

**STUDI PENGARUH CAMPURAN LEMAK BABI TERHADAP  
KAPASITANSI DAN KONSTANTA DIELEKTRIK LEMAK SAPI  
DENGAN METODE DIELEKTRIK**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**FIRDAUSI NUZULA**  
**105090304111001**



**JURUSAN FISIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**MALANG**  
**2014**

**STUDI PENGARUH CAMPURAN LEMAK BABI TERHADAP  
KAPASITANSI DAN KONSTANTA DIELEKTRIK LEMAK SAPI  
DENGAN METODE DIELEKTRIK**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang fisika

Oleh:

**FIRDAUSI NUZULA**

**105090304111001**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2014**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI  
STUDI PENGARUH CAMPURAN LEMAK BABI TERHADAP  
KAPASITANSI DAN KONSTANTA DIELEKTRIK LEMAK  
SAPI DENGAN METODE DIELEKTRIK**

Oleh :  
**FIRDAUSI NUZULA**  
**105090304111001**

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**  
**NIP. 19691020 199512 1 002**

**Dr. Sucipto, STP. MP**  
**NIP. 19730602 199903 1 001**

**Mengetahui,**  
**Ketua Jurusan Fisika**

**Drs. Adi Susilo, Ph.D**  
**NIP. 19631227 199103 1 002**



## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Firdausi Nuzula  
NIM : 105090304111001  
Jurusan : Fisika  
Penulis tugas Akhir berjudul :

***“Studi Pengaruh Campuran Lemak Babi terhadap Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi dengan Metode Dielektrik Denganinimenyatakanbahwa :***

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, Oktober 2014  
Yang menyatakan**

**Firdausi Nuzula  
NIM. 105090304111001**

## ABSTRAK

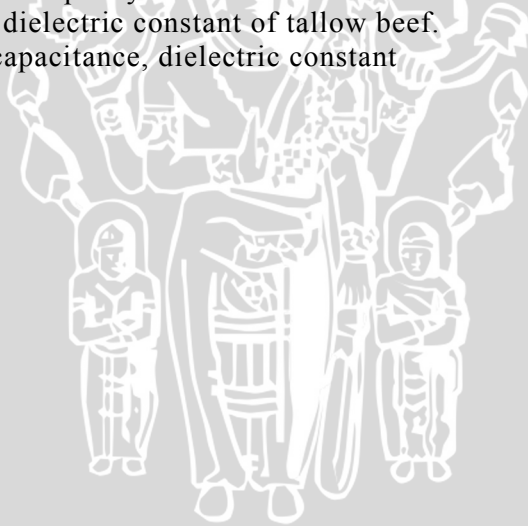
Penelitian ini bertujuan untuk mengamati karakteristik kelistrikan pada lemak sapi dan lemak babi dengan menggunakan metode dielektrik. Karakteristik kelistrikan yang diamati yaitu kapasitansi dan konstanta dielektrik. Kapasitansi diukur dengan menggunakan LCR meter GW-instek seri 816 dengan probe ganda L dan H, sedangkan konstanta dielektrik didapatkan dari nilai kapasitansinya. Pengukuran kapasitansi dilakukan pada frekuensi 800 Hz hingga 2000 Hz. Lemak babi sebagai pencemar ditambahkan pada lemak sapi dengan konsentrasi 0,5%, 1%, 5%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode dielektrik dapat digunakan untuk mengukur nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik pada lemak sapi dan lemak babi. Kapasitansi yang terukur pada LCR meter yaitu 0,00142 nF-0,00263 nF, sedangkan konstanta dielektriknya yaitu 4,00726-7,42131. Nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik lemak sapi lebih besar daripada lemak babi. Cemaran lemak babi pada lemak sapi menurunkan kapasitansi dan konstanta dielektrik lemak sapi.

Kata kunci: Lemak, Kapasitansi, Konstanta Dielektrik

## ABSTRACT

This study is intended to investigate the electrical characteristic of tallow beef and lard by using dielectric method. Electrical characteristic that investigated is their capacitance and dielectric constant. The capacitance is measured by LCR meter GW-instek 816 series with double probe L and H whereas the dielectric constant is determined by the capacitance. Capacitance were measured on frequency from 800 Hz until 2000 Hz. The lard as the impurity was added in the tallow beef with concentration of 0.5%, 1%, 5%, 10%, 20%, 30%, 40% and 50%. The results showed that the dielectric method can be used to measure capacitance and dielectric properties at tallow beef and lard. Capacitance was measured on LCR meter is 0,00142 nF-0,00263 nF whereas the dielectric constant is 4,00726-7,42131. The capacitance and dielectric constant of tallow beef was found greater than the lard. The lard as the impurity on the tallow beef to decrease the capacitance and dielectric constant of tallow beef.

Keywords: fat, capacitance, dielectric constant



## Kata Pengantar

Puji syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul ***“Studi Pengaruh Campuran Lemak Babi terhadap Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi dengan Metode Dielektrik”***.

Dalam penyusunan skripsi ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan baik moral maupun spiritual dari awal masa perkuliahan sampai terselesainya tugas akhir. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu dan Ayah yang telah memberikan kasih sayang, do'a, dukungan dan segala sesuatu yang tidak henti-hentinya. Semoga Allah melipat-gandakan kebaikan ibu dan ayah.
2. Bapak Adi Susilo, M.Si.,Ph.D selaku ketua jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya
3. Bapak Chomsin Sulistyia Widodo,S.Si.,M.Si.,Ph.D selaku pembimbing pertama yang telah berkenan meluangkan waktu dan pikiran, memberikan arahan, wawasan, serta dukungan moril dan materiil hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Sucipto, STP. MP selaku pembimbing kedua yang telah berkenan memberikan ide, pengetahuan dan bimbingan kepada penulis.
5. Mas Farid, mas Fahmi, mbak abidah dan mbak widya yang telah banyak memberikan motivasi dan do'a.
6. Ibu Firdy Yuana, M. Si selaku pembimbing akademik
7. Seluruh dosen, Staff dan karyawan jurusan Fisika yang telah memberikan pendidikan dan bantuan selama di jurusan Fisika FMIPA UB
8. Fitri, teman seperjuangan yang telah banyak membantu dan memberikan motivasi
9. Teman-teman fisika 2010 yang telah memberikan warna
10. Teman-teman kos, saudara baru di perantauan
11. Seluruh keluarga besar Fisika Universitas Brawijaya

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan, baik dalam isi, penyusunan, maupun tata bahasa. Oleh karena itu, penulis menerima saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan laporan ini. Semoga laporan ini dapat memberikan wawasan, pengetahuan yang bermanfaat, terutama dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Malang, Oktober 2014

Penulis





## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Prinsip dalam Metode Dielektrik.....	5
2.1.1 Kapasitansi.....	5
2.1.2 Dielektrik.....	6
2.2 Sifat Dielektrik Bahan.....	11
2.3 Lemak.....	15
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	25
3.1.1 Tempat Penelitian.....	25
3.1.2 Waktu Penelitian.....	25
3.2 Prosedur Penelitian.....	25
3.2.1 Diagram Alur Penelitian.....	26
3.2.2 Penyiapan Alat.....	27
3.2.3 Penyiapan Sampel.....	29
3.2.4 Pengukuran Sifat Listrik.....	30
3.2.5 Analisis Data.....	31
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Karakteristik Dielektrik Udara pada Berbagai Frekuensi.....	33
4.2 Pengaruh Campuran Lemak Babi terhadap Kapasitansi Lemak Sapi.....	39

4.3 Pengaruh Campuran Lemak Babi terhadap Konstanta Dielektrik Lemak Sapi .....	39
---	----

**BAB V PENUTUP**

5.1 Simpulan .....	49
5.2 Saran .....	49

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>51</b>
-----------------------------	-----------

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Skema kapasitor plat sejajar .....	6
Gambar 2.2 Efek dielektrik yang tersisip antara plat sebuah kapasitor Pelat Paralel .....	9
Gambar 2.3 Perilaku molekul non polar.....	10
Gambar 2.4 Perilaku molekul polar .....	10
Gambar 2.5 Polarisasi pada kapasitor yang disisipi bahan dielektrik saat diberi medan luar .....	11
Gambar 2.6 Medan listrik akibat muatan permukaan .....	11
Gambar 2.7 Bahan dielektrik dengan sumber tegangan AC serta rangkaian ekivalennya.....	13
Gambar 2.8 Frekuensi terhadap permitivitas material jaringan biologi .....	15
Gambar 2.9 Rumus bangun umum lemak dan minyak .....	16
Gambar 2.10 Pemecahan gliserol menjadi akrolein .....	22
Gambar 3.1 Diagram alur penelitian .....	26
Gambar 3.2 Proses <i>warming up</i> .....	28
Gambar 3.3 Rangkaian pengukuran .....	29
Gambar 3.4 <i>Output</i> pengukuran kapasitansi pada LCR meter .....	31
Gambar 4.1 Hubungan antara frekuensi terhadap kapasitansi pada udara .....	33
Gambar 4.2 Hubungan antara frekuensi terhadap konstanta dielektrik pada udara .....	34
Gambar 4.3 Hubungan antara frekuensi terhadap kapasitansi campuran lemak babi pada lemak sapi.....	36
Gambar 4.4 Penurunan kapasitansi lemak sapi terhadap jumlah konsentrasi lemak babi .....	38
Gambar 4.5 Hubungan antara frekuensi terhadap konstanta dielektrik campuran lemak babi pada lemak sapi .....	41
Gambar 4.6 Penurunan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi terhadap Jumlah Konsentrasi Lemak Babi.....	44
Gambar 4.7 Polarisasi sebuah dielektrik dalam medan listrik.....	46
Gambar 4.8 Rumus kimia asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh.....	48

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Konstanta dan Kuat Dielektrik pada Beberapa Material ..	8
Tabel 2.2 Jenis Asam Lemak Berdasarkan Kejenuhannya .....	19
Tabel 2.3 Persentase Asam Lemak pada Lemak Hewani.....	19
Tabel 2.4 Spesifikasi Lemak Babi.....	20
Tabel 4.1 Profil Asam Lemak dari Lemak Sapi dan Lemak Babi dengan Kromatografi Gas .....	47



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1	Alat dan Bahan ..... 55
Lampiran 2	Data Pengujian Kalibrasi Udara..... 57
Lampiran 3	Data Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi 100% ..... 58
Lampiran 4	Data Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Babi 100%..... 60
Lampiran 5	Data Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi 99,5% + Lemak Babi 0,5% ..... 62
Lampiran 6	Data Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi 99% + Lemak Babi 1% ..... 64
Lampiran 7	Data Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi 95% + Lemak Babi 5% ..... 66
Lampiran 8	Data Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi 90% + Lemak Babi 10% ..... 68
Lampiran 9	Data Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi 80% + Lemak Babi 20% ..... 70
Lampiran 10	Data Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi 70% + Lemak Babi 30% ..... 72
Lampiran 11	Data Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi 60% + Lemak Babi 40% ..... 74
Lampiran 12	Data Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi 50% + Lemak Babi 50% ..... 76
Lampiran 13	Spesifikasi LCR meter ..... 78

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Biolistrik merupakan karakteristik kelistrikan dari sel atau jaringan pada makhluk hidup, yang berfungsi untuk komunikasi antarsel. Biolistrik dapat dipengaruhi karena adanya pertukaran ion, sehingga kelistrikannya bersifat endogenik, artinya listrik dihasilkan oleh jaringan itu sendiri. Biolistrik selalu berhubungan tentang bagaimana suatu jaringan dapat dikontrol oleh kelistrikan. Karakteristik biolistrik yang dapat diamati antara lain: impedansi, kapasitansi, induktansi, konstanta dielektrik, dan konduktivitas listrik. Karakteristik biolistrik dapat dilakukan dengan metode keping sejajar, yaitu dengan meletakkan suatu bahan biologi diantara kapasitor keping sejajar dan mengukur sifat kelistrikannya.

Setiap bahan memiliki sifat listrik yang khas dan besarnya sangat ditentukan oleh kondisi internal bahan tersebut, seperti momen dipol listrik, komposisi bahan kimia, kandungan air, keasamaan dan sifat internal lainnya (Hermawan, 2005). Sifat listrik bahan pangan, dapat digunakan untuk menilai kualitas dan kemurnian bahan secara cepat dan non destruktif. Sifat dielektrik adalah parameter utama yang memberikan informasi tentang interaksi bahan dengan energi elektromagnetik. Sifat dielektrik pada beragam bahan pangan dibutuhkan untuk memahami perilaku bahan ketika dimasukkan ke medan elektromagnetik, pada frekuensi dan suhu tertentu (Sosa-Morales *et al*, 2010). Sifat ini memberikan informasi tentang interaksi diantara bahan pangan dan medan listrik (Ikediala *et al*, 2000). Sifat dielektrik terpenting adalah konstanta dielektrik dan faktor kehilangan dielektrik. Konstanta dielektrik adalah ukuran kemampuan bahan menyimpan energi listrik, dan faktor kehilangan dielektrik adalah kemampuan untuk mengubah energi elektromagnetik menjadi panas (Turabi *et al*, 2010). Sifat dielektrik bahan dipengaruhi frekuensi, suhu, kadar air, densitas, komposisi, dan struktur materi (Castro-Giraldes, *et al* 2010).

Lemak merupakan salah satu jaringan pada makhluk hidup. Lemak secara khusus menjadi sebutan bagi minyak hewani pada suhu ruang. Penggunaan lemak, dalam produk olahan pangan,

dimaksudkan untuk menambah cita rasa, aroma, tekstur dan lain sebagainya. Dalam penggunaannya, lemak sapi adalah lemak yang paling banyak dikonsumsi oleh masyarakat pada umumnya. Hal ini, dikarenakan lemak sapi adalah komoditi yang mudah didapat di pasar. Penggunaan lemak sapi dimasyarakat, dapat dilihat dari produk olahan pangan seperti bakso, sosis, dan lain-lain yang didalamnya terdapat lemak sapi. Akhir-akhir ini, isu cemaran lemak babi pada olahan pangan berkembang di masyarakat. Penggunaan lemak babi oleh produsen olahan pangan, dimaksudkan untuk menekan biaya produksi dan untuk menambah cita rasa produk. Harga lemak babi, relatif lebih murah dibandingkan dengan lemak sapi, dan lemak babi terkenal mempunyai cita rasa lebih enak dibandingkan dengan lemak lainnya.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam industri pengolahan pangan telah memberikan manfaat yang cukup besar dalam kehidupan manusia. Ada beberapa teknik yang telah digunakan untuk mendeteksi campuran lemak babi pada lemak dan minyak lainnya. Berdasarkan teknik sensor, pemalsuan lemak babi dibagi dalam dua kelompok. Teknik pertama adalah deteksi dengan pelabelan, contohnya *polymerase chain reaction* (PCR). Teknik kedua yaitu deteksi tanpa pelabelan seperti *Electronic nose* (E-Nose) dan *Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy*. Teknik deteksi lemak babi berbasis sifat listrik merupakan aplikasi baru penggunaan sifat listrik dalam bidang deteksi babi dan produk turunan babi (Sucipto, 2013).

Studi pengukuran lemak sapi dan lemak babi berbasis listrik telah dilakukan oleh Sucipto pada tahun 2013. Studi ini meliputi nilai impedansi, konduktivitas, kapasitansi dan konstanta dielektrik pada minyak goreng sawit, lemak babi dan lemak sapi tanpa adanya pencampuran diantara bahan tersebut. Hasil studi, menunjukkan bahwa pada frekuensi tinggi, yaitu 4,71 - 4,98 MHz nilai impedansi, konduktivitas, kapasitansi dan konstanta dielektrik pada minyak goreng sawit, lemak sapi dan lemak babi mempunyai nilai yang dapat diamati perbedaannya diantara bahan tersebut. Sehingga, dilakukan studi pengukuran karakteristik kelistrikan lemak sapi dan lemak babi dengan frekuensi relatif lebih rendah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Karakteristik kelistrikan yang dilihat meliputi kapasitansi dan konstanta dielektrik pada lemak sapi dan



lemak babi, yang telah di campur dengan konsentrasi tertentu menggunakan metode dielektrik.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Apakah metode dielektrik dapat mengukur kapasitansi dan konstanta dielektrik pada lemak sapi dan lemak babi?
2. Bagaimana pengaruh campuran lemak babi terhadap kapasitansi dan konstanta dielektrik lemak sapi?

## **1.3. Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Mengetahui kapasitansi dan konstanta dielektrik pada lemak sapi dan lemak babi dengan metode dielektrik
2. Mengetahui pengaruh campuran lemak babi terhadap kapasitansi dan konstanta dielektrik lemak sapi

## **1.4. Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Pengukuran karakteristik kelistrikan dilakukan pada lemak babi dan lemak sapi tanpa diketahui umur, letak jaringan lemak, makanan yang diberikan pada ternak, jenis kelamin serta kandungan kimianya.
2. Pengukuran tanpa diketahui interaksi dan ikatan kimia yang terbentuk
3. Pengukuran kelistrikan tanpa mengetahui kandungan air yang terserap dan tidak terserap pada lemak.
4. Pengukuran dilakukan pada suhu dan tekanan ruang.

## **1.5. Manfaat**

Penelitian ini menunjukkan nilai karakteristik kelistrikan pada lemak sapi dan lemak babi, yang diharapkan dapat memberikan informasi tentang karakteristik kelistrikan pada kedua jenis lemak tersebut. Lebih jauh lagi, penelitian ini diharapkan dapat dikembangkan sebagai alat uji kontaminasi lemak babi berbasis kelistrikan dan bersifat non destruktif.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Prinsip dalam Dielektrik

#### 2.1.1. Kapasitansi

Setiap bahan akan memiliki sifat kelistrikan. Bahan tersebut dapat termasuk dalam konduktor, isolator, semikonduktor atau superkonduktor. Sifat kelistrikan tersebut meliputi kapasitansi, impedansi, dielektrik dan lain-lain. Karakteristik listrik pada bahan bisa dianalisa dengan pendekatan rangkaian elektronik antara resistor dan kapasitor secara paralel (Prodan *et al.*, 2008). Secara prinsip sebuah kapasitor terdiri dari dua keping konduktor ruang yang diantaranya diisi oleh dielektrik (penyekat), misal udara atau kertas. Kedua konduktor diberi muatan sama besar tetapi jenisnya berlawanan yang satu bermuatan positif, lainnya bermuatan negatif. Kemampuan kapasitor untuk menyimpan muatan listrik dinyatakan oleh besaran kapasitas (atau kapasitansi). Satuan SI dari kapasitansi adalah farad (F). Kapasitor dirancang untuk menyediakan kapasitansi pada rangkaian listrik untuk menyimpan energi dalam medan listrik antara dua konduktor yang dipisahkan oleh media dielektrik. Kapasitansi didefinisikan sebagai sifat dari suatu rangkaian untuk melawan setiap perubahan tegangan ( Sharder, 1989).

Kemampuan kapasitor untuk menyimpan muatan listrik disebut kapasitansi. Besar muatan yang tersimpan dalam kapasitor sebanding dengan beda potensialnya.

$$Q = C \cdot V \quad (2.1)$$

Keterangan :  $Q$  = muatan elektron (coulomb)

$C$  = nilai kapasitans (farad)

$V$  = besar tegangan (volt)

Besarnya arus ( $I$ ) yang mengalir disebuah kapasitor sebanding dengan laju perubahan tegangan terhadap waktu ( $t$ ) di dalam kapasitor.

$$I = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dV}{dt} \quad (2.2)$$

Nilai kapasitansi suatu kapasitor ditentukan oleh faktor geometri dan sifat bahan dielektriknya. Untuk tinjauan kapasitor keping sejajar, faktor geometri yang menentukan adalah luas penampang keping sejajar dan jarak antara kepingnya, sedangkan sifat bahan

dielektriknya ditentukan oleh nilai konstanta dielektrik bahannya (Reitz 1993). Besarnya nilai kapasitans kapasitor keping sejajar dinyatakan sebagai :

$$C = K \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.3)$$

Keterangan :  $\kappa$  = konstanta dielektrik  
 $\epsilon_0$  = permitivitas ruang hampa ( $8,85 \times 10^{-12}$  F/m)  
 $A$  = luas penampang keping sejajar (m<sup>2</sup>)  
 $d$  = jarak antar dua plat kapasitor (m)

Pada ruang hampa kapasitans kapasitor dinyatakan sebagai :

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.4)$$

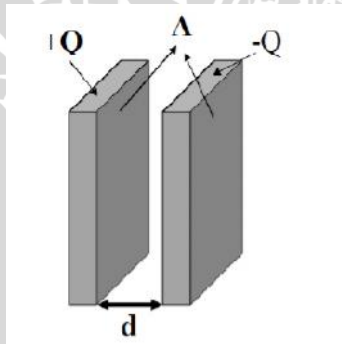
Jika di antara keping sejajar terdapat bahan dielektrik maka kapasitansinya sebesar :

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad (2.5)$$

Keterangan  $\epsilon$  = permitivitas bahan dielektrik (F/m)

Besarnya konstanta dielektrik sebagai berikut:

$$K = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \frac{C}{C_0} \quad (2.6)$$



Gambar 2.1. skema kapasitor plat sejajar (Tipler, 1991) kenaikan kapasitansi disebabkan oleh melemahnya medan listrik di antara keping kapasitor akibat adanya bahan dielektrik (Tipler, 2001).

### 2.1.2. Dielektrik

Dielektrik adalah suatu bahan yang memiliki daya hantar arus yang sangat kecil atau bahkan hampir tidak ada. Bahan

dielektrik dapat berwujud padat, cair dan gas. Tidak seperti konduktor, pada bahan dielektrik tidak terdapat elektron-elektron konduksi yang bebas bergerak di seluruh bahan oleh pengaruh medan listrik. Medan listrik tidak akan menghasilkan pergerakan muatan dalam bahan dielektrik. Sifat inilah yang menyebabkan bahan dielektrik itu merupakan isolator yang baik. Dalam bahan dielektrik, semua elektron-elektron terikat dengan kuat pada intinya sehingga terbentuk suatu struktur regangan (lattices) benda padat, atau dalam hal cairan atau gas, bagian-bagian positif dan negatifnya terikat bersama-sama sehingga tiap aliran massa tidak merupakan perpindahan dari muatan. Karena itu, jika suatu dielektrik diberi muatan listrik, muatan ini akan tinggal terlokalisasi di daerah di mana muatan tadi ditempatkan.

Sifat bahan dielektrik ditentukan oleh nilai konstanta dielektrik bahannya. Dielektrik adalah zat dimana semua partikel berkumpul didalamnya terikat kuat pada molekul penyusunnya. Kedudukan partikel bermuatan itu dapat bergeser sedikit akibat adanya suatu medan listrik, namun tetap disekitar molekulnya. Molekul-molekul dielektrik mungkin merupakan polar, 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 diantara pelat-pelat tersebut, molekul-molekul akan cenderung menjadi terorientasi. Bahkan jika molekul-molekul itu bukan polar, medan listrik diantara pelat akan menginduksi beberapa pemisahan muatan pada molekul. Beberapa garis medan listrik sebenarnya tidak menembus dielektrik, tetapi berakhir pada muatan-muatan yang diinduksi pada permukaan dielektrik (Giancoli, 2001). Nilai konstanta dielektrik beberapa bahan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

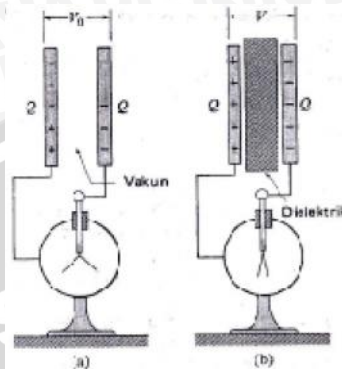
Tabel 2.1. Konstanta dan kuat dielektrik beberapa material

Material	Konstanta Dielektrik $K$	Kuat Dielektrik kV/mm
Vakum	1 ( <i>exact</i> )	
Udara (1 atm)	1,00059	3
Polystyrene	2.6	24
Kertas	3.5	16
Transformer oil	4.5	12
Pyrex	4.7	14
Mika	5.4	160
Porcelain	6.5	4
Silikon	12	
Air (25 <sup>0</sup> C)	78.5	
Air (20 <sup>0</sup> C)	80.4	
Titania ceramic	130	
Stronsium titanat	310	8

Pengukuran pada temperatur ruang

(Halliday *et al*, 1992)

Pada kebanyakan kapasitor, antara pelatnya tersisip bahan padat yang tak menghantar, yang disebut dielektrik. Kapasitor yang umum ialah kapasitor dari kertas dan lembaran logam, pada jenis ini pelatnya berupa logam lembaran dan dielektriknya berupa kertas yang dilapisi dengan malam. Fungsi dari dielektrik padat antara pelat sebuah kapasitor ada tiga. Pertama, mengatasi masalah mekanika menempatkan dua lembaran besar logam sangat berdekatan tanpa terjadi persentuhan. Kedua, karena kuat sifat dielektrik ini lebih besar daripada kuat sifat dielektrik udara, maka maksimum beda potensial yang dapat ditahan oleh kapasitor bertambah tanpa merusaknya. Ketiga, pada suatu dimensi tertentu kapasitansi sebuah kapasitor akan beberapa kali lebih besar bila ada dielektrik tersisip antara pelatna dibandingkan dengan bila pelat-pelatnya berada pada vakum. Efek ini dijelaskan seperti berikut:



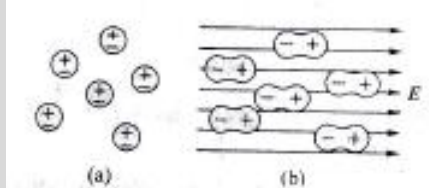
Gambar 2.2. Efek Dielektrik yang Tersisip Antara Pelat Sebuah Kapasitor Pelat Paralel

Gambar 2.2 memperlihatkan sebuah kapasitor pelat paralel yang kedua pelatnya telah diberi muatan  $Q$  yang sama, tetapi berlawanan tanda. Pelat-pelat itu diandaikan berada dalam ruang hampa, dan beda potensial antara pelat  $V_0$  ditunjukkan oleh sebuah elektroskop. Jika sel lembar dielektrik, disisipkan diantara kedua pelat, seperti pada gambar, perbedaan potensial itu turun sampai suatu harga  $V$  yang lebih rendah. Jika dielektrik itu disingkirkan lagi, beda potensial kembali ke harga awalnya; ini menunjukkan bahwa penyisipan dielektrik tidak ada pengaruh terhadap muatan awal kedua pelat (Zemansky, 1994).

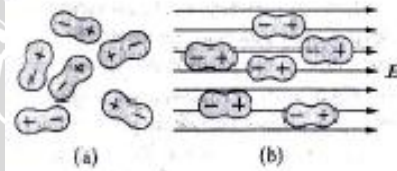
Kekuatan dielektrik (*dielectric strength* disebut juga *breakdown strength*), didefinisikan sebagai gradien tegangan maksimum yang masih mampu ditahan oleh dielektrik sebelum terjadi kegagalan fungsi. Nilai hasil pengukuran kekuatan dielektrik ini sangat tergantung dari geometri spesimen, elektroda, dan prosedur pengukuran. Walaupun hasil pengukuran bervariasi, namun data hasil pengukuran setidaknya memberi ancar-ancar dalam menilai dan menggunakan material dielektrik (Sudirham, 2010).

Molekul dielektrik dapat berupa molekul polar atau molekul non polar. Molekul non polar adalah molekul yang mana pusat gaya berat inti positif dan elektron normalnya berhimpitan, sedangkan pada molekul polar tidaklah berhimpitan. Molekul simetris seperti  $H_2$ ,  $N_2$ , dan  $O_2$  adalah non polar. Di dalam molekul  $N_2O$  dan molekul  $H_2O$ , sebaliknya, kedua atom hidrogen atau kedua atom nitrogen terletak pada sisi yang sama pada atom oksigen. Semua molekul ini

polar, dan masing-masing merupakan dipol listrik yang sangat kecil. Di bawah pengaruh medan listrik, muatan molekul nonpolar berpindah. Molekul ini dikatakan dipolarisasi oleh medan tersebut dan disebut medan dipol terinduksi. Bila sebuah molekul nonpolar terpolarisasi, maka timbul gaya pemulih pada muatan yang berpindah itu, menariknya kembali seolah-olah ada hubungan pegas. Di bawah pengaruh suatu medan luar tertentu, muatan itu saling berpisah sampai gaya pemulih tadi sama besar dan berlawanan dengan gaya yang dikerjakan terhadap muatan oleh medan. Gaya pemulih itu berbeda besarnya menurut jenis molekul. Bedanya sepadan dengan perpindahan yang ditimbulkan suatu medan tertentu.



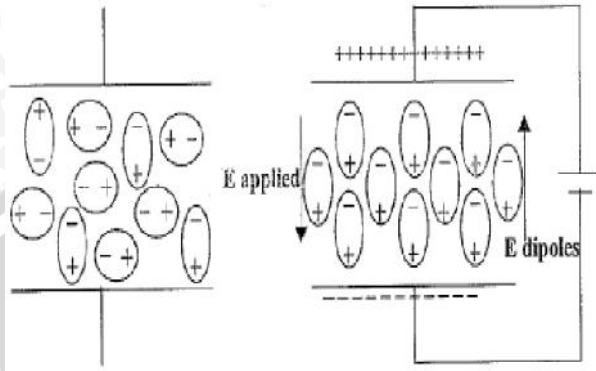
Gambar 2.3. Perilaku molekul non polar (a) bila tak ada medan listrik dan (b) bila medan listrik ada



Gambar 2.4. Perilaku molekul polar (a) bila tak ada medan listrik dan (b) bila medan listrik ada

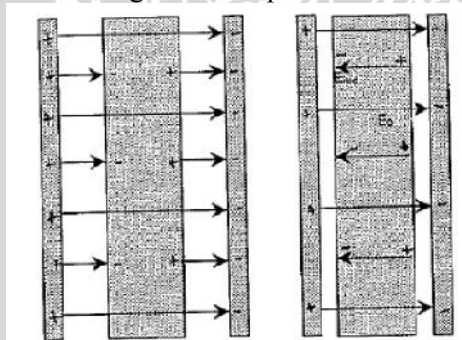
Jika diantara plat kapasitor yang bermuatan  $+Q$  dan  $-Q$  ditempatkan bahan dielektrik, maka akan timbul medan listrik luar  $E_0$  yang uniform. Efek keseluruhan dari pensejajaran dan induksi akan menyebabkan polarisasi muatan berupa penumpukan muatan positif pada salah satu plat dan muatan negatif pada salah satu plat lainnya sehingga memunculkan muatan permukaan yang akan menimbulkan medan induksi  $E_{ind}$  yang menentang medan listrik  $E_0$  (Soepriyono, 2002), sesuai dengan Gambar 2.5. berikut.





Gambar 2.5 Polarisasi pada kapasitor yang disisipi bahan dielektrik saat diberi medan luar

Medan listrik dalam dielektrik merupakan jumlah vektor dari  $E_0$  dan  $E_{ind}$  yang arahnya sama dengan  $E_0$  namun nilainya lebih kecil dan arah dari vektor medan digambarkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Medan listrik  $E_{ind}$  akibat muatan permukaan

(Soepriyono,2002).

## 2.2. Sifat Dielektrik Bahan

Sifat dielektrik menggambarkan kemampuan suatu bahan untuk menyimpan, mentransmisikan dan memantulkan energi gelombang elektromagnetik. Setiap bahan memiliki sifat listrik yang khas dan besarnya sangat ditentukan oleh kondisi internal bahan tersebut, seperti momen dipol listrik, komposisi bahan kimia, kandungan air, keasaman dan sifat internal lainnya (Hermawan, 2005). Sifat listrik bahan yang diberikan arus listrik secara

mikroskopik terkait dengan mobilitas listrik atau penyeragaman arah dipol listriknya akibat gangguan listrik eksternal (Kumar *et al*, 2007). Kemampuan penyeragaman momen dipol merupakan ciri khas dari molekul-molekul yang berkorelasi terhadap sifat-sifat dielektrik, fisiko-kimia dan biologis (Harmen, 2001). Pemanfaatan sifat ini cenderung semakin banyak diterapkan dibidang pertanian. Aplikasinya didasarkan pada kemampuan bahan untuk menyerap radiasi gelombang elektromagnetik dan mengubahnya menjadi panas (Frenske & Mirsa, 2000). Kajian dielektrik dapat dimanfaatkan untuk pengukuran kadar air secara non destruktif pada level energi yang rendah (Kato,1997), maupun pengukuran bahan komposit (Chen *et al*, 2003). Karakteristik listrik pada bahan bisa dianalisa dengan pendekatan rangkaian elektronik antara resistor dan kapasitor secara paralel (Prodan *et al*, 2008). Prinsip analisis rangkaian ini digunakan pada peralatan LCR meter.

Pengukuran sifat dielektik tidak lepas dari pengukuran kapasitansinya. Secara tidak langsung pengukuran kapasitansi mempunyai arti penting pada pengukuran dielektik bahan. Pengukuran kapasitansi sudah banyak dilakukan para peneliti. Sehingga akan lebih mudah dan langsung bila digunakan pengukuran kapasitansi daripada pengukuran dengan perhitungan dielektrik saja. Walaupun demikian informasi sifat dielektrik tidak hilang bahkan bisa diinterpretasikan melalui nilai kapasitansi.

Dengan menggunakan plat paralel dari kapasitor buatan dan memberikan input sumber tegangan. Ketika nilai kapasitansi dari plat tersebut pada kondisi ruang vakum atau udara, terukur nilainya  $C_0$ . jika pada plat tersebut disipkan bahan dielektrik maka nilai kapasitansinya berubah jadi  $C$ . Ketika frekuensi sumber tegangan diubah-ubah , maka bahan dielektik yang disisipkan antara dua plat tersebut akan terganggu, diantaranya perubahan arah dipol-dipol listrik menjadi lebih seragam dan hal ini akan mengurangi medan listrik eksternal. Jadi misalkan sumber tegangan eksternal (Persamaan 2.7):

$$V = V_0 e^{j\omega t} \quad (2.7)$$

Dengan  $\omega = 2\pi f$  adalah frekuensi angular, dan  $f$  adalah frekuensi. Hubungan perubahan nilai kapasitansinya sebesar  $C = C - C_0$  terkait dengan perubahan muatan  $q$  dapat diilustrasikan dalam aliran arus maupun dalam bentuk impedansinya (Persamaan 2.8).

$$C = \frac{\Delta q}{V} = \frac{\Delta q}{V_0} e^{-j\omega t}$$

$$i = \frac{d(\Delta q)}{dt} = \Delta C \frac{dV}{dt} = j\omega \Delta C V \quad (2.8)$$

Secara elektronik bahan dielektrik pada plat paralel bisa dianalisis dengan rangkaian paralel antara resistor dan kapasitor (Partisto, 1997).

Hasil pengukuran kapasitansi bisa diubah ke dalam besaran listrik lainnya seperti tegangan atau arus. Sehingga hal ini akan memudahkan dalam pengolahan informasinya. Nilai kapasitansi ini bisa digunakan untuk kepentingan karakterisasi kelistrikan, untuk uji kualitas atau bahkan untuk sortasi yang tidak merusak. Perubahan arus total pada rangkaian adalah penjumlahan arus pada kapasitor dan resistor, (Gambar 2.7.) sehingga:

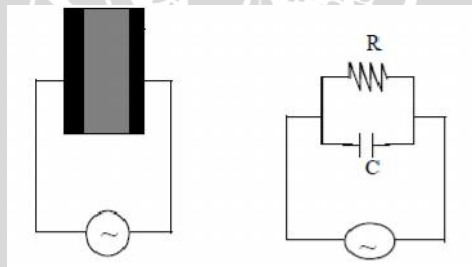
$$\Delta i = \Delta i + i_s = \omega \Delta C V + \frac{V}{R} = \left( j\omega \Delta C V + \frac{1}{R} \right) V \quad (2.9)$$

Sehingga nilai arusnya, pada persamaan:

$$I = I_0 + \Delta i = j\omega C_0 + \left( j\omega \Delta C + \frac{1}{R} \right) V = \left( j\omega C + \frac{1}{R} \right) V \quad (2.10)$$

Dalam impedansinya

$$Z = \frac{1}{Y} = \frac{V}{I} = \left( j\omega C + \frac{1}{R} \right)^{-1} \quad (2.11)$$



Gambar 2.7 Bahan dielektrik dengan sumber tenaga AC serta rangkaian ekuivalennya

(Juansyah, 2007).

Jaringan biologi yang ada didalam tubuh manusia merupakan suatu material dielektrik yang memiliki suatu nilai permitivitas dan kapasitansi. Hal ini disebabkan jaringan biologi merupakan sekumpulan struktur sel dan ekstraselular yang memiliki ion – ion yang bermuatan listrik. Oleh karena itu nilai permitivitas dan

kapasitansi suatu jaringan biologi berbeda karena komposisi dari larutan ionik dan struktur penunjang lainnya. Sifat dielektrik dipengaruhi oleh beberapa hal seperti, (1) membrane sel, yang terdiri atas lapisan lemak dan protein. Membrane sel merupakan struktur yang bersifat kapasitatif kecuali pada membrane sel yang permeabilitas selektif, bersifat konduktif; (2) material intraselular terdiri atas larutan ionic dalam susunan mikroskopik dan protein yang memiliki muatan listrik dan bergerak bila berada dalam medan listrik.

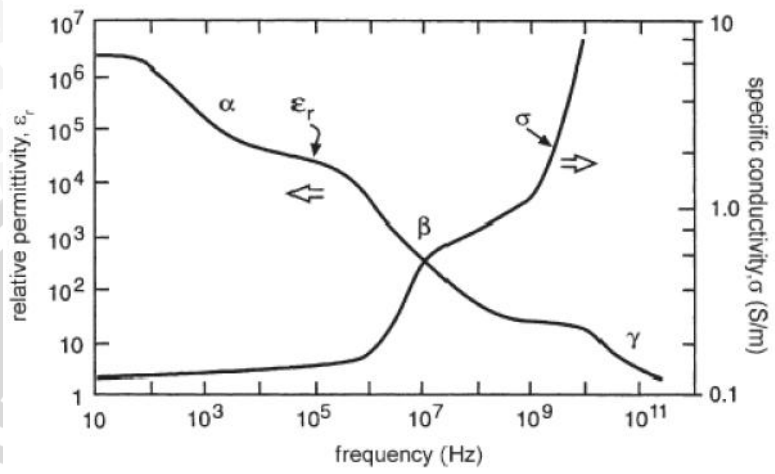
Berdasarkan penelitian, banyak material memiliki sifat material yang tidak konstan akibat pemaparan signal frekuensi yang bervariasi. Sifat material yang bervariasi ini disebut dengan dispersi. Jaringan biologi memiliki beberapa sifat dispersi yang berbeda berdasarkan rentang frekuensi tertentu, yang dapat dilihat pada gambar 2.9. Pada frekuensi dibawah 10 KHz terdapat suatu dispersi  $\alpha$  yang disebabkan polarisasi ion-ion berbeda sepanjang membrane sel. Nilai permitivitas yang tinggi pada dispersi ini menggambarkan adanya muatan yang terperangkap dalam intrasel dan tidak berrespon terhadap kutub medan listrik. Dispersi yang terjadi pada frekuensi beberapa MHz disebut dengan dispersi  $\beta$  yang disebabkan adanya polarisasi dikedua sisi membran sel yang berfungsi sebagai pertahanan terhadap proses transport ion pasif antara bagian luar dan dalam sel dan proses polarisasi protein dan makromolekul organik lain di dalam sel. Pada dispersi  $\beta$  terjadi proses mulai masuknya medan listrik eksternal kedalam sel. Pada rentang frekuensi sekitar GHz ( $10^9$  Hz), terjadi dispersi  $\gamma$  yang disebabkan oleh polarisasi dari molekul air (Damijan *et al*, 2006). Hubungan antara frekuensi terhadap permitivitas dan kapasitansi pada jaringan biologis dijelaskan melalui persamaan Debye yang dapat dilihat melalui Persamaan 2.12 dan 2.13.

$$\bar{\epsilon} = \epsilon'_{\infty} + \frac{\Delta\epsilon'}{1+j\omega\tau}; \Delta\epsilon' = \epsilon'_s - \epsilon'_{\infty} \quad (2.12)$$

$$\bar{C} = C_{\infty} + \frac{\Delta C'}{1+j\omega\tau}; \Delta C = C_0 - C_{\infty} \quad (2.13)$$

Yang mana  $\tau$  adalah waktu relaksasi, subskrip s adalah nilai awal, dan  $\omega$  adalah nilai frekuensi medan listrik yang nilainya sebesar  $2\pi f$ . Ketika nilai frekuensi dinaikkan, maka nilai permitivitas dan kapasitansinya turun dari satu nilai  $\epsilon_s$  menjadi  $\epsilon_{\infty}$  selama suatu

rentang frekuensi. Permittivitas adalah nilai pertengahan antara dua nilai dari frekuensi yang diberikan (Martinsen, 2002).



Gambar 2.8 Frekuensi terhadap Permittivitas Material Jaringan Biologis

(Damijan, 2006)

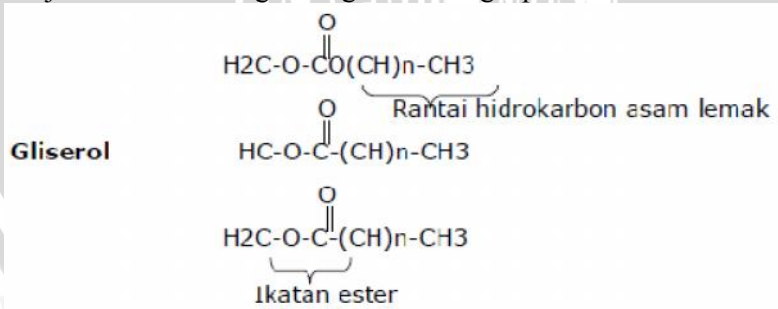
### 2.3. Lemak

Salah satu kandungan utama dari sumber makanan adalah lemak, hal ini karena lemak mengandung lemak esensial dan merupakan sumber energi. Dalam teknologi makanan, lemak dan minyak memegang peran penting, karena lemak dan minyak mempunyai titik didih yang tinggi (sekitar  $200^\circ\text{C}$ ) maka bisa dipergunakan untuk menggoreng makanan sehingga bahan yang digoreng akan kehilangan sebagian besar air yang dikandungnya dan menjadi kering. Pada berbagai makanan komponen lemak memegang peranan penting yang menentukan karakteristik fisik keseluruhan, misalnya aroma, tekstur, rasa dan penampilan. Hal inilah yang menyebabkan sulit untuk menjadikan makanan tertentu menjadi makanan yang rendah lemak (*low fat*). Apabila kandungan lemak dihilangkan dari salah satu makanan maka salah satu dari karakteristik-karakteristik diatas akan hilang. Selain memiliki manfaat bagi tubuh dan membuat sedap suatu makanan, lemak juga memiliki beberapa kekurangan. Apabila kadar lemak berlebihan

dalam tubuh maka dapat menyebabkan kolesterol. Sedangkan pada makanan lemak merupakan target oksidasi, yang dapat menyebabkan rasa tidak sedap pada produk makanan dan menjadi bahaya bagi kesehatan.

Lemak mempunyai banyak fungsi di dalam tubuh kita. Fungsi lemak tersebut, antara lain adalah sebagai sumber energi, pelarut beberapa vitamin, sebagai bantalan organ tubuh, dan sebagai sumber asam lemak esensial, yaitu asam lemak yang dibutuhkan oleh tubuh tetapi tidak dapat disintesis oleh tubuh. Mengingat fungsinya, lemak sangat dibutuhkan oleh tubuh manusia dan perlu dikonsumsi sebagai sumber zat gizi makro (Raharja EM, 1997). Lemak dan minyak tidak hanya dikenal sebagai sumber makanan manusia, tapi merupakan bahan baku lilin, margarin, detergen, kosmetik, obat-obatan, dan bahan pelumas, yang diolah dengan proses yang berbeda (Sudarmadji, 1989).

Secara kimiawi, senyawa lemak serupa dengan senyawa minyak. Keduanya terdiri dari asam lemak berantai panjang yang teresterifikasi oleh gugus karboksil tunggalnya menjadi hidroksil dari alkohol tiga karbon gliserol. Dengan tiga molekul asam lemak yang teresterifikasi maka lemak dan minyak sering disebut trigliserida. Rumus umum lemak ditunjukkan pada Gambar 2.9. Sifat lemak umumnya ditentukan oleh jenis asam lemak yang dikandungnya. Asam-asam lemak yang membentuk lemak biasanya berbeda, dan kadang dua diantaranya sama. Panjang rantai ketiga asam lemak hampir selalu sama dengan jumlah atom karbon genap sebanyak 16 dan 18. Jumlah atom karbon asam lemak biasanya paling rendah 12 dan paling banyak 20. Beberapa asam lemak termasuk asam lemak tidak jenuh karena mengandung ikatan rangkap.



Gambar 2.9 Rumus Bangun umum lemak dan minyak

Lipid merupakan penyusun tumbuhan atau hewan yang dicirikan oleh sifat kelarutannya. Lipid tidak larut dalam air tetapi larut dalam pelarut organik nonpolar, seperti eter dan dapat diekstraksi dari sel serta jaringan dengan pelarut organik. Sifat kelarutan ini membedakan lipid dari tiga golongan utama lain dari produk alam lainnya, yaitu karbohidrat, protein, dan asam nukleat, yang pada umumnya tidak larut dalam pelarut organik. Struktur kimia lipid dapat sangat beragam, sekalipun sifat kelarutannya mirip. Beberapa diantaranya berupa ester, lainnya berupa hidrokarbon, sebagian asiklik dan lainnya siklik, bahkan polisiklik. Lemak dan minyak merupakan triester dari gliserol yang disebut trigliserida sedangkan asam yang diperoleh dari penyabunan asam lemak dari minyak disebut asam lemak (Hart *et al*, 2003).

Titik leleh lemak dan minyak tergantung pada jumlah ikatan rangkap yang terkandung dalam tiap asam lemak. Pada setiap asam lemak minyak terdapat satu sampai tiga ikatan rangkap sehingga minyak dengan titik leleh yang cukup rendah membuatnya cair pada suhu kamar. Sedangkan lemak dengan titik leleh yang relatif lebih tinggi pada umumnya berbentuk padat pada suhu kamar karena memiliki asam lemak jenuh. (Salisbury dan Ross, 1995).

Jenis lipid berdasarkan struktur kimianya dapat digolongkan menjadi triasilgliserol, lilin, fosfolipida, spingolipida, gangliosida, sterol dan ester asam lemaknya. Beberapa lipid berfungsi sebagai komponen struktural membran, yang lain sebagai bentuk penyimpanan bahan bakar. Jenis lipid yang paling banyak adalah lemak atau triasilgliserol yang merupakan bahan bakar utama bagi hampir semua organisme. Jenis lipid lainnya yaitu asam lemak merupakan bagian kelas lipida organik berantai panjang yang mempunyai atom karbon dari 4 sampai 24 dengan gugus karboksil tunggal dan ekor hidrokarbon nonpolar yang panjang yang menyebabkan kebanyakan lipid bersifat tidak larut di dalam air dan tampak berminyak atau berlemak (Lehninger 1982).

Asam lemak adalah asam monokarboksilat rantai lurus yang terdiri dari jumlah atom karbon genap (4,6,8 dan seterusnya) dan diperoleh dari hasil hidrolisis lemak. Asam lemak digolongkan menjadi tiga yaitu berdasarkan panjang rantai asam lemak, tingkat kejenuhan, dan bentuk isomer geometrisnya. Berdasarkan panjang rantai asam lemak dibagi atas, asam lemak rantai pendek (short

chain fatty acid = SCFA) mempunyai atom karbon lebih rendah dari 8, asam lemak rantai sedang mempunyai atom karbon 8 sampai 12 (medium chain fatty acid = MCFA) dan asam lemak rantai panjang mempunyai atom karbon 14 atau lebih (long chain fatty acid = LCFA). Semakin banyak rantai C yang dimiliki asam lemak, maka titik lelehnya semakin tinggi (Silalahi dan Nurbaya, 2011; Silalahi dan Tampubolon, 2002).

Berdasarkan tingkat kejenuhan asam lemak dibagi atas; asam lemak jenuh (SFA) karena tidak mempunyai ikatan rangkap, asam lemak tak jenuh tunggal (MUFA) hanya memiliki satu ikatan rangkap dan asam lemak tak jenuh jamak (PUFA) memiliki lebih dari satu ikatan rangkap. Semakin banyak ikatan rangkap yang dimiliki asam lemak, maka semakin rendah titik lelehnya. Berdasarkan bentuk isomer geometrisnya asam lemak dibagi atas asam lemak tak jenuh bentuk cis dan trans. Pada isomer geometris, rantai karbon melengkung ke arah tertentu pada setiap ikatan rangkap. Bagian rantai karbon akan saling mendekat atau saling menjauh. Jika saling mendekat disebut isomer cis (berdampingan), dan apabila saling menjauh disebut trans (berseberangan). Asam lemak alami biasanya dalam bentuk cis. Isomer trans biasanya terbentuk selama reaksi kimia seperti hidrogenasi atau oksidasi. Titik leleh dari asam lemak tak jenuh bentuk trans lebih tinggi dibanding asam lemak tak jenuh bentuk cis karena orientasi antar molekul dengan bentuk cis yang membengkok tidak sempurna sedangkan asam lemak tak jenuh trans lurus sama seperti bentuk asam lemak jenuh (Silalahi, 2000; Silalahi dan Tampubolon, 2002). Jenis asam lemak dapat dilihat pada Tabel 2.2.



Tabel 2.2 Jenis Asam Lemak Berdasarkan Kejenuhannya

Jenis Asam	Rumus Molekul	Sumber (Asal)
<u>Asam Lemak Jenuh</u>		
Asam Butirat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	Lemak susu sapi
Asam Palmitat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	Lemak hewani dan nabati
Asam Stearat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	Lemak hewani dan nabati
<u>Asam lemak tidak Jenuh</u>		
Asam Palmitoleat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Minyak kacang dan jagung
Asam oleat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Lemak hewani dan nabati
Asam Linoleat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Minyak biji kapas
Asam Linolenat	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$	Minyak Perilla

Sumber: Ketaren, 1986.

Komposisi, atau profil asam lemak, berbagai lemak hewani dapat dilihat pada Tabel 2.3. Data ini menunjukkan bagaimana lemak jenuh akan menentukan seberapa mudah lemak akan menjadi padat ketika suhu menurun.

Tabel 2.3 Konsentrasi Asam Lemak Pada Lemak Hewani

Asam Lemak	Sapi	Babi	Ayam
Myristic 14:0	1.4-6.3	0.5-2.5	1
Palmitic 16:0	20-37	20-32	25
Palmitoleic 16:1	0.7-8.8	1.7-5	8
Stearic 18:0	6-40	5-24	6
Oleic 18:1	26-50	35-62	41
Linoleic 18:2	0.5-5	3-16	18

Sumber: Stuckey, 1972

Lemak sapi dan lemak babi mengandung sekitar sekitar 40% lemak jenuh (jumlah miristat, asam palmitat dan stearat). Lemak ayam lebih rendah sekitar 30-33%. Sebagai perbandingan, minyak kedelai mengandung sekitar 14% lemak jenuh dan minyak canola hanya 6%. Dengan demikian, lemak sapi dan lemak babi biasanya padat pada suhu kamar, dan lemak ayam, biasanya masih cair, sangat kental dan hampir padat (Stuckey, 1972).

Lemak hewan babi atau lazim disebut juga lard adalah lemak yang didapatkan dari proses pemotongan babi. Kandungan asam lemak bebas biasanya berkisar antara 2-7% dalam minyak goreng bekas, sedangkan dalam lemak babi berkisar antara 5-30%. Spesifikasi lemak babi dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Spesifikasi Lemak Babi

Energi per 100	3,70 kJ (900kcal)
Titik leleh	<i>back fat</i> : 30-40 °C <i>leaf fat</i> : 43-48 °C <i>mixed fat</i> : 36-45 °C
Titik asap	121-218 °C (250-425 °F)
<i>Specific gravity at 20 °C</i>	0,917-0,938
Bilangan iodin	45-75
Bilangan asam	3,4
Angka penyabunan	190-205
<i>Unsaponifiable</i>	0,8 %

Sumber: Setiawan, 2010

Minyak dan lemak (trigliserida) mempunyai sifat fisika-kimia yang berbeda satu sama lain, karena perbedaan jumlah dari jenis ester di dalamnya. Minyak dan lemak merupakan ester 1 mol gliserol dengan 3 mol asam lemak mengikat asam lemak yang sama atau yang berbeda, umumnya berantai lurus monokarbositat berat atom karbon genap. Trigliserida dapat berwujud cair atau padat, hal ini tergantung dari komposisi asam lemak yang menyusunnya. Semakin banyak asam lemak tidak jenuh seperti asam oleat, linoleat atau asam linolenat pada suatu trigliserida, maka titik cairnya lebih rendah atau sebaliknya trigliserida yang lebih banyak mengandung asam palmitat dan stearat, titik cairnya lebih tinggi (Thomas, 1985).

Sifat fisika lemak dan minyak adalah tidak larut dalam air, hal ini disebabkan oleh adanya asam lemak berantai karbon panjang dan tidak adanya gugus polar. Viskositas lemak dan minyak akan bertambah dengan bertambahnya panjang rantai karbon (Deman, 1997). Berat jenis lemak lebih rendah daripada air, oleh karena itu air dan lemak tidak dapat bercampur sehingga lemak akan berada di atas dan air berada dibawah. Semakin banyak mengandung asam lemak rantai pendek dan ikatan tidak jenuh, maka konsistensi lemak akan semakin cair. Sebaliknya semakin banyak mengandung asam lemak

jenuh dan rantai panjang maka konsistensi lemak akan semakin padat (Almatsier, 2002).

Sifat Minyak Dan Lemak, yaitu:

#### 1. Kelarutan

Lemak dan minyak tidak larut dalam air. Namun begitu, karena adanya suatu substansi tertentu, yang dikenal sebagai agensia pengemulsi, dimungkinkan terbentuknya campuran yang stabil antara lemak dan air. Campuran ini dinamakan emulsi. Emulsi ini dapat berupa emulsi lemak dalam air; misalnya susu, atau air dalam lemak; misalnya mentega. Lemak dan minyak larut dalam pelarut organik seperti minyak tanah, eter, dan karbon tetraklorida. Pelarut-pelarut tipe ini dapat digunakan untuk menghilangkan kotoran oleh gemuk pada pakaian.

#### 2. Pengaruh panas

Jika lemak dipanaskan, akan terjadi perubahan-perubahan nyata pada tiga titik suhu, yaitu :

##### a. Titik cair

Lemak mencair jika dipanaskan. Karena lemak adalah campuran trigliserida, mereka mempunyai titik cair yang jelas tetapi akan mencair pada suatu rentangan suhu. Suhu pada saat lemak terlihat mulai mencair disebut titik lincir. Kebanyakan lemak mencair pada suhu antara 30°C dan 40°C.

##### b. Titik asap

Jika minyak atau lemak dipanaskan sampai suhu tertentu, maka akan mulai mengalami dekomposisi, menghasilkan kabut berwarna biru atau menghasilkan asap dengan bau karakteristik yang menusuk. Kebanyakan minyak dan lemak akan mulai berasap pada suhu diatas 200°C. Umumnya minyak nabati mempunyai titik asap lebih tinggi daripada minyak hewani. Dekomposisi trigliserida menghasilkan sejumlah kecil gliserol dan asam lemak.

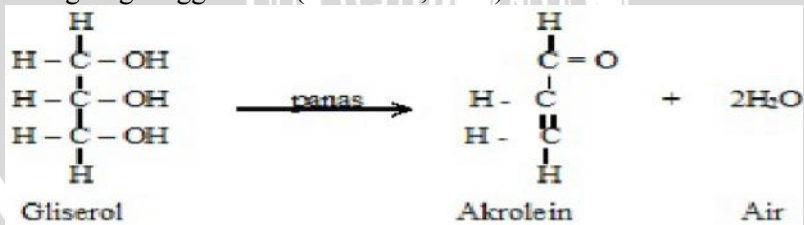
##### c. Titik nyala

Jika lemak dipanaskan hingga suhu yang cukup tinggi, maka akan menyala. Suhu ini dikenal sebagai titik nyala. Minyak yang terbakar jangan dimatikan dengan air karena akan menyebarkan atau memperluas kebakaran. Matikan alat pemanas dan oksigen dihentikan dengan menutup wadah minyak yang terbakar dengan tutup atau selimut.

### 3. Plastisasi

Substansi yang mempunyai sifat plastis akan berubah bentuknya jika ditekan, dan tetap pada bentuk terakhirnya meskipun sudah tidak ditekan lagi dan tidak kembali ke bentuk asalnya. Lemak bersifat plastis pada suhu tertentu, lunak, dan dapat dioleskan. Plastisasi lemak disebabkan karena lemak merupakan campuran trigliserida yang masing-masing mempunyai titik cair sendiri-sendiri. Ini berarti bahwa pada suatu suhu, sebagian dari lemak akan cair dan sebagian lagi dalam bentuk kristal-kristal padat. Lemak akan mengandung kristal-kristal kecil akibat proses pendinginan cepat selama proses pengolahannya akan memberikan sifat lebih plastis (Gaman, 1981).

Bila lemak bersentuhan dengan udara untuk jangka waktu yang lama akan terjadi perubahan yang dinamakan proses ketengikan (*rancidity*). Oksigen akan terikat pada ikatan rangkap dan membentuk peroksida aktif. Senyawa ini sangat reaktif dan dapat membentuk hidroperoksida yang bersifat sangat tidak stabil dan mudah pecah menjadi senyawa dengan rantai karbon yang lebih pendek berupa asam-asam lemak, aldehida-aldehida dan keton yang bersifat *volatil* atau mudah menguap, menimbulkan bau tengik pada lemak dan potensial bersifat toksik. Reaksi ini bisa terjadi perlahan pada suhu menggoreng normal dan dipercepat oleh adanya sedikit besi dan tembaga yang biasa ada di dalam makanan. Minyak yang digunakan untuk menggoreng pada suhu tinggi atau dipakai berulang kali akan menjadi hitam dan produk oksidasi akan menumpuk. Asam lemak akan pecah dan membentuk akrolein dari gliserol, yang dapat dilihat pada gambar 2.2. Akrolein mengeluarkan asap tajam yang merangsang tenggorokan (Almatsier, 2004).



Gambar 2.10. Pemecahan Gliserol Menjadi Akrolein

Selama penyimpanan minyak atau lemak akan terjadi perubahan rasa. Bahan harus disimpan pada kondisi penyimpanan yang sesuai dan bebas dari pengaruh logam. Minyak atau lemak

harus dilindungi dari kemungkinan serangan oksigen, cahaya, serta temperature tinggi. Untuk melindungi minyak atau lemak dari penyinaran, dapat menggunakan filter hijau atau kertas transparan atau bahan lain yang bersifat menyerap sinar. Keadaan lingkungan juga mempengaruhi penyimpanan minyak atau lemak, termasuk ph ruang penyimpanan, temperatur, ventilasi, tekanan dan masalah penyimpanan (Ketaren, 1996).

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **3.1. Tempat dan Waktu Penelitian**

#### **3.1.1. Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium biofisika dan laboratorium instrumentasi jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.

#### **3.1.2. Waktu Penelitian**

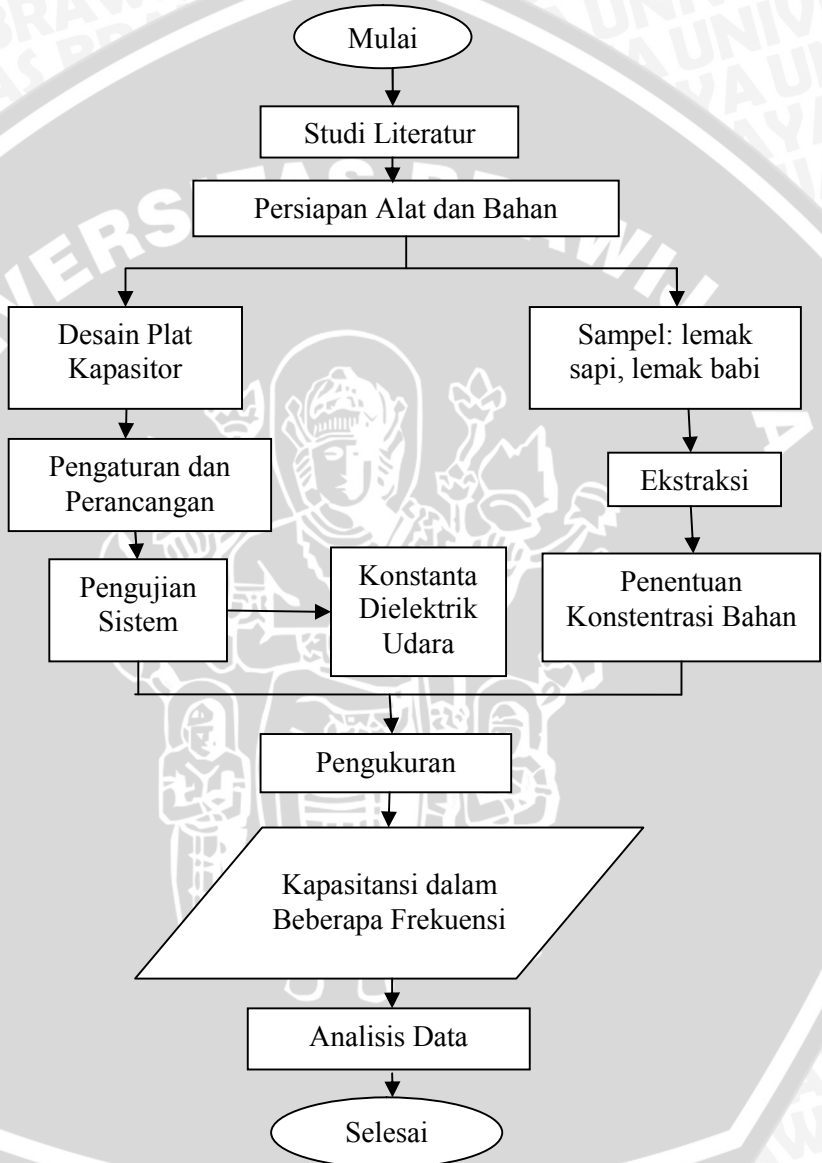
Waktu pelaksanaan tugas akhir dilakukan pada tanggal 1 Maret 2014 sampai Mei 2014.

### **3.2. Prosedur Penelitian**

Karakteristik kelistrikan lemak sapi dan lemak babi dilakukan menggunakan metode dielektrik. Penelitian dilakukan dengan beberapa tahap dan perlakuan, yang terdiri dari penyiapan alat, persiapan sampel, pengujian sistem, pengukuran karakteristik kelistrikan campuran lemak babi dan lemak sapi, serta analisis data.

### 3.2.1. Diagram Alur Penelitian

Diagram alur pada penelitian ini, yaitu:



Gambar 3.1. Diagram Alur Penelitian



### 3.2.2. Penyiapan Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini yaitu LCR meter GW-instek seri 816, LCR konektor L dan H, PCB tembaga, alat pemotong PCB, solder, kawat tembaga, kabel tunggal, penggaris, gunting, lem, *ferri chloride*, skotlet dan termometer. Adapun tahapan penyiapan alat dibagi menjadi beberapa tahap yaitu:

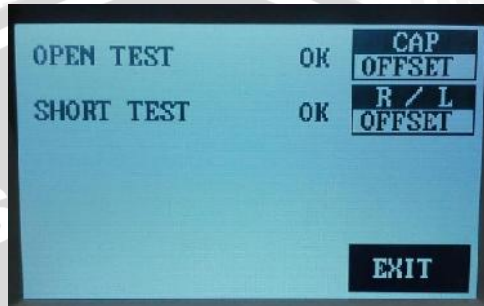
#### a. Desain Plat Kapasitor

Plat kapasitor terbuat dari PCB tembaga dengan ukuran  $20 \times 10 \text{ mm}^2$  dengan jarak antarplat 5 mm. Plat dipotong berdasarkan ukuran yang ditentukan dengan alat pemotong PCB. Ukuran plat dilebihkan sedikit dari ukuran yang ditentukan untuk disambungkan ke kabel. Bagian plat yang dibutuhkan ditutup dengan skotlet, kemudian dibersihkan dengan menggunakan larutan *ferri chloride*. Plat dibentuk ruang dan disambungkan dengan kabel yang disolder pada permukaan plat yang dilebihkan. Fungsi dari penyambungan plat kapasitor dengan kabel adalah sebagai penghubung antara plat kapasitor dengan konektor LCR meter L dan H, yang kemudian plat disambungkan pada penjepit konektor. LCR meter dirangkai dengan konektor (*dual probe*), yang mana konektor LCR meter dipasang sesuai dengan tanda L dan H. Dipastikan bahwa konektor tersambung dan terkunci dengan benar.

#### b. Pengaturan dan perancangan Sistem

Pengaturan sistem pada LCR meter meliputi kalibrasi, *Zeroing* dan *Warming up*. Kalibrasi dilakukan pada LCR meter dengan cara menghidupkan LCR meter, kemudian tekan menu, pilih setting, dan tekan *recall calibration*, tunggu sampai bar hitam penuh dan muncul tulisan *ok*. *Zeroing* pada LCR meter dilakukan agar pengukuran yang dilakukan tidak terganggu dengan *error* dari kabel konektor L dan H dan pengukuran akan lebih akurat. *Zeroing* dilakukan dengan cara menekan menu dan pilih *Off Set*. *Off set* terdiri dari *open circuit* dan *short circuit*. *Open circuit* adalah keadaan dimana kabel konektor L dan H tidak tersambung (*open*). Tombol ditekan dan ditunggu sampai bar hitam penuh dan muncul tanda *ok*. *Short circuit* adalah dimana kabel konektor L dan H

disambungkan dengan kawat tembaga yang pendek. Tombol ditekan dan ditunggu sampai bar hitam penuh dan muncul tanda *ok*.



Gambar 3.2. Proses *Warming Up*

*Warming Up* dilakukan dengan cara mereset *value* atau besaran yang akan diukur. Hal ini berfungsi untuk pemanasan alat, agar lebih sensitif pada saat digunakan. Pengukuran besaran resistansi, kapasitansi dan induktansi dilakukan tanpa pencacatan dengan kecepatan pengukuran lambat pada suatu komponen yang sudah diketahui besarnya resistansi, kapasitansi dan induktansinya. Frekuensi pengukuran yang diberikan diubah mulai dari nilai terkecil hingga nilai terbesar. Untuk mengetahui respon dari alat, pengukuran dilakukan dengan kecepatan berubah-ubah yaitu mulai dari *slow*, *medium* dan *fast*. Perancangan sistem pengukuran dilakukan sedemikian rupa, sehingga alat siap untuk dilakukan pengukuran.

Ekstraksi lemak sapi dan lemak babi yang telah ditentukan konsentrasinya diletakkan pada plat kapasitor berdimensi ruang yang terbuat dari tembaga, kemudian kabel dari plat kapasitor dihubungkan dengan penjepit pada konektor LCR meter.



Gambar 3.3. Rangkaian Pengukuran

### c. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan pada sistem pengukuran yang tersusun dari LCR meter, konektor L dan H, serta plat tembaga paralel. Pengujian sistem bertujuan untuk mengetahui keakuratan dan presisi dari sistem pengukuran karakteristik kelistrikan pada lemak yang harus sesuai dengan standar pengukuran plat tembaga sejajar atau metode dielektrik. 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  $20 \times 10 \text{ mm}^2$  dan jarak antarplat 5 mm. Temperatur udara pada saat pengujian sistem dilakukan pada temperatur ruang.

### 3.2.3. Penyiapan Sampel

Pada penelitian ini, sampel lemak babi dan lemak sapi diekstraksi dari jaringan lemak babi dan jaringan lemak sapi menggunakan *microwave* Panasonic NN-215WF/MF. Pemanasan dilakukan pada power medium selama 15 menit. Lemak yang meleleh dikumpulkan dan diserap airnya dengan Natrium Sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) anhidrat. Lemak yang telah ditambahkan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ini kemudian disaring dengan menggunakan kain saring untuk memisahkan lemak jenuh dan tak jenuhnya.

Sampel dibuat dengan cara mencampurkan lemak (lemak sapi, lemak babi) dengan beberapa konsentrasi yang telah ditentukan. Campuran lemak ini disimpan dalam botol kaca dengan volume 8

ml. Untuk membuat campuran lemak sapi dan lemak babi ini dilakukan dengan cara:

Sampel 1 (100,0)	= 8 ml lemak sapi
Sampel 2 (0,100)	= 8 ml lemak babi
Sampel 3 (99,5 , 0,5)	= 7,96 ml lemak sapi + 0,04 ml lemak babi
Sampel 4 (99,1)	= 7,92 ml lemak sapi + 0,08 ml lemak babi
Sampel 5 (95,5)	= 7,6 ml lemak sapi + 0,4 ml lemak babi
Sampel 6 (90,10)	= 7,2 ml lemak sapi + 0,8 ml lemak babi
Sampel 7 (80,20)	= 6,4 ml lemak sapi + 1,6 ml lemak babi
Sampel 8 (70,30)	= 5,6 ml lemak sapi + 2,4 ml lemak babi
Sampel 9 (60,40)	= 4,8 ml lemak sapi + 3,2 ml lemak babi
Sampel 10 (50,50)	= 4 ml lemak sapi + 4 ml lemak babi

Setelah dilakukan pencampuran, kemudian dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer* pada keadaan lemak dalam fasa cair selama 30 detik. Pencampuran ini bertujuan agar campuran lemak menjadi homogen. Fraksi ini kemudian disimpan dalam lemari pendingin sebelum digunakan lebih lanjut. Sebelum dilakukan pengukuran, lemak yang sudah membeku dipanaskan terlebih dahulu kemudian dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer* kembali selama 30 detik. Pengukuran kapasitansi lemak dilakukan ketika lemak dalam fasa cair.

### **3.2.4. Pengukuran Sifat Listrik**

Setiap sampel dimasukkan dalam plat tembaga paralel dengan ukuran 20 mm x 10 mm berjarak 5 mm. Kemudian plat kapasitor dihubungkan dengan LCR meter untuk mengukur sifat listrik sampel. Sampel lemak yang diukur yaitu ketika lemak berada dalam fasa cair. Sifat listrik sampel yang diukur, yaitu kapasitansi pada frekuensi 800 Hz hingga 2000 Hz dengan rentang frekuensi 50 Hz, pengukuran dilakukan dari frekuensi rendah hingga frekuensi tinggi. Pengukuran dilakukan pada temperatur ruang. Nilai kapasitansi yang ditampilkan pada layar LCR meter dicatat sebanyak tujuh kali pada tiap frekuensinya.



Gambar 3.4 Output pengukuran kapasitansi pada LCR meter

### 3.2.5. Analisis Data

Perhitungan data yang dilakukan yaitu dengan merata-rata nilai kapasitansi dengan menggunakan persamaan 3.1 pada tiap frekuensi.

$$\bar{C} = \sum_{i=1}^7 C_i / 7 \quad (3.1)$$

Nilai kapasitansi yang didapat, digunakan untuk perhitungan nilai konstanta dielektrik dengan menggunakan persamaan 3.2.

$$\epsilon' = \frac{\bar{C} \cdot d}{\epsilon_0 A} \quad (3.2)$$

Dimana  $\bar{C}$  = adalah kapasitansi rata-rata

A = luas penampang

d = jarak antar plat

$\epsilon_0$  = permitivitas udara =  $8,85 \times 10^{-12}$  F/m

Analisis data yang dilakukan adalah menggambarkan hubungan antara karakteristik kapasitansi dan konstanta dielektrik pada campuran lemak yang didapat dengan frekuensi pengukuran.

Nilai kapasitansi diplotkan terhadap frekuensi, begitu juga dengan nilai konstanta dielektrik. Grafik yang diplotkan, yaitu nilai frekuensi sebagai sumbu x, dan nilai kapasitansi sebagai sumbu y. Hal ini, dikarenakan nilai frekuensi merupakan variabel bebas, sedangkan kapasitansi dan konstanta dielektrik merupakan variabel terikat terhadap frekuensi yang diberikan. Kemudian grafik diamati trend line dan persamaan yang terbentuk dibandingkan dengan teori. Berdasarkan persamaan 2.8, nilai kapasitansi merupakan fungsi eksponensial negatif terhadap frekuensi, sehingga grafik yang didapatkan merupakan grafik dengan fungsi eksponensial negatif.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

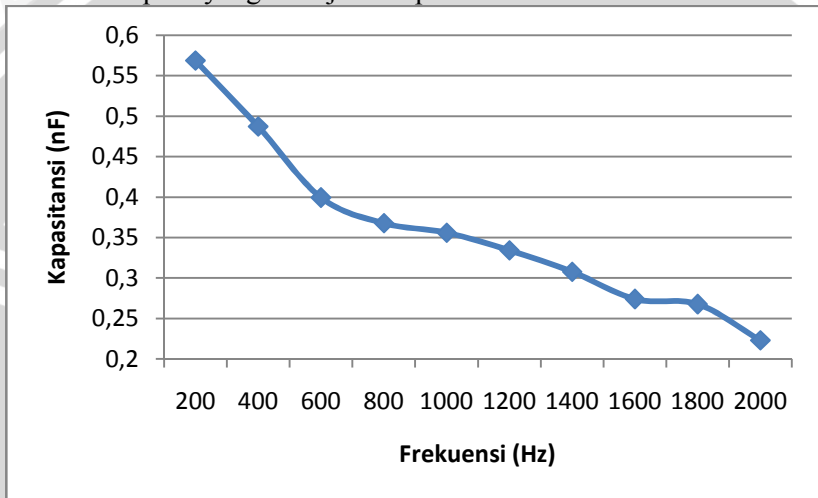
**(Halaman ini Sengaja dikosongkan)**



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

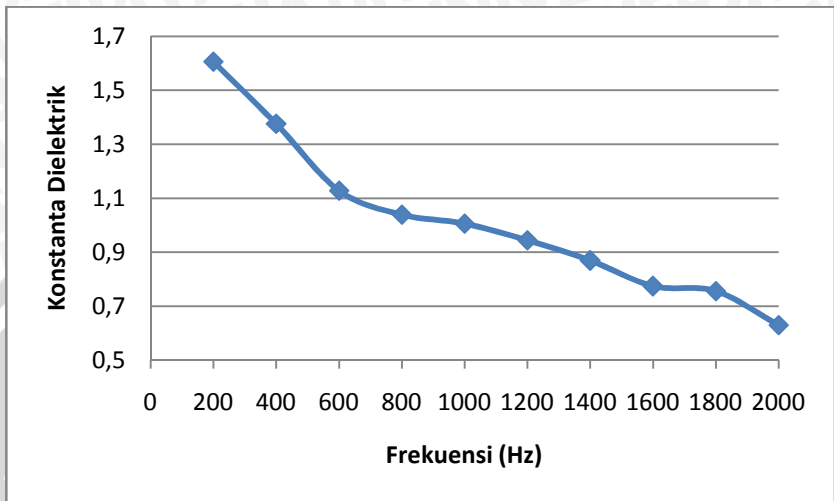
### 4.1 Karakteristik Dielektrik Udara Pada Berbagai Frekuensi

Pada hasil pengujian plat kapasitor yang dilakukan, didapatkan nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik pada berbagai frekuensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2



Gambar 4.1. Hubungan antara frekuensi terhadap kapasitansi pada udara

Gambar 4.1 menunjukkan hasil pengukuran kapasitansi udara pada frekuensi 200–2000 Hz pada arus AC. Pada grafik dapat dilihat adanya penurunan nilai kapasitansi udara dengan semakin besarnya frekuensi yang diberikan pada pengukuran.



Gambar 4.2. Hubungan antara Frekuensi terhadap Konstanta Dielektrik

Gambar 4.2 menunjukkan hubungan nilai konstanta dielektrik dengan frekuensi yang diberikan. Terjadi penurunan nilai konstanta dielektrik dengan semakin besarnya frekuensi yang diberikan. Nilai konstanta dielektrik berbanding lurus dengan kapasitansinya, sehingga penurunan grafik yang ditunjukkan tidak berbeda. Hasil pengukuran nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik udara digunakan sebagai acuan dari pengujian alat yang digunakan. Nilai konstanta dielektrik pada temperatur ruang secara teori (Halliday *et al*, 1992) untuk ruang hampa yaitu 1 dan untuk udara yaitu 1,00059. Nilai konstanta dielektrik pada pengukuran plat yang dilakukan, nilai yang paling mendekati secara teoritis yaitu pada frekuensi 1000 Hz sebesar 1,0056 dengan kesalahan relatif 0,25% . Dari hasil pengukuran nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik udara yang berdasarkan yang telah dilakukan, dapat dikatakan bahwa pengujian alat atau standarisasi alat sudah dapat digunakan untuk mengukur karakteristik kelistrikan pada lemak.

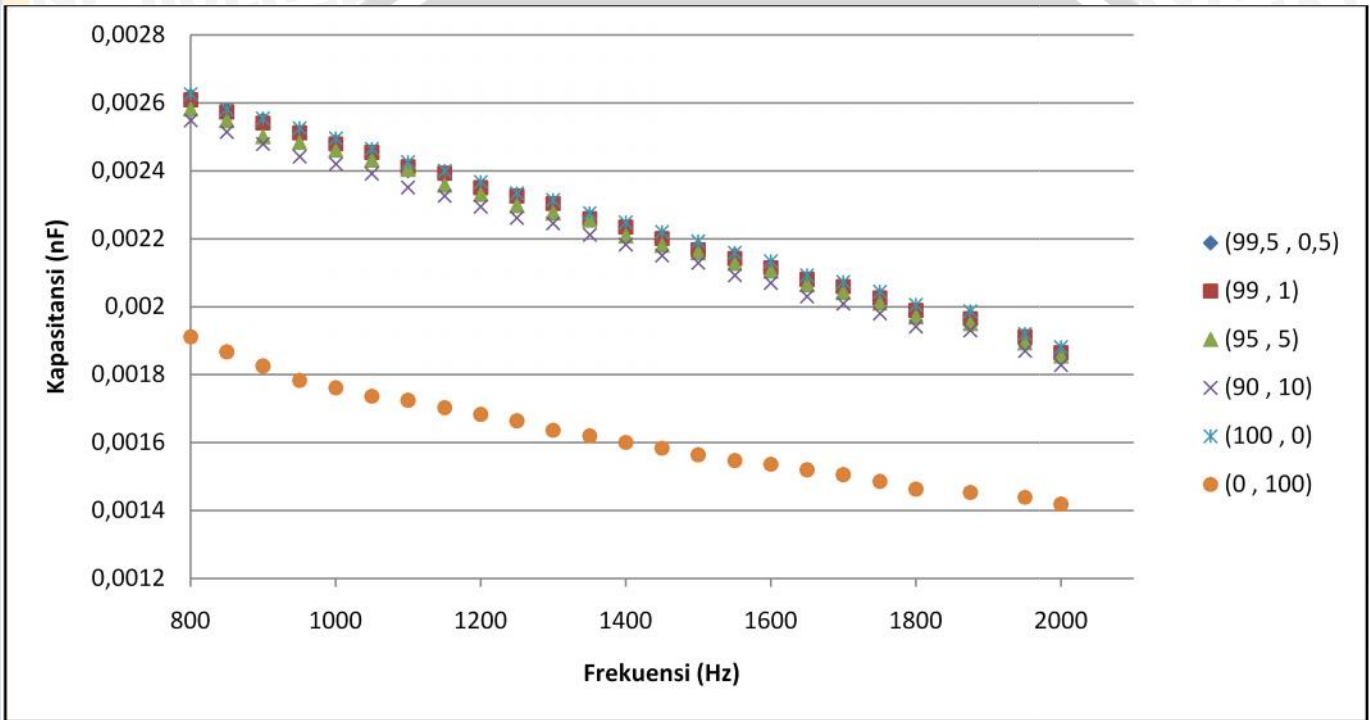


## 4.2. Pengaruh Campuran Lemak Babi terhadap Kapasitansi Lemak Sapi

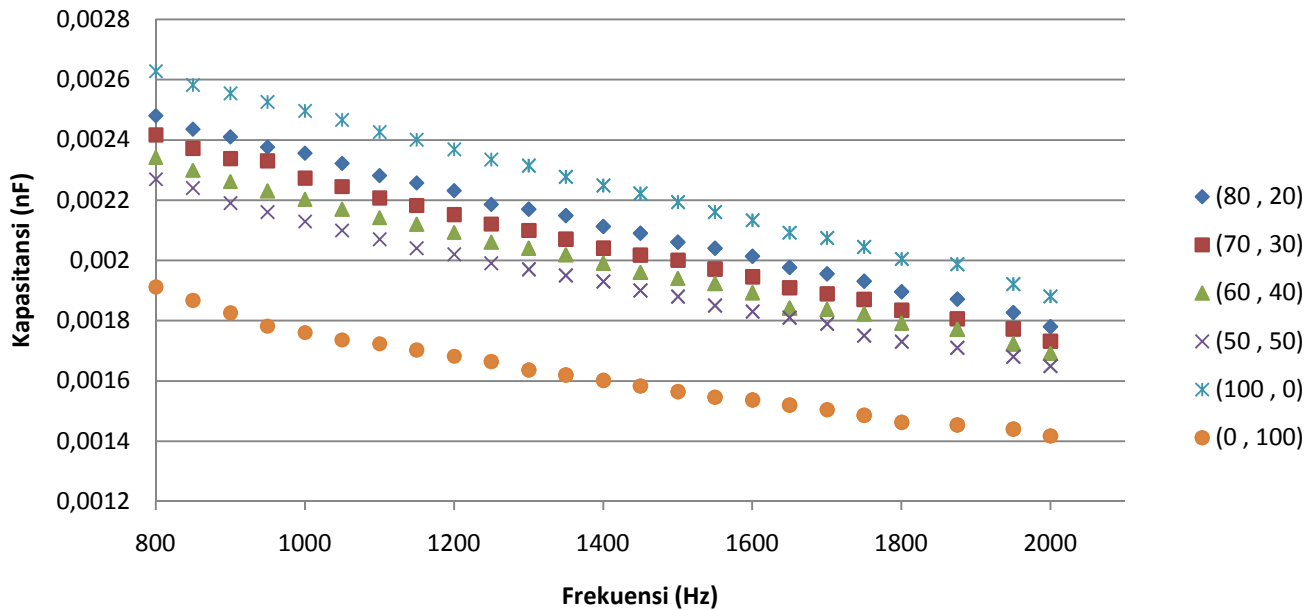
Gambar 4.3 menunjukkan adanya pengaruh penambahan konsentrasi cemaran lemak babi terhadap nilai kapasitansi yang didapatkan. Nilai kapasitansi menurun seiring dengan naiknya frekuensi yang digunakan. Penurunan nilai kapasitansi (C) terhadap frekuensi (x) menurun secara eksponensial yang ditunjukkan oleh persamaan garis yang terbentuk yaitu:

$C_{(100, 0)}$	$y = 0,003e^{-3E-0x}$	$R^2 = 0,997$
$C_{(0, 100)}$	$y = 0,002e^{-2E-0x}$	$R^2 = 0,989$
$C_{(99,5, 0,5)}$	$y = 0,003e^{-3E-0x}$	$R^2 = 0,997$
$C_{(99, 1)}$	$y = 0,003e^{-3E-0x}$	$R^2 = 0,998$
$C_{(95, 5)}$	$y = 0,003e^{-3E-0x}$	$R^2 = 0,997$
$C_{(90, 10)}$	$y = 0,003e^{-3E-0x}$	$R^2 = 0,997$
$C_{(80, 20)}$	$y = 0,003e^{-3E-0x}$	$R^2 = 0,998$
$C_{(70, 30)}$	$y = 0,003e^{-3E-0x}$	$R^2 = 0,998$
$C_{(60, 40)}$	$y = 0,002e^{-3E-0x}$	$R^2 = 0,998$
$C_{(50, 50)}$	$y = 0,002e^{-3E-0x}$	$R^2 = 0,997$

Lemak yang disisipkan diantara plat kapasitor bersifat sebagai bahan dielektrik yang dapat memperlambat medan listrik. Dari persamaan garis yang terbentuk, grafik berbentuk eksponensial negatif yang sesuai dengan persamaan kapasitansi jaringan biologis pada persamaan 2.8. Grafik dengan konsentrasi cemaran lemak babi yang rendah, cenderung berhimpit dengan grafik pada lemak sapi murni. Jika dilihat dari persamaan garis yang terbentuk, *slope* atau kemiringan garis pada konsentrasi cemaran lemak babi yang rendah, kemiringannya sama dengan lemak sapi murni. Pada konsentrasi cemaran lemak babi yang tinggi, kemiringan garis sama dengan lemak babi.



Gambar 4.3 (a) Hubungan antara Frekuensi terhadap Kapasitansi Campuran Lemak Babi pada Lemak Sapi dengan Konsentrasi 0% sampai dengan 10%

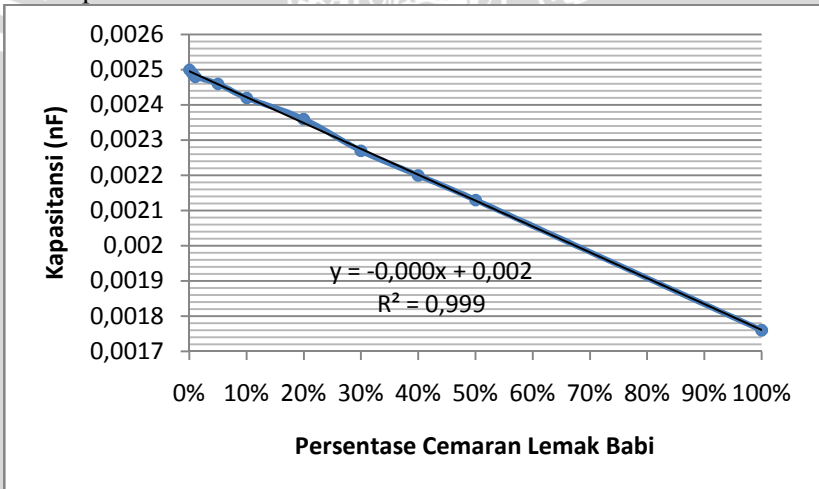


Gambar 4.3 (b) Hubungan antara Frekuensi terhadap Kapasitansi Campuran Lemak Babi pada Lemak Sapi dengan Konsentrasi di atas 20%

Pada frekuensi 1000 Hz, nilai kapasitansi pada berbagai lemak yaitu:

- $C_{(100, 0)} = 0,00250$  nF
- $C_{(0, 100)} = 0,00176$  nF
- $C_{(99,5, 0,5)} = 0,00249$  nF
- $C_{(99, 1)} = 0,00248$  nF
- $C_{(95, 5)} = 0,00246$  nF
- $C_{(90, 10)} = 0,00242$  nF
- $C_{(80, 20)} = 0,00236$  nF
- $C_{(70, 30)} = 0,00227$  nF
- $C_{(60, 40)} = 0,00220$  nF
- $C_{(50, 50)} = 0,00213$  nF

Penurunan nilai kapasitansi lemak sapi terhadap penambahan konsentrasi cemaran lemak babi pada frekuensi 1000 Hz dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Penurunan Kapasitansi Lemak Sapi terhadap Jumlah Konsentrasi Lemak Babi

Penambahan konsentrasi cemaran lemak babi, akan menurunkan nilai kapasitansi dari lemak sapi. Pada penambahan cemaran lemak babi dengan konsentrasi 0,5% nilai kapasitansi lemak sapi turun sebesar 99,6%. Pada penambahan cemaran lemak babi dengan konsentrasi 1% nilai kapasitansi lemak sapi turun sebesar 99,2%. Pada penambahan cemaran lemak babi dengan konsentrasi 5% nilai kapasitansi lemak sapi turun sebesar 98,4%. Pada penambahan

cemaran lemak babi dengan konsentrasi 10%, 20%,30% 40% dan 50% nilai kapasitansi lemak sapi berturut-turut turun sebesar 96,8%, 94,4%, 90,8%, 88% dan 85,2%. Penambahan konsentrasi cemaran lemak babi yang tinggi, menyebabkan nilai kapasitansinya akan berada diantara nilai kapasitansi lemak sapi dan kapasitansi lemak babi.

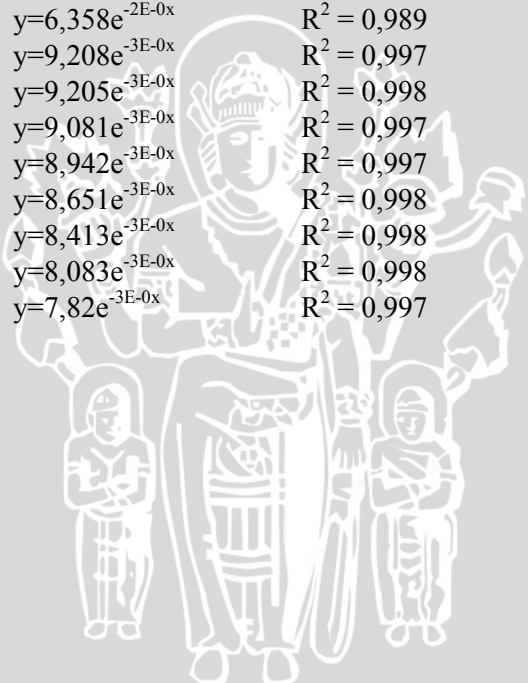
Kapasitansi adalah kemampuan kapasitor menyimpan energi dalam medan listrik. Jaringan hidup terdiri atas sel-sel yang dikelilingi cairan ekstraselular. Pada frekuensi rendah, membran sel sebagai isolator berperilaku seperti sebuah kapasitor (Sucipto, 2013). Semakin tinggi frekuensi, maka semakin banyak gelombang yang ditransmisikan tiap detiknya. Pada frekuensi rendah, kapasitor tidak mengalirkan arus listrik. Pada kapasitor, muatan yang terkumpul diantara konduktornya tidak akan mencapai keseimbangan (sebelum terisi penuh muatannya harus dilepaskan kembali), sehingga arus akan tetap mengalir. Semakin tinggi frekuensinya semakin sedikit muatan yang terisi dalam kapasitor. Pada frekuensi yang relatif tinggi, terjadi penyearahan momen dipol sehingga muatan positif dan negatif mulai menyearahkan terhadap kutub positif dan negatif pada plat kapasitor. Penurunan nilai kapasitansi pada lemak sapi, lemak babi dan campuran kedua lemak, sebanding dengan naiknya frekuensi, hal ini diakibatkan karena adanya penyearahan momen dipol molekul-molekul pada lemak. Lemak merupakan molekul non polar, dalam pengaruh medan listrik luar, molekul-molekul akan menginduksi momen-momen dipol yang searah dengan arah medan, sehingga, menghasilkan medan listrik tambahan yang arahnya berlawanan dengan medan awal dan melemahkan medan awal. Medan listrik bahan, berbanding terbalik dengan nilai konstanta dielektriknya. Sehingga, ketika frekuensi yang diberikan pada bahan meningkat, nilai konstanta dielektriknya akan menurun (Tipler. 2000).

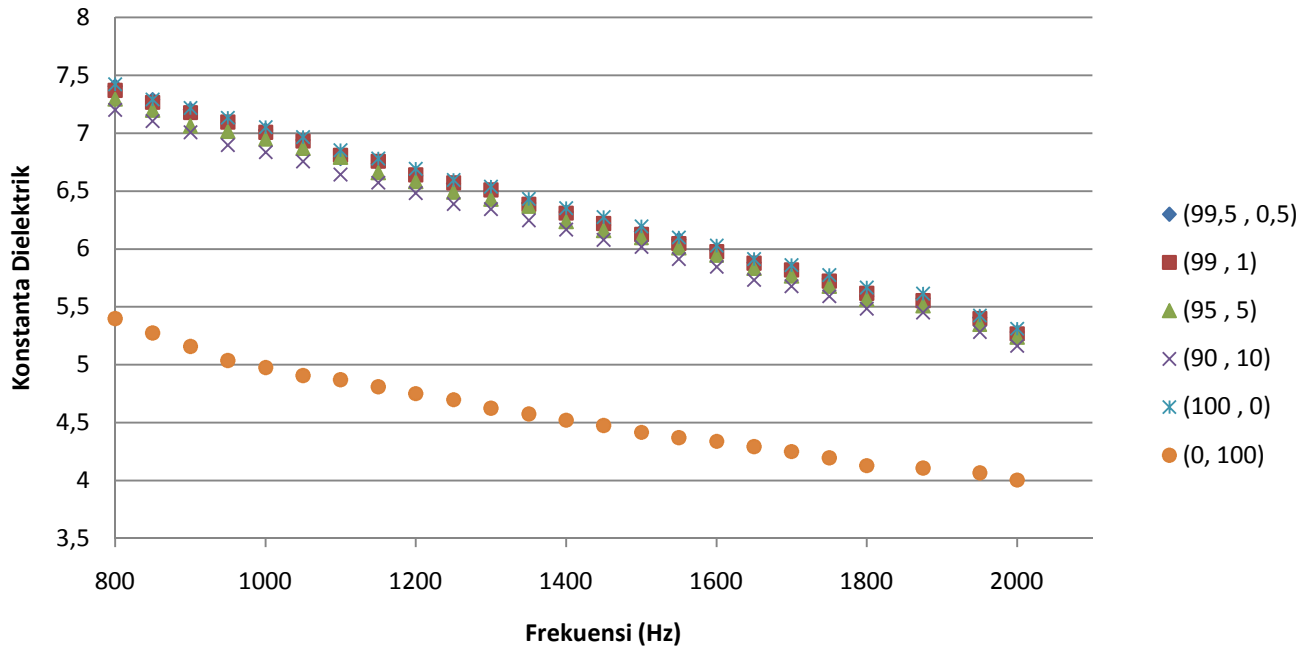
#### **4.3. Pengaruh Campuran Lemak Babi Terhadap Konstanta Dielektrik Lemak Sapi**

Nilai konstanta dielektrik merupakan karakteristik kelistrikan pada suatu bahan akibat adanya medan listrik luar. Lemak yang digunakan sebagai bahan dielektrik dipengaruhi oleh medan listrik

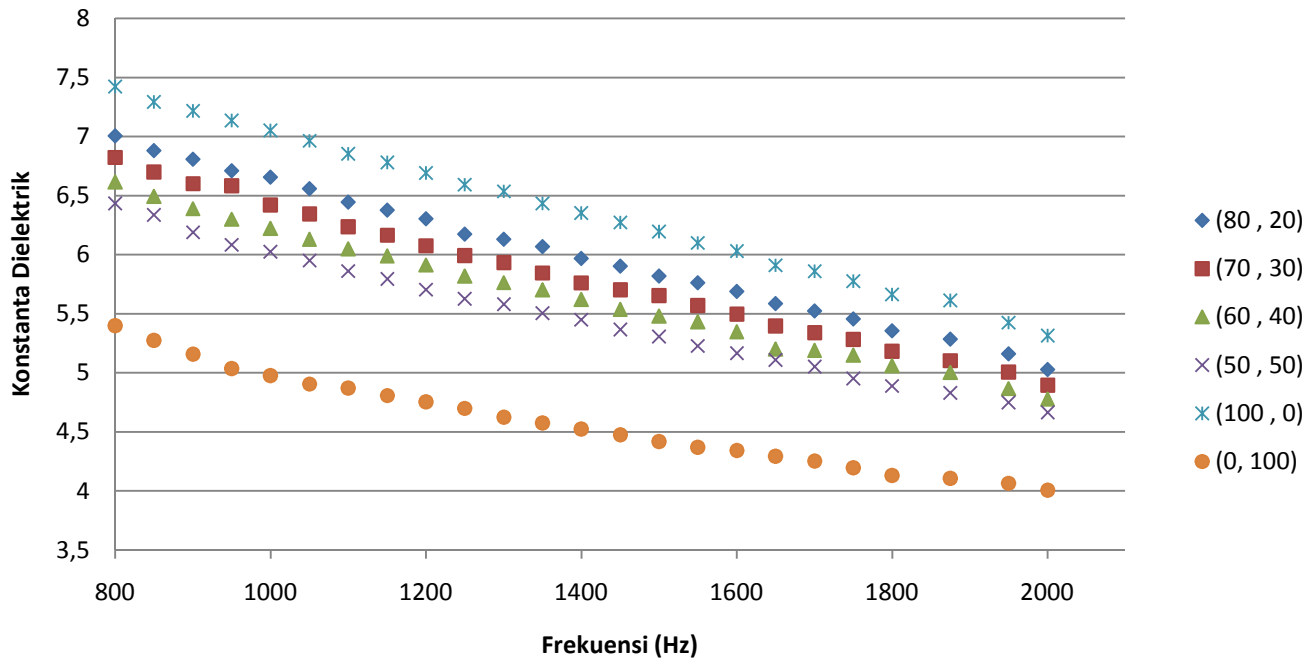
pada plat kapasitor dan akan bersifat insulator, sehingga muatan yang ada pada lemak akan diam dan tidak bebas untuk bergerak akibat pengaruh medan listrik. Grafik nilai konstanta Dielektrik terhadap frekuensi dapat dilihat pada Gambar 4.5. Pada gambar tersebut menunjukkan adanya penurunan nilai konstanta dielektrik pada berbagai konsentrasi cemaran lemak babi terhadap frekuensi yang diberikan. Nilai konstanta dielektrik pada lemak mengalami penurunan sebanding dengan penurunan nilai kapasitansinya, hal tersebut sesuai dengan persamaan 2.3. Persamaan garis yang menunjukkan penurunan nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon'$ ) terhadap frekuensi (x) yaitu:

$\epsilon'$ (100, 0)	$y=9,224e^{-3E-0x}$	$R^2 = 0,997$
$\epsilon'$ (0, 100)	$y=6,358e^{-2E-0x}$	$R^2 = 0,989$
$\epsilon'$ (99,5, 0,5)	$y=9,208e^{-3E-0x}$	$R^2 = 0,997$
$\epsilon'$ (99, 1)	$y=9,205e^{-3E-0x}$	$R^2 = 0,998$
$\epsilon'$ (95, 5)	$y=9,081e^{-3E-0x}$	$R^2 = 0,997$
$\epsilon'$ (90, 10)	$y=8,942e^{-3E-0x}$	$R^2 = 0,997$
$\epsilon'$ (80, 20)	$y=8,651e^{-3E-0x}$	$R^2 = 0,998$
$\epsilon'$ (70, 30)	$y=8,413e^{-3E-0x}$	$R^2 = 0,998$
$\epsilon'$ (40, 60)	$y=8,083e^{-3E-0x}$	$R^2 = 0,998$
$\epsilon'$ (50, 50)	$y=7,82e^{-3E-0x}$	$R^2 = 0,997$





Gambar 4.5 (a) Hubungan antara Frekuensi terhadap konstanta Dielektrik Campuran Lemak Babi pada Lemak Sapi dengan Konsentrasi Campuran 0% sampai dengan 10%



Gambar 4.5 (b) Hubungan antara Frekuensi terhadap Konstanta Dielektrik Campuran Lemak Babi pada Lemak Sapi dengan Konsentrasi di atas 20%



Persamaan garis yang terbentuk merupakan fungsi eksponensial negatif. Setiap penambahan konsentrasi cemaran lemak babi, maka kemiringan garis yang terbentuk semakin menurun relatif terhadap lemak sapi murni. Pada gambar 4.4 (a) grafik cenderung berhimpit pada konsentrasi cemaran lemak babi yang rendah dengan lemak sapi murni. Beda kemiringan atau delta konstanta dielektrik konsentrasi cemaran 0,5% terhadap lemak sapi murni yaitu  $\varepsilon' = 0,016$ , beda kemiringan pada konsentrasi 1% terhadap 0,5% yaitu  $\varepsilon' = 0,003$ , dan beda kemiringan pada konsentrasi 5% terhadap 1% yaitu  $\Delta\varepsilon' = 0,124$ .

Pada frekuensi 1000 Hz, nilai konstanta dielektrik pada berbagai konsentrasi lemak, yaitu:

$$\varepsilon'_{(100, 0)} = 7,050$$

$$\varepsilon'_{(0, 100)} = 4,976$$

$$\varepsilon'_{(99,5, 0,5)} = 7,026$$

$$\varepsilon'_{(99, 1)} = 7,006$$

$$\varepsilon'_{(95, 5)} = 6,949$$

$$\varepsilon'_{(90, 10)} = 6,836$$

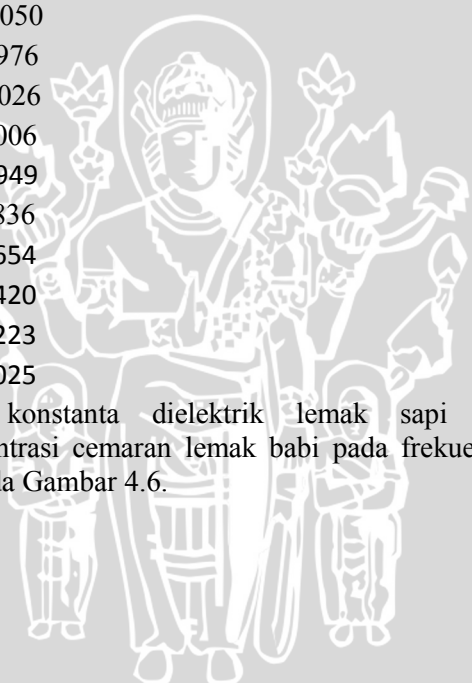
$$\varepsilon'_{(80, 20)} = 6,654$$

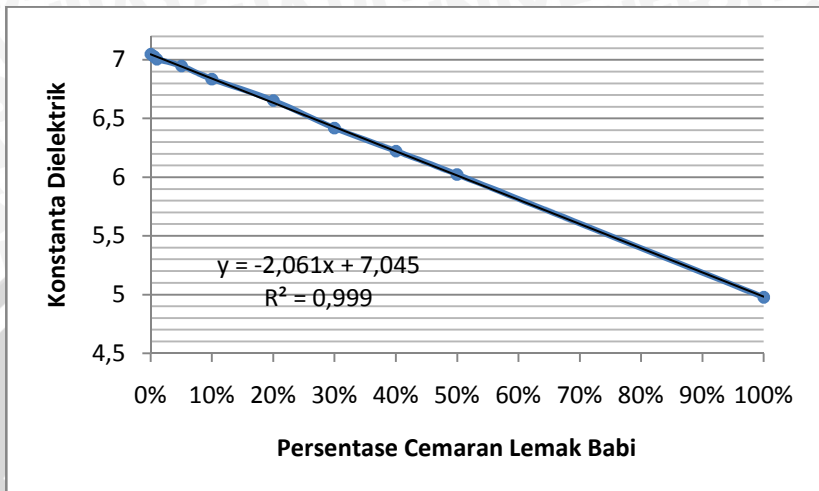
$$\varepsilon'_{(70, 30)} = 6,420$$

$$\varepsilon'_{(60, 40)} = 6,223$$

$$\varepsilon'_{(50, 50)} = 6,025$$

Penurunan nilai konstanta dielektrik lemak sapi terhadap penambahan konsentrasi cemaran lemak babi pada frekuensi 1000 Hz dapat dilihat pada Gambar 4.6.





Gambar 4.6 Penurunan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi terhadap Jumlah Konsentrasi Lemak Babi

Penambahan konsentrasi cemar lemak babi, akan menurunkan nilai konstanta dielektrik dari lemak sapi. Pada penambahan cemar lemak babi dengan konsentrasi 0,5% nilai konstanta dielektrik lemak sapi turun sebesar 99,7%. Penambahan cemar lemak babi dengan konsentrasi 1% nilai konstanta dielektrik lemak sapi turun sebesar 99,4%. Penambahan cemar lemak babi dengan konsentrasi 5% nilai konstanta dielektrik lemak sapi turun sebesar 98,6%. Penambahan cemar lemak babi dengan konsentrasi 10%, 20%, 30% 40% dan 50% nilai konstanta dielektrik lemak sapi berturut-turut turun sebesar 96,9%, 94,4%, 91,1%, 88,3% dan 85,5%. Penambahan konsentrasi cemar lemak babi yang tinggi, menyebabkan nilai konstanta dielektriknya akan berada diantara nilai konstanta dielektrik lemak sapi dan konstanta dielektrik lemak babi.

Jaringan mempunyai dualisme sifat karakteristik kelistrikan, suatu jaringan dapat bersifat sebagai konduktor atau dielektrik. Pada range frekuensi <100 kHz kebanyakan jaringan bersifat konduktor elektrolit, Sesuai dengan kelistrikan lapisan ganda yang sensitif terhadap komposisi permukaan. Sifat kapasitif yang penting dapat diketahui dengan menggunakan pengukuran yang beresolusi tinggi. Sifat kapasitif ini disebut dengan sifat dielektrik, yang dapat muncul pada frekuensi rendah (10 Hz). Pada frekuensi yang lebih tinggi (50 kHz), sifat dielektrik dari jaringan mungkin akan lebih mendominasi.

Pada frekuensi tertinggi sifat jaringan akan lebih menyerupai sifat dari air, air murni mempunyai karakteristik frekuensi relaksasi sekitar 18 GHz (Martinsen, 2008).

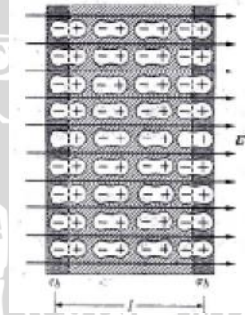
Konstanta Dielektrik dipengaruhi oleh waktu relaksasi. Waktu relaksasi disebabkan oleh jeda waktu yang diperlukan oleh molekul bahan sampai terkutub (*polarized*) ketika mengalami perubahan medan listrik bahan disekitar bahan dielektriknya. Dalam sistem fisis, relaksasi dielektrik mengacu pada waktu respon relaksasi bahan dielektrik atas medan listrik luar. Relaksasi ini sering diterangkan dalam permitivitas sebagai fungsi terhadap frekuensi, yang mana dalam sistem ideal, dapat dinyatakan dalam persamaan Debye (Martinsen, 2002). Pada persamaan Debye (persamaan 2.7 dan 2.8) menunjukkan bahwa semakin tinggi frekuensi yang diberikan maka semakin rendah nilai permitivitas dan konstanta dielektriknya. Pada gambar 2.9 menunjukkan grafik hubungan antara frekuensi terhadap permitivitas relatif dari bahan. Pengukuran yang dilakukan, berada dalam dispersi  $\alpha$ , yaitu dispersi yang berada dalam pengaruh frekuensi dibawah 10 KHz. Grafik yang ditunjukkan, memperlihatkan adanya penurunan pada range frekuensi 100 Hz hingga 1000 Hz. Hal ini sesuai dengan grafik yang didapatkan pada hasil penelitian.

Pada beberapa material, seperti tembaga dan logam-logam lainnya, elektron dapat bergerak bebas di dalam material tersebut. Material ini disebut konduktor. Pada material lain, semua material terikat kuat pada atom-atomnya dan tidak dapat bergerak bebas. Material-material yang demikian disebut isolator (Tipler, 2001). Jika material konduktor diberi beda potensial pada ujung-ujungnya, maka elektron-elektron pada permukaan material tersebut akan bergerak. Beda potensial menghasilkan medan listrik yang mempercepat elektron. Menghubungkan material konduktor dengan beda potensial sama saja memberikan energi potensial listrik terhadap elektron-elektron yang berada pada permukaan material tersebut. Namun demikian, energi yang dimiliki elektron-elektron tersebut akan hilang ketika beda potensial dilepaskan. Dengan kata lain, elektron tersebut akan kembali pada keadaan semula membentuk kesetimbangan elektrostatik (Sudirham, 2010).

Berbeda dari konduktor, material dielektrik ini tidak memiliki elektron-bebas yang dapat bergerak dengan mudah didalam

material, elektron dalam dielektrik merupakan elektron terikat. Di bawah pengaruh medan listrik, pada suhu kamar, pergerakan elektron hampir tidak terdeteksi. Namun pada temperatur tinggi aliran arus bisa terdeteksi jika diberikan medan listrik pada dielektrik. Arus ini bukan saja ditimbulkan oleh elektron yang bergerak tetapi juga oleh pergerakan ion dan pergerakan molekul yang membentuk dipole. Peristiwa pergerakan elektron, ion, dan molekul-molekul polar di dalam dielektrik yang diakibatkan oleh adanya medan listrik disebut peristiwa polarisasi (Sudirham, 2010).

Tak peduli apakah molekul sebuah dielektrik polar atau non polar, efek netto sebuah medan luar pada hakekatnya sama, seperti diperlihatkan pada Gambar 4.7. Di dalam daerah antara dua lapisan permukaan yang amat tipis yang ditunjukkan oleh garis putus-putus, terdapat muatan-lebih negatif pada lapisan yang satu dan positif pada lapisan yang lain. Lapisan-lapisan muatan inilah yang menimbulkan induksi pada permukaan dielektrik. Muatan itu bukanlah muatan bebas, tetapi masing-masing terikat pada molekul yang terletak dibawah atau dekat permukaan. Dibagian lainnya pada dielektrik, muatan netto per satuan volum tetap nol (Zemansky, 1994).



Gambar 4.7 Polarisasi sebuah dielektrik dalam medan listrik menimbulkan lapis-lapis tipis muatan yang terikat di permukaannya.

(Zemansky, 1994)

Sifat dielektrik pada lemak dipengaruhi juga oleh komponen penyusun asam lemaknya (Sucipto, 2013). Asam lemak digolongkan menjadi beberapa kelas, yaitu asam lemak jenuh (*saturated acid*), asam lemak tak jenuh (*unsaturated acid*), dan asam lemak poli-tak jenuh (*polyunsaturated acid*) (Jain, 2005). Asam lemak jenuh hanya memiliki ikatan tunggal di antara atom-atom karbon penyusunnya,

sementara asam lemak tak jenuh memiliki paling sedikit satu ikatan ganda di antara atom-atom karbon penyusunnya (Tambun, 2006). Gambar 4.8 memperlihatkan rumus kimia dari asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh.



Asam Lemak Jenuh (ALJ)



Asam Lemak Tidak Jenuh (ALTJ)

Gambar 4.8 Rumus Kimia Asam Lemak Jenuh dan Asam Lemak Tak Jenuh

(Wildan, 1997)

Profil asam lemak dari lemak babi dan lemak sapi disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Profil Asam Lemak dari Lemak Sapi dan Lemak Babi dengan Kromatografi Gas

Asam Lemak	Komposisi Asam Lemak (%)				
	Sapi	Babi	Babi 0,5%	Babi 1%	Babi 10%
C4:0	8,290	1,853	6,618	5,700	7,102
C14:0	7,349	1,864	6,481	6,473	6,347
C16:0	56,038	35,374	55,833	56,401	55,106
C18:0	20,335	20,491	22,609	22,831	22,213
C18:1cis	3,248	0,208	2,715	2,692	2,432
C18:2trans	0,085	0,104	0,067	0,067	0,128

(Dahimi *et al*, 2014)

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa jumlah asam lemak yang dominan pada lemak sapi dan lemak babi adalah pada C16:0 (asam palmitat), yang mana komposisi asam palmitat pada lemak sapi lebih besar daripada lemak babi. Komposisi asam lemak dominan tersebut mempengaruhi nilai konstanta dielektriknya. Jika dibandingkan antara komposisi asam lemak C16:0 dan konstanta dielektriknya, maka

semakin banyak jumlah asam lemak C16:0 semakin tinggi nilai konstanta dielektriknya. Pada campuran lemak babi di bawah 10% jumlah konsentrasi asam lemak C16:0 yang terdapat didalamnya relatif mendekati jumlah konsentrasi asam lemak C16:0 pada sapi, begitu pula dengan konstanta dielektriknya. Nilai konstanta dielektrik pada campuran lemak babi di atas 10% lebih kecil daripada nilai konstanta dielektrik pada campuran lemak babi di bawah 10%. Nilai konstanta dielektrik pada campuran lemak babi yang tinggi berada di antara nilai konstanta dielektrik lemak sapi dan lemak babi, sehingga dapat diduga bahwa komposisi asam lemak C16:0 yang terdapat pada konsentrasi campuran lemak babi yang tinggi, memiliki jumlah asam lemak C16:0 yang nilainya berada di antara asam lemak sapi dan asam lemak babi.



## **BAB V PENUTUP**

### **5.1. SIMPULAN**

Dari hasil penelitian Studi Pengaruh Campuran Lemak Babi terhadap Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi didapatkan kesimpulan bahwa metode dielektrik dapat digunakan untuk mengukur nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik pada lemak sapi dan lemak babi. Semakin besar konsentrasi cemaran lemak babi pada lemak sapi, semakin kecil nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik sampel. Pada konsentrasi cemaran lemak babi yang kecil, grafik cenderung berhimpit dengan nilai dari lemak sapi dengan beda kemiringan yang kecil, sedangkan pada konsentrasi cemaran lemak yang besar, grafik relatif dapat terbedakan antara masing-masing konsentrasi campuran.

### **5.2. SARAN**

Agar dapat diketahui karakteristik kelistrikan suatu bahan, maka diharapkan dapat menggunakan frekuensi yang lebih beragam dan pengukuran juga dilakukan pada sifat impedansi bahan.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## DAFTAR PUSTAKA

- Almatsier, S, 2004. *Prinsip Dasar Ilmu Gizi*. Jakarta:PT. Gramedia Pustaka Umum.
- Castro-Giráldez M et al. 2010. *Physical Sensors for Quality Control During Processing*. In Toldra.F. Handbook of meat processing. Wiley-Blackell. A John Wiley & Sons, Inc
- Chen et al. 2003. *Calculation of Dielectric Constant and Loss Of Two-Phase Composites*. J. Appl. Phys. 93:3475-3480
- Damijan, Miklavcic et al. 2006. *Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering*. John Wiley & Sons, Inc.
- Dahimi, Omar et al. 2014. *Differentiation of Lard from other Edible Fats by Gas Chromatography-Flame Ionisation Detector (GC-FID) and Chemometrics*. Journal of Food and Pharmaceutical Sciences. 27-31
- Demam, J.M. 1997. *Kimia Makanan*. Bandung : Penerbit ITB.
- Frenske,K dan D.Mirsa. 2000. *Dielectric Materials at Microwave Frequencies*. Appl. Microw. Wireless. 12:92-100.
- Gaman, M dan Sherrington, K.B. 1981. *Ilmu Pangan (Pengantar Ilmu Pangan, Nutrisi dan Mikrobiologi)* Edisi Kedua. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Giancoli, Douglas C. 2001. *Fisika Jilid 2 Edisi Kelima*. Jakarta:Erlangga.
- Halliday, David et al. 1992. *Physics*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

- Harmen. 2001. *Rancang Bangun Alat dan Pengukuran Nilai Sifat Dielektrik Bahan Pertanian Pada Kisaran Frekuensi Radio*. Tesis. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Hart, H et al. 2003. *Kimia Organik Edisi Kesebelas*. Jakarta: Erlangga
- Hermawan, B. 2005. *Monitoring Kadar Air Tanah Melalui Pengukuran Sifat Dielektrik Pada Lahan Jagung*. Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia 7:15-22.
- Ikediala, JN et al. 2000. *Dielectric of Apple Cultivars an Codling Moth Larvae*. *TRANS ASAE*. 43:1175-1184
- Juansah, J dan Irmansyah. 2007. *Kajian Sifat Dielektrik Buah Semangka dengan Pemanfaat Sinyal Listrik Frekuensi Rendah*. *J. Sains MIPA*. 32:22-30
- Kato, K. 1997. *Electrical Density Sorting and Estimation of Soluble Solids Content Of Watermelon*. *J. Agric. Engng. Res*. 67:161-170.
- Ketaren, S. 1986. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Cetakan Pertama. Jakarta: UI-Press.
- Kumar, P et al. 2007. *Measurement of Dielectric Properties of Pumpable Food Materials Under Static and Continuous Flow Conditions*. *J. Food Sci*. 72: E177-E183.
- Lehninger. 1982. *Dasar-Dasar Kimia Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Prodan, E et al. 2008. *The Dielectric Response Of Spherical Live Cells in Suspension: An analytic solution*. *Biophysical Journal* 95: 4174-4182.
- Raharja EM. 1997. *Metabolisme dan Aspek Medik Asam Lemak Gammalinolenat*. *Ebers Papyrus*. 3(1):9-18.

- Reitz, John R. 1993. *Dasar Teori Listrik Magnet*. Bandung: Penerbit ITB
- Salisbury, F.B dan C.W. Ross. 1995. *Fisiologi Tumbuhan*. Jilid 1 Terjemahan Diah R. Lukman dan Sumaryo. ITB, Bandung.
- Sharder, Robert L. 1989. *Komunikasi Elektronika (Revisi Terjemahan)*. Jakarta : Erlangga
- Silalahi J. 2000. *Fats, Oils And Fat Substitutes In Human Nutrition. Indonesian Food And Nutrition Progress*. Universitas Sumatra Utara
- Silalahi, J dan Nurbaya, S. 2011. *Minyak Kelapa dan Minyak Kelapa Sawit Didalam Makanan Serta Implikasinya Terhadap Kesehatan*. Medan: Departemen Kimia Farmasi Fakultas Farmasi Universitas Sumatera Utara
- Silalahi, J dan Tampubolon, S.D.R. 2002. *Asam Lemak Trans dalam Makanan dan Pengaruhnya Terhadap Kesehatan*. Jurnal Teknologi dan Industri Pangan. 8(2):184-188.
- Soepriyono, Gatot. 2002. *Pengukuran Sifat Dielektrik Tepung Kacang Hijau Menggunakan Jembatan Wien*. Bogor: IPB.
- Sosa-Morales, ME et al. 2010. *Review Dielectric Properties of Foods: Reported data in the 21st century and their potential applications*. *LWT-Food Sci. Technol.* 43:1169-1179. doi: 10.1016/j.lwt.2010.03.017
- Stuckey, Ben N. 1972. *Antioxidants as Food Stabilizers in Handbook of Food Additives 2nd edition*, ed. Thomas Furia. Cleveland, OH: CRC Press.
- Sucipto. 2013. *Rancang Bangun Teknik Deteksi Lemak Babi pada Daging Sapi Berbasis Sifat Listrik*. IPB

- Sudarmadji, S. 1989. *Analisa Bahan Makanan dan Pertanian*. Yogyakarta : Liberti
- Sudirham, Sudaryatmo dan Ning Utari. 2010. *Mengenal Sifat-Sifat Material*. Bandung: Darpublic
- Tambun, Rondang. 2006. *Buku Ajar Teknologi Oleokimia (TKK 322)*. Medan : Fakultas Teknik Universitas Sumatra Utara.
- Thomas, H.W. 1985. *Bailey's Industrial Oil and Fat Product Volume 3*. Jhon Wiley & Sons, New York.
- Tipler, Paul A. 1991. *Fisika untuk Sains Dan Teknik Jilid 2 Edisi Ketiga*. Jakarta:Erlangga.
- Tipler, Paul A. 2001. *Fisika untuk Sains dan Teknik jilid 1*. Jakarta:Erlangga
- Turabi E et al. 2010. *Dielectrik and Thermal Properties of Rice Cake Formulations Containing Different Gum Types*. *Int J Food Properties*. 13:1199-1206.
- Young, Hough D. 2002. *Fisika Universitas edisi kesepuluh Jilid 1*. Jakarta: Erlangga
- Zemansky, Sears. 1994. *Fisika Untuk Universitas*. Jakarta: Bina cipta

## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Alat dan Bahan



Lemak babi



Lemak Sapi



$\text{Na}_2\text{SO}_4$



Pipet



Kain Saring, Corong dan Tempat Menyimpan Lemak



Microwave Panasonic NN-215 WF/MF



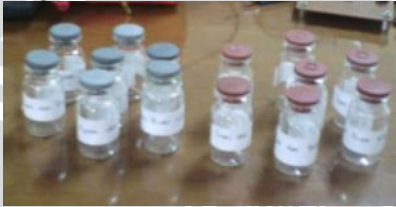
Mikropipet



Magnetic Stirrer



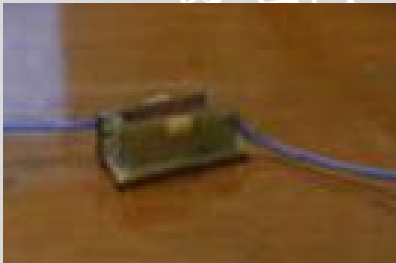
LCR Meter GW- Instek seri 816



Botol kaca 10 mL



Konektor L dan H (*dual probe*)



Plat Kapasitor

Lampiran 2 Data Pengujian Kalibrasi udara

frekuensi (Hz)	C1 (pF)	C2 (pF)	C3 (pF)	Rerata C	Konstanta Dielektrik
200	0,55734	0,58425	0,5642	0,568597	1,606205273
400	0,41839	0,51678	0,5262	0,487123	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	0,355997	1,005640301
1200	0,33541	0,33772	0,32919	0,334107	0,943804143
1400	0,31665	0,30255	0,30361	0,307603	0,86893597
1600	0,27052	0,26628	0,28512	0,273973	0,77393597
1800	0,26983	0,26552	0,26742	0,26759	0,755903955
2000	0,22073	0,22653	0,22185	0,223037	0,630047081



Lampiran 3 Data Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi 100%

Frekuensi (Hz)	C1 (nF)	C2 (nF)	C3 (nF)	C4 (nF)	C5 (nF)	C6 (nF)	C7 (nF)	Rerata $C_{(100,0)}$ (nF)	Konstanta Dielektrik $(100,0)$
800	0,00264	0,00261	0,00264	0,0026	0,00263	0,00264	0,00263	0,00262714	7,421308
850	0,00258	0,00258	0,00258	0,00259	0,00258	0,00259	0,00257	0,00258143	7,292171
900	0,00255	0,00255	0,00256	0,00256	0,00256	0,00254	0,00256	0,00255429	7,215496
950	0,00253	0,00253	0,00252	0,00253	0,00253	0,00252	0,00252	0,00252571	7,134786
1000	0,00249	0,0025	0,0025	0,00251	0,00249	0,00248	0,0025	0,00249571	7,05004
1050	0,00245	0,00247	0,00247	0,00247	0,00247	0,00246	0,00247	0,00246571	6,965295
1100	0,00242	0,00242	0,00242	0,00243	0,00242	0,00244	0,00243	0,00242571	6,8523
1150	0,00241	0,00239	0,00241	0,00239	0,00241	0,00239	0,0024	0,0024	6,779661
1200	0,00236	0,00237	0,00236	0,00237	0,00238	0,00237	0,00237	0,00236857	6,69088
1250	0,00233	0,00232	0,00234	0,00232	0,00235	0,00233	0,00235	0,00233429	6,594027
1300	0,00231	0,00232	0,00232	0,00231	0,00231	0,00232	0,00231	0,00231429	6,53753
1350	0,00227	0,00229	0,00228	0,00227	0,00228	0,00227	0,00228	0,00227714	6,432607
1400	0,00224	0,00224	0,00225	0,00226	0,00225	0,00225	0,00225	0,00224857	6,351897
1450	0,00222	0,00221	0,00222	0,00222	0,00222	0,00223	0,00223	0,00222143	6,275222
1500	0,00219	0,0022	0,0022	0,00219	0,00219	0,00219	0,00219	0,00219286	6,194512
1550	0,00217	0,00216	0,00215	0,00216	0,00216	0,00217	0,00215	0,00216	6,101695



1600	0,00213	0,00213	0,00214	0,00214	0,00212	0,00214	0,00214	0,00213429	6,029056
1650	0,0021	0,00209	0,0021	0,00209	0,00209	0,00209	0,00209	0,00209286	5,912026
1700	0,00206	0,00208	0,00208	0,00208	0,00206	0,00208	0,00208	0,00207429	5,859564
1750	0,00204	0,00203	0,00205	0,00205	0,00205	0,00205	0,00204	0,00204429	5,774818
1800	0,002	0,002	0,002	0,002	0,00201	0,00202	0,00201	0,00200571	5,66586
1875	0,00198	0,00199	0,00198	0,00199	0,00199	0,00199	0,00199	0,00198714	5,613398
1950	0,00192	0,00192	0,00192	0,00192	0,00193	0,00192	0,00192	0,00192143	5,427764
2000	0,00189	0,00189	0,0018	0,00189	0,0019	0,0019	0,0019	0,00188143	5,31477



Lampiran 4 Data Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Babi 100%

Frekuensi (Hz)	C1 (nF)	C2 (nF)	C3 (nF)	C4 (nF)	C5 (nF)	C6 (nF)	C7 (nF)	Rerata $C_{(0, 100)}$ (nF)	Konstanta Dielektrik $(0, 100)$
800	0,00189	0,00193	0,00192	0,00194	0,0019	0,00191	0,00189	0,0019114	5,399516
850	0,00188	0,00187	0,00187	0,00185	0,00186	0,00187	0,00187	0,0018671	5,274415
900	0,00177	0,00185	0,00185	0,00181	0,00184	0,00183	0,00183	0,0018257	5,157385
950	0,00181	0,00178	0,00176	0,00178	0,00178	0,00179	0,00178	0,0017829	5,03632
1000	0,00177	0,00176	0,00175	0,00176	0,00177	0,00177	0,00175	0,0017614	4,975787
1050	0,00174	0,00174	0,00174	0,00174	0,00174	0,00173	0,00173	0,0017371	4,907183
1100	0,00173	0,00172	0,00172	0,00173	0,00173	0,00172	0,00172	0,0017243	4,870864
1150	0,00169	0,0017	0,0017	0,00171	0,00172	0,0017	0,0017	0,0017029	4,810331
1200	0,00169	0,00168	0,00168	0,00169	0,00167	0,00169	0,00168	0,0016829	4,753834
1250	0,00167	0,00165	0,00167	0,00167	0,00166	0,00167	0,00166	0,0016643	4,701372
1300	0,00164	0,00164	0,00164	0,00164	0,00164	0,00163	0,00163	0,0016371	4,624697
1350	0,00163	0,00161	0,00163	0,00161	0,00162	0,00162	0,00162	0,00162	4,576271
1400	0,00161	0,00161	0,0016	0,00159	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016014	4,52381
1450	0,00159	0,00158	0,00158	0,00158	0,00159	0,00159	0,00158	0,0015843	4,475383
1500	0,00156	0,00157	0,00157	0,00156	0,00156	0,00157	0,00156	0,0015643	4,418886
1550	0,00155	0,00155	0,00155	0,00155	0,00154	0,00154	0,00155	0,0015471	4,37046

1600	0,00154	0,00154	0,00154	0,00154	0,00153	0,00154	0,00153	0,0015371	4,342211
1650	0,00151	0,00152	0,00153	0,00152	0,00152	0,00152	0,00152	0,00152	4,293785
1700	0,0015	0,0015	0,00151	0,00151	0,0015	0,00151	0,00151	0,0015057	4,25343
1750	0,00149	0,00149	0,00149	0,00148	0,00149	0,00148	0,00148	0,0014857	4,196933
1800	0,00147	0,00146	0,00146	0,00146	0,00146	0,00146	0,00147	0,0014629	4,132365
1850	0,00145	0,00146	0,00145	0,00145	0,00145	0,00145	0,00147	0,0014543	4,108152
1900	0,00144	0,00144	0,00144	0,00144	0,00144	0,00144	0,00144	0,00144	4,067797
2000	0,00142	0,00142	0,00142	0,00142	0,00142	0,00141	0,00142	0,0014186	4,007264



Lampiran 5 Data Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi 99,5% + Lemak Babi 0,5%

Frekuensi (Hz)	C1 (nF)	C2 (nF)	C3 (nF)	C4 (nF)	C5 (nF)	C6 (nF)	C7 (nF)	Rerata $C_{(99,5, 0,5)}$ (nF)	Konstanta Dielektrik $(99,5, 0,5)$
800	0,0026	0,00263	0,0026	0,00263	0,00262	0,0026	0,00262	0,002621429	7,405165
850	0,0026	0,00259	0,0026	0,00259	0,00257	0,00258	0,00259	0,00258	7,288136
900	0,0026	0,00254	0,0026	0,00253	0,00256	0,00255	0,00255	0,00255	7,20339
950	0,0025	0,00253	0,0025	0,00249	0,00251	0,00253	0,00249	0,002508571	7,08636
1000	0,0025	0,0025	0,0025	0,00255	0,00246	0,00251	0,00247	0,002487143	7,025827
1050	0,0025	0,00246	0,0024	0,00242	0,00247	0,00247	0,00249	0,002457143	6,941082
1100	0,0024	0,00236	0,0024	0,00243	0,00242	0,00243	0,0024	0,0024	6,779661
1150	0,0024	0,0024	0,0024	0,0024	0,00238	0,00235	0,0024	0,002384286	6,73527
1200	0,0024	0,00232	0,0023	0,00233	0,00237	0,00236	0,00236	0,002347143	6,630347
1250	0,0023	0,00235	0,0023	0,00231	0,00237	0,00229	0,00234	0,002324286	6,565779
1300	0,0023	0,00227	0,0023	0,00231	0,00228	0,00233	0,00231	0,002301429	6,501211
1350	0,0023	0,00227	0,0022	0,00229	0,00227	0,00225	0,00226	0,002264286	6,396287
1400	0,0023	0,00224	0,0022	0,00223	0,00225	0,00224	0,00222	0,002237143	6,319613
1450	0,0022	0,00221	0,0022	0,00219	0,00219	0,0022	0,00219	0,002197143	6,206618
1500	0,0022	0,00218	0,0022	0,00219	0,00219	0,00216	0,00216	0,002177143	6,150121

1550	0,0022	0,00214	0,0022	0,00215	0,00214	0,00216	0,00216	0,002152857	6,081517
1600	0,0021	0,00209	0,0021	0,00212	0,00213	0,00212	0,00214	0,002121429	5,992736
1650	0,0021	0,00209	0,0021	0,00208	0,00207	0,00208	0,00207	0,002082857	5,883777
1700	0,0021	0,00207	0,0021	0,00205	0,00206	0,00206	0,00207	0,002061429	5,823245
1750	0,002	0,00203	0,002	0,00204	0,00202	0,00202	0,00205	0,002032857	5,742534
1800	0,002	0,00196	0,002	0,00199	0,002	0,002	0,00196	0,00198	5,59322
1875	0,002	0,00197	0,002	0,00197	0,00197	0,00198	0,00197	0,001972857	5,573043
1950	0,0019	0,00191	0,0019	0,0019	0,00193	0,00191	0,0019	0,001914286	5,407587
2000	0,0019	0,00188	0,0019	0,00187	0,00186	0,00188	0,00187	0,00187	5,282486



Lampiran 6 Data Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Babi 99% + Lemak Babi 1%

Frekuensi (Hz)	C1 (nF)	C2 (nF)	C3 (nF)	C4 (nF)	C5 (nF)	C6 (nF)	C7 (nF)	Rerata $C_{(99, 1)}$ (nF)	Konstanta Dielektrik $(_{99, 1})$
800	0,00263	0,00263	0,00261	0,00261	0,00256	0,00261	0,00261	0,002608571	7,368846
850	0,00262	0,00254	0,00255	0,00255	0,0026	0,00259	0,00256	0,002572857	7,267958
900	0,00253	0,00256	0,00255	0,00255	0,00254	0,00255	0,00251	0,002541429	7,179177
950	0,00247	0,00254	0,00243	0,0025	0,0026	0,0025	0,00254	0,002511429	7,094431
1000	0,00245	0,0025	0,00247	0,00247	0,00248	0,00247	0,00252	0,00248	7,00565
1050	0,00248	0,00247	0,00246	0,00242	0,00249	0,00242	0,00244	0,002454286	6,93301
1100	0,00244	0,00239	0,00241	0,00238	0,00242	0,00245	0,00239	0,002411429	6,811945
1150	0,00239	0,0024	0,00239	0,0024	0,00236	0,00242	0,00239	0,002392857	6,759483
1200	0,00236	0,00236	0,00234	0,00231	0,00236	0,00237	0,00235	0,00235	6,638418
1250	0,00228	0,00237	0,00238	0,00232	0,0023	0,00234	0,00229	0,002325714	6,569814
1300	0,00233	0,0023	0,00232	0,00229	0,0023	0,0023	0,00229	0,002304286	6,509282
1350	0,00228	0,00226	0,00224	0,00226	0,00226	0,00225	0,00227	0,00226	6,384181
1400	0,00224	0,00223	0,00221	0,00226	0,00223	0,00223	0,00224	0,002234286	6,311542
1450	0,00218	0,00221	0,00219	0,00219	0,0022	0,00223	0,00221	0,002201429	6,218725
1500	0,00214	0,00217	0,00217	0,00217	0,00218	0,00217	0,00218	0,002168571	6,125908
1550	0,00214	0,00213	0,00215	0,00216	0,00213	0,00214	0,00214	0,002141429	6,049233

1600	0,00211	0,00211	0,00212	0,00211	0,00212	0,00212	0,00212	0,00212	0,002115714	5,976594
1650	0,00208	0,00207	0,00208	0,00209	0,00208	0,00208	0,00208	0,00208	0,00208	5,875706
1700	0,00206	0,00207	0,00205	0,00207	0,00206	0,00206	0,00206	0,00205	0,00206	5,819209
1750	0,00204	0,00201	0,00204	0,00202	0,00202	0,00202	0,00202	0,00203	0,002025714	5,722357
1800	0,00197	0,00197	0,00199	0,002	0,002	0,002	0,00199	0,00199	0,001988571	5,617433
1875	0,00195	0,00196	0,00197	0,00197	0,00197	0,00196	0,00198	0,00198	0,001965714	5,552865
1950	0,00192	0,0019	0,00193	0,00191	0,00191	0,00191	0,0019	0,0019	0,001911429	5,399516
2000	0,00187	0,00186	0,00187	0,00187	0,00188	0,00184	0,00187	0,00187	0,001865714	5,270379



Lampiran 7 Data Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi 95% + Lemak Babi 5%

Frekuensi (Hz)	C1 (nF)	C2 (nF)	C3 (nF)	C4 (nF)	C5 (nF)	C6 (nF)	C7 (nF)	Rerata $C_{(95, 5)}$ (nF)	Konstanta Dielektrik $(95, 5)$
800	0,00257	0,00257	0,00267	0,00252	0,00261	0,00257	0,00256	0,002581429	7,292171
850	0,00255	0,00256	0,00254	0,00255	0,00254	0,00254	0,00255	0,002547143	7,195319
900	0,00254	0,0025	0,00248	0,00248	0,00248	0,00251	0,00251	0,0025	7,062147
950	0,00246	0,00245	0,00249	0,00251	0,00251	0,00252	0,00244	0,002482857	7,013721
1000	0,00247	0,00247	0,00243	0,00249	0,00246	0,0024	0,0025	0,00246	6,949153
1050	0,00241	0,00244	0,00244	0,00243	0,00243	0,00244	0,00243	0,002431429	6,868442
1100	0,00238	0,00241	0,00239	0,00241	0,00242	0,00242	0,0024	0,002404286	6,791768
1150	0,00236	0,00239	0,00233	0,00237	0,00233	0,00234	0,00238	0,002357143	6,658596
1200	0,00233	0,00235	0,00234	0,00232	0,00232	0,00232	0,00233	0,00233	6,581921
1250	0,00231	0,00234	0,00227	0,00231	0,00229	0,0023	0,00226	0,002297143	6,489104
1300	0,00227	0,00226	0,00227	0,0023	0,00229	0,00226	0,00228	0,002275714	6,428571
1350	0,00224	0,00222	0,00226	0,00228	0,0023	0,00223	0,00225	0,002254286	6,368039
1400	0,0022	0,00223	0,00222	0,00219	0,00219	0,00222	0,0022	0,002207143	6,234867
1450	0,0022	0,00215	0,00219	0,00219	0,00217	0,00218	0,00218	0,00218	6,158192
1500	0,00218	0,00215	0,00215	0,00215	0,00217	0,00215	0,00216	0,002158571	6,097659
1550	0,00215	0,00213	0,00213	0,00212	0,00214	0,00214	0,00208	0,002127143	6,008878



1600	0,0021	0,00211	0,00209	0,00208	0,00212	0,00212	0,00211	0,002104286	5,94431
1650	0,00206	0,00208	0,00207	0,00208	0,00204	0,00207	0,00205	0,002064286	5,831316
1700	0,00205	0,00205	0,00204	0,00203	0,00205	0,00204	0,00203	0,002041429	5,766747
1750	0,002	0,00201	0,00202	0,00201	0,00201	0,00201	0,00201	0,00201	5,677966
1800	0,00198	0,00198	0,00195	0,00196	0,00196	0,00198	0,00198	0,00197	5,564972
1875	0,00195	0,00196	0,00195	0,00194	0,00195	0,00195	0,00195	0,00195	5,508475
1950	0,00189	0,00188	0,00188	0,00191	0,00189	0,0019	0,0019	0,001892857	5,347054
2000	0,00186	0,00185	0,00185	0,00185	0,00185	0,00186	0,00186	0,001854286	5,238095



Lampiran 8 Data Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi 90% + Lemak Babi 10%

Frekuensi (Hz)	C1 (nF)	C2 (nF)	C3 (nF)	C4 (nF)	C5 (nF)	C6 (nF)	C7 (nF)	Rerata $C_{(90, 10)}$ (nF)	Konstanta Dielektrik $(90, 10)$
800	0,00255	0,00254	0,00255	0,00258	0,00254	0,00254	0,00254	0,002548571	7,199354
850	0,0025	0,00251	0,00252	0,0025	0,00252	0,00253	0,00252	0,002514286	7,102502
900	0,00248	0,00249	0,00248	0,00248	0,00248	0,00247	0,00248	0,00248	7,00565
950	0,00241	0,00243	0,00246	0,0024	0,00247	0,00248	0,00244	0,002441429	6,896691
1000	0,00241	0,00242	0,00243	0,00241	0,00242	0,00242	0,00243	0,00242	6,836158
1050	0,00239	0,00238	0,00246	0,00237	0,00237	0,00237	0,0024	0,002391429	6,755448
1100	0,00236	0,00235	0,00235	0,00236	0,00235	0,00235	0,00234	0,002351429	6,642454
1150	0,00232	0,00233	0,00233	0,00233	0,00233	0,00231	0,00234	0,002327143	6,57385
1200	0,0023	0,00229	0,00229	0,0023	0,0023	0,00228	0,0023	0,002294286	6,481033
1250	0,00228	0,00227	0,00226	0,00225	0,00226	0,00226	0,00225	0,002261429	6,388216
1300	0,00224	0,00224	0,00225	0,00225	0,00225	0,00224	0,00225	0,002245714	6,343826
1350	0,00221	0,00221	0,00222	0,00222	0,00221	0,00221	0,0022	0,002211429	6,246973
1400	0,00218	0,00219	0,00219	0,00218	0,00218	0,00218	0,00218	0,002182857	6,166263
1450	0,00215	0,00215	0,00215	0,00215	0,00214	0,00216	0,00216	0,002151429	6,077482
1500	0,00213	0,00212	0,00214	0,00214	0,00214	0,00212	0,00212	0,00213	6,016949
1550	0,00209	0,00209	0,0021	0,00209	0,00209	0,0021	0,00209	0,002092857	5,912026

1600	0,00207	0,00207	0,00207	0,00206	0,00207	0,00208	0,00207	0,00207	5,847458
1650	0,00203	0,00204	0,00203	0,00203	0,00203	0,00203	0,00202	0,00203	5,734463
1700	0,00201	0,00201	0,00201	0,00202	0,00201	0,002	0,00201	0,00201	5,677966
1750	0,00198	0,00198	0,00198	0,00198	0,00198	0,00198	0,00198	0,00198	5,59322
1800	0,00194	0,00194	0,00194	0,00194	0,00194	0,00194	0,00195	0,001941429	5,484262
1875	0,00193	0,00193	0,00193	0,00193	0,00193	0,00191	0,00193	0,00193	5,451977
1950	0,00187	0,00188	0,00186	0,00187	0,00186	0,00188	0,00187	0,00187	5,282486
2000	0,00184	0,00183	0,00182	0,00182	0,00183	0,00183	0,00183	0,001828571	5,165456



Lampiran 9 Data Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi 80% + Lemak Babi 20%

Frekuensi (Hz)	C1 (nF)	C2 (nF)	C3 (nF)	C4 (nF)	C5 (nF)	C6 (nF)	C7 (nF)	Rerata $C_{(80,20)}$ (nF)	Konstanta Dielektrik $(80,20)$
800	0,0025	0,00245	0,00254	0,0025	0,00247	0,00247	0,00248	0,00248	7,00565
850	0,0024	0,00241	0,00244	0,00243	0,00242	0,00242	0,00249	0,002435714	6,880549
900	0,0024	0,00239	0,00245	0,00241	0,00244	0,0024	0,00239	0,00241	6,80791
950	0,0023	0,00236	0,00236	0,00242	0,00239	0,00239	0,00237	0,002375714	6,711057
1000	0,0023	0,00233	0,00235	0,00237	0,00235	0,00237	0,00239	0,002355714	6,65456
1050	0,0023	0,00232	0,00235	0,0023	0,00231	0,00233	0,00231	0,002321429	6,557708
1100	0,0023	0,00231	0,00226	0,0023	0,00229	0,00228	0,00227	0,002281429	6,444713
1150	0,0023	0,00228	0,00222	0,00225	0,00223	0,00227	0,00227	0,002257143	6,37611
1200	0,0022	0,00223	0,00223	0,00223	0,00222	0,00225	0,00224	0,002231429	6,303471
1250	0,0022	0,0022	0,00216	0,00218	0,0022	0,00217	0,00218	0,002185714	6,174334
1300	0,0022	0,00215	0,00218	0,00218	0,00216	0,00218	0,00217	0,00217	6,129944
1350	0,0022	0,00211	0,00219	0,00215	0,00214	0,00214	0,00215	0,002148571	6,069411
1400	0,0021	0,00211	0,00212	0,00209	0,0021	0,00211	0,00212	0,002112857	5,968523
1450	0,0021	0,00211	0,00208	0,00209	0,0021	0,00209	0,00209	0,00209	5,903955
1500	0,0021	0,00206	0,00206	0,00205	0,00207	0,00206	0,00207	0,00206	5,819209
1550	0,002	0,00204	0,00205	0,00204	0,00203	0,00204	0,00205	0,00204	5,762712

1600	0,002	0,00201	0,00201	0,00202	0,00202	0,00201	0,00201	0,002014286	5,690073
1650	0,002	0,00198	0,00198	0,00197	0,00198	0,00198	0,00198	0,001977143	5,585149
1700	0,002	0,00195	0,00195	0,00196	0,00195	0,00196	0,00196	0,001955714	5,524617
1750	0,0019	0,00193	0,00194	0,00192	0,00194	0,00194	0,00193	0,001931429	5,456013
1800	0,0019	0,00188	0,00192	0,0019	0,0019	0,00191	0,00188	0,001895714	5,355125
1875	0,0019	0,00187	0,00188	0,00188	0,00187	0,00188	0,00186	0,001871429	5,286521
1950	0,0018	0,00182	0,00184	0,00183	0,00183	0,00182	0,00183	0,001827143	5,161421
2000	0,0018	0,00179	0,00178	0,00178	0,00179	0,00179	0,00176	0,00178	5,028249



Lampiran 10 Data Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi 70% + Lemak Babi 30%

Frekuensi (Hz)	C1 (nF)	C2 (nF)	C3 (nF)	C4 (nF)	C5 (nF)	C6 (nF)	C7 (nF)	Rerata $C_{(70, 30)}$ (nF)	Konstanta Dielektrik $(70, 30)$
800	0,00242	0,00242	0,0024	0,0024	0,00243	0,00243	0,00241	0,002415714	6,824052
850	0,00236	0,00239	0,00234	0,00239	0,00238	0,00235	0,00239	0,002371429	6,698951
900	0,00236	0,00235	0,00234	0,00233	0,00233	0,00232	0,00233	0,002337143	6,602098
950	0,00234	0,00233	0,00233	0,00233	0,00233	0,00232	0,00233	0,00233	6,581921
1000	0,00228	0,00229	0,00227	0,00227	0,00226	0,00227	0,00227	0,002272857	6,4205
1050	0,00224	0,00225	0,00224	0,00222	0,00223	0,00228	0,00226	0,002245714	6,343826
1100	0,0022	0,0022	0,00219	0,00222	0,00223	0,00222	0,00219	0,002207143	6,234867
1150	0,00218	0,00218	0,00219	0,00219	0,00218	0,00218	0,00218	0,002182857	6,166263
1200	0,00215	0,00217	0,00215	0,00215	0,00215	0,00214	0,00215	0,002151429	6,077482
1250	0,00212	0,00211	0,0021	0,00213	0,00213	0,00211	0,00215	0,002121429	5,992736
1300	0,0021	0,00208	0,0021	0,0021	0,00211	0,0021	0,00211	0,0021	5,932203
1350	0,00207	0,00207	0,00208	0,00206	0,00207	0,00207	0,00207	0,00207	5,847458
1400	0,00204	0,00203	0,00204	0,00205	0,00204	0,00204	0,00204	0,00204	5,762712
1450	0,00202	0,002	0,00202	0,00202	0,00202	0,00203	0,00202	0,002018571	5,702179
1500	0,002	0,00201	0,002	0,00199	0,002	0,00201	0,002	0,002001429	5,653753
1550	0,00198	0,00198	0,00197	0,00197	0,00198	0,00196	0,00196	0,001971429	5,569007

1600	0,00194	0,00195	0,00195	0,00194	0,00194	0,00195	0,00195	0,001945714	5,496368
1650	0,00191	0,00191	0,00191	0,00191	0,00191	0,00191	0,00191	0,00191	5,39548
1700	0,00189	0,0019	0,00189	0,00189	0,00188	0,00189	0,00189	0,00189	5,338983
1750	0,00187	0,00187	0,00187	0,00187	0,00187	0,00187	0,00187	0,00187	5,282486
1800	0,00184	0,00183	0,00183	0,00184	0,00184	0,00183	0,00183	0,001834286	5,181598
1875	0,00181	0,0018	0,0018	0,00181	0,00181	0,00181	0,00181	0,001807143	5,104923
1950	0,00177	0,00178	0,00178	0,00177	0,00176	0,00177	0,00178	0,001772286	5,006457
2000	0,00173	0,00173	0,00173	0,00173	0,00173	0,00174	0,00174	0,001732857	4,895077



Lampiran 11 Data Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi 60% + Lemak Babi 40%

Frekuensi (Hz)	C1 (nF)	C2 (nF)	C3 (nF)	C4 (nF)	C5 (nF)	C6 (nF)	C7 (nF)	Rerata $C_{(60, 40)}$ (nF)	Konstanta Dielektrik $(60, 40)$
800	0,00235	0,00233	0,00234	0,00236	0,00235	0,00234	0,00232	0,002341429	6,614205
850	0,00229	0,00229	0,00231	0,0023	0,00229	0,00231	0,0023	0,002298571	6,49314
900	0,00226	0,00227	0,00227	0,00227	0,00226	0,00226	0,00224	0,002261429	6,388216
950	0,00222	0,00224	0,00224	0,00222	0,00223	0,00223	0,00223	0,00223	6,299435
1000	0,0022	0,00221	0,0022	0,00221	0,0022	0,00221	0,00219	0,002202857	6,22276
1050	0,00217	0,00218	0,00218	0,00216	0,00215	0,00215	0,0022	0,00217	6,129944
1100	0,00215	0,00214	0,00215	0,00214	0,00214	0,00214	0,00213	0,002141429	6,049233
1150	0,00212	0,00213	0,00211	0,00213	0,00211	0,00212	0,00212	0,00212	5,988701
1200	0,0021	0,00208	0,00208	0,00211	0,0021	0,00209	0,00209	0,002092857	5,912026
1250	0,00206	0,00206	0,00208	0,00205	0,00205	0,00206	0,00206	0,00206	5,819209
1300	0,00204	0,00204	0,00206	0,00202	0,00204	0,00203	0,00205	0,00204	5,762712
1350	0,00203	0,00202	0,00201	0,00202	0,00201	0,00202	0,00202	0,002018571	5,702179
1400	0,002	0,00201	0,00199	0,00196	0,00199	0,00198	0,002	0,00199	5,621469
1450	0,00194	0,00197	0,00197	0,00195	0,00196	0,00196	0,00197	0,00196	5,536723
1500	0,00193	0,00195	0,00194	0,00194	0,00195	0,00194	0,00193	0,00194	5,480226
1550	0,00192	0,00193	0,00192	0,00193	0,00192	0,00191	0,00193	0,001922857	5,4318



1600	0,0019	0,0019	0,00189	0,00189	0,00189	0,00188	0,0019	0,001892857	5,347054
1650	0,00183	0,00184	0,00186	0,00184	0,00185	0,00183	0,00184	0,001841429	5,201776
1700	0,00181	0,00186	0,00186	0,00183	0,00182	0,00186	0,00182	0,001837143	5,189669
1750	0,00181	0,00181	0,00184	0,00183	0,00183	0,00182	0,00182	0,001822857	5,149314
1800	0,0018	0,00179	0,00178	0,0018	0,00178	0,00179	0,0018	0,001791429	5,060533
1875	0,00178	0,00176	0,00177	0,00176	0,00178	0,00178	0,00177	0,001771429	5,004036
1950	0,00172	0,00174	0,00171	0,00173	0,00171	0,00173	0,00172	0,001722857	4,866828
2000	0,00168	0,00167	0,00169	0,0017	0,00172	0,00169	0,00169	0,001691429	4,778047



Lampiran 12 Data Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi 50% + Lemak Babi 50%

Frekuensi (Hz)	C1 (nF)	C2 (nF)	C3 (nF)	C4 (nF)	C5 (nF)	C6 (nF)	C7 (nF)	Rerata $C_{(50, 50)}$ (nF)	Konstanta Dielektrik $(50, 50)$
800	0,00225	0,00227	0,00231	0,00224	0,00234	0,00226	0,00227	0,002277143	6,432607
850	0,00222	0,00224	0,00224	0,00224	0,00227	0,00224	0,00225	0,002242857	6,335755
900	0,00216	0,00219	0,00216	0,00218	0,00219	0,00227	0,00219	0,002191429	6,190476
950	0,00218	0,00216	0,00216	0,00218	0,00214	0,00209	0,00217	0,002154286	6,085553
1000	0,00212	0,00214	0,00213	0,00212	0,00215	0,00213	0,00214	0,002132857	6,02502
1050	0,0021	0,00212	0,00209	0,00211	0,00216	0,00208	0,00209	0,002107143	5,952381
1100	0,00207	0,00207	0,00208	0,00209	0,00208	0,00207	0,00207	0,002075714	5,8636
1150	0,00204	0,00204	0,00204	0,00204	0,00209	0,00206	0,00205	0,002051429	5,794996
1200	0,00202	0,00204	0,002	0,00202	0,00202	0,00201	0,00203	0,00202	5,706215
1250	0,002	0,00198	0,00201	0,00202	0,00197	0,00197	0,00199	0,001991429	5,625504
1300	0,00198	0,00197	0,00198	0,00197	0,00197	0,00199	0,00197	0,001975714	5,581114
1350	0,00195	0,00195	0,00195	0,00195	0,00193	0,00197	0,00194	0,001948571	5,504439
1400	0,00193	0,00192	0,00194	0,00193	0,00193	0,00193	0,00193	0,00193	5,451977
1450	0,00189	0,0019	0,00189	0,00191	0,00191	0,00189	0,00191	0,0019	5,367232
1500	0,00189	0,00188	0,00188	0,00187	0,00187	0,00188	0,00188	0,001878571	5,306699
1550	0,00183	0,00186	0,00186	0,00186	0,00185	0,00185	0,00185	0,001851429	5,230024

1600	0,00184	0,00183	0,00183	0,00184	0,00181	0,00182	0,00183	0,001828571	5,165456
1650	0,00181	0,00181	0,0018	0,00181	0,00181	0,00182	0,0018	0,001808571	5,108959
1700	0,00178	0,00178	0,0018	0,00179	0,00179	0,00179	0,00179	0,001788571	5,052462
1750	0,00176	0,00176	0,00174	0,00175	0,00175	0,00175	0,00176	0,001752857	4,951574
1800	0,00173	0,00172	0,00173	0,00174	0,00174	0,00173	0,00173	0,001731429	4,891041
1875	0,00171	0,0017	0,00171	0,00171	0,00171	0,00171	0,00172	0,00171	4,830508
1950	0,00169	0,00169	0,00169	0,00167	0,00168	0,00167	0,00168	0,001681429	4,749798
2000	0,00166	0,00165	0,00162	0,00168	0,00164	0,00165	0,00166	0,001651429	4,665052



## 5. SPECIFICATIONS

### Measurement Parameters:

Inductance ( $L_s/L_p$ )\*, Capacitance ( $C_s/C_p$ ), Resistance ( $R_s/R_p$ ), Dissipation (D), Quality Factors (Q), Equivalent Series Resistance (ESR) and Equivalent Parallel Resistance (EPR), Impedance ( $|Z|$ ), Phase angle of Impedance [degree] ( $\theta$ ).

### Measurement Models:

Six kinds of measurement modes can be selected. Two measurement parameters measured and displayed simultaneously.

R/Q, C/D, C/R, L/Q, Z/ $\theta$ , L/R.

### Display Ranges:

Primary Display

Inductance (L)	: 0.00001mH	~ 99999H
Capacitance (C)	: 0.00001pF	~ 99999 $\mu$ F
Resistance (R)	: 0.00001 $\Omega$	~ 99999k $\Omega$
Absolute of Impedance (Z)	: 0.00001 $\Omega$	~ 99999k $\Omega$

### Secondary Display:

Dissipation factor (D) <sup>+</sup>	: 0.0001	~ 9999
Quality factor (Q) <sup>**</sup>	: 0.0001	~ 9999
Phase angle of Impedance (degree)	: -180.00°	~ 180.00°
Equivalent Series Resistance (ESR) <sup>+</sup>	: 0.0001 $\Omega$	~ 9999 k $\Omega$
Equivalent Parallel Resistance (EPR) <sup>+</sup>	: 0.0001 $\Omega$	~ 9999 k $\Omega$
Dissipation factor (D) <sup>+</sup> in ppm	: 1 ppm	~ 9999 ppm
Quality factor (Q) <sup>**</sup> in ppm	: 1 ppm	~ 9999 ppm
DELTA %	: 0.00001%	~ 99999%

*If any of these quantities is negative, the “-” negative indicator is displayed.*

\*s=series, p=parallel, ESR=R<sub>s</sub> \*\* with L or R + with C

Note: Only LCR-821 has Z/ $\theta$  and L/R measurement parameter.

**Accuracy:**

R, L, C, Z : 0.05%(Basic)+

D, Q :.0005(Basic)+

$\theta$  : 0.03° (Basic)+

\*LCR-816/826/827/829 is one fold less accuracy than LCR-817/819.

(LCR-816/826: 0.1%, LCR-827/829: 0.1%, LCR-817/819/821: 0.05%)

+: *Please refer to page 39~43 for details.*

**Test Frequency:**

There are 504 test frequencies between 12Hz and 200kHz that can be selected by using keypad for LCR-821. The frequency range of LCR-819/829 covers from 12Hz to 100kHz (total test frequencies: 503 points), LCR-817/827 covers from 12Hz to 10kHz (total test frequencies: 489 points), LCR-816/826 covers from 100Hz to 2kHz (total test frequencies: 16 points).

**Measurement Displays:**

The measured results can be shown on the LCD monitor in three ways:

1. **VALUE** : The measured quantities of R/Q, C/D, C/R, L/Q, Z/ $\theta$ , L/R.
  - \*The resolution of primary display (L, C, R or Z) is to be five digits.
  - \*The resolution of secondary display (D, Q, R with C, or R with L) is to be four digits.
  - \*The resolution of secondary display ( $\theta$ ) is to be 2 digits after decimal dot.
2. **DELTA %** : The DELTA% shows the percent deviation of the measured L, C, R or Z value from a saved NOMINAL VALUE. The sign of deviation is indicated.
3. **DELTA** : The LCR difference is similar to the DELTA% except that the deviation is shown in suitable units (ohms, henries, etc.)

**Measurement Speed (LCR-816/817/819/821):**

SLOW : 896ms

MEDI : 286ms

FAST : 135ms

\*For LCR-826/827/829, please refer to 4-5-10. Handler Interface Timing.