

PENDEKATAN MODEL ZHANG DAN HAYDEN DALAM KAJIAN LISTRIK BUAH JERUK GARUT

J. Juansah^{1*}, I.W. Budiastara², K. Dahlan¹, K. Boroseminar²

¹ Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Pertanian Bogor

²Departemen Teknik mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian
Bogor

* j_juansah@yahoo.com

ABSTRACT

Studies of citrus properties based on electrical measurement have been done using low alternating current signal. The electrical conductance and capacitance of Garut citrus have been investigated on frequency variation from 50 Hz to 1MHz. The cell systems have been made from acrylic and electrode plate conductor of cuprum. The sample of citrus placed between the electrodes, as dielectric material. Hi LCR Tester Hioki 3532-50 with dual probe (modified from four probes) used to measure sample electricity. This equipment provided with the current source which its frequency vary. The electrical circuit modeling for Garut citrus fruits has been investigated by comparing the results of experiment with electrical modeling circuit configurations. This approach developed using circuit modeling of resistors - capacitors which match to the experiment data. The electrical circuit constructed from a series and parallel configuration that refers to the condition of citrus fruit. The model adopted from kiwifruit and eggplant based on Equivalent circuit models proposed by Hayden et al.(1969) and Zhang et al. (1990). At the certain parameters of resistor and capacitor which representation of internal fruit, data modeling simulation results have a high compatibility. Modeling of electrical impedance spectroscopy results has profile shapes that are similar to the results of direct experimental measurements. Electrical conductance of Garut citrus increases exponentially while the impedance and capacitance decreases exponentially when the frequency is raised. The Zhang model was better than model adopted from Hayden.

Keyword: Conductance, Capacitance, impedance, Garut citrus.

ABSTRAK

Studi sifat buah Jeruk berdasarkan pengukuran sifat listrik telah dilakukan menggunakan sinyal arus AC rendah. Konduktansi listrik dan kapasitansi buah Jeruk Garut diamati pada berbagai variasi frekuensi dari 50 HZ sampai 1 MHz. Sistem sel yang digunakan adalah acrylic dan electrode plate conductor dari tembaga. Sampel buah Jeruk diletakkan di antara elektroda sebagai material dielektrik. Hi LCR Tester Hioki dengan dual probe (modifikasi dari empat probe) digunakan untuk mengukur sifat listrik sampel. Pemodelan sirkuit listrik untuk buah jeruk Garut telah diteliti dengan membandingkan hasil percobaan dengan

konfigurasi sirkuit pemodelan listrik. Pendekatan ini dikembangkan dengan menggunakan pemodelan rangkaian resistor - kapasitor yang sesuai dengan data percobaan. Rangkaian listrik dibangun dari konfigurasi seri dan paralel yang mengacu pada kondisi buah Jeruk. Model ini diadopsi dari buah Kiwi dan Terong berdasarkan equivalent circuit model yang diusulkan oleh Hayden dkk (1969) dan. Zhang et al. (1990). Pada parameter tertentu dari resistor dan kapasitor yang merepresentasikan bagian internal buah, hasil dari pemodelan simulasi data menunjukkan kompatibilitas tinggi. Hasil spektroskopi pemodelan impedansi listrik memiliki bentuk profil yang mirip dengan hasil pengukuran eksperimen. Konduktansi listrik dari jeruk Garut meningkat secara eksponensial sedangkan impedansi dan kapasitansi menurun secara eksponensial ketika frekuensinya dinaikkan. Model Zhang lebih baik dari model Hayden.

Kata kunci: konduktansi, kapasitansi, impedansi, buah Jeruk

PENDAHULUAN

Jeruk Garut mulai digalakkan kembali di Kabupaten Garut dengan program penanaman satu juta pohon dan direncanakan selesai tahun 2012. Selain kandungan vitamin C yang tinggi, jeruk Garut bisa menghasilkan minyak dari kulit dan biji jeruk, gula, alkohol dan pektin. Walaupun manfaat jeruk sangat banyak dan bisa meningkatkan kesejahteraan petani, tetapi hal itu tidak bisa berguna dengan baik jika tidak memperhatikan mutunya. Untuk mengukur sifat produk-produk hasil pertanian umumnya bersifat *destruktif*. Bahan yang telah diuji tidak bisa dipasarkan lagi apalagi dikonsumsi. Hal ini menyebabkan pengujian bahan dalam jumlahnya banyak hanya dilakukan dengan pengambilan contoh populasi saja.

Kedua kendala di atas adalah kelemahan yang harus dipecahkan. Oleh karena itu perlu dikaji lebih jauh suatu metode penentuan sifat-sifat bahan secara tidak merusak sehingga bahan yang telah diuji masih layak dikonsumsi maupun dipasarkan. Pengukuran sifat listrik adalah salah satu metode yang punya peluang dikembangkan lebih jauh untuk memecahkan masalah ini¹. Metode ini juga memiliki peluang sebagai alternatif untuk penentuan kualitas produk pertanian. Sifat listrik produk dari bahan yang diberikan arus listrik tersebut secara mikroskopik terkait dengan mobilitas listrik atau penyeragaman arah dipole listriknya akibat gangguan listrik eksternal². Kemampuan penyeragaman momen dipol ini merupakan ciri khas dari molekul-molekul yang berkorelasi terhadap sifat-sifat dielektrik, fisiko-kimia dan biologis.

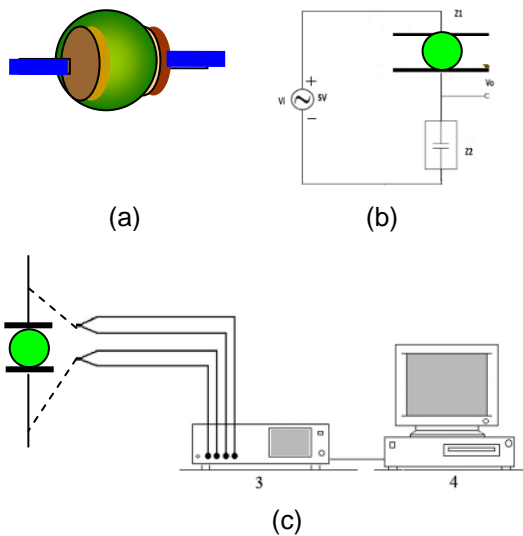
Setiap bahan pertanian memiliki sifat listrik yang khas dan besarnya sangat ditentukan oleh kondisi internal bahan tersebut seperti momen dipol listrik, komposisi bahan kimia, kandungan air, keasaman, dan sifat internal lainnya³. Pemanfaatan sifat ini cenderung semakin banyak diterapkan di bidang pertanian, seperti pemanfaatan dalam proses pengeringan bahan pangan. Aplikasinya didasarkan pada sifat dielektrik bahan⁴. dan kemampuan bahan untuk menyerap radiasi gelombang elektromagnetik dan mengubahnya menjadi panas⁵.

Pengukuran sifat listrik dengan sinyal frekuensi rendah telah dilakukan oleh Stacheder pada tahun 2005 untuk menguji keterkaitan dielektrikum dengan kadar air dan density dari salju⁶. Skierucha pada tahun 2004 telah membandingkan metode pengukuran sifat listrik pada frekuensi tinggi untuk menentukan nilai dielektrik dengan pemanfaatan sensor TDR maupun kabel coaxial⁷. Pietruszewski et al, pada tahun 2007⁸, telah memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sebagai metode tidak merusak untuk merangsang pertumbuhan biji. Selain itu pada level energi yang rendah, sifat listrik terutama nilai dielektrik dapat dimanfaatkan untuk pengukuran kadar air secara *non destruktif*⁹. Ada juga yang merepresentasikan impedansi listrik pada tanaman jeruk dalam bentuk kompleks terkait dengan waktu pemberian air sebagai mekanisme dalam jaringan xylem^{10,11}.

Spektroskopi impedansi listrik (EIS) telah banyak digunakan pula untuk mempelajari kondisi hewan dan tumbuhan. Akhir - akhir ini telah berkembang pula EIS untuk mempelajari kondisi fisiologi buah seperti pada buah kiwi¹², tomat¹³, dan nectarin¹⁴. Keuntungan lain dari EIS adalah adanya diagram spectra yang bisa digunakan untuk membangun diagram rangkaian listrik dari resistor maupun kapasitor yang menunjukkan kondisi internal buah. Sementara hasil penelitian ini lebih difokuskan pada pemodelan rangkaian listrik dari buah jeruk dengan menggunakan sinyal listrik eksternal lemah agar tidak merusak produk.

EKSPERIMENTAL

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah jeruk Garut. Alat utama yang digunakan untuk mengukur listrik adalah LCR Hitester 2532-50 yang menggunakan metode empat elektroda yang terintegrasi dengan komputer. Pengambilan data dan kontrol alat menggunakan LabVIEW. Dua titik elektroda sebagai sumber arus dan dua titik lagi sebagai pembaca. Kedua bagian elektroda tersebut disatukan tanpa ada pembatas hambatan sehingga menjadi dua titik acuan untuk penempatan elektroda yang berbeda. Kedua elektroda itu dipakai sebagai sumber arus dan sekaligus sebagai elektroda pengukur. Pada pengukuran utama dibutuhkan elektroda plat yang disatukan dengan sel uji. Pada sel uji yang telah dibuat disisipkan plat elektroda pada dua sisi yang berhadapan. Plat elektroda terbuat dari bahan tembaga yang dilapisi oleh cat isolator, hal ini dilakukan agar tidak terjadi arus singkat yang terjadi pada bahan uji. Skemanya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Sistem pengukuran parameter listrik. elektroda-sampel (a), sistem sinyal¹⁵ (b), dan Skema sistem komunikasi LCR¹⁶ (c).

Tahap berikutnya pengambilan data sesuai parameter parameter yang diukur. Parameter utama yang diukur adalah konduktansi dan kapasitansi listrik sebagai fungsi frekuensi. Setelah itu dibuat model rangkaian listrik untuk pendugaan dari data eksperimen tadi. Dasar pemodelan rangkaian listrik menggunakan model dasar pada buah kiwi yang diadopsi dari model Zhang (1990)¹⁷ dan terung yang diadopsi dari model Hayden(1969)¹⁸. Hasil kedua model tadi dikorelasikan dengan data hasil pengukuran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

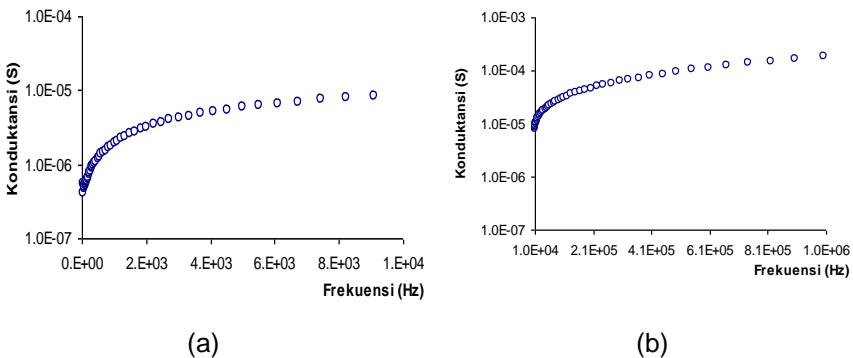
Spektrum Konduktansi dan Kapasitansi listrik dari buah jeruk Garut

Jika diberikan medan listrik eksternal pada bahan melalui elektroda maka dapat dilihat fenomena sifat listrik yang muncul (kapasitansi dan konduktansi). Jika frekuensi sumber tegangan diubah-ubah maka bahan yang disisipkan antara dua plat tersebut akan terganggu, diantaranya perubahan arah momen dipol listrik. Jika momen dipol bahan lebih seragam maka kondisi ini akan mengurangi medan listrik eksternal tersebut. Kondisi penyeragaman momen dipol ini tergantung dari sifat bahan tersebut. Molekul-molekul dari beberapa bahan dielektrik, seperti air, mempunyai momen dipol listrik permanen yang cenderung untuk mensejajarkan dengan medan listrik luar. Fenomena ini terjadi pula pada buah jeruk ini.

Pada Gambar 2 dapat dilihat nilai konduktansi listrik untuk buah jeruk pada setiap frekuensi yang diberikan berkisar sangat kecil dan yang

tertinggi adalah 0,2 mS pada frekuensi 1 MHz. Frekuensi mengilustrasikan banyaknya gelombang yang ditransmisikan setiap detik. Nilai frekuensi yang semakin besar dapat menyebabkan pergeseran muatan di sekitar permukaan plat yang lebih cepat. sehingga adanya penambahan pemicu mobilitas muatan dari kedua plat tersebut. Jika frekuensi diperbesar, maka aliran arus akan lebih cepat berubah-ubah yang mempengaruhi mobilitas muatan yang muncul pada bahan. Hal tersebut merupakan kondisi eksternal dari sinyal listrik yang akan mempengaruhi kondisi internal bahan dielektrik seperti jeruk ini.

Nilai konduktansi yang diperoleh menyatakan kemampuan bahan dalam menghantarkan muatan listrik. Konduktansi listrik dipengaruhi oleh pergerakan muatan ion. Nilai konduktansi listrik bergantung pada rapat muatan, kuat medan listrik yang diberikan dan temperatur dari bahan dielektrik tersebut. Jika frekuensi sumber tegangan diperbesar, maka perubahan arah pergerakan muatan akan semakin cepat. Sementara bahan yang bersifat konduktif akan dengan mudah mengikuti perubahan medan listrik eksternal sehingga nilai konduktansi listriknya pun meningkat. Hal ini terjadi pula pada buah jeruk. Nilai konduktansi listrik meningkat dengan besarnya frekuensi yang diberikan. Namun peningkatan yang sangat berarti terjadi ketika frekuensi di atas 100 kHz. Frekuensi yang bertambah besar ini akan meningkatkan tingkat pergerakan muatan dan ion-ion dalam jeruk lebih efektif sehingga nilai konduktansi meningkat secara eksponensial. Walaupun hal itu terjadi, akan tetapi berdasarkan besarnya nilai konduktansi secara keseluruhan yang sangat kecil maka buah jeruk termasuk kurang konduktif. Dengan demikian lon-ion maupun elektron pada bagian buah jeruk, baik biji, kulit, maupun dagingnya terikat relatif stabil. Mobilitasnya yang sangat rendah ini menandakan ion-ion terikat pada zat-zat penyusun buah jeruk dengan kuat.



Gambar 2 Nilai konduktansi listrik buah Jeruk Garut pada berbagai frekuensi hasil eksperimen. 50 Hz-10 kHz (a) dan 10 kHz-1 MHz (b).

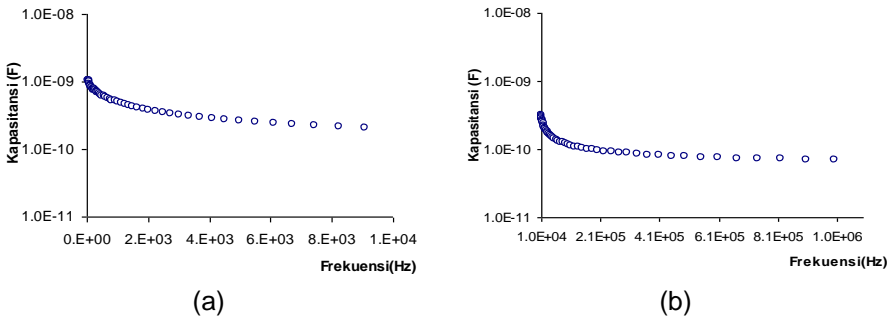
Pada Gambar 3 dapat dilihat nilai kapasitansi untuk buah jeruk pada setiap frekuensi yang diberikan maksimal sekitar $3 nF$. Kondisi ini terjadi pada buah dengan diperlakukan sebagai kapasitor. Tipe kapasitor paling umum terdiri atas dua plat yang dipisahkan oleh jarak yang kecil dibandingkan dimensi plat tersebut. Jika jarak keduanya cukup berdekatan, seluruh medan terlokalisasi antara kedua plat dan polarisasi muatan terdistribusi merata di seluruh permukaan plat. Kapasitansi diilustrasikan sebagai kemampuan sebuah kapasitor dalam menyimpan muatan listrik. Nilai kapasitansi sebuah kapasitor plat sejajar dipengaruhi oleh, luas plat, jarak antara plat dan konstanta dielektrik. Bahan dielektrik pada sebuah kapasitor dapat mengatasi masalah penempatan dua logam plat tanpa terjadi persentuhan, menyebabkan akumulasi muatan yang tertahan atau disimpan lebih banyak, dan meningkatkan besarnya kapasitansi.

Banyaknya gelombang listrik yang ditransmisikan setiap detik dipengaruhi oleh besarnya frekuensi sinyal yang diberikan. Nilai frekuensi yang semakin besar dapat menyebabkan perubahan pergeseran muatan negatif dan positif di sekitar permukaan plat yang lebih cepat. Sehingga terjadi pengurangan densitas muatan yang besar pada kedua plat tersebut. Ketika kapasitor belum terisi penuh dan arus listrik telah berbalik arah maka jumlah muatan yang tersimpan akan berkurang dan nilai kapasitansi mengecil. Hal tersebut merupakan kondisi eksternal dari sinyal listrik yang akan mempengaruhi kondisi internal bahan dielektrik seperti jeruk ini

Keberadaan buah jeruk sebagai bahan dielektrik akan terpengaruhi oleh kondisi medan listrik eksternal. Dipol-dipol dari bahan jeruk akan mengikuti arah medan listrik yang diberikan. Dengan medan listrik yang bersifat bulak balik maka arah momen dipol listrik dari jeruk akan berubah menyesuaikan dengan arah medan listrik tersebut. Keberadaan buah diantara plat kapasitor sebagai bahan dielektrik akan meningkatkan nilai kapasitansi jika dibandingkan plat kapasitor dengan bahan dielektrik udara. Tetapi, nilai kapasitansi akan berkurang jika frekuensi sumber diperbesar. Peningkatan frekuensi sumber beranalogi dengan meningkatnya kecepatan perubahan arah medan listrik eksternal, sehingga frekuensi tinggi akan mempercepat perubahan medan listrik eksternal. Sementara kondisi internal buah jeruk juga terpengaruhi. Pemberian medan listrik eksternal akan menimbulkan dipol listrik internal yang memunculkan medan listrik internal. Perubahan medan listrik eksternal akan diikuti pula dengan perubahan listrik internal. Namun penyesuaian perubahannya dipengaruhi oleh kecepatan perubahan momen dipol listriknya. Gambar 3 memperlihatkan adanya pengurangan nilai kapasitansi jika frekuensi diperbesar, hal ini menandakan adanya pengurangan kecepatan penyesuaian momen dipol listrik dari jeruk. Sehingga dapat dikatakan peningkatan frekuensi listrik eksternal tidak bisa diikuti secara linier dengan perubahan momen dipol internal jeruk.

Jika frekuensi ditingkatkan, maka nilai impedansi listrik buah jeruk menurun. Impedansi pada rangkaian besarnya dipengaruhi oleh frekuensi, resistansi dan reaktansi total. Pada frekuensi yang sangat

rendah reaktansi kapasitif menjadi lebih besar, jadi impedansinya akan besar dan arus listrik akan kecil. Ketika frekuensinya naik reaktansi kapasitif menjadi turun.



Gambar 3 Kapasitansi listrik dari buah jeruk Garut sebagai fungsi frekuensi hasil eksperimen. 50 Hz-10 kHz (a) dan 10 kHz-1 MHz (b).

Model rangkaian listrik ekivalen untuk buah jeruk Garut

Dasar dari pemodelan adalah rangkaian gabungan resistor dan kapasitor yang dipakai pada buah kiwi¹² dan terung¹⁴ yang berdasarkan model yang diusulkan oleh Zhang et al (1990)¹⁷ maupun Hayden et al(1969)¹⁸. Model rangkaian yang dipakai diperlihatkan pada Gambar 4.

Dengan pendekatan pada Gambar 4, maka dapat ditentukan persamaan untuk nilai kapasitansi, konduktansi maupun impedansinya. Analisa dilakukan untuk arus lemah dengan fungsi frekuensi. Untuk model Hayden (Gambar 4.a) dilakukan analisi rangkaian dan didapat persamaan konduktansi dan kapasitansinya seperti persamaan 1.a dan 1.b, sementara untuk model Zhang (Gambar 4.b) didapat persamaan konduktansi dan kapasitansinya seperti persamaan 2.a dan 2.b.

$$G_{eqH} = \frac{(R_{2,H} + R_{1,H})^2 + X_{1,H}^2}{R_{2,H}R_{1,H}(R_{2,H} + R_{1,H}) + R_{2,H}X_{1,H}^2} \quad 1.a$$

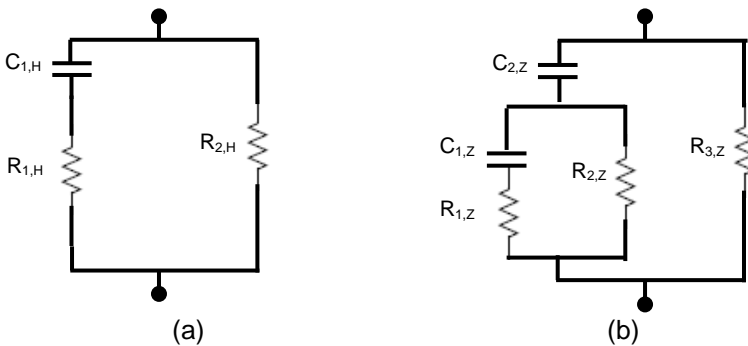
$$C_{eqH} = -\frac{(R_{2,H} + R_{1,H})^2 + X_{1,H}^2}{\omega [R_{2,H}R_{1,H}X_{1,H} - R_{2,H}X_{1,H}(R_{2,H} + R_{1,H})]} \quad 1.b$$

$$G_{eq,z} = \frac{[R_{2,z}R_{1,z} - X_{2,z}X_{1,z} + R_{3,z}(R_{2,z} + R_{1,z})](R_{3,z}R_{2,z}R_{1,z} - R_{3,z}X_{2,z}X_{1,z})}{[(R_{3,z}R_{2,z}R_{1,z} - R_{3,z}X_{2,z}X_{1,z})^2 + (X_{2,z}R_{3,z}(R_{2,z} + R_{1,z}) + R_{3,z}R_{2,z}X_{1,z})^2]} + 2.a$$

$$\frac{(R_{2,z}X_{1,z} + X_{2,z}(R_{2,z} + R_{1,z}) + R_{3,z}X_{1,z})(X_{2,z}R_{3,z}(R_{2,z} + R_{1,z}) + R_{3,z}R_{2,z}X_{1,z})}{[(R_{3,z}R_{2,z}R_{1,z} - R_{3,z}X_{2,z}X_{1,z})^2 + (X_{2,z}R_{3,z}(R_{2,z} + R_{1,z}) + R_{3,z}R_{2,z}X_{1,z})^2]}$$

$$C_{eq,z} = \frac{[R_{2,z}R_{1,z} - X_{2,z}X_{1,z} + R_{3,z}(R_{2,z} + R_{1,z})](X_{2,z}R_{3,z}(R_{2,z} + R_{1,z}) + R_{3,z}R_{2,z}X_{1,z})}{\omega[(R_{3,z}R_{2,z}R_{1,z} - R_{3,z}X_{2,z}X_{1,z})^2 + (X_{2,z}R_{3,z}(R_{2,z} + R_{1,z}) + R_{3,z}R_{2,z}X_{1,z})^2]} \quad 2.b$$

$$- \frac{(R_{2,z}X_{1,z} + X_{2,z}(R_{2,z} + R_{1,z}) + R_{3,z}X_{1,z})(R_{3,z}R_{2,z}R_{1,z} - R_{3,z}X_{2,z}X_{1,z})}{\omega[(R_{3,z}R_{2,z}R_{1,z} - R_{3,z}X_{2,z}X_{1,z})^2 + (X_{2,z}R_{3,z}(R_{2,z} + R_{1,z}) + R_{3,z}R_{2,z}X_{1,z})^2]}$$



Gambar 4 Rangkaian listrik ekuivalen untuk pemodelan listrik buah jeruk, lumped model dari Hayden et al.(1969)¹⁸ pada buah kiwi¹⁰ (a) dan lumped model dari Zhang et al. (1990)¹⁷ pada terung¹⁶ (b).

Hasil simulasi untuk kapasitansi, konduktansi dan impedansi memperlihatkan profil yang mirip dengan hasil data eksperimennya. Hasil tersebut cocok untuk pendugaan dengan nilai resistor dan kapasitor tertentu. Hal ini menandakan bahwa nilai komponen yang mewakili sifat listrik jeruk adalah spesifik. Nilai-nilai komponen itu diperlihatkan pada Tabel 1. Hasil profil pemodelan dan kecocokan dengan data hasil eksperimen untuk sifat listrik buah jeruk garut ditampilkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.

Nilai kapasitansi hasil pemodelan yang berdasarkan model Hayden untuk frekuensi di bawah 10 kHz menunjukkan hasil yang kurang cocok, namun hal ini berbeda untuk frekuensi di atas 10 kHz yaitu menunjukkan kecocokan yang bagus dengan data eksperimen untuk buah jeruk. Sementara kapasitansi yang berdasarkan model Zhang relatif lebih mendekati hasil data eksperimennya. Perbaikan dari model Hayden, yaitu dengan menambahkan rangkaian tambahan seperti model zhang, menunjukkan nilai yang terbaik. Dimana, hasilnya menunjukkan profil yang lebih dekat dengan data eksperimen pada hampir semua frekuensi. Kecocokan paling baik adalah pada frekuensi rendah. Kondisi ini diperlihatkan pada Gambar 5.

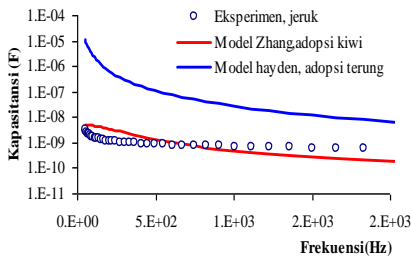
Dengan meninjau hasil pada Gambar 6, maka nilai konduktansi hasil pemodelan yang berdasarkan model Hayden untuk frekuensi di bawah 50 kHz menunjukkan hasil yang bagus, namun hal ini berbeda untuk frekuensi di atas 50 kHz yaitu menunjukkan ketidakcocokan dengan

data eksperimen untuk buah jeruk. Sementara hasil model Zhang memiliki profil yang relatif lebih mendekati hasil data eksperimennya. Dari kedua model yang dipakai secara keseluruhan menunjukkan kecocokan konduktansi paling baik adalah pada frekuensi yang lebih rendah dari 50 kHz.

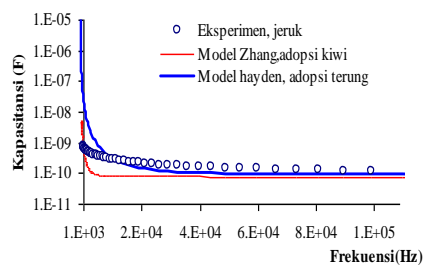
Dengan meninjau hasil pada kedua gambar tersebut, maka nilai Impedansi listrik pada frekuensi sangat rendah hasil pemodelan yang berdasarkan model Hayden dan Zhang memiliki kecocokan yang tinggi dengan hasil eksperimen untuk buah jeruk. Namun pada frekuensi sekitar 1kHz menunjukkan adanya penyimpangan dari data hasil eksperimen. Keseluruhan parameter listrik hasil pemodelan dan pengukuran di lapangan dikorelasikan linearitasnya. Dari parameter R^2 maka model Zhang ini memberikan koefisien yang paling tinggi, baik untuk kapasitansi maupun konduktansinya yaitu 0.8424 dan 0.981. Sementara model Hayden memiliki koefisien deterministik tertinggi hanya bernilai 0,7813.

Tabel 1 Nilai komponen yang dipakai untuk pemodelan rangkaian listrik

Bagian buah jeruk	Komponen listrik	Nilai terbaik
Resistansi biji	$R_1, R_{1,H}, R_{1,Z}$	4.00E+03 ohm
Resistansi segmen	$R_2, R_{2,H}, R_{2,Z}$	1.10E+05 ohm
Resistansi dinding segmen	$R_3, R_{3,Z}$	2.53E+07 ohm
Kapasitansi segmen	$C_1, C_{1,H}, C_{1,Z}$	8.00E-11 F
Kapasitansi albedo	$C_2, C_{2,Z}$	5.00E-09 F

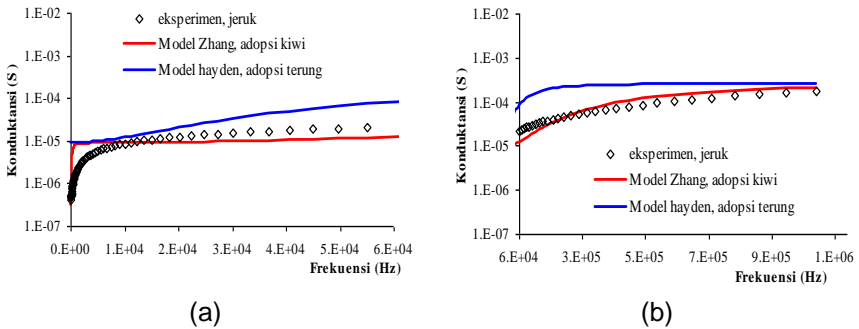


(a)



(b)

Gambar 5 Nilai Kapasitansi listrik dari buah Jeruk pada berbagai frekuensi hasil pengujian eksperimen dan pemodelan rangkaian listrik. 50 Hz-2 kHz (a) dan 2 kHz-1 MHz (b).



Gambar 6. Nilai Konduktansi listrik dari buah Jeruk pada berbagai frekuensi hasil pengujian eksperimen dan pemodelan rangkaian listrik, 50 Hz-60 kHz (a) dan 60 kHz-1 MHz (b).

SIMPULAN

Data hasil spektroskopi impedansi listrik yang dimodelkan dengan rangkaian resistor dan kapasitor memiliki bentuk profil yang mirip dengan hasil eksperimen pengukuran langsung pada buah jeruk Garut. Konduktansi listrik jeruk meningkat secara eksponensial sementara impedansi dan kapasitansinya menurun secara eksponensial ketika frekuensi sinyal listrik dinaikkan. Nilai konduktansi listrik terbesar hasil eksperimen untuk jeruk Garut pada kisaran 10^{-4} S, nilai kapasitansi listrik berkisar 10^{-9} F, sedangkan impedansi listrik 10^6 Ohm. Pada frekuensi yang sangat rendah perubahan penurunan profil spektrum konduktansi, kapasitansi, dan impedansii sangat besar, tetapi pada frekuensi yang lebih besar hingga mendekati MHz fungsinya hampir landai. Hasil pemodelan yang diadopsi dari Hayden dan Zhangru menunjukkan profil yang mirip dan hampir sama dengan data ekspeimen sifat listik untuk buah jeruk Garut. Secara keseluruhan model Zhang yang menunjukkan pofil spektrum listik yang terbaik. Nilai pendugaan terbaik yang diperoleh untuk komponen-komponen listriknya adalah spesifik, yaitu R_1 : $4.00E+03$ ohm; R_2 : $1.10E+05$ ohm; R_3 : $2.53E+07$ ohm; R_4 : $7.00E+05$ ohm, C_1 : $8.00E-11$ F; C_2 : $5.00E-09$ F dan C_3 : $9.00E-10$ F. Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa pendekatan model rangkaian listrik memiliki peluang untuk meninjau kondisi dari internal buah jeruk secara tidak merusak.

DAFTAR PUSTAKA

1. Walter LE, Russell EV, Israeloff NE, Gomariz HA. Atomic force measurement of low-frequency dielectric noise. *Appl. Phys. Lett.* 1998; 72(24): 3223-3225.
2. Kumar P, Coronel P, Simunovic J, Truong VD, Sandeep KP. Measurement of Dielectric Properties of Pumpable Food Materials

- under Static and Continuous Flow Conditions. *J. Food Sci.* 2007; 72(4): 177-183.
3. Hermawan B. Monitoring kadar air tanah melalui pengukuran sifat dielektrik pada lahan jagung. *J. ilmu-ilmu pert Indo.* 2005; 7(1):15-22.
 4. Nelson SO. Dielectric properties of agricultural products and some applications. *Res. Agr. Eng.* 2008; 54(2):104–112.
 5. Frenske K, Mirsa D. Dielectric materials at microwave frequencies. *Appl. Microwave and Wireless* 2000; 12(10): 92-100.
 6. Skierucha W, Walczak R, Wilczek A. Comparison of Open-Ended Coax and TDR sensors for the measurement of soil dielectric permittivity in microwave frequencies. *Int. Agrophys.* 2004; 18: 355-362.
 7. Stacheder M. 2005. TDR and low-frequency measurements for continuous monitoring of moisture and density in a snow pack, *Int Agrophys.* 2005; 19: 75-78
 8. Pietruszewski S, Muszyński S, Dziwulska A. Electromagnetic fields and electromagnetic radiation as non-invasive external stimulants for seeds (selected methods and responses). *Int. Agrophys.* 2007; 21: 95-100.
 9. Kato K. Electrical density sorting and estimation of soluble solids content of watermelon. *J agric. Eng. Res.*1997; 67:161-170.
 10. Muramatsu N, Hiraoka K, Takishita F. Electrical Impedance analysis for detecting water stress on Satsuma mandarin trees (in japan). *J.Jpn. Soc.Plant Nutri.* 2006; 77: 77-81.
 11. Muramatsu N, Hiraoka K. Water status detection of satsuma mandarin (citrus unshiu Marc) trees using an electrical impedance method. *Environ. Control Biol.* 2007; 45(1): 1-7.
 12. Bauchot AD, Harker FR, Arnold WM. The use of electrical impedance spectroscopy to assess the physiological condition of kiwifruit. *Postharvest Biol. & Tech.* 2000; 18: 9–18.
 13. Varlan AR, Sansen W. Nondestructive electrical impedance analysis in fruit: normal ripening and injuries characterization. *Electro-Magnetobiology* 1996; 15: 213–227.
 14. Harker FR, Dunlop J. Electrical impedance studies of nectarines during cool storage and fruit ripening. *Postharvest Biol. & Tech.* 1994; 4 (1–2): 125–134.
 15. Soltani MR, Alimardani MO. Prediction of banana quality during ripening stage using capacitance sensing system. *AJCS* 2010; 4(6): 443-447
 16. Wu L, Ogawa Y, Akio Tagawa A. Electrical impedance spectroscopy analysis of eggplant pulp and effects of drying and freezing–thawing treatments on its impedance characteristics. *J.Food Eng.* 2008; 87: 274–280.
 17. Zhang MIN, Stout DG, Willison JHM. Electrical impedance analysis in plant tissues: symplasmic resistance and membrane capacitance in the Hayden model. *J. Exper.* 199;: 41 (224): 371–380.

18. Hayden RI, Moyse CA, Calder FW, Crawford DP, Fensom DS. Electrical impedance studies on potato and alfalfa tissue. *J. Exper. Botany* 1969; 20 (63): 177–200.