

PENGUKURAN NILAI DIELEKTRIK MATERIAL CALCIUM COPPER TITANAT ($\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$) MENGGUNAKAN SPEKTROSKOPI IMPEDANSI TERKOMPUTERISASI

MEASUREMENT OF THE DIELECTRIC CONSTANT FOR CALCIUM COPPER TITANATE ($\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$) MATERIALS USING COMPUTERIZED IMPEDANCE SPECTROSCOPY

Widodo Budi Kurniawan* dan Kamsul Abraha

Ilmu Fisika, FMIPA Universitas Gadjah Mada

*email: widodokurniawan1@gmail.com

Diterima 6 Februari 2017, disetujui 27 Maret 2017

Abstrak

Telah dilakukan pengukuran tetapan dielektrik kompleks dan besarnya impedansi kapasitor pada material keramik Calcium Copper Titanate dengan struktur material $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ (CCTO) dengan kemurnian 99 % menggunakan metode spektroskopi impedansi terkomputerisasi dalam rentang frekuensi 5 kHz – 120 kHz. Tetapan dielektrik maksimum terukur pada sampel yang disintering dengan suhu 7000C yaitu 745 pada frekuensi 5 kHz dan besarnya impedansi kapasitor maksimum terjadi pada sampel CCTO non sintering yaitu 150434 Ω . Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh frekuensi terhadap tetapan dielektrik kompleks dan impedansi kapasitor dari material yang diteliti.

Kata kunci: spektroskopi impedansi, $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$, tetapan dielektrik kompleks dan impedansi kapasitor.

Abstract

The measurement of the complex dielectric constant and the magnitude of the capacitor impedances of Calcium Copper Titanate $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ (CCTO) ceramic materials with purity of 99% had been done by using computerized impedance spectroscopy in the frequency range of 5 kHz - 120 kHz. The highest dielectric constant of the material was found to be 745 at 5 kHz in the sample sintered at 7000C and the highest impedance of capacitor occurred in CCTO non sintered sample that is 150434 Ω . The results showed that complex dielectric constant and impedance of the capacitor of the material under study was frequency dependent.

Keywords: impedance spectroscopy, $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$, complex dielectric constant and impedance of capacitor

Pendahuluan

Kajian sains di bidang material dewasa ini terus mengalami perkembangan yang sangat pesat. Para ilmuwan terus melakukan eksplorasi kajian materi guna mendapatkan material baru yang lebih kuat, ringan, tahan terhadap suhu tinggi maupun rendah dan juga untuk mengetahui karakteristik suatu bahan, misalkan sifat kelistrikannya. Sifat kelistrikan material dapat berkaitan dengan sifat dielektriknya. Sifat dielektrik yang dimiliki oleh suatu material dengan material yang lain berbeda-beda.

Sifat dielektrik adalah sifat yang dapat menggambarkan kemampuan bahan untuk

menyimpan energi. Sifat ini berkaitan erat dengan kapasitansi suatu bahan. Kapasitansi adalah besaran yang menyatakan kemampuan suatu kapasitor untuk dapat menampung muatan listrik [1]. Kapasitansi bergantung pada ukuran dan bentuk geometri konduktor dan akan bertambah bila digunakan bahan pengisolasi atau dielektrik. Kemampuan bahan dielektrik berbanding lurus dengan konstanta dielektrik.

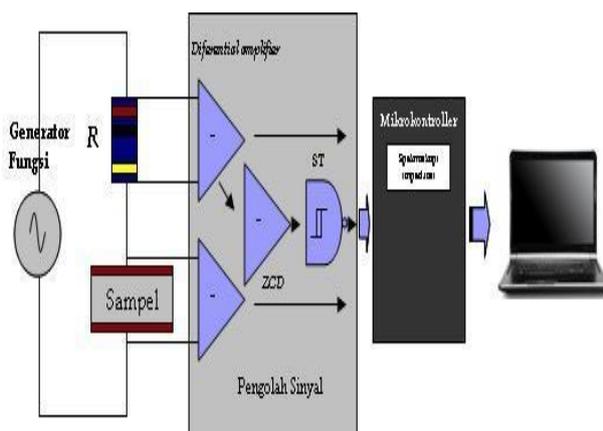
Besarnya nilai konstanta dielektrik dapat diketahui melalui berbagai macam teknik pengukuran. [2] telah melakukan pengukuran nilai konstanta dielektrik NaCl dan berbagai macam batuan alami menggunakan kapasitor keping sejajar yang dihubungkan pada osiloskop untuk

menampilkan data dalam bentuk grafik *Lissajous*. Data-data hasil pengukuran didapatkan dari pembacaan grafik *Lissajous* pada layar osiloskop. [3] juga telah melakukan pengukuran nilai konstanta dielektrik dengan teknik yang sama menggunakan material *Calcium Copper Titanate*, $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ (selanjutnya akan disingkat menjadi CCTO) dalam bentuk keramik (*pellet*). Hasilnya ada sebagian yang berbeda dengan peneliti-peneliti sebelumnya. Perbedaan nilai yang didapatkan dimungkinkan karena kekurangtelitian dalam pembacaan grafik *Lissajous* pada layar osiloskop. Kesulitan dan kekurangtelitian dalam pembacaan grafik *Lissajous* inilah yang menjadikan peneliti tertarik untuk melakukan pengukuran nilai konstanta dielektrik kompleks material CCTO menggunakan alat spektroskopi impedansi terkomputerisasi.

Adapun tujuan penelitian ini adalah : (1) Menentukan nilai konstanta dielektrik kompleks material CCTO menggunakan teknik spektroskopi impedansi. (2) Menentukan nilai impedansi kapasitor menggunakan teknik spektroskopi impedansi sebagai fungsi frekuensi.

Metode Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan rangkaian alat ukur konstanta dielektrik menggunakan prinsip spektroskopi impedansi terkomputerisasi, dengan skema alat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1



Gambar 1 Skema Rancangan Alat

Adapun teknik pengambilan data menggunakan prinsip spektroskopik impedansi terkomputerisasi adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan bahan dielektrik yang telah dicetak dengan ketebalan 3 – 5 mm.
2. Menghubungkan kabel-kabel penghubung baik ke sumber tegangan maupun ke alat

3. Data awal berupa ketebalan dan hambatan resistor dimasukkan pada komputer.
4. Setelah AFG dinyalakan, ditunggu sampai tegangan yang terbaca pada LCD stabil, kemudian dilakukan pengambilan data dengan klik menu **Ambil Data** pada program Delphi yang telah dibuat. Pengambilan data dilakukan pada rentang frekuensi 5 kHz – 120kHz
5. Setelah data selesai diambil, selanjutnya dilakukan penyimpanan data dengan menekan tombol **Simpan**.

Berdasarkan Gambar 1, terdapat tiga jenis variabel yang langsung dapat terukur dan direkam oleh mikrokontroler. Ketiga variabel tersebut yaitu:

1. Frekuensi (f)
2. Tegangan kapasitor (V_C)
3. Tegangan resistor (V_R)

Untuk menghitung besarnya impedansi kapasitor dapat ditentukan dengan menerapkan hukum Ohm, yaitu

$$|Z| = \frac{V_{C\max}}{V_{R\max}} \cdot R \quad (1)$$

Nilai *loss tangent* dapat ditentukan dengan menghitung beda fase yaitu

$$D = \tan \delta = \frac{1}{\tan \phi} \quad (2)$$

dengan

$$\tan \phi = \frac{V_C}{V_R} \quad (3)$$

Besarnya nilai konstanta dielektrik bagian riil dapat ditentukan melalui persamaan

$$\epsilon_r' = \frac{d \sin \phi}{2\pi f \epsilon_0 A |Z|} \quad (4)$$

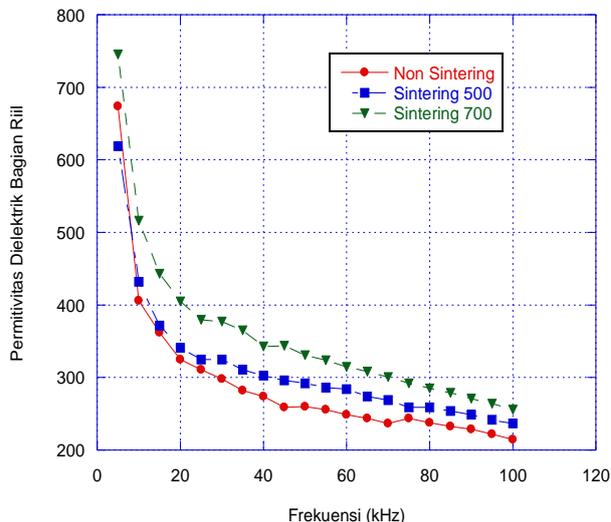
Sedangkan besarnya konstanta dielektrik bagian imajiner dapat ditentukan menggunakan persamaan

$$\epsilon_r'' = \epsilon_r' \tan \delta \quad (5)$$

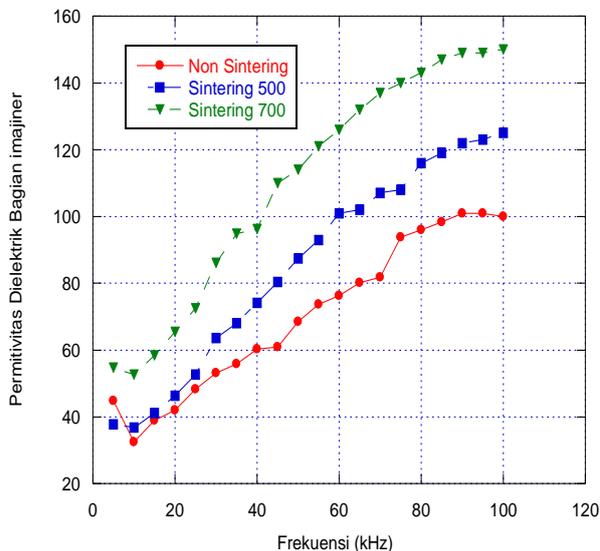
Hasil dan Pembahasan

1. Ketergantungan hasil pengukuran material CCTO terhadap frekuensi dan suhu sintering

Berdasarkan data hasil pengukuran material CCTO terhadap frekuensi sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2, didapatkan bahwa material yang mengalami perlakuan sintering memiliki nilai konstanta dielektrik bagian riil yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan material yang non sintering.



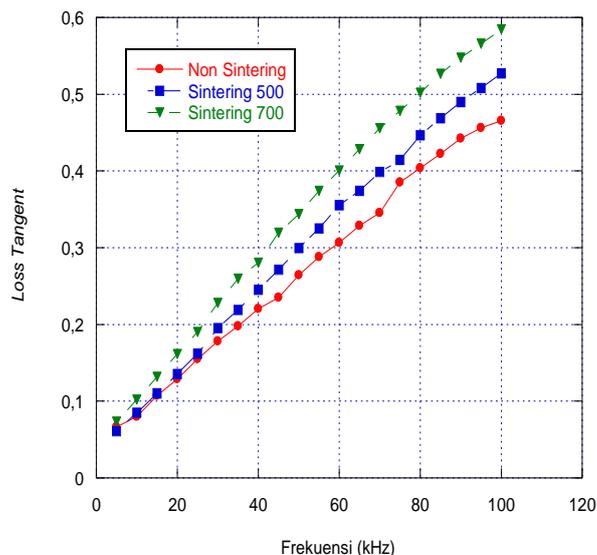
Gambar 2. Grafik ketergantungan nilai permitivitas dielektrik bagian riil konstanta dielektrik CCTO terhadap frekuensi pada suhu sintering yang berbeda



Gambar 3. Grafik ketergantungan nilai permitivitas dielektrik bagian imajiner terhadap frekuensi pada suhu sintering yang berbeda

Besarnya nilai konstanta dielektrik bagian imajiner untuk material CCTO yang mengalami sintering maupun non sintering mengalami perbedaan yang cukup berarti seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, yaitu nilai maksimum bagian imajiner terjadi pada frekuensi 100 kHz untuk ketiga material CCTO tersebut adalah 150 untuk CCTO sintering 700°C, 125 untuk CCTO sintering 500°C dan 100 untuk CCTO non sintering.

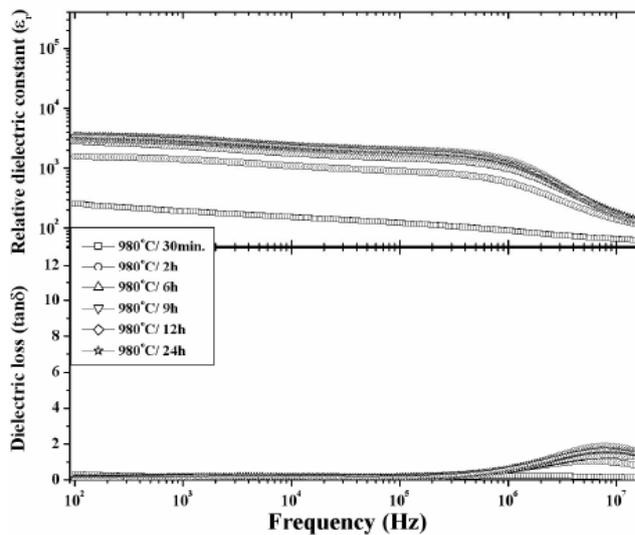
Sedangkan nilai *loss tangent* maksimum terjadi pada material CCTO yang disinterring pada suhu 700°C yaitu 0,58 (Gambar 4). Akan tetapi pola grafik yang dihasilkan pada Gambar 3 dan 4 memiliki karakteristik pola grafik yang hampir sama yaitu mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan frekuensi. Hasil ini semakin memperkuat teori bahwa bagian imajiner tetapan dielektrik berbanding lurus dengan rugi dielektrik dan berbanding terbalik dengan tetapan dielektrik bagian riilnya.



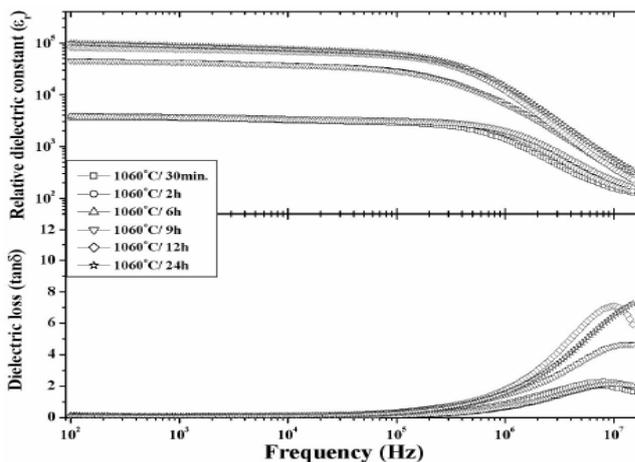
Gambar. 4 Grafik ketergantungan nilai *loss tangent* terhadap frekuensi pada suhu sintering yang berbeda

Hasil konstanta dielektrik yang didapatkan untuk material CCTO baik yang mengalami sintering maupun non sintering masih jauh dari yang diinginkan. Perbedaan ini dapat terjadi karena perlakuan sintesis bahan yang berbeda. Misalnya lamanya waktu pemanasan baik waktu kalsinasi maupun sintering. Akan tetapi bila dilihat secara pola grafik, hasilnya telah mengalami kesesuaian

seperti penelitian sebelumnya [4], sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 5.



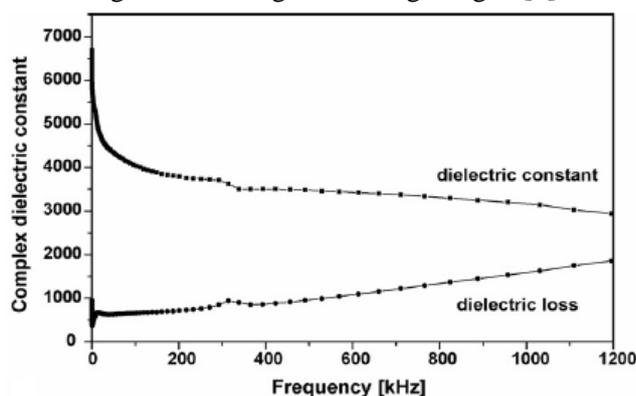
(a)



(b)

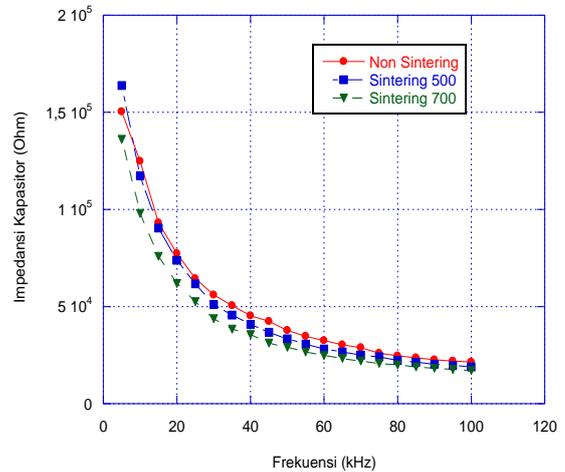
Gambar 5. Nilai konstanta Dielektrik Relatif dan Rugi Dielektrik Material CCTO yang disintering pada (a) 980°C dan (b) 1060°C

Pola grafik yang sama juga ditunjukkan oleh Gambar 6, dimana nilai konstanta dielektrik berbanding terbalik dengan nilai rugi tange



Gambar 6. Ketergantungan konstanta Dielektrik Relatif dan Rugi Dielektrik Material CCTO yang disintering pada 1100°C

2. Karakteristik impedansi kapasitor terhadap frekuensi dan suhu sintering



Gambar 7. Karakteristik impedansi kapasitor terhadap frekuensi pada suhu sintering yang berbeda

Besarnya impedansi kapasitor pada material CCTO yang non sintering cenderung lebih besar daripada material yang mengalami sintering seperti pada Gambar 7. Adapun pola karakteristik impedansi kapasitor yang didapatkan dari hasil pengukuran telah mengalami pola yang sesuai dengan pola impedansi yaitu mengalami penurunan seiring dengan penambahan frekuensi input yang diberikan.

Simpulan

Nilai konstanta dielektrik bagian riil material CCTO yang mengalami sintering memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan material CCTO yang tidak mengalami perlakuan sintering. Sedangkan nilai impedansinya semakin kecil. Sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan sampel yang baik sebaiknya dilakukan proses sintering.

Pada penelitian ini hasil yang didapatkan masih jauh dari sempurna karena keterbatasan rentang frekuensi yang digunakan yaitu dari 5 kHz – 120 kHz. Sehingga diperlukan adanya penelitian lebih lanjut dalam pengujian alat spektroskopi yang telah dibuat, misalnya sampel yang dibuat tidak hanya dalam bentuk *pellet* saja, akan tetapi dapat juga dalam bentuk lapisan tipis dan juga dilakukan pengujian sampel dari frekuensi 1 Hz – 1 GHz

supaya data pengukuran nilai dielektrik yang dihasilkan lebih akurat.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Prof. Dr. Kamsul Abraha atas bimbingan dalam penelitian ini. Ucapan terima kasih juga penulis ucapkan kepada Kepala Laboratorium Zat Padat Universitas Gadjah Mada dan juga rekan satu tim penelitian saudara Nurhalis Majid.

Pustaka

- [1] Tipler, P. (1991). *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid 2 (diterjemahkan Dr. Bambang Soegijono), Edisi Ketiga*. Jakarta: Erlangga.
- [2] Suharyadi, E. (1998). *Analisis tanggap Frekuensi Dielektrik dalam Bahan-Bahan Batuan Alami dan NaCl*. Yogyakarta: Skripsi FMIPA UGM.
- [3] Eryolamda, R. (2010). *Kajian Respons Frekuensi Tetapan Dielektrik Material Keramik Calcium Copper Titanate*. Yogyakarta: Skripsi FMIPA UGM.
- [4] Yoo, D., & Yoo, S. (2007). Microstructures and Dielectric Properties of $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ Polycrystalline Ceramics. *Solid State Phenomena*, **124 - 126**, 143 - 146.
- [5] Marques, V., Ries, A., Simoes, A., Ramirez, M., Varela, J., & Longo, E. (2007). Evolution OF $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ Varistor Properties during heat treatment in vacuum. *ceramics international*, **33**, 1187 – 1190.