

## Pengaruh Ukuran Sampel, Frekuensi, dan Suhu terhadap Sifat Biolistrik Tebu (*Saccharum officinarum* L.) untuk Prediksi Cepat Rendemen Tebu

### *Effect of Sample Size, Frequency, and Temperature on the Bioelectrical Properties of Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) for Rapid Prediction of Sugarcane Yield*

Sucipto<sup>1,2</sup>, Dimas Firmanda Al Riza<sup>3\*</sup>, M. Lutfi Almer Hasan<sup>1</sup>  
Simping Yuliatun<sup>4</sup>, Supriyanto<sup>5</sup>, Agus Supriatna Somantri<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Department of Agro-industrial Technology, Faculty of Agricultural Technology  
University of Brawijaya, Malang, Indonesia

<sup>2</sup>Halal Qualified Industry Development (Hal-Q ID) University of Brawijaya, Malang, Indonesia

<sup>3</sup>Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agricultural Technology  
University of Brawijaya, Malang, Indonesia

<sup>4</sup>Indonesia Sugar Research Institute, Pasuruan, Indonesia

<sup>5</sup>Department of Biosystem and Mechanical Engineering, Faculty of Agricultural Technology  
Bogor Agricultural Institute, Bogor, Indonesia

<sup>6</sup>Indonesia Center Agricultural Post Harvest Research and Development (ICAPOSTRD), Bogor, Indonesia  
\*dimasfirmanda@yahoo.com

Received: 27<sup>th</sup> June, 2016; 1<sup>st</sup> Revision: 27<sup>th</sup> July, 2016; 2<sup>nd</sup> Revision: 15<sup>th</sup> November, 2016; Accepted: 17<sup>th</sup> November, 2016

#### Abstrak

Rendemen tebu umumnya ditetapkan berdasarkan nilai rendemen sementara (RS) yang tidak akurat dan rumit bagi petani. Pendugaan rendemen tebu dengan metode biolistrik, berpotensi dikembangkan menjadi solusi yang mudah, praktis, dan cepat. Akan tetapi belum terstandarnya teknik persiapan sampel untuk pengukuran sifat biolistrik tebu masih menjadi kendala. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan standar pengukuran sifat biolistrik dan memilih sifat biolistrik yang paling berkontribusi digunakan untuk prediksi rendemen tebu. Pengukuran biolistrik (impedansi, konstanta dielektrik, dan kapasitansi) dilakukan dengan variasi panjang sampel tebu, dan frekuensi pengukuran. Sebagai tambahan, pengaruh temperatur lingkungan juga dipertimbangkan sebagai faktor koreksi. Hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan metode konvensional pengukuran rendemen tebu. Dari hasil eksperimen direkomendasikan standar persiapan sampel tebu yakni dengan ukuran panjang 3 cm dan frekuensi pengukuran 1000 Hz untuk pengukuran sifat biolistrik tebu. Nilai kapasitansi berpengaruh nyata terhadap nilai rendemen direkomendasikan sebagai variabel untuk mengembangkan pengukuran cepat rendemen tebu.

**Kata kunci:** tebu, sifat biolistrik, metode dielektrik, pengukuran cepat, rendemen

#### Abstract

*Sugarcane yield is commonly determined based on the first yield (RS) which is inaccurate and considered as a complex method for the farmer. Prediction of sugarcane yield with bioelectric method have a potential to be developed as an easy, handy, and quick solution. However, unstandardized sample preparation techniques to measure bioelectrical of sugarcane still become a problem. This research aim is to determine measurement standard for bioelectric properties and select the most important properties for sugarcane yield prediction. Bioelectric properties (impedance, dielectric constant, and capacitance) measurement was carried out with variation of sample length and measurement frequency. Additionally, the effect of ambient temperature also considered as a correction factor. The results then was compared with the conventional method. The result recommend a preparation standard of sugarcane sample length is 3 cm with measurement frequency of 1000 Hz to measure the bioelectrical properties of sugarcane. The capacitance value correlated significantly to the yield that is recommended as variable to develop rapid measurement of sugarcane yield.*

**Keywords:** bioelectrical properties, dielectric method, rapid measurement, sugarcane, yield

#### PENDAHULUAN

Saat ini, penetapan rendemen tebu berdasar perhitungan rendemen sementara (RS), bukan berdasar perhitungan hasil akhir gula dibagi

jumlah tebu. Pengukuran tersebut dirasa belum akurat banyak pihak, salah satunya petani. Akibatnya, petani kurang percaya pada pabrik gula. Hal ini disebabkan dua hal. Pertama, petani belum memahami metode pengukuran rendemen

tebu menggunakan rumus dan cara yang rumit, relatif lebih lama, dan melibatkan banyak pihak. Kedua, pengukurannya tidak menghasilkan angka yang langsung dapat dibaca (Lembaga Riset Perkebunan Indonesia, 2004). Terdapat peluang mencari teknik pengukuran rendemen tebu yang lebih mudah, praktis, dan cepat menggunakan sifat biolistrik dengan metode dielektrik.

Biolistrik adalah karakteristik kelistrikan suatu sel atau jaringan makhluk hidup. Sifat biolistrik meliputi induktansi, konduktansi, impedansi, kapasitansi, dan konstanta dielektrik. Sifat biolistrik sangat dipengaruhi frekuensi, suhu, kadar air, densitas, komposisi, dan struktur materi (Castro-Giraldez *et al.*, 2010). Sifat biolistrik telah digunakan untuk membedakan lemak sapi, babi, dan minyak goreng sawit (Sucipto, *et al.*, 2013), konduktansi untuk mendeteksi lemak babi (Sucipto, *et al.*, 2011). Metode dielektrik merupakan pengukuran sifat biolistrik menggunakan dua plat kapasitor. Bahan diletakkan di antara dua plat kapasitor dan dianggap bahan dielektrik.

Pengembangan teknik pengukuran rendemen tebu berbasis sifat biolistrik masih terdapat masalah yaitu belum terstandarnya persiapan sampel berupa ukuran panjang tebu dan pilihan frekuensi pengukuran sifat biolistrik tebu. Standar pengukuran sangat penting untuk mendapat nilai pengukuran yang valid.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan alternatif standar persiapan sampel pengukuran rendemen tebu meliputi panjang tebu dan frekuensi pengukuran sifat biolistrik. Selain itu, perlu diketahui pengaruh suhu terhadap sifat biolistrik dan sifat biolistrik yang paling berpengaruh terhadap rendemen. Hal ini diharapkan dapat menunjang pengembangan alat ukur cepat rendemen tebu.

## METODE PENELITIAN

### Bahan Penelitian

Bahan *parallel plate* yaitu papan PCB (*Printed Circuit Board*) tembaga polos, kabel, timah, FeCl<sub>3</sub> (*Ferri Chloride*), dan stiker polos. Bahan penelitian pendahuluan adalah tebu varietas BL (Bululawang) dari perkebunan rakyat di Kabupaten Malang berumur 8 bulan. Bahan penelitian utama adalah tebu varietas PSJK 922 berumur 10 bulan. (PS= Pasuruan atau P3GI Pasuruan) dan (JK = Jengkol atau Puslit Gula Jengkol PTPN X, 92 = tahun persilangan 1992, dan 2 = nomor seri). Sampel tebu dari

Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI).

### Alat Penelitian

Alat untuk membuat *parallel plate* adalah amplas, penggaris, bor PCB, solder, *cutter*, spidol *permanent*, jangka, wadah dan pengaduk. Sampel dibawa dengan *sample box*. Pengatur dan pengukur suhu adalah *thermoelectric cooler* (WAECO) dan termometer digital. Tebu dipotong dengan pisau pemotong dan diukur dimensinya dengan penggaris dan jangka sorong. Alat penimbang tebu adalah timbangan digital seri GE 2102 Sartorius. Pengukur sifat biolistrik adalah LCR Meter seri 816 GW Instek.

### Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan bulan April-Agustus 2014. Penelitian di Laboratorium Instrumentasi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya dan Laboratorium Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI).

### Prosedur penelitian

Penelitian tahap I dimulai dengan pembuatan *parallel plate*, persiapan LCR meter, dan ditentukan variabel perlakuan yang dikombinasikan. Setelah itu, disiapkan sampel tebu dan diuji sifat biolistrik dengan berbagai perlakuan. Nilai sifat biolistrik tebu dianalisis untuk menghasilkan panjang tebu dan frekuensi yang menghasilkan sifat biolistrik paling konsisten. Hasilnya digunakan acuan penelitian utama. Sampel tebu dan plat kapasitor pada Gambar 1 dan Gambar 2.

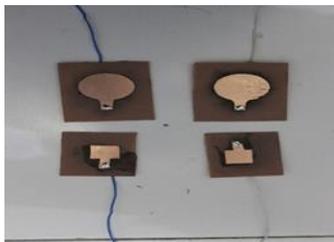
Penelitian tahap I menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) tersusun atas 2 faktor. Faktor 1 panjang tebu terdiri 7 level (1, 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 5 cm) dan faktor 2 frekuensi terdiri 5 level (100, 500, 1000, 1500, 2000 Hz) sehingga diperoleh 35 kombinasi. Data penelitian pendahuluan dianalisis secara deskriptif agar mudah dipahami pembaca.

Penelitian tahap II dimulai dengan persiapan sampel tebu dan penentuan kombinasi perlakuan. Setelah itu, diuji sifat listrik menggunakan LCR Meter sehingga menghasilkan data sifat biolistrik. Data diuji pengaruh variansi frekuensi, suhu, dan interaksi frekuensi dan suhu terhadap sifat biolistrik. Setelah itu, frekuensi terbaik dipilih. Pada frekuensi terbaik diuji hubungan variasi suhu terhadap sifat biolistrik. Kemudian, karakteristik biolistrik tebu dikorelasikan terhadap rendemen sehingga diketahui

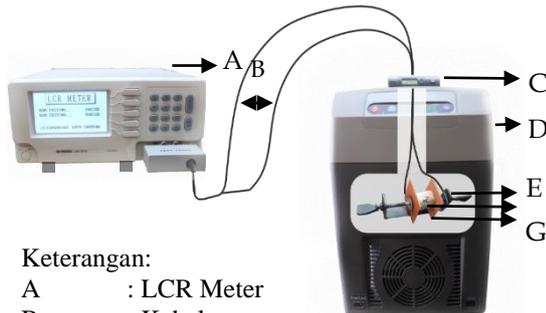
hubungan sifat biolistrik yang berkorelasi nyata terhadap rendemen. Skema rangkaian pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 1.** Sampel tebu pada *sample holder*



**Gambar 2.** Plat kapasitor



Keterangan:

- A : LCR Meter
- B : Kabel
- C : Termometer Digital
- D : *Thermoelectric Cooler*
- E : Penjepit
- F : Tebu
- G : Plat Kapasitor

**Gambar 3.** Skema rangkaian sistem pengukuran penelitian utama

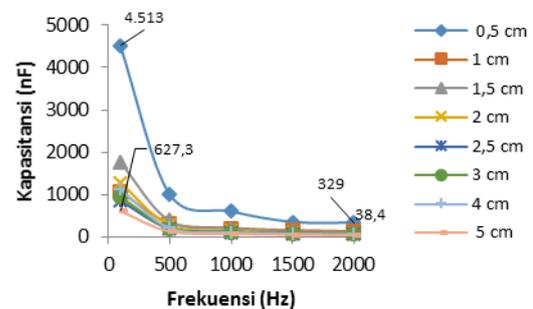
Penelitian tahap II menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) tersusun atas 2 faktor. Faktor 1 frekuensi terdiri dari 7 level (100, 200, 300, 400, 500, 750, 1000 Hz) dan faktor 2 suhu terdiri dari 4 level (20, 25, 30, 35 °C) sehingga diperoleh 28 perlakuan dengan 3 ulangan. Rentang suhu pengukuran dipilih sesuai suhu ideal tanaman tebu 24-34 °C (Indrawanto, 2010).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Penelitian Pendahuluan

#### Pengaruh Frekuensi dan Ukuran Tebu terhadap Kapasitansi

Nilai kapasitansi tebu pada frekuensi 100-2000 Hz menurun seiring naiknya frekuensi pengukuran (Gambar 4). Penurunan nilai kapasitansi tebu ini akibat penyearahan momen dipol pada molekul-molekul penyusun tebu. Nilai kapasitansi tebu pada ukuran 0,5 cm berkisar 4.513-329,2 nF dan ukuran 5 cm berkisar 627,3-38,4 nF. Penurunan drastis pada frekuensi 100-1000 Hz dan mulai berkurang pada rentang frekuensi >1000 Hz. Pada frekuensi tersebut penyearahan momen dipol sudah tidak terjadi karena transmisi energi lebih banyak pada frekuensi tinggi (Robby, 2013).



**Gambar 4.** Hubungan frekuensi terhadap kapasitansi pada berbagai ukuran panjang tebu

Kemampuan polarisasi bahan dielektrik berubah sesuai frekuensi mengakibatkan variasi nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik. Pada frekuensi rendah, nilai kapasitansi tinggi karena penyearahan dipol bahan dielektrik tidak terpengaruh seperti pada frekuensi tinggi. Pada frekuensi tinggi, nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik rendah karena dipol-dipol tidak dapat mempertahankan penyerahannya pada arus bolak-balik (Rajib *et al.*, 2014).

Gambar 4 menunjukkan frekuensi berpengaruh pada kapasitansi. Semakin besar frekuensi semakin kecil kapasitansi. Peningkatan frekuensi, semakin banyak gelombang ditransmisikan tiap detik, sebelum kapasitor terisi penuh arah arus listrik sudah berbalik sehingga terjadi pengosongan muatan dalam kapasitor dengan cepat. Hal ini mengakibatkan muatan kapasitor semakin berkurang dan kemampuan kapasitor menyimpan muatan semakin kecil (Robby, 2013).

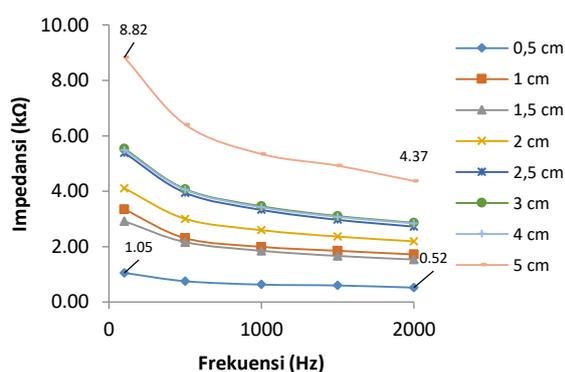
Gambar 4 menunjukkan semakin panjang ukuran tebu semakin kecil kapasitansi. Hal ini

sesuai Tipler (2001), bahwa ketika jarak antar plat semakin besar atau ukuran tebu semakin panjang maka nilai kapasitansi menurun. Bila luas area bahan dielektrik semakin besar maka kapasitansinya meningkat. Ketika permitivitas bahan dielektrik besar maka kapasitansi akan meningkat (Giancoli, 2001).

#### Pengaruh Frekuensi dan Ukuran Tebu terhadap Impedansi

Nilai impedansi tebu menurun seiring bertambahnya frekuensi (Gambar 5). Nilai impedansi tebu ukuran 5 cm berkisar 8,82-4,37 k $\Omega$  dan ukuran 0,5 cm berkisar 1,05-0,52 k $\Omega$ . Impedansi menurun setiap peningkatan frekuensi. Hal ini sesuai Martinsen (2008) bahwa pada frekuensi lebih tinggi suatu jaringan biologis lebih menjadi konduktor, yaitu muatan-muatan pada jaringan akan lebih bebas bergerak dan lebih bersifat konduktif sehingga impedansi semakin kecil.

Impedansi adalah total hambatan arus listrik termasuk resistansi, kapasitansi, dan induktansi dalam rangkaian arus bolak-balik (AC) (Department of Energy, 1992). Kebalikan impedansi adalah admitansi (Zuhail dan Zhanggishan, 2004). Peningkatan frekuensi akan meningkatkan pergerakan muatan dan ion-ion dalam tebu. Selanjutnya, bahan bisa mengikuti perubahan tersebut dengan mobilitas meningkat sehingga impedansi menurun dengan kata lain admitansi meningkat (Robby, 2013).

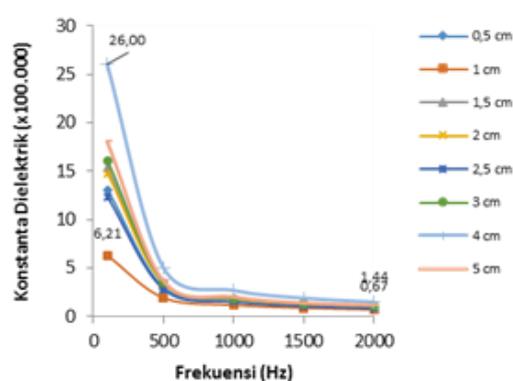


**Gambar 5.** Hubungan frekuensi terhadap impedansi dengan berbagai ukuran tebu

#### Pengaruh Frekuensi dan Ukuran Tebu terhadap Konstanta Dielektrik

Nilai konstanta dielektrik semakin menurun seiring bertambahnya frekuensi (Gambar 6). Hal ini merupakan salah satu keterkaitan sifat dielektrik dengan kapasitansi tebu. Penurunan

nilai konstanta dielektrik pada tebu sesuai penurunan nilai kapasitansinya. Konstanta dielektrik tebu ukuran 4 cm berkisar 2.600.000,00 - 144.000,00 dan ukuran 1 cm berkisar 621.000,00-67.000,00. Nilai tersebut jauh lebih besar dari konstanta dielektrik udara (pada 1 atm), yaitu 1,00059 (Tipler, 2001). Konstanta dielektrik merupakan kemampuan bahan terpolarisasi dan menyimpan energi (Kondo *et al.*, 2014). Penurunan konstanta dielektrik tebu seiring peningkatan frekuensi karena frekuensi tinggi menyebabkan gerak molekul bersifat acak sehingga cenderung menghambat penyearahan atau polarisasi (Tipler, 2001).



**Gambar 6.** Hubungan frekuensi terhadap konstanta dielektrik pada berbagai ukuran tebu

Tebu yang diletakkan pada plat kapasitor diperlakukan sebagai bahan dielektrik. Bahan dielektrik dipengaruhi medan listrik sehingga muatan listrik tebu tidak bebas bergerak akibat pengaruh medan listrik (Robby, 2013). Konstanta dielektrik tebu dipengaruhi komponen penyusun tebu yang terdiri dari sukrosa dan air yang bersifat polar. Konstanta dielektrik tebu yang besar menunjukkan bahwa tebu merupakan bahan dielektrik polar (Indriani dan Sumiarsih, 1992).

Tebu yang diletakkan pada plat kapasitor diperlakukan sebagai bahan dielektrik. Bahan dielektrik dipengaruhi medan listrik sehingga muatan listrik tebu tidak bebas bergerak akibat pengaruh medan listrik (Robby, 2013). Konstanta dielektrik tebu dipengaruhi komponen penyusun tebu yang terdiri dari sukrosa dan air yang bersifat polar. Konstanta dielektrik tebu yang besar menunjukkan bahwa tebu merupakan bahan dielektrik polar (Indriani dan Sumiarsih, 1992).

Karakteristik biolistrik tebu dipengaruhi frekuensi yang diberikan. Semakin meningkat

frekuensi maka nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik menurun secara eksponensial dan nilai impedansi turun secara logaritmik. Sifat biolistrik tebu dipengaruhi keseragaman arah momen dipol yang menyebabkan medan listrik internal di dalam tebu sehingga memberikan pengaruh mudahnya keseragaman orientasi molekuler bahan tersebut (Kondo *et al.*, 2014). Hal ini ditunjukkan dengan nilai konstanta dielektrik bahan yang besar. Sifat biolistrik tebu berupa kapasitansi, impedansi, dan konstanta dielektrik, sangat dipengaruhi bahan tebu mengandung banyak air dan sukrosa (Indriani dan Sumiarsih, 1992).

Hasil penelitian pendahuluan didapat ukuran diameter *parallel plate* 2,5 cm sesuai rata-rata diameter tebu. Selain itu, dihasilkan ukuran panjang tebu 3 cm untuk pengukuran sifat biolistrik tebu pada penelitian utama. Ukuran ini dipilih karena tidak ada pengaruh nyata antara panjang tebu terhadap kapasitansi. Gambar 4 menunjukkan hubungan ukuran panjang tebu terhadap nilai kapasitansi.

Pada Gambar 4 dapat ditentukan rentang frekuensi lebih spesifik untuk penelitian utama yaitu 100-1000 Hz. Hal ini karena terjadi penurunan besar antara 100-1000 Hz dan terjadi penurunan konstan di antara 1000 Hz–2000 Hz. Penelitian untuk menentukan frekuensi yang lebih spesifik untuk mengukur sifat biolistrik tebu masih diperlukan.

### Penelitian Utama

#### Pengaruh Variansi Frekuensi, Suhu, dan Interaksi Frekuensi dan Suhu terhadap Sifat Biolistrik

Variasi frekuensi, suhu, dan interaksi frekuensi dan suhu diuji pengaruhnya terhadap sifat biolistrik (kapasitansi, impedansi, dan konstanta dielektrik). Hasilnya nilai probabilitas kapasitansi sama konstanta dielektrik, karena konstanta dielektrik dihitung berdasar nilai kapasitansi dan memiliki hubungan searah. Uji pengaruh tersebut pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 menunjukkan variasi frekuensi berpengaruh nyata terhadap kapasitansi dengan nilai probabilitas 0,000 ( $< \alpha=5\%$ ). Suhu tidak berpengaruh nyata dengan nilai probabilitas sebesar 0,922 ( $> \alpha=5\%$ ). Rentang suhu pengukuran yang terlalu pendek tidak berpengaruh terhadap kapasitansi. Interaksi frekuensi dan suhu berpengaruh nyata terhadap kapasitansi dengan probabilitas sebesar 0,000 ( $< \alpha=5\%$ ).

**Tabel 1.** Uji pengaruh variansi frekuensi, suhu, dan interaksi frekuensi dan suhu terhadap kapasitansi

Kruskal Walis	Frekuensi	Suhu	Interaksi Frekuensi dan Suhu
Chi-Square	65,931	0,487	66,519
Probabilitas	0,000*	0,922	0,000*

(Sumber: data diolah, 2015)

**Tabel 2.** Uji pengaruh variansi frekuensi, suhu, dan interaksi frekuensi dan suhu terhadap impedansi

Kruskal Walis	Frekuensi	Suhu	Interaksi Frekuensi dan Suhu
Chi-Square	21,747	2,483	24,395
Probabilitas	0,001*	0,478	0,608

(Sumber: data diolah, 2015)

Tabel 2 menunjukkan variasi frekuensi berpengaruh nyata terhadap impedansi dengan nilai probabilitas sebesar 0,001 ( $< \alpha=5\%$ ). Suhu tidak berpengaruh nyata dengan nilai probabilitas sebesar 0,478 ( $> \alpha=5\%$ ). Interaksi frekuensi dan suhu tidak berpengaruh nyata dengan nilai probabilitas sebesar 0,608 ( $> \alpha=5\%$ ).

### Penentuan Frekuensi Terbaik

Penentuan frekuensi terbaik berdasar kriteria toleransi atau koefisien varian terkecil (Sucipto dkk, 2013). Hal ini dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 7.

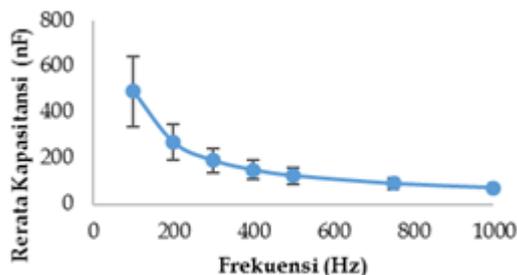
**Tabel 3.** Rerata kapasitansi, standar deviasi, dan koefisien varian pada setiap frekuensi

Frekuensi	Rerata Kapasitansi (nF)	Standar Deviasi (nF)	Koefisien Varian
100	490,449	152,790	0,312
200	269,466	79,390	0,295
300	190,218	54,922	0,289
400	149,460	42,894	0,287
500	124,477	35,458	0,285
750	90,325	25,180	0,279
1000	71,626	19,752	0,276

(Sumber: data diolah, 2015)

Tabel 3 dan Gambar 7 menunjukkan bahwa semakin besar frekuensi semakin kecil rerata kapasitansi, standar deviasi, dan koefisien varian. Karena itu, frekuensi terbaik adalah 1000 Hz. Pada frekuensi tersebut memiliki standar deviasi terkecil dan koefisien varian terhadap variasi suhu pengukuran terkecil. Dengan kata lain pengukuran semakin tepat. Hal ini sesuai pernyataan Martinsen *et al.* (2000) penggunaan

frekuensi rendah (*low frequency*), dimana frekuensi 1000 Hz terbaik untuk pengukuran dielektrik bahan di antara dua plat tembaga.



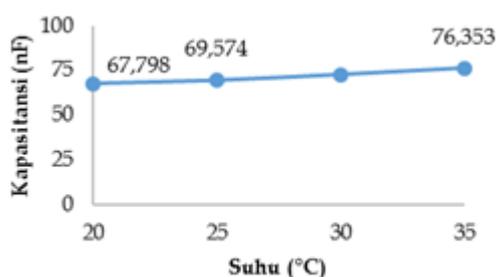
**Gambar 7.** Hubungan frekuensi terhadap rerata kapasitansi dan standar deviasi

### Karakteristik Biolistrik Tebu Berbagai Suhu pada Frekuensi Terbaik

Sebelumnya didapat hasil bahwa suhu tidak berpengaruh terhadap sifat biolistrik. Selain itu, didapat frekuensi pengukuran terbaik, yaitu pada 1000 Hz. Selain itu, suhu pengukuran 20, 25, 30 dan 35°C. Karakteristik biolistrik tebu (kapasitansi, impedansi, dan konstanta dielektrik) pada frekuensi terbaik dan suhu di atas sebagai berikut.

### Karakteristik Kapasitansi Berbagai Suhu pada Frekuensi Terbaik

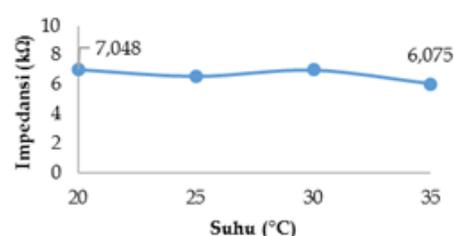
Nilai kapasitansi tebu akibat pengaruh suhu pada frekuensi 1000 Hz disajikan pada Gambar 8. Gambar 8 menunjukkan kecenderungan pengaruh suhu terhadap kapasitansi pada suhu 20–35°C. Suhu semakin tinggi maka kapasitansi cenderung meningkat tetapi tidak signifikan. Nilai kapasitansi tebu berkisar 67,798–76,353 nF. Menurut Tipler (2001), pada temperatur tinggi, gerak termal molekul-molekul bersifat acak, cenderung menghambat penyearahan dan penyimpanan energi. Hal ini mengakibatkan semakin tinggi suhu maka kapasitansi dan konstanta dielektrik seharusnya menurun (Kondo *et al.*, 2014).



**Gambar 8.** Hubungan suhu terhadap kapasitansi

### Karakteristik Impedansi Berbagai Suhu pada Frekuensi Terbaik

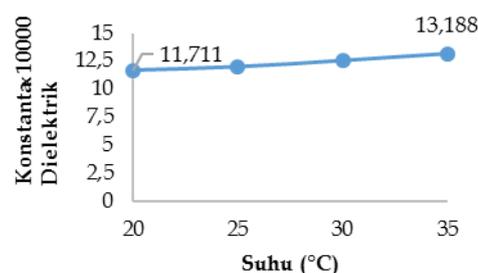
Nilai impedansi tebu akibat pengaruh berbagai suhu pada frekuensi 1 kHz disajikan pada Gambar 9. Gambar 9 menunjukkan kecenderungan pengaruh suhu terhadap impedansi pada rentang suhu 20–35°C. Semakin tinggi suhu maka impedansi cenderung menurun tetapi tidak signifikan. Nilai impedansi tebu berkisar 7,048 kΩ sampai 6,075 kΩ. Menurut Tipler (2001), pada temperatur tinggi gerak termal molekul-molekul bersifat acak, cenderung menghambat proses penyearahan sehingga impedansi semakin besar. Hal ini mengakibatkan semakin tinggi suhu maka impedansi meningkat.



**Gambar 9.** Hubungan suhu terhadap impedansi

### Karakteristik Konstanta Dielektrik Berbagai Suhu pada Frekuensi Terbaik

Konstanta dielektrik tebu akibat pengaruh suhu pada frekuensi 1000 Hz disajikan pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Hubungan suhu terhadap konstanta dielektrik

Gambar 10 menunjukkan kecenderungan konstanta dielektrik meningkat seiring meningkatnya suhu tetapi tidak signifikan. Nilai konstanta dielektrik tebu berkisar 11,711 sampai 13,188 nF. Hasil ini berbeda dengan pendapat Tipler (2001), bahwa konstanta dielektrik menurun seiring meningkatnya suhu karena suhu tinggi menyebabkan gerak termal molekul-molekul bersifat acak sehingga menghambat penyearahan atau polarisasi. Konstanta dielek-

trik merupakan kemampuan bahan untuk polarisasi dan menyimpan energi (Kondo *et al.*, 2014).

### Penentuan Sifat Biolistrik pada Frekuensi Terbaik yang berpengaruh nyata terhadap Rendemen

Penentuan sifat biolistrik Kapasitansi (C), Impedansi (Z), dan Konstanta Dielektrik (K) yang berpengaruh nyata terhadap rendemen menggunakan analisis regresi linier berganda pada Tabel 4. Tabel 4 menunjukkan variabel yang memiliki nilai *standardized coefficients beta* terbesar adalah kapasitansi 11,988 sehingga kapasitansi berpengaruh dominan terhadap rendemen. Karena itu, kapasitansi berpengaruh nyata terhadap rendemen.

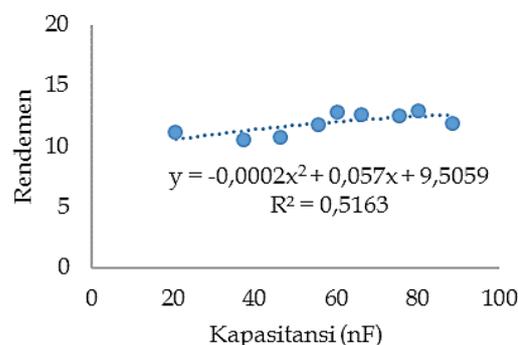
Bahan pertanian banyak mengandung air dan komposisi kimia. Sifat biolistrik bahan dipengaruhi frekuensi yang digunakan, kandungan air, suhu, densitas, struktur bahan dan komposisi kimia (Harmen, 2001). Kapasitansi tebu sangat dipengaruhi bahan penyusun yang banyak mengandung air dan bahan kering terlarut, termasuk sukrosa (Indriani dan Sumiarsih, 1992). Beberapa model hubungan kapasitansi terhadap rendemen pada Tabel 5.

Tabel 5 menunjukkan persamaan garis dan akurasi setiap model. Akurasi (*goodness of fit*) tertinggi diperoleh dari model *polynomial* dengan  $R^2$  51,63% sehingga dianggap model yang paling mewakili hubungan kapasitansi dan rendemen (Gambar 11). Nilai akurasi ini termasuk kecil sehingga perlu pengolahan data menggunakan statistika modern, misalnya *Artificial Neural Network (ANN)*. Model menggunakan ANN dapat menggunakan beberapa *input* sekaligus sehingga diharapkan dapat meningkatkan akurasi prediksi sifat biolistrik terhadap rendemen.

Gambar 11 menunjukkan kecenderungan semakin tinggi kapasitansi maka semakin tinggi rendemen tebu. Rendemen tebu adalah

kandungan gula di dalam batang tebu dinyatakan dengan persen. Rendemen tebu berbanding lurus dengan kandungan sukrosa. Semakin tinggi rendemen tebu maka sukrosa semakin tinggi dan sebaliknya.

Bahan dapat bersifat polar dan non polar. Menurut Effendy (2006) sukrosa merupakan senyawa polar. Penentuan senyawa bersifat polar dan nonpolar dilihat dari rumus struktur senyawa tersebut. Sifat polar dan nonpolar dapat diketahui dari kemudahan senyawa membentuk ikatan hidrogen diantara molekulnya, besarnya momen dipol, percabangan, dan konstanta dielektriknya. Senyawa polar mempunyai momen dipol lebih besar dari nol karena molekul penyusunnya tidak sejenis dan memiliki beda elektronegatifitas serta mempunyai struktur bangun asimetris. Selain itu, memiliki konstanta dielektrik tinggi. Senyawa non-polar mempunyai momen dipol sama dengan nol ( $\mu=0$ ). Hal ini karena molekulnya mempunyai atom sejenis atau molekul tidak sejenis tetapi rumus bangunnya simetris sehingga tidak ada kecenderungan titik berat elektron menuju salah satu molekul. Selain itu, konstanta dielektriknya rendah.



**Gambar 11.** Hubungan kapasitansi terhadap rendemen

**Tabel 4.** Hasil uji pengaruh sifat biolistrik terhadap rendemen

Model	Unstandardized Coefficients		Standar-dized	z	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constan)	-6,243	1,163		-5,37	0,000
C	0,504	0,037	11,98	13,48	0,000
Z	0,270	0,077	3,57	3,517	0,001
CK	0,001	0,000	-6,2	-5,27	0,000
ZK	0,003	0,003	1,59	0,91	0,368
CZK	0,000173	0,000	-3,51	-3,17	0,003

(Sumber: data diolah, 2015)

**Tabel 5.** Alternatif model hubungan kapasitansi terhadap rendemen

No	Alternatif Model	Persamaan	R <sup>2</sup>
1	Exponential	$y = 10,22e^{0,0025x}$	0,5059
2	Linear	$y = 0,0297x + 10,153$	0,501
3	Logarithmic	$y = 1,377\ln(x) + 6,3998$	0,4708
4	Polynomial	$y = -0,0002x^2 + 0,057x + 9,5059$	0,5163
5	Power	$y = 7,4237x^{0,1175}$	0,4725

Menurut Nelson dan Stetson (1975), komposisi kimia bahan mempengaruhi nilai kapasitansi. Kudra *et al.*, (1992) menerangkan senyawa polar dan non polar mempengaruhi kapasitansi dan konstanta dielektrik. Senyawa polar berbanding lurus, sedang senyawa non polar berbanding terbalik terhadap nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik. Bahan dengan komposisi kimia senyawa polar semakin tinggi maka nilai kapasitansi akan semakin meningkat. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 11, hubungan nilai kapasitansi terhadap rendemen berbanding lurus kandungan sukrosa.

### KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan ukuran panjang tebu 3 cm dan frekuensi 100-1000 Hz dapat dijadikan alternatif standar pengukuran sifat biolistrik tebu. Frekuensi pengukuran biolistrik tebu terbaik yang paling tidak dipengaruhi variasi suhu adalah 1000 Hz. Sifat biolistrik kapasitansi berpengaruh nyata terhadap rendemen disarankan dijadikan variabel pengembangan alat ukur cepat rendemen tebu. Pengolahan data disarankan menggunakan statistika modern, misalnya *Artificial Neural Network (ANN)*, dapat melibatkan beberapa *input* sifat biolistrik, sehingga dapat meningkatkan akurasi prediksi rendemen tebu.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Badan Litbang Pertanian sebagai pemberi dana pada program Kerjasama Kemitraan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Nasional (KKP3N) No. 123/TL.220/I.1/3/ 2014.k tahun anggaran 2014.

### Daftar Pustaka

Castro-Giráldez, M., C. Chenoll, P. J. Fito, F. Toldrá, and P. Fito. (2010). *Physical sensors for quality control during processing*. In Toldra. F. 2010. Handbook of meat processing. Unites States: Wiley-Blackwell. A John Wiley & Sons, Inc.

Department of Energy. (1992). *Fundamental Handbook Electrical Science* (vol 3 of 4). Washington. U.S. Department of Energy

Effendy. (2006). *Seri Buku Ikatan Kimia dan Kimia Anorganik Teori VSEPR Kepolaran dan Gaya Antar Molekul*. Malang: Banyumedia Publishing.

Giancoli, D. C. (2001). *Fisika Jilid 2 Edisi Kelima*. Jakarta: Erlangga.

Harmen. (2001). *Rancang Bangun Alat dan Pengukuran Nilai Sifat Dielektrik Bahan Pertanian pada Kisaran Frekuensi Radio*. Thesis. Fakultas Teknologi Pertanian. Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Indrawanto, C. (2010). *Budidaya dan Pasca Panen Tebu. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan*. Jakarta: ESKA Media.

Indriani, Y.H. dan Sumiarsih, E. (1992). *Pembudidayaan Tebu di Lahan Sawah dan Tegalan*. Jakarta: Penebar Swadaya.

Kudra, T., Raghavan, V., Akyel, C., Bosisio, R., Voort, F. (1992). Electromagnetic properties of milk and its constituents at 2-45 MHz. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*. 27(4): 199-204.

Kondo, N., Nishizu, T., Hayashi, T., Ogawa, Y., Shimizu, H., Goto, K. (2014). *Physical and Biological Properties of Agricultural Products*. Kyoto: Kyoto University Press.

Lembaga Riset Perkebunan Indonesia. (2014). Menuju penentuan rendemen tebu yang lebih individual. *Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. 26(5): 10-12.

Martinsen, O.G., Grimnes, S. and Mirtaheri, P. (2000). Non-invasive measurements of post-mortem changes in dielectric properties of haddock muscle- a pilot study. *Journal of Food Engineering*. 43(3):189-192.

Martinsen, O.G. dan Grimnes, S. (2008). *Bioimpedance and Bioelectricity Basics Second Edition*. London: Academic press Elsevier.

Nelson, S.O. and Stetson, L.E. (1975). 250-Hz to 12-GHz dielectric properties of grain and seed.

- American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 18(4): 714-718.
- Rajib, M., Shuvo, M.A.I., Karim, H., Delfin, D., Afrin, S., Lin, Y. (2014). Temperature influence on dielectric energy storage of nanocomposites. *Ceramics International Journal*. 41(1): 1807-1813.
- Robby, M. H. (2013). *Kajian Karakteristik Biolistrik Kulit Ikan Lele (Clarias batrachus) dengan Metode Dielektrik Frekuensi Rendah*. Skripsi. Fakultas MIPA. Universitas Brawijaya. Malang.
- Sucipto, Djatna, T., Irzaman, Irawadi, T.T., Fauzi, A.M. (2011). Potential of conductance measurement for lard detection. *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS*. 11(5): 26-30.
- Sucipto, Djatna, T., Irzaman, Irawadi, T.T., Fauzi, A.M. (2013). *Pengukuran Sifat Listrik Sebagai Basis Deteksi Cemaran Lemak Babi (Studi Evaluasi Alat, Persiapan Sample, dan Seleksi Frekuensi)*. Dalam Proceeding Annual Meeting on Testing and Quality (AMTeQ) 2013, hal: 46-56. Surabaya : Unair-LIPI.
- Sucipto, Djatna, T., Irzaman, Irawadi, T.T., Fauzi, A.M. (2013). Application of electrical properties to differentiate lard from tallow and palm oil. *Media Peternakan*. 36(1): 32-39
- Tipler, P. A. (2001). *Fisika Untuk Sains Dan Teknik Jilid 2 Edisi Ketiga*. Jakarta: Erlangga.
- Zuhul dan Zhanggischian. (2004). *Prinsip Dasar Elektroteknik*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.