

28863/H/07



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

RSFi  
537.623  
Cah  
R-1  

---

2007

TUGAS AKHIR - SF 1380

**KAJIAN RESISTIVITAS PADA FASE VORTEKS  
GELAS SUPERKONDUKTOR KRISTAL TUNGGAL  
 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$**

SURYO E. CAHYOINGRAT  
NRP 1101 100 041

Dosen Pembimbing  
Dr. Darminto, Msc.

JURUSAN FISIKA  
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2007

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	28 - 2 - 2007
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	227573



**FINAL PROJECT - SF 1380**

**STUDY ON RESISTIVITY OF VORTEX GLASS  
PHASE IN  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  SINGLE CRYSTALS**

**SURYO E. CAHYOINGRAT**  
NRP 1101 100 041

Advisor  
Dr. Darminto, Msc.

PHYSICS DEPARTMENT  
Mathematics and Science Faculty  
Sepuluh Nopember of Institut Technology  
Surabaya 2007

## LEMBAR PENGESAHAN

### KAJIAN RESISTIVITAS PADA FASE VORTEKS GELAS SUPERKONDUKTOR KRISTAL TUNGGAL $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$

#### TUGAS AKHIR

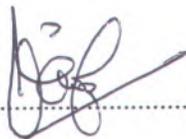
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
Pada  
Bidang Studi Fisika Material  
Program Studi S-1 Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**SURYO E. CAHYOINGRAT**  
NRP 1101 100 041

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr.Darminto, M.Sc



**SURABAYA, FEBRUARI 2007**

# KAJIAN RESISTIVITAS PADA FASE VORTEKS GELAS SUPERKONDUKTOR KRISTAL TUNGGAL



Nama : Suryo E. Cahyoingrat  
NRP : 1101 100 041  
Jurusan : Fisika FMIPA-ITS  
Dosen Pembimbing : Dr.Darminto.M,Sc

## Abstrak

*Analisis sistematis telah dilakukan pada dua sampel kristal tunggal  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  (Bi-2212) dengan kandungan oksigen berbeda yang mempunyai  $T_c = 93$  K dan 70 K dan berada dalam pengaruh medan magnetik antara  $0 \leq H \leq 40$  kOe yang diarahkan sejajar sumbu-c kristal. Model panjang koherensi termodifikasi yang diperkenalkan oleh Rydh, dkk. telah memberikan penjelasan yang konsisten perilaku vorteks gelas dengan memberikan nilai eksponen kritis  $s$  vorteks gelas ( $s$ ) yakni 4,7 dan 2,0 berturut-turut untuk sampel yang bersesuaian. Selain itu penskalaan kurva pada model ini memberikan nilai parameter pinning ( $\beta$ ) berturut-turut 0,45 dan 0,54 untuk kedua kristal.*

*Kata kunci : Bi-2212, Vorteks gelas, Energi pinning, Energi termal, Doping oksigen, anisotropi, Disorder.*

## STUDY ON RESISTIVITY OF VORTEX GLASS PHASE IN $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ SINGLE CRYSTALS

Name : Suryo E. Cahyoingrat  
NRP : 1101 100 041  
Department : Fisika FMIPA-ITS  
Adviser : Dr.Darminto.M,Sc

### Abstract

*A systematic analysis has been performed on the resistivity of the  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  (Bi-2212) single crystals with various oxygen content having  $T_c = 93$  K and 70 K and measured in magnetic field of  $0 \leq H \leq 40$  kOe applied parallel to the c-axis. Modified coherence length model introduced by Rydh, et al. has given to prove consistently description with the vortex glass behavior by assigning the value of critical exponent glass ( $s$ ), namely 4,7 and 2,0 respectively for the corresponding crystals. Besides, curve scaling with this model resulted in the value of pinning parameter ( $\beta$ ) respectively 0,45 and 0,54 for both crystal.*

**Keyword** : Bi-2212, Glass Vorteks, Pinning Energie, Thermal Energie, Oxygen Dope, anisotropy, Disorder.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya yang begitu besar, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul :

### KAJIAN RESISTIVITAS PADA FASE VORTEKS GELAS SUPERKONDUKTOR KRISTAL TUNGGAL



Penulis telah berusaha menyelesaikan buku laporan ini dengan sebaik-baiknya, namun kritik dan saran tetap diharapkan demi kemajuan penulis di masa yang akan datang.

Pada kesempatan ini saya menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua saya, Mas'ud Khozin dan Siti Hayatun serta saudar-saudara saya : Mbak Ismi, Mas Hami, Mas Abduh, Erna, Mas Sub'han dan Mas Khusnul.
2. Bapak Dr. Darminto M.Sc, dosen pembimbing penulis, atas bimbingan dan bantuan yang diberikan.
3. Bapak Prof. Dr. Edi Yahya, M.Sc dan Bapak Mashuri M.Si, selaku dosen penguji.
4. Bapak Dr. Triwikantoro, M.Sc, Ketua Jurusan Fisika FMIPA ITS.
5. Drs. Gatut Yudoyono, MT. dosen wali penulis.
6. Teman-teman angkatan 2001 (Hendro, Purnomo, Asnando, Agus, Anas, Malik, dst), Teman-teman kost Keputih IIIA/1 (Mas Handik dst.) dan Mahasiswa Fisika FMIPA ITS.

Semoga Tugas Akhir ini mampu memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Februari 2007

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>Bab</b>	<b>Halaman</b>
<b>Halaman Judul</b> .....	<b>i</b>
<b>Lembar Pengesahan</b> .....	<b>v</b>
<b>Abstrak</b> .....	<b>vii</b>
<b>Kata Pengantar</b> .....	<b>xii</b>
<b>Daftar Isi</b> .....	<b>xv</b>
<b>Daftar Gambar</b> .....	<b>xvii</b>
<b>Daftar Tabel</b> .....	<b>xix</b>
<b>Bab I Pendahuluan</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Sistematika Penelitian.....	2
<b>Bab II Tinjauan Pustaka</b> .....	<b>3</b>
2.1 Struktur Dasar SKST .....	3
2.2 Karakteristik Vorteks.....	5
2.3 <i>Pinning</i> Vorteks.....	6
2.4 Resistivitas Fase Vorteks Gelas.....	7
<b>Bab III Metodologi Penelitian</b> .....	<b>11</b>
3.1 Pemilihan Sampel .....	11
3.2 Sampel Bi-2212 dan magneto-resistivitas .....	11
3.3 Langkah-langkah Pengolahan Dan Analisa Data .....	12
<b>Bab IV Analisis Data dan Pembahasan</b> .....	<b>15</b>
4.1 Pola Magneto-resistivitas Superkonduktor Bi-2212 .....	15
4.2 Diagram Fase Vorteks Gelas Terskala .....	20
4.3 Resistivitas Ternormalisasi .....	24
<b>Bab V Kesimpulan dan Saran</b> .....	<b>27</b>
5.1 Kesimpulan .....	27
5.2 Saran .....	27
<b>Daftar Pustaka</b> .....	<b>29</b>
<b>Lampiran</b> .....	<b>31</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Struktur kristal dua bahan superkonduktor suhu tinggi (SKST) :(a) Bi-2212, dan (b) Y-123 .....	4
Gambar 2.2 Diagram Fase SKST anisotropi tinggi pada daerah campuran, berdasarkan hasil eksperimen pada material BSCCO.....	6
Gambar 3.1 Diagram Alir Langkah-langkah Dalam Penelitian ini .....	14
Gambar 4.1 Kurva resistivitas listrik bidang ab sebagai fungsi dari suhu pada medan. magnet yang bervariasi dari 0 sampai dengan 40 kOe, yang diarahkan sejajar sumbu-c. Grafik (a) adalah sampel kristal Bi-OP dan (b) adalah sampel Bi-HO .....	16
Gambar 4.2 Fitting garis gelas $H_g(T)$ menurut persamaan $H_g = B_o [f(t) / t]^{1/\beta}$ Untuk sampel (a) kristal Bi-OP dengan $H_o = 1761.639$ Oe dan $\beta = 0.45$ (b) kristal Bi-HO dengan $H_o = 2425.517$ Oe dan $\beta = 0.535$ (c) perbandingan kedua kurva .....	19
Gambar 4.3 Medan magnet terskala sebagai fungsi suhu tereduksi untuk sampel yang diteliti. Setiap kurva dibangun dari beberapa tingkat resistivitas yang berbeda dalam daerah gelas terskala. (a) kristal Bi-OP dengan $H_o = 1761.6$ Oe dan $\beta = 0.45$ (b) Bi-HO dengan $H_o = 2425.5$ Oe dan $\beta = 0.54$ (c) perbandingan kedua kurva ..	22
Gambar 4.4 Medan magnet terskala sebagai fungsi suhu tereduksi untuk sampel yang diteliti. Setiap kurva dibangun dari beberapa tingkat resistivitas yang berbedadalam daerah scaling gelas, $\rho / \rho_n \leq 0,1$ . transisi resistiv terukur pada medam-medan	

sebesar  $H = 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 0,7; 1,0; 1,5; 2; 3; 4; 6; 9$  dan  $12$  T. Disini juga terlihat suhu-suhu gelas ( $T_g$ ) yang diperoleh menggunakan persamaan relasi Vogel-Fulcher ..... 23

Gambar 4.5 Resistivitas ternormalisasi  $\rho_0/\rho_n$  sebagai fungsi  $|1/x - 1|$  untuk 1. Resistivitas state normal  $\rho_n$  diambil dari ekstrapolasi dari nilai pada suhu-suhu tinggi. Nilai  $\beta$  dipilih sedemikian sehingga akan memberikan nilai prefaktor  $\rho_0 = \rho_n$  untuk resistivitas gelas  $\rho_g$ . Nilai eksponen kritis  $s$  diperoleh sebesar  $s = 4.7 \pm 1.7$  untuk sampel Bi-OP dan  $= 2 \pm 0.4$  sampel Bi-HO ..... 25

Gambar 4.6 Resistivitas ternormalisasi  $\rho_0/\rho_n$  sebagai fungsi  $|1/x - 1|$  untuk 1. Resistivitas normal  $\rho_n$  diambil dari ekstrapolasi dari nilai pada suhu-suhu tinggi, di mana  $\rho_0 = \rho_n$  untuk resistivitas gelas  $\rho_g$ . Nilai eksponen kritis  $s$  diperoleh sebesar  $s = 4,6 \pm 0$ , ..... 26

sebesar  $H = 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 0,7; 1,0; 1,5; 2; 3; 4; 6; 9$  dan  $12$  T. Disini juga terlihat suhu-suhu gelas ( $T_g$ ) yang diperoleh menggunakan persamaan relasi Vogel-Fulcher ..... 23

Gambar 4.5 Resistivitas ternormalisasi  $\rho_0/\rho_n$  sebagai fungsi  $|1/x - 1|$  untuk 1. Resistivitas state normal  $\rho_n$  diambil dari ekstrapolasi dari nilai pada suhu-suhu tinggi. Nilai  $\beta$  dipilih sedemikian sehingga akan memberikan nilai prefaktor  $\rho_0 = \rho_n$  untuk resistivitas gelas  $\rho_g$ . Nilai eksponen kritis  $s$  diperoleh sebesar  $s = 4.7 \pm 1.7$  untuk sampel Bi-OP dan  $s = 2 \pm 0.4$  sampel Bi-HO ..... 25

Gambar 4.6 Resistivitas ternormalisasi  $\rho_0/\rho_n$  sebagai fungsi  $|1/x - 1|$  untuk 1. Resistivitas normal  $\rho_n$  diambil dari ekstrapolasi dari nilai pada suhu-suhu tinggi, di mana  $\rho_0 = \rho_n$  untuk resistivitas gelas  $\rho_g$ . Nilai eksponen kritis  $s$  diperoleh sebesar  $s = 4,6 \pm 0, \dots\dots\dots$  26

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Parameter penganilan untuk mengendalikan kadar oksigen dalam kristal.....	12
Tabel 4.1 Nilai-nilai temperatur gelas $T_g$ dan eksponen kritis $s$ pada masing-masing medan yang diperoleh dengan relasi Vogel-Fulcher .....	17
Tabel 4.2 Parameter-paramater yang diperoleh dari hasil dari fitting garis gelas kristal Bi-OP dan Bi-HO, sementara nilai $T_c$ dan $\gamma^2$ diperoleh dari Darminto, dkk.[7]. Nilai parameter kristal YBCO-123 dan Tl-2212 diperoleh dari penelitian Rydh, dkk.[3].....	20
Tabel 4.3 Rangkuman hasil untuk pengamatan sampel yang dilakukan. Sampel 1-4 kristal tunggal YBCO kembaran sampel 5 untuk film tipis Tl-2212 [14]. Nilai-nilai eksponen kritis $s$ diperoleh dengan menggunakan persamaan Vogel-Fulcher. ....	23
Tabel 4.4 Nilai parameter nilai eksponen kritis $s$ untuk sampel Bi-OP dan Bi-HO yang sama dari dua metode yang berbeda. Pada metode Rudh, dkk. merupakan hasil dari penelitian ini sedangkan metode Vogel-Fulcher diperoleh dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Darminto, dkk.[8] .....	25



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tahapan penting dalam perkembangan bahan superkonduktor adalah ditemukannya bahan superkonduktor suhu tinggi (SKST)-keramik oksida yaitu *YBCO-123* dan *BSCCO-2212* dengan harga temperatur kritis ( $T_c$ ) maksimum kedua bahan tersebut adalah masing-masing  $\sim 92$  K dan  $\sim 85$  K ( $T_c$  di atas suhu nitrogen cair) [1]. Salah satu karakteristik SKST yang merupakan bahan superkonduktor tipe II dalam pengaruh medan magnetik luar yaitu memiliki dua daerah khas di bawah  $T_c$ . Daerah tersebut dibatasi oleh dua harga medan kritis yakni medan kritis bawah ( $H_{c1}$ ) dan medan kritis atas ( $H_{c2}$ ). Pada rentang harga medan antara  $0 < H < H_{c1}$ , bahan superkonduktor bersifat diamagnetik sempurna (menolak medan magnet) dan pada  $H_{c1} < H < H_{c2}$  medan magnetik luar dapat menembus bahan superkonduktor secara terkuantisasi yang membentuk fluks magnetik. Daerah ini disebut daerah campuran (*mixed-state*) [1].

Dalam daerah campuran, masih ditemukan gejala superkonduktivitas meskipun terdapat aktivitas disipatif akibat terbentuknya fluks magnetik atau lazim disebut vorteks. Dari penelitian pada daerah ini ternyata dijumpai karakteristik vorteks yang lebih kompleks [1]. Pada rentang harga medan yang lebih rendah dan mendekati  $T_c$ , terbentuk fase vorteks gelas yang dikarakterisasi oleh pola/model harga resistivitasnya. Hadirnya fenomena vorteks gelas ternyata semakin menarik dan menunjukkan karakteristik yang lebih kompleks ketika material SKST – keramik oksida mendapatkan doping oksigen [1]. Salah satu bidang penelitian bahan superkonduktor yang banyak dilakukan dalam satu dekade terakhir ini pengamatan karakteristik resistivitas SKST oksida pada fase vorteks gelas, terutama *YBCO* yang beranisotropi rendah. Namun pada anisotropi tinggi, *BSCCO* masih terbuka luas, terlebih dengan adanya penambahan doping oksigen didalamnya [2].

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan karakteristik magneto-resistivitas  $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$  (Bi-2212) pada fase vorteks gelas dan mendapatkan parameter-parameter intrinsik bahan Bi-2212 di daerah transisi vorteks cair – gelas.

## 1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada pengkajian karakteristik magneto-resistivitas dari kristal tunggal  $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$  (Bi-2212) dengan tingkat doping oksigen optimal (*optimally doped*, Bi-OP), dan sangat berlebih (*Highly overdoped*, Bi-HO), serta mendapatkan parameter-parameter intrinsik bahan tersebut. Selain itu analisis magneto-resistivitas dilakukan pada daerah disipatif dibawah suhu kritis  $T_c$ , khususnya pada fase vorteks perbatasan antara vorteks gelas dan cair berdasarkan model Rydh, dkk. [3].

## 1.4 Sistematika Laporan

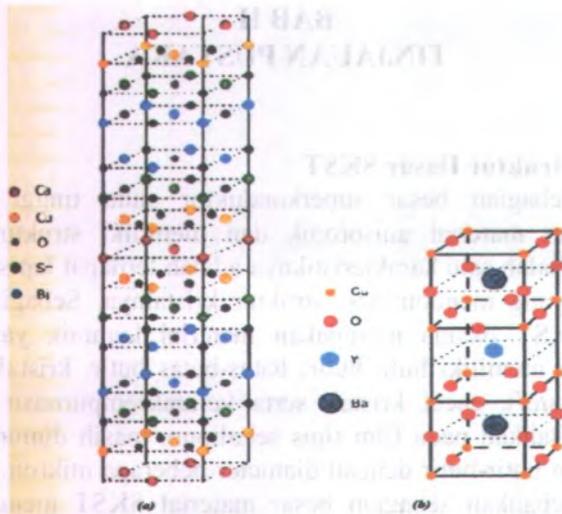
Laporan penelitian tugas akhir ini meliputi beberapa bagian, bagian pertama berisikan latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah serta sistematika laporan. Pada bagian kedua berisi tinjauan pustaka yang digunakan. Bagian ketiga menerangkan metode penelitian. Analisa hasil penelitian serta pembahasan dijelaskan pada bagian keempat. Dan pada bagian kelima berisikan rumusan kesimpulan serta yang terakhir akan diperlihatkan beberapa referensi yang dipergunakan

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Struktur Dasar SKST

Sebagian besar superkonduktor suhu tinggi (SKST) merupakan material anisotropik dan memiliki struktur kristal berlapis. Salah satu karakteristiknya adalah terdapat lapisan  $CuO_2$  (kuprat) yang mendominasi struktur kristalnya. Sebagian besar bahan SKST oksida merupakan material keramik yang pada umumnya memiliki butir-butir, batas-batas butir, kristal kembar (*twin crystal*), cacat kristal, serta ketidaksempurnaan struktur lainnya. Bahkan pada film tipis sekalipun, masih dimungkinkan ditemukan butir-butir dengan diameter beberapa mikron. Kondisi ini menyebabkan sebagian besar material SKST menunjukkan sifat kelogaman. Pada suhu ruang, konduktivitas pada arah sumbu  $a$  atau  $b$  kristal kuprat memiliki orde yang hampir sama dengan konduktivitas paduan logam.

Konduktivitas yang menyerupai material logam ini terutama ditunjukkan oleh bidang  $CuO_2$ , sedangkan pada arah tegak lurus bidang ini konduktivitasnya cukup kecil. Tidak semua struktur *BSCCO* memberikan sifat superkonduktif, hanya struktur tertentu saja yang dapat memiliki sifat superkonduktif, sebagai contoh kristal tunggal  $Bi_2Sr_2CaCuO_{8+\delta}$  (*Bi-2212*). Kristal tunggal (susunan kisi-kisi atom yang teratur dan berulang) ini tidak bersifat konduktif jika  $\delta$  (kandungan doping oksigen) = 0, dan bersifat superkonduktif (di bawah  $T_c \sim$  suhu ketika material menjadi superkonduktif), jika  $\delta > 0$ . Proses pemberian doping dapat dilakukan dengan menambah kandungan oksigen yang membentuk lapisan  $BiO$  dan  $SrO$  pada sistem *Bi-Sr-Ca-Cu-O* dan rantai  $CuO$  pada sistem *Y-Ba-Cu-O* yang struktur kristalnya dapat dilihat pada Gambar 2.1 Penambahan ion-ion oksigen ini akan mempengaruhi keadaan elektron-elektron pada bidang kuprat. Hal ini mengakibatkan



Gambar 2.1 Struktur kristal dua bahan superkonduktor suhu tinggi (SKST): (a) Bi-2212, dan (b) Y-123[2].

Ketidakeimbangan elektronik. Untuk menjaga kesetimbangan muatan, elektron akan berpindah dari bidang kuprat sehingga menyisakan lubang (*hole*), dan menimbulkan mobilitas pembawa muatan. Pada suhu di bawah  $T_c$ , peristiwa ini disertai pembentukan pasangan *Cooper* yang memunculkan gejala superkonduktivitas. Dari sini dapat dipahami bahwa penambahan “pembawa muatan” dari “*reservoir*” ke dalam bidang  $CuO_2$  secara bertahap akan menaikkan konduktivitas dalam bidang *ab*. Perlu dicatat bahwa konduktivitas bidang kuprat meningkat dengan penambahan pembawa muatan sehingga superkonduktivitasnya pun akan meningkat. Setelah mencapai batas tertentu (penambahan doping telah optimal, *optimally doped*), konduktivitasnya akan menurun, hingga akhirnya hilang, demikian pula suhu kritisnya [2].

Bahan superkonduktor di bawah pengaruh medan magnet luar menampilkan fenomena yang cukup menarik dengan kemunculan dua tipe. Pada tipe pertama medan magnet eksternal tidak dapat menembus ke dalam bahan, fenomena ini

dikenal sebagai efek *Meissner* (*Meissner effect*) yang terjadi pada daerah *Meissner* (*Meissner state*) dengan harga medan  $0 < H < H_{c1}$ . Pada tipe kedua superkonduktivitas masih bertahan tidak hanya didapatkan pada daerah *Meissner*, bahkan pada daerah yang memiliki rentang harga medan  $H_{c1} < H < H_{c2}$ . Pada rentang harga medan tersebut, fluks magnetik menembus ke dalam bahan superkonduktor tidak secara homogen, melainkan secara parsial. Oleh karena itu, daerah ini dikenal sebagai daerah campuran (*mixed state*). Pada daerah ini, medan magnetik masuk ke dalam bahan membentuk tabung fluks magnetik terkuantisasi, yang selanjutnya biasa dikenal dengan sebutan vorteks (*vortex*) yang pertama kali ditemukan oleh *Abrikosov* pada tahun 1957 dengan menggunakan teori fenomenologis *Ginzburg – Landau*[1]. Setiap vorteks membawa sebuah kuantum fluks magnetik sebesar :

$$\Phi = h/2e = 2,067 \times 10^{-15} \text{ Weber}$$

Jumlah vorteks didalam sebuah bahan superkonduktor dapat diperkirakan menurut hubungan :

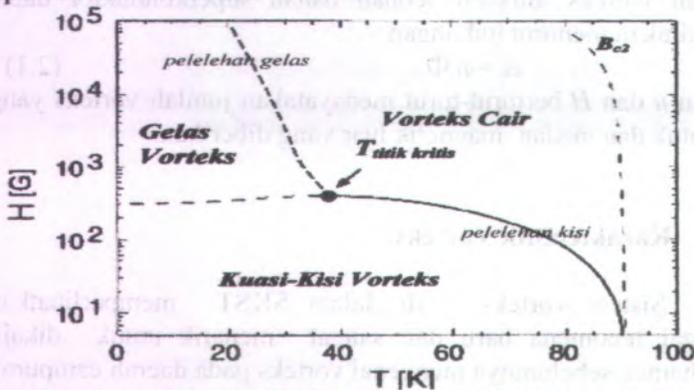
$$B = n \Phi_0 \quad (2.1)$$

dengan  $n$  dan  $H$  berturut-turut menyatakan jumlah vorteks yang terbentuk dan medan magnetik luar yang diberikan.

## 2.2 Karakteristik Vorteks

Sistem vorteks di dalam SKST memperlihatkan berbagai fenomena baru dan sangat menarik untuk dikaji. Pemahaman sebelumnya mengenai vorteks pada daerah campuran adalah bahwa kondisi kisi vorteks dianggap homogen berupa vorteks padat (*solid vorteks*). Namun dari penelitian terbaru menunjukkan fenomena terbaginya daerah campuran ini menjadi beberapa fase, pada suhu tinggi (mendekati  $T_c$ ) terbentuk vorteks cair (*vorteks liquid*) yang disipatif, dan pada suhu lebih rendah terbentuk vorteks padat[2], meskipun keberadaan ketakteraturan (*disorder*) dan pengaruhnya terhadap fluktuasi termal akan menghasilkan diagram fase yang lebih kompleks

pada daerah campuran (*mixed state*). Fase-fase ini masing-masing memiliki perbedaan karakteristik, dan dipisahkan satu dengan lainnya oleh transisi fase yang jelas. Pada material yang bersih (konsentrasi cacat sedikit), vorteks padat berupa kisi (*lattice*) dan dapat meleleh menjadi vorteks cair menurut transisi fase orde pertama. Namun dengan adanya disorder yang cukup signifikan transisi menjadi transisi gelas orde kedua. Gambar 2.1 memperlihatkan diagram fase yang cukup representatif untuk SKST dengan nilai anisotropi yang tinggi (seperti *BSCCO*), serta adanya disorder yang kecil. Tampak ada tiga fase utama vorteks : vorteks cair, serta dua fase vorteks padat, di mana pada medan rendah berupa kisi-kuasi (*quasi lattice*), dan pada medan tinggi berupa vorteks padat terbelit (*entangled solid atau gelas*) [2]. Meskipun terjadi perubahan terjadi perubahan fase vorteks kondisi material superkonduktor ini tidak berubah.



Gambar 2.2 Diagram Fase SKST anisotropi tinggi pada daerah campuran, berdasarkan hasil eksperimen pada material *BSCCO*[2].

### 2.3 Pinning Vorteks

Adanya ketidakhomogenan dalam bahan superkonduktor cukup berpengaruh pada perilaku vorteks, sebagai contoh adanya

sebuah cacat atau kekosongan. Di dalam bahan hal ini akan menyebabkan adanya interaksi antara inti vorteks dengan cacat tersebut. Interaksi ini terjadi dalam bentuk *terpinningnya* vorteks (terhalangnya pergerakan vorteks). Adanya interaksi antara ketidakhomogenan (*inhomogenity*) dalam matrik superkonduktor dan vorteks sangat berkaitan dengan peluang terjadinya disipasi bebas arus listrik ketika diberikan medan magnetik luar. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut : pada saat arus listrik dilewatkan dalam bahan superkonduktor, gaya *lorentz* akan timbul di antara elektron-elektron dan medan magnetik terlokalisasi yang dibawa vorteks. Pada kondisi tidak adanya *pinning*, gaya *Lorentz* ini akan menggerakkan vorteks sehingga mengakibatkan disipasi dalam bahan superkonduktor. Satu-satunya cara untuk menghilangkan disipasi ini adalah dengan menghilangkan pergerakan vorteks.

Sebagian besar bahan SKST dengan struktur lapis kuprat memiliki *pinning* intrinsik yang signifikan. Besaran yang digunakan untuk menyatakan kemampuan ketidak-homogenan bahan mencegah pergerakan vorteks disebut gaya pinning,  $F_p$ . Besaran ini dinyatakan sebagai gaya *Lorentz* maksimum yang dapat ditahan tanpa menimbulkan disipasi (atau pergerakan vorteks). Disipasi maksimum arus bebas atau yang biasa dikenal sebagai arus kritis ( $j_c$ ) diungkapkan sebagai :

$$j_c = F_p / H \quad (2.2)$$

Di mana B menyatakan besarnya induksi magnetik lokal yang diberikan. Fenomena menarik lainnya pada bahan SKST adalah saat pemberian medan magnetik yang tegak lurus bidang kuprat. Pada kasus ini, vorteks yang terbentuk akan *terpinning* karena energi bebas superkonduktor terminimalisasi ketika vorteks terletak di antara bidang kuprat.

## 2.4 Resistivitas Fase Vorteks Gelas

Pada SKST pemisahan daerah campuran ke dalam fase vorteks dilakukan pada kondisi tingkat anisotropi yang tinggi, bersuhu tinggi, dan mempunyai karakter tipe II yang ekstrim[3].

Pada daerah vorteks padat (*vortex solid state*) terdapat ciri-ciri rapat arus kritis yang tidak nol, sehingga tidak disipatif, sementara pada vorteks cair bersifat disipatif. Pada sampel yang bersih transisi fase padat ke cair sebagian besar adalah transisi pelelehan (*melting*) orde pertama tetapi berubah menjadi transisi gelas orde kedua untuk sampel dengan ketakteraturan (*disorder*) lebih tinggi[3].

Salah satu anggapan mendasar tentang teori vorteks gelas yang diperkenalkan oleh Fisher *dkk*[4] adalah divergensi dari panjang korelasi vorteks gelas  $\zeta_g(T)$  pada saat transisi gelas  $T_g(B)$  yang dinyatakan dengan :

$$\zeta_g(T) \propto |T - T_g|^{-\nu} \quad (2.3)$$

dengan  $\nu$  adalah eksponen kritis statis,  $\zeta_g$  adalah panjang koherensi vorteks gelas dan  $T_g$  adalah suhu transisi gelas[3]. Pada vorteks cair rapat arus yang rendah memberikan resistivitas gelas yang linier seperti dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$\rho_g \propto |T - T_g|^{v(z+2-d)}$  (2.4)  
dimana  $z$  adalah eksponen kritis dinamis dan  $d$  adalah dimensionalitas.

Rydh, *dkk*. [3] telah menunjukkan bahwa penjelasan yang konsisten dan lebih lengkap dari resistivitas gelas dapat diperoleh dengan memperkenalkan persamaan  $\zeta_g$  yang termodifikasi. Mengacu pada vorteks gelas sebagai daerah yang terpisah dari vorteks cair melalui transisi fase orde kedua yang memperlihatkan penskalaan gelas (*glass-scaling*). Seperti yang telah diajukan oleh Rydh, *dkk*. bahwa energi dorong transisi gelas disebabkan oleh perbedaan energi antara  $k_B T - U_o$ , di mana  $U_o$  yang tak bergantung nilai arus, sebagai pengganti dalam model Safar, *dkk*. [5]. Cara ini telah berhasil diterapkan pada sampel kristal tunggal dengan kembaran (*twinned single crystals*)  $YBa_7Cu_3O_{7-\delta}$  (YBCO) dan film tipis  $Ti_2Ba_2CaCu_2O_{8+\delta}$  (Ti-2212) [3].

Dengan mempertimbangkan pinning yang disebabkan oleh ketakteraturan yang random (*quenched pinning*),  $U_o$

merupakan energi *pinning*. *Pinning* diasumsikan untuk sistem vorteks yang mempunyai sifat antara elastis dan plastis atau keduanya. Fluktuasi termal mengurangi efek *pinning* yang membuat sistem vorteks menjadi tidak stabil untuk melawan fluktuasi termal ketika energi termal  $k_B T$  menjadi lebih besar dari daripada  $U_o(T)$ . Transisi vorteks dari fase padat ke cair terjadi ketika dua skala energi ini bernilai sama besar,  $U_o(H, T_g) = k_B T_g$ , di mana  $T_g$  merupakan suhu transisi gelas. Ini merupakan analogi dari kasus *melting*, di mana *pinning* dapat diabaikan dan suhu *melting*  $T_m$  ditemukan dengan membandingkan energi termal dan energi elastis.

Selanjutnya, titik awal dari penelitian ini adalah anggapan bahwa secara praktis Persamaan (2.3) dapat dimodifikasi sebagai berikut:

$$\xi_g = \xi_g(0) \left| \frac{k_B T}{U_o} - 1 \right|^{-\nu} \quad (2.5)$$

dimana  $\nu$  merupakan eksponen statis. Persamaan (2.5) ini mempertimbangkan perbedaan energi yang lebih tepat pada masing-masing temperatur [3,6], dan oleh karena dapat berlaku pada rentang suhu yang lebih besar hingga menjangkau sekitar  $T_g$ . Persamaan (2.3) dapat dikembalikan ke dalam persamaan (2.5) jika  $U_o = U_o(H, T)$  didekati dengan nilai  $k_B T_g(H)$  pada garis gelas.

Seperti halnya Persamaan (2.4) dalam model Rydh, dkk. [3] diperoleh persamaan resistivitas sebagai berikut :

$$\rho_g = \rho_0 \left| \frac{1}{x} - 1 \right|^{v(z+2-d)} \quad (2.6)$$

di mana  $x$  merupakan merupakan fungsi dari perbandingan energi berikut :

$$x = \frac{U_o(H, T)}{K_B T} \quad (2.7)$$

Ketergantungan  $U_o$  terhadap suhu dan medan dapat diperkirakan pada tingkat-tingkat resistivitas yang tertentu di dalam daerah

gelas, di mana pada daerah gelas  $x(\rho) = \text{kontan} = \frac{U_0(H,T)}{k_B T}$

dengan nilai  $x = 1$ , untuk  $x > 1$  vorteks berada pada daerah cair. Untuk mendapatkan ketergantungan  $U_0$  terhadap medan dan suhu Rydh, dkk.[3,6]. Membuat persamaan umum yang dinyatakan dengan :

$$U_0(H,T) = k_B T_c \frac{f(t)}{(H/H_0)^\beta} \quad (2.8)$$

di mana  $f(t)$  adalah fungsi dari  $t = T/T_c$  dan  $H_0$  dan  $\beta$  konstanta yang tidak bergantung pada medan dan suhu. Pada nilai  $x = 1$  (pada daerah gelas), Persamaan (2.8) memberikan persamaan garis gelas :

$$H_g(T) = H_0 [f(t)/t]^{1/\beta} \quad (2.9)$$

Berdasarkan pengamatan empirik pada garis gelas dapat diperoleh bentuk:

$$H_g(T) = H_0 \left( \frac{1-t}{t} \right)^\alpha \quad (2.10)$$

Sehingga dari Persamaan (2.9) dan Persamaan (2.10) diperoleh hubungan  $\beta = 1/\alpha$  dan  $f(t) = 1 - t$ . Untuk sembarang tingkat resistivitas  $x$ , relasi antara  $B$  dan  $t$  menjadi :

$$H = H_0 x^{-1/\beta} [f(t)/t]^{1/\beta} \quad (2.11)$$

dengan prefaktor yang dinyatakan dengan :

$$H_\rho(x) = H_0 x^{-1/\beta} \quad (2.12)$$

yang jika dikembalikan pada ke Persamaan 2.11 diperoleh :

$$H_\rho = H [f(t)/t]^{1/\beta} \quad (2.13)$$

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Pemilihan Sampel

Pada penelitian ini digunakan dua macam sampel kristal tunggal BSCCO-2212 yaitu Bi-OP dan Bi-HO. Kristal Bi-OP mempunyai tingkat disorder yang rendah, anisotropi yang yang besar dan dalam diagram fasenya terdapat transisi pelelehan (*melting*) orde pertama [2,3,6] sehingga pada penelitian ini Bi-OP berlaku sebagai sampel bersih. Penggunaan sampel bersih ini pada penelitian sebelumnya dilakukan oleh Safar, dkk. [5] dengan menggunakan sampel kristal tunggal *unannealed* BSCCO-2212. Sedangkan pada kristal Bi-HO sesuai dengan sifatnya digunakan sebagai sampel dengan disorder tinggi. Rydh, dkk. [3] telah melakukan hal sama pada penelitian sebelumnya dengan menggunakan sampel kristal tunggal *twinned* YBCO-123 dan film tipis  $Tl_2Ba_2CaCuO_{8-\delta}$  [3]. Dengan demikian, dalam penelitian ini terdapat perbandingan yang bagus dari kedua kelompok sampel dan akan dianalisis dengan metode yang sama seperti dilakukan Rydh, dkk. [3].

### 3.2 Sampel Bi-2212 dan Data Magneto-resistivitas

Kristal tunggal Bi-2212 yang digunakan dalam kajian ini ditumbuhkan dengan teknik *traveling solvent floating zone* (TSFZ) menggunakan penumbuh kristal dengan tungku empat cermin yang telah dihubungkan dengan lingkungan udara yang mengandung oksigen bertekanan 0,2 bar. Kristal ini kemudian dianil dengan parameter seperti tercantum dalam Tabel 3.1 dan menghasilkan sampel Bi-OP dengan nilai  $T_{c,on} = 93$  K. Kristal dengan kandungan oksigen sangat tinggi (Bi-HO) [8] telah ditumbuhkan dalam lingkungan oksigen murni bertekanan 2.5 atm, dan dianil seperti dalam Tabel 3.1, yang memiliki  $T_{c,on} = 70$  K.

Tabel 3.1. Parameter penganilan untuk mengendalikan kadar oksigen dalam kristal Bi-2212[7,9]

Sampel	Tekanan Gas	Suhu anil	Lama anil	$T_{c,on}$ (K)
Bi-OP	0,0046 bar	600	60 jam	93
Bi-HO	2,1 atm	400	60 jam	70

Resistivitas mendatar  $ab$ ,  $\rho_{ab}(T,B)$ , diukur menggunakan metode standar dc 4-terminal (*standard dc four-probe method*) menggunakan arus dc sebesar 10 mA pada rentang suhu antara 15-300 K di dalam medan magnetik berarah sejajar dengan sumbu- $c$  kristal, dengan nilai antara 100 Oe sampai 40 kOe. Untuk pengukuran, kristal dipotong menurut ukuran yang sesuai dan dipersiapkan dengan konfigurasi elektroda 4-terminal (*4-probe*). Kontak listrik dibuat dengan memakai pasta emas yang dipoleskan pada permukaan kristal, lalu dipanaskan pada suhu 800°C selama 20 menit, kemudian didinginkan dengan cepat (*quenching*) pada permukaan keping tembaga (Cu) [7]. Pengukuran resistivitas ini menggunakan alat bertipe SVT INS EET-2610 buatan *Cryo Industries*, dan dilakukan di *Superconductivity Engineering Material Research Laboratory* (SEMRL) *Departement of Superconductivity*, Universitas Tokyo, Jepang. Seluruh eksperimen penumbuhan kristal dan pengukuran kristal serta resistivitas telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya [8].

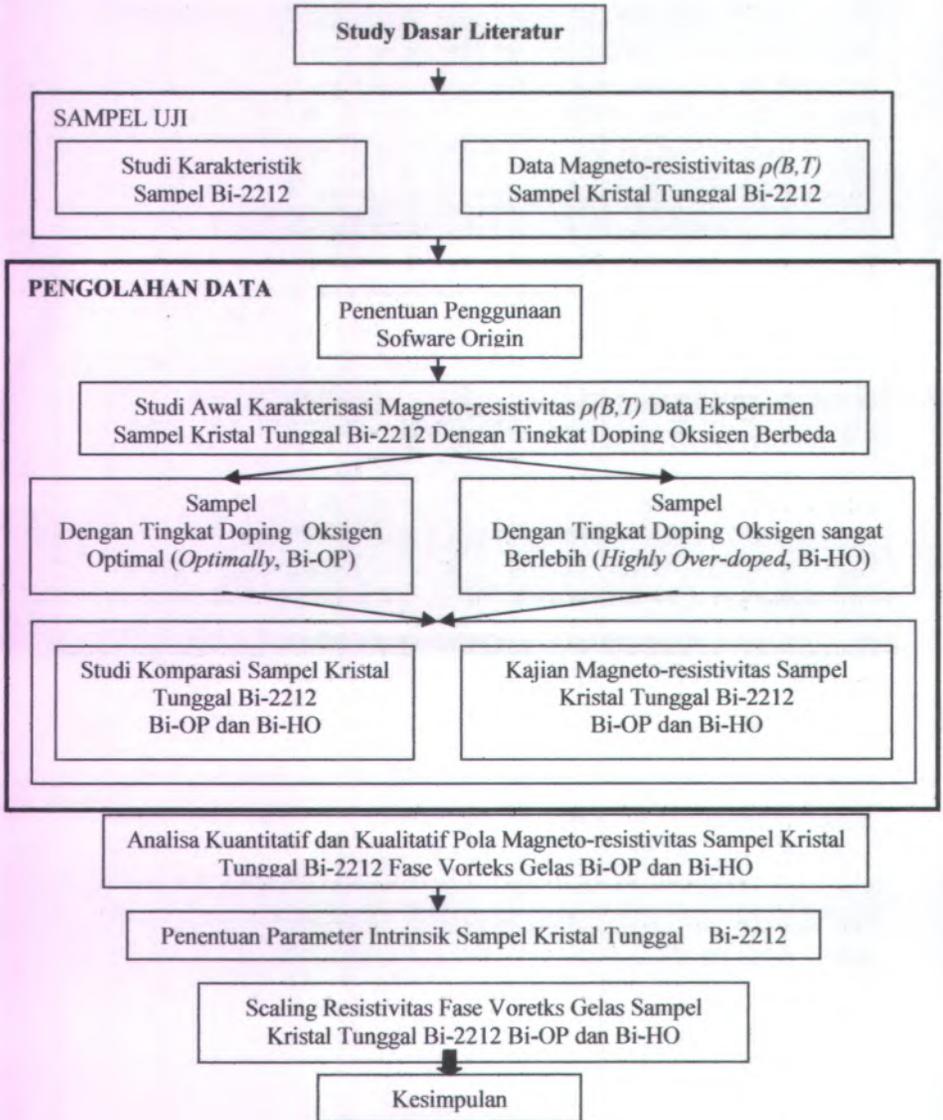
### 3.3 Langkah-langkah Pengolahan dan Analisis Data

Dalam langkah analisis selanjutnya dibuat garis transisi gelas terskala (*glass scaling*) berupa medan magnet terskala  $HH_0/H_p(x)$  sebagai fungsi dari temperatur tereduksi  $t$ . Nilai  $H$  didapatkan dari Persamaan (2.11), sementara  $H_p$  didapatkan dari Persamaan (2.13), sehingga dari substitusi tersebut didapatkan kembali persamaan garis gelas (Persamaan 2.9) yang mirip dengan Persamaan (2.10).

Sementara itu, parameter-parameter  $H_0$  dan  $\beta$  didapatkan dari *fitting* kurva diagram fase vorteks gelas dengan menggunakan Persamaan (2.9). Pada diagram fase ini dibuat grafik antara medan magnetik  $H$  melawan  $T_g$ . Nilai  $T_g$  diperoleh dari penerapan relasi Vogel-Fucher  $(\partial \ln \rho / \partial T) \propto T - T_g$ , selanjutnya dibuat grafik  $[d \ln \rho / dT]^{-1}$  melawan  $T$ . Pada daerah berlakunya rumusan tersebut dihasilkan kurva linier dengan kemiringan yang memberikan harga  $s$ , sementara titik potong kurva garis lurus dengan sumbu  $T$  menghasilkan nilai  $T_g$ . Hasil semacam ini ditunjukkan oleh penelitian sebelumnya [8].

Dari *scaling* ini diharapkan diperoleh model yang bagus untuk memberi penjelasan perilaku gelas terutama pada suhu rendah yang selama ini belum didapatkan untuk sampel  $Bi_2Sr_2CaCuO_{8-\delta}$  (Bi-2212). Setelah didapatkan model kurva yang diharapkan, dilakukanlah perbandingan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Rydh, dkk. di mana didapatkan penjelasan yang konsisten pada sampel YBCO-123 dan film tipis  $Tl_2Ba_2CaCuO_{8-\delta}$  pada *scaling* gelas ini [3].

Selanjutnya untuk mendapatkan resistivitas pada model ini digunakanlah Persamaan (2.6) dengan membuat kurva  $\rho / \rho_n$  sebagai fungsi  $|1/x - 1|$ . Pada kondisi gelas, resistivitas gelas  $\rho_g$  memberikan nilai  $\rho_0 = \rho_n$ , di mana resistivitas normal  $\rho_n$  diambil dari ekstrapolasi dari nilainya pada suhu tinggi. Parameter  $s$  diperoleh dari perpotongan grafik dengan sumbu mendatar kurva [3], kemudian hasilnya dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Seluruh langkah-langkah tersebut diatas tertuang dalam diagram alir dalam Gambar 3.1.



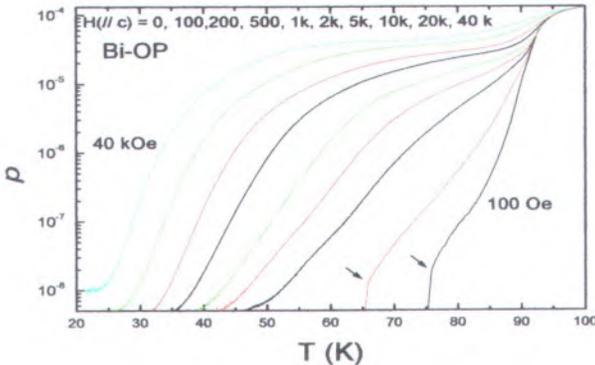
Gambar 3.1 Diagram Alir Langkah-langkah Dalam Penelitian ini.

## BAB IV

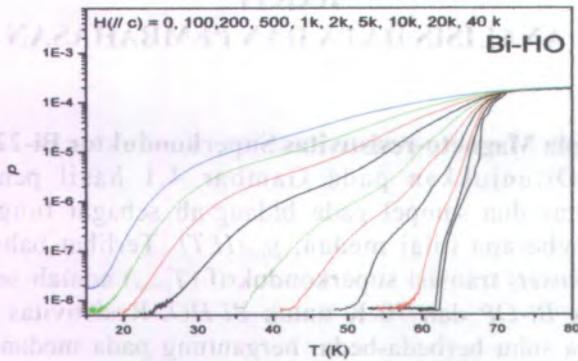
### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Pola Magneto-resistivitas Superkonduktor Bi-2212

Ditunjukkan pada Gambar 4.1 hasil pengukuran resistivitas dua sampel pada bidang-ab sebagai fungsi suhu untuk beberapa nilai medan,  $\rho_{ab}(H, T)$ . Terlihat bahwa suhu mulai (*onset*) transisi superkonduktif ( $T_{c-on}$ ) adalah sekitar 93 K untuk *Bi-OP* dan 70 K untuk *Bi-HO*. Resistivitas menjadi nol pada suhu berbeda-beda, bergantung pada medan magnet yang diberikan. Pergeseran suhu transisi nol, untuk medan 0 hingga nilai terbesarnya dalam eksperimen ini (40 kOe) berkaitan erat dengan gejala yang disebut pelebaran transisi resistif dan berhubungan langsung dengan efek kekuatan *pinning* vorteks. Hal tersebut mengungkapkan bahwa peningkatan medan meningkatkan pelebaran transisi resistif yang bersangkutan, atau dengan kata lain peningkatan medan telah menurunkan efek *pinning* dalam daerah transisi vorteks.



Gambar 4.1 (a)



Gambar 4.1 (b)

Gambar 4.1. Kurva resistivitas listrik bidang ab sebagai fungsi dari suhu pada medan magnet yang bervariasi dari 0 sampai dengan 40 kOe, yang diarahkan sejajar sumbu-c. Kurva (a) adalah sampel kristal Bi-OP dan (b) adalah sampel Bi-HO

Pengamatan dari sampel *Bi-OP* menunjukkan transisi pelepasan orde pertama yang dimanifestasikan oleh penurunan tajam pada "ekor" kurva resistivitas tanda panah pada gambar 4.1.a, sementara pada sampel *Bi-HO* tidak terdapat transisi orde pertama dan hanya terdapat transisi gelas orde kedua. Hal ini menunjukkan bahwa *doping* oksigen menyebabkan terjadinya peranan yang berkompetisi antara faktor disorder dan faktor anisotropi, yang secara nyata pengaruh penurunan anisotropi mendominasi pengaruh peningkatan disorder [7,8].

Pada bagian "ekor" kurva, yaitu pada sekitar  $\rho_c \sim 10^5 \rho_c(T_{con})$  pada Bi-OP dan pada Bi-HO sekitar  $\rho_c \sim 10^4 \rho_c(T_{con})$  resistivitas yang bersangkutan pada penelitian sebelumnya dapat didekati dengan ungkapan  $\rho \propto (T - T_g)^s$ , dengan  $s$  yang berlaku untuk daerah *glas vortex* [5], di mana  $s$  dan  $T_g$  menyatakan eksponen kritis dan suhu transisi gelas. Bila selanjutnya dibuat

grafik yang melukiskan hubungan antara  $[d \ln p / dT]^{-1}$  dan  $T$ , maka pada daerah berlakunya rumusan tersebut dihasilkan kurva linier dengan kemiringan yang memberikan harga  $s$ , sementara titik potong kurva garis lurus dengan sumbu  $T$  menghasilkan nilai  $T_g$ . Hasil semacam ini ditunjukkan pada penelitian sebelumnya [8] seperti dalam Tabel 4.1.

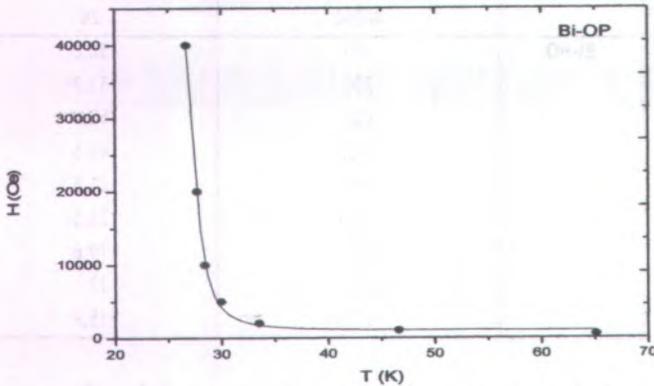
Tabel 4.1 Nilai-nilai temperatur gelas  $T_g$  dan eksponen kritis  $s$  pada masing-masing medan yang diperoleh dengan relasi Vogel-Fulcher [7].

Sampel	H (Oe)	$T_g$ (K)
Bi-OP	500	65,1
	1000	46,6
	2000	33,5
	5000	29,9
	10000	28,4
	20000	27,7
	40000	26
Bi-HO	100	58,8
	200	53,7
	500	50,4
	1000	45,5
	2000	31,8
	5000	22,5
	10000	19,6
	20000	18,1
40000	15,9	

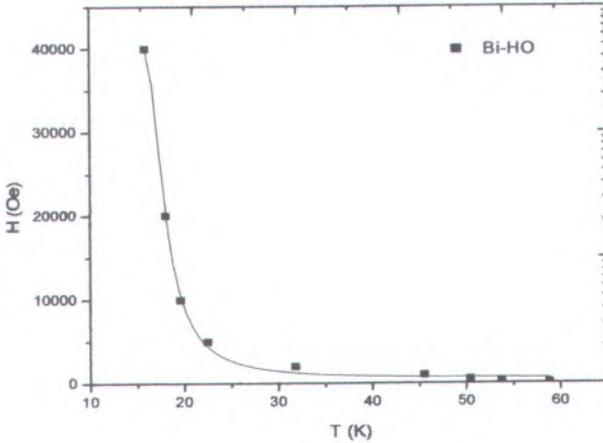
Lebih lanjut, eksponen kritis  $s$  didapatkan dalam eksperimen adalah  $5.3 \pm 1.3$  untuk kristal Bi-OP dan  $2.8 \pm 0.6$  untuk sampel kristal Bi-HO. Nilai ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan Safar, dkk. [5] dengan nilai  $s = 7 \pm 1$  untuk kristal *unannealed* BSCCO-2212 dan kristal *twinned* YBCO-123 yang mempunyai rentang nilai 2.9 – 4.6 [5], hal ini sesuai dengan penurunan nilai anisotropi.

Dalam Gambar 4.2 berikut ini ditunjukkan diagram fase

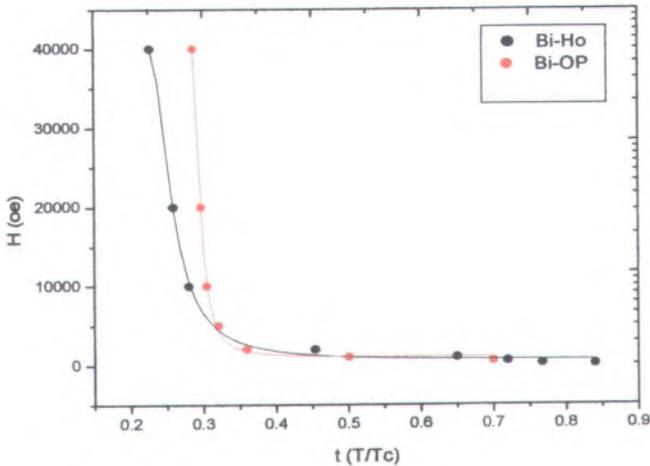
vorteks gelas untuk kedua sampel, terlihat bahwa pengaruh dopan oksigen telah menurunkan nilai dari  $T_g$ . Dari gambar juga ditunjukkan *fitting* garis gelas menurut Persamaan  $H_g = H_0 [f(t) / t]^{1/\beta}$  di mana  $f(t) = 1 - t$  dan  $t = T/T_c$ . Persamaan diperoleh oleh Rydh, dkk.[3] dengan mengambil nilai  $x = 1$ , yang sesuai dengan perbandingan energi *pinning* dan energi termal yang keduanya mempunyai nilai sama ketika terjadi transisi gelas. Dari *fitting* diperoleh nilai yang menurun dari kedua sampel yaitu 0,45 untuk kristal Bi-OP dan 0,54 untuk kristal Bi-HO, hal ini dikarenakan peningkatan anisotropi yang mengakibatkan pelunakan vorteks, dalam penelitian lain untuk kristal tunggal YBCO-123 dengan kadar oksigen yang menurun diperoleh  $\beta$  yang naik sesuai dengan turunnya anisotropi [3].



Gambar 4.2 (a)



Gambar 4.2 (b)



Gambar 4.2 (c)

Gambar 4.2 Fitting garis gelas  $H_g(T)$  menurut persamaan  $H_g = H_0 [f(t) / t]^{1/\beta}$   
 Untuk sampel (a) kristal Bi-OP dengan  $H_0 = 1761,6$  Oe dan  $\beta = 0.45$  (b) kristal  
 Bi-HO dengan  $H_0 = 2425,5$  Oe dan  $\beta = 0.54$  (c) perbandingan kedua kurva.

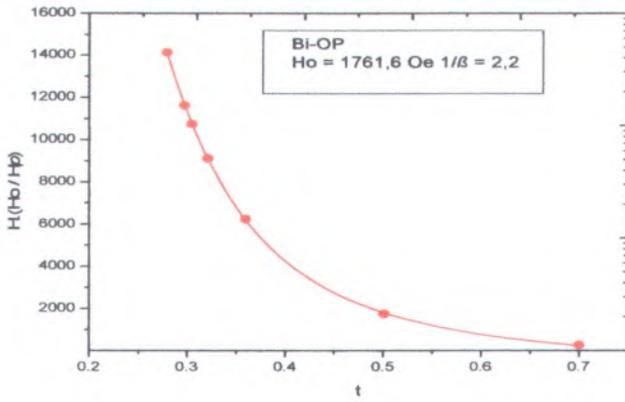
Tabel 4.2 menunjukkan hasil dari *fitting* garis gelas dengan menggunakan model Rydh, dkk. dari tiga kelompok sampel yang berbeda (Y-123, TI-2212 dan Bi-2212), tampak nilai hasil *fitting* dengan menggunakan sampel Bi-2212 ini tidak jauh berbeda dengan yang telah didapat dari penelitian sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa model ini konsisten pada sampel Bi-2212.

Tabel 4.2. Parameter-paramater yang diperoleh dari hasil dari fitting garis gelas kristal Bi-OP dan Bi-HO, sementara nilai  $T_c$  dan  $\gamma^2$  diperoleh dari Darminto, dkk.[7]. Nilai parameter kristal YBCO-123 dan TI-2212 diperoleh dari penelitian Rydh, dkk.[3].

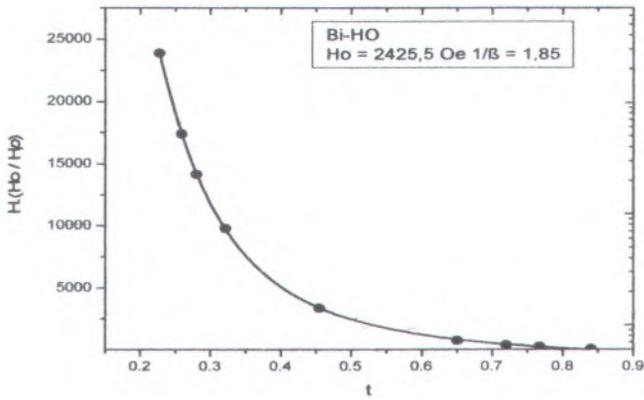
Sampel	$T_c$ (K)	$\gamma^2$	$H_0$ (Oe)	$\beta$
Bi-OP	93	19500	1761,6	0,45
Bi-HO	70	3000	2425,5	0,54
Y-123 1	91,3	75,69		0,84
Y-123 2	86,2	169		0,8
Y-123 3	73,2	361		0,78
Y-123 4	51,8	1225		0,52
TI-2212	102,5			0,2

#### 4.2 Diagram Fase Vorteks Gelas Terskala

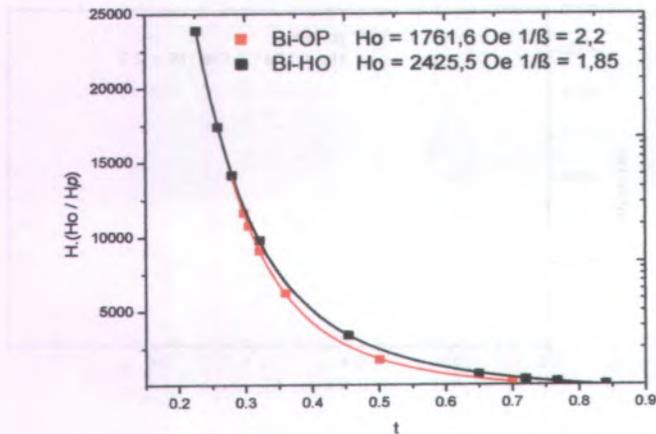
Selanjutnya dengan menggunakan persamaan  $H = H_0 x^{-1/\beta} [f(t)/t]^{1/\beta}$  akan dianalisis perilaku gelasunya. Dalam Gambar 4.3 medan magnet terskala (*scaled*)  $H.H_0/H_p(x)$  diplot sebagai fungsi dari suhu tereduksi  $t = T/T_c$  untuk sampel-sampel uji yang digunakan.



Gambar 4.3 (a)



Gambar 4.3 (b)

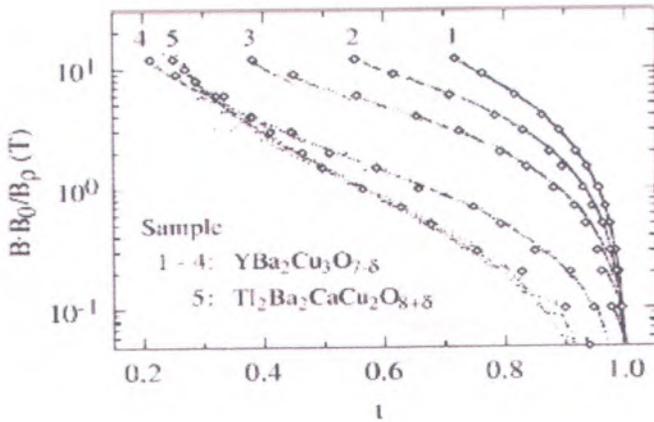


Gambar 4.3 (c)

Gambar 4.3. Medan magnet terskala sebagai fungsi suhu tereduksi untuk sampel yang diteliti. Setiap kurva dibangun dari beberapa tingkat resistivitas yang berbeda dalam daerah gelas terskala. (a) kristal Bi-OP dengan  $H_o = 1761.639$  Oe dan  $\beta = 0.45$  (b) Bi-HO dengan  $H_o = 2425.517$  Oe dan  $\beta = 0.535$  (c) perbandingan kedua kurva.

Pada Gambar 4.3, seluruh data untuk setiap sampel menuju ke dalam satu kurva tunggal. Hal ini mengkonfirmasi keberadaan  $U_o$  Scaling seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.3, bersifat tak dapat diduga dan memerlukan asumsi-asumsi empiris dalam teori vorteks gelas. Titik-titik data di dalam Gambar 4.3 memperlihatkan posisi temperatur gelas sebagaimana diperkirakan dengan menerapkan relasi Vogel-Fucher  $(\partial \ln \rho / \partial T) \propto T - T_g$  seperti tercantum dalam Tabel 4.1 sebagai bandingan dalam gambar 4.4 disajikan kurva serupa untuk sampel Y-123 dan Tl-2212 [3]. Selanjutnya, dari Gambar 4.3 menjadi jelas bahwa *scaling* yang kita lakukan menghasilkan garis-garis gelas yang akurat untuk sampel-sampel yang diamati. Garis-garis gelas akan mengikuti Persamaan (2.8), seperti

penelitian yang dilakukan oleh Rydh, dkk. [3] yang hasilnya seperti seperti pada Tabel 4.3.



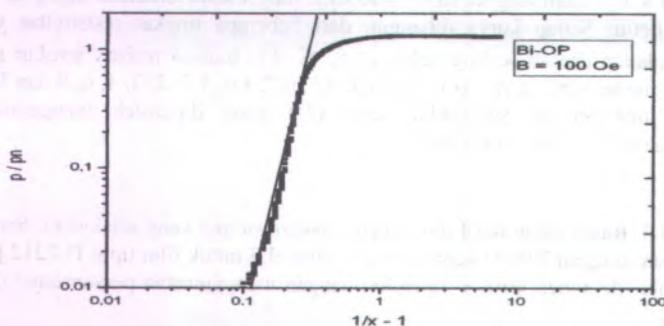
Gambar 4.4. Medan magnet terskala sebagai fungsi suhu tereduksi untuk sampel yang diteliti. Setiap kurva dibangun dari beberapa tingkat resistivitas yang berbedadalam daerah scaling gelas,  $\rho/\rho_n \leq 0,1$ . transisi resistiv terukur pada medan-medan sebesar  $H = 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 0,7; 1,0; 1,5; 2; 3; 4; 6; 9$  dan  $12$  T. Disini juga terlihat suhu-suhu gelas ( $T_g$ ) yang diperoleh menggunakan persamaan relasi Vogel-Fulcher[5].

Tabel 4.3. Rangkuman hasil untuk pengamatan sampel yang dilakukan. Sampel 1-4 kristal tunggal YBCO kembaran dan sampel 5 untuk film tipis Tl-2212 [14]. Nilai-nilai eksponen kritis  $s$  diperoleh dengan menggunakan persamaan Vogel-Fulcher.

Sampel	$T_c$ (K)	$s$
1	91,3	$4,6 \pm 0,3$
2	86,2	$3,8 \pm 0,3$
3	73,2	$2,9 \pm 0,3$
4	51,8	$3,6 \pm 0,3$
5	102,5	$3,0 \pm 0,5$

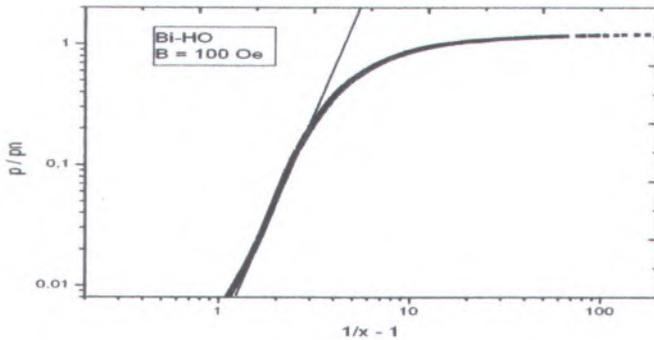
### 4.3 Resistivitas ternormalisasi

Eksponen kritis  $s$  dan prefaktor  $\rho_0$  dapat diperoleh secara langsung dengan membuat grafik  $\rho$  sebagai fungsi dari  $|1/x - 1|$ . Untuk mendapatkan nilai  $x = (H_p/H_0)^\beta$  dari *scaling*  $H_p(x)/H_0$ , dengan terlebih dahulu mengetahui nilai  $\beta$ . Penentuan prefaktor  $\rho_0$  diambil nilai ekstrapolasi resistivitas keadaan normal  $\rho_n$  sehingga  $\rho_0 = \rho_n$ . Gambar 4.4 memperlihatkan  $\rho_0/\rho_n$  sebagai fungsi  $|1/x - 1|$  untuk salah satu sampel Bi-OP dan Bi-HO. Bagian linier grafik menunjukkan bahwa sampel menunjukkan perilaku gelas, sedang nilai  $s$  diperoleh dari gradien kemiringan dari kurva linier tersebut.



Gambar 4.5 (a)

$\rho$	$\rho_n$	$\log \rho / \rho_n$
0.01	0.01	0
0.02	0.01	0.30
0.05	0.01	0.70
0.1	0.01	1.00
0.2	0.01	1.30



Gambar 4.5 (a)

Gambar 4.5. Resistivitas ternormalisasi  $\rho_0 / \rho_n$  sebagai fungsi  $|1/x - 1|$  untuk 1. Resistivitas state normal  $\rho_n$  diambil dari ekstrapolasi dari nilai pada suhu-suhu tinggi. Nilai  $\beta$  dipilih sedemikian sehingga akan memberikan nilai prefaktor  $\rho_0 = \rho_n$  untuk resistivitas gelas  $\rho_g$ . Nilai eksponen kritis  $s$  diperoleh sebesar  $s = 4.7 \pm 1.7$  untuk sampel Bi-OP dan  $= 2 \pm 0.4$  sampel Bi-HO

Gambar 4.4 adalah salah kurva resistivitas ternormalisasi yang ditujukan untuk mendapatkan nilai eksponen kritis  $s$ . Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 4.4. yang menunjukkan perbandingan nilai eksponen kritis  $s$  yang didapat dengan metode Rydh,dkk. Nilai tersebut tidak jauh dengan yang didapatkan dalam penelitian Darminto, dkk. [8] yang menggunakan metode Vogel-Fulcher.

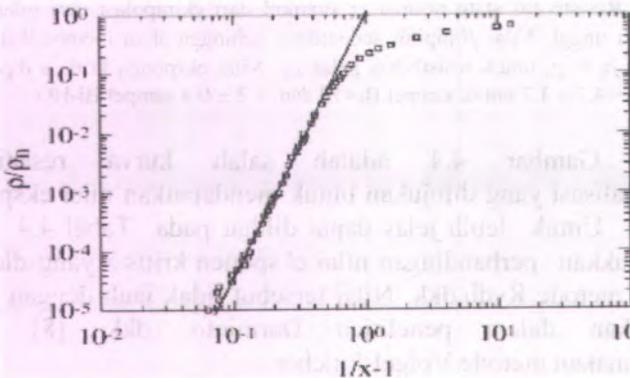
Tabel 4.4 Nilai parameter nilai eksponen kritis  $s$  untuk sampel Bi-OP dan Bi-HO yang sama dari dua metode yang berbeda. Pada metode Rudh, dkk. merupakan hasil dari penelitian ini sedangkan metode Vogel-Fulcher diperoleh dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Darminto, dkk. [8].

Sampel	$s$ (metode Rydh, dkk.)	$s$ (metode Vogel-Fulcher)
Bi-OP	$4,7 \pm 1,7$	$5,3 \pm 1,3$
Bi-HO	$2 \pm 0,4$	$2,8 \pm 0,6$

Selain itu, sampel Bi-OP dan Bi-HO mempunyai nilai  $s$  yang sesuai dan konsisten dengan hasil penelitian sebelumnya untuk

kristal tunggal Bi-2212 murni sebesar  $7 \pm 1$  [6] dan sampel kristal tunggal YBCO yang memberikan nilai seperti dalam Tabel 4.3. Dalam Tabel 4.3 tampak nilai  $s$  dari 4 sampel YBCO-123 dan sampel TI-2212 tidak jauh berbeda dengan nilai  $s$  sampel Bi-OP dan Bi-HO.

Selain itu nilai  $s$  yang menurun untuk kedua sampel sesuai dengan yang diharapkan di mana nilai  $s$  mencerminkan tingkat disorder sampel, sesuai dengan penelitian sebelumnya dengan 3 sampel berbeda yang dilakukan oleh Mustari dengan metode Vogel-Fulcher [7],  $s$  semakin turun dengan kandungan doping oksigen yang semakin besar. Gambar 4.4 mirip dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Rydh, dkk.[3] seperti terlihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Resistivitas ternormalisasi  $\rho_0/\rho_n$  sebagai fungsi

$|1/x - 1|$  untuk 1. Resistivitas normal  $\rho_n$  diambil dari ekstrapolasi dari nilai pada suhu-suhu tinggi, di mana  $\rho_0 = \rho_n$  untuk resistivitas gelas  $\rho_g$ . Nilai eksponen kritis  $s$  diperoleh sebesar  $s = 4,6 \pm 0,3$ .

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan terhadap kristal tunggal Bi-2212 dengan doping optimal (Bi-OP) dan doping sangat berlebih (Bi-HO) diperoleh kesimpulan berikut :

1. Penggambaran transisi gelas dengan model transisi gelas Fisher termodifikasi (Rydh, dkk. [3]) dapat diterapkan pada material yang lebih anisotropi dan didapatkan penjelasan yang konsisten terutama belum didapatkan pada sampel BSCCO-2212
2. Karakterisasi vorteks berdasarkan parameter  $\beta$  dari 4,5 menjadi 5,4 (naik) seiring dengan penurunan anisotropi berkaitan dengan semakin naiknya kandungan oksigen dan mencerminkan penguatan vorteks.
3. Pada model ini diperoleh eksponen kritis  $s$  dari 4,7 menjadi 2 (turun) pada kedua sampel yang mencerminkan tingkat disorder sampel Bi-2212.

### 5.2 Saran

Untuk mengklarifikasi dan menyempurnakan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini maka perlu diajukan beberapa saran berikut :

1. Perlu dilakukan analisis lanjutan pada fase vorteks gelas dengan model ini dengan sampel Bi-2212 dengan kandungan oksigen yang lebih beragam.
2. Perlu dilakukan kajian magneto-resistivitas dan magnetisasi dengan menggunakan data magnetisasi puncak kedua (*Second Magnetization Peak/ SMP*).

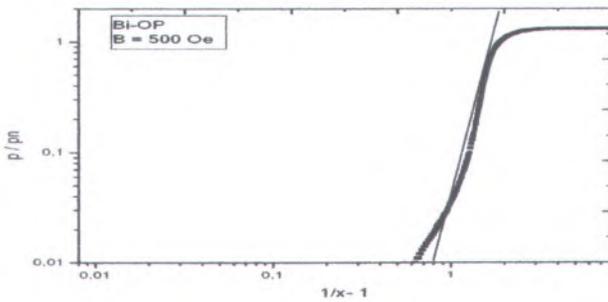
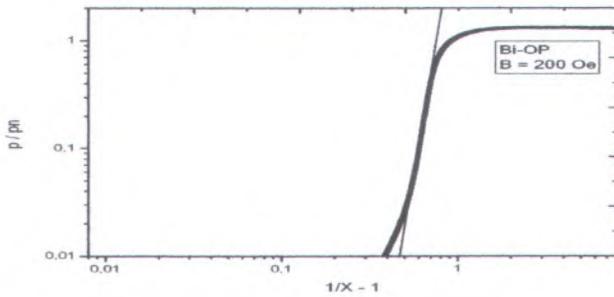
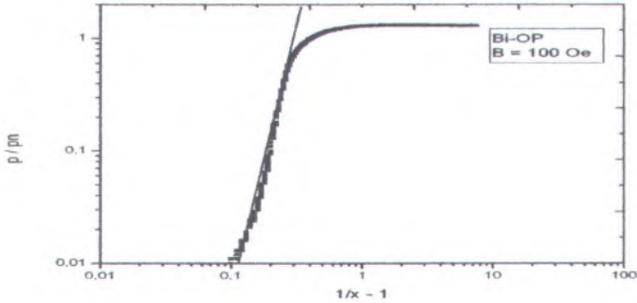
## Daftar Pustaka

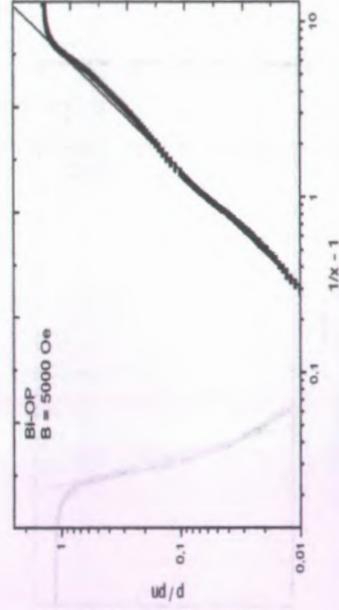
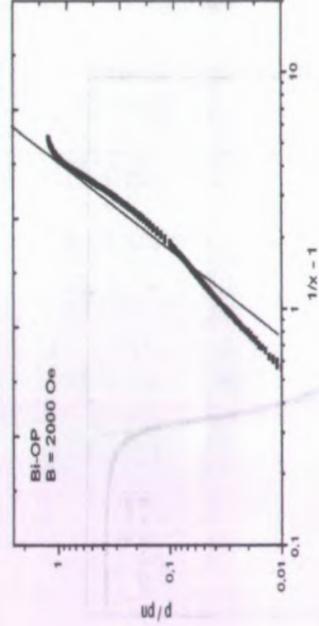
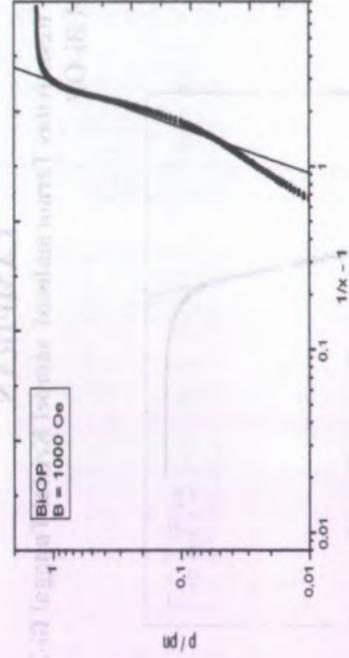
- [1] Cyrot M., Pavuna D., (1992). "*Introduction to Superconductivity and High T<sub>c</sub> Materials*". Singapore. World Scientific
- [2] Purwandana A.. (2005). "Resistivitas pada Fase Vorteks Cair dari Kristal Tunggal Superkonduktor Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>8+δ</sub> dengan Tingkat Doping Berbeda". Tugas Akhir S1. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [3] Rydh A., Rapp Ö. Dan Andersson M., (1999). "Consistent Description of the Vortex Glass Resistivity in High-T<sub>c</sub> Superconductors", *Physical Review Letter*, Vol 83, no. 9, pp 1850 – 1853.
- [4] Cohen L.F., Jansen H.J., (1997), "Opens Questions in the Magnetic Behavior of High-temperature Superconductors", *Rep.Prog. Phys.* 60. IOP Publishing Ltd. Pp 1581-1672.
- [5] Safar H., Gammel P.L., Bishop D.J., Mitzi D.B. dan Kapitulnik A., (1992), "SQUID Picovoltometry of Single Crystal Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>8+δ</sub> : Observation of the Crossover from High-temperature Arrhenius to Low-temperature Vortekx Glass behaviour, *Physical Review Letters*, Vol. 68, No. 17, pp 2672 – 2675.
- [6] Anderson M., Eltsev Yu, Lundqvist B., Rydh A., Rapp Ö., (2000), "Vortex liquid Properties in Optimally Doped and Oxygen-deficient YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> Single Crystals", *Physica C* 332, pp 86-92
- [7] Mustari. (2006). "Analisa Magneto-resistivitas pada Fase Gelas Vorteks dari Superkonduktor Kristal Tunggal Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>8+δ</sub>". Tesis S2. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

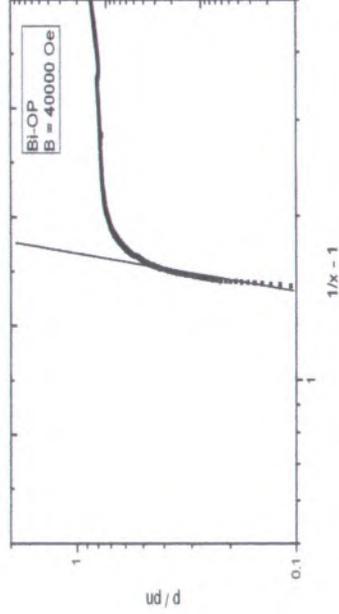
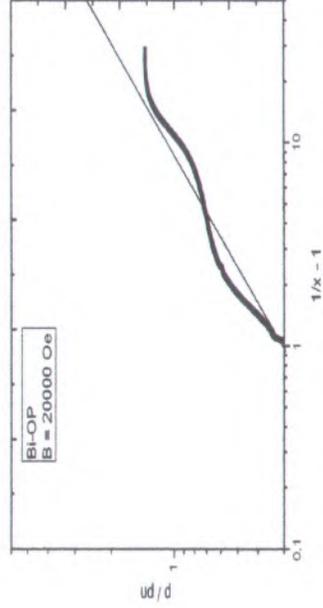
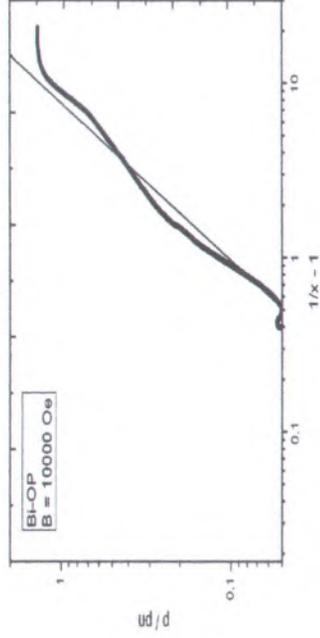
- [8] Darminto D., Tjia M.O., Nugroho A.A., Menovsky A.A., Shimoyama J. Kishio K., (2001), "Variation of Vortex-glass Dynamics and Critical Region with Oxygen Content in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  Single crystal", *Physica C* **357-360**, pp 617-620
- [9] Darminto D., Diantoro M., Sutjahja I.M., Nugroho A.A., Loeksmanto W., Tjia M.O., (2002), "Different Roles of anisotropy and Disorder on the Vortex matter of  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  Single Crystal", *Physica C* **378-381**, pp 479-482.

## LAMPIRAN

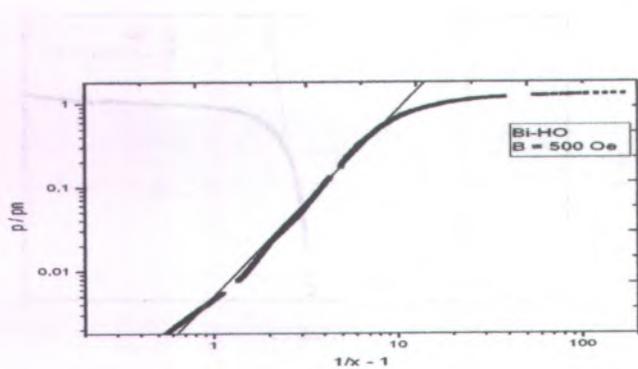
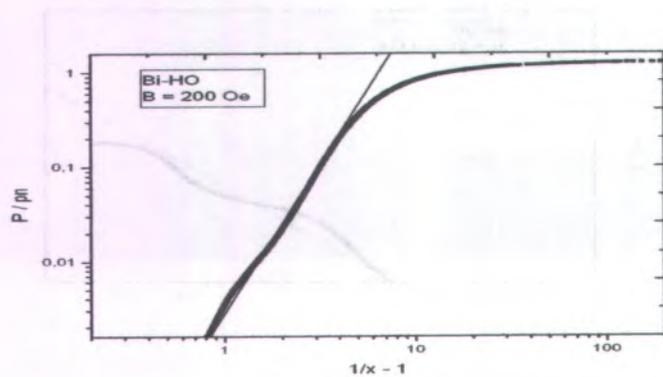
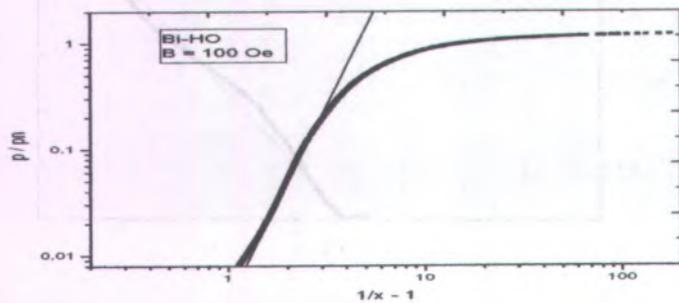
### Kurva Resistivitas Ternormalisasi sampel Kristal Tunggal Bi-2212 Sampel Bi-OP

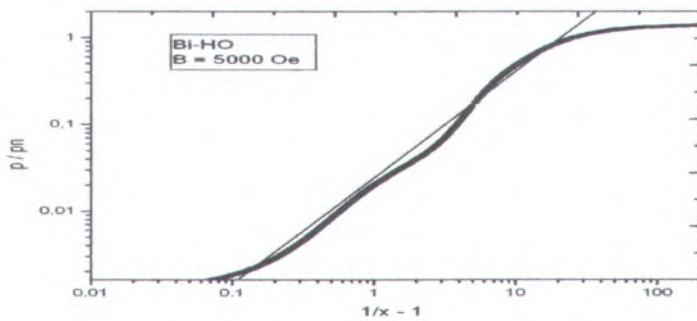
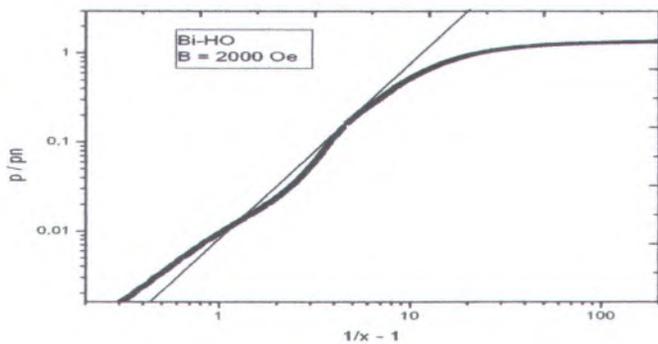
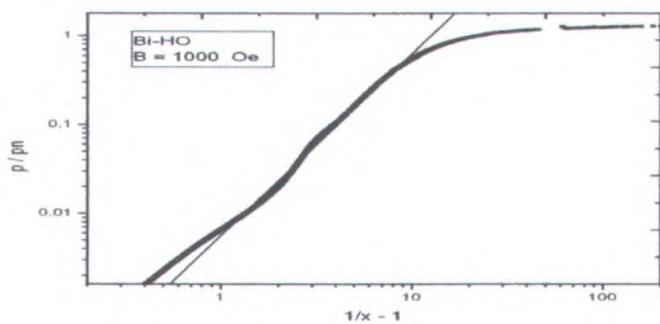









## Sampel Bi-HO







## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kediri, 5 Agustus 1982, merupakan anak keenam dari 7 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Dharma wanita Plosorejo Kediri, SDN 2 Plosorejo Kediri, SMPN 2 Kediri dan SMUN 2 Kediri. Setelah lulus dari SMU tahun 2001,

Penulis diterima di Jurusan Fisika MIPA ITS dan terdaftar dengan NRP 1101.100.041

Di Jurusan Fisika MIPA ini penulis mengambil bidang studi Fisika Material. Penulis aktif mengajar di beberapa bimbingan belajar sampai sekarang.