

**STUDI PENGARUH CAMPURAN LEMAK BABI TERHADAP  
KONSTANTA DIELEKTRIK LEMAK AYAM DENGAN  
METODE DIELEKTRIK**

**SKRIPSI**

Oleh:

**FITRIA NING ROSITA  
105090303111002**



**JURUSAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**MALANG**

**2014**

**STUDI PENGARUH CAMPURAN LEMAK BABI TERHADAP  
KONSTANTA DIELEKTRIK LEMAK AYAM DENGAN  
METODE DIELEKTRIK**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Sains dalam bidang fisika

**Oleh:**

**FITRIA NING ROSITA**

**105090303111002**



**JURUSAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**MALANG**

**2014**

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**STUDI PENGARUH CAMPURAN LEMAK BABI TERHADAP  
KONSTANTA DIELEKTRIK LEMAK AYAM DENGAN  
METODE DIELEKTRIK**

Oleh :

**FITRIA NING ROSITA  
105090303111002**

**Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji pada  
tanggal.....  
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang fisika**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Chomsin S. Widodo, S.Si.,M.Si.,Ph.D**

**Dr. Sucipto, STP. MP**

**NIP. 196910201995121002**

**NIP. 197306021999031001**

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika**

**Drs. Adi Susilo, Ph.D  
NIP. 196312271991031002**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

**Nama** : Fitria Ning Rosita

**NIM** : 105090303111002

**Jurusan** : Fisika

**Penulis Tugas Akhir berjudul :**

*“Studi Pengaruh Campuran Lemak Babi terhadap Konstanta Dielektrik Lemak Ayam dengan Metode Dielektrik”*

**Dengan ini menyatakan bahwa :**

1. Isi dari Tugas Akhir yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, Nama-nama dan karya-karya yang ada dalam daftar pustaka digunakan semata-mata untuk acuan.
2. Apabila dikemudian hari ternyata Tugas akhir yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

**Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.**

**Malang, 06 Agustus 2014  
Yang menyatakan**

**Fitria Ning Rosita  
NIM. 105090303111002**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



# **STUDI PENGARUH CAMPURAN LEMAK BABI TERHADAP KONSTANTA DIELEKTRIK LEMAK AYAM DENGAN METODE DIELEKTRIK**

## **ABSTRAK**

Telah dilakukan penelitian tentang studi pengaruh campuran lemak babi terhadap konstanta dielektrik lemak ayam dengan metode dielektrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur konstanta dielektrik lemak ayam dengan menggunakan metode dielektrik. Selain itu juga diteliti pengaruh campuran lemak babi terhadap nilai konstanta dielektrik lemak ayam. Pengukuran konstanta dielektrik dilakukan pada campuran lemak ayam dan lemak babi dengan persentase berturut-turut sebesar 100%,0%; 0%,100%; 99,5%,0,5%; 99%,1%; 95%,5%; 90%,10%; 80%,20%; 70%,30%; 60%,40%; dan 50%,50%. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan plat kapasitor dari lempengan tembaga dengan ukuran 20 x 10 mm berjarak 5 mm yang ditengahnya diletakkan campuran lemak sebagai bahan dielektrik dan dihubungkan dengan LCR meter GW-Instek seri 816. Frekuensi yang digunakan berkisar antara 800 Hz sampai 2000 Hz. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode dielektrik mampu mengukur konstanta dielektrik lemak ayam. Peningkatan konsentrasi campuran lemak babi yang diberikan menyebabkan penurunan nilai konstanta dielektrik lemak ayam dengan kecenderungan linear.

**Kata kunci :** konstanta dielektrik, lemak ayam, dan lemak babi

UNIVERSITAS BRAWIJAYA





# STUDY ABOUT THE EFFECT OF A MIXED LARD TO THE CHICKEN FAT DIELECTRIC CONSTANT WITH DIELECTRIC METHOD

## ABSTRACT

The research of study about the effect of a mixed lard to the chicken fat dielectric constant with using dielectric method had been done. The study aimed to measure the value of chicken fat dielectric constant. In addition, it was also investigated the effect of mixed lard on the value of chicken fat dielectric constant. Dielectric constant of chicken fat mixed with lard had measured with percentage of 100%,0%; 0%,100%; 99,5%,0,5%; 99%,1%; 95%,5%; 90%,10%; 80%,20%; 70%,30%; 60%,40%; dan 50%,50%. The measurement conducted using parallel plat capacitor from the copper with size 20 x 10 mm located 5 mm that in between laid a mixture of fat as a dielectric and connected by LCR meters GW-Instek series 816. Frequency used ranged about 800 Hz to 2000 Hz. The result showed that the dielectric method can measure the value of chicken fat dielectric constant. An increased of a mixed of lard concentration given cause a decreased in value of chicken fat dielectric constant with a linear trend.

**Keyword :** dielectric constant, chicken fat, and lard

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa, atas karuniaNya laporan kemajuan Tugas Akhir berjudul *“Studi Pengaruh Campuran Lemak Babi terhadap Konstanta Dielektrik Lemak Ayam dengan Metode Dielektrik”* ini dapat terselesaikan.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya khususnya kepada Ayah, Ibu dan Nenekku tercinta Aminah yang selalu mendoakan keberhasilan dalam setiap langkah saya. Tak lupa kami ucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Adi Susilo, Ph.D selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Chomsin Sulistya Widodo,S.Si.,M.Si.,Ph.D.selaku pembimbing pertama mata kuliah Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu dan pikiran, memberi arahan, saran , motivasi, dan bimbingan selama penelitian dan penulisan skripsi ini.
3. Bapak Dr.Sucipto,STP.MP selaku pembimbing kedua yang telah memberikan arahan, motivasi, kesabaran, bertukar ide dan bimbingan selama penulisan skripsi ini.
4. Bapak Dr.Sunaryo,S.Si.,M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik atas bimbingan selama menempuh pendidikan sarjana.
5. Seluruh dosen, Staff dan karyawan jurusan Fisika FMIPA yang telah memberikan pendidikan dan bantuan selama di jurusan Fisika FMIPA UB.
6. Almarhum kakekku H.Haris Nur Yahya. Maaf selama ini belum bisa membahagiakan dan mengabdikan permintaanmu mbah “melihat cucunya lulus dan wisuda”.
7. Abdul Hamid,ST yang selalu menyemangati saya menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Firdausi Nuzula temanku seperjuangan yang selalu memberikan semangat, kesabaran, keceriaan selama penelitian.

9. Kepada seluruh keluarga besar Fisika UB terutama angkatan 2010 yang memberi warna dan menjadi keluarga baru yang saling mendukung.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan ini masih terdapat kekurangan baik dalam penyusunan, bahasa maupun penyajian penjelasannya. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata, penulis berharap dengan adanya laporan ini dapat memberikan pengetahuan dan manfaat kepada pembaca, terutama pengembangan ilmu pengetahuan.

Malang, 06 Agustus 2014



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan Penelitian .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1. Biolistrik .....	5
2.2. Kapasitansi.....	6
2.3. Impedansi dan Konduktifitas .....	9
2.4. Dielektrik .....	12
2.5. Pengukuran sifat biolistrik dengan metode dielektrik.....	17
2.6. Lemak .....	21
2.6.1 Lemak Ayam.....	24
2.6.2 Lemak Babi.....	26
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>29</b>
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	29
3.1.1 Tempat penelitian .....	29
3.1.2 Waktu penelitian .....	29
3.2. Tahapan Penelitian.....	29
3.3. Persiapan Alat dan Bahan .....	31
3.3.1 Persiapan alat ukur listrik .....	31
3.3.2 Persiapan Sampel.....	34
3.2.3 Pengukuran Sifat Listrik .....	35
3.2.4 Analisis Data.....	36

<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>39</b>
4.1 Karakteristik Dielektrik Udara Pada Berbagai Frekuensi	39
4.2 Konstanta Dielektrik Lemak Ayam.....	40
4.3 Pengaruh Campuran Lemak Babi terhadap Nilai Konstanta Dielektrik Lemak Ayam.....	44
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>52</b>
5.1 Kesimpulan .....	52
5.2 Saran.....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>54</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>58</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Plat sejajar .....	7
Gambar 2.2 Model rangkaian ekivalen sel .....	8
Gambar 2.3 Grafik hubungan antara kapasitansi membran (Cm) dengan frekuensi .....	9
Gambar 2.4 Kondisi Resonansi Rangkaian .....	10
Gambar 2.5 Pandangan molekuler mengenai efek dielektrik.....	15
Gambar 2.6 Jalur Frekuensi Rendah Dan Tinggi Pada Jaringan .....	19
Gambar 2.7 Gliserol (Sumardjo, 2008) .....	21
Gambar 2.8 Konjugasi dan nonkonjugasi .....	23
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian .....	30
Gambar 3.2 Plat kapasitor .....	32
Gambar 3.3 Rangkaian plat kapasitor dengan konektor LCR meter	32
Gambar 3.4 Proses <i>Zeroing</i> .....	33
Gambar 3.5 Skema rangkaian sistem pengukuran .....	36
Gambar 4.1 Grafik hubungan frekuensi dan konstanta dielektrik pada udara.....	39
Gambar 4.2 Hubungan frekuensi dan konstanta dielektrik lemak ayam (range frekuensi 100 - 2000 Hz) .....	43
Gambar 4.3 Hubungan frekuensi dan konstanta dielektrik lemak ayam.....	43
Gambar 4.4 Hubungan frekuensi dan konstanta dielektrik pada campuran lemak babi dan lemak ayam (range frekuensi 100 - 2000 Hz) .....	45
Gambar 4.5 Hubungan frekuensi dan konstanta dielektrik pada campuran lemak babi dan lemak ayam.....	48

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh.....	22
Tabel 2.2 Data komposisi asam lemak pada lemak ayam dan lemak babi yang dianalisis menggunakan teknik kromatografi gas.....	24
Tabel 2.3 Kadar lemak masing-masing sampel.....	25
Tabel 2.4 Komposisi asam lemak pada lemak ayam.....	25
Tabel 2.5 Sifat fisikokimia lemak ayam.....	26
Tabel 2.6 Jumlah dan komposisi asam lemak dari beberapa jenis ternak.....	27
Tabel 2.7 Komposisi asam lemak pada lemak babi.....	28
Tabel 2.8 Sifat fisikokimia lemak babi.....	28
Tabel 4.1 Nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik lemak ayam...	40
Tabel 4.2 Persamaan garis pada grafik hubungan frekuensi dan konstanta dielektrik campuran lemak babi pada lemak ayam.....	50





**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Alat dan bahan penelitian.....58  
Lampiran 2 Data pengukuran karakteristik Biolistrik .....61

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Biolistrik adalah karakteristik kelistrikan dari suatu sel atau jaringan pada makhluk hidup. Kelistrikan ini bersifat endogenik, listrik dihasilkan oleh jaringan itu sendiri. Sifat biolistrik yang meliputi konduktansi, impedansi, kapasitansi, dan konstanta dielektrik sangat ditentukan oleh komposisi bahan, frekuensi spesifik pengukuran, kadar air, temperatur, densitas, geometri, dan homogenitas bahan. Sifat biolistrik dapat diukur dengan metode dielektrik. Metode dielektrik yaitu pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan dua plat kapasitor dan bahan yang akan diukur harus ditempatkan diantara dua elektroda sehingga bahan tersebut berperilaku seperti sebuah kapasitor. Pengukuran sifat biolistrik dengan metode dielektrik dianggap lebih efisien, analisis lebih cepat dan menggunakan instrument lebih sederhana.

Pengukuran sifat biolistrik digunakan untuk menentukan karakteristik kelistrikan dan mengetahui kondisi dari suatu jaringan atau keadaan suatu sel. Pada bahan pangan sifat biolistrik umumnya digunakan untuk menilai kualitas dan kemurnian bahan secara cepat, non destruktif, mengarah *in-situ* berdasar energi elektromagnetik, teknik ultrasonik, dan resonansi (Castro-Giraldez *et al.* 2010). Teknik biolistrik dikembangkan untuk deteksi kerusakan daging sapi (Damez *et al.* 2008) dan uji pencampuran lemak pangan (Lizhi, Toyoda, Ihara, 2008).

Lemak adalah suatu zat yang kaya akan energi dan berfungsi sebagai sumber energi yang utama untuk proses metabolisme tubuh. Lemak yang berada di dalam tubuh diperoleh dari dua sumber yaitu dari makanan dan hasil produksi organ hati, yang bisa disimpan di dalam sel-sel lemak sebagai cadangan energi. Berdasarkan asalnya, sumber lemak dapat dibedakan menjadi dua yaitu lemak yang berasal dari tumbuhan (lemak nabati) dan lemak yang berasal dari hewan (lemak hewani).

Pada penelitian sebelumnya, Sucipto *et al* (2011) telah melakukan pengukuran sifat kelistrikan konduktansi dengan frekuensi tinggi untuk mendeteksi lemak babi dan beberapa lemak lain menggunakan LCR meter dalam skala laboratorium. Namun, penelitian tersebut hanya mengukur karakteristik kelistrikan berupa konduktansi pada nilai frekuensi yang tinggi. Hasil dari penelitian tersebut berpotensi untuk dijadikan dasar pendeteksian campuran lemak babi terhadap lemak lain dengan meneliti lebih lanjut sifat kelistrikan selain konduktansi dan menggunakan frekuensi rendah. Oleh sebab itu, pada penelitian ini dilakukan pengukuran nilai konstanta dielektrik campuran lemak babi pada lemak ayam dengan menggunakan metode dielektrik sebagai studi awal pendeteksian campuran lemak babi pada lemak atau bahan lain dengan metode dielektrik. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk metode deteksi campuran lemak babi terhadap lemak lain dengan menggunakan parameter karakteristik kelistrikan dan frekuensi yang lebih bervariasi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah

1. Apakah metode dielektrik dapat mengukur konstanta dielektrik lemak ayam?
2. Bagaimana pengaruh campuran lemak babi terhadap nilai konstanta dielektrik lemak ayam?

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah penelitian ini adalah

1. Sampel yang diuji yaitu lemak babi dan lemak ayam
2. Pengukuran dilakukan pada lemak babi dan lemak ayam tanpa diketahui umur, letak jaringan lemak, makanan yang diberikan pada ternak dan jenis kelamin.
3. Pengukuran dilakukan pada keadaan ruang dengan suhu 27<sup>0</sup> C.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah

1. Mengukur nilai konstanta dielektrik lemak ayam dengan menggunakan metode dielektrik.
2. Mengetahui pengaruh campuran lemak babi terhadap nilai konstanta dielektrik lemak ayam.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

1. Memberikan pengetahuan kepada masyarakat tentang pengaruh campuran lemak babi terhadap nilai konstanta dielektrik lemak ayam.
2. Sebagai data penunjang untuk pembuatan teknologi yang aplikatif dalam mendeteksi lemak babi pada lemak pangan.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

**Halaman ini sengaja dikosongkan**



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Biolistrik

Biolistrik adalah ilmu yang mempelajari tentang potensial listrik pada organ tubuh. Pada biolistrik ada dua aspek yang memegang peranan penting yaitu, kelistrikan dan kemagnetan yang timbul pada tubuh manusia, serta penggunaan listrik dan magnet pada permukaan tubuh manusia. Biolistrik juga merupakan fenomena sel. Sel-sel mampu menghasilkan potensial listrik yang merupakan lapisan tipis muatan positif pada permukaan luar dan lapisan tipis muatan negative pada permukaan dalam bidang batas/membran.

Bioimpedansi, biolistrik, dan karakteristik kelistrikan jaringan adalah hal yang saling terkait. Bioimpedansi berkaitan dengan sifat kelistrikan pasif dari suatu jaringan yakni kemampuan untuk menghambat arus listrik. Biolistrik berkaitan dengan kemampuan jaringan dalam menghasilkan listrik, seperti yang terjadi pada jantung (elektrokardiografi). Kelistrikan ini bersifat endogenik, maksudnya listrik dihasilkan oleh jaringan itu sendiri. Biolistrik juga dapat diartikan dengan bagaimana mengontrol jaringan menggunakan kelistrikan. Sifat kelistrikan pada jaringan bersifat dualisme, artinya jaringan dapat berperan sebagai konduktor atau dielektrik. Pada jangkauan frekuensi  $<100$  kHz sebagian besar jaringan bersifat sebagai konduktor, termasuk kelistrikan lapisan ganda yang sensitif pada sifat permukaan. Dengan teknik resolusi tinggi menjadi mungkin untuk mengetahui sifat penting kapasitif, sifat ini dapat disebut dengan karakteristik dielektrik yang dapat muncul pada frekuensi rendah (10 Hz). Pada frekuensi lebih tinggi misalnya 50 kHz sifat dielektrik pada jaringan akan mendominasi. Pada frekuensi tertinggi sifat jaringan akan semakin mirip dengan air, sifat karakteristik air murni mempunyai frekuensi relaksasi sekitar 18 GHz.

Pada jaringan dan sel terdapat hubungan yang tidak terpisahkan antara kelistrikan dan kimiawi. Bioimpedansi dan

biolistrik adalah tentang biomaterial pada sesuatu yang hidup. Contoh jaringan bisa terdapat pada tumbuhan, buah, telur, ikan, hewan atau tubuh manusia. Namun jaringan juga dapat ditemukan pada material biologis mati seperti rambut, kuku atau material yang tidak lengkap seperti daging atau stratum corneum (Martinsen,2008).

## 2.2 Kapasitansi

Kapasitansi adalah sifat dari bahan yang ditandai dengan kemampuannya untuk menyimpan muatan listrik. Kapasitansi sebuah kapasitor adalah ukuran dari kapasitas penyimpanan muatan untuk suatu perbedaan potensial tertentu (Tipler 2001). Kapasitor merupakan suatu material yang telah dirancang sedemikian rupa sehingga dapat menyimpan beda potensial dalam bentuk polarisasi muatan. Kapasitor dirancang untuk menyediakan kapasitansi pada rangkaian listrik. Fungsi lain kapasitor adalah untuk menyimpan energi dalam medan listrik antar dua konduktor yang dipisahkan oleh bahan dielektrik. Bahan dielektrik atau yang sering disebut sebagai isolator adalah suatu bahan yang sukar dilewati arus listrik.

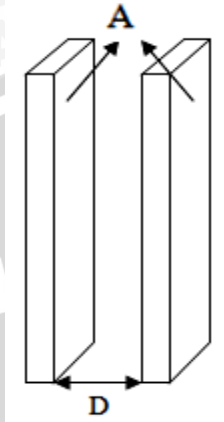
Faktor geometri yang mempengaruhi kapasitansi pada kapasitor keping sejajar adalah luas penampang keping sejajar dan jarak antar kepingnya, sedangkan sifat bahan dielektriknya ditentukan oleh nilai konstanta dielektrik bahannya. Kapasitansi diukur berdasarkan besar muatan yang disimpan kapasitor pada suatu harga tegangan (Sulastri, 2006). Kapasitansi diukur berdasarkan besar muatan yang dapat disimpan pada suatu kenaikan tegangan (Woollard, 1988).

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2.1)$$

Diketahui C adalah nilai kapasitansi dalam F (farad), Q adalah muatan electron dalam C (coulomb), dan V adalah besar tegangan dalam V (volt).

Untuk kapasitor pelat sejajar yang masing-masing memiliki luas area A dan dipisahkan oleh jarak  $d$  yang berisi udara.





**Gambar 2.1** Plat sejajar (Giancoli, 2001)

Kapasitansi kapasitor pelat sejajar dinyatakan dengan:

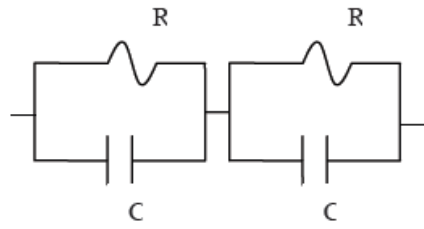
$$C = \epsilon_0 A/d \quad (2.2)$$

Ketika luas area plat ( $A$ ) semakin besar, maka kapasitansi akan meningkat. Ketika jarak antar plat ( $d$ ) besar, maka nilai kapasitansi berkurang. Ketika konstanta dielektrik besar, maka kapasitansi akan meningkat. Konstanta  $\epsilon_0$  adalah permitivitas hampa udara yang mempunyai nilai  $8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2$  (Giancoli, 2001). Dengan mempertimbangkan tiga faktor tersebut, maka kapasitansi kapasitor antar dua plat sejajar dapat dihitung menggunakan rumusan:

$$C = K.\epsilon_0 A/d \quad (2.3)$$

dengan  $K$  adalah tetapan dielektrik dari bahan dielektrik yang berada diantara plat sejajar.

Sel membran dapat dimodelkan dengan rangkaian listrik yang terdiri dari gabungan kapasitor dan resistor.



**Gambar 2.2** Model rangkaian ekivalen sel (Gitter,2007)

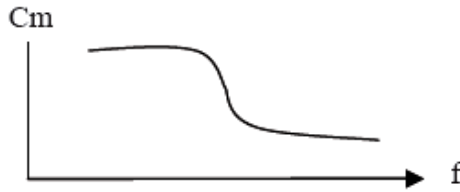
Dari rangkaian tersebut didapatkan perumusan impedansi yang dihasilkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \tilde{Z}_1 &= \frac{1}{G_1 + \tilde{I} \omega C_1} & \tilde{Z}_2 &= \frac{1}{G_2 + \tilde{I} \omega C_2} \\ \tilde{Z}_m &= \frac{1}{G_m + \tilde{I} \omega C_m} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Gabungan seri antara  $Z_1$  dan  $Z_2$  serta melihat perumusan  $Z_m$  maka akan menghasilkan nilai kapasitansi membran.

$$C_m = \frac{G_2^2 C_1 + G_1^2 C_2 + \omega^2 C_1 C_2 (C_1 + C_2)}{(G_1 + G_2)^2 + \omega^2 (C_1 + C_2)^2} \quad (2.5)$$

dimana  $\omega = 2\pi f$  merupakan frekuensi sudut sehingga kapasitansi bergantung pada frekuensi.



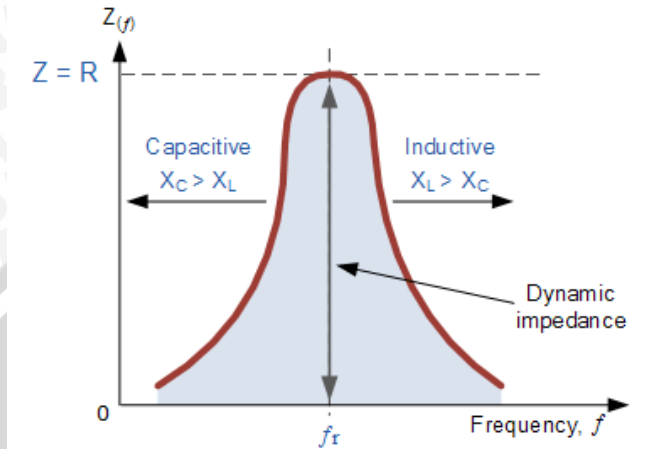
**Gambar 2.3** Grafik hubungan antara kapasitansi membran ( $C_m$ ) dengan frekuensi (Benavente,2000)

Grafik pada Gambar 2.3 yang menunjukkan hubungan antara frekuensi dengan kapasitansi rangkaian ekuivalen membran, nilai kapasitansi semakin menurun dengan bertambah besarnya frekuensi yang diberikan dan pada frekuensi menengah terjadi penurunan yang drastis.

### 2.3 Impedansi dan Konduktifitas

Jika kapasitor dirangkaikan dengan resistor dan induktor pada rangkaian arus bolak-balik (AC), maka hambatan total rangkaian itu dikenal dengan impedansi. Secara pendekatan, suatu hambatan ( $R$ ) diambil untuk menghadirkan komponen dissipative (menghilangkan) respon dielektrik, sedangkan suatu kapasitansi ( $C$ ) menggambarkan komponen penyimpan dielektrik bahan. Impedansi bergantung pada frekuensi, jika frekuensi bertambah,  $X_L$  bertambah dan  $X_C$  berkurang, maka selalu ada satu frekuensi pada saat  $X_L$  dan  $X_C$  sama dan  $X_L - X_C$  adalah nol (Giancoli, 2001).

Dalam rangkaian RLC, peristiwa resonansi terjadi jika reaktansi induktif ( $X_L$ ) sama dengan reaktansi kapasitif ( $X_C$ ). frekuensi yang bertepatan dengan kondisi ini dinamakan sebagai frekuensi resonansi ( $f_r$ ) dan dapat digambarkan seperti Gambar 2.4 berikut.



**Gambar 2.4** Kondisi Resonansi Rangkaian RLC

Resonansi rangkaian RLC jika nilai  $X_L > X_C$  maka rangkaian bersifat induktif dan jika  $X_C > X_L$  maka rangkaian akan bersifat kapasitif. Frekuensi resonansi dapat dirumuskan dalam persamaan berikut :

$$X_L = X_C \quad (2.6)$$

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2.7)$$

$$f^2 = \frac{1}{2\pi L \times 2\pi C} = \frac{1}{4\pi^2 LC} \quad (2.8)$$

$$f^2 = \sqrt{\frac{1}{4\pi^2 LC}} \quad (2.9)$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ (Hz)} \quad (2.10)$$

$f_r$  dinyatakan dengan frekuensi dari getaran atau frekuensi resonansi. Frekuensi sendiri dari getaran itu akan menjadi semakin tinggi, bila induksi dan kapasitansinya menjadi semakin kecil. Bila L dinyatakan dalam henry dan C dengan farad, maka frekuensinya dinyatakan dengan hertz (Dirksen, 1983).

Resistansi dari kapasitansi C adalah  $R=1/(j\omega C)$ , dimana j merupakan satuan imajiner. Pada rangkaian (RP) dan kapasitansi (reaktansi  $1/(\omega CP)$ ) yang terangkai paralel dapat diperoleh dari Hukum Kirchoff,

$$\frac{1}{Z_p} = \frac{1}{R_p} + \frac{1}{1/j\omega C_p} \quad (2.11)$$

dari persamaan diatas diperoleh :

$$\frac{1}{Z_p} = \frac{R_p}{1 + j\omega R_p C_p} \quad (2.12)$$

Jika ditambahkan  $R_s$  secara seri pada elemen RC maka diperoleh :

$$Z = R_s + \frac{R_p}{1 + (j.2.\pi.f.R_p.C_p)} \quad (2.13)$$

Dimana  $\omega$  digantikan dengan  $2\pi f$ . Real ( $Z_{re}$ ) dan bagian imajiner ( $Z_{im}$ ) dari impedansi kompleks Z adalah :

$$Z_{re} = R_s + \frac{R_p}{1 + \omega^2 . R_p^2 . C_p^2} \quad (2.14)$$

dan

$$Z_{im} = \frac{R_p^2 . C_p . \omega}{1 + \omega^2 . R_p^2 . C_p^2} \quad (2.15)$$

(Gitter, 2007).

Resistansi adalah sifat yang menimbulkan hambatan dari suatu bahan termasuk pada rangkaian listrik yang memiliki bagian dengan hambatan murni. Secara fisik dapat diketahui bahwa hambatan adalah suatu ukuran dari nilai tegangan sepanjang elemen ketika dialiri oleh arus listrik, sesuai dengan hukum Ohm  $V = IR$ . Nilai dari sebuah hambatan dapat ditentukan dengan membagi tegangan total sepanjang elemen dengan arus yang melewatinya, menggunakan persamaan  $R = V/I$ .

Material biologis memiliki sifat yang menghambat (*resistive*). Secara umum sifat ini tidak terbagi, material biologis seperti sel dan jaringan memiliki dimensi spasial yang nyata, dan sifatnya dapat berubah dari tempat satu ke tempat yang lain. Termasuk juga hambatan total  $R$ , merupakan sifat dari material biologis, resistivitas dilambangkann dengan  $\rho$ , dengan satuan Ohm-cm. Hambatan dari elemen partikular dari suatu bahan dapat ditentukan dengan  $R = \rho A/L$ , dimana  $A$  adalah luas area *cross-section* dimana arus mengalir, dan  $L$  adalah panjang yang dilewati aliran arus.

Konsep dari resistivitas terdapat pada medium yang seragam, tapi tidak harus pada medium yang homogen, resistivitas juga terdapat pada medium yang tidak homogen. Pada analisis dari banyak situasi biologis, lebih tepat untuk menggunakan konduktivitas, yang dilambangkan dengan  $\sigma$ , kebalikan dari resistivitas. Konduktivitas adalah kebalikan dari resistivitas (hambatan) yaitu kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan listrik, yang dirumuskan  $\sigma = 1/\rho$ . Satuan dari  $\sigma$  adalah Siemens/cm. Penggunaan Konduktivitas lebih tepat ketika terdapat banyak lintasan arus secara paralel (Plonsey dan Barr, 2007).

## 2.4 Dielektrik

Dielektrik adalah suatu bahan yang memiliki daya hantar arus yang sangat kecil atau bahkan hampir tidak ada. Ruang antara konduktor pada suatu kapasitor biasanya diisi dengan bahan isolator yang dinamakan dielektrik, misalnya kaca, kertas, mika, dan lain-lain. Eksperimen yang dilakukan Faraday menunjukkan bahwa adanya dielektrik menyebabkan kapasitansi bertambah. Penambahan

kapasitansi ini disebabkan karena adanya dielektrik yang mengakibatkan medan listrik di antara kapasitor berkurang (Silalahi, 2003). Sifat dielektrik menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk menyimpan, mentransmisikan, dan memantulkan energi gelombang elektromagnetik. Sifat dielektrik bahan tergantung frekuensi, suhu, kandungan air, densitas, komposisi bahan dielektrik seperti kadar air, kadar lemak, protein, kadar garam, dll (Venkatesh dan Raghavan, 2004).

Sifat dielektrik bahan dipengaruhi oleh besarnya frekuensi yang dihasilkan oleh medan listrik. Berikut persamaan untuk menjelaskan hal itu dibuat oleh Debye (1929) dalam Kuang dan Nelson (1998) :

$$\epsilon = \epsilon_{\infty} + \frac{(\epsilon_s - \epsilon_{\infty})}{(1 + j\omega\tau)} \quad (2.16)$$

dalam hal ini,  $\epsilon_{\infty}$  adalah permitivitas pada frekuensi tinggi dimana bahan tidak dapat berpolarisasi.  $\epsilon_s$  merupakan permitivitas yang diukur pada frekuensi rendah dan  $\tau$  adalah waktu relaksasi.

Sifat dielektrik bahan juga tergantung pada suhu. Tetapan dielektrik meningkat jika suhu meningkat dan kehilangan dielektrik bias meningkat atau berkurang tergantung apakah frekuensi operasinya lebih tinggi atau lebih rendah dari frekuensi relaksasi (Hill *et al.*, 1969 dalam Mohsenin, 1984).

Kadar air berpengaruh cukup besar terhadap nilai sifat dielektrik yang lebih besar dibandingkan dengan bahan kimia lainnya. Menurut Harmen (2001), nilai sifat dielektrik berbanding lurus dengan nilai kadar air suatu bahan. Pada kadar air yang tinggi, nilai tetapan dielektrik dan faktor kehilangan dielektrik juga tinggi, demikian juga pada kadar air rendah, nilai tetapan dielektrik dan faktor kehilangan dielektrik juga rendah.

Nilai dielektrik suatu bahan sebagian besar tergantung dari interaksi masa bahan dengan gelombang elektromagnetik. Massa per unit volume atau densitas akan mempunyai efek terhadap sifat dielektrik bahan, dimana densitas ini tergantung pada struktur molekul dari pertikel bahan yang diteliti. Ketergantungan sifat

dielektrik terhadap *bulk density* secara empiric dapat dinyatakan dalam persamaan (Kent, 1977 dalam Kent, 1993):

$$\begin{aligned}\epsilon' &= A' \rho^2 + B' \rho + I \\ \epsilon'' &= A \rho^2 + B \rho\end{aligned}\tag{2.17}$$

dimana A, A', B, B'' merupakan suatu konstanta.

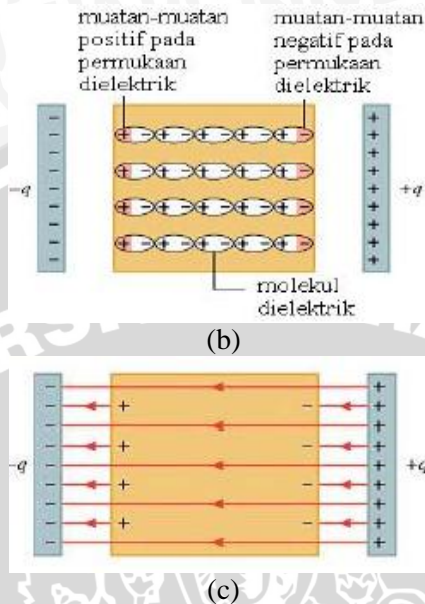
Pengukuran sifat dielektrik berhubungan dengan pengukuran kapasitansinya. Secara tidak langsung pengukuran kapasitansi sangat penting pada pengukuran dielektrik bahan (Dahlan *et al*, 2001). Bahan dielektrik suatu kapasitor berfungsi untuk menghambat aliran arus antar plat. Bahan dielektrik dinilai berdasarkan kemampuan bahan untuk mempengaruhi gaya elektrostatik pada suhu tertentu yang disebut konstanta dielektrik. Kemampuan dari bahan dielektrik untuk mendukung gaya elektrostatik berbanding lurus dengan konstanta dielektrik (Putri, 2007).

Karakteristik yang dimiliki oleh semua bahan dielektrik, baik yang berupa cairan, padatan atau gas, berbentuk kristal atau bukan, ialah kemampuan untuk menyimpan energi listrik. Penyimpanan ini terjadi dengan pergeseran relatif kedudukan muatan positif internal dan muatan negatif internal terhadap gaya atomik dan molekular yang normal (Hayt, 1986).



(a)





**Gambar 2.5** Pandangan molekuler mengenai efek dielektrik (Giancoli, 2001)

Kapasitor mempunyai muatan  $+q$  pada satu pelat dan  $-q$  di pelat yang lain (Gambar 2.4a). Kapasitor diisolasi sehingga muatan tidak bisa mengalir ke pelat-pelat atau dari pelat-pelat tersebut. Dielektrik di sisipkan di antara kedua pelat (Gambar 2.4b). Molekul-molekul dielektrik mungkin merupakan polar. Maksudnya, walaupun molekul-molekul tersebut netral, elektron-elektronnya mungkin tidak terdistribusi merata, sehingga satu bagian dari molekul akan positif dan bagian lainnya negatif. Karena adanya medan listrik di antara pelat-pelat tersebut, molekul-molekul akan cenderung menjadi terorientasi sebagaimana digambarkan. Bahkan jika molekul-molekul itu bukan polar, medan listrik di antara pelat akan menginduksi beberapa pemisahan muatan pada molekul. Beberapa garis medan listrik sebenarnya tidak menembus dielektrik, tetapi berakhir (dan mulai kembali) pada muatan-muatan yang diinduksi pada permukaan dielektrik (Giancoli, 2001).

Permitivitas atau sifat dielektrik digambarkan sebagai suatu permitivitas relatif kompleks yang merupakan nilai pembagi antara

permitivitas absolut dengan permitivitas ruang hampa (Rynnanen, 1995).

$$\epsilon_{\text{abs}} = \epsilon \epsilon_0 \quad (2.18)$$

diketahui  $\epsilon_{\text{abs}}$  adalah permitivitas absolute bahan,  $\epsilon_0$  adalah permitivitas ruang hampa ( $8,85 \times 10^{-12}$ F/m), dan  $\epsilon$  adalah permitivitas relatif bahan. Karena permitivitas merupakan suatu bilangan kompleks maka dapat dinyatakan dalam dua bagian yang terdiri dari komponen nyata dan khayal (Risman, 1991 dan Rynnanen,1995).

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon'' = |\epsilon| e^{-j\delta} \quad (2.19)$$

diketahui  $\epsilon$  adalah permitivitas relatif kompleks,  $\epsilon'$  adalah tetapan dielektri,  $\epsilon''$  adalah faktor kehilangan dielektri,  $j$  adalah unit imajiner ( $\sqrt{-1}$ ), dan  $\delta$  adalah sudut kehilangan dielektri.

Bagian nyata permitivitas diketahui sebagai tetapan dielektri  $\epsilon'$  yang menunjukkan kemampuan bahan untuk menyimpan energi listrik, sedangkan komponen khayal merupakan faktor dielektri  $\epsilon''$  menyatakan kemampuan bahan untuk menghamburkan atau melepaskan energi dan mengkonversinya menjadi panas yang nilainya selalu positif dan biasanya lebih kecil dari  $\epsilon'$ .

Permitivitas relativ atau konstanta dielektri dari sebuah medium berhubungan dengan *susceptibility* (kerentanan) listriknya melalui persamaan berikut :

$$\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0 \quad (2.20)$$

$$\epsilon_r = 1 + X_e \quad (2.21)$$

Diketahui  $\epsilon_0$  menunjukkan ruang hampa,  $\epsilon_r$  permitivitas relatif kompleks dan  $X_e$  supseptibilitas elektrik. Susseptibilitas elektrik dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$X_{\varepsilon} = \frac{ne^2}{\varepsilon_0 m_e} \sum_i \frac{f_i}{\omega_i^2 - \omega^2} \quad (2.22)$$

Konstanta dielektrik atau permitivitas relatif dari medium juga dipengaruhi oleh nilai *susceptibility dynamic* dari bahan dielektrik tersebut yang dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$\varepsilon_r = 1 + X_{\varepsilon} = 1 + \frac{ne^2}{\varepsilon_0 m_e} \sum_i \frac{f_i}{\omega_i^2 - \omega^2} \quad (2.23)$$

dengan  $n$  jumlah elektron didalam bahan dielektrik tersebut,  $e$  muatan elektron,  $m_e$  masa elektron,  $\omega_i$  karakteristik frekuensi untuk tiap atom atau molekul,  $\omega$  frekuensi osilasi medan listrik.

Konstanta dielektrik  $\varepsilon'$  menunjukkan kemampuan bahan untuk menyimpan energi dalam bentuk medan listrik yang berfungsi sebagai kondensator sehingga dapat dinyatakan dalam persamaan (2.1), dimana  $C$  merupakan kapasitas bahan,  $Q$  menunjukkan muatan dalam bahan dan  $V$  adalah beda potensial.

Pangan memiliki sifat dielektrik dan polarisasi non ideal terkait fenomena disipasi, absorpsi energi, dan kerusakan yang mempengaruhi konstanta dielektrik. Dalam sistem sel, sifat dielektrik didasarkan dua mekanisme yaitu proses resonansi dan relaksasi. Fenomena resonansi terjadi ketika aplikasi bidang listrik menggunkan frekuensi yang sesuai frekuensi getaran alami bahan. Hal tersebut meliputi polarisasi elektronika dan polarisasi atomik yang dihasilkan pada frekuensi gelombang mikro dan gelombang yang lebih tinggi (Castro-Giraldez *et al*, 2010).

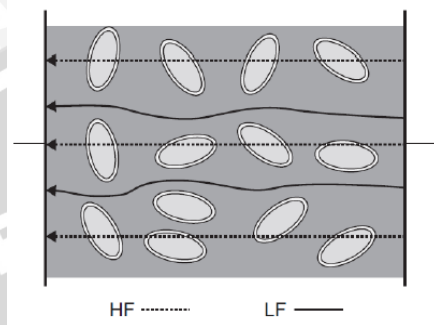
## 2.5 Pengukuran sifat biolistrik dengan metode dielektrik

Pengukuran sifat biolistrik merupakan salah satu cara untuk mengetahui karakteristik suatu bahan yang mencirikan potensinya dalam merespon pemanasan dielektrik, dan kemampuannya untuk menyimpan, meneruskan, dan memantulkan gelombang elektromagnetik. Pemanfaatan sifat dielektrik dalam bidang

pertanian dan pangan meningkat seiring waktu. Sebagai contoh, rancang bangun teknik deteksi lemak babi pada daging sapi berbasis sifat listrik (Sucipto, 2013). Pengukuran sifat listrik daging dan olahan daging telah dikembangkan untuk menilai kualitas dan kemurnian secara cepat dan non destruktif, mengarah *in-situ* berdasar energi elektromagnetik, teknik ultrasonik, dan resonansi (Castro-Giraldez *et al*, 2010). Toyoda (2003) telah menggunakan sifat dielektrik untuk mendeteksi kadar air dalam pangan. Selain itu juga dikembangkan deteksi berbasis impedansi spektroskopi untuk evaluasi kerusakan daging sapi (Damez dan Clerjon, 2008), uji pencampuran lemak (Lizhi *et al*, 2008), pengukuran sifat listrik dengan sinyal frekuensi rendah juga telah dilakukan oleh Stacheder (2005) untuk menguji keterkaitan dielektrik dengan kadar air dan densitas dari salju.

Metode dielektrik yang digunakan pada penelitian ini merupakan metode yang dianggap paling efisien dan cepat. Perbedaan komposisi bahan memberikan pengaruh pada perbedaan sifat listrik. Sifat listrik ini meliputi konduktansi, impedansi, kapasitansi, dan konstanta dielektrik. Sifat listrik juga dipengaruhi oleh frekuensi dan suhu pengukuran. Metode dielektrik merupakan pengukuran secara langsung, dimana objek yang akan diukur (biasanya berupa membran, lapisan, dll) diletakkan diantara *parallel plate* (keping sejajar) yang terbuat dari tembaga. Desain keping sejajar dari tembaga berukuran 20mm x 10 mm berjarak 5 mm, dimensi tersebut sudah memenuhi akuisisi data sifat listrik bahan pada rentang frekuensi 0,10 – 5,00 MHz, kondisi ini sesuai kriteria Icier dan Baysal (2004). Bahan yang akan diukur bertindak sebagai bahan dielektrik yang berada diantara keping sejajar dan dapat diukur kapasitansi dan impedansi dari bahan dengan frekuensi tertentu. Pada penelitian ini digunakan frekuensi rendah (*low frequency*), dimana pada pemberian frekuensi rendah ini dikarenakan pada frekuensi rendah yaitu tepatnya 1 kHz menurut Martinsen (2000), merupakan frekuensi terbaik yang telah disesuaikan untuk pengukuran dielektrik dengan penyajian pengukuran bahan yang diletakkan pada keping sejajar. Menurut Martinsen(2008), jaringan akan bersifat dielektrik pada frekuensi rendah yaitu 10 Hz atau < 50 kHz dan jaringan akan bersifat konduktor pada frekuensi tinggi

(<100kHz). Proses dualisme sifat sel dan jaringan sesuai dengan Gambar 2.3 berikut :



**Gambar 2.6** Jalur Frekuensi Rendah Dan Tinggi Pada Jaringan (Martinsen ,2008)

Pada metode dielektrik ini digunakan frekuensi rendah pada kisaran 100 Hz – 2 kHz dengan interval 50 Hz. Skema metode dielektrik yang dilakukan dengan pengukuran awal yaitu kapasitansi menggunakan LCR meter, kemudian dari nilai kapasitansi yang didapat, dapat dihitung konstanta dielektrik dari bahan.

LCR Meter adalah sebuah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur induktansi (L), kapasitansi (C), dan resistansi (R) dari suatu komponen. Pengukuran dengan LCR meter dapat dilakukan dengan sangat cepat, tergantung dari komponen yang diukur. Pada dasarnya, cara kerja LCR meter pada umumnya adalah dengan memberi sumber tegangan AC pada komponen yang diukur. Tegangan dan arus pada komponen tersebut digunakan untuk menentukan impedansi. Sedangkan beda sudut fasa antara tegangan dan arus digunakan untuk menentukan besar induktansi atau kapasitansi dan resistansi pada komponen tersebut. Pengukuran besaran L,C dan R dilakukan menggunakan prinsip jembatan pembanding yang dibagi menjadi tiga prinsip pengukuran (Waluyanti,2008).

Prinsip pengukuran induktansi (L) jembatan arus bolak-balik dapat digunakan untuk mengukur induktansi yang tidak diketahui dengan membandingkan terhadap sebuah induktor standar yang

diketahui, dimana  $R_1$  dan  $R_2$  adalah lengan-lengan pembanding, sedang lengan standar adalah  $L_S$  seri dengan  $R_S$ .  $L_S$  adalah induktor standar kualitas tinggi dan  $R_S$  adalah tahanan variabel.  $L_x$  adalah induktansi yang belum diketahui dan  $R_x$  adalah tahananannya. Seperti dijelaskan pada persamaan 2.10 berikut:

$$L_x = R_2/R_1 \cdot L_S \quad (2.24)$$

Pengukuran kapasitansi menggunakan prinsip jembatan pembanding kapasitansi. Pada dasarnya jembatan pembanding kapasitansi mirip dengan jembatan pembanding induktansi.  $R_1$  dan  $R_2$  adalah lengan-lengan pembanding, sedangkan  $C_s$  adalah lengan standar ( kapasitor kualitas tinggi ) yang diseri dengan  $R_s$  ( tahanan variable ).  $C_x$  adalah kapasitansi yang belum diketahui harganya dan  $R_x$  adalah tahanan kebocoran kapasitor. Nilai kapasitansi dapat diketahui dengan persamaan 2.11 berikut :

$$C_x = (R_1/R_2) \cdot C_s \quad (2.25)$$

Pengukuran resistansi dengan menggunakan prinsip jembatan wheatstone mempunyai empat lengan tahanan, sebuah sumber ggl dan sebuah detektor nol yang biasanya berupa galvanometer. Jembatan wheatstone dikatakan setimbang apabila beda tegangan pada galvanometer adalah nol volt, artinya tidak ada arus yang mengalir melalui galvanometer. Apabila ketiga tahanan tersebut diketahui dan salah satu dari tahananannya tidak diketahui ,misal  $R_4 = R_x$  , maka nilai resistansi dapat diketahui sesuai dengan persamaan 2.12 berikut :

$$R_x = R_2 \cdot R_3 / R_1 \quad (2.26)$$

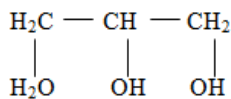
Jembatan wheatstone mempunyai keterbatasan dalam pengukuran tahanan rendah, dengan demikian maka jembatan wheatstone dimodifikasi menjadi jembatan kelvin. Hal ini dilakukan agar tercapai ketelitian yang tinggi dalam pengukuran tahanan rendah

yang biasanya mempunyai nilai dibawah 1 Ohm. Jembatan ganda kelvin digunakan secara khusus untuk pengukuran-pengukuran tahanan rendah. Rangkaian tersebut dinamakan jembatan ganda, karena rangkaiannya mempunyai perbandingan lengan ke dua. Perlu diketahui bahwa perbandingan tahanan a dan b sama dengan perbandingan R1 dan R2.

## 2.6 Lemak

Lemak merupakan zat makanan yang penting untuk menjaga kesehatan tubuh manusia, karena menghasilkan energi yang lebih efektif dibandingkan dengan karbohidrat dan protein. Satu gram lemak dapat menghasilkan 9 kkal, sedangkan karbohidrat dan protein hanya menghasilkan 4 kkal/gram (Winarno, 1984). Dalam ilmu kimia, lemak adalah suatu ester antara asam lemak dan gliserol yang ketiga radikal hidroksilnya diesterkan. Jadi jelas bahwa lemak adalah suatu trigliserida atau triasil gliserol (Sumardjo, 2008).

Komponen-komponen atau unit-unit penyusun lemak adalah gliserol dan asam-asam lemak. Gliserol, gliserin, atau 1,2,3-propanatriol adalah alkohol jenuh bervaleksi tiga, alkohol primer atau alkohol sekunder. Pada suhu kamar berupa zat cair yang tidak berwarna, kental, netral terhadap lakmus, dan rasanya manis. Dalam keadaan murni, mempunyai sifat higroskopis. Dapat bercampur dengan air, tetapi tidak larut dalam karbon tetraklorida, kloroform, dietil eter, karbon disulfida, dan benzene.



**Gambar 2.7** Gliserol (Sumardjo, 2008)

Asam lemak merupakan sekelompok senyawa hidrokarbon dengan gugus karboksilat pada ujungnya. Asam lemak memiliki empat peranan utama. Pertama, asam lemak merupakan unit penyusun fosfolipida dan glikolipida. Molekul-molekul amfipatik ini merupakan komponen penting bagi membran biologi. Kedua, banyak protein dimodifikasi oleh ikatan kovalen asam lemak, yang

menempatkan protein-protein tersebut ke lokasi-lokasinya pada membran. Ketiga, asam lemak merupakan molekul bahan bakar. Asam lemak disimpan dalam bentuk triasilgliserol, yang merupakan ester gliserol yang tidak bermuatan. Triasilgliserol disebut juga lemak netral atau trigliserida. Keempat, derivat asam lemak berperan sebagai hormon dan cakra intrasel (Rusdiana, 2004). Asam lemak dibagi dalam dua bagian penting yaitu asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh (Sumardjo, 2008). Asam lemak penting yang terdapat dalam minyak dan lemak disajikan pada Tabel 2.1 (Ketaren, 2005).

**Tabel 2.1** Asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh

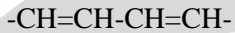
Asam lemak jenuh		Asam lemak tak jenuh	
Asetat	$\text{CH}_3\text{COOH}$	Palmitoleat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$
n-butirat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$		$\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Isovalerat	$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{COOH}$	Oleat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7=\text{CH}(\text{CH}_2)_7$
n-kaproat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$		$\text{COOH}$
n-kaprilat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	Erukut	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7=\text{CH}-$
Kaprat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$		$(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$
Laurat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	Linoleat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}-$
Miristat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$		$\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}-$
Palmitat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$		$(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Stearat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	Linolenat	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}-$
Arachidat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$		$\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2-$
Behenat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$		$\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Lignoserat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$	Clupanodonat	$\text{C}_{22}\text{H}_{34}\text{O}_2$
		Arachidonat	$\text{CH}_{20}\text{H}_{32}\text{O}_2$

Sumber : Ketaren, 2005

Asam-asam lemak jenuh (*saturated fatty acids*) tidak mempunyai ikatan rangkap dalam struktur kimianya. Ada beberapa asam lemak jenuh, baik yang terdapat pada tanaman, hewan ataupun manusia. Pada umumnya, asam lemak jenuh merupakan unit penyusun lemak hewan atau manusia. Titik didih deret asam lemak naik secara teratur. Makin panjang rantai karbonnya, makin turun berat jenisnya. Titik lebur atau titik cair asam lemak (dengan jumlah atom karbon genap) juga meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah atom karbon, walaupun peningkatannya tidak terlalu teratur. Asam-asam lemak dengan titik lebur yang tinggi, yang pada suhu biasa merupakan padatan, tidak larut dalam air (Sumardjo, 2008).



Rantai karbon asam-asam lemak tak jenuh (*unsaturated fatty acids*), mempunyai satu atau lebih ikatan rangkap dua. Pada umumnya, asam lemak tak jenuh yang terdapat di alam dan mempunyai dua atau lebih ikatan rangkap, ikatan rangkap tersebut bersifat nonkonjugasi. Oleh karena itu, ikatan rangkap tersebut tidak terletak berdampingan tetapi dipisahkan oleh gugus metilen (-CH<sub>2</sub>-).



**Gambar 2.8** Konjugasi dan nonkonjugasi (Sumardjo, 2008)

Dibandingkan dengan asam-asam lemak jenuh, asam lemak tak jenuh ternyata mempunyai titik lebur lebih rendah. Makin tinggi derajat ketakjenuhan asam lemak tersebut, makin rendah titik leburnya. Jumlah asam lemak tak jenuh yang menyusun lipid alami lebih banyak dibandingkan dengan asam lemak jenuh. Asam lemak tak jenuh terdapat sebagai cairan berminyak pada suhu tubuh. Asam oleat, asam linoleat, asam linolenat, dan asam arakidonat adalah asam lemak tak jenuh yang telah lama dikenal (Sumardjo, 2008).

Lemak hewani adalah lemak yang berasal dari otot hewan ternak, seperti sapi, babi, kambing, kerbau, unggas, ikan, dan domba yang mengandung lebih dari 95% ester asam lemak dengan gliserol, sisanya terdiri atas fosfolipid, sterol, asam-asam lemak dan lain-lain (Lehninger, 1994). Lemak hewani sebagian besar mengandung asam palmitat, asam stearat, dan asam oleat pada struktur trigliserida (Winton & Winton, 1937). Komposisi asam lemak babi dan ayam yang dianalisis berdasarkan teknik kromatografi gas disajikan pada Tabel 2.2 (Sardjono, 1999).

**Tabel 2.2** Data komposisi asam lemak pada lemak ayam dan lemak babi yang dianalisis menggunakan teknik kromatografi gas

Asam lemak	Prosentase asam lemak (%)	
	Lemak ayam	Lemak babi
Asam miristat, C14	0.98	Tidak terdeteksi
Asam palmitat, C16	19.70	14.20
Asam palmitoleat, C16:1	4.70	1.02
Asam stearat, C18	12.36	8.35
Asam oleat, C18:1	41.94	38.04
Asam linoleat, C18:2	14.14	18.18
Asam linolenat, C18:3	1.70	2.03
Asam nanodekanoat C19	0.49	Tidak terdeteksi
Asam arakidat, C20	0.10	0.10

Sumber : Sardjono,1999

### 2.6.1 Lemak Ayam

Ayam merupakan hewan vertebrata berdarah panas dengan tingkat metabolisme yang tinggi. Anak ayam umur sehari (*Day Old Chick/DOC*) memiliki temperatur tubuh 39°C. Temperatur tubuh ayam dewasa rata-rata sekitar 40,6–40,7°C (Rasyaf, 1997). Ditinjau dari segi mutu, daging ayam memiliki nilai gizi yang lebih tinggi dibandingkan hewan ternak lainnya. Daging ayam mempunyai kandungan protein yang lebih tinggi, komposisi protein ini sangat baik karena mengandung semua asam amino esensial yang mudah dicerna dan diserap oleh tubuh, akan tetapi daging ayam juga mempunyai kadar lemak yang cukup tinggi dibandingkan hewan ternak lainnya. Lemak pada daging ayam banyak ditemukan di bawah kulit. Kandungan asam lemak tidak jenuhnya juga lebih besar daripada daging hewan lainnya. (Surisdiarto dan Koentjoko, 1990).

Penelitian yang dilakukan Hermanto 2010 tentang analisa profil dan karakteristik beberapa lemak hewani yang dilakukan terhadap tiga jenis sampel jaringan lemak hewani yang meliputi lemak ayam, lemak sapi dan lemak babi. Dalam penelitiannya dihasilkan bahwa kandungan lemak pada ketiga sampel yang diekstraksi menunjukkan sampel daging ayam relatif lebih tinggi dibandingkan dengan lemak sapi dan lemak babi. Perbedaan kadar lemak ini kemungkinan disebabkan karena secara alamiah kandungan lemak pada setiap spesies relatif berbeda. Disamping itu,

perbedaan jenis cuplikan (bagian/jaringan otot daging) yang digunakan juga tidak sama.

**Tabel 2.3** Kadar lemak masing-masing sampel

Sampel	Bobot sampel	Kadar lemak (%)
Daging ayam	498,20 g	10,9
Daging sapi	501,12 g	4,5
Daging babi	502,75 g	8,2

Sumber : Hermanto, 2010

Kandungan asam lemak pada lemak ayam sebagaimana tercantum dalam Tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Komposisi asam lemak pada lemak ayam

Asam lemak	Prosentase asam lemak ayam (%)
Asam kaprilat C8:0	Tidak terdeteksi
Asam kaprat C10:0	Tidak terdeteksi
Asam laurat C12:0	Tidak terdeteksi
Asam miristat C14:0	0.74
Asam palmitoleat C16:1	7.01
Asam palmitat C16:0	27.24
Asam margarat C17:0	Tidak terdeteksi
Asam linoleat C18:2	16.36
Asam oleat C18:1	38.35
Asam stearat C18:0	5.56
Asam arakidonat C20:4	0.87
Asam arakat C20:0	0.41

Sumber : Hermanto, 2010

Sifat fisikokimia pada lemak ayam untuk parameter titik leleh, bilangan iodin dan bilangan penyabunannya, sebagaimana terlihat pada Tabel 2.5 (Hermanto, 2010).

**Tabel 2.5** Sifat fisikokimia lemak ayam

Parameter	Lemak ayam
Bobot jenis (g/mL)	0,8769
Indeks bias	1,461
Titik leleh	34,5
Bilangan Iod	62,81
Bilangan penyabunan	259,77

Sumber : Hermanto, 2010

### 2.6.2 Lemak Babi

Babi adalah sejenis hewan ungulata yang bermuncung panjang dan berhidung leper dan merupakan hewan yang aslinya berasal dari Eurasia. Familia babi adalah Suidae termasuk spesies *Sus barbatus*, *Sus bucculentus*, *sus cebifrons*, *Su celebensis*, *Sus domesticus*, *Sus heureni*, *Sus philippensis*, *Sus salvanius*, *Sus scrofa*, *Sus timoriensis*, *Sus verrucosus*. Babi adalah omnivora, yang berarti mereka mengkonsumsi baik daging maupun tumbuh-tumbuhan (Wijaya, 2009). Bangsa-bangsa babi di dunia telah dikelompokkan menjadi beberapa tipe antara lain *Lard Type* (babi tipe lemak), *Meat Type* (babi tipe pedaging), dan *Bacon Type* (babi tipe sedang). *Lard Type* mempunyai ciri-ciri ukuran tubuh berlebihan, dalam, lebar dan mempunyai kaki pendek. Babi *lard type* (babi tipe lemak) cepat dan mudah menjadi gemuk dan kemampuan dalam pembentukan lemak tinggi (Mangisah, 2003). *Lard* didefinisikan sebagai lemak dalam kondisi segar, bersih, baik untuk kesehatan karena proses pemotongan yang baik dan siap untuk dikonsumsi manusia (Codex Alimentarius Commission, 1991). *Lard* banyak digunakan untuk bahan masakan. Produksi lard per tahun mencapai 5,4 juta ton dengan produsen utama dari Cina, Amerika, dan Jerman (De Leonardis et al, 2007).

Asam lemak yang berasal dari hewan mamalia umumnya mengandung asam lemak jenuh pada posisi pertama dan ketiga, serta asam lemak tidak jenuh pada posisi kedua dari trigliserida (Chacko dan Perkins, 1965). Perbedaan tersebut timbul karena kandungan lemak dan jumlah lemak yang tersebar pada masing-masing otot berbeda (Buckle, 1987). Selain itu, jenis hewan, umur, jenis kelamin,

dan makanan yang diberikan pada ternak akan mempengaruhi komposisi asam lemaknya (Daswyarti, 1990). Komposisi asam lemak dari berbagai jenis ternak disajikan pada Tabel 2.6 (Sardiono, 1999 ; Djalil, 1998).

**Tabel 2.6** Jumlah dan komposisi asam lemak dari beberapa jenis ternak

Jenis ternak	Asam lemak jenuh (%)	Asam lemak tak jenuh (%)
Ayam	34.92	65.08
Babi	27.56	72.44
Kambing	44.33	55.67
Kerbau	51.42	48.58
Sapi	52.01	47.99

Sumber : Sardiono, 1999 ; Djalil, 1998

Pada Tabel 2.6 kandungan asam lemak jenuh dan tidak jenuh dari berbagai jenis ternak. Terlihat bahwa kandungan asam lemak tidak jenuh terbesar adalah pada babi sebesar 72,44% (total dari asam lemak yang terdeteksi) (Sardjono, 1999 ; Djalil, 1998). Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Irwandi, 2003 dimana untuk sampel lemak babi, kandungan asam lemak tidak jenuh ganda (*polyunsaturated fatty acids*) atau PUFA seperti asam linoleat dan asam linolenat jauh lebih besar daripada asam lemak jenuh tunggal (*mono unsaturated fatty acids*) atau MUFA. Komposisi asam lemak pada lemak babi berdasarkan kromatogram disajikan dalam Tabel 2.7 (Hermanto, 2010).

**Tabel 2.7** Komposisi asam lemak pada lemak babi

Asam lemak	Prosentase asam lemak babi (%)
Asam kaprilat C8:0	0.01
Asam kaprat C10:0	0.04
Asam laurat C12:0	0.1
Asam miristat C14:0	1.07
Asam palmitoleat C16:1	1.78
Asam palmitat C16:0	7.01
Asam margararat C17:0	0.5
Asam linoleat C18:2	24.94
Asam oleat C18:1	40.74
Asam stearat C18:0	13.95
Asam arakidonat C20:4	0.43
Asam arakat C20:0	0.3

Sumber : Hermanto, 2010

Sifat fisikokimia pada lemak babi untuk parameter titik leleh, bilangan iodin dan bilangan penyabunannya, sebagaimana terlihat pada Tabel 2.8 (Hermanto, 2010).

**Tabel 2.8** Sifat fisikokimia lemak babi

Parameter	Lemak babi
Bobot jenis (g/mL)	0,8940
Indeks bias	1,462
Titik leleh	36,0
Bilangan Iod	72,69
Bilangan penyabunan	257,70

Sumber : Hermanto, 2010

Berdasarkan Tabel 2.8 di atas, besarnya titik leleh disebabkan oleh komposisi asam lemak pada sampel lemak ayam. Banyaknya asam lemak jenuh dan asam lemak berantai panjang akan memberikan kontribusi yang nyata bagi peningkatan titik leleh lemak secara keseluruhan (J.M. de Man, 1999). Hal yang sama juga berlaku pada nilai bilangan iod dan bilangan penyabunan, dimana komposisi asam lemak tidak jenuh pada setiap sampel akan berkontribusi pada peningkatan harga bilangan iodnya, sedangkan perbedaan komposisi asam lemak (rantai pendek, sedang dan panjang) akan sangat berpengaruh terhadap harga bilangan penyabunannya (Paquot C., 1999).

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

##### 3.1.1 Tempat penelitian

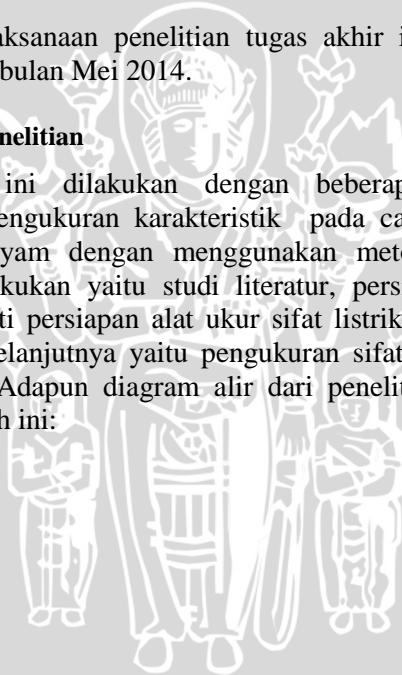
Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium biofisika dan di laboratorium elektronika dan instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya Malang.

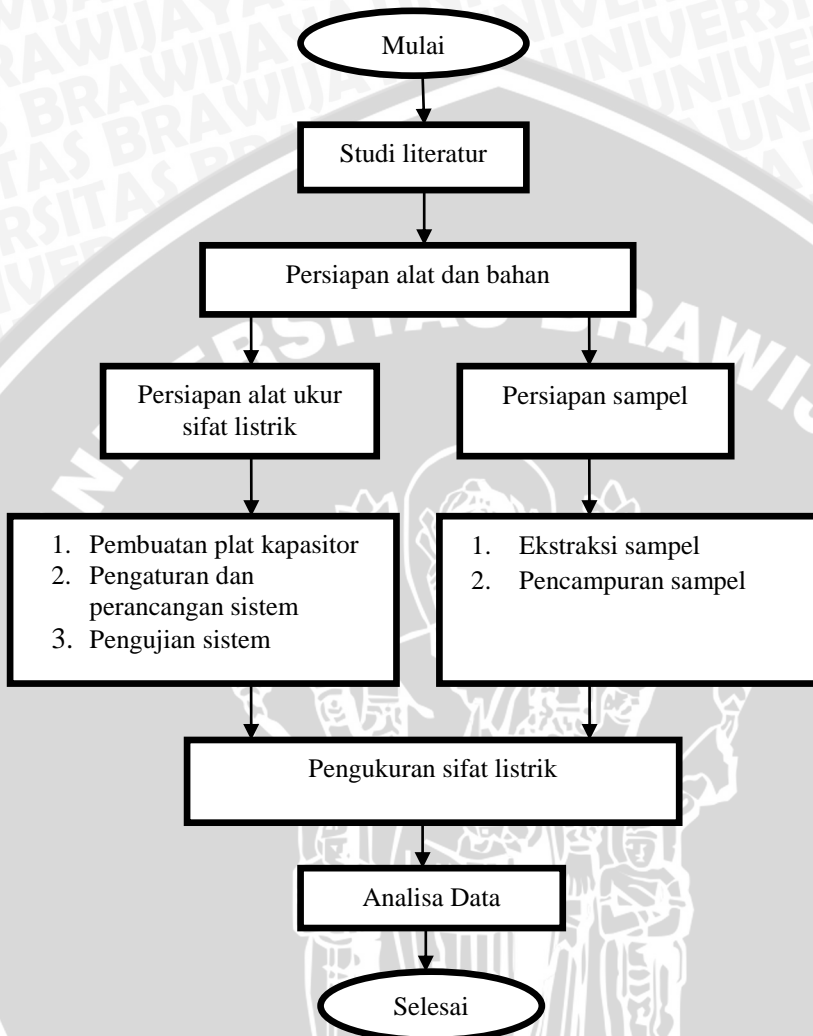
##### 3.1.2 Waktu penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian tugas akhir ini pada bulan Maret 2014 sampai bulan Mei 2014.

#### 3.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap dan perlakuan dalam pengukuran karakteristik pada campuran lemak babi dan lemak ayam dengan menggunakan metode dielektrik. Tahapan yang dilakukan yaitu studi literatur, persiapan alat dan bahan yang meliputi persiapan alat ukur sifat listrik dan persiapan sampel. Tahapan selanjutnya yaitu pengukuran sifat listrik sampel dan analisis data. Adapun diagram alir dari penelitian ini seperti Gambar 3.1 dibawah ini:





**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian



### 3.3 Persiapan Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu LCR meter GW-instek seri 816, LCR konektor L dan H, PCB tembaga, solder, kawat tembaga, kabel tunggal, penggaris, alteco, gunting, pisau, pirex, corong kaca, toples kaca, gelas ukur, *microwave*, *magnetic stirrer*, spatula, kain saring, kertas karbon, dan mikropipet. Bahan yang digunakan meliputi lemak ayam, lemak babi dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhidrat.

#### 3.3.1 Persiapan alat ukur listrik

Persiapan alat ukur listrik dilakukan dengan beberapa tahap yaitu pembuatan plat kapasitor, pengaturan dan perancangan sistem, pengujian sistem.

##### a.) Pembuatan Plat Kapasitor

Plat kapasitor dibuat dari lempengan tembaga yang dipotong berdasarkan ukuran yang telah ditentukan. Plat kapasitor didesain menggunakan dua buah keping PCB tembaga dengan ukuran masing-masing 20 x 10 mm yang diletakkan secara sejajar dengan diberikan jarak pemisah sepanjang 5 mm menggunakan bahan isolator. Setelah ukuran ditentukan, plat kapasitor PCB dipotong menggunakan alat pemotong PCB atau dapat menggunakan gunting. Potongan PCB sesuai ukuran yang digunakan direkatkan menggunakan alteco. Bagian PCB yang panjangnya berukuran 20 mm dilakukan penambahan ukuran 2 mm untuk disambung dengan kabel yang disolder langsung pada plat kapasitor yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.

PCB Tembaga (20 mm x10 mm)

Isolator (5 mm x 10mm)

Alas Isolator

Kabel ke LCR meter

Handle Grip

**Gambar 3.2** Plat kapasitor

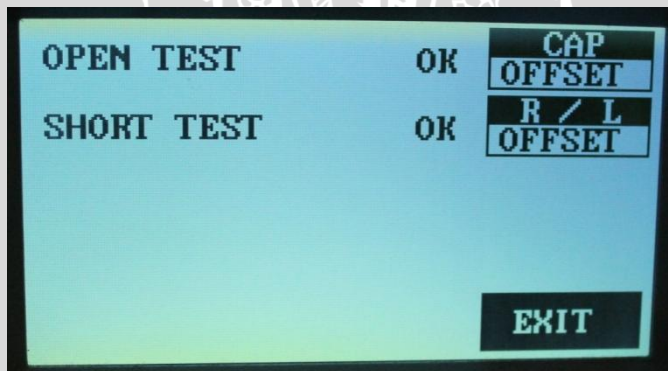
Fungsi dari penyambungan plat kapasitor dengan kabel adalah sebagai penghubung antara plat kapasitor dengan konektor LCR meter L dan H yang akan disambung dengan penjepit yang ada pada konektor. Selanjutnya, LCR meter dirangkai dengan konektor *dual probe* dimana konektor LCR meter dipasang sesuai dengan tanda L dan H. Pada saat pemasangan harus dipastikan bahwa konektor tersambung dan terkunci dengan benar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Rangkaian plat kapasitor dengan konektor LCR meter

b.) Pengaturan perancangan sistem

Pengaturan perancangan sistem pada LCR meter meliputi kalibrasi, *Zeroing* dan *Warming up*. LCR meter dihidupkan terlebih dahulu, kemudian dilakukan kalibrasi pada LCR meter dengan cara tekan menu, pilih setting, dan tekan recall calibration, ditunggu sampai bar hitam penuh dan muncul tulisan ok. *Zeroing* pada LCR meter dilakukan dengan cara menekan menu, pilih Off Set kemudian pilih open test, yang dimaksud dengan open test adalah keadaan dimana kabel konektor L dan H tidak tersambung dengan apapun. Ditunggu sampai bar hitam penuh dan muncul tanda ok. Kemudian tahap *Zeroing* berikutnya yaitu short test dimana kabel konektor L dan H disambung dengan kawat tembaga yang pendek, ditunggu sampai bar hitam penuh dan muncul tanda ok yang ditunjukkan pada Gambar 3.4. *Zeroing* pada LCR meter dilakukan agar pengukuran yang dilakukan tidak terjadi error dari kabel konektor L dan H dan lebih akurat.



**Gambar 3.4** Proses *Zeroing*

Proses *Warming Up* dilakukan dengan cara mereset value atau besaran yang akan diukur. Proses ini berfungsi untuk pemanasan alat agar lebih sensitif pada saat digunakan. Output yang kita gunakan dalam pengukuran menggunakan LCR meter ini yaitu besaran kapasitansi dan resistansi. Pengukuran dilakukan dengan kecepatan pengukuran lambat pada suatu komponen yang sudah diketahui besarnya kapasitansi dan resistansinya. Frekuensi

pengukuran yang diberikan dapat diubah mulai dari frekuensi terkecil hingga terbesar dengan cara menekan tombol freq kemudian dimasukkan nilai frekuensi yang diinginkan dan tekan tombol enter. Pengukuran dapat dilakukan dengan kecepatan berubah-ubah sesuai dengan keinginan untuk merespon alat yaitu mulai dari *slow*, *medium* dan *fast*, dan LCR meter siap digunakan. Perancangan sistem pengukuran dilakukan sedemikian rupa.

c.) **Pengujian Sistem**

Pengujian sistem bertujuan untuk mengetahui keakuratan dari sistem pengukuran yang harus sesuai dengan standar pengukuran plat tembaga sejajar atau metode dielektrik. Pengujian sistem dilakukan pada sistem pengukuran yang tersusun dari LCR meter, konektor L dan H, serta plat tembaga paralel. Standarisasi dilakukan dengan mengukur nilai konstanta dielektrik udara yang disesuaikan dengan literatur yang sesuai keadaan pengukuran. Pengukuran konstanta dielektrik udara berdasarkan pengukuran kapasitansi yang dilakukan pada plat kapasitor berukuran 20 x 10 mm berjarak 5 mm.

### 3.3.2 **Persiapan Sampel**

Persiapan sampel dilakukan dengan beberapa tahap yaitu ekstraksi sampel dan pencampuran sampel.

a.) **Ekstraksi Sampel**

Sampel lemak ayam dan lemak babi yang diperoleh dari wilayah Pasuruan. Sampel lemak ayam diperoleh dari pasar tradisional dan sampel lemak babi diperoleh dari rumah pemotongan hewan khusus babi.

Lemak ayam dan lemak babi yang didapatkan dibersihkan terlebih dahulu kemudian dipotong-potong dan dimasukkan kedalam pirex. Sampel lemak ayam dan lemak babi diekstraksi dari jaringan lemak babi dan ayam menggunakan microwave dengan pemanasan pada suhu medium sekitar 10 menit. Lemak yang meleleh dikumpulkan dan disaring melalui kain saring. Kemudian ditambahkan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhidrat pada lemak cair. Ditunggu hingga ada endapan yang menunjukkan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  telah jenuh mengikat air dari

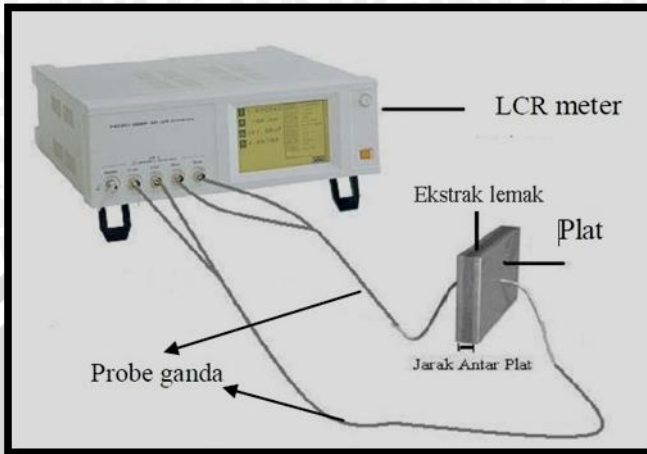
lemak yang sebelumnya tanpa endapan. Kemudian lemak yang masih cair segera dipisahkan dari endapan, dimasukkan ke botol berwarna gelap hingga penuh, dan ditutup rapat untuk meminimalkan kontak dengan udara. Lemak ini dijadikan sediaan untuk diukur sifat listriknya dalam rentang frekuensi tertentu.

b.) **Pencampuran Sampel**

Sampel dari lemak ayam dan lemak babi yang telah diekstraksi dicampur dengan persentase tertentu. Adapun persentase campuran lemak ayam dan lemak babi berturut-turut sebesar 100%,0%; 0%,100%; 99,5%,0,5%; 99%,1%; 95%,5%; 90%,10%; 80%,20%; 70%,30%; 60%,40%; dan 50%,50%. Proses pencampuran lemak ayam dengan lemak babi menggunakan mikropipet, kemudian campuran sampel tersebut ditempatkan pada botol kaca. Setelah sampel lemak ayam dan lemak babi tercampur langkah selanjutnya yaitu mengaduk campuran lemak ayam dan lemak babi menggunakan *magnetic stirer* selama 30 detik agar campuran sampel tersebut bisa homogen.

**3.2.3 Pengukuran Sifat Listrik**

Sampel yang telah siap dimasukkan ke dalam plat tembaga dengan ukuran 20 mm x 10 mm berjarak 5 mm menggunakan pipet. Plat kapasitor dihubungkan dengan penjepit pada konektor LCR meter. Seperti pada rangkaian alat yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5** Skema rangkaian sistem pengukuran

Plat kapasitor dihubungkan dengan LCR meter untuk mengukur sifat listrik sampel meliputi kapasistansi (nF) dan konstanta dielektrik. Pengukuran dilakukan di suhu ruang sekitar 26-27 °C. Nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon'$ ) sampel dihitung dengan persamaan berikut:

$$\epsilon' = \frac{C_p d}{A \epsilon_0} \dots \dots \dots (3.1)$$

$C_p$  adalah kapasistansi bahan (nF),  $d$  adalah jarak keeping sejajar (m),  $A$  adalah luas keping (m<sup>2</sup>) dan  $\epsilon_0$  adalah permitivitas ruang hampa =  $8.85 \times 10^{-12}$  (F/m).

### 3.2.4 Analisis Data

Dari hasil pengukuran sifat listrik campuran lemak ayam dan lemak babi berturut-turut sebesar 100%,0%; 0%,100%; 99,5%,0,5%; 99,1%; 95,5%; 90%,10%; 80%,20%; 70%,30%; 60%,40%; dan 50%,50% didapatkan data kapasitansi. Dari hasil tujuh kali pengukuran kapasitansi dapat dihitung rata-rata dari nilai kapasitansi, yaitu dengan menjumlahkan tujuh data terukur dari masing-masing

besaran dibagi dengan jumlah data. Dari nilai kapasitansi yang diukur dan dihitung dapat dihasilkan nilai rata-rata kapasitansi. Setelah didapatkan hasil pengukuran meliputi kapasitansi (C), luas penampang plat kapasitor tembaga (A), jarak antar plat (d), dan besar permitivitas udara yaitu  $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$  F/m dapat dilakukan perhitungan untuk mencari nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon'$ ). Analisis data yang dilakukan bertujuan untuk menggambarkan hubungan antara sifat listrik konstanta dielektrik yang didapat dengan frekuensi pengukuran. Nilai konstanta dielektrik diplotkan terhadap frekuensi, selanjutnya dilakukan analisa dengan metode *trendline* untuk mengetahui kecenderungan hubungan data antara konstanta dielektrik dengan frekuensi yang selanjutnya akan dikomparasikan dengan teori dari literatur yang ada.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

**Halaman ini sengaja dikosongkan**



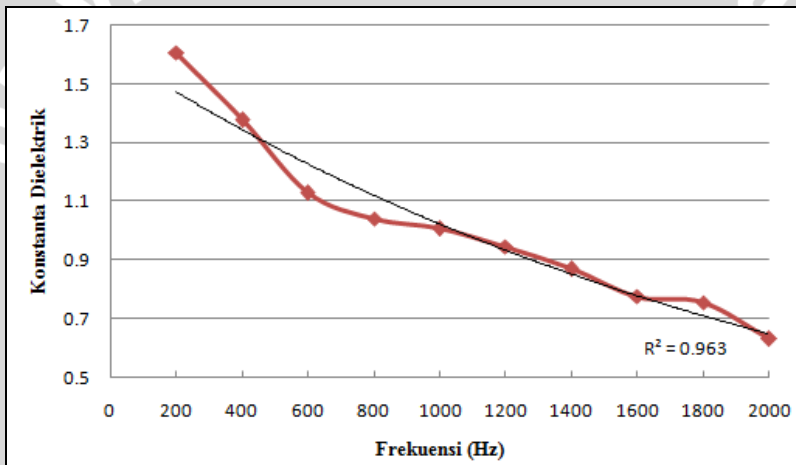


## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Karakteristik Dielektrik Udara Pada Berbagai Frekuensi

Pada hasil pengujian alat yang dilakukan pada LCR meter GW-instek seri 816 yang digunakan dengan plat tembaga paralel berukuran ukuran 20 mm x 10 mm berjarak 5 mm. Dihasilkan nilai konstanta dielektrik pada berbagai frekuensi yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut :



**Gambar 4.1** Grafik hubungan frekuensi dan konstanta dielektrik pada udara

Grafik pada Gambar 4.1 menunjukkan hubungan nilai frekuensi yang diberikan dengan konstanta dielektrik. Didapat nilai konstanta dielektrik berkisar antara 1,606205273 – 0,630047081. Terjadi penurunan nilai konstanta dielektrik dengan semakin besarnya frekuensi yang diberikan. Nilai konstanta dielektrik udara diperoleh dari pengukuran nilai kapasitansi, setelah itu dihitung menggunakan persamaan 3.1.

Sesuai dengan teori yaitu nilai konstanta dielektrik pada hampa udara yaitu sebesar 1 dan nilai konstanta dielektrik udara

standar pada frekuensi di bawah 1000 Hz yaitu sebesar 1,00054 (Halliday dan Resnick,1978). Pada hasil pengukuran konstanta dielektrik udara yang telah dilakukan hasil yang paling mendekati adalah konstanta dielektrik pada frekuensi 1000 Hz yaitu 1,00564. Frekuensi terbaik yang telah disesuaikan untuk pengukuran konstanta dielektrik dengan plat tembaga sejajar yaitu 1000 Hz (Martinsen, 2000). Dari hasil pengukuran nilai konstanta dielektrik udara yang berdasarkan kapasitansinya yang telah dilakukan dapat dikatakan bahwa pengujian alat atau standarisasi alat LCR meter sudah tepat dan dapat digunakan untuk mengukur karakteristik biolistrik.

#### 4.2 Konstanta Dielektrik Lemak Ayam

Penelitian ini bertujuan untuk membuktikan bahwa metode dielektrik mampu mengukur konstanta dielektrik lemak ayam. Pengukuran nilai konstanta dielektrik lemak ayam dilakukan dengan mengukur nilai kapasitansi pada jangkauan frekuensi 100-2000 Hz dengan interval pengukuran setiap 50 Hz. Hasil dari pengukuran ini selanjutnya dihitung dengan menggunakan persamaan 3.1 sehingga dihasilkan nilai konstanta dielektrik seperti pada tabel 4.1 berikut :

**Tabel 4.1** Nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik lemak ayam

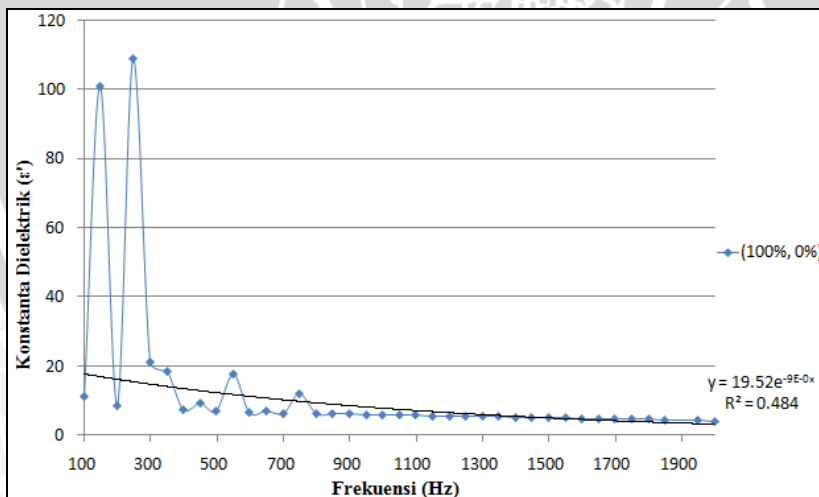
No.	Frekuensi (nF)	Kapasitansi (C)	Konstanta dielektrik ( $\epsilon'$ )
1.	100	0.004074	11.26311542
2.	150	0.031398	101.1057304
3.	200	0.003072	8.656174334
4.	250	0.033222	108.9426957
5.	300	0.007976	21.23890234
6.	350	0.006134	18.39790153
7.	400	0.002656	7.356739306
8.	450	0.003114	9.285714286
9.	500	0.002456	6.900726392

No.	Frekuensi (nF)	Kapasitansi (C)	Konstanta dielektrik ( $\epsilon'$ )
10.	550	0.006452	17.56255044
11.	600	0.002364	6.638418079
12.	650	0.00232	7.05811138
13.	700	0.002238	6.259079903
14.	750	0.00425	12.05004036
15.	800	0.002208	6.237288136
16.	850	0.002196	6.203389831
17.	900	0.00216	6.101694915
18.	950	0.002124	6
19.	1000	0.002106	5.949152542
20.	1050	0.002066	5.836158192
21.	1100	0.00204	5.762711864
22.	1150	0.002012	5.683615819
23.	1200	0.001984	5.604519774
24.	1250	0.00195	5.508474576
25.	1300	0.00192	5.423728814
26.	1350	0.0019	5.367231638
27.	1400	0.001868	5.276836158
28.	1450	0.001824	5.152542373
29.	1500	0.001806	5.101694915
30.	1550	0.001776	5.016949153
31.	1600	0.001746	4.93220339
32.	1650	0.001716	4.847457627
33.	1700	0.001678	4.740112994
34.	1750	0.00165	4.661016949
35.	1800	0.001624	4.587570621

No.	Frekuensi (nF)	Kapasitansi (C)	Konstanta dielektrik ( $\epsilon'$ )
36.	1850	0.001584	4.474576271
37.	1950	0.001534	4.333333333
38.	2000	0.001382	3.903954802

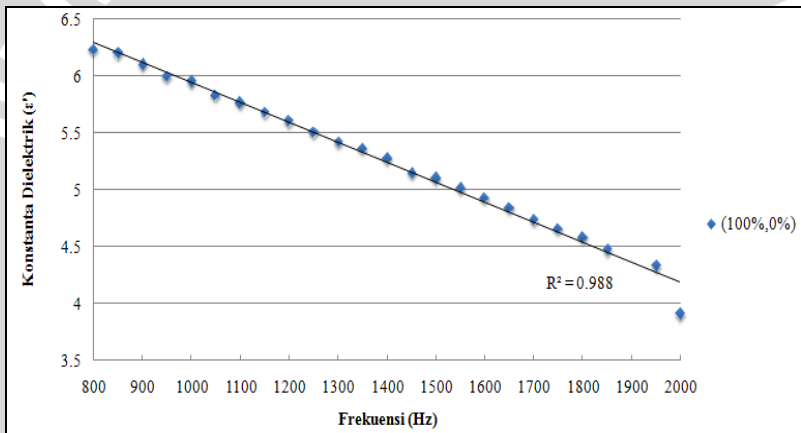
Didapatkan hasil bahwa nilai kapasitansi lemak ayam menurun seiring dengan semakin besarnya nilai frekuensi. Semakin besar frekuensi maka semakin banyak gelombang yang ditransmisikan tiap detiknya, sebelum kapasitor terisi penuh arah arus listrik sudah berbalik sehingga terjadi pengosongan muatan dalam kapasitor dengan cepat, yang mengakibatkan muatan dalam kapasitor semakin berkurang dan kemampuan kapasitor untuk menyimpan muatan semakin kecil. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian terdahulu yang terkait kapasitansi lemak babi, lemak sapi, dan minyak goreng sawit pada frekuensi 4,20-5,00 MHz (Sucipto. 2013).

Dari hasil dari pengukuran nilai konstanta dielektrik lemak ayam pada Tabel 4.1 dihasilkan grafik hubungan antara frekuensi dan konstanta dielektrik pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Hubungan frekuensi dan konstanta dielektrik lemak ayam (range frekuensi 100 - 2000 Hz)

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai konstanta dielektrik pada frekuensi 100 – 750 Hz tidak konstan dan tidak stabil meskipun telah dilakukan pengulangan pengukuran data sebanyak tujuh kali namun data yang dihasilkan tidak banyak berubah. Hal ini membuat data sulit dianalisa dan perlu penelitian yang lebih mendalam sehingga untuk penelitian kali ini difokuskan pada range frekuensi 800 – 2000 Hz. Adapun grafik hubungan konstanta dielektrik dengan frekuensi pada range 800 – 2000 Hz dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.



**Gambar 4.3** Hubungan frekuensi dan konstanta dielektrik lemak ayam

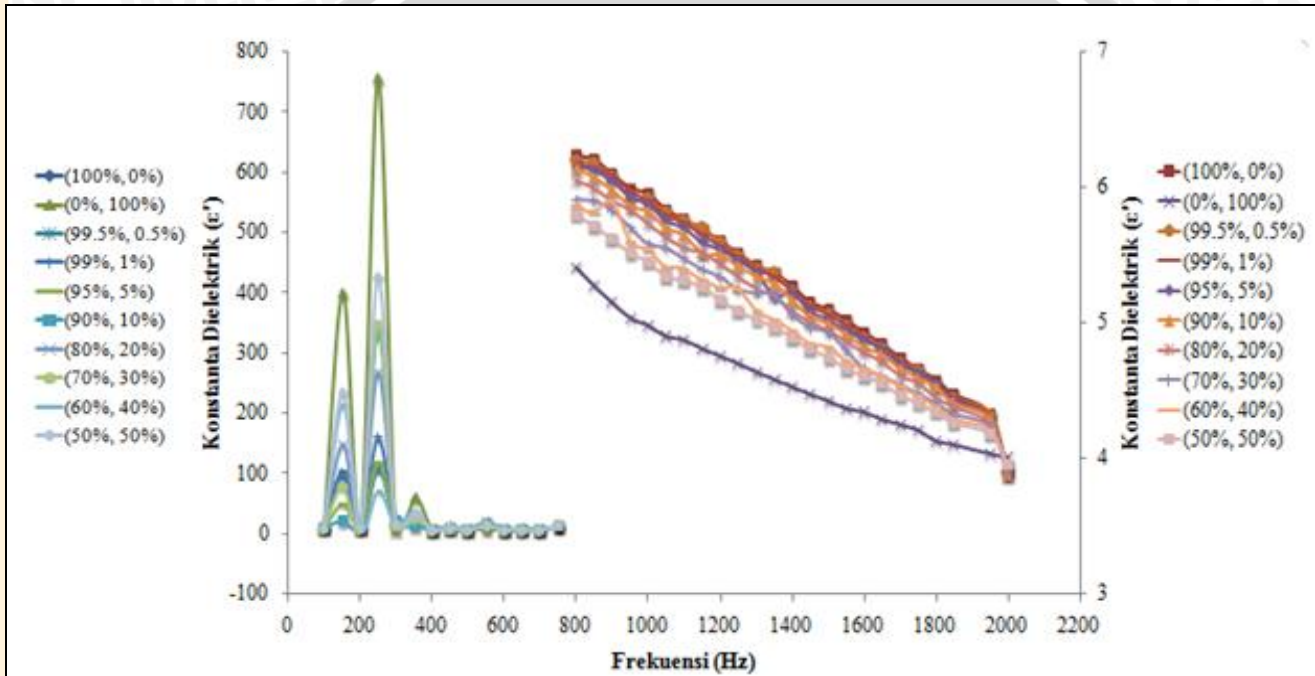
Penurunan nilai konstanta dielektrik pada Gambar 4.3 ini merupakan salah satu keterkaitan sifat dielektrik dengan nilai kapasitansi dari Tabel 4.1. Perubahan nilai konstanta dielektrik dipengaruhi oleh frekuensi yang diberikan. Semakin bertambahnya nilai frekuensi yang diberikan mengakibatkan nilai konstanta dielektrik semakin menurun, hal ini diakibatkan oleh momen dipol yang berubah kesearahannya diakibatkan oleh frekuensi yang tinggi. Hasil penelitian ini mirip dengan hasil riset sebelumnya yang terkait

dengan konstanta dielektrik lemak babi, lemak sapi, dan minyak goreng sawit pada frekuensi 4,20-5,00 MHz (Sucipto, 2013).

Konstanta dielektrik bahan sangat dipengaruhi oleh komposisi bahan yaitu komposisi asam lemaknya. Komposisi asam lemak ayam yang dominan mempengaruhi konstanta dielektrik yaitu asam oleat, asam palmitat, asam linoleat dan asam stearat (Sardjono,1999). Asam lemak dominan akan mempengaruhi kemampuan perpindahan elektron dari satu posisi ke posisi lain saat diberikan frekuensi tertentu pada medan listrik. Selain itu nilai konstanta dielektrik sampel juga dipengaruhi oleh komposisi asam lemak tidak jenuh. Pernyataan ini sesuai hasil penelitian konstanta dielektrik lemak pangan dan asam lemak pada frekuensi 100 kHz – 1 MHz (Lizhi *et al*, 2008). Hal ini menunjukkan bahwa nilai konstanta dielektrik lemak ayam dapat diukur dengan menggunakan metode dielektrik.

#### **4.3 Pengaruh Campuran Lemak Babi terhadap Nilai Konstanta Dielektrik Lemak Ayam**

Pengukuran nilai konstanta dielektrik campuran lemak babi pada lemak ayam dilakukan dengan mengukur nilai kapasitansi pada jangkauan frekuensi 100-2000 Hz dengan interval pengukuran setiap 50 Hz. Adapun persentase campuran lemak ayam dan lemak babi berturut-turut sebesar 100%,0%; 0%,100%; 99,5%,0,5%; 99%,1%; 95%,5%; 90%,10%; 80%,20%; 70%,30%; 60%,40%; dan 50%,50%. Hasil dari pengukuran ini selanjutnya dihitung dengan menggunakan persamaan 3.1 sehingga dihasilkan nilai konstanta dielektrik yang dapat dilihat pada lampiran 2. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, dihasilkan data berupa grafik hubungan antara frekuensi dengan konstanta dielektrik pada campuran lemak babi dan lemak ayam yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 beriku

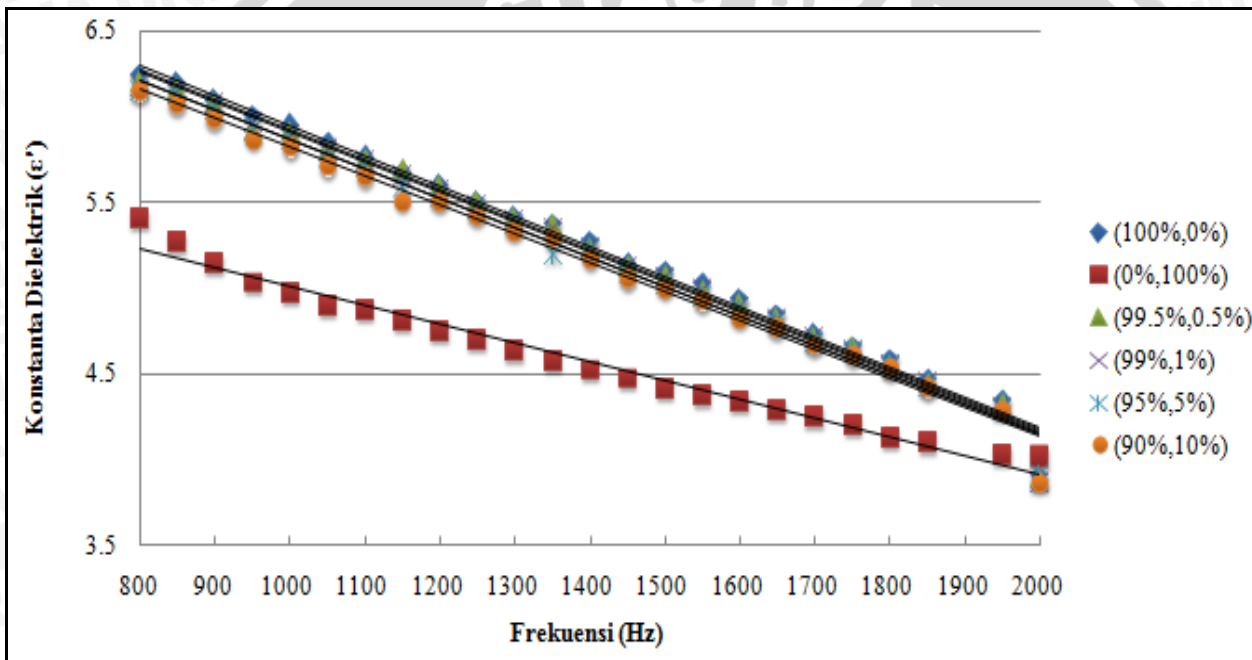


**Gambar 4.4** Hubungan frekuensi dan konstanta dielektrik pada campuran lemak babi dan lemak ayam (range frekuensi 100 - 2000 Hz)

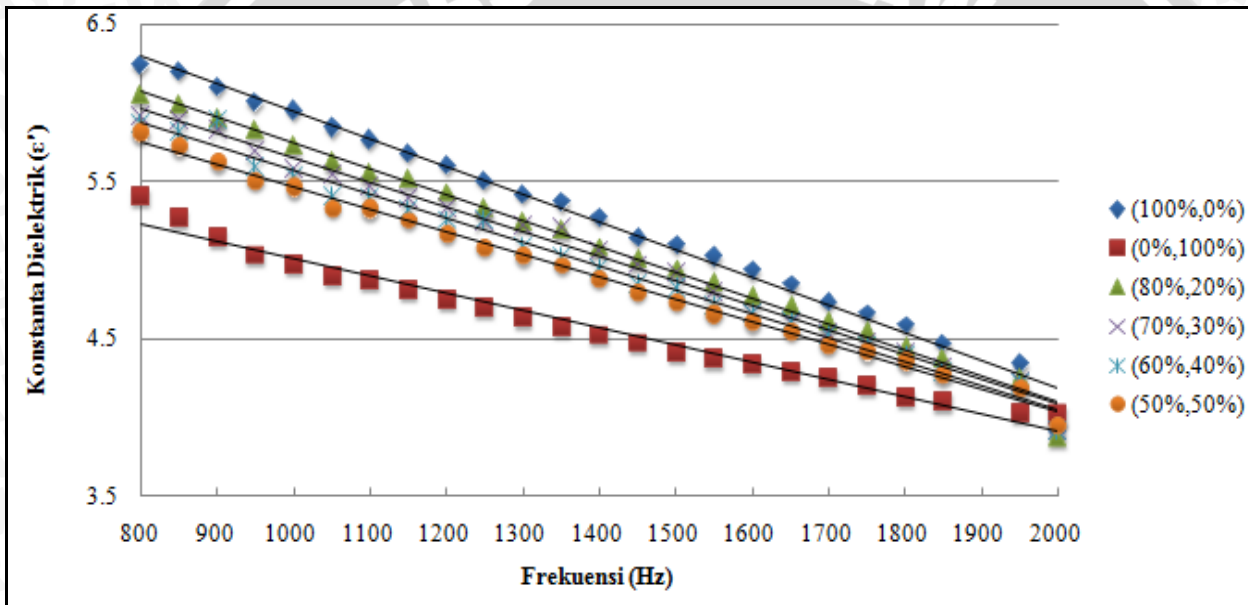
Dari grafik campuran lemak babi pada lemak ayam diatas dapat dilihat secara visual bahwa nilai konstanta dielektrik pada frekuensi 100 – 750 Hz cenderung acak dan tidak stabil, meskipun telah dilakukan pengulangan pengukuran data sebanyak tujuh kali namun data yang dihasilkan tidak banyak berubah. Hal ini menyulitkan dalam proses analisa data dan termasuk dalam kondisi *anomali* dan diperlukan penelitian yang lebih mendalam sehingga untuk penelitian kali ini difokuskan pada range frekuensi 800 – 2000 Hz. Adapun grafik hubungan konstanta dielektrik dengan frekuensi pada range 800 – 2000 Hz dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut.







(a)



(b)

**Gambar 4.5** Hubungan frekuensi dan konstanta dielektrik pada campuran lemak babi dan lemak ayam

Penurunan nilai konstanta dielektrik pada Gambar 4.5 ini merupakan salah satu keterkaitan sifat dielektrik dengan nilai kapasitansi. Konstanta dielektrik bahan sangat dipengaruhi oleh komposisi bahan yaitu komposisi asam lemaknya. Komposisi asam lemak yang dominan mempengaruhi konstanta dielektrik bahan lemak babi terutama yaitu asam oleat, asam palmitat, asam linoleat dan asam stearat (Sardjono,1999 dan Sucipto, 2013). Pada lemak ayam komposisi asam lemak yang dominan mempengaruhi konstanta dielektrik yaitu asam oleat, asam palmitat, asam linoleat dan asam stearat (Sardjono,1999).

Komposisi asam lemak tidak jenuh dan asam lemak jenuh pada lemak ayam dan lemak babi menunjukkan adanya perbedaan. Lemak ayam terdeteksi terdapat asam lemak jenuh sebanyak 34,92% dan asam lemak tidak jenuh sebanyak 65,08% sedangkan pada lemak babi terdeteksi terdapat asam lemak jenuh sebanyak 27,56% dan asam lemak tidak jenuh sebanyak 72,44% (Sardjono,1999). Diketahui komposisi asam lemak tak jenuh pada lemak ayam lebih kecil daripada lemak babi (Sardjono,1999). Komposisi asam lemak tersebut yang menyebabkan adanya perbedaan nilai konstanta dielektrik pada sampel. Oleh karena itu semakin meningkatnya nilai konsentrasi campuran lemak babi mengakibatkan nilai konstanta dielektrik lemak ayam menurun. Hasil ini sesuai dengan pengukuran nilai kapasitansi bahwa nilai kapasitansi campuran lemak tertinggi diperoleh dari persentase lemak ayam 99,5% dan lemak babi 0,5% pada frekuensi awal, yakni 800 Hz. Sedangkan nilai kapasitansi terendah diperoleh dari campuran lemak dengan persentase lemak ayam 50% dan lemak babi 50% (data lebih lengkap bisa dilihat pada lampiran 2). Hasil ini menunjukkan bahwa dengan semakin besar persentase kandungan lemak babi maka nilai kapasitansi semakin kecil. Selain itu, penurunan nilai kapasitansi terhadap kenaikan nilai frekuensi juga disebabkan oleh adanya bahan dielektrik. Keberadaan bahan dielektrik campuran lemak babi dan lemak ayam di tengah kapasitor cenderung menyebabkan lemahnya medan listrik sehingga kapasitansi yang dihasilkan saat diberikan frekuensi yang lebih besar semakin menurun. Dikarenakan kapasitansi berbanding lurus dengan konstanta dielektrik maka nilai konstanta dielektrik pun juga menurun seiring meningkatnya frekuensi. Selain itu, hal ini

dikarenakan pada komposisi campuran lemak, konsentrasi asam lemak dari lemak ayam semakin berkurang dan digantikan dengan asam lemak babi sehingga nilai konstanta dielektrik yang teridentifikasi semakin kecil.

Dari Gambar 4.5 diatas dapat dilihat bahwa penurunan nilai konstanta dielektrik terhadap rentang frekuensi cenderung membentuk pola linear. Adapun persamaan dari masing-masing garis dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

**Tabel 4.2** Persamaan garis pada grafik hubungan frekuensi dan konstanta dielektrik campuran lemak babi pada lemak ayam

Campuran lemak ayam dan lemak babi	Persamaan garis	R <sup>2</sup>
(100%,0%)	$y = -0.001x + 7.700$	0.988
(0%,100%)	$y = -0.001x + 6.106$	0.978
(99.5%,0.5%)	$y = -0.001x + 7.664$	0.988
(99%,1%)	$y = -0.001x + 7.656$	0.988
(95%,5%)	$y = -0.001x + 7.579$	0.989
(90%,10%)	$y = -0.001x + 7.503$	0.988
(80%,20%)	$y = -0.001x + 7.393$	0.991
(70%,30%)	$y = -0.001x + 7.217$	0.991
(60%,40%)	$y = -0.001x + 7.096$	0.989
(50%,50%)	$y = -0.001x + 6.893$	0.996

Dari Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa persamaan garis dari masing-masing komposisi lemak memiliki nilai gradient minus. Hal ini menunjukkan adanya kecenderungan (trend) berupa penurunan nilai konstanta dielektrik terhadap peningkatan nilai frekuensi pada semua komposisi lemak. Selain itu, dilihat dari nilai keakuratan (*goodness of fit*) didapatkan bahwa kecenderungan penurunan nilai konstanta dielektrik terhadap peningkatan frekuensi dengan pola paling linear didapatkan dari campuran lemak ayam 50% dan lemak babi 50% dengan nilai keakuratan (R<sup>2</sup>) sebesar 99,6%. Sedangkan nilai keakuratan paling rendah yakni sebesar 97,8% terdapat pada kandungan lemak babi 100%. Nilai keakuratan yang tinggi menunjukkan bahwa variable independen berupa frekuensi

berpengaruh secara dominan terhadap variable dependen berupa konstanta dielektrik. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa peningkatan konsentrasi campuran lemak babi pada lemak ayam mengakibatkan nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik lemak ayam semakin menurun dengan kecenderungan linier.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil penelitian telah dilakukan pengukuran konstanta dielektrik ( $\epsilon'$ ) dengan menggunakan LCR meter GW-Instek seri 816 dengan range frekuensi antara 800 Hz – 2000 Hz diperoleh kesimpulan bahwa:

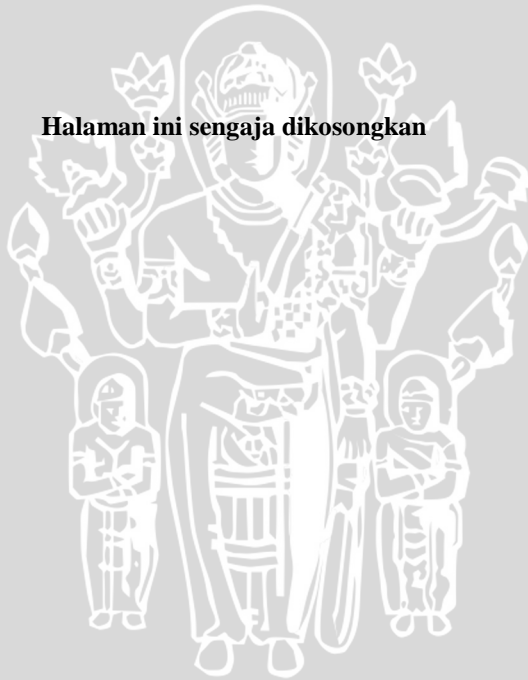
1. Metode dielektrik mampu mengukur konstanta dielektrik lemak ayam dengan rentang nilai 6.237288136 - 3.903954802.
2. Pada pengukuran campuran lemak babi pada lemak ayam dengan persentase campuran sebesar 100%,0%; 0%,100%; 99,5%,0,5%; 99%,1%; 95%,5%; 90%,10%; 80%,20%; 70%,30%; 60%,40%; dan 50%,50% diperoleh kesimpulan bahwa peningkatan konsentrasi campuran lemak babi yang diberikan menyebabkan penurunan nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik lemak ayam dengan kecenderungan linier.

#### **5.2 Saran**

Penelitian lebih lanjut sebaiknya juga diukur sifat biolistrik meliputi impedansi dan konduktansi dengan jangkauan frekuensi yang lebih luas sehingga hasil prediksi campuran lemak babi lebih akurat. Selain itu perlu dilakukan penelitian yang lebih mendalam untuk menganalisa nilai konstanta dielektrik pada range frekuensi 100 – 750 Hz sehingga karakteristik kelistrikan menggunakan metode dielektrik pada frekuensi rendah dapat dipahami dengan baik.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

**Halaman ini sengaja dikosongkan**



## DAFTAR PUSTAKA

- Benavente J, Garcia j M, Riley R, Lozano A E, Abajo J. 2000. *Sulfonated Poly (ether ether sulfones) Characterization and Study of Dielectrical Properties by Impedance Spectroscopy*. J membran sciene 175:43-52.
- Buckle, K.A. 1987. *Food Science*. Terjemahan H. Purnomo & adiono. UI Press. Jakarta.
- Castro-Giraldez M, Chenoll C, Fito P J, Toldra F, Fito P. 2010. *Physical Sensors for Quality Control During Processing*. In Toldra. F. Handbook of meat processing. Wiley-Blackell. A John Wiley & Sons, Inc.
- Codex Alimentarius Commission, 1991. *Codex Standard for Named Animal Fats*. Codex stan 211-1999, Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome.
- Damez JL, Clerjon S. 2008. *Meat Quality Assessment Using Biophysical Methods Related to Meat Structure*. Meat Sci. 80 (1):132-149.
- Daswyarti. B. 1990. *Identifikasi Komposisi Asam Lemak Hewani dan Minyak Nabati Melalui Teknik Kromatografi Gas*. Skripsi. Jurusan Teknologi Pangan dan Gizi FATETA IPB, Bogor.
- De Leonardis, A., Macciola, V., Lembo, G., Aretini, A. and Nag, A. 2007. *Studies on Oxidative Stabilization of Lard by Natural Antioxidant Recovered from Olive-Oil Mill Wastewater*. Food Chemistry 100: 998 – 1004.
- Djalil, A.D. 1998. *Komposisi Asam Lemak Total dari Lemak Beberapa Spesies Hewan pada Berbagai Pemanasan*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Giancoli,Douglas C. 2001. *Fisika Jilid 2 Edisi Kelima (Diterjemahkan Oleh Yuliza Hanum)*. Erlangga. Jakarta.
- Gitter, Alfred H. 2007. *the Electrical Impedance of Ephetelia*. [http://www.charite.de/klinphysio/themen\\_agh/impedance\\_e.htm](http://www.charite.de/klinphysio/themen_agh/impedance_e.htm). diakses pada tanggal 25 Juni 2013.
- Halliday, D dan Resnick, R. 1978. *Physics*. John Wiley & Sons, Inc. New York.



- Harmen, A.H. TAmbunan. Edy H., dan I Dewa M. S. 2001. *Rancang Bangun Alat dan Pengukuran Nilai Dielektrik pada Kisaran Frekuensi Radio*. Buletin Keteknikan Pertanian, 15(2), pp: 100-110.
- Hayt, William H. 1986. *Elektromagnetika Teknologi Jilid I Edisi Keempat*. Erlangga. Jakarta.
- Hermanto Sandra. 2010. *Profil dan Karakteristik Lemak Hewan (Ayam, Sapid an Babi)*. Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Hermawan. 2005. *Monitoring Kadar Air Tanah Melalui Pengukuran Sifat Dielektrik pada Lahan Jagung*. JIPI. 7: 15-22.
- Icier F, BAysal T. 2004. *Dielectric Properties of Food Materials-2: Measurement Techniques*. Crit Rev Food Sci Nutr. 44:473-478.
- J.M. de Man. 1999. *Functionality Requirements of Fats and Oils for Food Applications*. MOSTA Tech-In, Recent Advance in The Science of Oils and Fats. Canada.
- Ketaren, S. 2005, *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. UI Press. Jakarta.
- Kent, M. 1993. *Microwave Measurement of Product Variables*. In : Erika K.R. Instrumentation and Sensor for the Food Industry. Butterworth Heinemann ltd. Oxford. pp: 190-235.
- Lehninger AL. 1994. *Dasar-dasar Biokimia*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Lizhi H, Toyoda K, Ihara I. 2008. *Dielectric Properties of Edible Oils and Fatty Acids as A Function of Frequency, Temperature, Moisture and Composition*. J. Food Eng. 88:151-158.
- Mangisah Itsna. 2003. *Diktat Kuliah Ilmu Nutrisi dan Makanan Ternak Babi*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Martinsen,O.G, Grimmnes S, Mirtaheri P. 2000. *Non-Invasive Measurements of Post-Morten Changes In Dielectric Properties of Haddock Muscle- A Pilot Study*. Journal Of Food Engineering 43(3):189-192.
- Martinsen, O.G dan Sverre, C. 2008. *Bioimpedance and Bioelectricity Basics Second Edition*. Academic press Elsevier. London.

- Mohsenin ,N.N. 1984. *Electromagnetic Radiation Properties Of Food and Agricultural Product*. Gordon and breach science publisher. London.
- Paquot C. 1999. *Standard Method for The Analysis of Oils, Fats and Derivated*, 6<sup>th</sup> edition, Section II : Oils and Fats, Groupe The Laboratoires du CNRS Thiaise. France.
- Plonsey, Robert dan Roger.C. Barr. 2007.*Bioelectricity A Quantitative Approach Third Edition*. Springer media. New york.
- Putri, Rika. 2007. *Kajian Sifat Listrik Buah Manggis (Garcinia mangostana L) pada Tingkat Kematangan Berbeda*. Skripsi. Departemen Fisika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Rusdiana. 2004. *Metabolisme Asam Lemak*. Program Studi Biokimia Fakultas Kedokteran, Universitas Sumatera Utara.
- Sardjono. 1999. *Komposisi Asam Lemak Total dari Otot dan Campuran Lemak dan Otot Ayam, Babi, Kambing, Kerbau, dan Sapi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Silalahi, Firman RL. 2003. *Pengukuran Difusitas Termal dan Sifat Dielektrik pada Kisaran Gelombang Radio dari Produk Lada dan Andaliman*. Tesis. Program Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Stacheder, M. 2005. *TDR and Low-Frequency Measurements for Continuous Monitoring of Moisture and Density in A Snow Pack*. Int. Agrophysics 19: 75-78.
- Sucipto, Irzaman, Tun Tedja I, Fauzi AM. 2011. *Potential of Conductance Measurement for Lard Detection*. IJIBAS-IJENS.11(05):26-30.  
[http://www.ijens.org/Vol\\_11\\_I\\_05/114805-9696-IJIBAS-IJENS.pdf](http://www.ijens.org/Vol_11_I_05/114805-9696-IJIBAS-IJENS.pdf)
- Sucipto. 2013. *Rancang Bangun Teknik Deteksi Lemak Babi pada Daging Sapi Berbasis Sifat Listrik*. Pascasarjana: Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sumarjdo, Damin. 2008. *Pengantar Kimia*. EGC. Jakarta.
- Sulastrri, Eneng Jajah. 2006. *Kajian Sifat Listrik Membran dan Fisik Daging Ayam Broiler Giling selama Proses Penyimpanan*

- dan Pemanasan*. Skripsi. Departemen Fisika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Tipler, P.A. 2001. *Fisika Untuk Sains dan Teknik*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Toyoda K. 2003. *The Utilization of Electric Properties in Sumio*, K. (Ed.). The handbook of non-destructive detection. Science forum, Tokyo. p108-126.
- Vankatesh MS, Raghavan GSV. 2004. *An Overview of Microwave Processing and Dielectric Properties of Agri-Food Materials*. Biosyst Eng. 88(1):1-11. Doi:10.1016/j.biosystemseng.2004.01.007.
- Wijaya, Yoga Permana. 2009. *Fakta Ilmiah Tentang Keharaman Babi*. Bandung.
- Winarno, F.G. 1984. *Kimia Pangan dan Gizi*. Gramedia. Jakarta.
- Winton, A.L. & K.B. Winton. 1937. *The Structure and Composition of Foods*. John Willey and Sons, Inc. New York.
- Zheng, M., Huang Y.W, Nelson S.O, Bartley P.G, Gates K.W. 1988. *Dielectric Properties and Thermal Conductivity of Marinated Shrimp and Channel Catfish*. Journal of food science 63.4 (1998): 668-672.

## LAMPIRAN

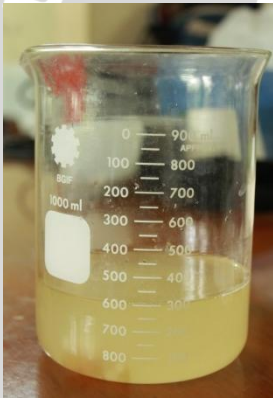
### Lampiran 1 Alat dan bahan penelitian



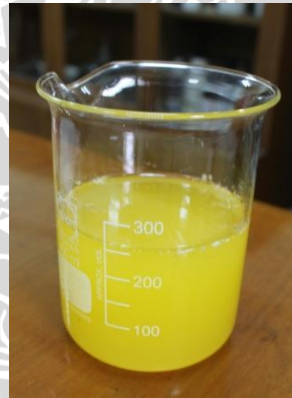
(a) Lemak babi



(b) Lemak ayam



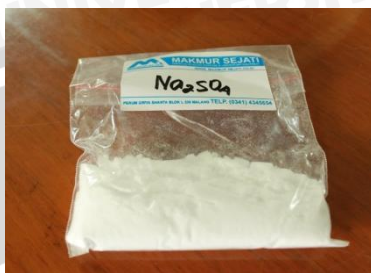
(c) Ekstrak lemak babi



(d) Ekstrak lemak ayam



(e) Microwave



(f)  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  Anhidrat



(g) Toples



(h) Pisau



(i) Kain saring



(j) Pirex



(k) Gelas ukur



(l) LCR meter GW-Instek seri 816



(m) Spatula



(n) Mikropipet

Lampiran 2 Data pengukuran karakteristik Biolistrik

Kapasitansi dan konstanta dielektrik campuran lemak ayam 99,5% dan lemak babi 0,5%

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	$\epsilon_r$ lemak ayam 99,5%, babi 0,5%	$\epsilon'$ lemak ayam 99,5%, babi 0,5%
0.0022	0.0022	0.00219	0.00221	0.00219	0.00221	0.00218	0.002197143	6.206618241
0.00218	0.00218	0.00217	0.00218	0.0022	0.0022	0.00218	0.002184286	6.170298628
0.00215	0.00216	0.00216	0.00215	0.00214	0.00214	0.00217	0.002152857	6.081517353
0.00206	0.00214	0.00207	0.00214	0.00213	0.00207	0.00206	0.002095714	5.920096852
0.0021	0.00209	0.00209	0.00209	0.0021	0.00208	0.00211	0.002094286	5.91606134
0.00206	0.00206	0.00206	0.00205	0.00205	0.00207	0.00205	0.002057143	5.811138015
0.00204	0.00203	0.00204	0.00204	0.00204	0.00203	0.00204	0.002037143	5.754640839
0.00202	0.00201	0.00201	0.00202	0.00202	0.00202	0.00202	0.002017143	5.698143664
0.00197	0.00198	0.00198	0.00199	0.00197	0.00199	0.00197	0.001978571	5.589184826
0.00195	0.00194	0.00194	0.00194	0.00195	0.00195	0.00197	0.001948571	5.504439064
0.00192	0.00192	0.00191	0.00192	0.00192	0.00191	0.00191	0.001915714	5.411622276
0.00189	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.00191	0.0019	5.367231638
0.00186	0.00185	0.00186	0.00184	0.00185	0.00186	0.00186	0.001854286	5.238095238
0.00182	0.00182	0.00181	0.00181	0.00182	0.00183	0.00181	0.001817143	5.133171913
0.00179	0.00179	0.0018	0.00179	0.0018	0.00178	0.00181	0.001794286	5.068603713
0.00177	0.00177	0.00176	0.00176	0.00177	0.00176	0.00177	0.001765714	4.987893462
0.00174	0.00173	0.00175	0.00173	0.00174	0.00174	0.00173	0.001737143	4.907183212
0.00171	0.00171	0.00171	0.00171	0.0017	0.00172	0.0017	0.001708571	4.826472962
0.00167	0.00167	0.00166	0.00167	0.00166	0.00167	0.00167	0.001667143	4.709443099
0.00166	0.00164	0.00166	0.00164	0.00165	0.00166	0.00164	0.00165	4.661016949
0.0016	0.0016	0.00161	0.0016	0.00161	0.00162	0.00163	0.00161	4.548022599
0.00158	0.00157	0.00158	0.00158	0.00157	0.00157	0.00158	0.001575714	4.451170299
0.00153	0.00153	0.00152	0.00154	0.00153	0.00153	0.00153	0.00153	4.322033898
0.00138	0.00139	0.00137	0.00138	0.00137	0.00139	0.00137	0.001378571	3.894269572

Kapasitansi dan konstanta dielektrik campuran lemak ayam 99% dan lemak babi 1%

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	<u>Crata ayam 99%, babi 1%</u>	<u><math>\epsilon'</math> ayam 99%, babi 1%</u>
0.00219	0.00218	0.00219	0.00218	0.00219	0.00219	0.0022	0.002188571	6.182405165
0.00219	0.00218	0.00218	0.00219	0.00218	0.00215	0.00215	0.002174286	6.14205004
0.00216	0.00215	0.00216	0.00216	0.00216	0.00216	0.00212	0.002152857	6.081517353
0.00214	0.00217	0.00208	0.00209	0.00212	0.0021	0.0021	0.002114286	5.972558515
0.00209	0.00209	0.00209	0.0021	0.00208	0.00208	0.00208	0.002087143	5.895883777
0.00205	0.00206	0.00204	0.00207	0.00206	0.00204	0.00205	0.002052857	5.799031477
0.00205	0.00205	0.00202	0.00205	0.00203	0.00202	0.00202	0.002034286	5.746569814
0.00199	0.00198	0.00201	0.002	0.00202	0.002	0.00201	0.002001429	5.653753027
0.00198	0.00198	0.00197	0.00197	0.00197	0.00196	0.00196	0.00197	5.564971751
0.00194	0.00195	0.00194	0.00195	0.00195	0.00194	0.00192	0.001941429	5.484261501
0.00191	0.00191	0.00192	0.00191	0.00191	0.00191	0.0019	0.00191	5.395480226
0.0019	0.00189	0.00189	0.0019	0.00189	0.00189	0.00188	0.001891429	5.343018563
0.00185	0.00185	0.00186	0.00185	0.00185	0.00185	0.00185	0.001851429	5.230024213
0.00182	0.00182	0.00183	0.00181	0.00182	0.0018	0.0018	0.001814286	5.125100888
0.0018	0.00179	0.00179	0.0018	0.00179	0.00179	0.00179	0.001792857	5.0645682
0.00177	0.00176	0.00177	0.00177	0.00177	0.00175	0.00175	0.001762857	4.979822437
0.00173	0.00173	0.00174	0.00173	0.00173	0.00173	0.00173	0.001731429	4.891041162
0.00171	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.001701429	4.8062954
0.00168	0.00166	0.00167	0.00167	0.00167	0.00168	0.00166	0.00167	4.717514124
0.00164	0.00164	0.00165	0.00164	0.00164	0.00164	0.00164	0.001641429	4.636803874
0.00161	0.00161	0.00161	0.00161	0.00161	0.00161	0.00161	0.00161	4.548022599
0.00157	0.00158	0.00158	0.00158	0.00157	0.00158	0.00156	0.001574286	4.447134786
0.00153	0.00153	0.00152	0.00152	0.00152	0.00152	0.00151	0.001521429	4.297820823
0.00137	0.00137	0.00138	0.00137	0.00137	0.00136	0.00137	0.00137	3.870056497



Kapasitansi dan konstanta dielektrik campuran lemak ayam 95% dan lemak babi 5%

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	ε <sub>0</sub> lemak ayam 95%, babi 5%	ε' lemak ayam 95%, babi 5%
0.00218	0.00218	0.00219	0.00217	0.00218	0.00217	0.00219	0.00218	6.15819209
0.00218	0.00216	0.00215	0.00219	0.00218	0.00216	0.00216	0.002168571	6.12590799
0.00213	0.00215	0.00213	0.00214	0.00215	0.00214	0.00214	0.00214	6.04519774
0.0021	0.0021	0.00211	0.00209	0.0021	0.00209	0.00209	0.002097143	5.924132365
0.00207	0.00209	0.00208	0.00207	0.00209	0.00208	0.00207	0.002078571	5.871670702
0.00205	0.00205	0.00205	0.00202	0.00203	0.00202	0.00204	0.002037143	5.754640839
0.00202	0.00202	0.00202	0.00202	0.00202	0.00201	0.00202	0.002018571	5.702179177
0.00197	0.00203	0.00203	0.00196	0.00194	0.00194	0.00196	0.001978333	5.588512241
0.00196	0.00196	0.00196	0.00196	0.00196	0.00197	0.00195	0.00196	5.536723164
0.00193	0.00193	0.00193	0.00194	0.00192	0.00194	0.00194	0.001932857	5.460048426
0.00189	0.00191	0.0019	0.00189	0.00191	0.0019	0.0019	0.0019	5.367231638
0.00184	0.00184	0.00184	0.00184	0.00184	0.00184	0.00184	0.00184	5.197740113
0.00185	0.00185	0.00185	0.00185	0.00185	0.00185	0.00185	0.00185	5.225988701
0.0018	0.0018	0.00179	0.00181	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	5.084745763
0.00177	0.00179	0.00178	0.00178	0.00178	0.00178	0.00178	0.00178	5.028248588
0.00175	0.00175	0.00175	0.00175	0.00175	0.00175	0.00175	0.00175	4.943502825
0.00172	0.00172	0.00172	0.00173	0.00171	0.00173	0.00174	0.001724286	4.8708636
0.0017	0.00171	0.00169	0.00169	0.00171	0.0017	0.0017	0.0017	4.802259887
0.00167	0.00166	0.00165	0.00167	0.00165	0.00165	0.00167	0.00166	4.689265537
0.00164	0.00164	0.00164	0.00164	0.00164	0.00164	0.00164	0.00164	4.632768362
0.00161	0.00161	0.00161	0.00161	0.00161	0.00161	0.00162	0.001611429	4.552058111
0.00157	0.00158	0.00156	0.00157	0.00157	0.00156	0.00157	0.001568571	4.430992736
0.00152	0.00152	0.00152	0.00152	0.00152	0.00152	0.00151	0.001518571	4.289749798
0.00139	0.00137	0.00138	0.00139	0.00137	0.00137	0.00139	0.00138	3.898305085

Kapasitansi dan konstanta dielektrik campuran lemak ayam 90% dan lemak babi 10%

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	$C_{rata \text{ ayam } 90\%, \text{ babi } 10\%}$	$\epsilon' \text{ ayam } 95\%, \text{ babi } 10\%$
0.00217	0.00217	0.00217	0.00217	0.00217	0.00218	0.00218	0.002172857	6.138014528
0.00215	0.00215	0.00215	0.00214	0.00216	0.00214	0.00215	0.002148571	6.069410815
0.00212	0.00212	0.00211	0.00213	0.00212	0.00212	0.00211	0.002118571	5.984665052
0.00208	0.00208	0.00208	0.00208	0.00208	0.00207	0.00207	0.002077143	5.86763519
0.00205	0.00207	0.00205	0.00207	0.00206	0.00206	0.00206	0.002058333	5.814500942
0.00202	0.00202	0.00203	0.00201	0.00202	0.00201	0.00202	0.002018333	5.701506591
0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.00199	0.001998571	5.645682002
0.00195	0.00195	0.00194	0.00192	0.00196	0.00197	0.00196	0.00195	5.508474576
0.00195	0.00195	0.00195	0.00195	0.00195	0.00195	0.00195	0.001948571	5.504439064
0.00192	0.00192	0.00193	0.00191	0.00193	0.00191	0.00191	0.001918571	5.419693301
0.00189	0.00189	0.00189	0.00189	0.00189	0.0019	0.00188	0.00189	5.338983051
0.00187	0.00187	0.00187	0.00187	0.00186	0.00188	0.00187	0.00187	5.282485876
0.00183	0.00183	0.00183	0.00183	0.00183	0.00182	0.00184	0.00183	5.169491525
0.00179	0.00179	0.00179	0.00179	0.00179	0.00178	0.00178	0.001787143	5.04842615
0.00177	0.00177	0.00177	0.00177	0.00177	0.00178	0.00176	0.00177	5
0.00174	0.00174	0.00174	0.00174	0.00174	0.00175	0.00174	0.001741429	4.91928975
0.00171	0.00171	0.00171	0.00171	0.00171	0.00171	0.0017	0.001708571	4.826472962
0.00169	0.00169	0.00169	0.00169	0.00169	0.00168	0.00168	0.001687143	4.765940274
0.00165	0.00165	0.00165	0.00165	0.00165	0.00165	0.00165	0.00165	4.661016949
0.00163	0.00163	0.00163	0.00162	0.00164	0.00162	0.00163	0.001628571	4.600484262
0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.00161	0.001601429	4.523809524
0.00156	0.00156	0.00155	0.00157	0.00156	0.00157	0.00156	0.001561429	4.410815174
0.00152	0.00152	0.00152	0.00152	0.00152	0.00151	0.00153	0.00152	4.293785311
0.00137	0.00137	0.00137	0.00137	0.00137	0.00137	0.00137	0.00137	3.870056497

Kapasitansi dan konstanta dielektrik campuran lemak ayam 80% dan lemak babi 20%

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Crata ayam 80%, babi 20%	s' ayam 80%, babi 20%
0.00214	0.00215	0.00215	0.00215	0.00215	0.00213	0.00212	0.002141429	6.049233253
0.0021	0.00214	0.0021	0.00214	0.00213	0.00213	0.00211	0.002121429	5.992736077
0.00209	0.00209	0.0021	0.00208	0.00208	0.00208	0.0021	0.002088571	5.89991929
0.00205	0.00206	0.00206	0.00205	0.00205	0.00208	0.0021	0.002064286	5.831315577
0.00203	0.00203	0.00202	0.00204	0.00203	0.00202	0.00204	0.00203	5.734463277
0.00198	0.00198	0.00198	0.00198	0.00204	0.00202	0.00198	0.001994286	5.633575464
0.00197	0.00197	0.00197	0.00197	0.00197	0.00196	0.00197	0.001968571	5.560936239
0.00195	0.00196	0.00195	0.00195	0.00195	0.00197	0.00194	0.001952857	5.516545601
0.00192	0.00194	0.0019	0.00192	0.00193	0.00191	0.00194	0.001922857	5.431799839
0.00188	0.0019	0.00189	0.0019	0.00189	0.00189	0.00188	0.00189	5.338983051
0.00186	0.00186	0.00185	0.00187	0.00186	0.00185	0.00186	0.001858571	5.250201776
0.00184	0.00184	0.00184	0.00184	0.00184	0.00184	0.00184	0.00184	5.197740113
0.00181	0.00179	0.0018	0.0018	0.0018	0.00179	0.00181	0.0018	5.084745763
0.00177	0.00177	0.00177	0.00178	0.00176	0.00177	0.00179	0.001772857	5.008071025
0.00175	0.00175	0.00176	0.00174	0.00176	0.00174	0.00176	0.001751429	4.947538337
0.00172	0.00172	0.00172	0.00173	0.00171	0.00171	0.00173	0.00172	4.858757062
0.00169	0.0017	0.00169	0.00169	0.00169	0.00168	0.0017	0.001691429	4.778046812
0.00168	0.00166	0.00167	0.00167	0.00167	0.00166	0.00167	0.001668571	4.713478612
0.00163	0.00163	0.00163	0.00163	0.00163	0.00163	0.00164	0.001631429	4.608555287
0.00161	0.00161	0.00161	0.00162	0.00161	0.00161	0.00162	0.001612857	4.556093624
0.00159	0.00157	0.00158	0.00158	0.00158	0.00158	0.001559	0.001577	4.45480226
0.00154	0.00156	0.00155	0.00155	0.00155	0.00156	0.00154	0.00155	4.378531073
0.00151	0.00151	0.00151	0.00152	0.0015	0.00149	0.0015	0.001505714	4.253430186
0.00137	0.00137	0.00137	0.00138	0.00136	0.00137	0.00138	0.001371429	3.87409201

Kapasitansi dan konstanta dielektrik campuran lemak ayam 70% dan lemak babi 30%

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Crata ayam 70%, babi 30%	$\epsilon'$ ayam 70%, babi 30%
0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.00209	0.00208	0.0021	0.002095714	5.920096852
0.00209	0.00208	0.00209	0.00208	0.00208	0.0021	0.00209	0.002087143	5.895883777
0.00207	0.00207	0.00207	0.00207	0.00206	0.00207	0.00205	0.002065714	5.83535109
0.00202	0.00201	0.00203	0.00202	0.00201	0.00202	0.00201	0.002017143	5.698143664
0.00198	0.00199	0.00198	0.00198	0.00197	0.00197	0.00197	0.001977143	5.585149314
0.00195	0.00197	0.00197	0.00197	0.00196	0.00196	0.00197	0.001964286	5.548829701
0.00194	0.00193	0.00194	0.00193	0.00194	0.00193	0.00194	0.001935714	5.468119451
0.00191	0.00191	0.0019	0.00191	0.00191	0.00191	0.00192	0.00191	5.395480226
0.00188	0.0019	0.0019	0.00189	0.00188	0.00189	0.00189	0.00189	5.338983051
0.00186	0.00186	0.00186	0.00185	0.00186	0.00185	0.00187	0.001858571	5.250201776
0.00185	0.00185	0.00185	0.00185	0.00185	0.00186	0.00184	0.00185	5.225988701
0.00184	0.00184	0.00184	0.00185	0.00185	0.00184	0.00184	0.001842857	5.205811138
0.00179	0.00179	0.00179	0.00178	0.0018	0.00179	0.00179	0.00179	5.056497175
0.00177	0.00176	0.00176	0.00177	0.00176	0.00175	0.00175	0.00176	4.971751412
0.00174	0.00174	0.00174	0.00175	0.00175	0.00175	0.00174	0.001744286	4.927360775
0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.00169	0.0017	0.00169	0.001697143	4.794188862
0.00165	0.00165	0.00165	0.00164	0.00165	0.00166	0.00166	0.001651429	4.665052462
0.00163	0.00163	0.00163	0.00163	0.00163	0.00163	0.00163	0.00163	4.604519774
0.0016	0.00161	0.00161	0.00159	0.00161	0.00161	0.00161	0.001605714	4.535916061
0.00159	0.00158	0.00158	0.00158	0.00158	0.00159	0.00158	0.001582857	4.471347861
0.00156	0.00156	0.00156	0.00156	0.00156	0.00156	0.00157	0.001561429	4.410815174
0.00153	0.00153	0.00153	0.00153	0.00154	0.00153	0.00153	0.001531429	4.326069411
0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.00149	0.001498571	4.233252623
0.00139	0.00139	0.00139	0.00139	0.00139	0.00139	0.00138	0.001388571	3.92251816

Kapasitansi dan konstanta dielektrik campuran lemak ayam 60% dan lemak babi 40%

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Crata ayam 60%, babi 40%	$\epsilon'$ ayam 60%, babi 40%
0.00208	0.00208	0.00208	0.00208	0.00208	0.00206	0.00207	0.002075714	5.863599677
0.00206	0.00204	0.00205	0.00206	0.00206	0.00207	0.00208	0.00206	5.81920904
0.00219	0.00208	0.00206	0.00207	0.00208	0.00206	0.00207	0.002087143	5.895883777
0.00199	0.00213	0.00188	0.00194	0.00202	0.00194	0.00197	0.001981429	5.597255851
0.00196	0.00196	0.00197	0.00195	0.00196	0.00195	0.00197	0.00196	5.536723164
0.00194	0.00191	0.00191	0.00192	0.00192	0.0019	0.00191	0.001915714	5.411622276
0.00191	0.00191	0.00191	0.00191	0.0019	0.00192	0.00192	0.001911429	5.399515738
0.00189	0.00189	0.00187	0.00189	0.00189	0.00187	0.00188	0.001882857	5.318805488
0.00186	0.00186	0.00187	0.00185	0.00187	0.00187	0.00185	0.001861429	5.258272801
0.00187	0.00185	0.00187	0.00185	0.00186	0.00185	0.00187	0.00186	5.254237288
0.0018	0.0018	0.00181	0.00179	0.00181	0.00179	0.00181	0.001801429	5.088781275
0.00179	0.00177	0.00178	0.00178	0.00179	0.00177	0.00176	0.001777143	5.020177563
0.00175	0.00175	0.00175	0.00175	0.00175	0.00176	0.00174	0.00175	4.943502825
0.00171	0.00173	0.00172	0.00173	0.00171	0.00172	0.0017	0.001717143	4.850686037
0.0017	0.0017	0.00169	0.00171	0.00171	0.00172	0.00171	0.001705714	4.818401937
0.00167	0.00167	0.00167	0.00167	0.00167	0.00168	0.00166	0.00167	4.717514124
0.00165	0.00165	0.00165	0.00165	0.00165	0.00165	0.00166	0.001651429	4.665052462
0.00163	0.00163	0.00163	0.00162	0.00164	0.00164	0.00163	0.001631429	4.608555287
0.0016	0.0016	0.00161	0.00159	0.00159	0.00161	0.00161	0.001601429	4.523809524
0.00158	0.00158	0.00158	0.00158	0.00158	0.00157	0.00159	0.00158	4.463276836
0.00155	0.00154	0.00156	0.00154	0.00156	0.00156	0.00155	0.001551429	4.382566586
0.00152	0.00152	0.00152	0.00151	0.00153	0.00153	0.00151	0.00152	4.293785311
0.00149	0.00149	0.00149	0.00149	0.00149	0.00149	0.00149	0.00149	4.209039548
0.00139	0.00139	0.00138	0.0014	0.00139	0.00138	0.00139	0.001388571	3.92251816

Kapasitansi dan konstanta dielektrik campuran lemak ayam 50% dan lemak babi 50%

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	$C_{rata\ ayam\ 50\%,\ babi\ 50\%}$	$\epsilon'_{ayam\ 50\%,\ babi\ 50\%}$
0.00206	0.00204	0.00206	0.00204	0.00205	0.00206	0.00206	0.002052857	5.799031477
0.00202	0.00203	0.00201	0.00202	0.00201	0.00203	0.00204	0.002022857	5.714285714
0.00198	0.002	0.00199	0.00199	0.00199	0.00198	0.002	0.00199	5.621468927
0.00195	0.00194	0.00196	0.00196	0.00194	0.00196	0.00194	0.00195	5.508474576
0.00193	0.00192	0.00194	0.00193	0.00193	0.00194	0.00192	0.00193	5.451977401
0.00189	0.00189	0.00192	0.00188	0.00188	0.00188	0.00188	0.001888571	5.334947538
0.00188	0.00188	0.00189	0.00187	0.00188	0.00188	0.00189	0.001881429	5.314769976
0.00186	0.00186	0.00188	0.00186	0.00185	0.00186	0.00186	0.001861429	5.258272801
0.00183	0.00183	0.00183	0.00184	0.00182	0.00183	0.00183	0.00183	5.169491525
0.0018	0.0018	0.0018	0.00181	0.00179	0.0018	0.00181	0.001801429	5.088781275
0.00178	0.00178	0.00177	0.00179	0.00178	0.00178	0.00178	0.00178	5.028248588
0.00176	0.00176	0.00176	0.00177	0.00175	0.00176	0.00176	0.00176	4.971751412
0.00173	0.00173	0.00173	0.00173	0.00173	0.00174	0.00172	0.00173	4.88700565
0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.00169	0.00171	0.0017	4.802259887
0.00168	0.00168	0.00168	0.00168	0.00168	0.00168	0.00167	0.001678571	4.741727199
0.00165	0.00165	0.00165	0.00165	0.00165	0.00165	0.00164	0.001648571	4.656981437
0.00163	0.00163	0.00163	0.00163	0.00163	0.00163	0.00163	0.00163	4.604519774
0.00161	0.00161	0.00161	0.00161	0.00161	0.00162	0.00161	0.001611429	4.552058111
0.00158	0.00158	0.00158	0.00158	0.00158	0.00158	0.00157	0.001578571	4.459241324
0.00156	0.00156	0.00156	0.00157	0.00155	0.00156	0.00157	0.001561429	4.410815174
0.00154	0.00154	0.00154	0.00154	0.00154	0.00153	0.00154	0.001538571	4.346246973
0.00151	0.00151	0.00151	0.00151	0.00151	0.00152	0.0015	0.00151	4.265536723
0.00148	0.00148	0.00148	0.00148	0.00148	0.00148	0.00148	0.00148	4.18079096
0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.00139	0.00141	0.0014	3.95480226

Kapasitansi dan konstanta dielektrik ayam 100%

C1	C2	C3	C4	C5	<u>Crata ayam 100%</u>	<u><math>\epsilon'</math> ayam 100%</u>
0.00221	0.00221	0.00219	0.00221	0.00222	0.002208	6.237288136
0.00219	0.00221	0.00221	0.00219	0.00218	0.002196	6.203389831
0.00217	0.00216	0.00215	0.00217	0.00215	0.00216	6.101694915
0.00212	0.00212	0.00214	0.00212	0.00212	0.002124	6
0.00211	0.00209	0.00211	0.00211	0.00211	0.002106	5.949152542
0.00208	0.00207	0.00206	0.00207	0.00205	0.002066	5.836158192
0.00205	0.00204	0.00203	0.00203	0.00205	0.00204	5.762711864
0.00201	0.00202	0.002	0.00202	0.00201	0.002012	5.683615819
0.00198	0.00199	0.00199	0.00198	0.00198	0.001984	5.604519774
0.00196	0.00196	0.00194	0.00194	0.00195	0.00195	5.508474576
0.00192	0.00192	0.00191	0.00192	0.00193	0.00192	5.423728814
0.00189	0.0019	0.00191	0.0019	0.0019	0.0019	5.367231638
0.00187	0.00187	0.00186	0.00187	0.00187	0.001868	5.276836158
0.00182	0.00182	0.00182	0.00182	0.00184	0.001824	5.152542373
0.00181	0.00181	0.00181	0.0018	0.0018	0.001806	5.101694915
0.00176	0.00178	0.00178	0.00178	0.00178	0.001776	5.016949153
0.00175	0.00174	0.00174	0.00175	0.00175	0.001746	4.93220339
0.00172	0.00172	0.00171	0.00171	0.00172	0.001716	4.847457627
0.00168	0.00168	0.00168	0.00167	0.00168	0.001678	4.740112994
0.00164	0.00165	0.00166	0.00165	0.00165	0.00165	4.661016949
0.00161	0.00163	0.00163	0.00162	0.00163	0.001624	4.587570621
0.00158	0.00158	0.00159	0.00159	0.00158	0.001584	4.474576271
0.00154	0.00152	0.00153	0.00154	0.00154	0.001534	4.333333333
0.00139	0.00139	0.00141	0.00137	0.00135	0.001382	3.903954802

Kapasitansi dan konstanta dielektrik babi 100%

C1	C2	C3	C4	C5	babi 100%	$\epsilon'$ babi 100%
0.00189	0.00193	0.00192	0.00194	0.0019	0.001916	5.412429379
0.00188	0.00187	0.00187	0.00185	0.00186	0.001866	5.271186441
0.00177	0.00185	0.00185	0.00181	0.00184	0.001824	5.152542373
0.00181	0.00178	0.00176	0.00178	0.00178	0.001782	5.033898305
0.00177	0.00176	0.00175	0.00176	0.00177	0.001762	4.97740113
0.00174	0.00174	0.00174	0.00172	0.00174	0.001736	4.903954802
0.00173	0.00172	0.00172	0.00173	0.00173	0.001726	4.875706215
0.00169	0.0017	0.0017	0.00171	0.00172	0.001704	4.813559322
0.00169	0.00168	0.00168	0.00169	0.00167	0.001682	4.751412429
0.00167	0.00165	0.00167	0.00167	0.00166	0.001664	4.700564972
0.00164	0.00164	0.00164	0.00164	0.00164	0.00164	4.632768362
0.00163	0.00161	0.00163	0.00161	0.00162	0.00162	4.576271186
0.00161	0.00161	0.0016	0.00159	0.0016	0.001602	4.525423729
0.00159	0.00158	0.00158	0.00158	0.00159	0.001584	4.474576271
0.00156	0.00157	0.00157	0.00156	0.00156	0.001564	4.418079096
0.00155	0.00155	0.00155	0.00155	0.00154	0.001548	4.372881356
0.00154	0.00154	0.00154	0.00154	0.00153	0.001538	4.344632768
0.00151	0.00152	0.00153	0.00152	0.00152	0.00152	4.293785311
0.0015	0.0015	0.00151	0.00151	0.0015	0.001504	4.248587571
0.00149	0.00149	0.00149	0.00148	0.00149	0.001488	4.203389831
0.00147	0.00146	0.00146	0.00146	0.00146	0.001462	4.129943503
0.00145	0.00146	0.00145	0.00145	0.00145	0.001452	4.101694915
0.00143	0.00143	0.00142	0.00143	0.00143	0.001428	4.033898305
0.00142	0.00142	0.00142	0.00142	0.00142	0.00142	4.011299435



Kapasitansi dan konstanta dielektrik udara

frekuensi (Hz)	C1 (pF)	C2 (pF)	C3 (pF)	Crata-rata	$\epsilon'$ udara
200	0.55734	0.58425	0.5642	0.568596667	1.606205273
400	0.41839	0.51678	0.5262	0.487123333	1.376054614
600	0.40088	0.41617	0.38058	0.39921	1.127711864
800	0.36774	0.34474	0.39101	0.36783	1.039067797
1000	0.38795	0.36183	0.31821	0.355996667	1.005640301
1200	0.33541	0.33772	0.32919	0.334106667	0.943804143
1400	0.31665	0.30255	0.30361	0.307603333	0.86893597
1600	0.27052	0.26628	0.28512	0.273973333	0.77393597
1800	0.26983	0.26552	0.26742	0.26759	0.755903955
2000	0.22073	0.22653	0.22185	0.223036667	0.630047081

