dan $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$	95

5.23	Ketumpatan arus genting, $J_c$ melawan suhu dalam medan sifar bagi sampel pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{NiF}_2)_x$ pada suhu 30, 40, 50, 60, 70 dan 77 K	97
5.24	$J_c$ melawan suhu dalam medan sifar pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{CoFe}_2\text{O}_4)_x$	99
5.25	$J_c$ melawan suhu dalam medan sifar pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4)_x$	101
5.26	$J_c$ dalam medan sifar melawan amaun penambahan nanozarah pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ pada suhu 30 K	103
5.27	$J_c$ dalam medan sifar melawan amaun penambahan nanozarah pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ pada suhu 77 K	103
5.28	Graf $\ln [R/R_{110}]$ melawan $1/T$ pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{NiF}_2)_x$	105
5.29	Tenaga pengepitan fluks dan $J_c$ pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{NiF}_2)_x$	105
5.30	Graf $\ln [R/R_{110}]$ melawan $1/T$ pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{CoFe}_2\text{O}_4)_x$	106
5.31	Tenaga pengepitan fluks dan $J_c$ pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{CoFe}_2\text{O}_4)_x$	106
5.32	Graf $\ln [R/R_{110}]$ melawan $1/T$ pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4)_x$	107
5.33	Tenaga pengepitan fluks dan $J_c$ pelet $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}(\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4)_x$	107
5.34	$J_c$ dalam medan sifar melawan suhu pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ tanpa tambahan nanozarah dan sampel dengan penambahan nanozarah $\text{NiF}_2$ yang disinter selama 50 dan 100 jam	110
5.35	$J_c$ dalam medan sifar melawan suhu pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ tanpa tambahan nanozarah dan sampel dengan penambahan nanozarah $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ yang disinter selama 50 dan 100 jam	111
5.36	$J_c$ dalam medan sifar melawan suhu pita $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ tanpa tambahan nanozarah dan sampel dengan penambahan nanozarah $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ yang disinter selama 50 dan 100 jam	112



5.37	$J_c$ melawan medan magnet berselari, $B_{\parallel}$ bagi pita ( $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}$ ) $\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan $\text{NiF}_2$ pada 77 K	117
5.38	$J_c$ melawan medan magnet berserenjang, $B_{\perp}$ bagi pita ( $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}$ ) $\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan $\text{NiF}_2$ pada 77 K	117
5.39	$J_c$ melawan medan magnet berselari, $B_{\parallel}$ bagi pita ( $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}$ ) $\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ pada 77 K	120
5.40	$J_c$ melawan medan magnet berserenjang, $B_{\perp}$ bagi pita ( $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}$ ) $\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ pada 77 K	120
5.41	$J_c$ melawan medan magnet berselari, $B_{\parallel}$ bagi pita ( $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}$ ) $\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ pada 77 K	123
5.42	$J_c$ melawan medan magnet berserenjang, $B_{\perp}$ bagi pita ( $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}$ ) $\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ pada 77 K	123

## SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN

$A$	Luas keratan rentas
Ag	Argentum, Perak
AT	Arus terus
AU	Arus ulang-alik
$B$	Medan magnet
$B_c$	Medan magnet genting
$B_i$	Ketumpatan fluks
$B_{c1}$	Medan magnet bawah
$B_{c2}$	Medan magnet atas
$B_{p\text{mak}}$	Medan magnet maksimum apabila $F_p = F_{p\text{mak}}$
$B_{\parallel}$	Medan magnet arah selari dengan permukaan pita
$B_{\perp}$	Medan magnet arah berserenjang dengan permukaan pita
Bi-2212	$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$
Bi-2223	$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$
BSCCO	Superkonduktor sistem Bi-Sr-Ca-Cu-O
BPSCCO	$(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$
CP	Teknik sepemendakan
$\text{CoFe}_2\text{O}_4$	Kobalt ferum (III) oksida
$\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$	Kobalt nikel ferum (III) oksida
$D$	Ketebalan butiran
$\Delta T$	Julat suhu peralihan
ECTILT	Sempadan butiran sengetan paksi-c pingggiran
$E$	Medan elektrik
$F_L$	Daya Lorentz
$F_p$	Daya pengepitan
$F_{p\text{mak}}$	Daya pengepitan maksimum
$I$	Arus
$I_c$	Arus genting
$I_{H(2223)}$	Keamatan puncak fasa Bi-2223
$I_{L(2212)}$	Keamatan puncak fasa Bi-2212
IBAD	Teknik pemendakan ion dibantu alur

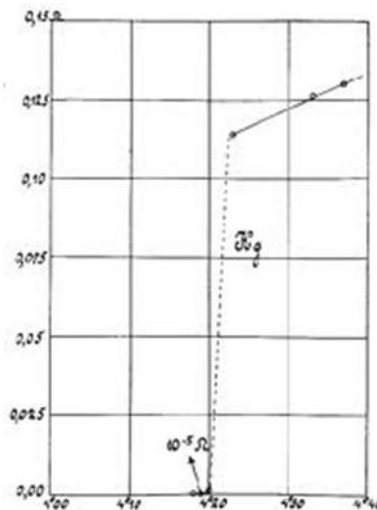
$J$	Ketumpatan arus
$J_c$	Ketumpatan arus genting
$L$	Panjang pencirian
$M$	Pemagnetan
$\text{NiF}_2$	Nikel fluorida
NPM	Nanozarah magnet
NRM	Nanorod magnet
PIT	Serbuk dalam tiub
RABiTS	Substrat berjalun dwipaksian berbantu gelekan
SEM	Mikroskop elektron imbasan
SQUID	Peranti interferens kuantum superkonduktor
SSR	Tindak balas keadaan pepejal
SST	Superkonduktor suhu tinggi
$T_c$	Suhu genting
$T_{c\text{-mula}}$	Suhu genting mula
$T_{c\text{-sifar}}$	Suhu genting sifar
TEM	Mikroskop elektron transmisi
$V_{2223}$	Pecahan isipadu fasa Bi-2223
$V_{2212}$	Pecahan isipadu fasa Bi-2212
XRD	Pembelauan sinar-X
YBCO	Itrium barium kuprum oksida
$\xi$	Panjang koheren kesuperkonduksian
$\lambda$	Kedalaman penusukan London

## BAB 1

### PENGENALAN

#### 1.1 SEJARAH SUPERKONDUKTOR

Fenomena kesuperkonduksian pertama kali telah ditemui oleh seorang ahli fizik Belanda bernama Heike Kamerlingh Onnes dari University Leiden pada tahun 1911. Beliau yang membuat penyelidikan berkenaan kerintangan logam pada suhu terlampau rendah telah mendapati merkuri menunjukkan rintangan sifar apabila disejukkan ke suhu 4.2 K dengan menggunakan cecair helium. Rajah 1.1 merupakan graf pertama yang menunjukkan sifat kesuperkonduksian merkuri.



Rajah 1.1 Graf rintangan elektrik melawan suhu bagi merkuri oleh Heine Kamerlingh Onnes

Sumber: [http://www.fnal.gov/pub/today/archive/archive\\_2011/today11-04-08\\_readmore.html](http://www.fnal.gov/pub/today/archive/archive_2011/today11-04-08_readmore.html)

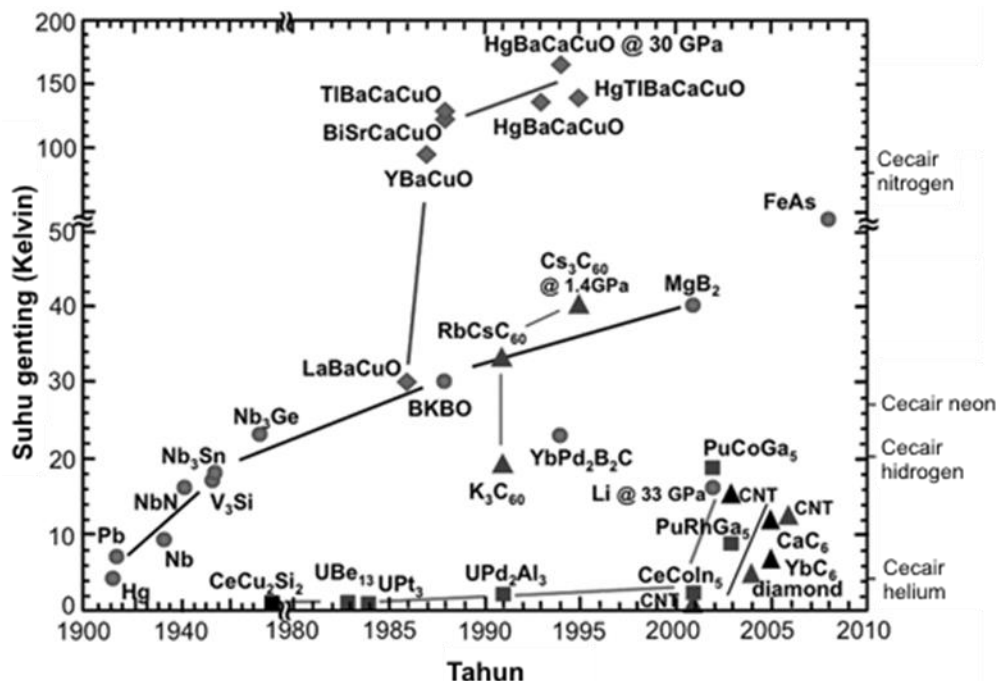
Berikutan penemuan itu, beliau telah menjalankan kajian yang sama terhadap bahan logam yang lain dan mendapati bahawa bahan logam dan aloi seperti plumbum, cadmium, aluminium dan vanadium-silikon juga adalah superkonduktor. Pada tahun 1930, suhu genting,  $T_c$  paling tinggi telah ditemui dalam bahan logam niobium (Nb) iaitu bernilai 9.3 K.

Pada tahun 1986, Bedornz dan Muller mendapati bahan campuran  $(\text{La,Ba})_2\text{CuO}_4$  adalah superkonduktor dengan suhu genting setinggi  $\sim 35$  K. Pada tahun berikutnya, Wu et al. (1987) menemui suhu genting seramik  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  adalah setinggi  $T_c = 92$  K. Penemuan ini adalah sangat penting kerana ia merupakan bukti pertama kewujudan superkonduktor suhu tinggi yang mempunyai suhu genting melebihi takat didih nitrogen cecair (77 K). Pada tahun 1988, Maeda et al. (1988) pula mencatat rekod  $T_c$  yang lebih tinggi iaitu 110 K dengan penemuan sistem Bi-Sr-Ca-Cu-O. Sheng dan Hermann (1988) juga menemui bahan sistem Tl-Ba-Ca-Cu-O dengan suhu genting setinggi 125 K. Antara kedua bahan ini, sistem bismut telah dikaji secara meluas manakala sistem talium kurang dikaji kerana bahan ini bersifat toksik.

Lima tahun selepas itu, Putilin et al. (1993) dan Schilling et al. (1993) telah menemui satu lagi sistem bersifat superkonduktor iaitu Hg-Ba-Ca-Cu-O yang mencatat suhu genting setinggi 134 K. Pada tahun yang sama, Chu et al. (1993) mendapati suhu genting bagi sistem ini meningkat sehingga 164 K apabila dikenakan tekanan melebihi 150 kbar.

Pada permulaan abad ke-21, Nagamatsu et al. (2001) melaporkan campuran magnesium diborida ( $\text{MgB}_2$ ) mempunyai  $T_c = 39$  K dan ianya berbeza dengan superkonduktor sebelum ini kerana ia bukan sistem superkonduktor yang berasaskan kuprum oksida. Seterusnya pada tahun 2006, Kamihara et al. (2006) telah menemui satu bahan superkonduktor berasaskan Fe dengan campuran La-O-Fe-P yang memberikan suhu genting 3.2 K. Akhir sekali, Chen et al. (2008) telah mendopkan LaOFeAs dengan fluorin dan mendapati  $\text{LaO}_{0.9}\text{F}_{0.1-\delta}\text{FeAs}$  menunjukkan  $T_c$  sekitar 26 K. Pada tahun yang sama, Ren et al. (2008) pula telah berjaya menghasilkan satu lagi bahan superkonduktor berasaskan besi arsenida (FeAs) iaitu  $\text{Pr}(\text{O}_{x-1}\text{F}_x)\text{FeAs}$  dan

mendapati komposisi  $\text{Pr}(\text{O}_{0.89}\text{F}_{0.11})\text{FeAs}$  mencapai  $T_c$  pada 52 K. Rajah 1.2 menunjukkan evolusi suhu genting superkonduktor mengikut tahun penemuannya.



Rajah 1.2 Evolusi perubahan suhu genting

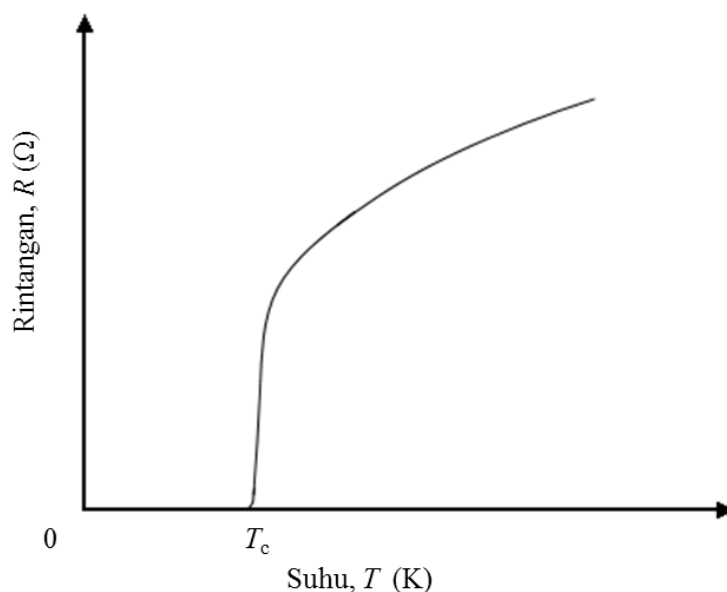
Sumber: <http://www.ccas-web.org/superconductivity/>

## 1.2 SIFAT-SIFAT SUPERKONDUKTOR

### 1.2.1 Kerintangan elektrik sifar

Rintangan arus elektrik di dalam logam terhasil apabila elektron yang mengalir melalui logam tersebut diserakkan oleh bendasing, elektron-elektron lain ataupun getaran oleh kekisi fonon di dalam logam tersebut. Ini menyebabkan elektron kehilangan tenaga dan mengurangkan kelajuan elektron, seterusnya menghasilkan rintangan elektrik. Serakan elektron oleh elektron lain dan fonon berkadar terus dengan suhu logam tersebut, manakala serakan oleh bendasing tidak berkadar dengan suhu. Oleh itu, pada suhu terlampau rendah hanya serakan oleh bendasing yang akan menyebabkan rintangan elektrik.

Tetapi, seperti yang diterangkan sebelum ini, Kamerlingh Onnes mendapati rintangan elektrik turun kepada sifar apabila merkuri disejukkan sehingga suhu 4.2 K walaupun terdapat bendasing di dalam logam tersebut. Kejadian ini dinamakan fenomena kesuperkonduksian dan kerintangan elektrik sifar ini merupakan salah satu daripada sifat superkonduktor. Suhu apabila rintangan elektrik superkonduktor menjadi sifar ini dinamakan suhu genting,  $T_c$  (Rajah 1.3).



Rajah 1.3 Graf rintangan melawan suhu bagi suatu superkonduktor.  $T_c$  adalah suhu genting superkonduktor tersebut

### 1.2.2 Diamagnet sempurna

Satu lagi sifat superkonduktor adalah diamagnet sempurna. Fenomena ini telah ditemui pada tahun 1933 oleh Meissner dan Ochsenfeld. Mereka mendapati fluks magnet di dalam superkonduktor ditolak keluar apabila disejukkan sehingga suhu genting. Pada suhu  $T > T_c$ , apabila logam superkonduktor dimasukkan ke dalam medan magnet luar, fluks magnet akan masuk dan melalui logam tersebut secara sekata. Tetapi apabila disejukkan sehingga suhu  $T < T_c$ , satu arus elektrik akan terhasil pada permukaan superkonduktor dan arus ini menghasilkan satu medan magnet dalaman yang akan menolak keluar medan magnet luar tersebut (Rajah 1.4).

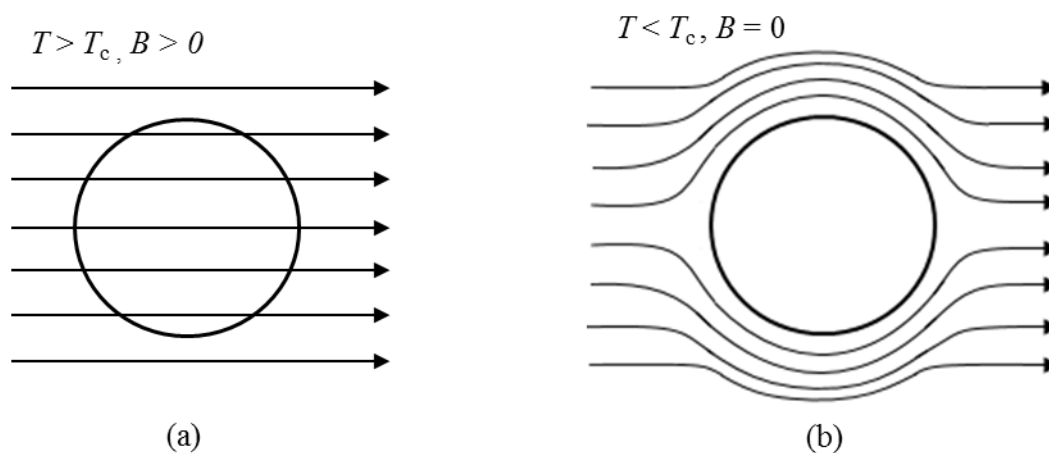
Penolakan keluar medan magnet ini dikenali sebagai kesan Meissner. Medan magnet efektif,  $B$  yang dihasilkan diberi seperti berikut,

$$B = \mu_0(M + H) \quad (1.1)$$

dengan  $\mu_0$  adalah kebolehtelapan magnet di dalam vakum,  $M$  adalah pemagnetan dan  $H$  adalah keamatan medan magnet luar. Menurut kesan Meissner,  $B = 0$ . Oleh itu,

$$\frac{M}{H} = \chi = -1 \quad (1.2)$$

dengan  $\chi$  adalah kerentanan magnet. Logam yang mempunyai nilai kerentanan magnet negatif dipanggil diamagnet.  $\chi = -1$  bermaksud tiada medan magnet yang boleh menembusi masuk superkonduktor dan sifat ini dikenali sebagai diamagnet sempurna.



Rajah 1.4 Interaksi bahan superkonduktor dengan medan magnet luar di dalam  
(a) keadaan biasa dan (b) keadaan mensuperkonduksi

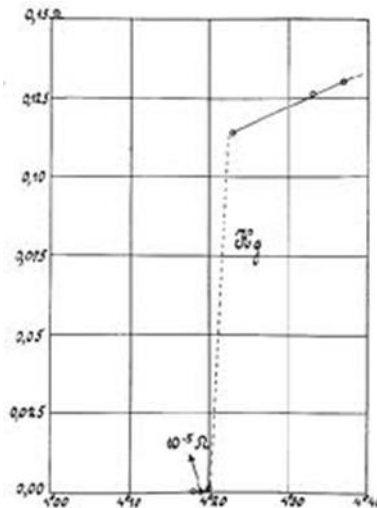


## BAB 1

### PENGENALAN

#### 1.1 SEJARAH SUPERKONDUKTOR

Fenomena kesuperkonduksian pertama kali telah ditemui oleh seorang ahli fizik Belanda bernama Heike Kamerlingh Onnes dari University Leiden pada tahun 1911. Beliau yang membuat penyelidikan berkenaan kerintangan logam pada suhu terlampau rendah telah mendapati merkuri menunjukkan rintangan sifar apabila disejukkan ke suhu 4.2 K dengan menggunakan cecair helium. Rajah 1.1 merupakan graf pertama yang menunjukkan sifat kesuperkonduksian merkuri.



Rajah 1.1 Graf rintangan elektrik melawan suhu bagi merkuri oleh Heine Kamerlingh Onnes

Sumber: [http://www.fnal.gov/pub/today/archive/archive\\_2011/today11-04-08\\_readmore.html](http://www.fnal.gov/pub/today/archive/archive_2011/today11-04-08_readmore.html)

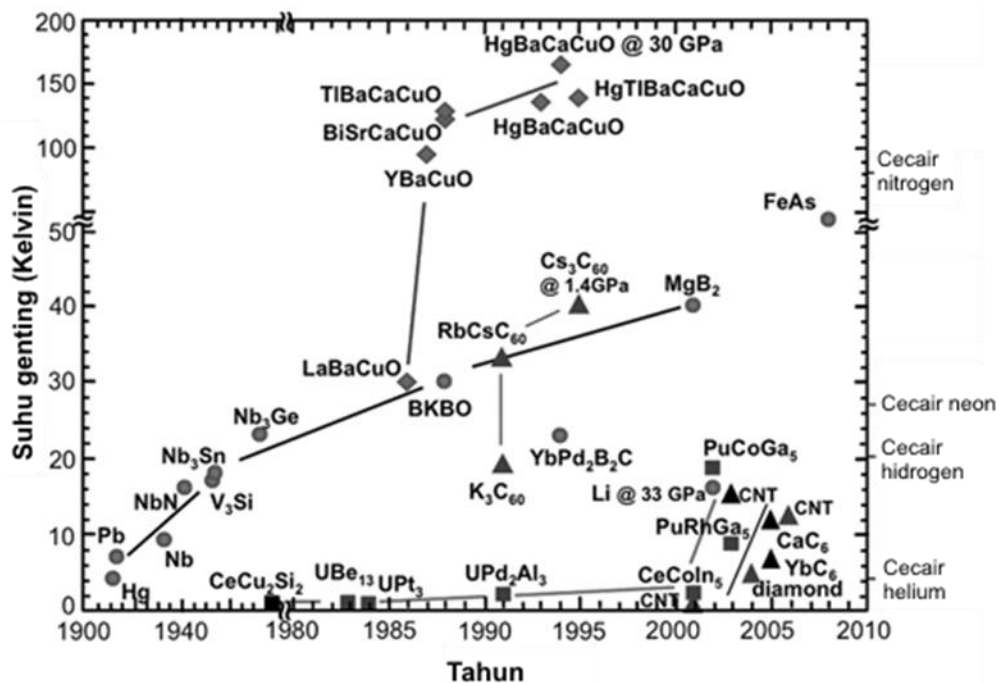
Berikutan penemuan itu, beliau telah menjalankan kajian yang sama terhadap bahan logam yang lain dan mendapati bahawa bahan logam dan aloi seperti plumbum, cadmium, aluminium dan vanadium-silikon juga adalah superkonduktor. Pada tahun 1930, suhu genting,  $T_c$  paling tinggi telah ditemui dalam bahan logam niobium (Nb) iaitu bernilai 9.3 K.

Pada tahun 1986, Bedornz dan Muller mendapati bahan campuran  $(\text{La,Ba})_2\text{CuO}_4$  adalah superkonduktor dengan suhu genting setinggi  $\sim 35$  K. Pada tahun berikutnya, Wu et al. (1987) menemui suhu genting seramik  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  adalah setinggi  $T_c = 92$  K. Penemuan ini adalah sangat penting kerana ia merupakan bukti pertama kewujudan superkonduktor suhu tinggi yang mempunyai suhu genting melebihi takat didih nitrogen cecair (77 K). Pada tahun 1988, Maeda et al. (1988) pula mencatat rekod  $T_c$  yang lebih tinggi iaitu 110 K dengan penemuan sistem Bi-Sr-Ca-Cu-O. Sheng dan Hermann (1988) juga menemui bahan sistem Tl-Ba-Ca-Cu-O dengan suhu genting setinggi 125 K. Antara kedua bahan ini, sistem bismut telah dikaji secara meluas manakala sistem talium kurang dikaji kerana bahan ini bersifat toksik.

Lima tahun selepas itu, Putilin et al. (1993) dan Schilling et al. (1993) telah menemui satu lagi sistem bersifat superkonduktor iaitu Hg-Ba-Ca-Cu-O yang mencatat suhu genting setinggi 134 K. Pada tahun yang sama, Chu et al. (1993) mendapati suhu genting bagi sistem ini meningkat sehingga 164 K apabila dikenakan tekanan melebihi 150 kbar.

Pada permulaan abad ke-21, Nagamatsu et al. (2001) melaporkan campuran magnesium diborida ( $\text{MgB}_2$ ) mempunyai  $T_c = 39$  K dan ianya berbeza dengan superkonduktor sebelum ini kerana ia bukan sistem superkonduktor yang berasaskan kuprum oksida. Seterusnya pada tahun 2006, Kamihara et al. (2006) telah menemui satu bahan superkonduktor berasaskan Fe dengan campuran La-O-Fe-P yang memberikan suhu genting 3.2 K. Akhir sekali, Chen et al. (2008) telah mendopkan LaOFeAs dengan fluorin dan mendapati  $\text{LaO}_{0.9}\text{F}_{0.1-\delta}\text{FeAs}$  menunjukkan  $T_c$  sekitar 26 K. Pada tahun yang sama, Ren et al. (2008) pula telah berjaya menghasilkan satu lagi bahan superkonduktor berasaskan besi arsenida (FeAs) iaitu  $\text{Pr}(\text{O}_{x-1}\text{F}_x)\text{FeAs}$  dan

mendapati komposisi  $\text{Pr}(\text{O}_{0.89}\text{F}_{0.11})\text{FeAs}$  mencapai  $T_c$  pada 52 K. Rajah 1.2 menunjukkan evolusi suhu genting superkonduktor mengikut tahun penemuannya.



Rajah 1.2 Evolusi perubahan suhu genting

Sumber: <http://www.ccas-web.org/superconductivity/>

## 1.2 SIFAT-SIFAT SUPERKONDUKTOR

### 1.2.1 Kerintangan elektrik sifar

Rintangan arus elektrik di dalam logam terhasil apabila elektron yang mengalir melalui logam tersebut diserakkan oleh bendasing, elektron-elektron lain ataupun getaran oleh kekisi fonon di dalam logam tersebut. Ini menyebabkan elektron kehilangan tenaga dan mengurangkan kelajuan elektron, seterusnya menghasilkan rintangan elektrik. Serakan elektron oleh elektron lain dan fonon berkadar terus dengan suhu logam tersebut, manakala serakan oleh bendasing tidak berkadar dengan suhu. Oleh itu, pada suhu terlampau rendah hanya serakan oleh bendasing yang akan menyebabkan rintangan elektrik.

## **BAB III**

### **KAJIAN LITERATUR**

#### **3.1 PENGENALAN**

Bab ini meliputi penyelidikan lepas yang telah dijalankan dalam penyediaan bahan superkonduktor, terutamanya terhadap superkonduktor sistem Bi-2223. Banyak kajian untuk mendapatkan keadaan optimum bagi menghasilkan sampel pukal dan pita superkonduktor yang bermutu tinggi. Maksud sampel bermutu tinggi di sini adalah sampel yang mempunyai suhu genting,  $T_c$  dan ketumpatan arus genting,  $J_c$  yang tinggi. Antara kaedah yang dilakukan adalah pengedapan dan pengantian separa pada atom Bi dan Cu di dalam sistem Bi-2223.

Faktor yang mempengaruhi  $J_c$  pita SST juga turut dibincangkan. Salah satu cara meningkatkan  $J_c$  adalah dengan penambahan zarah bersaiz nanometer ke dalam SST dengan tujuan mengepin fluks. Melalui pemerhatian, didapati penyelidikan pada masa ini lebih banyak tertumpu kepada kajian penambahan nanozarah ke dalam sampel pukal dan juga pita SST.

#### **3.2 PENYEDIAAN BAHAN SUPERKONDUKTOR SISTEM BSCCO**

Beberapa usaha telah dilakukan untuk memperoleh keadaan optimum bagi menghasilkan superkonduktor sistem Bi-2223 serta meningkatkan suhu genting bahan. Pengedapan merupakan suatu kaedah yang penting untuk menghasilkan bahan SST. Pengedapan biasanya tertumpu pada pengantian separa bagi Bi.

Bansal et al. (1991) telah mengoptimalkan keadaan pensinteran dan kandungan plumbum (Pb) dalam  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$  untuk meningkatkan fasa Bi-2223. Mereka juga menyatakan bahawa kehadiran fasa Bi-2223 yang besar dalam bahan tidak semestinya memberikan sifat superkonduksian yang terbaik.

Bansal et al. (1990) juga telah mengkaji kerintangan Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O pada 77 K menunjukkan bahawa pengurangan kandungan oksigen menurunkan rintangan pada suhu bilik serta memperbaiki kesuperkonduksian. Mekanisme pendermaan lohong daripada peralihan cas dari Bi-O ke Cu-O juga dibincangkan.

Dorris et al. (1994) menyediakan pita superkonduktor sistem Bi-2223 dengan pengedapan Pb pada bahagian Bi. Komposisi Pb yang menggantikan Bi adalah 0.0 hingga 0.4. Pengedapan Pb didapati memperbaiki pembentukan fasa Bi-2223, memaparkan peralihan  $T_c$  yang lebih ketara dan memberikan  $J_c$  yang lebih tinggi.

Nguyen (1997) membandingkan komposisi pengedapan Pb pada bahagian Bi bagi sistem Bi-2212 dan Bi-2223. Beliau melaporkan bahawa lengkung graf  $T_c$  melawan komposisi Pb bagi kedua-dua Bi-2212 dan Bi-2223 adalah berbentuk parabola.  $T_c$  meningkat dengan komposisi Pb dalam Bi-2212 dan Bi-2223 untuk memperoleh  $T_c$  tertinggi adalah 0.3 dan 0.2 masing-masing.

Sykorova et al. (1997) melakukan kajian ke atas pengedapan vanadium (V), mangan (Mn) dan antimoni (Sb) pada Bi dalam Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O (BPSCCO). Penggantian separa dengan V dan Mn pada kadar 0.2 - 0.6 dengan Pb ditetapkan pada 0.8, memberikan fasa Bi-2223 yang tinggi sehingga 87%. Suhu genting yang dicapai masing-masing adalah 110 K dan 105 K. Kehadiran Sb dalam sampel membawa kepada penurunan fasa Bi-2223 dan pengedapan Sb sebanyak 0.6 menunjukkan sifat semikonduktor kerana pengikatan antara butiran menjadi lemah.

Gul et al. (2005) memperkenalkan vanadium dan barium kepada sistem BPSCCO untuk memperbaiki fasa Bi-2223. Mereka menggantikan Bi dengan V dan Sr dengan Ba. Sampel dengan pengedapan V dan Ba masing-masing menunjukkan peningkatan fasa Bi-2223 berbanding dengan sampel tanpa pengedapan.  $T_c$  yang

dicapai dengan pengedopan adalah dalam lingkungan 104 – 108 K. Kedua-dua pengedopan V dan Ba juga meningkatkan  $J_c$ .

Selain daripada pengedopan pada bahagian Bi, penggantian secara separa pada Sr dan Ca juga dilakukan. Biju et al. (2006) menggantikan Sr dalam BPSCCO 2212 dengan unsur nadir bumi gadolinium (Gd).  $T_c$  adalah maksimum pada kadar pengedopan 0.3 manakala  $J_c$  adalah maksimum pada kadar pengedopan 0.2. Peningkatan  $T_c$  dan  $J_c$  disebabkan penggantian Sr oleh Gd telah mngurangkan kepekatan lohong pada satah  $\text{CuO}_2$  dan seterusnya membawa kepada ketidakhomogenan pada lapisan cas.

Satu lagi usaha ialah menggantikan kalsium dengan perak, boron dan niobium. Khan et al. (1997) mendapati pengedopan B pada Ca telah meningkatkan tenaga pengaktifan sampel. Ini bermakna kestabilan terma Bi-2223 telah ditingkatkan. Pengedopan B dan Nb menurunkan suhu genting sampel, tetapi pengedopan Ag bukan sahaja tidak mengganggu kesuperkonduksian sampel malah memberikan peningkatan  $J_c$  pada 77 K disebabkan oleh pemulihan rangkaian di antara butiran.

Di samping itu, teknik-teknik penyediaan BSCCO juga memainkan peranan yang penting untuk menghasilkan sampel yang bermutu tinggi. Teknik yang biasa dijalankan adalah seperti tindak balas keadaan pepejal (SSR), kaedah sepemendakan (COP), kaedah sol-gel dan kaedah separa peleburan. Antara kaedah yang paling kerap dipilih adalah tindak balas keadaan pepejal. SSR melibatkan beberapa proses ringkas yang berulang seperti pengisaran, pemanasan dan penyejukan sampel. Kaedah sepemendakan pula melibatkan pencampuran serbuk di dalam larutan, pemendakan, penurasan dan diikuti pengkalsinan dan pensinteran yang berulang. Setiap teknik yang disebutkan memerlukan suhu pensinteran dan tempoh pensinteran yang berbeza untuk menghasilkan sampel yang berkualiti tinggi. Walau bagaimanapun, masih terdapat kelemahan pada teknik masing-masing seperti keporosan, ketidakhomogenan, ketidakseimbangan stoikiometri dan pembentuka fasa sekunder. Terdapat beberapa kajian telah menunjukkan perubahan suhu pensinteran dengan penambahan elemen kepada BSCCO.