Vol. 15, No.2, Agustus 2001

RANCANG BANGUN ALAT DAN FENGUKURAN NILAI DIELEKTRIK PADA KISARAN FREKUENSI RADIO

Instrument Design and Measurement of Dielectric Properties Within Radio Frequency Range

Harmen[1] , Armansyah H. **Tambunan** , Edy **Hartulistiyoso**[2], **I Dewa Made Subrata**[2].

Abstract

*Dielectric properties indicate the **ability** of a **system** to stare, **transmit** and reflect electromagnetic wave energy. **Recently,** the **utilization** of the properties in **agriculture** field tends to **increase.** For example, **dielectric drying** of **biological** material is based on the product's ability to absorb **electromagnetic radiation** and convert it into heat. In addition, **lower** energy **application** of the **property** can be utilized for **non-destructive** measurement of water content. For a **more broad application, measurement** of the **property** and the **influencing factors** is **indispensable.***

*The **objectives** of this experiment were to design an instrument for **measuring** dielectric properties in radio frequency range and to **determine the dielectric properties** of **white** pepper. **The** instrument was designed based **on Q-meter** method, which consists of oscillator, LRC circuit, and capacitance meter. At the LRC circuit, with **L=3.543 μH,** the designed instrument can be **used** within a frequency range of 8 MHz to 22 MHz, **where** the peak resonance capacitance was ranged **from 21,72 pF** to **177.49 pF**. Application of the **instrument** in **measuring** the dielectric properties of white pepper showed that the value was **fluctuated** at frequencies less than 12 MHz. **Accordingly,** it was **concluded** that the **instrument** is **applicable** for measuring dielectric **properties** of **biological materials** at **frequency** range of 14 to 22 MHz. It was **also** found that dielectric **properties** of white pepper were higher at higher moisture content.*

PENDAHUWAN

Latar Belakang

Sifat **dielektrik** adalah **karakteristik suatu** bahan yang mencirikan patensinya dalam **memberi respon** terhadap **pemanasan** dielektrik, dan menggambarkan kemampuan bahan **tersebut** untuk menyimpan, menyalurkan dan memantulkan energi gelombang elektromagnetik. **Pemanfaatan** sifat dielektrik ini cenderung **meningkat** di **bidang** pertanian. **Penerapan pada** pengeringan bahan **biologik** didasarkan pada **kemampuan** bahan untuk **menyerap radiasi** gelombang **eletromaknetik** dan mengubahnya **menjadi** panas. Pada tingkat **energi** yang **lebih rendah**, sifat **dielektrik dapat dimanfaatkan** untuk **pengukuran** kadar air **secara non destruktif. Dengan demikian informasi mengenai** sifat **dielektrik** bahan **biologik** serta **berbagai faktor yang mempengaruhinya, seperti** pengaruh **frekuensi,** kadar air, **temperatur,** densitas, **komposisi** kimia, geometri dan **ketak-homogenan** bahan. sangat penting untuk **meningkatkan pemanfaatannya. Suatu masalah yang sering ditemukan dalam pemanfaatan** sifat **dielektrik produk-produk pertanian**

[1] Staf **Pengajar** pada Politeknik Pertanian **Negeri Bandar** Lampung.
[2] Staf **pengajar** pada Jurusan Teknik Pertanian, **Fateta** IPB, Bogor

adalah kurangnya pengetahuan akan keterkaitannya dengan sifat fisik lainnya. Meningkatnya pengetahuan mengenai sifat dielektrik tersebut diharapkan dapat membuka kemungkinan penerapan dan pemanfaatan yang lebih luas.

Pengukuran sifat dielektrik bahan biologik, khususnya pada kirasan frekuensi radio (10 hingga 100 MHz) masih terbatas akibat dari keterbatasan alat maupun prinsip pengukurannya. Ada beberapa tehnik pengukuran nilai sifat dielektrik yang dapat digunakan. seperti . General radio type 1608-A, Impedansi bridge, Booton 160-A Q-meter dan Bwton 250-A RX-meter. Teknik-teknik pengukuran tersebut digunakan untuk untuk kisaran frekuensi antara 250 Hz – 50 Mhz yang termasuk dalam kisaran frekuensi rendah. Pengukuran nilai sifat dielektrik, dan penentuan faktor-faktor yang mempengaruhinya, dengan bermacam-macam metoda pengukuran harus tetap mengacu pada prinsip dasarnya, yaitu nilai dielektrik merupakan perbandingan kapasitansi bahan dengan udara. Diantara berbagai tehnik pengukuran tersebut, metoda Booton 160-A Q-meter yang bekerja pada kisaran frekuensi 50 Hz – 50 MHz adalah yang paling sederhana, dapat dibuat sendiri dengan biaya murah, dan dapat menggunakan alat ukur yang urnum ditemukan.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengukuran untuk melihat pengaruh frekuensi dan kadar air bahan terhadap nilai sifat dielektrik lada. Biji lada merupakan hasil pertanian rempah-rempah daerah tropik yang banyak digunakan untuk obat-obatan dan bumbu-bumbuan. Karena khasiatnya yang cukup tinggi. pengeringan lada sering menjadi faktor penting. Pengeringan lada secara konveksi dengan pemanasan biasa diduga dapat merusak atau mengurangi zat aktif atau minyak atsiri yang ada didalam bahan. Penerapan pengeringan dielektrik, dengan mengenakan gelombang elektromagnetik langsung ke posisi molekul air dalam bahan dapat mengurangi kerusakan tersebut. Karena gelombang elektromagnetik dapat langsung mempengaruhi air, yang merupakan zat yang berisifat polar, proses pengeringan tersebut mengurangi kemungkinan kerusakan atau penguapan zat lain yang bersifat non-polar. Untuk penerapan tersebut, diperlukan pengetahuan yang lengkap tentang sifat dielektrik lada.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Merancang dan menguji kinerja alat ukur nilai sifat d i i bahan biologik pada kisaran frekuensi radio.
2. Mempelajari pengaruh frekuensi terhadap nilai sifat dielektrik lada.

Manfaat Penelitian.

Manfaat penelitian ini adalah untuk menyediakan alat ukur nilai sifat dielektrik pada kisaran frekuensi radio dan data dasar mengenai sifat dielektrik lada.

TINJAUAN PUSTAKA

Permitivitas atau sifat dielektrik digambarkan sebagai suatu permitivitas relatif komplek yang merupakan nilai pembagi antara permitivitas absolut dengan permitivitas ruang hampa, (Nyfors & Vainikainen, 1989 dalam Ryynanen, 1995):

$$\varepsilon_{abs} = \varepsilon . \varepsilon_o \tag{1}$$

dimana:

ε_{abs} = permitivitas absolut bahan (F/m)

ε_o = permitivitas ruang hampa (= 8.854x10^{-12} F/m)

ε = permitivitas relatif bahan

Permitivitas b i i dinyatakan dalam bentuk bilangan kompleks yang terdiri dari komponen nyata dan khayal, yaitu (Risman, 1991 dalam Ryynanen, 1995):

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' = |\varepsilon| e^{-j\delta} \tag{2}$$

dimana

ε' = tetapan dielektrik (*dielectric constant*)

ε'' = faktor kehilangan dielektrik (*dielectric* loss factor)

j = unit imajiner($\sqrt{-1}$)

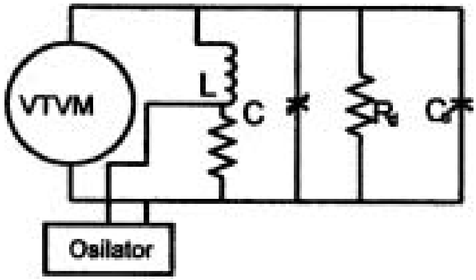
δ = sudut hilang dielektrik (dielectric loss tangent)

Komponen nyata permitivitas tersebut disebut sebagai tetapan dielektrik ε', yang menunjukkan kemampuan bahan untuk rnenyimpan energi listrik. Sedangkan komponen khayal disebut sebagai faktor kehilangan dielektrik ε'' yang menyatakan kemampuan bahan untuk menghamburkanlmelepaskan energi dan mengkonversinya menjadi panas, yang nilainya selalu positif dan biasanya lebih kecil dari nilai tetapan dielektrik. Menurut Mohsenin (1984), tetapan dielektrik dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara kapasitansi bahan, C, dengan kapasitansi ruang hampa atau vakum, Co.

$$\varepsilon = \frac{C}{C_0} \quad (3)$$

$$\varepsilon' = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \quad (4)$$

Menurut Mohsenin (1984) pengukuran nilai dielektrik bahan-bahan biologik dapat dilakukan dengan menggunakan metoda Q-meter, yang terdiri atas 3 fungsi dasar yaitu osilator, komponen resonansi (kondensator variabel Cv) dan voltmeter VTVM untuk pembacaan tegangan, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Osilator yang berfungsi sebagai sumber tegangan (e) memberikan suatu tegangan konstan dan frekuensi yang sesuai ke rangkaian LRC. Dengan adanya induktor L, kondensator variable dapat diatur sedemikian rupa



Gambar 1. Komponen fungsional dasar Q-meter (Mohsenin, 1984).

hingga terjadi suatu keadaan resonansi. Pada saat resonansi:

$$X_L = X_C$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C_V} \text{ dan } I = \frac{e}{R}$$

$$E = I\omega L = \frac{I}{\omega C_v} \quad (5)$$

$$E = \left(\frac{e}{R}\right)\omega L$$

$$\frac{E}{e} = \omega\frac{L}{R} = Q$$

Metode Q-meter dapat mengukur nilai konduktivitas arus AC (σ), faktor tenaga (PF) atau tan δ dan tetapan dielektrik (ε'). Pengukuran sifat dielektrik bahan dilakukan dengan mengatur nilai variabel kondensator C sehingga pada pembacaan voltmeter (VTVM) memberikan nilai maksimum. Dari pembacaan tersebut diperoleh nilai Q dan C, yang d i i sebagai nilai Q1 dan C1. Kemudian bahan contoh dirangkai secara paralel dengan rangkaian, dan dengan cara yang sama diperoleh nilai Q2 dan C2.

Suatu plat kondensor paralel mempunyai bahan dielektrik yang besarnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$C_d = \varepsilon_0 \varepsilon' \frac{A}{d} \quad (6)$$

Dimana

Dimana
Cd = Kapasitas kondensor (farads)
A = luas total dua plat kondensor

d = jarak antara dua plat (cm)

Dari persamaan diatas diperoleh:

$$\varepsilon' = \frac{C_d d}{\varepsilon_o A} \qquad (7)$$

dimana Cd = C1 - C2. Tahanan bahan dielektrik, Rd dalam ohm adalah:

$$R_d = \left(\frac{d}{a}\right)\left(\frac{1}{\sigma}\right) \qquad (8)$$

Nilai Qx bahan ditentukan melalui persamaan:

$$Q_x = \left[\frac{Q_1 Q_2}{Q_1 - Q_2}\right]\left[\frac{C_1 - C_2}{C_1}\right] \qquad (9)$$

Untuk nilai Qx>10 maka nilai faktor tenaga (PF) adalah:

$$PF = \frac{\sigma}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon'} = \frac{1}{Q_x} \qquad (10)$$

Konduktifitas diperoleh dari nilai Qx melalui persamaan,

$$Rd = \frac{Q_x}{\omega C_d}$$

$$\sigma = \frac{1}{R_d} = \frac{\omega C_d}{Q_x} = \frac{\omega \varepsilon_0 \varepsilon}{Q_x} \qquad (11)$$

Biasanya, parameter yang digunakan dalam menggambarkan sifat elektromagnetik bahan adalah konduktivitas arus AC (σ), permitivitas atau sifat dielektrik dan permiabilitas magnetik (μ). Hubungan antara konduktifitas arus AC dengan sifat dielektrik adalah sebagai berikut:

$$\sigma = 2\pi f \varepsilon_0 \varepsilon'' \qquad (12)$$

$$\varepsilon'' = \sigma / 2\pi f \varepsilon_o \qquad (13)$$

METODA PENELITIAN

Pendekatan Rancangan

Skema rangkaian alat ukur nilai sifat dielektrik bahan biologik berdasarkan metoda Q-meter ditunjukkan pada Gambar 2. Komponen utama sistim ini terdiri dari (a) osilator, (b) rangkaian LRC, (c) alat ukur kapasitansi. (d) multimeter digital, (e) Wadah contoh dan (9 pencacah frekuensi.

a. Osilator berfungsi sebagai sumber tegangan yang memberikan frekuensi dengan tegangan yang sesuai ke rangkaian LRC. Pada rancangan ini, osilator yang dibuat adalah type variable frequency oscilator (VFO) menggunakan transistor sebagai penguat dengan sumber tegangan 12 volt.

b. Alat ukur kapasitansi berfungsi untuk mengukur kapasitansi kondensator variabel saat terjadi resonansi. Alat ini dibuat dengan menggunakan IC 555 dan dapat mengukur kapasitas dari100 pf – 10 μF (Suyanto, 1999)

c. Rangkaian LRC merupakan bagian yang penting untuk melihat nilai Q dan C bahan yang akan diukur. Rangkaian LRC; Rancangan rangkaian LRC dibuat berdasarkan rumus:

$$X_L = X_C$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \qquad (14)$$

$$C = \frac{1}{\omega^2 L}$$

Lilitan L dibuat berdasarkan pendekatan rumus induktansi koil udara (Noersasongko, 1997) sebagai berikut:

$$L(\mu H) = \frac{a^2 n^2}{9a + 10b} \qquad (15)$$

d i i a
L = Induktansi (microhenry)
a = Diameter koil (inci)
b = Panjang lilitan kawat (inci)
n = Jumlah lilitan kawat

d. Wadah contoh, sebagai tempat bahan yang akan diukur. Wadah contoh merupakan dua lempeng sejajar yang terbuat dari tembaga, dan bagian luarnya dilapisi isolator. Wadah ini berfungsi sebagai kondensator pada rangkaian. Ukuran wadah (luas dan jarak antar plat) dibuat sesuai dengan kebutuhan ketelitian pembacaan.

e. Alat bantu pengukuran yang digunakan, antara lain adalah AC voltmeter digital untuk mengukur tegangan (Q) saat resonansi pada rangkaian LRC, ampermeter digital untuk mengukur kapasitas kondensator variabel yang digunakan pada rangkaian LRC, pencacah frekuensi untuk mengukur frekuensi yang diberikan osilator kepada rangkaian LRC.

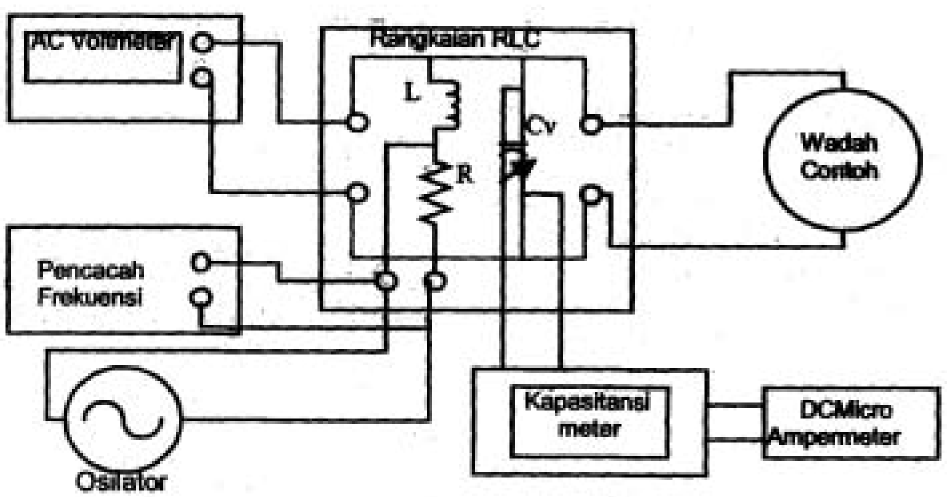
Sasaran kisaran frekuensi sesuai dengan teknik pengukuran Booton 160-A Q-meter adalah 3 MHz – 50 MHz.

Prosedur Pengukuran

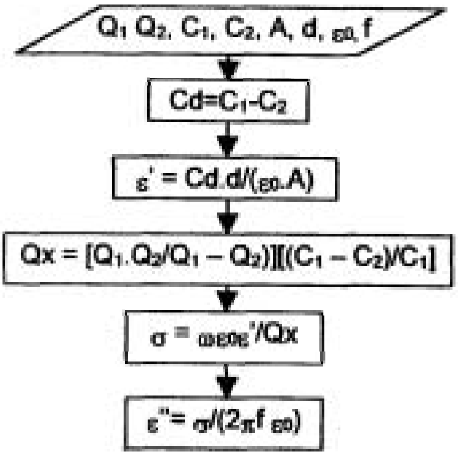
Untuk mendapatkan nilai sifat dielektrik bahan diperlukan pengamatan Q1, C1, C1, dan C2, dengan prosedur sebagai berikut:

1. Mengatur kondensator Cv pada rangkaian LRC (Gambar 2) sehingga didapatkan nilai Q maksimum. Nilai tersebut dicatat sebagai Q1 dan C1.
2. Bahan dimasukkan kedalam wadah sample, dan penurunan nilai Q yang dihasilkan dicatat sebagai Q2.
3. Kondensator diatur kembali hingga mencapai nilai maksimum, sampel dikeluarkan, dan nilai C yang diiur dicatat sebagai C2.

Perhitungan nilai tetapan dielektrik (ε') dan faktor kehilangan dielektrik (ε") dilakukan dengan algoritma seperti pada Gambar 3.



Gambar 2. Skema alat ukur nilai sifat dielektrik.



Gambar 3. **Algoritma** perhitungan nilai **dielektrik**

HASIL DAN PEMBAHASAN

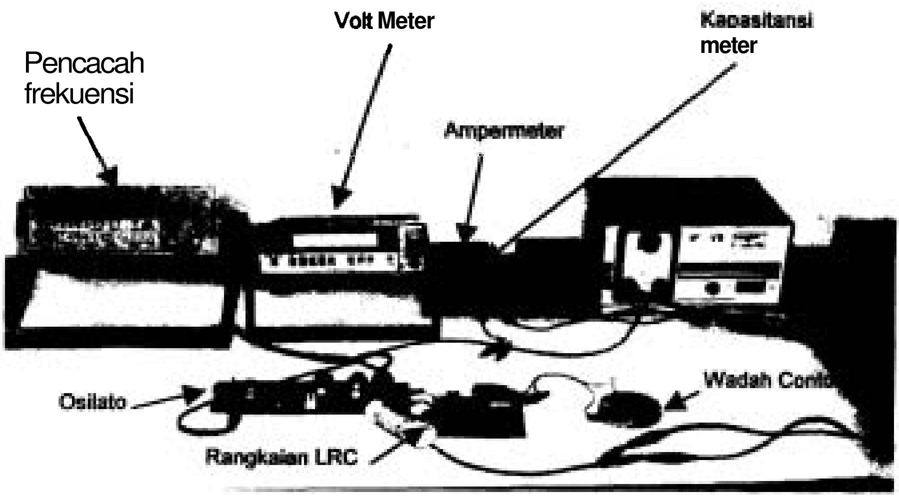
Rancangan Bangun Alat Pengukur Sifat Dielektrik

Alat pengukur sifat **dielektrik** hasil rancangan **ditunjukkan** pada **Gambar 4**. **Secara spesifik,** rancangan **masing-masing** komponen **dijelaskan** sebagai **berikut:**

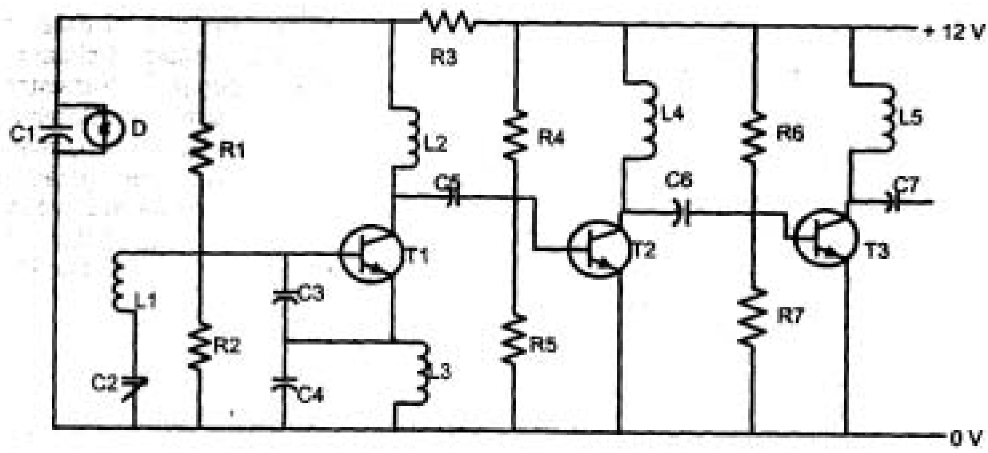
1. **Osilator**; Pada penelian ini **osilator** yang dibuat adalah osilator **frekuensi variabel** (VFO) dengan **transistor** sebagai komponen **aktifnya (Gambar** 5). Prinsip **kerja osilator** im **adalah** sebagai berikut: Sinyal dari **getaran** frekuensi gelombang **sinusoidal** yang **dihasil** dari **lilitan L1,** L3, C2, C3 dan **C4** dikuatkan dengan transistor **T2** dan T3. Pada **penelitian ini dirancang** 4 **rangkaian** osilator yang dapat membangkitkan selang frekuensi **berbeda** seperti **ditunjukkan pada Tabel** Perbedaan selang frekuensi yang **dicapai oleh** masing-masing rangkaian osilator **tersebut** diperoleh dengan mengubah komponen-komponen C2, C3, C4, C5, C6, C7, **L1, L2,** L3, L4, dan L5.

Tabel 1. Selang frekuensi yang dibangkitkan **oleh** osilator.

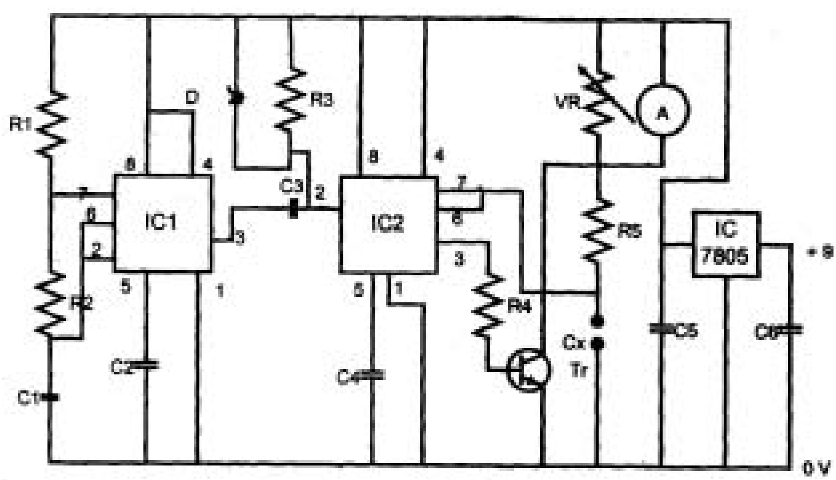
Rangkaian	**Selang frekuensi**
1.	3.47 – 12.28 MHz
2.	7.02 – 16.64 MHz
3.	17.53 – 29.65 MHz
4.	28.24 – 39.45 MHz



Gambar 4. Alat ukur nilai **sifat dielektrik**.



Gambar 5. Rangkaian elektronik untuk membangkitkan gelombang radio.



Gambar 6. Skema Alat ukur kapasitansi

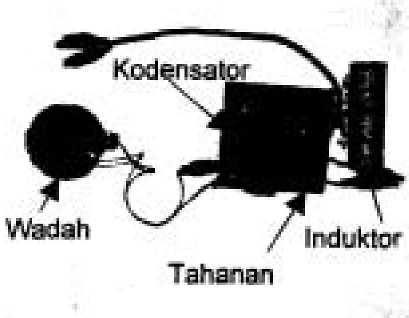
2. Alat ukur kapasitansi kondensator. Pada dasarnya alat ini menggunakan 2 buah pewaktu (timer) IC 555, dimana IC 1 berfungsi untuk mentriger IC 2 dengan periode tertentu, sedangkan IC 2 digunakan untuk mengukur kuat arus yang dikeluarkan alat pengukur kapasitansi ini (Gambar 6). Arus yang keluar dari alat ditentukan oleh interaksi antara tahanan R5 dan VR sebagai R dengan kondensator, Cx, sebagai variabel kondensator sesuai dengan hubungan yang ditunjukkan pada persamaan (16).

$$t = C \times R \qquad (16)$$

Dalam hal ini, C adalah kondensator yang akan diukur besarannya. Besar tahanan R pada persamaan (16) diatur sedemikian rupa, sehinga dengan mengeser-geser kapasitornya akan didapatkan perubahan besar arus keluaraan. Pada prinsipnya arus yang dikeluarkan berbentuk pulsa tinggi dan rendah, dimana lamanya waktu t pulsa tinggi ditentukan oleh persamaan (16) diatas. Rangkaian alat ukur kapasitansi yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 6.

3. Rangkaian LRC. Hasil rancangan rangkaian LRC dapat dilihat pada Gambar 7, yang terdiri dari induktor,

tahanan dan kondensator variabel. Induktor dibuat (n) 8 lilit, diameter (a) 2,60 cm, panjang (b) 2,54 cm, dengan induktansi L, 3,542 μH.



Gambar 7. Rangkaian LRC.

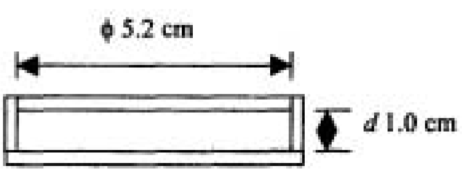
4. Wadah contoh dirancang berdasarkan kemampuan alat, sehingga kapasitasnya dapat terbaca pada selang frekuensi yang dikehendaki. Gambar 8 menunjukkan ukuran wadah contoh yang dirancang untuk penelitian ini.

Uji Teknis Instrumen

Pengujian alat ukur sifat dielektrik bahan pertanian ini dilakukan 4 tahap, yaitu pengujian alat ukur kapasitansi, pengujian osilator, pengujian rangkaian LRC.

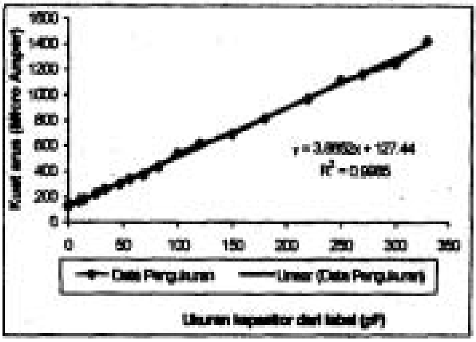
1. Pengujian alat ukur kapasitansi

Alat ukur kapasitansi terdiri dari perangkat elektronik dan alat tambahan berupa Digital DC



Gambar 8. Ukuran wadah contoh.

Ampermeter. Digital DC Ampermeter adalah alat peraga untuk melihat perubahan kapasitas kondensator terhadap besarnya perubahan arus listrik. Sesuai dengan kondesator variabel yang digunakan, yang mempunyai selang kapasitansi antara 7 sampai 356 pF. DC Ampermeter yang digunakan mempunyai selang pengukuran dari 0 sampai 2000 Microamper. Alat ukur kapasitansi dirancang sehingga pada kapasitansi kondensator variabel maksimum, (356 pF) pembacaan pada ampermeter menunjukkan maksimum (2000 micro amper), dengan cara mengatur tahanan VR pada Gambar 6. Untuk keperluan pengukuran, alat ini dikalibrasi berdasarkan regresi linier seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik hubungan label ukuran kapasitor dengan kuat arus.

2. Pengujian Osilator

Osilator dibuat berdasarkan pada rancangan pemancar radio 80 meter band (+) pada frekuensi 3,7 MHz (Sarwo Edy, et al., 1996). Frekuensi gelombang sinus yang dibangkitkan oleh osilator dipengaruhi oleh besamya induktansi L dan kapasitansi C sesuai dengan persamaan (17).

$$fr = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (17)$$

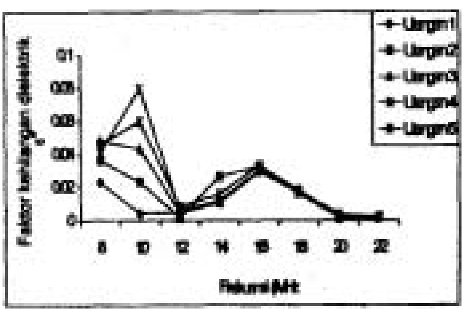
Berdasarkan persamaan diatas, perubahan nilai L dan C akan rnenyebabkan terjadinya perubahan keluaran frekuensi yang dihasilkan oleh osilator. Pengujian osilator ditujukan terhadap besamya selang frekuensi yang dapat dihasilkan dengan cara mengatur kondensator variabel C2 dari skema rangkaian Gambar 5.

3. **Pengujian** rangkaian **LRC.**

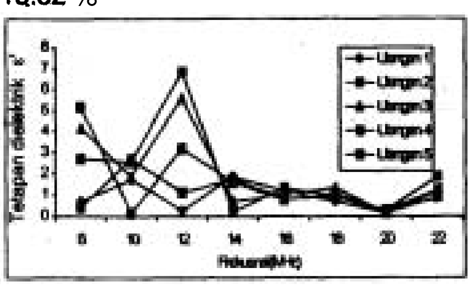
Pengujian rangkaian LRC dilakukan **sebagai berikut. Pertama,** rangkaian **LRC dibuat sesuai** dengan **rancangan fungsional diatas.** Pengujian dilakukan dengan **mengeser-geser** kapasitor **variabel seperti** pada **skema rangkaian** alat ukur dielektrik pada Garnbar 4, dan memastikan apakah terlihat tegangan yang maksium pada alat ac volt meter ketika kapasitor rnencapai kapasitansi tertentu. Hal ini dilakukan untuk setiap tingkat frekuensi.

Pengukuran Nilai Dielektrik lada

Pengukuran nilai **sifat dielektrik** lada dilakukan dengan ulangan sebanyak 5 kali pada **masing contoh,** pada kadar air **13,8 % dan** 19.2 %. Pengukuran dilakukan pada frekuensi 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 MHz. Hasil pengukuran nilai ε' ditunjukkan pada Gambar 10 dan **nilai ε" ditunjukkan** pada Gambar 11.



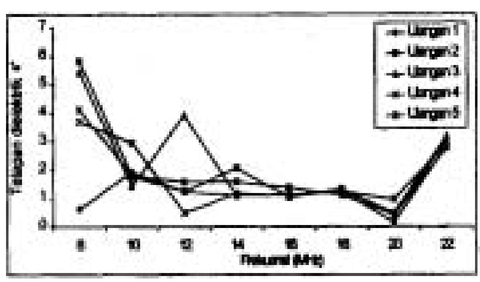
Gambar 10. Grafik pengaruh frekuensi terhadap tetapan **dielektrik (ε')** lada KA **13.82** %



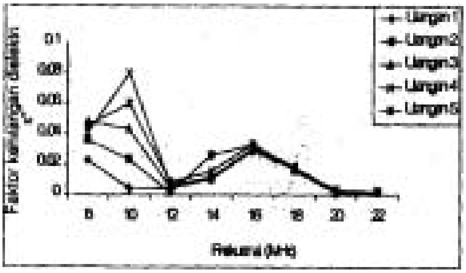
Garnbar 11. Grafik pengaruh frekuensi terhadap nilai faktor kehilangan dielektrik (E") lada KA 13.82 %

Dari gambar **tersebut** terlihat bahwa keragaman nilai **ε' sangat** besar pada frekuensi 8 dan 12 Mhz, yaitu antara 0.275 hingga 6.81. **Meskipun** keragaman nilai ε' pada frekuensi 10 MHz adalah **kecil,** diduga ketelitian alat ukur nilai **dielektrik** yang **dirancang** ini kurang **memadai** pada frekuensi-frekuensi **rendah.** Ada **beberapa** faktor yang **mempengaruhi** ketelitian **pengamatan** ini, antara lain faktor pembacaan alat, dan kepekaan alat itu sendiri. Hal **ini** disebabkan oleh kestabilan **angka** peragaan alat yang **sangat rendah** sehingga sulit menentukan pada kapasitansi berapa sebenamya puncak resonansi **terjadi.** Sebagaimana **halnya** keragaman nilai tetapan dielektrik (E'), keragaman nilai faktor kehilangan dielektrik ε" pada frekuensi **>14** MHz lebih baik dari pada frekuensi-frekuensi yang lebih **rendah.**

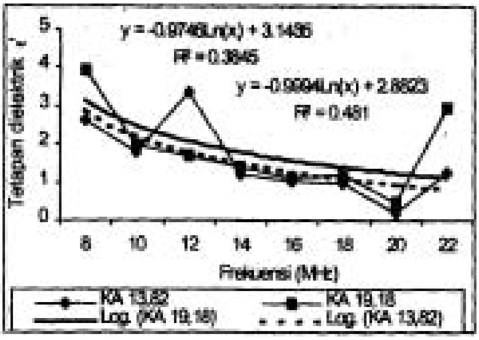
Keragaman hasil pengukuran nilai tetapan dielektrik dan faktor kehilangan dielektrik yang relatif besar pada frekuensi-frekuensi **rendah** juga diamati pada ulangan dengan kadar air berbeda (Garnbar 12 dan Gambar 13). Hal ini rnenunjukkan bahwa alat ukur nilai dielektrik yang dirancang lebih **layak** digunakan pada **kisaran** frekuensi 14 **MHz** hingga 22 MHz.



Gambar 12. Grafik pengaruh frekuensi terhadap tetapan **dielektrik(ε')** lada kadar air **19,18** %



Gambar 13. Grafik pengaru frekuensi terhadap nilai fakto kehilangan dielektrik (ε") lada kada air 19.18 %



Gambar 14. Grafik pengaruh frekuens terhadap rata-rata nilai konstant dielektrik (ε')

Pada Gambar 14 diperlihatkan pengaruh frekuensi terhadap rata-rata tetapan dielektrik ε' dan faktor kehilangan dielektrik ε" lada pada kadar air **13,8%** dan **19,2** %.

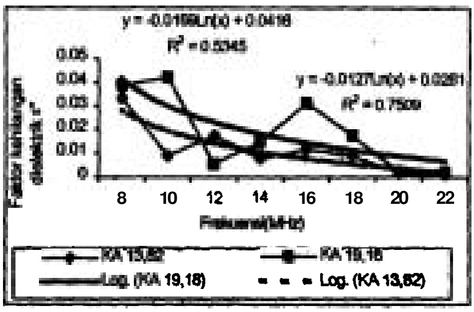
Dari Gambar 14 terlihat bahwa nilai tetapan dielektrik lada pada kada air 19.2% lebih tinggi dibandingkan dengan lada kadar air **13,8 %**. Sifat fisik bahan (bulk density dan seed density) pada **masing masing** kadar air **tersebut** ditunjukkan pada **Tabel** 4.

Tabel 4. **Berat** jenis lada berdasarkan kadar air

Kadar air (%bb)	*Bulk* density (gr/cm3)	Seed density (gr/cm3)
13,8	0.58	1,13
19,2	0,55	1,10

Sifat dielektrik suatu bahan dipengaruhi oleh interaksi massa bahan dengan **medan elekromagnetik.** Semakin tinggi **densitas bahan semakin** besar nilai **sifat dielektriknya. Secara teoritis,** semakin tinggi **kadar air atau** semakin **rendah densitas bahan, makin** besar pula nilai tetapan **dielektrik ε' dan** faktor kehilangan dielektrik ε". Dengan kata lain, tetapan dielektrik ε' dan faktor kehilangan dielektrik ε" dipengaruhi oleh kadar air bahan tersebut. Berdasarkan Wratten (1950) dalam Mohsenin (1984). tetapan dielektrik ε' beras naik seiring dengan meningkatnya kadar air. Pada frekuensi 27 MHz, pada kadar air 21.1 %, 15.4 %, dan 10.0 % **berturut** turut tetapan dielektrik beras **ε'adalah** 4.5, 3.7, dan 3.2, dan faktor kehilangan dielektriknya **ε" adalah 0.87, 0.4, 0.3.**

Pada Gambar 15 **ditunjukkan** perbandingan rata-rata nilai faktor kehilangan dielektrik **ε"** lada pada kadar air **13,8** % (bb) **dan** kadar air **19,2 %** (bb). Gambar **tersebut memperlihatkan** bahwa nilai faktor kehilangan dielektrik ε". lada pada kadar air 19.18 % lebih tinggi dibandingkan dengan lada kadar air 13.82 %. Dari gambar **tersebut juga** terlihat bahwa faktor kehilangan dielektrik ε" lada **menurun** seiring dengan meningkatnya frekuensi.



Gambar 15. Grafik **pengaruh** frekuensi terhadap **rata-rata** , **nilai** faktor kehilangan **dielektrik (ε") lada.**