

PEMBUATAN SUSEPTOMETER AC UNTUK ALAT UJI SIFAT KEMAGNETAN DAN TRANSISINYA

Harsojo, Chotimah
Jurusan Fisika, FMIPA UGM

INTISARI

Telah dibuat suseptometer untuk mengukur transisi magnetik dalam beberapa macam cuplikan khususnya bahan superkonduktor. Alat terdiri atas sebuah osilator frekuensi rendah (1kHz - 5 kHz), sistem kriogenik buatan sendiri, kumparan primer dan sekunder, sebuah amplifier lock-in dan sebuah termokopel. Alat telah dioperasikan pada jangkauan temperatur $77\text{ K} < T < 120\text{ K}$ dengan ketelitian sinyal sebesar 1 %. Berat cuplikan minimum yang dapat terdeteksi kurang lebih 100 mg. Alat ini juga dapat mengukur komponen real dan imajiner dari suseptibilitas AC (bolak-balik) dan suhu transisi superkonduktor YBCO.

THE MAKING OF SUSCEPTOMETER AS A TESTING APPARATUS FOR MAGNETIC PROPERTIES AND ITS TRANSITION

Harsojo, Chotimah

ABSTRACT

A susceptometer was made to measure magnetic transition in several samples especially in superconductor material. The apparatus consist of a low frequency oscillator (1 kHz - 5 kHz), a home-made cryogenic, a primary coil, a secondary coil, a lock-in amplifier and a thermocouple. It operates well in the $77\text{ K} < T < 120\text{ K}$ with a signal accuracy about 1 %. The minimum sample weights less than 100 mg. The apparatus measures the real and the imaginary component, of the susceptibility, as well as the magnetic transition and its transition temperature of YBCO superconductor materials.

I. PENDAHULUAN

Di Indonesia penelitian tentang superkonduktor telah dimulai melalui proyek RUT. Pembuatan bahan baku superkonduktor yang terpenting yaitu Y_2O_3 telah dapat dihasilkan lewat limbah (Kris Tri dkk, 1995). Uji coba pembuatan superkonduktor dengan Y_2O_3 produksi lokal ini telah berhasil (Harsojo, dkk, 1995). Hanya alat karakterisasi superkonduktor, seperti SQUID, atau suseptometer belum tersedia. Alat yang tersedia seperti pengukuran resistivitas, tidak dapat menceritakan kualitas bongkahan bahan superkonduktor yang dihasilkan (Weston dkk, 1991).

Aplikasi kerentanan magnet arus bolak-balik pada penentuan efek Meissner maupun transisi magnetik telah dilakukan banyak peneliti. Cara membuat kalibrasi alat telah diteliti oleh Goldforb dan Minervini (1984). Pemakaian alat ini untuk pengukuran efek Meissner pada superkonduktor YBaCuO telah dilakukan oleh banyak orang. Untuk maksud praktikum, telah pula dirakit alat dalam bentuk sederhana oleh Edgar dan Qulty (1993). Petunjuk rancang bangun alat dengan kepekaan tinggi telah dilakukan oleh Nikolo (1995).

Dengan berkembangnya riset dalam superkonduktor lapisan tipis, alat ini menjadi alat uji yang penting untuk mengetahui kualitas superkonduktor bahan. Penelitian ini bertujuan untuk membuat alat ukur kerentanan magnet dengan kepekaan yang sebesar mungkin serta mengujinya untuk cuplikan standar atau sinyal analog.

II. TEORI

Cuplikan yang diletakkan di dalam medan magnet AC yang lemah $H_{ac} = H_{ao} \cos \omega t$, akan menimbulkan medan magnet yang nonlinear. Medan B dan M tidak memiliki frekuensi tunggal, sehingga medan magnet rata-ratanya dinyatakan oleh (Nikolo, 1995)

$$\langle B \rangle = \mu_0 H_{ao} \sum_{n=1}^{\infty} (\mu'_n \cos n\omega t + \mu''_n \sin n\omega t) \quad (1)$$

μ_n' dan μ_n'' adalah permeabilitas kompleks yang berhubungan dengan suseptibilitas magnetik menurut kaitan $\mu = 1 + \chi$. Dengan demikian, orang mendefinisikan suseptibilitas real dan kompleks menurut

$$\chi = \chi' + i\chi'' \quad (2 a)$$

dengan

$$\chi' = \mu' - 1 \quad (2 b)$$

$$\chi'' = \mu'' \quad (2 c)$$

yang dapat dinyatakan sebagai

$$\chi' = \left(\frac{\omega}{2\pi\mu_0 H_{ao}} \int_0^{2\pi/\omega} \langle B \rangle \cos \omega t \, dt \right) - 1 \quad (3)$$

$$\chi'' = \left(\frac{\omega}{2\pi\mu_0 H_{ao}} \int_0^{2\pi/\omega} \langle B \rangle \sin \omega t \, dt \right) \quad (4)$$

Untuk bahan diamagnetik sempurna $\chi' = -1$, yang berarti nilai integral pada Pers. (4) nol, fluks magnet tertolak seluruhnya, dan $\chi'' = 0$. Ini adalah karakteristik keadaan superkonduktor. Untuk bahan yang memiliki keadaan campuran antara superkonduktor dan yang lain, harga χ' kecil antara -1 dan 0 yang berarti ada serapan medan AC.

Prinsip pengukuran suseptibilitas adalah pengukuran tegangan induksi fluks magnet yang ditimbulkan oleh cuplikan yang diletakkan di dalam dua kumparan setara di dalam suatu medan magnet AC. Bila $M(t)$ adalah induksi magnetik di dalam cuplikan dalam volume V yang berbentuk koil dengan lilitan N dan jari-jari a , maka fluks magnet yang ditimbulkan adalah

$$\Phi(t) = \mu_0 \pi a^2 N M(t) \quad (5)$$

Tegangan yang terukur oleh kumparan besarnya

$$V(t) = \frac{d\Phi}{dt} = \mu_0 \pi a^2 N \frac{dM(t)}{dt} \quad (6)$$

dengan

$$M(t) = \sum_{n=1}^{\infty} H_{ao} (\chi'_n \sin n\omega t + \chi''_n \cos n\omega t) \quad (7)$$

Besarnya tegangan induksi adalah

$$V(t) = V_0 \sum_{n=1}^{\infty} (\chi'_n \sin n\omega t + \chi''_n \cos n\omega t) \quad (8)$$

Bila dipilih untuk frekuensi dasarnya saja, maka diperoleh

$$V(t) = V_0 (\chi'_1 \sin \omega t - \chi''_1 \cos \omega t) \quad (9)$$

dengan

$$V_0 = \mu_0 \pi a^2 N H_{ao} \quad (10)$$

Efek non linear pada χ ini disebabkan oleh butiran magnetik bahan. Hal ini akan tampak jelas pula bila beda fase antara tegangan pada saat belum ada cuplikan dan setelah ada cuplikan diukur. Apabila cuplikan dimasukkan ke dalam medan magnet pengukur yang diletakkan di dalam medan magnet, akibat pengaruh $H(t)$ timbul tegangan induksi pada kumparan sekunder

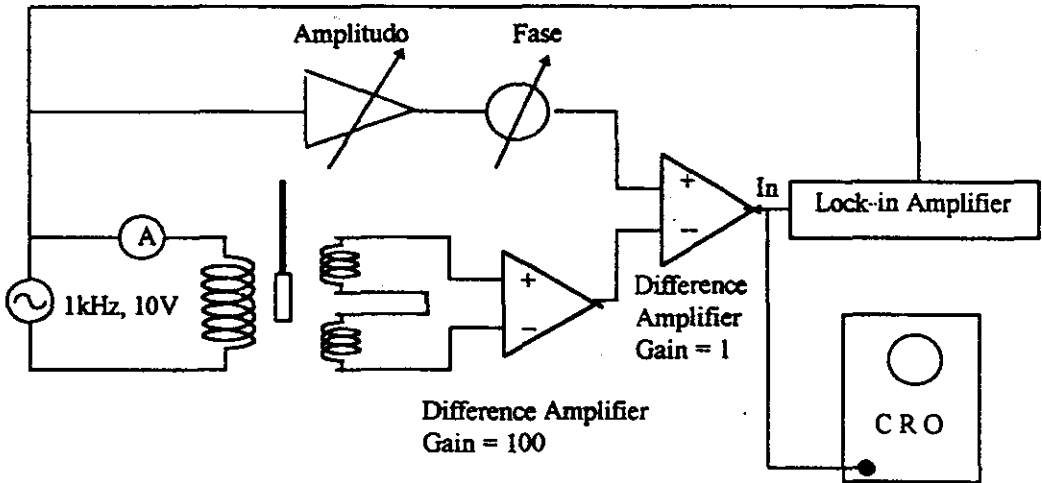
$$V = \beta \nu f H_{ao} \chi \quad (11)$$

dengan β adalah konstanta kalibrasi, ν volume, f frekuensi, dan H_{ao} medan magnet AC dari luar. Sehingga sinyal suseptibilitas sebanding dengan sinyal χ . Dengan mengganti-ganti cuplikan dan memvariasi suhu, maka suseptibilitas bahan $\chi(T)$ dapat ditentukan melalui pengukuran $V(t)$.

III. EKSPERIMEN

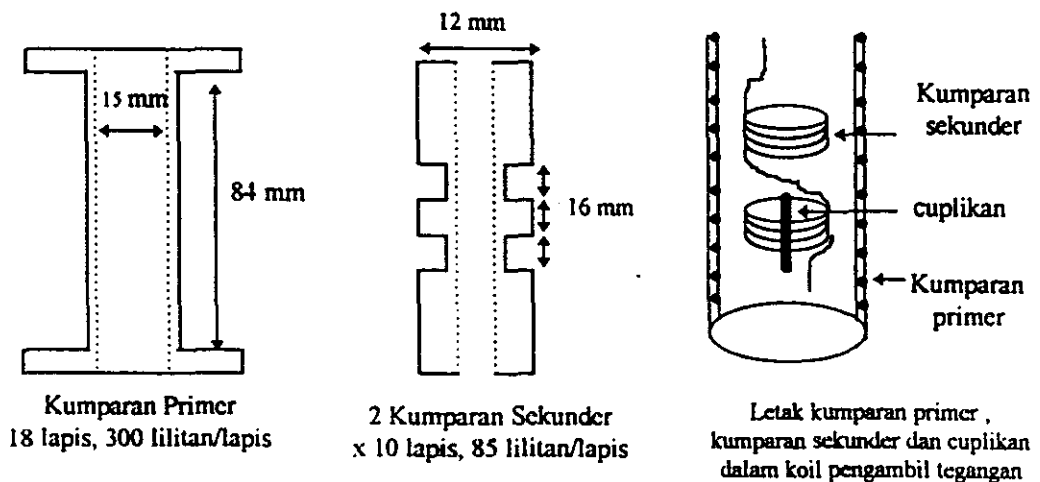
Alat terdiri atas kumparan pengambil tegangan, rangkaian elektronik yang berisi amplifier, pengatur fase dan amplitudo, CRO, lock-in amplifier dan generator sinyal (Edgar dkk, 1993 dan Nikolo, 1995). Skema rangkaian alat pengukur

ditunjukkan oleh Gb 3.1. Sebagian alat seperti CRO, Lock-in amplifier dan generator sinyal telah tersedia di Lab. Fisika Zat Padat FMIPA UGM .

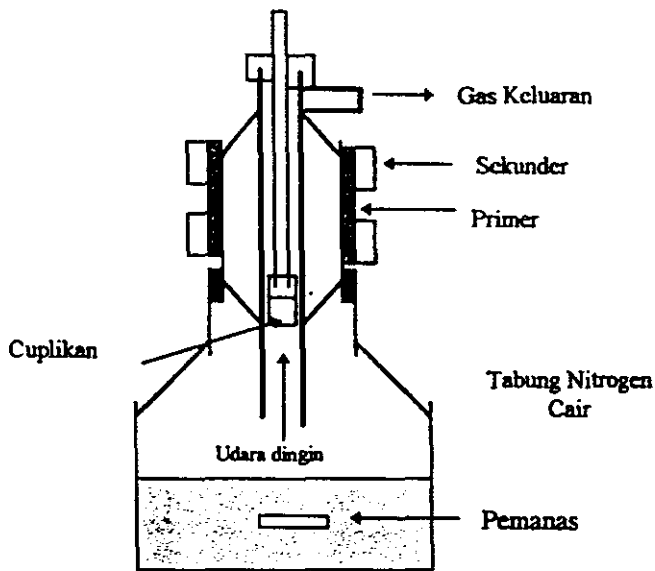


Gambar 3.1. Skema alat pengukur kerentanan magnet

Disain kumparan pengambil tegangan disajikan pada Gb. 3.2 sebagaimana dibuat oleh Nikolo (1995) dengan sedikit modifikasi. Inti kumparan menggunakan bahan plastik. Kawat kumparan primer berdiameter 0.7 mm sedangkan kawat kumparan sekunder berdiameter 0.15 mm. Perekat dipakai lem plastik dan lem keramik yang tersedia di pasaran. Sedang sistem kriogenik dibuat dari termos dengan susunan seperti ditunjukkan oleh Gb 3.3.



Gambar 3.2. Kumparan pengambil tegangan



Gambar 3.3. Sistem kriogenik

Setelah pembuatan alat elektronik yang meliputi kumparan pengambil tegangan, pengatur fase dan pengatur amplitudo, selanjutnya dibuat susunan seperti pada Gb 3.1. Pada percobaan kali ini dipakai arus dengan frekuensi 200 Hz pada medan magnet berorde ratusan gauss. Selanjutnya cuplikan dimasukkan dalam kumparan. Tegangan yang timbul karena induksi dapat dilihat melalui CRO atau dibaca pada Lock-in amplifier. Pengaturan fase dapat diatur dengan alat pengatur fase. Pengukuran temperatur dilakukan dengan termokopel. Temperatur diukur dengan mengukur tegangan termokopel yang ditempatkan pada cuplikan. Data hasil pengukuran berupa tegangan sebagai fungsi temperatur yang sebanding dengan kerentanan magnet cuplikan sebagai fungsi temperatur.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran temperatur dari 77 K sampai 120 K dilakukan dengan laju perubahan satu derajat setiap lima belas menit, sedangkan pengukuran sinyal lock-in menyesuaikan dengan waktu tanggap yang dapat diatur disesuaikan dengan kelajuan pengukuran temperatur. Data akhir perolehan percobaan ini adalah

tegangan yang dibaca dari penguat lock-in dan tegangan termokopel. Tegangan termokopel dikonversikan menjadi suhu berdasarkan persamaan termokopel.

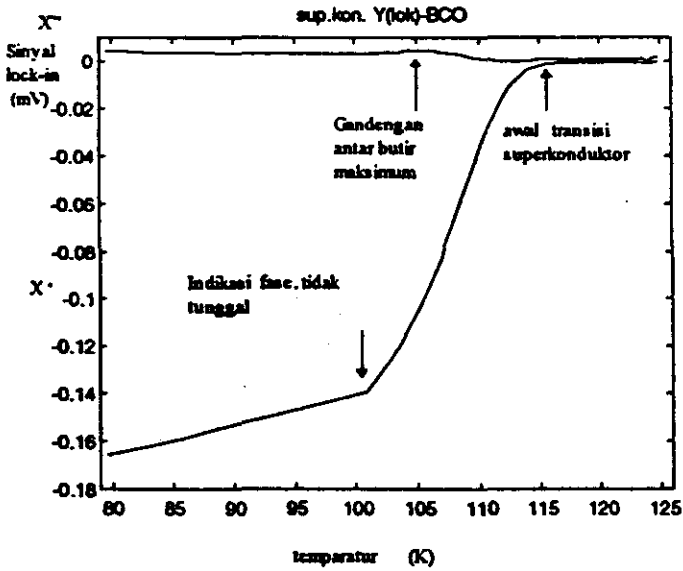
Pada penyelidikan transisi magnetik, besaran transisi biasanya dinyatakan dengan satuan sembarang atau satuan ternormalisasi terhadap sinyal maksimum. Pada percobaan ini besaran transisi dinyatakan dengan sinyal lock-in yang bersatuan milivolt (mV) atau sinyal ternormalisasi. Dari data tegangan V melawan temperatur T , dibuat grafik $V-T$ yang sebanding dengan $\chi - T$. Secara kualitatif dari grafik $\chi(T)$ akan dapat diidentifikasi suhu kritis bahan superkonduktor dan sifat dinamika dari butiran. Sinyal ini dapat pula dimanfaatkan untuk mencari transisi kemagnetan (soft magnetic).

Hasil yang diperoleh dari suseptometer menunjukkan adanya transisi magnetik pada cuplikan superkonduktor. Komponen real dan imajiner dapat dideteksi dengan mudah. Hal ini menunjukkan bahwa suseptometer yang dibuat cukup mampu untuk mendeteksi transisi. Pada komponen imajiner, X'' , adanya puncak menunjukkan bahwa kemampuan gandengan antar butir saat itu maksimum. Sedangkan pada komponen real, X' , nampak jelas adanya transisi superkonduktor.

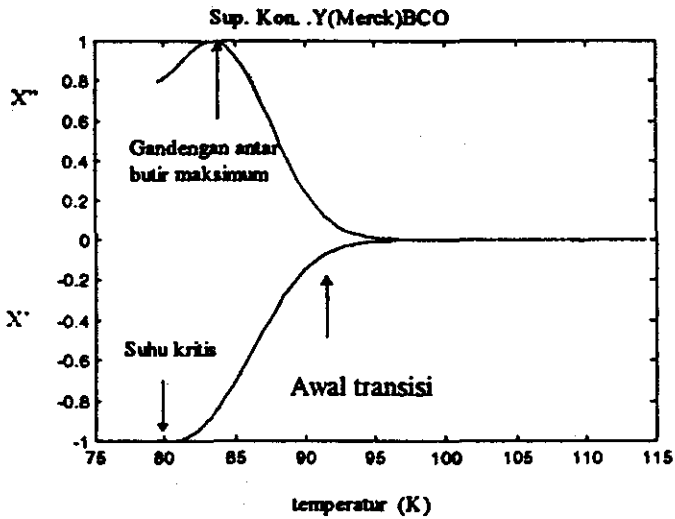
Nilai $\chi(T)$ untuk $T < T_c$ menyatakan prosentase efek Meissner yang merupakan ukuran kualitas superkonduktor.

N. KESIMPULAN DAN SARAN

Suseptometer yang dibuat telah dapat dipakai untuk menguji transisi magnetik bahan superkonduktor dengan jangkauan suhu $20 \text{ K} > T > 77 \text{ K}$, dengan ketelitian sinyal $\approx 1 \%$, dengan berat cuplikan kurang dari 100 mg. Alat ini, dengan modifikasi, dapat diperluas daerah kerja suhunya sehingga $4 \text{ K} < T < 500 \text{ K}$, karena selain dapat dipakai untuk menguji cuplikan superkonduktor juga dapat untuk menguji transisi orde dua bahan lain yang meliputi daerah suhu yang lebih besar. Alat ini masih perlu dikembangkan sehingga secara keseluruhan menjadi otomatis.



Gambar 3.1 Sinyal susceptibilitas real X' dan X'' ternormalisasi untuk cuplikan superkonduktor Y(lol)BaCuO.



Gambar 3.3 Suseptibilitas superkonduktor Y(Merck)BaCuO, dengan X'' , komponen imajiner dan X' komponen real sinyal ternormalisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Coach, M., 1985, *Study Superconductors by ac Susceptibility*, Cryogenics 25, 694-695
- Ding, dkk, 1995, *Journal of App. Physics*, 12, 465
- Edgar, A. dan Quilty, J.W., 1993, *A Mutual Inductance Apparatus for Measuring Magnetic Susceptibility and Electrical Conductance*, Am. Journal Phys. 61, 943-946
- Goldforb, R.B., dan Minervini, J.V., 1984, *Calibration of ac Susceptibility for Cylindrical Specimen*, Rev. Sci. Instr 55, 762
- Harsojo dan Baskoro.A., 1995, *Pembuatan Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_7$ dengan Ytrium Produlsi PPNY Yogyakarta*, Pertemuan Ilmiah HFIY, September 1995, Yogyakarta
- Kris Tri B., F. Lahagu, B. Edi , Sudibyoy, Harsoyo, 1995, *Pembuatan CeO_2 dan Y_2O_3 dengan kadar 95 % dari pasir Monasit dan Xenotim*, KIPNAS, 11-16 September 1995, Jakarta
- Nikolo, M., 1995, *Superconductivity : A Guide to Alternating Current Susceptibility Measurements and Alternating Current Design*, Am. Journal Phys. 63, 57-65
- Weston, A., 1990, *Non-linear Magnetic Response of Complex AC Susceptibility in the YBaCuO Superconductor*, Physics C172, 233-241