Jurnal Matematika dan Pengetahuan Alam
Volume 9, Nomor 1, Tahun 2000

ISSN 0853-0033

KARAKTERISASI RAPAT ARUS KRITIS SUPERKONDUKTOR DENGAN METODA MAGNETISASI

(Characterization of Critical Current Densities of Superconductor by Magnetization Method)

Alimin Mahyudin
Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Andalas, Padang

ABSTRAK

Magnetization method is a method for determines critical current density J_c that is comes out from superconductor. The superconductor material put in the center of the outer magnetic field H_r. And if the outer magnetic field is bigger than the lower critical magnetic field (H_{C1}) , then vortex current will be appears in the superconductor material; in the end magnetic field and critical current density will occur. Critical current density in BSCCO superconductor in orde 10^5 A/cm^2, and will decrease if temperature increasing, close to zero if temperature close to critical temperature.

Key words : rapat arus kritis, tegangan Hall, magnetisasi.

PENDAHULUAN

Pada tahun 1963 Meissner dan Ochsenfield[4] menemukan bahwa superkonduktor memiliki sifat diamagnetik yang sempurna, yang kemudian dikenal dengan efek Meissner-Ochsenfield. Untuk memahami efek Meissner-Ochsenfield yang terjadi pada superkonduktor diperlukan penelitian lebih lanjut. F.H.London[4] meneliti hal tersebut melalui pergerakan elektron pada material superkonduktor dalam medan listrik E, sebagaimana terlihat pada persamaan 1.

$$E = \frac{m}{n_s e^2}\frac{dJ_s}{dt} \qquad (1)$$

dimana m, n_s, e, dan J_s masing-masing adalah massa elektron, jumlah pembawa muatan, muatan elektron, dan rapat arus.

Bila : $$\Lambda = \frac{m}{n_s e^2} = \frac{4\pi}{e^2}\lambda_L^2 \qquad (2)$$

dimana Λ adalah tetapan London, dan merupakan karakteristik material, λ_L yaitu dalamnya penembusan medan magnet luar pada superkonduktor.

Maka persamaan 1 menjadi :

$$E = \Lambda\frac{dJ_s}{dt} \qquad (3)$$

Dengan menggunakan hubungan Maxwell didapat hubungan rapat arus dan medan magnet seperti persamaan 4.

$$B = -\Lambda\left(\nabla x J_s\right) \qquad (4)$$

Keberadaan medan magnet luar menimbulkan medan magnet superkonduktor, yang menghasilkan rapat arus permukaan J_S yang menurun secara eksponensial terhadap kedalaman, seperti dirumuskan pada persamaan 5.

$$J_s(x) = J_s(0)\exp\left(-\frac{X}{\lambda_L}\right) \qquad (5)$$

X : jarak tembus arus permukaan

Superkonduktor tipe II diletakkan ditengah medan magnet luar (H_r) yang lebih besar dari H_{C1} (medan magnet kritis bawah), medan magnet luar terletak antara H_{C1} dan H_{C2}. Dengan adanya medan magnet luar maka akan muncul arus pada bahan superkonduktor yang disebabkan oleh sifat magnet bahan itu sendiri. Arus ini disebut arus vortex, yang dapat diukur dengan metoda magnetisasi. Masuknya fluks magnet (yang disebabkan medan magnet luar $H_r > H_{C1}$) menembus material superkonduktor menimbulkan rapat arus J, yang disebut rapat arus kritis J_C (Barmawi, dkk 1993)

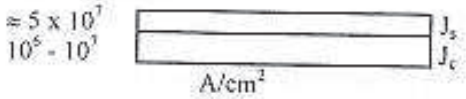
Rapat arus kritis didefinisikan juga sebagai rapat arus kritis lokal semimikroskopik[5] yang dipengaruhi oleh medan magnet lokal dari beberapa vortex.

$$J_{c\,vor} = \frac{e}{2\pi \ln k}\frac{H_{C1}}{r} \qquad (6)$$

dimana : $k = \lambda/\varepsilon$

r : jari-jari vortex

ε : sifat elektrik bahan

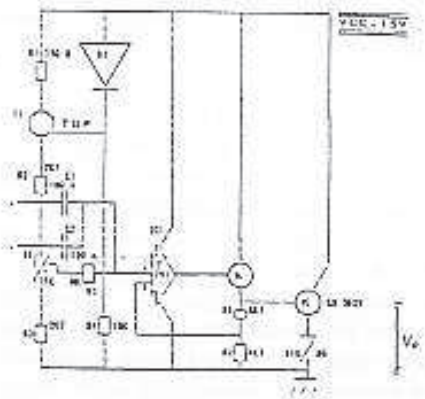


Gambar1. Skema orde rapat arus permukaan J_s dan rapat arus kritis J_c

METODA PENELITIAN

Pertama-tama dipersiapkan terlebih dahulu selenoida penghasil medan magnet luar. Diameter selenoida 9 cm dengan 2000 lilitan; dialiri arus 500 mA sehingga dihasilkan medan magnet 60 Gauss. Kumparan selenoida dibuat dari kawat yang berdiameter 1 mm. Hal ini dipilih untuk menghindari kebocoran induksi magnet.

Untuk mendapatkan medan magnet dari kumparan diperlukan sumber arus yang stabil, maka diperlukan pula rangkaian regulator. Dalam pengukuran rapat arus kritis diperlukan medan magnet AC dan DC sekaligus. Arus AC didapat dari signal generator dan arus DC dari aki (accu). Rangkaian yang digunakan adalah rangkaian catu daya yang dapat dimodulasi seperti gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Catu daya

Catu daya yang telah disiapkan dihubungkan dengan selenoida. Alat ini diletakkan di luar sampel superkonduktor yang telah dihubungkan dengan Sensor Hall. Tahanan geser diatur untuk menghasilkan arus 500 mA. Setelah arus dialirkan beberapa saat ke selenoida lalu diputus secara mendadak dan dimulailah pencatatan tegangan dan suhu, seperti terlihat pada Tabel 1.

DATA PENGAMATAN

Tabel 1. Nilai tegangan dan hambatan

Pt_{500} (Ohm)	V_H (mV)	Pt_{500} (Ohm)	V_H (mV)
114	2,59	154	1,03
118	2,54	173	0,08
130	1,40	180	0,05
134	1,37	188	0,04
140	1,37	193	0,03
147	0,95	194	0,02
148	0,96	206	0,02
150	0,97		

PEMBAHASAN

Dengan kalibrasi Pt_{500} didapat persamaan $t = -204{,}89082 + 0{,}008125\ P + 0{,}000745\ P^2$ didapat suhu dalam °K. Medan magnet kumparan yang dihasilkan selenoida adalah 0,0663 kGauss, sedangkan medan magnet dari tegangan Hall = 0,05 kGauss. Dan tegangan Hall yang terukur menurut Jue Zhang[2] dinyatakan dalam persamaan 7.

$$V_H = S_n \times H \qquad (7)$$

dimana : V_H : tegangan Hall
S_n : sensivitas Hall
H : medan magnet

dengan memasukkan nilai S_n = 0,8 dan nilai koreksi 0,0163, maka medan magnet sampel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 8.

$$H = \left(\frac{V_H}{0{,}8} + 0{,}0163\right) kGauss \qquad (8)$$

Menggunakan nilai tegangan Hall yang telah diperoleh dari data pengamatan seperti terlihat pada Tabel 1, maka persamaan 8 akan menghasilkan hubungan antara suhu dan medan magnet sampel seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Suhu dan medan magnet sampel

T (°K)	H (kGauss)	T (°K)	H (kGauss)
78,7175	3,2538	88,2354	1,3038
79,4413	3,1913	91,8119	0,1163
81,7559	1,7663	93,7079	0,0789
82,5751	1,7288	95,9680	0,0663
83,8487	1,7288	97,4278	0,0538
85,4023	1,2038	97,7242	0,0413
85,6302	1,2288	101,3977	0,0413

Untuk menentukan rapat arus kritis J_c menurut Jue Zhang[2] adalah :

$$H = 5{,}66\,\frac{J_c\,d}{C}\left[\ln(a/z) - 0{,}207\right] \qquad (9)$$

dimana : a : setengah lebar sampel

z : jarak antara titik pusat permukaan sampel dengan titik pengamatan

d : ketebalan sampel

C : kecepatan cahaya

Dengan memasukkan nilai a = 4 mm, z = 1 mm, d = 2 mm, dan C = 2,99 x 10^8 m/s, maka persamaan 9 menjadi persamaan 10.

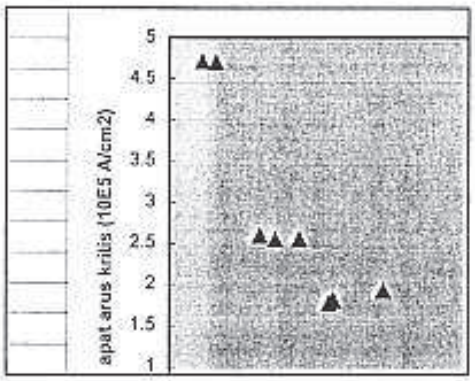
$$J_c = H\,\frac{2{,}99x10^8 x10^3 x10^{-4}}{5{,}66x1{,}793x2}\ A/cm^2 \qquad (10)$$

Dengan menggunakan nilai H dari Tabel 2. dan memasukkannya pada persamaan 10, maka didapat hubungan antara suhu dan rapat arus kritis dari sampel BSCCO seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Suhu dan rapat arus kritis

T (°K)	J_c (10^5 A/cm^2)	T (°K)	J_c (10^5 A/cm^2)
78,7175	4,70	88,2354	1,91
79,4413	4,69	91,8119	0,17
81,7559	2,59	93,7079	0,16
82,5751	2,54	95,9680	0,10
83,8487	2,54	97,4278	0,08
85,4023	1,76	97,7242	0,06
85,6302	1,80	101,3977	0,06

Untuk melihat hubungan suhu dan rapat arus kritis dibuat grafik seperti Gambar 3.



Gambar 3. Grafik J_c terhadap T

KESIMPULAN

Hasil pengamatan memperlihatkan bahwa rapat arus kritis dapat diukur dengan metoda magnetisasi, sesuai dengan perkiraan bahwa nilai rapat arus kritis J_c dalam orde 10^5 A/cm^2. Rapat arus kritis J_c menurun sejalan dengan meningkatnya suhu dan akan menuju nol saat $T=T_c$.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini merupakan bagian dari tesis magister penulis, sehingga ucapan terima kasih disampaikan kepada Prof. M. Barmawi, PhD, selaku pembimbing penulis.

DAFTAR PUSTAKA

Barmawi, dkk. (1993) Karakterisasi filem tipis superkonduktor T_c tinggi, Penelitian SPP/DPP, FMIPA, ITB.

Jue, Zhang, (1996) A Hall Probe Technique for characterizing high temperatur superconductor, Review Science Instrument, vol. 63 no.4.

Soussi, S. (1992) Review of the critical current densities and magnetic irrevesibilities in hight T_c superconductor, Journal of Physique III, Orsay Cedex, France.

Tinkman, M. (1965) Superconductivity, Gordon and Breach Science Publishers Inc, New York.