

ANALISIS KARAKTERISTIK MATERIAL MENGGUNAKAN PARALEL PLATE SAMPLE HOLDER PADA BROADBAND DIELEKTRIK SPEKTROMETER

Oleh
Era Madona

Staf Pengajar Teknik Elektro Politeknik Negeri Padang

ABSTRACT

Dielectric spektrometer is used to measure complex dielectric function of material which depends on the frequency. The measured in domain frequency learn about movement of dipole's molecule and electric conductions in capasitor charging process. The most familiar measuring method of frequency area is parallel plat capasitor and four electrode system (V. Raicu et al, 1994). In this method, the measuring material is placed between two electroda in parallel place. This configuration produce a capasitor system which is possible to measure the complex impedance of the capasitor sample.

In this research, measuring and analyzing the material characterization are done in high frequence to design circuit and development of many material. Based on this reason, this reseach uses dielectric spectrometer system with HP Impedance Analyzer 4191^a RF and frequency 1-1000 MHz. Spectrometer can be used on complex permittivity to measure the compact material. The measuring result can be implemented in high frequency range using phenomenological relaxation model. However, the accuracy of such predictions would need careful further study.

Keyword : *Dielectric spektrometer, parallel plate capasitor, complex permittivity*

PENDAHULUAN

Dielektrik adalah material yang mempunyai tahanan yang besar terhadap aliran listrik. Bahan ini banyak digunakan dalam dunia industri seperti pada pembuatan peralatan elektronika, switch optoelektronik, industri PCB, aplikasi mikrowave untuk radar, baterai cell dan lain-lain. Dibidang biomedik, bahan dielektrik banyak digunakan untuk menentukan karakteristik organ dan jaringan, kadar air dalam badan dan *medical imaging* dengan menggunakan gelombang mikro. Aplikasi lain dari bahan dielektrik juga dapat dilihat pada bidang pertanian, yaitu untuk penentuan kualitas produksi pertanian seperti kadar

kelembaban pada gabah dan minyak sayur.

Untuk menentukan data dielektrik yang akurat secara efisien diperlukan peralatan khusus yang dikenal dengan *dielectric spektrometer*. Alat ini dapat mengukur *dielectric properties* dari suatu material dengan lebar frekuensi tertentu. Salah satu lebar frekuensi yang dapat digunakan adalah dari 10^{-6} Hz sampai 10^{12} Hz. Pemberian frekuensi ini akan dapat menggambarkan struktur dan sifat-sifat molekul dari material yang diukur seperti pergerakan molekul.

Dielectric spectrometer digunakan untuk mengukur *complex dielectric function* dari sebuah material dan ketergantungannya terhadap frekuensi. Pengukuran yang dilakukan pada domain frekuensi mempelajari pergerakan *dipole* molekul dan konduksi elektrik pada proses pengisian sebuah kapasitor. Metoda pengukuran pada daerah frekuensi yang banyak digunakan adalah *parallel plate capacitor* dan sistem empat elektroda (V. Raicu et al, 1994). Pada metoda ini material yang akan diukur diletakkan diantara dua elektroda yang diletakkan secara paralel sehingga membentuk kapasitor dalam sebuah sistem sehingga dapat dilakukan pengukuran *complex impedance* dari sampel kapasitor yang digunakan. Sangat banyak perusahaan yang bergerak dibidang instrumentasi mengaplikasikan metoda ini pada sistem mereka, sebagai contoh *Solarton 1260 gain phases impedance* dan *Novocontrol HP4991, HP4291, HP4191 RF Impedance Analyzer*.

Disamping metoda konfigurasi *sample holder* dengan menggunakan *parallel plate capacitor*, metoda lain yang dapat digunakan adalah konfigurasi *coaxial*. Pada metoda ini, material sampel dihubungkan pada kabel *coaxial* yang dihubungkan pada sisi luar dan terminal intinya untuk dilakukan pengukuran. Hasil pengukuran yang dilakukan akan membantu dalam pengembangan berbagai macam bahan yang digunakan dalam bahan transmisi.

Pada penelitian ini, akan dilakukan pengukuran dan analisis sifat-sifat bahan dielektrik pada frekuensi tinggi yang sangat penting dilakukan untuk perancangan rangkaian dan pengembangan berbagai macam bahan. Berdasarkan hal ini, penelitian dilakukan untuk merancang sebuah sistem dielektrik spektrometer menggunakan HP Impedance Analyzer 4191^a RF

dengan frekuensi 1 – 1000 MHz. Spektrometer dapat digunakan untuk pengukuran *complex permittivity* pada bahan-bahan padat.

Tujuan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan penganalisaan karakteristik material dielektrik sample pada frekuensi 1 - 1000 MHz menggunakan *parallel plate sample holder* pada *broadband dielectric spectrometer* (HP Impedance Analyzer 4191^a RF).

Perumusan Masalah

Bagaimana menganalisa karakteristik material dielektrik sample pada frekuensi 1 - 1000 MHz menggunakan *parallel plate sample holder* pada *broadband dielectric spectrometer* (HP Impedance Analyzer 4191^a RF).

Tinjauan Teoritik

Bahan Dielektrik

Bahan dielektrik (k) ekuivalen dengan relative permitivitas (ϵ_r) atau absolute permitivitas (ϵ) relatif terhadap permitivitas ruang hampa (ϵ_0). Bagian riil dari permitivitas (ϵ_r') menunjukkan seberapa banyak energy dari medan listrik eksternal yang dapat disimpan dalam material. Sedangkan bagian imajinir dari permitivitas (ϵ_r'') atau loss factor menunjukkan tingkat dissipasi atau kerugian material terhadap medan listrik eksternal.

Bagian imajinir dari permitivitas mempunyai nilai yang lebih besar dari nol dan biasanya jauh lebih kecil dibandingkan dengan bagian riil dari permitivitas (ϵ_r'). Loss factor berhubungan dengan pengaruh dari dielektrik loss dan konduktivitas

Hubungan antara kapasitansi bahan dielektrik dan konstanta dielektrik dari bahan tersebut dapat dilihat pada persamaan 1 sampai 3.

$$C_0 = \frac{A}{t} \quad \dots\dots(1)$$

$$C = C_0 k' \quad \dots\dots(2)$$

$$k' = \varepsilon'_r = \frac{C}{C_0} \quad \dots\dots(3)$$

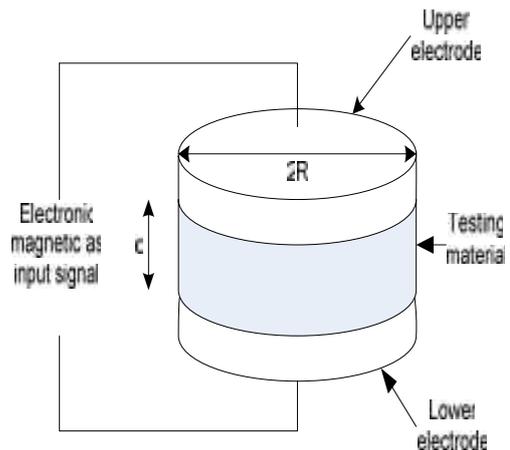
Dimana :

C = kapasitansi dengan dielektrik
 C_0 = kapasitansi tanpa dielektrik
 $k' = \varepsilon'_r$ = bagian riil dielektrik konstanta atau permitivitas
 A = luas penampang kapasitor plate
 t = jarak antara kapasitor plate

Parallel Plate

Metode parallel plate dapat dengan mudah digunakan lebih cocok untuk bahan sample berbentuk padat. Sample holder ini terdiri dari elektroda bagian atas dan elektroda bagian bawah. Bahan sample diletakkan diantara kedua elektroda ini hingga menyentuhnya. Karena susunan bahan sample yang seperti ini, maka sample dalam bentuk cair dan semi padat tidak memungkinkan untuk digunakan pada metode ini.

Kedua elektroda pada sample holder ini dihubungkan pada sumber electromagnetic dengan tujuan untuk memberikan medan listrik eksternal pada bahan sample seperti tampak pada gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi parallel plate sample holder

Posisi kedua elektroda harus parallel satu sama lain dengan tujuan untuk menghasilkan medan listrik yang sesuai pada bahan sample sehingga diperoleh hasil yang akurat.

Konstanta dielektrik menggunakan parallel plate dapat dihitung dengan menggunakan parameter dimensi dari sample holder dan hasil pengukuran konduktansi dan kapasitansi dengan persamaan 2. Dari persamaan ini, komponen riil dan imajiner dapat dipisahkan seperti tampak pada persamaan 4 dan 5.

$$\varepsilon' = \frac{C.t}{A.\varepsilon_0} \quad \dots\dots(4)$$

$$\varepsilon'' = \frac{G.t}{A.\omega\varepsilon_0} \quad \dots\dots(5)$$

Dimana:

ε = konstanta dielectric (permitivitas)
 ε_0 = permitivitas ruang hampa yaitu 8.85×10^{-12}

ε_r = konstanta relative dielectric (relative permittivity) dari test material

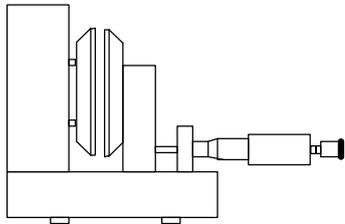
t = ketebalan of the testing material

A = luas penampang elektroda

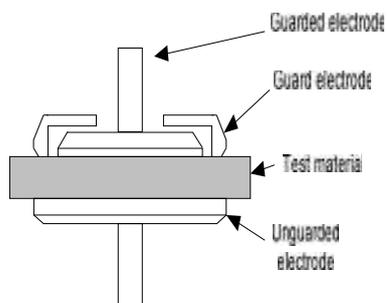
C = kapasitansi terukur

G = konduktansi terukur

Parallel plate yang akan digunakan pada penelitian ini adalah Agilent 16451B Dielectric test fixture seperti tampak pada gambar 2 and 3. Gambar ini memperlihatkan diagram cross-section dari sample holder dan konfigurasi elektrodanya.



Gambar 2. Cross-section dari Agilent 16451B dielectric test fixture



Gambar 3. Elektroda parallel plate untuk Agilent 16451B dielectric test fixture

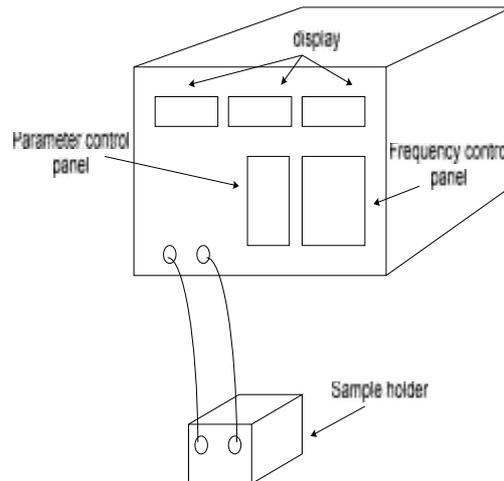
METODE PENELITIAN

Survey teknik pengukuran dielektrik

Pengukuran sifat-sifat dielektrik pada bahan-bahan yang mempunyai sifat dielektrik dapat dilakukan dengan berbagai teknik. Salah satunya menggunakan impedance analyzer. Pengukuran dielektrik yang akan dilakukan menggunakan HP impedance Analyzer dan sample holder. Impedance Analyzer digunakan untuk mengukur kapasitansi, konduktansi dan admittansi dari sample bahan dan sample holder digunakan sebagai tempat untuk meletakkan sample bahan selama dilakukan proses pengukuran.

Perancangan Sistem Dielektrik spektrometer

Koneksi yang sederhana dalam pengukuran dengan menggunakan HP Impedance Analyzer dan sample holder disusun berdasarkan gambar 4. Bahan sample diletakkan pada sample holder dan dihubungkan ke HP impedance analyzer



Gambar 4. Konfigurasi dari impedance analyzer dan sample holder

Penentuan dan pengujian konfigurasi pengukuran

Ada banyak konfigurasi sample holder yang dapat digunakan untuk pengukuran dielektrik. Namun pada penelitian ini akan menggunakan konfigurasi parallel plate sebagai sample holder untuk material padat.

Pengumpulan dan pengolahan data

Pengukuran yang akan dilakukan pada penelitian adalah berupa data resistansi, impedansi, dan kapasitansi. Pengukuran ini juga untuk menentukan *complex permittivity* dari sample yang digunakan bersesuaian dengan masing-masing sample holder.

Pengukuran Permittivitas Dielektrik

Sample yang digunakan untuk pengukuran dengan menggunakan parallel plate adalah:

1. Sample 1 dan Sample 2
Lembaran tipis yang terbuat dari epoxy-based adhesive (Araldite 2015)
2. Sample 3
Lembaran tipis yang terbuat dari epoxy-based adhesive (Araldite 2011)
3. Sample 4
Kertas putih berbentuk bujursangkar dengan ukuran 3x3 cm

Prosedur pengukuran menggunakan parallel plate

1. Menghidupkan Impedance Analyser HP4192A dan dibiarkan lebih kurang 45 menit untuk penstabilan hasil pengukuran.
2. Sample holder dielectric test fixture Agilen16451B dihubungkan dengan HP4192A.
3. Sample 1 diletakkan diantara dua elektroda yang ada pada test fixture.
4. Pengukuran nilai kapasitansi dan konduktansi dengan parallel plate dilakukan dengan memberikan frekuensi terendah 10 KHz hingga frekuensi 13 MHz.
5. Sample berikutnya diukur nilai kapasitansi dan konduktansi dengan mengikuti langkah 1 sampai 4.

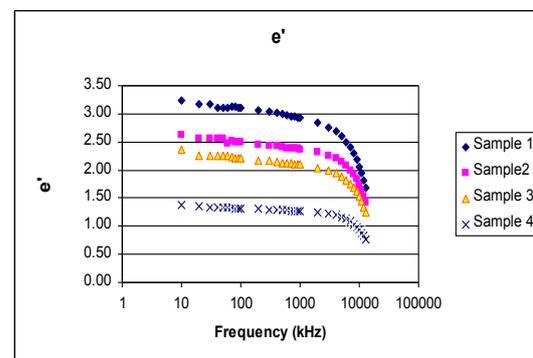
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

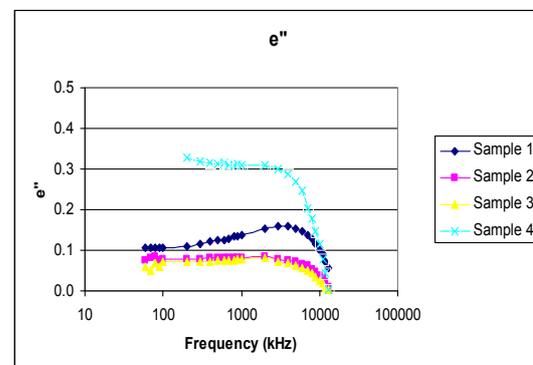
Seperti yang dijelaskan sebelumnya, sample material yang digunakan pada parallel plate sample holder adalah lembaran tipis yang terbuat dari epoxy-based adhesive (Araldite 2015) untuk sample 1 dan sample 2, -based adhesive (Araldite

2011) untuk sample 3 dan kertas untuk sample 4.

Hasil pengukuran menggunakan parallel plate dikalkulasikan untuk menentukan komponen permitivitas dari material yang digunakan pada penelitian. Bagian real e' dari permitivitas dihitung dengan menggunakan persamaan 4 dan persamaan 5 untuk bagian imajiner. Hasil dari kalkulasi kedua komponen permitivitas ini seperti tampak pada gambar 5 berikut ini.



(a) Grafik bagian real e' dari permitivitas dan frekuensi



(b) Grafik bagian imajiner e'' dari permitivitas dan frekuensi

Gambar 5. Grafik bagian real dan imajiner

Pembahasan

Gambar 5 (a) memperlihatkan bagian real dari permitivitas untuk sample 1 sampai 4. Pada frekuensi rendah nilai

permitivitas relatif konstan, namun begitu frekuensi yang diberikan mendekati 8 MHz nilai permitivitas ini meningkat tajam. Jika dilihat pada grafik, keempat sample pada paralel plate hampir memiliki sifat yang sama karena keempat sample memiliki struktur kimia yang hampir sama. Pada frekuensi yang sangat tinggi nilai permitivitas diharapkan mencapai nilai yang sama, namun hal ini sangat tidak memungkinkan mengingat keterbatasan frekuensi yang dimiliki oleh alat ukur yang digunakan.

Gambar 5 (b) memperlihatkan bagian imajiner dari permitivitas. Dari grafik dapat dilihat bahwa sample 4 mempunyai nilai ϵ'' sedikit lebih tinggi jika dibandingkan dengan sample 1 sampai 3, namun keempat grafik mengalami puncak dan selanjutnya mengalami penurunan nilai begitu mendekati frekuensi 10 MHz. Jadi dapat dikatakan bahwa bentuk grafik untuk keempat sample hampir sama karena semua sample memiliki karakteristik yang mirip satu sama lainnya.

KESIMPULAN

Sample yang terbuat dari epoxy-based adhesive (untuk sample 1-3) dan kertas untuk sample 4 memiliki bagian real permitivitas yang relatif konstan sampai frekuensi 8 MHz dan mengalami peningkatan yang tajam untuk frekuensi yang lebih tinggi. Sedangkan untuk bagian imajiner, sample 4 memiliki nilai ϵ'' yang sedikit lebih tinggi dengan bentuk grafik yang mengalami puncak dan mengalami penurunan mendekati frekuensi 10 MHz.

Untuk meningkatkan range frekuensi maka hasil pengukuran ini dapat digunakan pada phenomenological relaxation model. Namun, ketepatan dari

prediksi menggunakan pemodelan ini masih memerlukan study lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

Agilent – Basics of measuring the dielectric properties of material – *Application Note*

G.Bindu, A.Ionappan,V. Thomas, C.K.Aanandan and K.T.Mathew, 2006 "Dielectric studies of corn syrup for application in microwave breast imaging", PIER 59, 175-186.

N.G.McCrum, B.E.Read, G.Williams, 1967 "Anelastic and dielectric effects in polymeric solids", London: Willey.

A. Schönhals, "Dielectric Spectroscopy on the dynamics of amorphous polymeric systems", Novocontrol, Application Note Dielectric 1

J.Mijovic, B.D.Fitz, "Dielectric spectroscopy of reactive polymers", Novocontrol, Application Note Dielectrics 2

Raicu.V, 1995 "A simple theoretical and practical approach to measuring dielectric properties with an open-ended coaxial probe", United Kingdom, Measurement science technology, 410-414.

Jaspard.F and Nadi.M, 2002 "Dielectric properties of blood: an investigation of temperature dependence", Physiological Measurement 23, 547-554.

Buff.P.Mark, Steer.Michael B, Lazzi.Gianluca, 2006 "Cole-cole dispersion models for aqueous gelatine-syrup dielectric composites", IEEE Transactions on

geoscience and remote sensing, Vol. 44, No.2, 351- 353.

Shang, Jiyun, "*Design and development of a LF dielectric spectrometer*", University of Nottingham, Third year thesis, 2005

Patel, Sunit, 2003 "*Simulation of the compression wave phase velocity of ultrasonic pulses transmitted through thermoset material during manufacture*", University of Nottingham, Third year project thesis.

HALAMAN INI SENGAJA
DIKOSONGKAN