DESAIN DAN UJI TEKNIS ALAT PENGUKUR NILAI DIELEKTRIK BERDASARKAN METODA Q-METER

Design and Performance Test of Measuring Apparatus of Dielectric Properties Using Q-meter Method

Armansyah H. Tambunan[1], Nugroho A. Suyanto[2], Harmen[3]

Abstract

Dielectric heating has received a lot of attention recently. Microwave heating, however, has the problem of noticeable hot and cold spots within a food. Radio frequency (RF) has the potential to overcome this problem because of its longer wavelength and greater penetration depth, which would lead to more uniform distribution of the electric field and thus a more uniform temperature distribution. The dielectric properties are the measure of a sample's response to an electromagnetic field, which vary significantly with frequency, temperature, moisture, and salt content. The potential of a medium to respond to dielectric heating can be characterized by its dielectric properties, which can be strong functions of frequency and temperature. This experiment is aimed to design and test the performance of a measurement apparatus for the dielectric properties, using the Q-meter method.

The equipment consists of three components, namely the oscillator, resonance component, and VTVM voltmeter, available to generate frequency range of 1.33 – 1.75 MHz. Dielectric properties of wheat, sorghum, and soybean were measure within the frequency range. The results show that dielectric constant of wheat, sorghum and soybean at frequency of 1.35 MHz, 1.40 MHz and 1.45 MHz were 5.48, 5.21, 4.85, respectively, while the dielectric loss factor at frequency of 1.66 MHz, 1.55 MHz and 1.50 MHz were 2.39, 1.37 and 0.84 respectively.

Keywords: dielectric constant, dielectric loss factor, Q-meter, radio frequency

PENDAHULUAN

Latar belakang

Pemanasan dengan gelombang mikro (MW) tampaknya menghadapi kendala akibat terjadinya wilayah-wilayah panas dan dingin pada bahan pangan yang dipanaskan. Masalah tersebut dapat diatasi dengan frekuensi radio (RF) yang mempunyai gelombang lebih panjang

[1] Staf pengajar Jurusan Teknik Pertanian, IPB, Bogor (ahtambun@indo.net.id)
[2] Alumnus Jurusan Teknik Pertanian, IPB, Bogor
[3] Mahasiswa Pascasarjana IPB

dan penetrasi yang dalam sehingga dapat memberi keseragaman panas yang lebih baik dari MW.

Potensi suatu media dalam memberi respon terhadap pemanasan dielektrik dapat dicirikan melalui sifat dielektriknya. Sifat dielektrik merupakan efek interaksi antara bahan dengan radiasi gelombang elektromagnetik serta menggambarkan kemampuannya untuk menyimpan, mentransmisikan dan memantulkan energi elektromaknetik tersebut. Pemanfaatan sifat ini cenderung semakin banyak diterapkan dibidang peratanian, seperti dalam proses pengeringan bahan-bahan biologik yang didasarkan pada kemampuan bahan untuk menyerap radiasi elektromaknetik dan mengubahnya menjadi panas.

Disamping itu, sifat dielektrik bahan biologik dapat dimanfaatkan untuk mengetahui sifat fisik, biologik maupun kimiawi bahan seperti kadar air, suhu, massa jenis, komposisi kimia, geometri dan ketakhomogenan bahan. Meskipun pengetahuan akan sifat dielektrik suatu bahan sangat penting, peralatan yang dapat digunakan untuk pengukuran sifat dielektrik, khususnya pada kisaran frekuensi radio, sangat terbatas.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan menguji kinerja alat pengukur sifat dielektrik bahan biologik pada kisaran frekuensi radio.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengukuran sifat dielektrik dapat dilakukan dengan berbagai teknik, seperti General radio type 1608-A, Impedansi bridge, Booton 160-A Q-meter dan Booton 250-A RX-meter. Teknik-teknik pengukuran tersebut digunakan untuk untuk kisaran frekuensi 250 Hz – 50 MHz yang termasuk dalam kisaran frekuensi rendah. Meskipun demikian, setiap teknik pengukuran harus mengacu pada prinsip dasar sifat dielektrik yang merupakan perbandingan antara kapasitansi bahan hasil pengujian dengan kapasitansi udara. Alat ukur yang dirancang pada penelitian ini menggunakah teknik Booton 160-A Q-meter yang dapat diterapkan untuk bahan bahan-bahan biologik pada kisaran frekuensi 50 Hz – 50 MHz.

Permitivitas atau sifat dielektrik digambarkan sebagai suatu permitivitas relatif komplek yang merupakan nilai pembagi antara permitivitas absolut dengan permitivitas ruang hampa, (ε_0 = 8.854 $\times 10^{-12}$ F/m) (Nyfors & Vainikainen, 1989 dalam Ryynanen, 1994):

$$\varepsilon_{abs} = \varepsilon . \varepsilon_0 \qquad (1)$$

dimana

ε_{abs} = permitivitas absolut bahan

ε = permitivitas relatif bahan

Permitivitas bahan umumnya dinyatakan dalam bentuk bilangan kompleks yang terdiri atas dua bagian yaitu bagian nyata dan khayal (Risman, 1991 dalam Rynanen, 1994):

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' = |\varepsilon| e^{-j\delta} \qquad (2)$$

dimana

ε' = tetapan dielektrik
ε'' = faktor kehilangan dielektrik
j = satuan khayal ($\sqrt{-1}$)
δ = sudut hilang dielektrik

Bagian nyata permitivitas disebut sebagai tetapan dielektrik (ε'), yang menunjukkan kemampuan bahan untuk menyimpan energi listrik. Sedangkan bagian khayal disebut sebagai faktor kehilangan dielektrik (ε'') yang menyatakan kemampuan bahan untuk menghamburkan/melepaskan energi dan mengubahnya menjadi panas. Nilai ε'' selalu positif dan biasanya lebih kecil dari ε'. Menurut Mohsenin (1984) tetapan dielektrik dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara kapasitansi bahan C dengan kapasitansi ruang bebas atau vakum Co.

$$\varepsilon = C/Co \qquad (3)$$

Tetapan dielektrik ε' menunjukkan kemampuan bahan untuk menyimpan energi dalam bentuk medan listrik yang berfungsi sebagai kondensor, sehingga dapat dinyatakan dalam persamaan $C=Q/V$, dimana C merupakan kapasitas bahan, Q menunjukkan muatan dalam bahan dan V adalah beda potensial. Menurut Mohsenin (1984) pengukuran sifat dielektrik bahan biologik dapat dilakukan dengan menggunakan metoda Q-meter yang terdiri dari 3 fungsi dasar yaitu osilator, komponen resonansi (kondensator variabel Cv) dan voltmeter VTVM untuk pembacaan voltase.

Prinsip kerja Q-meter adalah osilator yang berfungsi sebagai sumber e memberikan suatu voltase tetap dan frekuensi yang sesuai ke rangkaian LRC, dengan adanya induktor L dan variabel kondensator yang diatur sedemikian rupa sehingga terjadi suatu keadaan resonansi.

Pada saat resonansi:

$$X_L = X_C$$
$$\omega L = 1/\omega C_V \text{ dan } I = e/R$$
$$E = I\omega L = 1/\omega C_V \qquad (4)$$
$$E = (e/R)\,\omega L$$
$$E/e = \omega L/R = Q$$

Q-meter dapat mengukur σ, faktor tenaga atau tan δ dan konstanta dielektrik ε'. Sifat dielektrik bahan diukur dengan mengatur nilai variabel kondensator C sehingga voltmeter VTVM menunjukkan nilai maksimum. Pada kondisi ini, nilai Q dan C, yang dicatat sebagai Q_1 dan C_1. Kemudian, sampel dipasang paralel dengan rangkaian untuk mendapatkan nilai Q_2 dan C_2. Suatu plat kondensor paralel mempunyai sifat dielektrik yang besarnya dihitung dengan persamaan:

$$\varepsilon' = (C_d d / \varepsilon_0 A) \qquad (5)$$

dimana

C_d = Kapasitas kindensor (farads) = $C_1 - C_2$
A = luas total dua plat kondensor (cm^2)
D = jarak antara dua plat (cm)

Tahanan bahan dielektrik, Rd dalam ohm adalah:

$$Rd = (d/A)(1/\sigma) \qquad (6)$$

Qx bahan dihitung dengan:

$$Qx = [Q_1 Q_2 / (Q_1 - Q_2)][(C_1 - C_2)/C_1] \qquad (7)$$

Osilator adalah rangkaian penguat yang menerapkan transistor atau tabung vakum. Transistor atau tabung vakum tersebut berguna untuk mengatasi kerugian yang ada dalam rangkaian guna membangkitkan guncangan listrik. Rangkaian akan berguncang (berosilasi) jika pada awalnya, yaitu pada saat osilator mulai berguncang, mempunyai penguatan yang cukup besar sehingga guncangan dapat mulai dengan sendirinya.

Alat ukur kapasitansi yang digunakan pada rangkaiannya terdiri dari dua IC yang mempunyai fungsi yang berbeda. Salah satu IC berfungsi sebagai *monostable* dan yang lainnya sebagai *astable multivibrator*. Kapasitor yang diukur terpasang secara tak-permanen pada titik C_X, yang berada pada rangkaian *monostable*. IC_1 yang berfungsi sebagai *astable* membangkitkan frekuensi sebesar 100 Hz, dengan periode terpendek 1 milidetik dan terpanjang 9 milidetik. Pulsa-pulsa ini mentriger monostabil IC_2, yang periodenya ditentukan oleh resistor-resistor yang dipilih oleh S_1 (*rotary switch*) bersamaan dengan C_X (kapasitor yang diukur). Dengan demikian, periodenya dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$T = 1{,}1 \times R \times C_X \qquad (8)$$

Luaran IC_2 menghantarkan TR_1 (BC107) dan pasangannya (VR_1) dan menggerakkan jarum meter menunjukkan skala penuh. Resistor yang dipilih untuk jangkauan pengukuran harus ditentukan terlebih dahulu. Pada rangkaian ini catu daya yang digunakan harus menggunakan catudaya yang teregulasi, sehingga ketelitian pengukuran dapat dicapai.

METODE PENELITIAN

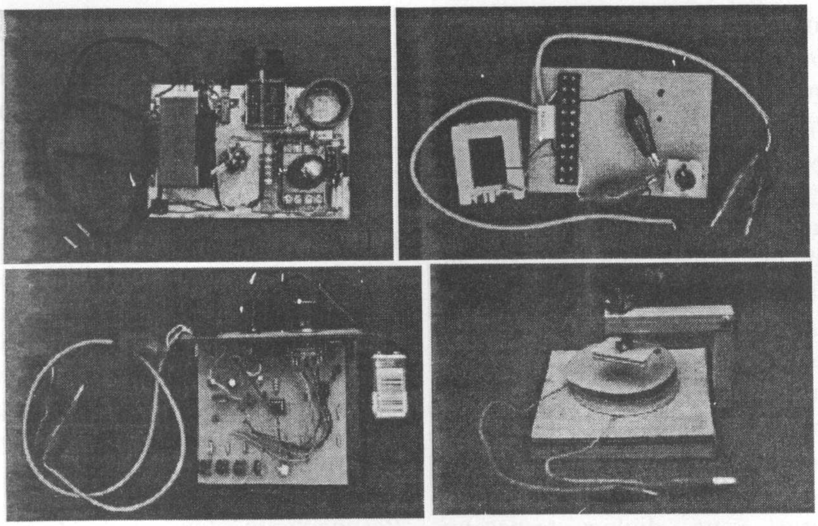
Penelitian ini terdiri dari 4 tahapan. Tahap pertama adalah perancangan dan pembuatan oscilator, alat pengukur kapasitor, rangkaian LRC dan sampel holder. Tahap kedua adalah pengujian dan kalibrasi alat pengukur kapasitas dan rangkaian LRC. Tahap ketiga adalah pengukuran terhadap bahan yang akan diteliti dan tahap ke empat adalah menganalisa sifat fisik bahan yang akan diukur sebagai data pembanding.

Perancangan dan pembuatan alat; dilakukan berdasarkan metoda Q-meter.

Pengujian dan kalibrasi alat

a. Kalibrasi alat pengukur kapasitas menggunakan kapasitor jenis polyester yang mempunyai nilai kapasitas 4.7 μF, 0.47μF, 0.047 μF, 4700pF dan 470 pF.
b. Pengujian osilator untuk melihat getaran frekuensi yang dihasilkan, dengan alat ukur frekuensi (*frequency counter*).
c. Pengujian rangkaian LRC dengan cara mengukur kapasitas variabel kondensator pada saat terjadi resonansi, dan dibandingkan dengan data hasil perhitungan.

Pengukuran nilai dielektrik; dilakukan secara melalui dua tahapan yaitu pengukuran kapasitas bahan dan perhitungan menggunakan persamaan. Data yang didapatkan dari hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan data sekunder. Pengukuran kapasitas bahan dilakukan dengan cara mengatur nilai



Gambar 1. Komponen fungsional dasar Q-meter; (1) Osilator tabung, (2) Alat ukur kapasitansi, (3) Rangkaian LRC, (4) Wadah contoh

variabel kondensator C_V sehingga multimeter digital memberikan nilai maksimum, yang dicatat sebagai Q_1 dan C_1. Setelah keadaan resonansi tercapai, sampel dipasang paralel dengan rangkaian untuk mendapatkan nilai Q_2 dan C_2, yaitu dengan mengatur kembali C_V untuk sehingga tercapai voltase yang sama dengan saat resonansi. Perhitungan sifat dielektrik dilakukan dengan bagan alir pada Gambar 2.

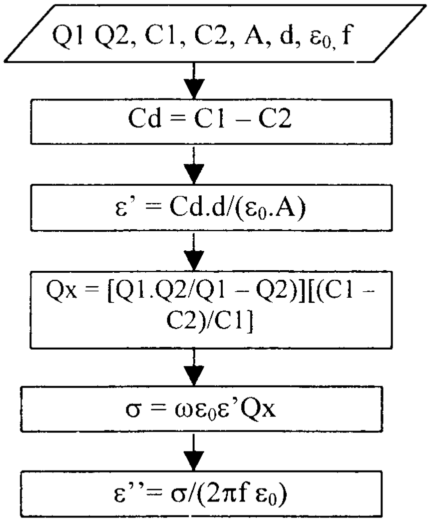
Analisa sifat fisik bahan; dilakukan berdasarkan kadar air, *bulk density*, dan *seed density*. Pengukuran kadar air bahan menggunakan alat ukur digital moisture meter khusus untuk biji-bijian, pengukuran *bulk density* menggunakan timbangan digital yang digunakan untuk mendapatkan berat bahan per volume sampel holder, sedangkan *seed density* diukur berdasarkan berat bahan pervolume biji dengan menggunakan timbangan *ohaus analitical standar*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pendekatan rancangan

Rancangan alat pengukur nilai sifat dielektrik terdiri dari osilator, rangkaian RLC, alat ukur kapasitansi, multimeter digital, wadah contoh dan pencacah frekuensi (Gambar 1).

Osilator dibuat dengan sistem VFO (*Variable Frequency Oscilator*), yang dapat menghasilkan frekuensi pada kisaran 1.33–1.75 MHz. Alat ukur kapasitansi yang telah dibuat dapat mengukur kapasitas kondensator pada kisaran 100 pF – 10 μF. Rangkaian LRC dibuat dengan komponen L = 70μH, resistor 2 ohm, dan kondensator V_C = 300 pF. Besarnya nilai induktansi (L) dan kapasitas kondensator sample (C_V) menentukan luasnya kisaran pengukuran nilai kapasitansi



Gambar 2. Diagram alir perhitungan nilai sifat dielektrik

bahan yang juga akan menentukan kisaran nilai sifat dielektrik.

Pencacah frekuensi digunakan untuk melihat kisaran frekuensi yang dihasil oleh osilator, yang selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai kapasitas resonansi. Wadah contoh terdiri dari dua pelat konduktor, yang diantaranya diletakkan bahan yang akan diukur. Konduktor terbuat dari tembaga berdiameter 6.7 cm dengan sekat isolator berdiameter 6.6 cm dan tinggi 0.9 cm.

Uji Teknis Instrumen

Pengujian alat ukur kapasitansi; dilakukan untuk tiap-tiap jangkauan yang dapat diperoleh dengan menggunakan trimer yang diserikan dengan R dan SW1. Pengkalibrasian dilakukan dengan jalan menghubung-singkatkan sementara kolektor dengan emiter TR_1 (BC107), kemudian VR_1 diatur sehingga meter menunjukkan skala penuh untuk masing-masing jangkauan. Setelah hubungan dilepas, VR_2 hingga VR_6 diatur kembali dengan memasang kapasitor kalibrasi pada titik C_X seperti Tabel 1. Dalam tiap jangkauan, trimer disetel agar menunjukkan 470 pada ampermeter. Hasil pengujian alat kapasitas pada setiap jangkauan menunjukkan bahwa toleransi kesalahan pada kapasitor adalah ± 5%.

Tabel 1. Komponen untuk kalibrasi alat pengukur kapasitas

No VR	Jangkauan	Kapasitor kalibrasi	Jenis Kapasitor
2	1 – 10 μF	4.7 μF	Tantalum
3	0.1 - 1μF	0.47μF	Polyester
4	0.01 – 0.1μF	0.047μF	Polyester
5	0.001–0.01μF	4700pF	Polyester
6	100–1000 pF	470 pF	Polyester

Pengujian osilator; Tingkat frekuensi yang dibangkitkan oleh osilator diuji dengan menggunakan alat pencacah frekuensi (*frequency counter*). Tingkat frekuensi yang dibangkitkan dapat diatur dengan menggeser *variabel condensor* (VC). Dari hasil pengujian diperoleh bahwa olsilator dapat membangkitkan frekuensi pada kisaran 1.330 MHz sampai 1.75 MHz

Pengujian Rangkaian LRC, dilakukan dengan mengukur nilai kapasitas kondensor pada saat resonansi, untuk dibandingkan dengan hasil perhitungan teoritis, dengan persamaan:

$$\mathbf{C = 1/\omega^2 L} \qquad (9)$$

Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2, yang menunjukkan selisih sekitar 0.5 – 9.6%.

Tabel 2. Hasil pengukuran dan perhitungan kapasitas resonansi

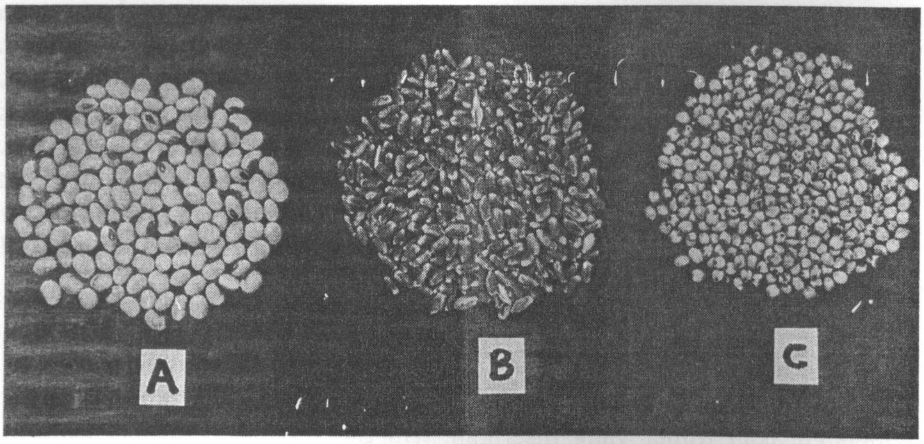
Freku-ensi (MHz)	Nilai Kapasitas Hasil Perhitungan	Nilai Kapasitas Hasil Pengukuran
1.33	205	202
1.35	198	197
1.40	185	181
1.45	172	168
1.50	161	153
1.55	151	140
1.60	141	130
1.65	133	129
1.70	125	113
1.75	118	110

Uji Kinerja Alat Ukur

Pengujian kinerja alat ukur dielektrik dilakukan dengan membandingkan antara hasil pengukuran dengan hasil yang dicantumkan pada literatur (Nelson dan Kuang, 1997). Bahan yang digunakan adalah gandum varietas longmay (Triticum sp), kedele varietas wilis (Glycine max L, Merr) dan sorgum varietas mandau (Sorgum bicolor var. mandau), seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Perbandingan sifat fisik bahan yang diberikan pada literature dengan yang digunakan pada penelitian ditunjukkan pada Tabel 3.

Pengukuran sifat dielektrik dilakukan dalam 5 ulangan dengan membuat hubungan antara frekuensi dengan konstanta dielektrik (ε') dan hubungan antara frekuensi dengan faktor kehilangan dielektrik (ε''). Nilai rata-rata hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 4 dan Gambar 4. Nilai rata-rata tetapan dielektrik ε' yang diperoleh, jika dibandingkan dengan data sekunder pada kisaran frekuensi yang sama, menunjukkan nilai yang lebih besar baik untuk kedele, sorgum, maupun gandum. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan perbedaan sifat fisik (kadar air dan densitas bahan) seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan sifat fisik



Gambar 3. (A) Kedelai wilis, (B) Gandum longmay, (C) Sorgum varietas mandau

bahan penelitian dan literature.

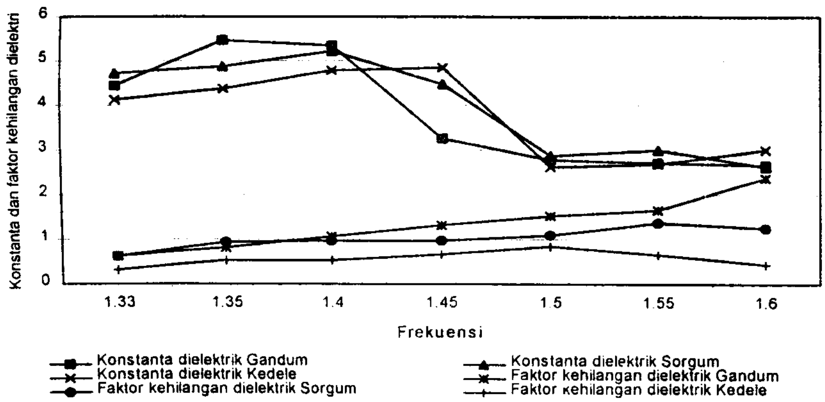
Bahan	Kadar air(%)		*Bulk density* (gr/cm^3)		*Seed density* (gr/cm^3)	
	Pust.	Ukur	Pust.	Ukur	Pust.	Ukur
Gandum	12.5	14.2	0.77	0.83	1.40	1.82
Sorgum	11.4	14.3	0.77	0.81	1.39	1.33
Kedele	8.5	15.2	0.73	0.77	1.29	1.37

Tabel 4. Hasil pengukuran konstanta dielektrik dan faktor kehilangan dielektrik

Frekuensi (MHz)	Nilai konstanta dielektrik			Nilai faktor hilang dielektrik		
	Gandum	Sorgum	Kedele	Gandum	Sorgum	Kedele
1.33	4.45	4.71	4.14	0.62	0.62	0.300
1.35	5.48	4.88	4.38	0.81	0.95	0.530
1.40	5.34	5.21	4.77	1.06	0.95	0.516
1.45	3.26	4.46	4.85	1.32	0.98	0.654
1.50	2.78	2.88	2.64	1.54	1.09	0.836
1.55	2.72	3.01	2.70	1.66	1.37	0.650
1.60	2.65	2.61	3.00	2.39	1.24	0.430

Kadar air dan densitas memberi pengaruh besar terhadap nilai tetapan dielektrik, sehingga tetapan dielektrik juga sering digunakan untuk pengukuran kadar air. Secara teoritis, makin besar kadar air makin besar pula nilai tetapan dielektrik. Nilai tetapan dielektrik dipengaruhi oleh karakter molekul air yang merupakan sifat kepolaran bahan, kepolaran bahan ini mengakibatkan peningkatan nilai tetapan dielektrik bahan. Jika dilihat dari faktor densitas, hasil pengukuran lebih tinggi dari data sekunder. Adanya korelasi antara massa bahan dengan besarnya penyimpanan energi listrik menyebabkan makin besar densitas maka makin besar pula nilai tetapan dielektriknya.

Hasil pengukuran bahan-bahan untuk faktor kehilangan dielektrik tersebut memberikan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan data pada literatur dan cenderung naik dengan meningkatnya frekuensi. Perbedaan nilai faktor kehilangan dielektrik ini sebagian besar dipengaruhi oleh konduktifitas bahan dan frekuensi. Secara teoritis, pada daerah frekuensi relaksasi faktor kehilangan dielektrik (ε") meningkat dengan meningkatnya frekuensi, sedangkan di atas daerah frekuensi relaksasi ε" tetap meskipun terjadi peningkatan frekuensi. Pembandingan antara hasil pengukuran dengan nilai literatur menunjukkan kecenderungan yang sama. Nilai tetapan dielektrik untuk gandum menunjukkan selisih 0.98, sorgum 0.81, dan kedele 1.75, sedangkan nilai faktor kehilangan dielektrik untuk gandum menunjukkan selisih 2.09 sorgum 1.12 dan kedele 0.44. Perbedaan nilai tetapan dielektrik dan faktor kehilangan dielektrik pada produk pertanian, selain disebabkan oleh frekuensi, suhu, densitas dan kadar air, juga oleh sifat–sifat bahan lainnya seperti komposisi kimia, geometri, ketak-homogenan bahan dan mungkin masih banyak lagi sifat-sifat yang belum diteliti. Meskipun



Gambar 4. Grafik hasil pengamatan hubungan frekuensi dengan nilai sifat dielektrik.

demikian, alat yang dirancang tersebut telah menunjukkan kemampuannya untuk mengukur nilai sifat dielektrik bahan pangan atau hasil pertanian, meskipun masih memerlukan penyempurnaan lebih lanjut.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai tetapan dielektrik (ε') maksimum untuk gandum, sorgum dan kedelai masing-masing terjadi pada frekuensi 1.35 MHz, 1.40 MHz dan 1.45 Mhz, yaitu berturut-turut memberikan nilai 5.48, 5.21 dan 4.85. Frekuensi tersebut menunjukkan keadaan terjadinya penyimpanan energi maksimum pada bahan. Faktor kehilangan dielektrik maksimum (ε"), yang menunjukkan kehilangan energi maksimum dari bahan, untuk gandum, sorgum dan kedelai masing-masing terjadi pada frekuensi 1.66 MHz, 1.55 MHz dan 1.50 MHz, yaitu berturut-turut memberi nilai sebesar 2.39, 1.37 dan 0.84.

KESIMPULAN

1. Osilator dapat membangkitkan frekuensi pada kisaran 1.33–1.75 MHz, dan rangkaian LRC beresonansi maksimum pada kapasitas kondensator 110–202 pF.
2. Tetapan dielektrik maksimum pada gandum, sorgum and kedelai masing-masing terjadi pada frekuensi 1.35, 1.40 dan 1.45 MHz yaitu bernilai 5.48, 5.21, 4.85.
3. Faktor kehilangan dielektrik maksimum pada gandum, sorgum dan kedelai masing-masing terjadi pada frekuensi 1.66 MHz, 1.55 MHz dan 1.50 MHz, yaitu bernilai 2.39,1.37 and 0.84.

Ucapan Terima Kasih

Tulisan ini merupakan bagian dari penelitian Riset Unggulan Terpadu (RUT-VI t.a. 1998-2000), untuk itu penulis berterima kasih pada Dewan Riset Nasional atas dukungan dana yang diberikan

DAFTAR PUSTAKA

Ryynanen, S., 1994, The elecro-magnetic properties of food materials: A review of the basic prinsiple. J. Food Enginering, 26, pp. 409-429.

Mohsenin, N.N., 1984, Electromagnetic radiation properties of food and agricultural product, Gordon and Breach Science Publishers. New York.

Nelson, S.O., dan Lawrence, K.C., 1993, RF impedance and DC conductance determinant of moisture in induvidual soybeans, ASAE Trans. 37(1), pp. 179-182.

Nelson, S.O., dan Kuang, W., 1997, Low frequency dielec-tric properties of biological tissue: A review with some new insight, ASAE Trans., 41(1), pp. 173-184.

Nugroho Adi Suyanto, 1999, Rancangan alat pengukur nilai sifat dielektrik, Skripsi, Jurusan Teknik Pertanian, FATETA-IPB.

Tambunan, A.H., Harmen, Suyanto, N.A., 2000, Rancangan alat pengukur nilai dielektrik, Prosiding, Seminar Nasional PERTETA, AE-2000