PENGARUH ARUS LUARAN LRC PADA METODA Q-METER TERHADAP HASIL PENGUKURAN NILAI SIFAT DIELEKTRIK DI SEKITAR FREKUENSI RADIO

The Influence of LRC Current from the Q-Meter to the Measured Value of Dielectric Properties Within Radio Frequency Range

Harmen[1] , Armansyah H. Tambunan[2]

Abstrak

Various measuring method of dielectric properties has been studied by researchers, one of wich is the Booton 160-A Q-meter operated within the radio frequency range. Determination of dielectric properties by the Q-meter is accomplised through the measurement of voltage (Q) and capacitance (C) of the LRC, which is naturally in the form of alternating current (AC). Measurement of the AC voltage by a voltmeter shows instability of the measured value, while using an osciloscope require an expensive apparatus. The problem seems can be solved by convertion of the LRC output from alternating to direct current. This paper is to study the influence of LRC output to the measured dielectric properties, by converting the output from alternating to direct current.

The experiment showed that convertion of the LRC output into direct current can provide stability of the measurement. Comparison to the theoretical trend showed that dielectric properties determined by using the DC output are more reliable than that by the AC output.

Keywords: dielectric constant, dielectric loss factor, radio frequency, direct current, alternating current

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

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sifat dielektrik menggambarkan kemampuan suatu bahan untuk menyimpan, mentransmisikan dan memantulkan energi gelombang elektromagnetik, sehingga sifat pemanasan yang ditimbulkan adalah volumetrik dan tepat sasaran. Berbagai penerapan sifat tersebut menghadapi hambatan karena tidak tersedianya prinsip pengukuran dan alat ukur nilai sifat dielektrik yang layak, sehingga pengetahuan akan nilai maupun kesalingterkaitan sifat dielektrik tersebut dengan sifat fisik maupun kimiawi bahan, khususnya rempah-rempah, kurang difahami. Meningkatnya pengetahuan tersebut diharapkan dapat membuka kemungkinan penerapan dan pemanfaatan yang lebih luas.

Berbagai teknik pengukuran nilai sifat dielektrik telah diteliti, diantaranya adalah Booton 160-A Q-meter yang bekerja pada kisaran frekuensi radio (Harmen, et al., 2001; Simanjuntak, 2002; dan Silalahi, 2003). Alat tersebut telah digunakan untuk mengukur sifat dielektrik berbagai bahan biologik seperti lada, dan andaliman. Metoda Q-meter mempunyai keunggulan karena, selain prinsip pengukuran yang relatif sederhana, alat ini dapat dibuat sendiri dengan biaya lebih murah dan dapat menggunakan alat ukur yang mudah dicari di pasaran. Terlepas dari metoda yang digunakan, pengukuran nilai sifat dielektrik dan penentuan faktor-faktor yang mempengaruhinya harus tetap mengacu pada prinsip dasarnya yaitu nilai dielektrik merupakan perbandingan kapasitansi bahan hasil pengujian dengan udara.

Pada metoda Q-meter, penentuan nilai sifat dielektrik dilakukan secara tidak langsung, yaitu melalui pengukuran nilai tegangan (Q) dan kapasitansi (C) yang dihasilkan saat pengukuran. Luaran Q dan C tersebut secara alamiah adalah dalam bentuk arus bolak-balik, sehingga menimbulkan masalah pada pengukurannya. Pengukuran tegangan dengan alat voltmeter biasa menyebabkan ketidak-stabilan hasil ukur, sedangkan pengukuran dengan osiloskop memerlukan peralatan yang tidak murah. Hal ini juga berlaku pada pengukuran kapasitansi, karena memerlukan jembatan L-C dalam pengukurannya.

Untuk mengatasi hal tersebut, perlu dilakukan modifikasi pada alat ukur Q-meter sehingga pengukuran dapat dilakukan dengan peralatan yang lebih sederhana tetapi dengan ketelitian dan ketepatan pengukuran yang memadai. Pada penelitian ini dicoba dibandingkan dua cara pengkuran nilai Q untuk frekuensi yang lebih tinggi, yaitu pengukuran dengan Voltmeter AC dan Voltmeter DC dengan terlebih dahulu mengubah (konversi) arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC). Dari penelitian ini diharapkan kendala pengukuiran Q tersebut dapat diatasi.

B. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh pengubahan luaran Q-meter dari arus bolak-balik menjadi arus searah terhadap hasil pengukuran nilai sifat dielektrik lada pada kisaran frekuensi radio.

TINJAUAN PUSTAKA

Mohsenin (1984) mendefinisikan tetapan dielektrik sebagai perbandingan antara kapasitansi bahan, C, dengan kapasitansi ruang hampa atau vakum, Co. Sedangkan, Nyfors dan Vainikainen (1989) dalam Ryynanen (1995) menggambarkan sifat dielektrik sebagai suatu permitivitas relatif komplek yang merupakan nilai pembagi antara permitivitas absolut dengan permitivitas ruang hampa. Selanjutnya, Risman (1991) dalam Ryynanen (1995) menggambarkan permitivitas sebagai suatu bilangan kompleks yang terdiri dari komponen nyata dan khayal, yaitu:

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' = |\varepsilon| e^{-j\delta} \qquad (1)$$

dimana

ε = permitivitas relatif kompleks

ε' = tetapan dielektrik

ε'' = faktor kehilangan dielektrik

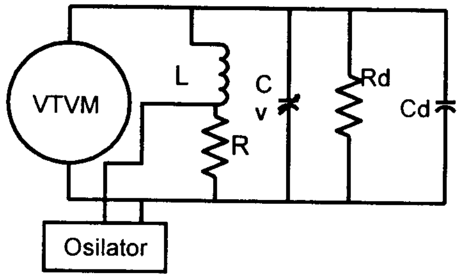
j = unit imajiner ($\sqrt{-1}$)

δ = sudut hilang dielektrik

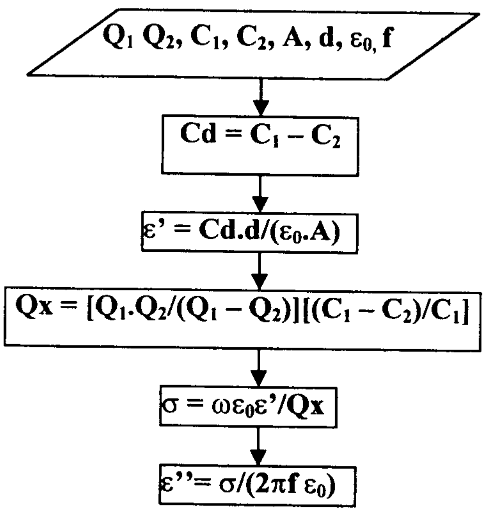
Bagian nyata dari persamaan tersebut (ε') adalah tetapan dielektrik yang menunjukkan kemampuan bahan untuk menyimpan energi listrik, sedangkan bagian khayal (ε") adalah faktor kehilangan dielektrik yang menyatakan kemampuan bahan untuk menghamburkan/melepaskan energi dan mengkonversinya menjadi panas.

Salah satu metoda pengukuran nilai sifat dielektrik adalah 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 voltase konstan dan frekuensi yang sesuai ke rangkaian RLC. Pengukuran sifat dielektrik dilakukan dengan mengatur nilai kondensator variabel C_v sehingga pada pembacaan voltmeter VTVM memberikan nilai maksimum. Dari pembacaan tersebut didapatkan nilai Q dan C, yang dicatat sebagai nilai Q_1 dan C_1. Kemudian bahan contoh dirangkai secara paralel, dan dengan cara yang sama didapatkan nilai Q_2 dan C_2. Selanjutnya, nilai tetapan dielektrik (ε') dan faktor kehilangan dielektrik (ε") dapat dihitung berdasarkan bagan alir pada Gambar 2. Cara perhitungan nilai dielektrik dijelaskan secara lengkap pada Harmen, et al. (2001).

Parameter yang digunakan dalam menggambarkan sifat elektromagnetik bahan biasanya adalah konduktivitas arus AC σ, permitivitas atau sifat dielektrik dan permiabilitas magnetik μ. Hubungan antara konduktifitas arus AC (σ) dengan permitivitas atau sifat dielektrik adalah seperti pada persamaan (2) dan (3).



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



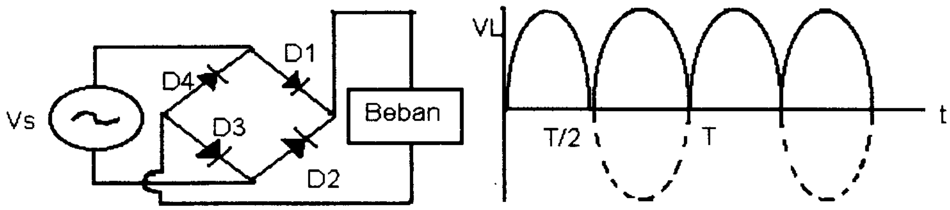
Gambar 2. Diagram alir perhitungan nilai dielektrik

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

$$\varepsilon'' = \frac{\sigma}{2\pi f \varepsilon_0} \qquad (3)$$

Harmen et al (2001) telah merancang dan menguji kinerja alat ukur nilai sifat dielektrik dengan metoda Q-meter yang dapat bekerja pada kisaran frekuensi 8–22 MHz. Alat tersebut telah bekerja dengan baik, dan menunjukkan fenomena yang benar, untuk pengukuran nilai dielektrik biji-bijian seperti lada. Akan tetapi, pembacaan nilai Q pada alat tersebut, yang dilakukan dengan alat ukur tegangan pada arus bolak-balik (AC voltmeter), menghasilkan nilai yang tidak stabil. AC volt meter biasanya digunakan untuk mengukur tegangan listrik AC pada frekuensi dibawah 1 KHz, sehingga kurang teliti untuk pengukuran pada frekuensi yang lebih tinggi (8-22 MHz), seperti pada Q-meter. Pengukuran dengan osiloskop yang dilakukan oleh Simanjuntak (2002) menunjukkan nilai Q yang lebih stabil, akan tetapi penggunaannya menjadi tidak praktis dan mahal. Dari hasil-hasil penelitian tersebut, diduga kemungkinan penyearahan arus luaran, sehingga pengukuran nilai Q dapat dilakukan dengan DC volt meter, dapat menjadi pemecahan yang layak.

Penyearahan adalah pengubahan tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC) yang dapat dilakukan dengan rangkaian penyearah. Terdapat beberapa jenis rangkaian penyearah, yang masing-masing jenis memberikan hasil yang berbeda-beda terhadap bentuk tegangan dc yang keluar. Penyearah gelombang penuh menggunakan rangkaian jembatan dioda (*dioda bridge*) (Zuhal, 1995), seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Dengan jembatan dioda ini, gelombang bagian bawah grafik dipindahkan keatas



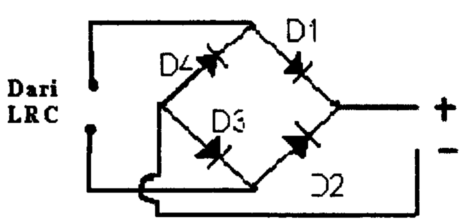
Gambar 3. Rangkaian penyearah gelombamg penuh dengan jembatan dioda (*dioda bridge*) (Zuhal, 1995)

sehingga seluruh bagian gelombang yang keluar dari dioda menjadi positif.

METODA PENELITIAN

Pada penelitian ini, dilakukan penentuan nilai sifat dielektrik lada (tetapan dielektrik, ε', dan faktor kehilangan dielektrik, ε") serta membandingkan nilai tersebut berdasarkan pengukuran Q dengan dua cara, yaitu:

- dengan pengukuran tegangan arus bolak-balik (AC Voltmeter)
- dengan pengukuran tegangan arus searah (DC Voltmeter),

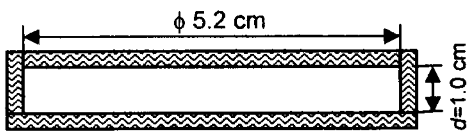


Gambar 4. Rangkaian Jembatan dioda untuk mengubah arus bolak-balik (AC)ke arus searah (DC)

Pengukuran tegangan arus searah dilakukan setelah penyearahan, dimana arus yang berbentuk gelombang sinusoidal diubah menjadi arus searah dengan menggunakan *dioda bridge,* dengan rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Pengukuran nilai kapasitansi dilakukan dengan pengukuran arus listrik yang keluar dan dikalibrasi terhadap nilai kapasitansi kondensator variabel yang digunakan pada rangkaian RLC. Pengukuran kapasitansi bahan ini dilakukan dengan cara mengatur nilai variabel kondensator Cv sehingga pada pembacaan AC voltmeter digital memberikan nilai maksimum, sehingga didapatkan nilai Q_1 dan C_1. Setelah tercapai keadaan resonansi wadah contoh berisi bahan dipasang secara paralel dengan rangkaian, dan tegangan yang terukur dinyatakan sebagai nilai Q_2. Selanjutnya, Cv diatur kembali sehingga didapatkan tegangan puncak resonansi. Kemudian, bahan contoh dikeluarkan, kapasitansi kondensator Cv diukur dan dinyatakan sebagai nilai C_2. Perhitungan selanjutnya dilakukan berdasarkan bagan alir pada Gambar 2.

Pencacah frekuensi digunakan untuk mengukur frekuensi yang diberikan osilator kepada rangkaian RLC. Rangkaian RLC terdiri dari induktor, tahanan dan kondensator variabel. Wadah contoh yang digunakan adalah merupakan 2 lempeng sejajar yang terbuat dari tembaga, dan pada bagian luar dilapisi isolator. Bahan contoh diletakkan diantara dua lempeng tersebut, dan dianggap berperilaku sebagai kondensator. Wadah contoh (Gambar 5) dirancang dan dibuat berdasarkan kemampuan alat, sehingga kapasitansinya dapat terbaca pada frekuensi yang dikehendaki.



Gambar 5. Ukuran wadah contoh

Pengukuran nilai sifat dielektrik lada dilakukan dengan ulangan sebanyak 5 kali pada masing sampel, pada kadar air 13,82 % dengan 2 metoda yaitu pembacaan nilai Q dengan Voltmeter AC dan Voltmeter DC, seperti pada frekuensi 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 MHz. Pengukuran dilakukan terhadap nilai tetapan dielektrik bahan (ε') dan faktor kehilangan dielektrik (ε").

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Alat Ukur Sifat Dielektrik

Komponen utama alat ukur nilai sifat dielektrik berdasarkan metoda Q-meter adalah osilator, rangkaian RLC, kapasitansi meter, Q-meter, wadah contoh dan pencacah frekuensi (Harmen et al, 2001). Osilator berfungsi sebagai sumber tegangan yang memberikan frekuensi tertentu dengan voltase yang sesuai dengan rangkaian RLC. Alat ukur kapasitansi berfungsi untuk mengukur kapasitansi kondensator variabel saat terjadi resonansi dan saat setelah diparalelkan pada rangkaian RLC (Tambunan, et al., 2000). Rangkaian LRC merupakan bagian yang penting untuk melihat nilai Q dan C bahan yang akan diukur. Q meter digunakan untuk mengukur tegangan (Q) saat resonansi pada rangkaian RLC. Alat bantu pada pengukuran adalah voltmeter, ampermeter dan pencacah frekuensi.

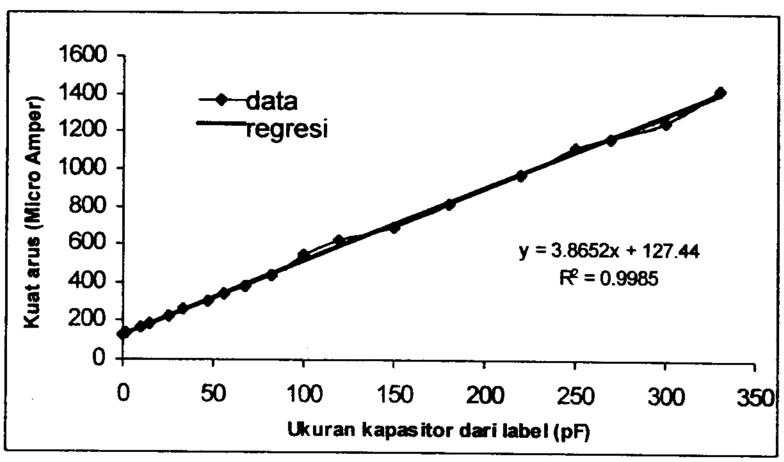
Osilator dirancang sehingga dapat menghasilkan frekuensi pada kisaran 8-22 MHz. Perbedaan selang frekuensi yang dicapai oleh masing-masing unit osilator tersebut diperoleh dengan membedakan komponen-komponen kapasitor dan lilitan (Harmen, et al., 2001). Alat ukur kapasitansi merupakan bagian yang penting pada rangkaian alat ukur nilai dielektrik. Pada dasarnya alat ini memanfaatkan 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. Arus yamg keluar dari alat ini ditentukan oleh interaksi antara tahanan R5 dan VR sebagai R dengan Condensator, Cx, sebagai variabel kondensator sesuai dengan hubungan yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$t = (C_x)\ R$

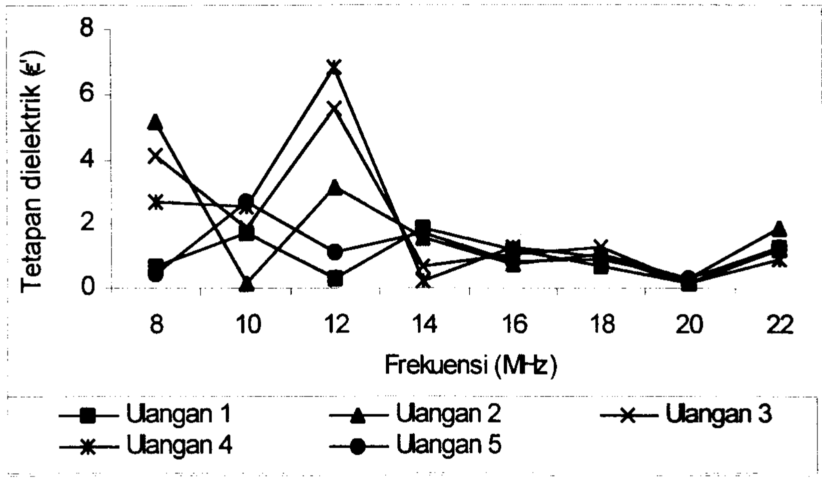
Dalam hal ini, C_x adalah kondensator yang akan diukur besarannya. Besar tahanan variabel R pada persamaan (4) diatur sedemikian rupa, sehinga dengan mengeser-geser kapasitornya akan didapatkan perubahan besar keluaran arus. Pada prinsipnya arus yang dikeluarkan berbentuk pulsa tinggi dan rendah, dimana lamanya waktu pulsa tinggi (t) ditentukan oleh persamaan tersebut.

Pengujian alat dilakukan terhadap alat ukur kapasitansi, osilator, dan rangkaian RLC. Alat ukur kapasitansi terdiri dari perangkat elektronik dan alat tambahan berupa *Digital Ampermeter*. Hal yang diuji adalah kepastian bahwa alat dapat berfungsi dengan baik, yaitu apabila kondensator variabel Cx diatur maka akan terjadi perubahan kuat arus luaran. Selanjutnya, dilakukan pengujian terhadap kondesator variabel yang digunakan, yang mempunyai selang kapasitansi antara 7 sampai 356 pF. *Ampermeter* yang digunakan mempunyai selang pengukuran 0-2000 Microamper. Untuk itu, alat ukur kapasitansi dirancang sehingga pada kapasitansi kondensator variabel maksimum (356 pF) pembacaan pada ampermeter menunjukkan maksimum (2000 micro amper). Hasil pengukuran ditunjukkan pada Gambar 6, yang kemudian digunakan untuk mengkalibrasi pengukuran arus terhadap nilai kapasitansi.

Osilator dibuat berdasarkan rancangan pemancar radio (±) 80 meter band pada frekuensi 3,7 MHz (Sarwo Edy, 1996) dengan mengganti nilai komponen elektroniknya, sehingga didapatkan kisaran frekuensi yang diinginkan. Frekuensi gelombang sinus yang dibangkitkan oleh osilator dipe-



Gambar 6. Grafik hubungan label ukuran kapasitor dengan kuat arus



Gambar 7.Grafik pengaruh frekuensi terhadap tetapan dielektrik(ε') lada (kadar air 13.82 % bb) nilai Q dibaca pada arus bolak-balik (AC)

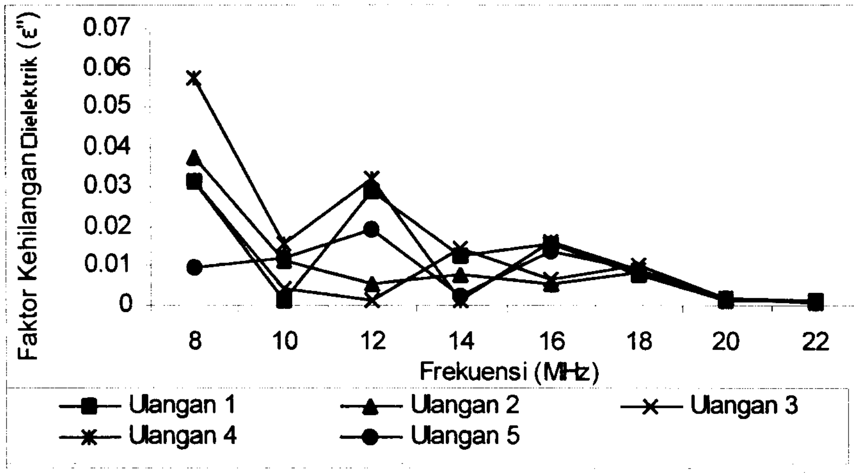
ngaruhi oleh besarnya induktansi L dan kapasitansi C sesuai dengan persamaan (5). Perubahan nilai L dan C akan menyebabkan terjadinya perubahan keluaran frekuensi yang dihasilkan oleh osilator. Makin tinggi frekuensi yang dibutuhkan makin kecil ukuran komponen induktansi dan kapasitansi yang diperlukan. Pengujian osilator ditujukan terhadap besarnya selang frekuensi yang dapat dihasilkan. Pada penelitian ini dirancang 4 rangkaian dengan selang frekuensi dari 3.47 MHz sampai 39 MHz.

$$fr = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

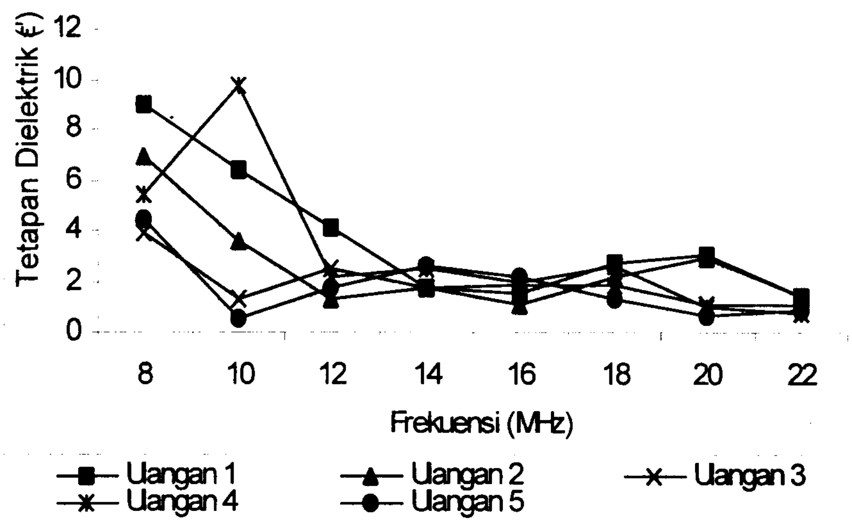
Pengujian rangkaian RLC dilakukan dengan menggeser-geser kapasitor variabel (Cv) untuk memastikan terjadinya tegangan maksium yang terukur pada alat *AC volt meter* saat kapasitor variabel mencapai kapasitansi tertentu. Hal ini dilakukan untuk setiap tingkat frekuensi.

B. Perbandingan Pengkuran Nilai Dielektrik Lada

Hasil pengukuran tetapan dielektrik (ε') dan faktor kehilangan dielektrik (ε") lada berdasarkan pengukuran Q pada arus bolak-balik (AC) ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8. Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa nilai ε' yang diperoleh mempunyai keragaman yang sangat besar, khususnya pada frekuensi12 MHz (berkisar pada nilai 0.275–6,81). Hal yang sama juta tampak pada hasil pengukuran nilai faktor kehilangan dielektrik (ε") (Gambar 8), dengan keragaman terbesar terjadi pada frekuensi 8 MHz, yaitu pada kisaran nilai 0,0094–0,573.



Gambar 8. Grafik pengaruh frekuensi terhadap nilai faktor kehilangan dielektrik (ε") lada (kadar air 13,82 % bb) nilai Q dibaca pada arus bolak-balik (AC)



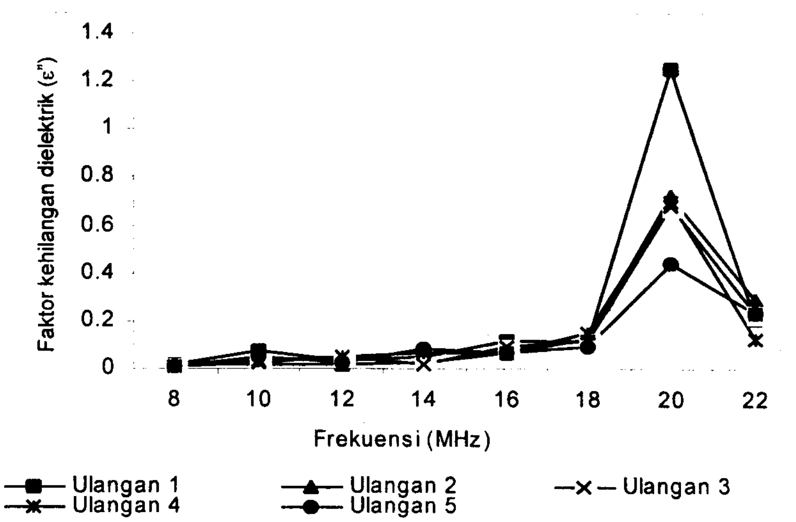
Gambar 9. Grafik pengaruh frekuensi terhadap tetapan dielektrik(ε') lada (kadar air 13.8 % bb) nilai Q dibaca pada arus searah (DC)

Keragaman nilai ini bersumber dari ketidak-stabilan pengukuran nilai Q. Disamping dipengaruhi oleh faktor pembacaan alat, ketelitian alat ini juga sangat dipengaruhi oleh kestabilan pengukuran parameter-parameter yang diperlukan, seperti nilai Q dan C. Hal ini disebabkan oleh rendahnya ketelitian alat peraga, sehingga sulit menentukan pada kapasitansi berapa sebenarnya puncak resonansi terjadi. Disamping itu, tegangan yang terbaca juga sangat kecil, yaitu dalam satuan milivolt. Alat ukur voltmeter AC, biasa digunakan untuk pengukur tegangan arus AC frekuensi rendah.

Hasil pengukuran tetapan dielektrik (ε') dan faktor kehilangan dielektrik (ε") lada berdasarkan pengukuran Q pada arus searah (DC) ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10. Dari Gambar 9 dapat dilihat bahwa keragaman nilai tetapan dielektrik (ε') juga mengalami keragaman yang besar pada frekuensi10 MHz (berkisar pada 0,59–9,76), meskipun keragaman nilai ε' pada frekuensi lain relatif lebih kecil.

Hasil pengukuran nilai faktor kehilangan dielektrik (ε") berdasarkan pengukuran nilai Q pada arus searah (Gambar 10) menunjukkan keragaman yang lebih kecil pada tiap frekuensi pengukuran. Berdasarkan keragaman yang ditunjukkan, tampak bahwa pengukuran pada arus searah memberi kestabilan yang lebih baik daripada pengukuran pada arus bolak balik, kecuali pada frekuensi 20 MHz. Dengan kata lain, ketelitian pengukuran dengan menggunakan arus searah dapat diharapkan lebih baik.

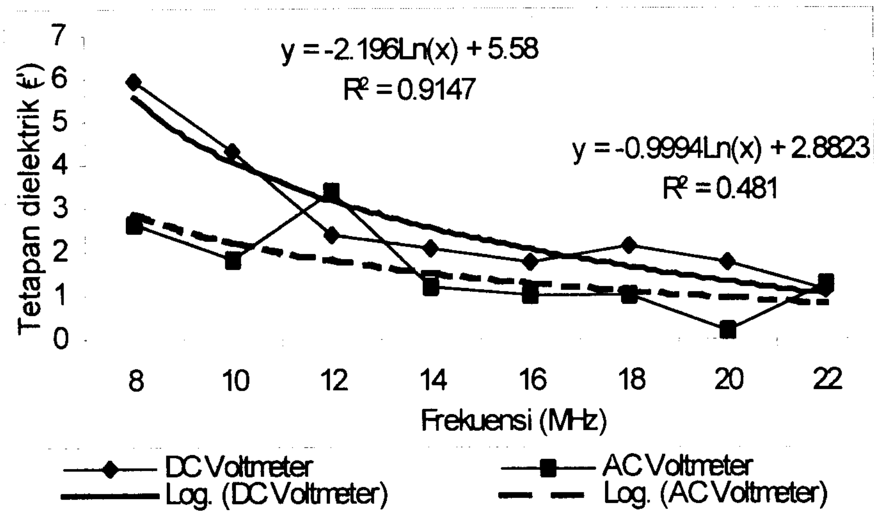
Perbandingan hasil pengukuran nilai sifat dielektrik rata-rata berdasarkan kedua cara pengukuran tersebut ditunjukkan pada Gambar 11, untuk tetapan dielektrik, dan Gambar 12 untuk faktor kehilangan dielektrik. Dari Gambar 11 terlihat bahwa nilai tetapan dielektrik hasil pengukuran pada arus searah cenderung lebih besar, khususnya pada frekuensi yang lebih rendah. Hal sebaliknya terjadi pada nilai faktor kehilangan dielektrik (Gambar 12), yang menunjukkan bahwa hasil



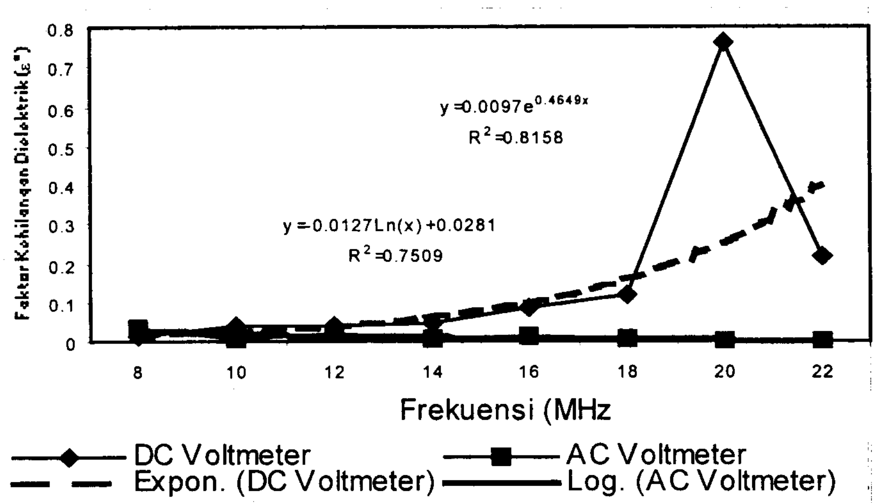
Gambar 10. Grafik pengaruh frekuensi terhadap nilai faktor kehilangan dielektrik (ε") lada (kadar air 13,8 % bb) nilai Q dibaca pada arus searah

pengukuran pada arus searah cenderung lebih besar pada frekuensi yang lebih tinggi.

Koefisien korelasi yang lebih besar pada regresi hasil pengukuran rata-rata, sebagai mana ditampilkan pada gambar, dapat mencirikan kestabilan yang lebih baik. Dari kedua gambar tersebut terlihat bahwa kestabilan pengukuran pada arus searah, baik untuk tetapan dielektrik



Gambar 11. Grafik pengaruh frekuensi terhadap rata-rata nilai tetapan dielektrik (ε') lada dengan dua metoda pengukuran (KA=13.8%bb)



Gambar 12. Perbandingan pengaruh frekuensi terhadap rata-rata nilai faktor kehilangan dielektrik (ε") lada, berdasarkan 2 metoda pengukuran.

maupun untuk faktor kehilangan dielektrik, selalu lebih baik dari pada pengukuran pada arus bolak-balik.

Kurva hamburan dan absorbsi model Debye untuk bahan polar (Nelson,1994) menunjukkan bahwa peningkatan frekuensi pada kisaran frekuensi rendah (di sekitar frekuensi radio) menyebabkan penurunan nilai tetapan dielektrik dan peningkatan nilai faktor kehilangan dielektrik. Dengan demikian, nilai tetapan dielektrik (ε') dan faktor kehilangan dielektrik (ε'') yang dihasilkan melalui pengukuran pada arus searah (DC) lebih menunjukkan kecenderungan yang sesuai dengan teori. Ketidak-sesuaian hasil pengukuran pada arus bolak-balik disebabkan oleh pembacaan dengan AC voltmeter yang terlalu rendah (milivolt) dibandingkan dengan DC voltmeter (volt), sehingga memungkinkan terjadinya kesalahan dalam menentukan titik resonansi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan uraian diatas, alat ukur nilai sifat dielektrik dengan metoda Q-meter menunjukkan hasil yang lebih stabil jika pengukuran nilai Q dilakukan pada arus searah (DC). Hal lebih lanjut yang perlu dikaji adalah ketepatan nilai-nilai hasil pengukuran tersebut, sehingga perlu dilakukan perancangan alat ukur yang memungkinkan pengukuran nilai Q pada arus searah dan dengan ketepatan yang lebih baik. Pengkajian perlu dilakukan pada tingkat kadar air berbeda untuk mendapatkan kecenderungan yang lebih meyakinkan.

DAFTAR PUSTAKA

Harmen, Tambunan A.H., E. Hartulistiyoso, IDM. Subrata, 2001. Rancang Bangun Alat dan Pengukuran Nilai Dielektrik Pada Kisaran Frekuensi Radio. Buletin Keteknikan Pertanian, 15(2) pp.100–110.

Mohsenin, N. N. 1984. Electromagnetic Radiation Properties of Food and Agricultural Product. Gordon and breach Science Publisher. New York.

Nelson, S.O., 1994, Measurement of microwave dielectric properties of particulate materials, J. Food Engineering, Vol. 21, pp. 365-383

Ryynanen, S. 1994. The Electromagnetic properties of Food Materials: A Review The Basic Principles. Journal of Food Engginering 26: 409-429.

Sarwo Edy dan Supriyo, 1996. Merakit sendiri Pemancar jalur 80 meter. Penerbit PT Elex Media Komputindo. Jakarta.

Simanjuntak, T., 2002, Pengukuran nilai sifat dielektrik lada (Piper nigrum, L.) dan andaliman (Zanthoxylum acanthopodium, DC.), Skripsi, Jurusan Teknik Pertanian, Fateta, IPB.

Tambunan, A.H., Suyatno, N.A., Harmen, 2000. Desain dan uji teknis alat pengukur nilai dielektrik berdasarkan metoda Q-meter. Buletin Keteknikan Pertanian,14(2), pp.108-117.

Wahyu Noersasongko, 1997. Teknik Dasar Komunikasi Radio. CV Gunung Mas. Pekalongan.

Zuhal, 1995. Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta,