

Ulasan/Review

SIFAT-SIFAT KELISTRIKAN BAHAN HASIL PERTANIAN DAN FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI UNTUK PENGUJIAN SECARA "NON DESTRUCTIVE"

Dielectrical Properties of Agricultural Produce and Factors which Affect the Non-destructive Analysis Method

Eko Susanto (*) dan Dwi Sutrisniati (**)

(*) Balai Pengembangan Khemurgi dan Aneka Industri,
Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Hasil Pertanian (BBIHP)
Jl. Ir. H. Juanda No. 11, Bogor 16122

(**) Balai Pengembangan Makanan, Minuman dan Fitokimia,
Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Hasil Pertanian (BBIHP)
Jl. Ir. H. Juanda No. 11, Bogor 16122

ABSTRACT - Non-destructive analysis method had been developed in order to reduce the amount of samples used and to increase the efficiency. Several material properties of agricultural produce are known to have relations with their dielectrical properties. These relationship have been studied and instruments for the purpose of analysis have been developed. The dielectrical properties of agricultural produce are affected by several factors such as frequency, temperature, density, and their composition.

PENDAHULUAN

Dalam usaha mendapatkan cara yang lebih tepat dan cepat untuk menilai kualitas hasil pertanian, sifat-sifat fisik dan kimia dari produk tersebut terus dipelajari. Di masa silam hampir semua parameter mutu ditentukan dengan cara pengujian kimia dan fisika yang merusak jaringan bahan, tetapi akhir-akhir ini telah dikembangkan metode baru untuk pengujian yang lebih cepat tanpa merusak bahan yang dianalisis.

Sifat kelistrikan dari hasil pertanian penting diketahui karena hal ini dapat digunakan untuk menentukan cara penanganan dan pemrosesan bahan tersebut. Sifat kelistrikan yang penting dalam proses pengolahan antara lain konduktan, kapasitan dan sifat kelistrikan seperti *dielectrict constant* (E'), *dielectric loss tangent* (E'') dan *loss tangent* ($\tan Z$).

Aplikasi sifat kelistrikan dari hasil pertanian ini telah diterapkan pada pengukuran kadar air tanpa merusak bahan. Alat yang telah diproduksi adalah alat pengukur kadar air biji-bijian secara langsung. Instrumen yang diproduksi untuk pengukuran kadar air biji-bijian didasarkan pada nilai kapasitan ataupun tahanan listrik

dari biji-bijian yang akan diukur tersebut bila bahan tersebut diletakkan pada medan listrik.

Dengan menggunakan peralatan yang menggunakan rangkaian jembatan Wheatstone, dimana pada sistem terdapat empat tahanan listrik dengan 3 tahanan listrik diketahui, maka tahanan listrik yang satu dapat dihitung. Dalam hal ini tahanan listrik dalam biji-bijian diukur sebagai tahanan listrik yang belum diketahui. Pengukuran dapat juga dilakukan dalam medan listrik, yakni bahan diletakkan diantara 2 (dua) lempengan kapasitor kemudian dihubungkan dengan rangkaian jembatan Wheatstone sehingga diperoleh besaran kapasitan dan parameter sifat kelistrikan lainnya.

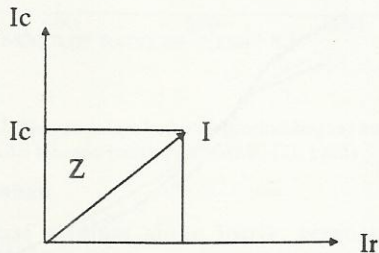
Jaringan tanaman terdiri dari dinding cairan sel dan cairan interseluler. THOMPSON dan ZACKARIAH (1971) membahas kembali penggunaan teori kelistrikan pada struktur sel tanaman. Ada beberapa jenis polarisasi yakni rotasi, listrik dan atom yang sangat membantu dalam DIELECTRIC CONSTANT pada frekuensi rendah. Muatan ruang polarisasi dianggap sebagai komponen yang berpengaruh didalam sel hidup. Jaringan tanaman mengandung bahan seperti cairan sel dan cairan inter-

seluler yang dapat berfungsi sebagai konduktor dalam medan magnet dan setiap jenis komposisi jaringan mempunyai nilai yang berbeda. Adanya cairan dalam bahan (produk) akan menurunkan tahanan listrik dan sejumlah ion menyebabkan perubahan polarisasi *dielectric constant* dalam cairan sel sama dengan yang di dalam air. Ini telah dilaporkan oleh BREEN dan MOHAGHAN (1926), bahwa nilai *dielectric constant* untuk air adalah 80 sedangkan protein antara 4 - 6 dan lemak 2 - 5. Dengan adanya perbedaan nilai dielectric constant maupun parameter kelistrikan lainnya maka sifat ini dapat digunakan untuk mengukur kadar atau konsentrasi suatu unsur dengan menggunakan sifat kelistrikannya. Dasar kelistrikan inilah yang kemudian digunakan untuk mengukur parameter mutu dengan cara non destruktif.

Sifat Kelistrikan

Kemampuan setiap bahan seperti air, gula, protein dan lemak yang dapat merubah dan meningkatkan medan listrik disebut sebagai sifat kelistrikan dari bahan. Bahan-bahan ini mempunyai molekul yang mengandung 2 kutub yang dapat diorientasikan dengan alat medan magnet luar. Parameter yang penting yang berhubungan dengan pengukuran sifat kelistrikan dari hasil pertanian adalah *dielectric constant* (E'), *dielectric loss factor* (E'') dan *dielectric loss tangent* ($Tan Z$). Parameter ini ada hubungannya satu sama lain yakni $Tan Z = E''/E'$ dan telah dibahas oleh NELSON (1973).

Menurut ZACKARIAH (1976), di dalam medium yang ideal, pembentukan kelistrikan dari sebuah kapasitor, tidak mengakibatkan adanya energi dan arus listrik yang hilang serta voltase membentuk sudut 90° . Adanya energi yang hilang akan menyebabkan pengurangan sudut *phase loss tangent* yang dapat dihitung sebagai berikut :



$$\begin{aligned} \tan Z &= I_r / I_c \\ &= (V/R) / (VWC) \\ \tan Z &= C / Wc \\ C &= 2If \end{aligned}$$

dimana G= konduktan
C = kapasitan

Pengukuran *dielectric loss tangent* telah dijabarkan oleh MOHSENIN (1970) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} C_d &= f_o E A / D \quad C_1 - C_2 = (f_o E A / D) \\ E' &= (C_1 - C_2) D / A f_o \end{aligned}$$

dimana : C1 = kapasitan dalam keadaan tanpa bahan
C2 = kapasitan dalam keadaan ada bahan
A = total luas permukaan plat konduktor (cm^2)
d = jarak antara plat konduktor (cm)
fo = permitivity ruang bebas
E = *dielectric constant*

Menurut NELSON (1973), hubungan antara *dielectric constant* dan *loss tangent* adalah :

$$\tan Z = E' / E''$$

$$E'' = E' / \tan Z$$

NELSON (1976) melaporkan bahwa sifat dari bahan-bahan pertanian dapat dibagi menjadi 2 kategori yakni aktif dan pasif. Kategori aktif adalah sifat-sifat yang dimiliki bahan yang mengeluarkan energi. Sedangkan kategori pasif adalah bahan yang dapat menyerap energi termasuk yang mempengaruhi penyebaran medan elektromagnetik dan arus di daerah yang terisi bahan pertanian tersebut. Sifat-sifat kelistrikan dari bahan-bahan hasil pertanian pada umumnya termasuk kategori pasif.

Dielectric loss tangent dapat diperoleh dengan menghitung perbandingan konduktan dan kapasitas pada bahan. Nilai impedan dapat diukur dengan menggunakan berbagai model rangkaian listrik seperti Jembatan Wheatstone/Universal Wheatstone. Bila produk hasil pertanian diletakkan di dalam medan listrik akan menyerap energi tergantung pada sifat-sifat kelistrikannya. Sifat kelistrikan dari hasil pertanian telah digunakan untuk pengukuran kadar air biji-bijian, dan alat yang digunakan berdasarkan pada tahanan dan konduktan dari biji-bijian yang diukur. Disamping itu juga telah dikembangkan oleh JASON dan RICHARDS (1975) suatu alat non-destruktif untuk mengukur tingkat kesegaran ikan. Alat ini bekerja berdasarkan pada *loss tangent* yang ada hubungannya dengan kualitas jaringan bahan. Sedangkan peralatan untuk pengukuran kualitas buah-buahan sampai saat ini belum ditemukan meskipun penelitian sudah dilakukan.

Sifat kelistrikan selain untuk pengukuran kadar air biji-bijian telah digunakan untuk pengukuran panjang serat kapas, penyebaran dan kelembutan dari serat wol (NELSON, 1973). Disamping itu NELSON (1973) juga telah mengukur sifat kelistrikan dari beberapa buah-

buah yang diukur pada frekuensi 2450 MHz pada suhu 25°C seperti pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Sifat kelistrikan beberapa jaringan bahan

| Jenis buah-buahan | Dielectric constant | Dielectric loss factor | Kadar Air (%) | Kerapatan bahan gr/cm | Padatan Terlarut (%) |
|-------------------|---------------------|------------------------|---------------|-----------------------|----------------------|
| Apel | 43 | 9 | 86 | 0,84 | 12 |
| Cantaloupe | 49 | 18 | 90 | 0,93 | 9,2 |
| Peach | 51 - 62 | 13 - 19 | 89 - 91 | 0,94-0,97 | 10,6-13,6 |
| Wortel | 57 | 18 | 86 | 1,04 | 9,5 |
| Kentang | 54 | 13 | 20 | 1,06 | 5,6 |
| Ubijalar | 41 - 58 | 13 - 18 | 74 - 84 | 0,97-0,99 | 10,3-11,4 |

Sumber : NELSON (1973).

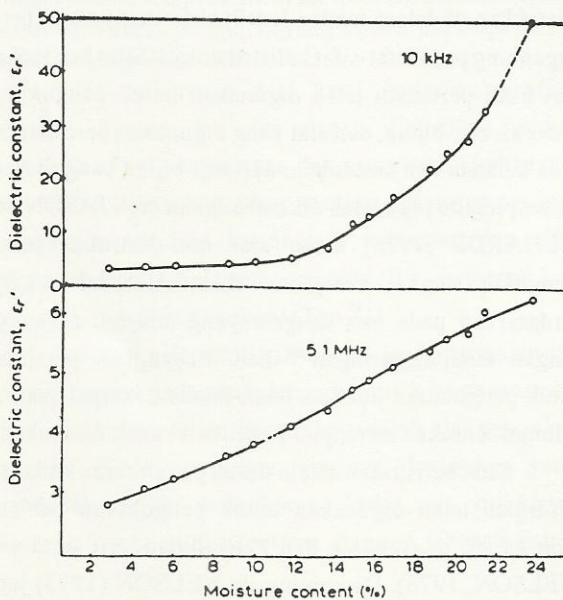
Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat-sifat kelistrikan dari jaringan bahan

Sifat kelistrikan dari hasil pertanian dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti frekuensi, suhu, kadar air, kerapatan bahan (*density*) dan bahan kimia.

Frekuensi

Ketergantungan sifat-sifat kelistrikan dari beberapa biji-bijian telah dilaporkan oleh NELSON dan STETSON (1976). Mereka menyatakan bahwa *loss tangent* akan turun dengan naiknya frekuensi tergantung dari jenis bahan ataupun kadar air. Perubahan sifat-sifat kelistrikan dengan kadar air biasanya lebih besar pada frekuensi rendah. Dilaporkan juga bahwa *dielectric constant* meningkat dengan naiknya kadar air biji-bijian.

Hubungan kadar air dengan *dielectric constant* pada frekuensi 5 MHz menunjukkan kurva yang mendekati linier, sedangkan pada frekuensi 10 KHz menunjukkan hubungan yang tidak linier (Gambar 1).



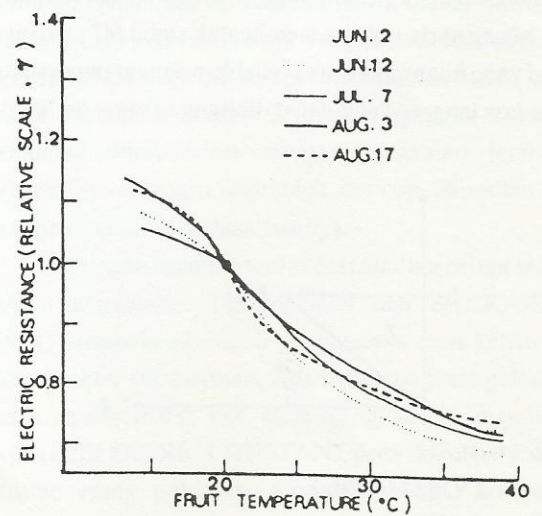
Gambar 1. Pengaruh kadar air gandum terhadap *dielectric constant* (E') pada suhu 24C (NELSON dan STETSON, 1976)

Menurut COLE (1933) keadaan jaringan biologi dapat dibedakan dengan cara pengujian menggunakan frekuensi yang berbeda. Dari hasil penelitiannya dilaporkan bahwa jaringan biologi yang sehat mempunyai impedan yang tinggi pada frekuensi yang rendah dan impedan rendah pada frekuensi tinggi. Pada frekuensi yang tinggi (1 MHz), jaringan yang sehat mempunyai impedan yang mendekati nol. Jaringan mati mempunyai kapasitas nol sehingga impedan juga nol.

MCLENDON dan BROWN (1971) melaporkan bahwa *loss tangent* dari buah peach yang muda berbeda dengan *loss tangent* dari buah yang tua, masing-masing bernilai 0,55 dan 0,1 yang diukur dengan frekuensi 0,5 KHz pada suhu 20C. Perhitungan nilai *loss tangent* dihitung berdasarkan nilai konduktan (G) dan kapasitan (C). Dengan demikian naiknya frekuensi akan menurunkan kisaran nilai *loss tangent* dan *dielectric constant*.

Suhu

Hubungan antara suhu bahan dan tahanan listrik telah diteliti oleh YAMAMOTO (1983). Dilaporkan bahwa dengan naiknya suhu akan menurunkan tahanan listrik (Gambar 2). Dengan demikian pengukuran kualitas hasil pertanian yang menggunakan sifat kelistrikan harus diukur pada kondisi suhu yang sama. Suhu juga berpengaruh terhadap *dielectric constant* dan hal ini dibuktikan oleh DUNLAP dan MAKOWER (1945)

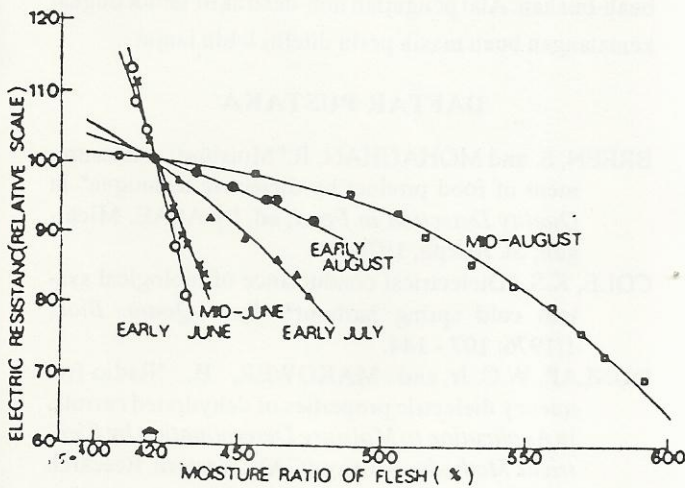


Gambar 2. Hubungan antara suhu daging buah semangka dengan tahanan listrik (YAMAMOTO, 1983)

Kadar air

Kandungan yang utama pada buah-buahan adalah air. Air tersebut mempunyai nilai konduktan dan kapasitan. Makin tinggi kadar air dalam jaringan akan memberikan nilai konduktan dan kapasitan yang tinggi. DUNLAP dan MAKOWER (1945) dalam penelitian pengukuran kadar air wortel mengatakan bahwa *dielectric constant* meningkat pada kisaran air 6% - 8% sedang pada kadar air yang lebih tinggi nilai *dielectric constant* meningkat dengan cepat.

YAMAMOTO (1983) melaporkan bahwa kadar air mempunyai hubungan dengan tahanan listrik. Tetapi karena kadar air contoh sangat kecil dan karena berbeda nyata maka diubah dalam bentuk perbandingannya. Kadar air buah pear bervariasi antara 83,5% sampai 85,7% yang kemudian dibuat menjadi perbandingan antara 400-600% kadar air. Peralatan yang digunakan adalah jembatan Wheatstone yang dilengkapi dengan jarum sensor dengan diameter 0,4 mm. Hasil penelitiannya ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan antara kadar air (perbandingan) buah pear dan nilai tahanan listrik (YAMAMOTO, 1983)

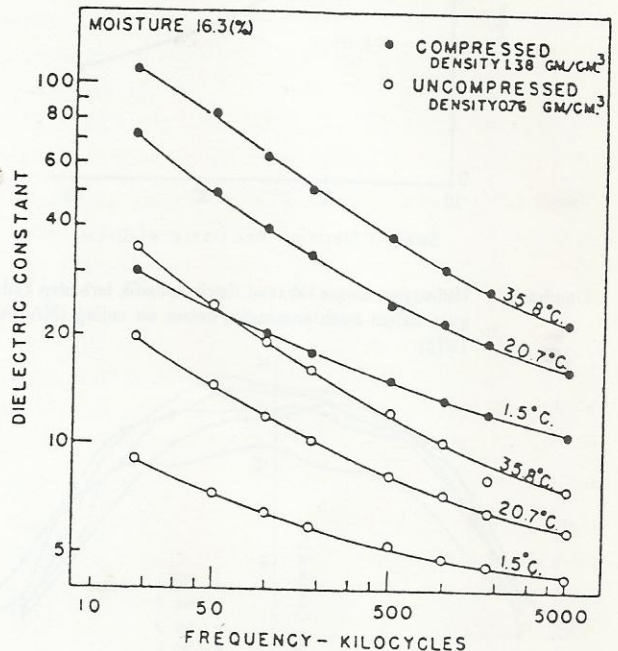
Kerapatan bahan

Sebagai medium aliran listrik, kerapatan bahan hasil pertanian akan mempengaruhi aliran elektron. Dalam aliran elektron bahan yang kerapatannya tinggi akan menyebabkan energi lebih banyak dari pada bahan dengan kerapatan rendah. Hal ini mengikuti rumus:

$R = \rho L/A$, dimana R : tahanan listrik
 ρ : kerapatan
 L : panjang dan
 A : luas permukaan

Dengan rumus diatas maka bila kerapatan naik berarti tahanan juga naik dan hal ini mempengaruhi energi yang hilang.

Pengaruh kerapatan pada sifat kelistrikan dari wortel telah dipelajari oleh DUNLAP dan MAKOWER (1945). Mereka menyimpulkan bahwa perubahan kerapatan bahan mempengaruhi sifat kelistrikan pada berbagai frekuensi yang bagaimanapun (Gambar 4). Dilaporkan juga bahwa perubahan suhu dari 20°C - 40°C mempunyai pengaruh yang besar pada bahan dengan kerapatan tinggi dibanding yang kerapatannya rendah.



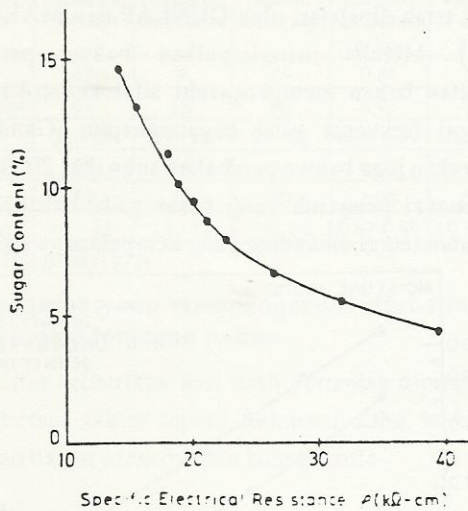
Gambar 4. Pengaruh pemadatan wortel kering terhadap nilai dielectric constant (E') pada berbagai frekuensi (DUNLAP dan MAKOWER, 1945)

Komposisi kimia

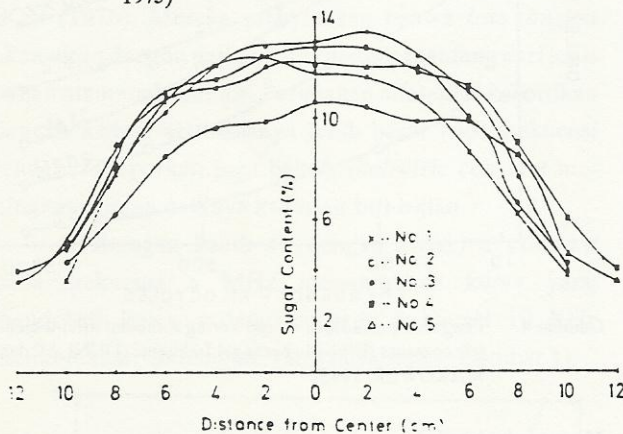
Sebuah metode untuk mengevaluasi tingkat kematangan buah telah dipelajari hubungannya dengan tahanan listriknya. Metode ini diukur dengan cara semi destruktif yakni dengan memasukkan pisau kedalam bahan. Dari hasil penelitian NAGAI (1975) disimpulkan bahwa tahanan listrik buah semangka menurun dengan naiknya kadar gula seperti terlihat pada Gambar 5. Dengan uji destruktif untuk analisis kadar gula dalam buah semangka didapatkan kurva cekung dengan nilai tertinggi pada bagian pusat semangka seperti terlihat pada Gambar 6.

Hasil pertanian banyak mengandung unsur-unsur kimia yang dapat mempengaruhi aliran listrik bila diletakkan pada medan listrik. Pada umumnya hasil pertanian mengandung kadar air yang cukup tinggi (70 - 79%). Disamping itu juga mengandung unsur kimia seperti pati,

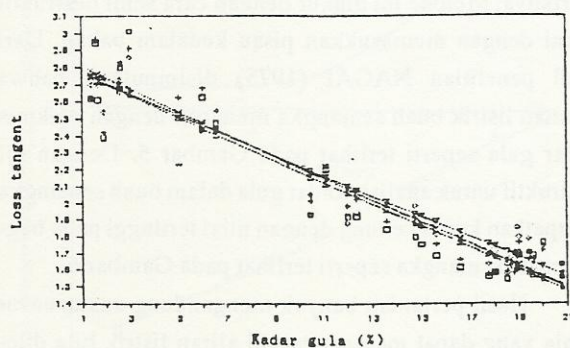
pektin, gula dan lain-lainnya. Menurut SUSANTO (1990) dikatakan bahwa kadar gula mempunyai hubungan linier terhadap nilai *loss tangent*, makin tinggi kadar gula semakin rendah nilai *loss tangent* seperti terlihat pada Gambar 7.



Gambar 5. Hubungan antara tahanan listrik spesifik terhadap kadar gula dalam buah semangka dalam air suling (NAGAI, 1975)



Gambar 6. Penyebaran kandungan gula pada buah semangka (NAGAI, 1975)



Gambar 7. Grafik hubungan antara *loss tangent* dengan kadar gula pada buah pisang selama penyimpanan (SUSANTO, 1988)

Mengingat selama periode pematangan buah terjadi perubahan kadar gula maka unsur ini dapat digunakan sebagai parameter untuk menentukan tingkat kematangan buah yang kemudian dikonversi ke bentuk *loss tangent*.

PENUTUP

Hasil tinjauan pustaka menunjukkan bahwa sifat kelistrikan dari berbagai hasil pertanian dapat ditentukan dengan cara non-destruktif. Hal ini berarti peralatan untuk pengujian non-destruktif dapat dikembangkan dengan mempelajari sifat kelistrikan bahan hasil pertanian tersebut ataupun produknya. Dengan mengetahui sifat kelistrikan bahan dapat dilakukan penyederhanaan peralatan untuk pengujian maupun penanganan dalam proses produksi.

Peralatan non-destruktif yang saat ini sudah diterapkan adalah alat pengukur kadar air biji-bijian. Pengukuran kadar air bijibijian ini dilakukan secara langsung dengan menggunakan dasar sifat kelistrikan bahan bila bahan tersebut diletakkan pada medan listrik.

Peralatan pengujian mutu secara non-destruktif untuk buah-buahan belum ada, namun banyak peneliti yang menuju kearah pembuatan alat untuk pengujian buah-buahan. Alat pengujian non-destruktif untuk tingkat kematangan buah masih perlu diteliti lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- BREEN, S. and MOHAGHAN, R. "Moisture measurement of food product by dielectric technique" in *Quality Detection in Food*, ed. by ASAE. Michigan, St. Joseph, 1976.
- COLE, K.S. "Dielectrical conductance of biological system cold spring harbour". *Sym. Quant. Biol.*, 1/1976: 107 - 144.
- DUNLAP, W.C. Jr. and MAKOWER, B. "Radio-frequency dielectric properties of dehydrated carrot". in *Application to Moisture Determination by Electrical Methods*. Albany (CA), Western Research Laboratory, 1945.
- JASON, A.C. and RICHARDS, J.S. "The Development of an electric fish freshness meter". *J. Physics & Scientific Instruments*, 8/1975.
- MCLENDON, B.S. and BROWN, R.H. "Dielectric properties of peach as a maturity index". *ASAE Paper No. 71-332*. Michigan, St. Joseph, 1971.
- NAGAI, M. "Physical properties of fruit and vegetables : measurement of electrical resistance of water melon". *Bul. of the Faculty of Agric. Mie Univ. Japan.*, 49/1975 : 384 - 308.
- NELSON, S.O. "Electrical properties of agricultural products : a critical review". *Trans ASAE*, 16/1973:384 - 400.

NELSON, S.O. dan STETSON, L.E. "Frequency and moisture dependance of hard red winter". *J. Agric. Eng. Res.*, 21/1976 : 181 - 192.

NELSON, S.O. "Microwave dielectric properties of fresh fruits and vegetables". *ASAE Paper No. 79-3546*. ASAE, Michigan, St Joseph, 1976.

SUSANTO, E. "Pengembangan teknik pengujian mutu secara non destructive untuk buah pisang". *Warta IHP*, 5 (2) 1988 : 41 - 45.

THOMPSON, D.R. and ZACHARIAH, L. "Dielectric theory and bioelectric measurements". *Trans ASAE*, 14 (20) 1971 : 211 - 215.

YAMAMOTO, T. "Non destructive in situ measurement of pear fruit moisture during growth". Faculty of Agriculture, Yamagata University, Japan, 1983.

ZACHARIAH, G. "Electrical properties of fruit and vegetables for quality evaluation". *Quality Detection in Food*. ASAE, Michigan, St. Joseph, 1976.

REFERENCES AND NOTES

Manuscript Preparation: The Journal of Agricultural Industry requires papers containing original investigations or technological developments in the field of agricultural industry, food science and technology, biotechnology, chemical, mechanical, electrical, animal and engineering, microbiology, chemical analysis, and other related subjects. Research notes, questions, queries, etc. are not yet ready to appear in the form of a regular paper, and Review Article is prohibited. Authors are also welcome.

The cover of paper should be provided in double-spaced typing on pages of A4 size. Generally the size of Research Paper and Review Article should not exceed 1000 words or 10 pages. Research Note should not exceed 1 page including figure (if and when applicable). It need not have the same paper dimensions of a research paper, but authors should follow the same basic strategy of preparation.

The authors' identification (initials) should be given for all scientific data.

Form of Figures: Figures should be headed with the full designation of the author(s) and the number and subject of the manuscript where the figure is placed.

Generally figures should be prepared in duplicate and retained by the author(s). For Research and Review Article, the author(s) should provide 10 copies of the original and 10 copies of the reproduction of the original.

Tables: Tables as well as graphs, both representing the same set of data, will require the permission. Tables and figures should be prepared separately in A4 size materials and must be self-explanatory. They should be typed on separate pages.

Illustrations: Graphs and diagrams drawings should be drawn in black ink on white paper or white paper. Photographs must be well contrasted.

References: The list of references should be arranged at the end of the paper, and must be arranged alphabetical order of authors' names. For example in page 10, the following references should be included:

Before preparing paper, authors should check current issues of the journal for any changes in the format of the manuscript.

Manuscript Preparation: The Journal of Agricultural Industry requires papers containing original investigations or technological developments in the field of agricultural industry, food science and technology, biotechnology, chemical, mechanical, electrical, animal and engineering, microbiology, chemical analysis, and other related subjects. Research notes, questions, queries, etc. are not yet ready to appear in the form of a regular paper, and Review Article is prohibited. Authors are also welcome.

The cover of paper should be provided in double-spaced typing on pages of A4 size. Generally the size of Research Paper and Review Article should not exceed 1000 words or 10 pages. Research Note should not exceed 1 page including figure (if and when applicable). It need not have the same paper dimensions of a research paper, but authors should follow the same basic strategy of preparation.

The authors' identification (initials) should be given for all scientific data.

Form of Figures: Figures should be headed with the full designation of the author(s) and the number and subject of the manuscript where the figure is placed.

Generally figures should be prepared in duplicate and retained by the author(s). For Research and Review Article, the author(s) should provide 10 copies of the original and 10 copies of the reproduction of the original.