

**HALAMAN JUDUL**

**IDENTIFIKASI KANDUNGAN LEMAK PADA SUSU  
SAPI PERAH BERDASARKAN NILAI IMPEDANSI  
LISTRIK**

**SKRIPSI**

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

Oleh :

**ANABELLA ALANI**

**145090307111023**

**PROGRAM STUDI : S1 FISIKA**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MIPA  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2018**

( Halaman ini sengaja dikosongkan )



**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI****IDENTIFIKASI KANDUNGAN LEMAK PADA SUSU SAPI  
PERAH BERDASARKAN NILAI IMPEDANSI LISTRIK**

Oleh :

**ANABELLA ALANI  
145090307111023**

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji pada  
tanggal .....  
Dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang Fisika

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Chomsin S.W., S.Si.,M.Si.,Ph.D  
NIP. 196910201995121002**

**Dr. Eng. Didik Rahadi S, M.Si  
NIP.196906101994021001**

**Mengetahui,**

**Ketua Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan  
Alam  
Universitas Brawijaya**

**Prof. Dr. Muhammad Nurhuda, Rer.Nat  
NIP. 196409101990021002**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Anabella Alani

NIM : 145090307111023

Jurusan : Fisika

Penulis Skripsi berjudul :

“Identifikasi Kandungan Lemak Pada Susu Sapi Perah  
Berdasarkan Nilai Impedansi Listrik”

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain. Nama - nama yang termaksud di isi dan tertulis di daftar pustaka digunakan sebagai referensi pendukung dalam skripsi ini.
2. Apabila dikemudian hari ternyata skripsi 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, 4 Juli 2018

Yang menyatakan,

Anabella Alani

NIM. 145090307111023

( Halaman ini sengaja dikosongkan )



# IDENTIFIKASI KANDUNGAN LEMAK PADA SUSU SAPI PERAH BERDASARKAN NILAI IMPEDANSI LISTRIK

## ABSTRAK

Susu sapi perah yang beredar di pasaran biasanya diberikan penambahakan bahan lain berupa air dan santan dalam jumlah yang terlalu banyak agar pedagang memiliki nilai keuntungan yang semakin besar. Hal ini menyebabkan perubahan kadar lemak dalam susu yang merupakan salah satu asupan nutrisi manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kadar lemak dari penambahan air dan santan pada susu berdasarkan nilai impedansi susu dengan data pendukung berupa nilai kadar lemak. Penelitian ini menggunakan empat elektroda jarum yang terbuat dari emas dan satu set alat *PicoScope* 5244 B untuk mengetahui nilai impedansi susu sapi perah. Sedangkan untuk pengukuran kadar lemak dilakukan menggunakan metode gerber. Pengukuran impedansi dilakukan dengan menginjeksikan arus sebesar  $100 \mu\text{A}$  pada rentang frekuensi  $1 \text{ Hz} - 1 \text{ MHz}$ . Konsentrasi penambahan air yang digunakan adalah 0%, 25%, dan 50% dari volume susu. Sedangkan Konsentrasi penambahan santan yang digunakan adalah 0%, 10%, 20%, dan 30% dari volume susu. Hasil impedansi susu menunjukkan nilai  $2309,167 \Omega$  sampai dengan  $188,417 \Omega$ . Penambahan konsentrasi air menyebabkan kandungan asam lemak tak jenuh tinggi, kadar lemak susu menurun, dan nilai impedansi susu semakin tinggi. Penambahan konsentrasi santan mengakibatkan kandungan asam lemak jenuh tinggi, kadar lemak susu meningkat, dan nilai impedansi listrik susu semakin rendah.

Kata kunci : Impedansi, Elektroda jarum, Susu, Air, Santan.

( Halaman ini sengaja dikosongkan )





# **IDENTIFICATION OF FAT CONTENT IN DAIRY MILK BASED ON ITS ELECTRICAL IMPEDANCE VALUE**

## **ABSTRACT**

In public market, dairy milk is usually added with water and coconut milk by seller in high amount for getting more profit. This causes change of fat content in dairy milk which is needed as nutrition for human. This study aims to identifying the fat content caused by adding of water and coconut milk based on its electrical impedance value with fat content as the supporting data. This research using four golden needle electrodes milk and a set of 5244 B PicoScope tool to finding the impedance of dairy milk. Meanwhile to fat content is measured by gerber method. Impedance is measured by injecting current of 100  $\mu\text{A}$  in the range frequency 1 Hz - 1 MHz. The using of water addition's concentration is varying of 0%, 25%, and 50% of milk volume. Meanwhile, the concentration of coconut milk addition is varying of 0%, 10%, 20%, and 30% of milk volume. The result of milk impedance shows the value 2309,167  $\Omega$  until 188,417  $\Omega$ . The addition of water concentration causes the higher amount of unsaturated fatty acid, the decreasing value of fat content, and the increasing value of milk impedance. The addition of coconut milk concentration caused the higher amount of saturated fatty acid, the increasing value of fat content, and lower milk impedance.

**Keywords:** Impedance, Needle Electrode, Milk, Water, Milk Coconut.

( Halaman ini sengaja dikosongkan )



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami ucapkan kepada Allah SWT, atas segala limpahan rahmat, kuasa serta inayah dan hidayah-Nya lah sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Skripsi dengan lancar. Penulisan Laporan Skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana dalam bidang Sains Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis baik berupa dukungan, bantuan serta saran khususnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Muhammad Nurhuda, rer.nat selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya atas ijin dan kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan Laporan Skripsi.
2. Bapak Chomsin Sulistyio Widodo, S.Si., M.Si. Ph.D selaku Pembimbing pertama yang telah meluangkan waktu dan pikiran, arahan, saran, motivasi, bimbingan dan kesabaran selama menyelesaikan penelitian ini.
3. Bapak Dr. Eng. Didik Rahadi Santoso, M.Si selaku pembimbing kedua yang telah memberikan arahan, waktu, pikiran, bimbingan serta kesabaran selama menyelesaikan penelitian ini.
4. Kedua Orang Tua dan keluarga, Mama, Ayah, Nenek serta Kakak tersayang Mega Damai Permana juga teman tersayang Andhi Rama Setyawan yang mendukung dan memotivasi disetiap langkah penulis dalam bentuk doa maupun materil.
5. Bapak Ir. Dionysius Joseph Djoko Herry Santjojo, M. Phil., Ph.D dan Bapak Drs. Alamsyah Mohammad Juwono, M.Sc., Ph.D selaku pembina unit kesenian tari dan karawitan jurusan Fisika yang selalu memberikan motivasi.
6. Bapak Robby selaku laboran Laboratorium Biofisika yang dengan sabar dan ramah memberikan bantuan.
7. Seluruh Dosen, Staf dan Karyawan Jurusan Fisika serta yang telah memberikan pendidikan dan bantuan selama di Jurusan Fisika FMIPA UB.
8. Teman – teman seperjuangan bimbingan Pak Chomsin dan Pak Didik yaitu Laily, Agata, mas Wahyu, mbak Maya, mas Taufik, mas Yaqin, mbak Vivin, mbak Anis, mbak Isna, mbak Kadek dan

- mbak Vina yang banyak memberi dukungan dan bantuan serta menjadi teman diskusi selama proses penyelesaian Skripsi.
9. Kakak tingkat bimbingan Pak Didik yaitu mbak Acem, mas Wildan, dan mbak Bella.
  10. Para sahabat yaitu Rifky, Febrian, Lusita, Putri, Mentari, Soenargo, Roni, dan Bonar yang selalu memberi dukungan selama proses penyelesaian Skripsi.
  11. Teman – teman seperjuangan Laboratorium Biofisika yaitu Lita, Amal, Hany dan Ririn yang banyak memberi dukungan dan bantuan serta menjadi teman bermalam selama proses pengambilan data Skripsi.
  12. Serta semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu memberi bimbingan, arahan, dan motivasi dari awal hingga terselesaikannya Skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu – persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan ini masih terdapat kekurangan baik dalam penyusunan, bahasa dan penyajian penjelasannya. Penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk mengembangkan keilmuan dan memperbaiki kekurangan. Akhir kata, semoga Allah meridhoi apa yang telah penulis usahakan dalam penulisan Laporan Skripsi ini.

Malang, 6 Mei 2018

**Anabella Alani**  
**NIM. 145090307111023**

## ACKNOWLEDGMENT

This research funded by the Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT-Grant) 2018 from Directorate of Research and Community Service, Directorate General for Research and Community Service, Directorate General for Research and Development at the Ministry of Research, Technology and Higher Education with contract number 338.102/UN10.C10/PN/2018



( Halaman ini sengaja dikosongkan )



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>ACKNOWLEDGMENT .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.1 Latar Belakang .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2 Rumusan Masalah .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3 Tujuan Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4 Batasan Masalah.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.5 Manfaat Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1 Spektroskopi Impedansi .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2 Biolistrik.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3 Rangkaian Randles.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4	
Susu.....	<b>E</b>
<b>rror! Bookmark not defined.</b>	
2.5 Aquades.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.6	Santan
.....	<b>E</b>
<b>rror! Bookmark not defined.</b>	
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

repository.ub.ac.id

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian..... **Error! Bookmark not defined.**

3.2 Alat dan Bahan ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.3 Tahapan Penelitian ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.3.1 Diagram alir Penelitian ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.3.2 Sistem Akuisisi Data ..... **Error! Bookmark not defined.**

    3.3.2.1 Pengaturan Rangkaian alat **Error! Bookmark not defined.**

    3.3.2.2 Desain chamber pengukuran **Error! Bookmark not defined.**

3.3.3 Pembuatan Sampel ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.3.4 Pengujian Sampel ..... **Error! Bookmark not defined.**

    3.3.4.1 Pengujian Kadar Lemak **Error! Bookmark not defined.**

    3.3.4.2 Pengujian Impedansi... **Error! Bookmark not defined.**

3.3.5 Analisis Data ..... **Error! Bookmark not defined.**

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN** **Error! Bookmark not defined.**

4.1 Pengaruh Penambahan Aquades dan Santan terhadap Kadar Lemak pada Susu Sapi ..... **Error! Bookmark not defined.**

4.2 Hubungan Frekuensi terhadap Nilai Impedansi Susu Sapi **Error! Bookmark not defined.**

4.2.1 Hubungan Susu dengan Aquades **Error! Bookmark not defined.**

4.2.2 Hubungan Susu dengan Santan **Error! Bookmark not defined.**

4.3. Hubungan Kadar Lemak dengan Nilai Impedansi ..... **Error! Bookmark not defined.**

**BAB V PENUTUP** ..... **Error! Bookmark not defined.**

5.1 Kesimpulan..... **Error! Bookmark not defined.**

5.2 Saran..... **Error! Bookmark not defined.**

**DAFTAR PUSTAKA** ..... **Error! Bookmark not defined.**

**LAMPIRAN**..... **Error! Bookmark not defined.**



**Lampiran 1 (Alat dan Bahan Penelitian)Error! Bookmark not defined.**

1.1. Uji Nilai Impedansi ..... **Error! Bookmark not defined.**

1.2. Uji Kadar Lemak ..... **Error! Bookmark not defined.**

**Lampiran 2 (Data Hasil Penelitian)Error! Bookmark not defined.**

2.1 Data Hasil Uji Nilai Impedansi Campuran Susu.....**Error! Bookmark not defined.**

2.2 Data Hasil Uji Lemak..... **Error! Bookmark not defined.**



## DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2. 1 Plot impedansi ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 2 Injeksi arus pada bahan biologis ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 3 Molekul Polar pada Plat Sejajar (a) Tanpa Medan Listrik dan (b) Dengan Adanya Medan Listrik .. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 4 Electrical double layer pada permukaan elektroda ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 5 Interaksi Elektroda dengan Larutan Dimodelkan dengan Rangkaian Randles..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 6 Diagram Perusakan Membran Sel (a) Membran sel dengan tegangan listrik (b) Kompresi membran sel (c) Pembentukan pori-pori (d) Pembentukan pori yang lebih besar ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 7 Proses elektroporasi membran sel... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 8 Dipol listrik dalam medan listrik luar (a) berputar ke kanan dan (b) berputar ke kiri.. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 9 Struktur Asam Lemak Jenuh.... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 10 Struktur Asam Lemak Tak Jenuh.... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 1 Skema Penelitian ..... i
- Gambar 3. 2 Blok Diagram Rangkaian Percobaan ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 3 Chamber pengukuran . **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 4 Skema Pembuatan Sampel ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 5 Tampilan Software PicoScope . **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 1 Grafik hubungan penambahan santan terhadap kadar lemak ..... **Error! Bookmark not defined.**

- Gambar 4. 2 Hubungan impedansi dan frekuensi pada susu sapi mentah..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 3 Plot grafik impedansi listrik terhadap frekuensi pada 12 variasi konsentrasi penambahan aquades dan santan ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 4 a). Hubungan variasi penambahan aquades terhadap nilai impedansi susu b). Hubungan prosentase penambahan santan terhadap nilai impedansi susu ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 5 Hubungan variasi penambahan konsentrasi aquades tanpa santan terhadap nilai impedansi susu ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 6 Hubungan variasi penambahan konsentrasi aquades dengan santan 10 % terhadap nilai impedansi susu ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 7 Hubungan variasi penambahan konsentrasi aquades dengan santan 20 % terhadap nilai impedansi susu ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 8 Hubungan variasi penambahan konsentrasi aquades dengan santan 30 % terhadap nilai impedansi susu ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 9 Hubungan variasi penambahan konsentrasi santan tanpa aquades terhadap nilai impedansi susu .. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 10 Hubungan variasi penambahan konsentrasi santan dengan aquades 25 % terhadap nilai impedansi susu ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 11 Hubungan variasi penambahan konsentrasi santan dengan aquades 50 % terhadap nilai impedansi susu ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 12 Hubungan nilai impedansi dengan kadar penambahan santan pada frekuensi 10 KHz **Error! Bookmark not defined.**

## DAFTAR TABEL

- Tabel 2. 1 Syarat Mutu Susu Sapi (BSN, 2011)**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 2. 2 Komposisi Lemak Susu Sapi (Tansakul and Chaisawang, 2006) .....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 2. 3 Komposisi Kandungan Santan Kara Kemasan 65 ml .....**Error! Bookmark not defined.**





( Halaman ini sengaja dikosongkan )



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

IDENTIFIKASI KANDUNGAN LEMAK PADA SUSU SAPI PERAH BERDASARKAN NILAI IMPEDANSI LISTRIK

Oleh :

ANABELLA ALANI  
145090307111023

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji pada tanggal 04 JUL 2018.....  
Dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dalam bidang Fisika

Pembimbing I

Chomsin S.W., S.Si., M.Si., Ph.D  
NIP. 196910201995121002

Pembimbing II

Dr. Eng. Didik Rahadi S. M.Si  
NIP.196906101994021001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan  
Alam  
Universitas Brawijaya

Prof. Dr. Muhammad Nurhuda, Rer.Nat  
NIP. 196409101990021002

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Susu merupakan salah satu asupan yang dibutuhkan manusia untuk memenuhi kebutuhan sumber tenaga dalam tubuh karena kandungan lemak didalamnya, sehingga kualitas nutrisi dalam susu menjadi aspek penting (Nakonieczna *et al.*, 2016). Kualitas suatu makanan salah satunya ditentukan oleh faktor nutrisi berupa lipid atau lemak (Khaled *et al.*, 2017). Standar kualitas susu yang baik memiliki kadar lemak tidak kurang dari 3 % (Badan Pengawas Obat dan Makanan, 2015). Batas konsumsi total lemak per hari untuk usia 2-3 tahun sebesar 30% - 35%, usia 4 – 18 tahun sebesar 25% - 35%, dan usia 19 keatas sebesar 20% - 35% (Vemale, 2013). Jumlah konsumsi lemak yang tidak sesuai dengan aturan batas konsumsi total di dalam tubuh memiliki sisi positif dan negatif. Sisi positif lemak yaitu sebagai sumber energi dan pelindung organ – organ tubuh (Sartika, 2008). Sedangkan sisi negatif lemak dapat disebabkan oleh kekurangan atau kelebihan lemak. Kekurangan lemak dapat menyebabkan lemas, sering merasa kedinginan, kulit kering, dan gula darah tidak stabil. Namun kelebihan lemak juga dapat menyebabkan obesitas, kerusakan dinding arteri, kerusakan otak, dan kolesterol tinggi. Penentuan kadar lemak susu dapat dilakukan dengan metode gerber sesuai SNI (Suryowardojo, 2012).

Saat ini beberapa kali ditemukan kasus kecurangan penjualan susu dalam masyarakat agar penjual dapat meraih keuntungan yang lebih besar. Kecurangan ini dilakukan dengan memalsukan kemurnian susu perah dengan menambahkan air, maupun bahan lain seperti santan, air tajin, air beras, dan bahan lainnya (Sidik, 2013). Hal ini disebabkan karena terkadang jumlah produksi susu sapi sangat sedikit, namun jumlah permintaan konsumen tetap atau bahkan bertambah. Pada umumnya penambah air dilakukan sebagai penambah volume susu dan santan sebagai penyeimbang warna susu. Padahal adanya penambahan bahan lain dapat menyebabkan kadar kualitas susu perah mentah tidak sesuai (Adli, 2016). Ketidaksesuaian kandungan nutrisi susu tentu menyebabkan kerugian para konsumen baik dari segi kesehatan maupun ekonomi. Kualitas susu yang baik dapat didefinisikan sebagai susu yang komposisinya lengkap dalam



arti tingkat kadar air dan lemak yang normal serta bebas dari obat – obatan atau penambahan aquades (Murphy *et al.*, 2016) maupun penambahan santan.

Karakteristik biolistrik yang dimiliki setiap makanan berbeda – beda bergantung sifat listrik yang dimiliki. Sifat listrik makanan dapat menentukan kualitas bahan secara tepat. Hal ini didasari sifat dielektrik yang dapat memberikan informasi nilai impedansi (Juansah and Irmansyah, 2007) untuk memahami interaksi bahan dengan energi elektromagnetik. Pengukuran impedansi listrik dapat dilakukan menggunakan metode spektroskopi impedansi dengan injeksi arus secara langsung, dimana metode injeksi arus sering digunakan karena tidak memerlukan waktu yang cukup lama dan menghasilkan *output* berupa beda potensial. Perbandingan beda potensial dengan arus yang ditentukan menghasilkan nilai impedansi.

Penelitian karakteristik biolistrik dengan objek penelitian susu sebelumnya pernah dilakukan dengan menggunakan metode dielektrik plat sejajar dengan arus AC yang diinjeksikan pada frekuensi 1 Hz sampai 1 MHz (Sari, 2016). Selain itu, penelitian terhadap susu juga pernah dilakukan dengan menggunakan metode dielektrik injeksi arus langsung dua elektrode dengan frekuensi 100 Hz sampai 100 KHz (Murphy *et al.*, 2016). Teknik penentuan konten aditif dapat dilakukan secara efisien dengan pengukuran listrik frekuensi rendah jika jumlah konten aditif rendah dan memiliki konduktivitas rendah misalkan susu. Hal ini dikarenakan frekuensi rendah kisaran 20 Hz – 2 MHz dapat mencakup sejumlah senyawa aditif yang diselidiki (Nakonieczna *et al.*, 2016).

Perbedaan antara metode penelitian ini dengan metode sebelumnya adalah segi metode dan bahan sampel. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah susu, air, dan santan dimana sebelumnya hanya menggunakan sampel susu dan air. Dalam segi metode untuk mengetahui nilai impedansi, penelitian ini menggunakan metode spektroskopi impedansi empat elektroda yang terbuat dari emas, sedangkan sebelumnya menggunakan metode dielektrik plat sejajar yang terbuat dari tembaga. Metode spektroskopi impedansi memiliki prinsip injeksi arus dalam bentuk beda potensial pada suatu sistem, lalu sistem merespon dengan sebuah *output* dalam bentuk sinyal. Penelitian ini menggunakan frekuensi sebesar 1 Hz sampai 1 MHz dengan nilai kapasitansi yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan sebelumnya karena adanya efek *double layer* (Grimnes and Martinsen, 2015). Oleh karena itu, penelitian uji biolistrik berupa

nilai impedansi menggunakan metoda spektroskopi impedansi empat elektroda diharapkan lebih efisien untuk mengetahui kemurnian susu sapi perah berdasarkan nilai impedansi dan kandungan lemak total yang terdapat didalamnya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diambil dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh penambahan aquades dan santan terhadap kadar lemak susu sapi perah?
2. Bagaimana pengaruh peningkatan frekuensi terhadap nilai impedansi susu sapi perah?
3. Bagaimana hubungan kadar lemak terhadap nilai impedansi pada campuran susu sapi perah?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis pengaruh penambahan aquades dan santan terhadap kadar lemak susu sapi perah.
2. Menganalisis pengaruh peningkatan frekuensi terhadap nilai impedansi susu sapi perah.
3. Menganalisis hubungan kadar lemak terhadap nilai impedansi pada campuran susu sapi perah.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini diantaranya pengukuran impedansi pada susu sapi murni menggunakan injeksi arus AC sebesar 100  $\mu$ A, pengukuran dilakukan pada suhu ruang, pengukuran dilakukan pada susu sapi berjenis peranakan *Frisien Holstein* yang tidak diketahui masa laktasi dan teknik penyimpanan yang dilakukan setelah pemerahan, waktu pengambilan data maksimal 24 jam, dan jumlah mikroba dalam susu tidak diteliti.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah dapat digunakan sebagai informasi tentang adanya campuran air dan santan dalam susu sapi yang dapat dideteksi melalui karakteristik biolistrik yaitu nilai impedansi. Penelitian ini juga dapat dikembangkan menjadi alat ukur pada dunia industri sebagai standar kesehatan atau pangan.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

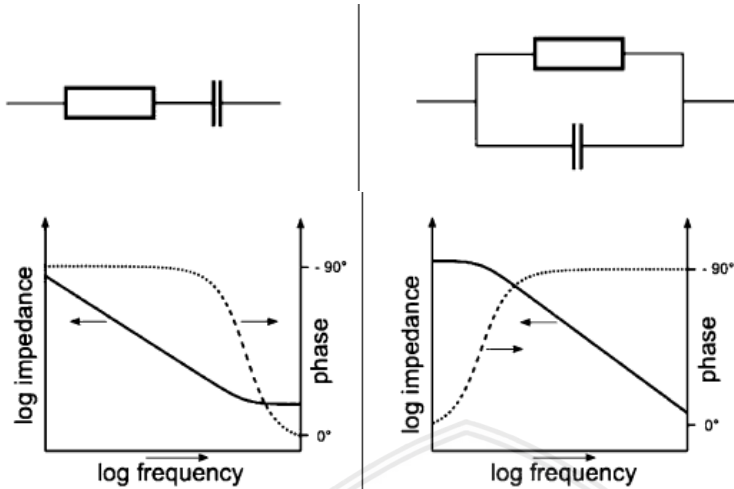
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Spektroskopi Impedansi

Spektroskopi Impedansi adalah teknik eksperimental berdasarkan analisis perubahan impedansi listrik dari sistem sampel-elektroda yang muncul karena adanya variasi frekuensi beda potensial. Pengukuran listrik pada frekuensi rendah berguna untuk penyelidikan makanan yang memiliki konduktivitas rendah seperti madu, susu, dan bahan semicair. Teknik impedansi dalam kualitas kontrol makanan dengan menguji potensinya untuk menentukan konten aditif (Nakonieczna *et al.*, 2016). Impedansi ( $Z$ ) diukur dengan menggunakan arus kecil bolak – balik (AC) dengan frekuensi kecil. Pengukuran impedansi listrik berfungsi sebagai pendeteksi perubahan fisiologis. Bioimpedansi menunjukkan sifat listrik pasif bahan biologis (Khaled *et al.*, 2017).

Saat sel diberikan stimulus, maka akan terjadi serangkaian proses mikroskopis dalam sel biologis, kemudian dihasilkan respon listrik yang dapat diamati pada spektra. Arus listrik yang mengalir sebagai stimulus dipengaruhi oleh hambatan elektroda, hambatan elektrolit, dan reaksi pada permukaan elektroda dengan elektrolit. Proses mikroskopik tersebut seperti pada transfer elektron sepanjang jalur konduksi, transfer elektron antara permukaan elektroda dengan elektrolit, maupun transfer elektron antar atom bermuatan dengan lingkungannya (Wismaya, Widodo and Santoso, 2017).

Nilai impedansi listrik campuran lemak babi dalam lemak sapi turun saat presentase lemak babi dicampurkan dan saat terjadi peningkatan frekuensi arus yang diinjeksikan (Islahiyya, 2016). Selain itu, nilai impedansi listrik dapat naik saat konsentrasi larutan tinggi (Sari, 2016). Impedansi dapat dihubungkan dengan dua cara yaitu seri dan paralel dapat dilihat pada gambar 2.1. Perilaku impedansi dikendalikan oleh kapasitansi berupa adanya pergeseran fase (Balkenhohl, Schäfer and Lisdat, 2008). Impedansi listrik mengalami penurunan seiring peningkatan frekuensi (Pertiwi, 2015).



Gambar 2. 1 Plot impedansi  
(Balkenhohl, Schäfer and Lisdat, 2008).

Impedansi merupakan hambatan total yang dimiliki oleh rangkaian kapasitor yang dihubungkan dengan resistor dan induktor pada rangkaian arus AC. Impedansi juga dapat didefinisikan sebagai rasio antara arus dan tegangan. Impedansi diartikan sebagai sifat listrik pasif yang dimiliki oleh bahan biologis untuk melawan arus listrik. Gabungan dari impedansi disebut bioimitansi. Bioimitansi dapat diukur secara *in vivo* atau *in vitro* dengan menggunakan metode dua atau empat elektroda. Pada metode empat elektroda, dua elektroda bekerja sebagai pembawa arus dan dua elektroda yang lainnya bekerja sebagai pendeteksi beda potensial. Impedansi dapat diperoleh dengan membagi beda potensial yang diukur dengan arus yang diinjeksikan. Impedansi bernilai nol jika tidak ada beda potensial yang dideteksi. Sedangkan pada metode dua elektroda, digunakan *microelectrodes* dan penjepit (Grimnes and Martinsen, 2015).

Komponen utama impedansi adalah konduktansi (G). Parameter suatu konduktansi ditentukan oleh arus ukur (beda potensial, frekuensi, impuls, dan jenis arus), komposisi kimia dari bahan baku (kandungan  $H_2O$ , konsentrasi ion) dan kondisi percobaan (suhu, pH). Saat beda potensial ditempatkan pada ujung – ujung sebuah konduktor, maka muatan – muatan bergerak dan berpindah kemudian menghasilkan arus listrik. Konduktansi berbanding terbalik dengan resistansi (Żywica, Banach and Kielczewska, 2012).

Besar impedansi dipengaruhi oleh hambatan pada resistor ( $R$ ) yang dinamakan resistansi, hambatan pada kapasitor ( $X_C$ ) dinamakan reaktansi kapasitif, dan hambatan pada induktor ( $X_L$ ) dinamakan reaktansi induktif. Hal ini dapat dilihat pada persamaan 2.1 sampai 2.2.

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (2.1)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2} \quad (2.2)$$

Suatu resistor ( $R$ ) digunakan untuk menampilkan komponen *dissipative* atau respon dielektrik (Setyawangsa, 2017). Kapasitor memiliki kemampuan menampung muatan listrik yang disebut kapasitansi. Pengukuran kapasitansi berdasarkan jumlah muatan yang disimpan, nilai kapasitansi akan meningkat bila terdapat material pengisolasi atau dielektrik (Young and Freedman, 2006) dan konstanta dielektrik menurun. Kenaikan nilai kapasitansi tersebut sebanding dengan faktor konduktivitas termal (Adli, 2016).

Kapasitansi merupakan kemampuan kapasitor untuk menyimpan energi dan muatan listrik. Sifat kapasitif atau sifat dielektrik bahan menunjukkan tingkat kemampuan polaritas molekul. Adanya bahan dielektrik dalam kapasitor menyebabkan peningkatan nilai kapasitansi (Pertiwi, 2015).

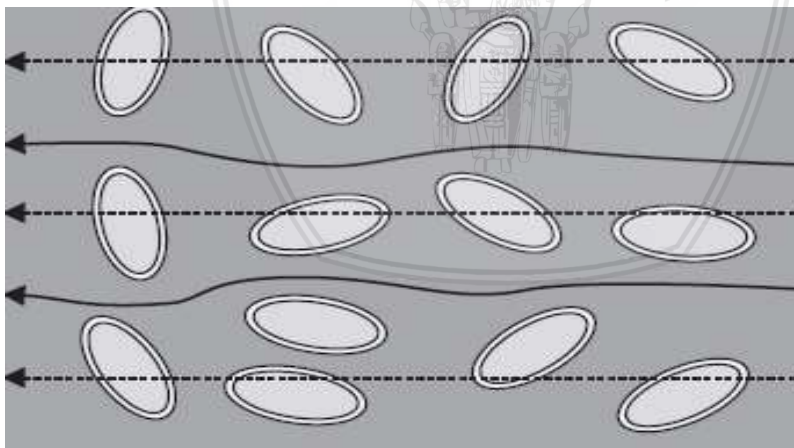
Resistansi didefinisikan sebagai perbandingan antara besar tegangan dengan arus pada suatu rangkaian yang disebut sebagai hukum Ohm. Material ohmik (konduktor) merupakan material yang mempunyai besar  $R$ (hambatan) konstan tidak bergantung pada  $V$ (beda potensial) ataupun  $I$ (arus), melainkan hanya bergantung pada jenis bahan, sedangkan bahan lain yang besar hambatannya bergantung pada besar  $V$  atau  $I$  yang diberikan dinamakan bahan nonohmik dimana besar hambatan bahan ohmik dapat dirumuskan dalam persamaan 2.2 (Giancoli, 2005).

$$R = \frac{V}{I} \quad 2.3$$

## 2.2 Biolistrik

Karakteristik biolistrik merupakan sifat kelistrikan suatu sel atau jaringan yang dipengaruhi perpindahan ion. Karakteristik biolistrik dan dielektrik dipengaruhi oleh frekuensi, temperatur, kerapatan, faktor loss dielektrik, kadar air dan komposisi. Berbagai karakteristik biolistrik yang dapat diamati yaitu impedansi, kapasitansi, induktansi, konstanta dielektrik, dan konduktivitas listrik. Karakteristik biolistrik umumnya digunakan untuk menentukan mutu suatu bahan biologis yang bersifat organik (Juansah and Irmansyah, 2007).

Biolistrik setiap bahan biologis berbeda – beda bergantung pada kondisi internal bahan. Kondisi internal bahan diantaranya kadar air, suhu, komposisi kimia, dan sifat internal lainnya. Sifat kelistrikan berbagai bahan biologis dibutuhkan untuk memahami perilaku bahan saat diberikan arus listrik. Pada Gambar 2.2, ditunjukkan korelasi frekuensi arus dengan distribusi arus pada bahan biologis. Arus yang diinjeksikan dengan frekuensi rendah akan terdistribusi pada ekstraseluler. Sedangkan arus yang diinjeksikan dengan frekuensi tinggi akan dapat menembus bagian intraseluler sehingga nilai impedansi yang terukur adalah nilai impedansi keseluruhan sel.



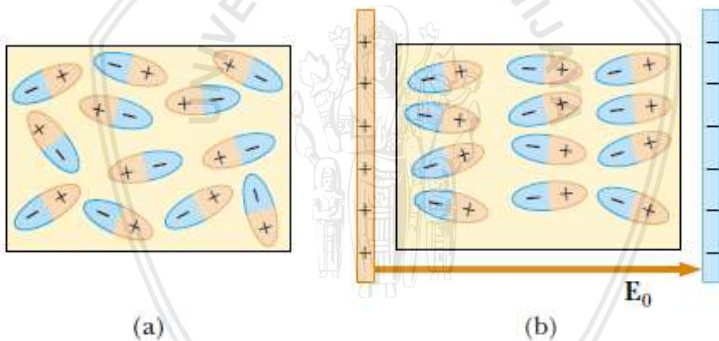
Gambar 2. 2 Injeksi arus pada bahan biologis  
(Grimnes and Martinsen, 2015)

Dualitas sifat listrik jaringan bahan dielektrik adalah konduktor atau dielektrik. Sebagian besar jaringan bersifat konduktor elektrolit dalam frekuensi  $\leq 100$  kHz. Sedangkan pada frekuensi 50 kHz

sebagian besar jaringan bersifat dielektrik. Saat frekuensi yang paling tinggi, sifat jaringan sama dengan air. Air memiliki frekuensi relaksasi karakteristik sekitar 18 GHz (Grimnes and Martinsen, 2015) .

Sifat dielektrik adalah kemampuan suatu bahan *nonconducting* untuk menyimpan energi dalam bahan dan menghamburkan energi dalam bentuk panas saat diberikan arus listrik. Sifat yang dihasilkan dari arus yang diinjeksikan berhubungan dengan kapasitansi dan resistansi suatu bahan. Adanya dielektrik menyebabkan kapasitansi bertambah. Hal ini dikarenakan dielektrik mengakibatkan medan listrik diantara kapasitor berkurang (Effendi, 2017).

Bahan dielektrik memiliki dua jenis sifat polar, yaitu polar dan non polar. Bahan polar memiliki dipol – dipol dengan arah acak sebelum diberi medan listrik secara eksternal, sehingga bahan dielektrik polar tidak menimbulkan polarisasi bahan dielektrik. kemudian bahan dielektrik polar akan berubah arah menjadi sejajar dengan arah medan listrik seperti yang terlihat pada gambar 2.3 (Sugianto, 2017).



Gambar 2. 3 Molekul Polar pada Plat Sejajar (a) Tanpa Medan Listrik dan (b) Dengan Adanya Medan Listrik (Serway, 2004)

Jika suatu bahan dielektrik dikenai medan listrik, maka elektron – elektron mengalami gaya yang arahnya berlawanan dengan arah medan listrik ( $E$ ). Medan listrik adalah beban yang menekan bahan dielektrik sehingga sifat dielektrik berubah menjadi konduktor. Hal ini dikarenakan medan listrik melebihi batas kritis ketahanan bahan dielektrik yang menyebabkan proses ionisasi muatan bahan dielektrik sehingga muncul arus listrik. Saat bahan dielektrik (isolator) ditempatkan dalam medan listrik, terjadi pergeseran muatan positif

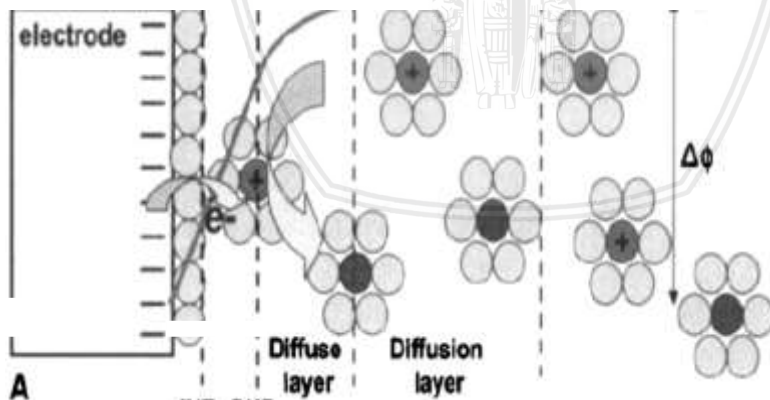


dan negatif yang biasa disebut polarisasi pada atom atau molekul. Kemudian atom atau molekul akan kembali ke keadaan normal dengan menghilangkan pengaruh medan listrik eksternal (Pertiwi, 2015).

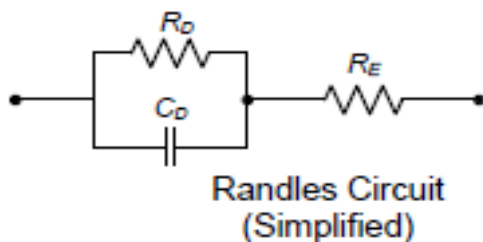
Analisis sampel dengan melibatkan listrik terdiri dari kapasitor dan resistor yang dihubungkan secara paralel. Nilai dari kapasitor dan resistor bergantung pada komposisi ionik dan konduktivitas sampel (Nakonieczna *et al.*, 2016). Penambahan air pada susu menunjukkan korelasi linear antara konduktansi susu termasuk kadar lemak dan kadar airnya. Konduktivitas termal susu meningkat seiring meningkatnya kadar air. Sedangkan konduktivitas termal susu berkurang seiring kadar lemak bertambah (Żywica, Banach and Kielczewska, 2012).

### 2.3 Rangkaian Randles

Rangkaian randles adalah model rangkaian elektronika yang mendekati rangkaian elektroda pada suatu bahan biologis. Larutan yang berada diantara elektroda pasti mempengaruhi medan listrik dan arus listrik plat (Yaqin, 2017). Saat molekul sampel menempel pada elektroda menyebabkan efek double layer pada Gambar 2.4 yang dianalogikan sebagai rangkaian paralel antara kapasitor dengan resistor yang dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2. 4 *Electrical double layer* pada permukaan elektroda (Lvovich, 2012)



Gambar 2. 5 Interaksi Elektroda dengan Larutan Dimodelkan dengan Rangkaian Randles  
(Ando, Mizutani and Wakatsuki, 2014)

Pada gambar 2.5,  $C_D$  merupakan kapasitansi *double layer*,  $R_D$  adalah resistansi *double layer*. Sedangkan  $R_E$  adalah resistansi yang dimiliki bahan. Penjumlahan nilai impedansi paralel *double layer* ( $Z_D$ ) dan resistansi bahan ( $R_E$ ) disebut nilai impedansi listrik total ( $Z_T$ ), dapat dinyatakan dalam persamaan 2.3 sampai 2.8 (Tipler P.A., 2008):

$$Z_T = Z_D + R_E \tag{2.3}$$

Dimana,

$$Z_D = R_D // X_{C_D} \tag{2.4}$$

$$X_{C_D} = \frac{1}{j \omega C_D} ; \omega = 2\pi f \tag{2.5}$$

$$\frac{1}{Z_D} = \frac{1}{R_D} + \frac{1}{X_{C_D}} = \frac{1}{R_D} + j\omega C_D \tag{2.6}$$

$$Z_D = \frac{R_D}{(1 + j\omega R_D C_D)} \tag{2.7}$$

Sehingga diperoleh

$$Z_T = R_E + \frac{R_D}{(1 + j\omega R_D C_D)} \tag{2.8}$$

Berdasarkan persamaan diatas, didapatkan informasi bahwa perubahan frekuensi ( $\omega$ ) berpengaruh pada kapasitansi double layer ( $C_D$ ) dan tidak berpengaruh pada impedansi bahan. Saat frekuensi rendah ( $\omega = 0$ ), reaktansi kapasitif akan besar. Pada frekuensi besar ( $\omega = \infty$ ), reaktansi kapasitif akan kecil mendekati nol.

## 2.4 Susu

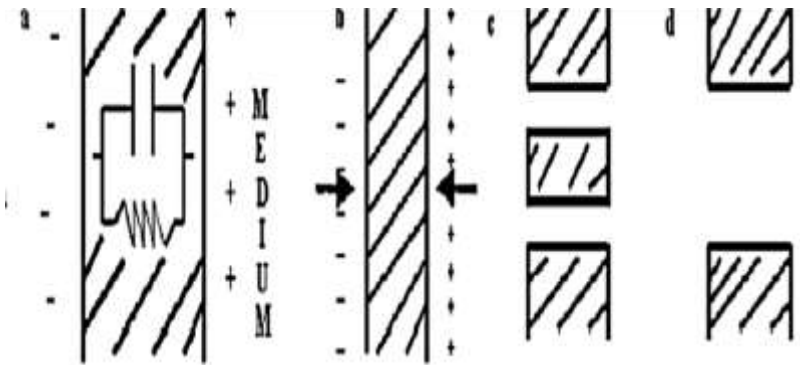
Susu sapi segar didefinisikan sebagai cairan yang berasal dari ambing sapi sehat dan bersih dengan cara pemerahan yang benar dan tidak dikurangi atau ditambah sesuatu apapun serta belum mendapatkan perlakuan apapun kecuali pendinginan (BSN, 2011). Susu merupakan kompleks dispersi koloid yang mengandung globula lemak dalam larutan cair, air, dan beberapa komponen lain. Lemak pada susu sapi digolongkan lemak hewani. Umumnya kadar lemak susu sapi sebesar 3,7 % dan kadar air susu sapi mencapai 89 %. Penanganan susu menentukan jenis mikroorganisme yang terbawa, sedangkan suhu penyimpanan menentukan kecepatan perkembangbiakan mikroorganisme (Mushollaeni and Rusdiana, 2009). Syarat mutu susu sapi segar dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Syarat Mutu Susu Sapi (BSN, 2011)

No.	Karakteristik	Satuan	Syarat
a	Berat jenis (pada suhu 27,5 °C) minimum	g/ml	1,0270
b	Kadar lemak minimum	%	3,0
c	Kadar bahan kering tanpa lemak minimum	%	7,8
d	Kadar protein minimum	%	2,8
e	Warna, bau, rasa, kekentalan	-	Tidak ada perubahan
f	Derajat keasaman	SH	6,0 – 7,5
g	pH	-	6,3 – 6,8
h	Uji alkohol 70 %	-	Negatif
i	Cemaran mikroba maksimum :		
	1.Total plate count	cfu/ml	$1 \times 10^6$
	2.Staplylococcus aureus	cfu/ml	$1 \times 10^2$
	3.Enterobacteriaceae	cfu/ml	$1 \times 10^3$
j	Jumlah sel somatis maksimum	Sel/ml	$4 \times 10^5$
k	Residu antibiotika (golongan penisilin, tetrasiklin,	-	Negatif

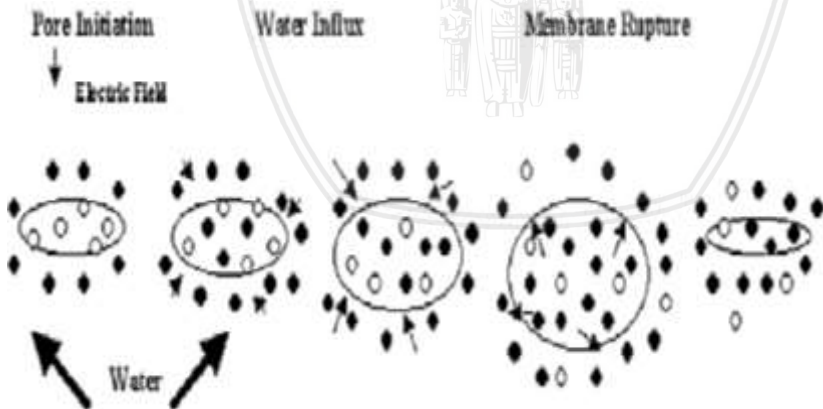
	aminoglikosida, makrolida)		
l	Uji pemalsuan	-	Negatif
m	Titik beku	°C	0,520 – 0,560
n	Uji peroksidase	-	Positif
o	Cemaran logam berat maksimum :		
	1. Timbal (Pb)	µg/ml	0,02
	2. Merkuri (Hg)	µg/ml	0,03
	3. Aren (As)	µg/ml	0,1

Proses pengolahan susu untuk menonaktifkan bakteri dapat dilakukan dengan dua metode yaitu termal dan non termal. Namun, pengolahan secara termal misalnya frying, microwave, dan Ultra High Temperature (UHT) dapat menyebabkan penurunan kualitas makanan dengan menghancurkan beberapa vitamin dan pigmen. Selain itu pengolahan ini dapat menyebabkan perubahan bau, rasa, dan warna. Sedangkan saat menggunakan non termal misalnya Pulsed Electric Field (PEF), mekanisme inaktivasi dibagi menjadi dua macam yaitu *electrical breakdown* dan *electroporasi*. Kemudian penerapan medan listrik bertegangan rendah dilakukan dengan menggunakan frekuensi rendah (dibawah 1 kHz) dan frekuensi tinggi (diatas 1Mhz) dengan arus AC. *Electrical breakdown* adalah perusakan membran sel yang disebabkan efek tegangan listrik. Saat kejutan listrik diberikan pada membran sel, terjadi polarisasi ion – ion dalam membran sehingga membran menipis karena adanya penekanan pada membran. Pembentukan pori pada membran menyebabkan sel inaktif karena metabolisme sel terganggu. Mekanisme *electrical breakdown* dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Diagram Perusakan Membran Sel (a) Membran sel dengan tegangan listrik (b) Kompresi membran sel (c) Pembentukan pori-pori (d) Pembentukan pori yang lebih besar (Pertiwi, 2015) .

Sedangkan *electroporasi* adalah pembengkakan membran sel dan pembentukan pori karena perusakan lapisan lipid pada membran sel oleh listrik bertegangan tinggi yang menyebabkan membran sel menjadi *permeabel* terhadap molekul kecil. Pori pada membran sel ini berguna untuk memudahkan materi intraseluler masuk ke dalam membran sel. Lalu membran sel akan pecah. Mekanisme *electroporasi* dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Proses elektroporasi membran sel (Pertiwi, 2015)

Arus AC pada frekuensi 100 – 300 kHz menghasilkan medan listrik yang tidak menimbulkan efek biologis namun menghambat dan

repository.ub.ac.id

menghancurkan pembelahan sel. Sel sangat sensitif saat sedang membelah, sehingga medan listrik eksternal mengganggu proses pembelahan sel. Sel akan hancur sebelum proses pembelahan selesai. Sedangkan saat medan listrik eksternal diberikan pada sel diam, membran sel menjadi kapasitor dengan impedansi tinggi. Medan listrik eksternal tidak dapat menembus membran sel karena tidak mampu mempengaruhi medan listrik internal (Pertwi, 2015).

Sifat fisika susu sapi di antara lain :

- a. Daya larut air dalam lemak adalah 0,14 % pada suhu 20°C. Nilai daya larut air akan meningkat saat suhu naik.
- b. Konduktivitas termal sekitar  $0,17 J. (mSK)^{-1}$  pada suhu 20°C.
- c. Konduktivitas elektrik sebesar  $< 10^{-12} ohm^{-1}$ .
- d. Kandungan pH 6,7 pada suhu ruangan.
- e. Kekentalan 1,9 mPa-s pada suhu ruangan.
- f. Densitas  $1029 kg.m^{-3}$  pada suhu ruangan (Adli, 2016).

Susu adalah cairan elektrolit yang ditandai dengan konduktivitas ionik yang baik dengan adanya nilai impedansi yang didapatkan dari adanya kandungan air dalam susu. Nilai impedansi susu dipengaruhi oleh beberapa parameter, di antaranya :

- a. Pengukuran, yaitu tegangan, frekuensi, impuls, dan jenis arus listrik.
- b. Komposisi kimia, yaitu air dan konsentrasi ion.
- c. Kondisi eksperimental, yaitu suhu. Susu pasteurisasi disimpan dalam suhu 4°C agar tidak terjadi tingkat perubahan susu selama penyimpanan.

Lemak susu diakui sebagai dielektrik karena kemampuan tetapan lemak dapat menumpuk muatan listrik. Berdasarkan penelitian susu menggunakan dua elektroda, sifat listrik dari susu dipengaruhi oleh suhu, keasaman, dan iklim (Żywica, Banach and Kielczewska, 2012). pH optimal adalah 6 hingga 9 (Murphy *et al.*, 2016). Komposisi lemak susu sapi dapat dilihat pada tabel 2.2.

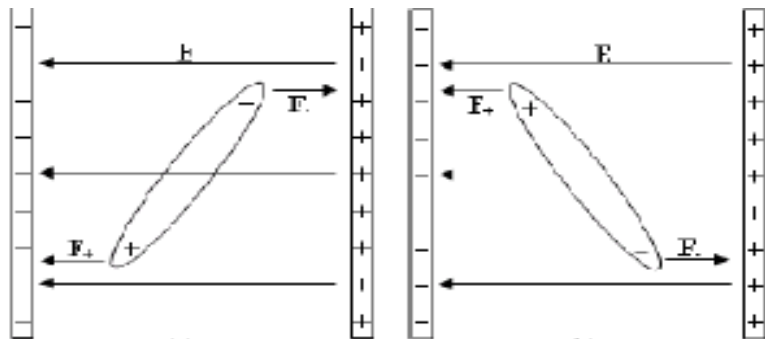
Tabel 2. 2 Komposisi Lemak Susu Sapi (Tansakul and Chaisawang, 2006)

Kelas Lipid	Presentase total lipid susu
Trigliserida	95 -96
Digliserida	1,26 – 1,59
Asam lemak bebas	0,10 – 0,44
Fosfolipid (total)	0,80 – 1,00
Sterol	0,22 – 0,41

Komposisi kimia susu dipengaruhi oleh genetika. Kandungan lemak dari susu kerbau mungkin lebih rendah pada tahap awal laktasi (Sidik, 2013). Sintesis lemak susu diambing terdiri dari beberapa proses hingga terbentuknya trigliserida. Proses tersebut dimulai dari pembentukan asetil co-a, pemanjangan rantai carbon pembentukan ikatan ganda (desaturasi), dan pembentukan trigliserida dalam jaringan adiposa (Harstad, 2010). Globula lemak tersusun atas globula trigliserida yang dikelilingi membran tipis yang disebut FGM (Fat Globule Membran) (Suryowardojo, 2012).

## 2.5 Aquades

Aquades adalah air murni yang tidak memiliki penambahan unsur lain misalnya ion. Aquades juga dapat didefinisikan sebagai air murni yang hanya berisi molekul  $H_2O$ . Karakteristik sifat listrik yang dimiliki setiap bahan dipengaruhi dipol – dipol listrik, komposisi bahan, keasaman, kadar garam, dan kandungan air (Juansah and Irmansyah, 2007). Dalam kondisi tanpa adanya medan listrik luar, dipol – dipol listrik cenderung memiliki arah acak atau berlawanan. Sedangkan saat diberi medan listrik, dipol – dipol akan mengalami gaya yang memiliki besar yang sama namun berlawanan arah. Gaya ini berada pada kutub positif dan kutub negatif seperti yang terlihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Dipol listrik dalam medan listrik luar (a) berputar ke kanan dan (b) berputar ke kiri

(Sukarsono, Marhaendrajaya and Firdausi, 2008)

Perambatan getaran vektor listrik dari gelombang terpolarisasi dipol – dipol listrik dengan arah yang berbeda dari sebelumnya dipengaruhi oleh dipol – dipol listrik yang dilewati vektor listrik tersebut. Ketika memasuki medium gelombang terpolarisasi linier akan terpecah menjadi dua komponen gelombang yang saling tegak lurus dan menghasilkan sudut pergeseran vektor listrik. Nilai sudut pergeseran sebesar  $0,25^\circ$  dan  $0,50^\circ$  akan mengubah arah sebagian besar dipol – dipol listrik yang memiliki simpangan cenderung berputar ke arah kanan. Penyimpangan ke arah kanan merupakan resultan dari dua gelombang di batas akhir medium aquades yang terpisah sebelumnya. Hal ini dikarenakan respon momen dipol terhadap pengaruh medan listrik luar yang diberikan. Momen dipol listrik merupakan vektor yang mengarah dari sisi muatan negatif ke sisi muatan positif melawan gaya dari medan listrik luar. Perambatan gelombang terpolarisasi linier yang melewati medium aquades tidak mengalami pemutaran bidang polarisasi karena adanya orientasi dipol – dipol listrik aquades secara acak (Sukarsono, Marhaendrajaya and Firdausi, 2008).

Hasil deteksi penambahan air ke susu menunjukkan korelasi linear antara konduktansi susu akibat perubahan kadar air. Kadar air yang meningkat akan mengurangi lemak seiring konduktivitas termal meningkat. (Żywica, Banach and Kielczewska, 2012). Semakin tinggi konsentrasi maka konduktivitas listrik semakin tinggi. Begitu pula dengan suhu yang tinggi menyebabkan viskositas air menurun sehingga ion – ion air bergerak cepat dan konduktivitas listrik meningkat. Penambahan air pada susu menyebabkan meningkatnya impedansi dan resistansi (Pertiwi, 2015).



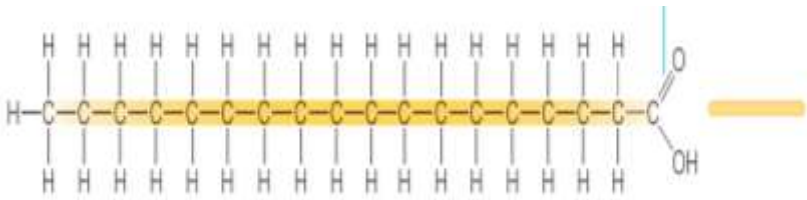
Meskipun air memiliki permitivitas tinggi, sifat elektrolit yang berada didalamnya berperilaku seperti resistor ohm. Resistansi yang tinggi menyebabkan membran membentuk elemen kapasitif. Waktu konstan untuk mengisi sel membran adalah berjangka mikrosekon (Khaled *et al.*, 2017).

## 2.6 Santan

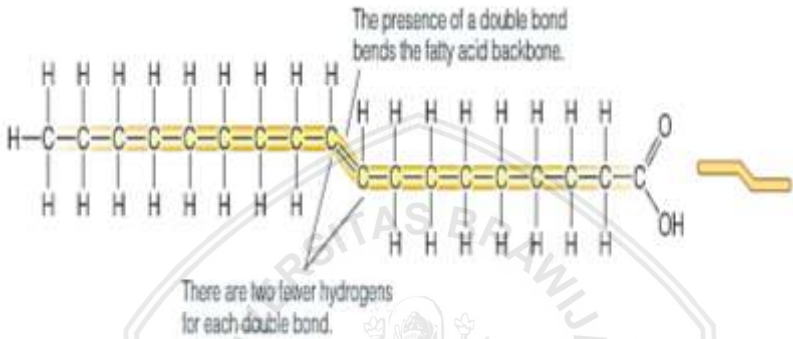
Santan merupakan bentuk emulsi alami minyak dalam air yang diekstrak dari endosperm kelapa matang. Beberapa kandungan santan yaitu air 54%, lemak 35%, dan padat non lemak 11%. Lemak santan dikategorikan dalam lemak nabati dimana merupakan jenis asam lemak tidak jenuh seperti yang terlihat pada Gambar 2.10, berbeda dengan lemak susu yang memiliki lemak jenuh tinggi seperti yang terlihat pada Gambar 2.9. Umumnya santan yang baru diekstrak memiliki pH 6, dan pada pH ini santan memiliki stabilitas tinggi. Beberapa protein dalam fase air dari santan bertindak sebagai emulsi dengan cara berinteraksi dengan gelembung – gelembung lemak. Saat santan diberikan perlakuan termal seperti dipanaskan pada suhu yang lebih tinggi, santan mengalami denaturasi protein sehingga stabilitas emulsi santan tidak baik. Protein dalam santan telah terbukti mengubah sifat dan mengental pada 80 °C dan lebih tinggi (Raghavendra and Raghavarao, 2010). Pada penelitian ini, digunakan santan kemasan kara agar kondisi kandungan santan santan yang digunakan tetap seperti pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Komposisi Kandungan Santan Kara Kemasan 65 ml

Informasi Gizi	Massa (g)	% AKG
Lemak Total	3,5	5
Lemak Tak Jenuh	3	18
Lemak Trans	0	0
Protein	0	0
Karbohidrat Total	1	0
Gula Total	0	
Serat Pangan	0	0
Natrium	0,005	0
Lemak Nabati		± 24%



Gambar 2. 9 Struktur Asam Lemak Jenuh  
(McGuire and Kathy A., 2011)



Gambar 2. 10 Struktur Asam Lemak Tak Jenuh  
(McGuire and Kathy A., 2011)

Santan adalah sistem koloid yang mengandung gelembung – gelembung lemak terdispersi dalam fase air. Partikel - partikel lemak tersebut dapat mengatur ulang menjadi arah paralel dengan gaya geser dan lemak globul bisa pecah menjadi lebih kecil (Chiewchan, Phungamngoen and Siriwattanayothin, 2006). Santan memiliki komponen dasar makanan berupa lemak, air, karbohidrat, protein, dan abu dimana komponen utama santan adalah air dan lemak. Namun santan juga memiliki sifat termal berupa konduktivitas termal, panas spesifik, dan difusi termal. Air dalam santan memiliki konduktivitas termal tertinggi, sedangkan lemak memiliki konduktivitas termal terendah. Konduktivitas air 4 kali lebih tinggi dari lemak. Hal tersebut menyebabkan saat kandungan lemak santan meningkat, kadar air dan konduktivitas termal menurun. Panas spesifik merupakan bentuk dari suhu, variasi rata – rata panas santan yaitu 20 - 35 % kadar lemak dengan suhu 60, 70, 80°C (Tansakul and Chaisawang, 2006).

Stabilitas santan berupa suhu (15 – 50 °C) dan total padatan (70 – 90 °C) pada sifat alir santan memberikan efek signifikan terhadap susu yang disebut perilaku pseudoplastik. Penurunan kadar lemak

menunjukkan adanya peningkatan kadar air. Kandungan lemak yang terdapat pada santan memberikan efek konduktivitas termal (Tansakul and Chaisawang, 2006).



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Januari 2018 sampai bulan Maret 2018 di Laboratorium Biofisika Jurusan Fisika Universitas Brawijaya Malang dan Laboratorium Ternak Perah Fakultas Peternakan Universitas Brawijaya Malang.

### 3.2 Alat dan Bahan

Alat – alat yang digunakan dalam uji kadar lemak adalah pipet otomatis 10 cc, automatic pipette 1 cc, *centrifuge* (1200 rpm, diameter 19 – 21 inch), *butyrometer* (gerber), *butyrometer plug*, *waterbath*, dan termometer digital. Sedangkan bahan yang digunakan adalah sampel susu,  $H_2SO_4$  92 %, dan *amyl alcohol*.

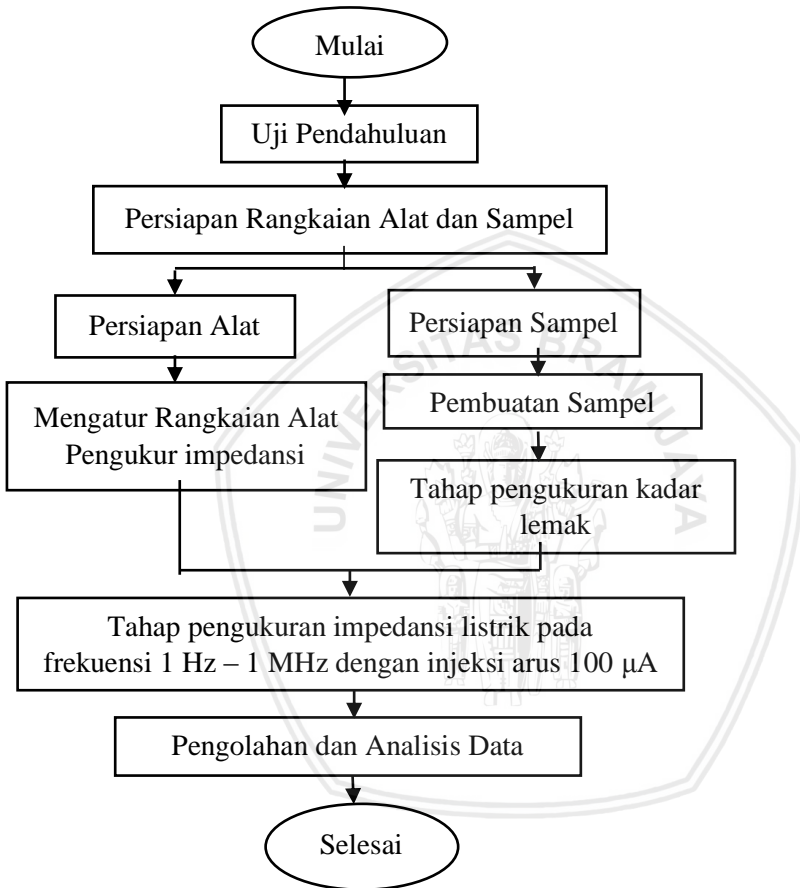
Sedangkan alat – alat yang digunakan dalam uji impedansi adalah satu set alat uji *Picoscope 5244B* series 4 elektroda, komputer (PC), chamber pengukuran, kabel penghubung, gelas beker, gelas ukur, jarum suntik bervolume, termometer *digital*, *magnetic stirrer*, termos, *V to I converter*, dan power supply. Sedangkan bahan yang digunakan adalah sampel susu (susu, aquades dan santan) serta alkohol.

### 3.3 Tahapan Penelitian

#### 3.3.1 Diagram alir Penelitian

Penelitian dimulai dengan menggunakan alat utama berupa satu set *Picoscope 5244B*. Studi pendahuluan dilakukan untuk mengetahui sifat fisis susu. Setelah itu, frekuensi dan arus injeksi ditentukan. Peralatan pengukuran impedansi terdiri atas *PicoScope 5244B*, chamber pengukuran, *V to I converter*, *power supply* dan komputer dipasang sesuai dengan skema rangkaian percobaan. Sedangkan peralatan pengukuran lemak terdiri atas pipet automatic 10 cc, pipet automatic 1 cc, *centrifuge* (1200 rpm, diameter 19 – 21 inch), *butyrometer* (gerber), *butyrometer plug*, *waterbath*, dan termometer. Pembuatan sampel dimulai dengan menyiapkan susu sapi sebanyak 100 ml. Selanjutnya diambil nilai kadar lemak pada *butyrometer*. Sedangkan hasil pengambilan data tegangan keluaran ( $V_{out}$ ) di rekam

dan hitung nilai impedansinya. Pengukuran diulang tiga kali pengulangan. Penelitian selanjutnya diulang dengan penambahan aquades dan santan. Terakhir, data dianalisis dan diolah menjadi grafik. Metode penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1.

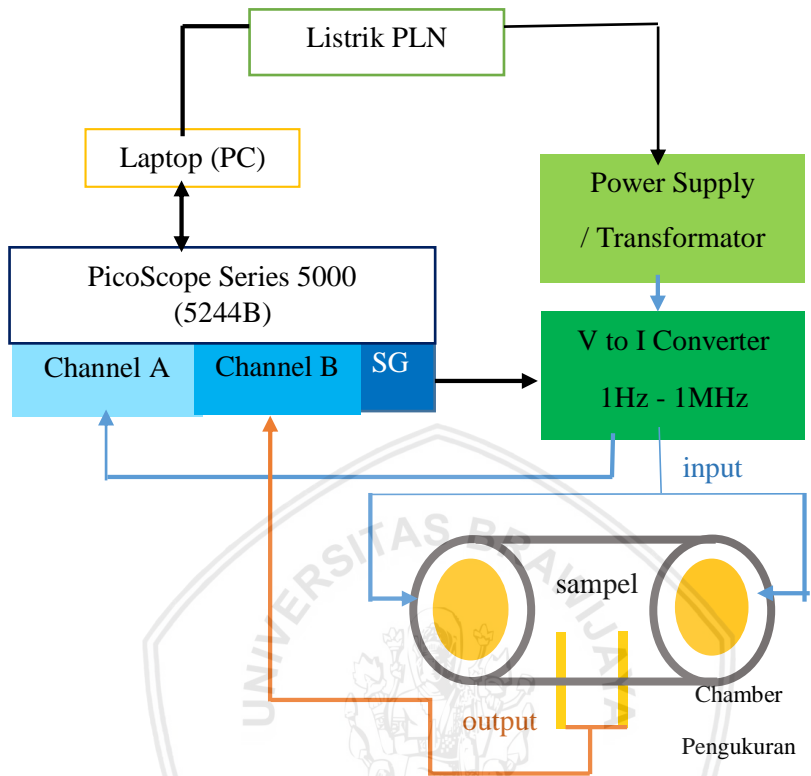


Gambar 3. 1 Skema Penelitian

### 3.3.2 Sistem Akuisisi Data

#### 3.3.2.1 Pengaturan Rangkaian alat

Sistem pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini diberikan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Blok Diagram Rangkaian Percobaan

Alat pengujian yang digunakan adalah *PicoScope* series 5000, tipe 5422B yang menggunakan 2 channel (A dan B) berfungsi untuk mengukur impedansi listrik. Alat ini dilengkapi dengan AC signal generator yang dapat dioperasikan sampai frekuensi 20 MHz. Pembangkit sinyal dapat diatur amplitudanya dan frekuensinya dengan aplikasi (software) bawaan yang terpasang pada komputer. Pembangkit tegangan pada *PicoScope* diatur untuk nilai masukan tegangan sebesar 1 Volt dengan frekuensi 1 Hz sampai 1 MHz. Sedangkan untuk keluaran sinyal tegangan didapatkan dari tegangan dari chamber pengukuran yang telah diinjeksikan arus dari rangkaian *V to I converter*.

*V to I converter* merupakan pengubah tegangan menjadi arus listrik yang akan diinjeksikan pada sampel melalui sepasang plat sejajar injeksi pada kontainer. Arus yang diinjeksikan bergantung

repository.ub.ac.id

pada jenis sampel dan sesuai keperluan. Tegangan yang dihasilkan oleh Picoscope disalurkan menuju *V to I converter* untuk dikonversi menjadi arus pada frekuensi yang berkesuaian.

*V to I converter* dihubungkan dengan Channel A (biru), Channel B (merah), dan Signal generator (SG). Selanjutnya *PicoScope* dihubungkan dengan komputer (PC) yang telah terinstal software *PicoScope*. Chamber pengukuran dihubungkan dengan *V to I converter* untuk injeksi arus dan ke *PicoScope* pada Channel B. Pada Gambar 3.2. blok diagram rangkaian percobaan, Power Supply dihubungkan dengan *V to I converter*.

Elektroda jarum yang terpasang pada kontainer dihubungkan dengan kabel yang menuju *PicoScope* Channel B. Channel A pada *PicoScope* berfungsi mengukur tegangan masukan untuk plat sejajar injeksi. Sedangkan, Channel B digunakan untuk merekam tegangan keluaran dari chamber pengukuran. Kedua channel merekam sinyal tegangan dalam bentuk gelombang sinusoidal.

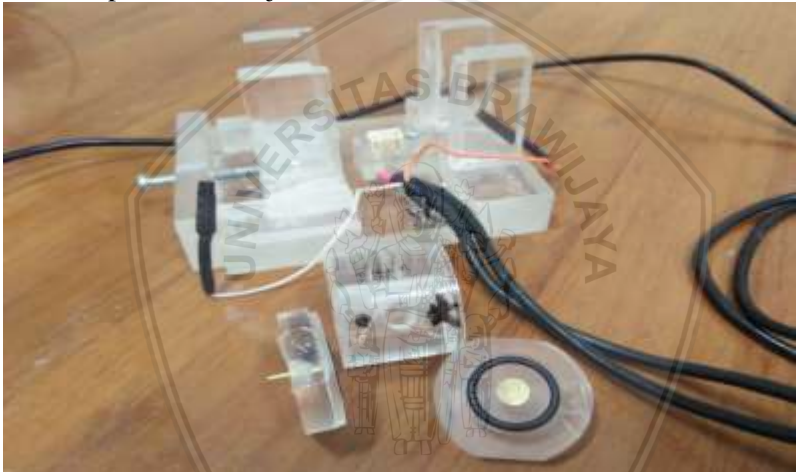
Pengukuran dilakukan pada rentang frekuensi 1 Hz sampai 1 Mhz yang dapat diatur pada software *PicoScope*. Sedangkan arus memakai 100  $\mu\text{A}$  yang dapat diatur pada *V to I converter*. Pada *PicoScope* terdapat gelombang berwarna biru yang merupakan channel A atau masukan sinyal tegangan (*input*). Sedangkan gelombang berwarna merah merupakan hasil dari channel B atau sinyal keluaran (*output*) dari chamber pengukuran. Skala time/div dan Volt/div dapat diatur pada *PicoScope* yang berfungsi untuk mempermudah pengambilan data. Antarmuka awal software *PicoScope* setelah semua rangkaian telah terpasang secara benar akan tampil dalam gelombang sinus. Pada pengukuran, penulis menggunakan skala auto, supaya kedua gelombang lebih mudah diamati. Dalam pengambilan data tegangan masukan dan keluaran dari kedua gelombang dicatat.

### 3.3.2.2 Desain chamber pengukuran

Kontainer sampel terdiri atas tiga bagian yaitu bagian tabung sampel, sepasang plat sejajar injeksi arus, dan sepasang elektroda jarum. Bahan utama kontainer adalah akrilik bening. Sedangkan untuk jarum dan plat injeksi arus menggunakan bahan berasal dari emas. Emas merupakan salah satu logam yang memiliki tingkat konduktivitas yang tinggi dibandingkan tembaga. Namun emas lebih tahan akan korosi dibandingkan dengan tembaga.

Plat injeksi arus sejajar berbentuk pipih seperti koin dengan diameter 8 mm. Salah satu sisinya disambungkan dengan batang emas berdiameter 1 mm yang mana berfungsi sebagai penghubung dengan *V to I converter*. Kedua plat dimasukkan kedalam tutup tabung akrilik dengan jarak yang telah ditentukan.

Tabung chamber terbuat dari akrilik dengan diameter luar 20 mm, diameter plat 8 mm, panjang tabung 20 mm. Volume sampel yang dimasukkan sekitar 1 ml. Kedua sisi tabung dapat dilepas untuk memudahkan pembersihan dari sampel. Selain itu kedua tutup tabung *chamber* merupakan tempat plat injeksi arus. Pada sisi atas tabung diberi lubang sebesar 4 mm, berfungsi sebagai jalan masuk sampel. Pada bagian bawah tabung terdapat dua lubang berdiameter 1 mm untuk tempat elektroda jarum.

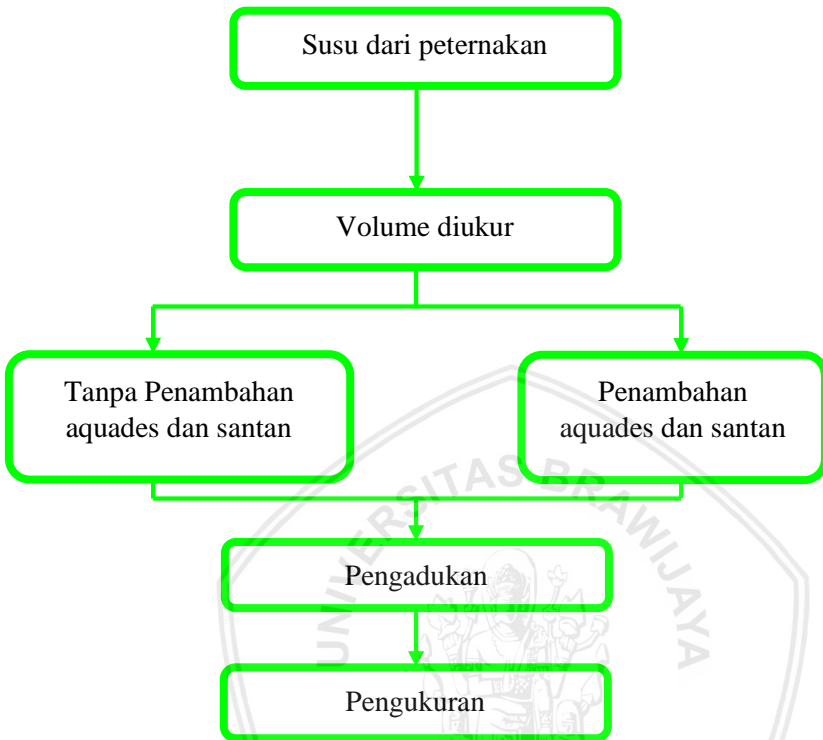


Gambar 3. 3 Chamber pengukuran

Elektroda jarum terbuat dari emas dengan panjang 30 mm. Elektroda jarum terpasang pada *chamber* setinggi 4 mm. Kedua jarum terpasang sejajar dengan jarak antar keduanya sebesar 3 mm. Elektroda jarum dihubungkan langsung dengan *PicoScope* dengan menggunakan kabel koaksial. Elektroda jarum digunakan untuk menangkap tegangan keluaran dari sampel yang telah diinjeksikan arus.



### 3.3.3 Pembuatan Sampel



Gambar 3. 4 Skema Pembuatan Sampel

Susu diukur dengan volume 100 mL tiap sampel. Aquades ditambahkan sebanyak 25 mL dan 50 mL. Aquades dan santan kemasan digunakan sebagai pengganti air mineral dan santan yang digunakan penjual agar kualitas dan kandungan air yang digunakan tidak berubah ubah dan data valid. Lalu ditambahkan santan yaitu sebanyak 10 mL, 20 mL, dan 30 mL. Sampel dibedakan menjadi dua jenis yaitu tanpa penambahan aquades dengan santan serta sampel dengan tambahan aquades dan santan. Tahap pencampuran pada sampel dilakukan pada sampel tanpa bahan lain dan sampel yang dicampur aquades dengan santan. Sampel dicampur menggunakan pengaduk dengan kecepatan dan waktu yang sama. Waktu yang diperlukan untuk pencampuran susu adalah 1 menit menggunakan magnetic stirer.

Tabel 3. 1 Konsentrasi Penambahan Aquades dan Santan dari jumlah total susu yang diuji

Nama Sampel	Susu (%)	Aquades (%)	Santan (%)
SA1	100	0	0
SA2		0	10
SA3		0	20
SA4		0	30
SB1	100	25	0
SB2		25	10
SB3		25	20
SB4		25	30
SC1	100	50	0
SC2		50	10
SC3		50	20
SC4		50	30

### 3.3.4 Pengujian Sampel

#### 3.3.4.1 Pengujian Kadar Lemak

Sampel diletakkan ke dalam butyrometer sebanyak 11 mL dengan menggunakan pipet automatic. Selanjutnya  $H_2SO_4$  92 % ditambahkan ke sampel dengan pipet automatic lewat dinding tabung butyrometer. Lalu 1 mL *amyl alcohol* ditambahkan ke sampel. Setelah itu tutup butyrometer dengan plug, dan homogenkan. *Butyrometer* diletakkan di *waterbath* pada suhu  $65^\circ C$  selama 10 menit dengan posisi plug dibawah. Lalu letakkan butyrometer di centrifuge selama 5 menit. Setelah itu butyrometer diletakkan ke *waterbath* lagi dan skala kadar lemak dapat dibaca.

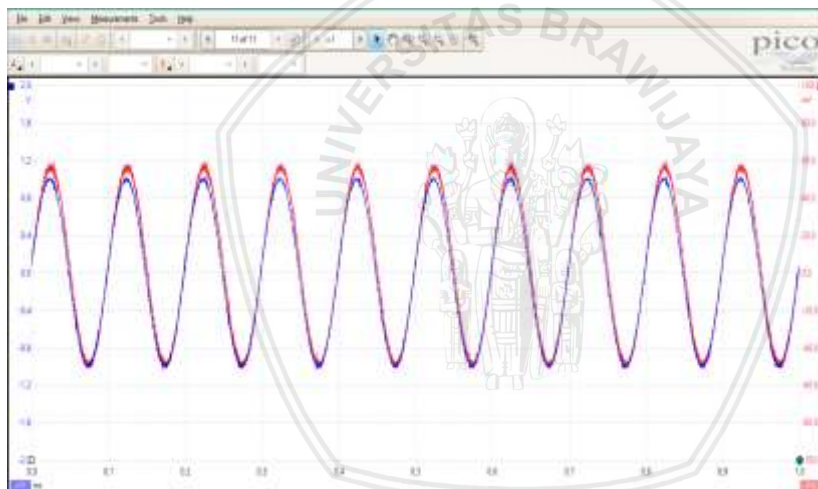
#### 3.3.4.2 Pengujian Impedansi

Sampel dimasukkan ke dalam *chamber* pengukuran dengan menggunakan pipet. Selanjutnya *chamber* pengukuran ditutup dengan menggunakan *aluminium foil*. Pada pengambilan data pada tiap-tiap sampel frekuensi yang digunakan pada skala 1 Hz – 1 MHz yang diatur pada komputer dan menggunakan arus 100  $\mu A$  yang diatur pada *V to I converter*. Selanjutnya, dilakukan proses pengambilan data sesuai dengan tabel campuran yang telah tersaji dalam tabel 3.1. Setiap

selesai menguji sampel, *chamber* dibersihkan dengan alkohol untuk menghilangkan larutan susu yang masih menempel pada *chamber*. Hasil pengukuran adalah nilai tegangan *peak to peak* ( $V_{pp}$  out) yang dapat diamati pada komputer dalam bentuk gelombang sinusoidal. Dilakukan proses pengambilan data yang sama untuk konsentrasi yang berbeda.

### 3.3.5 Analisis Data

Pengambilan data impedansi dilakukan pada mulai 1 Hz sampai 1 MHz dengan perubahan frekuensi yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan tiga kali pengulangan untuk masing-masing sampel. Dalam mencari impedansi digunakan hasil pengujian berupa nilai tegangan dalam bentuk gelombang sinusoidal yang ditampilkan dalam *software PicoScope* pada komputer seperti pada gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Tampilan Software PicoScope

Pengambilan data tegangan yaitu dengan nilai amplitudo gelombang berwarna merah dimana setiap frekuensi atau setengah dari  $V_{pp}$ , seperti pada persamaan 3.1.

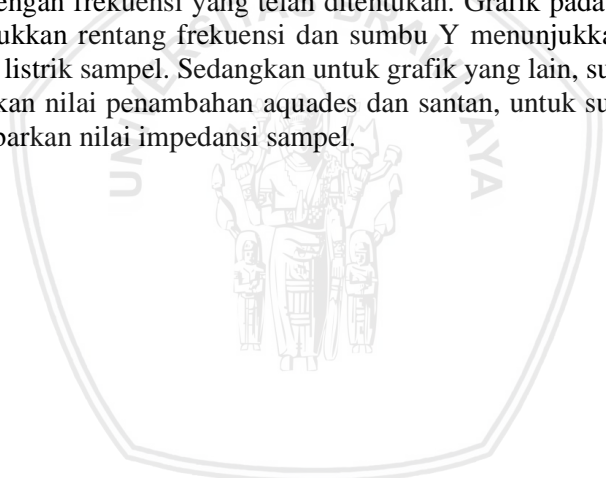
$$V = \frac{V_{pp}}{2} \quad (3.1)$$

Sedangkan untuk menghitung nilai impedansi bahan tiap frekuensi dihitung dengan persamaan 3.2

$$Z = \frac{V}{I} \quad (3.2)$$

- $V_{pp}$  = Tegangan Peak to Peak (Volt)  
 $Z$  = Impedansi listrik ( $\Omega$ )  
 $I$  = Arus Injeksi (Ampere)  
 $V$  = Tegangan keluaran (Volt)

Analisis data yang dilakukan untuk mengetahui hubungan frekuensi dengan nilai impedansi listrik. Selain itu juga untuk menggambarkan adanya hubungan antara nilai impedansi listrik dengan konsentrasi susu. Nilai impedansi listrik dibuat grafik terhadap frekuensi dengan rentang yang telah ditentukan. Nilai impedansi listrik juga dibuat grafik terhadap nilai penambahan santan dan aquades dengan frekuensi yang telah ditentukan. Grafik pada sumbu X menunjukkan rentang frekuensi dan sumbu Y menunjukkan nilai impedansi listrik sampel. Sedangkan untuk grafik yang lain, sumbu X menunjukkan nilai penambahan aquades dan santan, untuk sumbu Y menggambarkan nilai impedansi sampel.



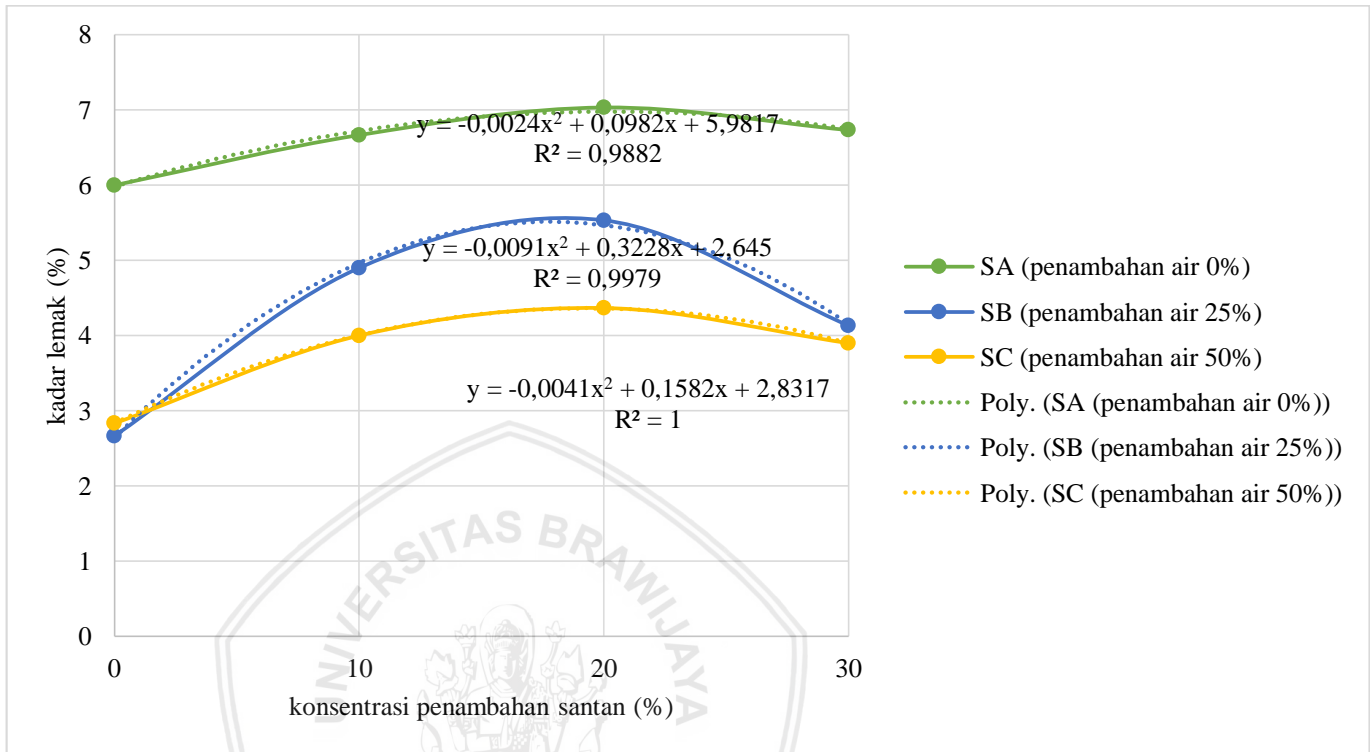
( Halaman ini sengaja dikosongkan )



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengaruh Penambahan Aquades dan Santan terhadap Kadar Lemak pada Susu Sapi

Konsentrasi penambahan aquades adalah 25 % dan 50 % dari jumlah total susu murni. Sedangkan konsentrasi penambahan santan adalah 0%, 10%, 20%, dan 30% dari jumlah total susu murni. Pada Gambar 4.1, diperoleh hasil plot dari pengukuran kadar lemak pada 3 variasi konsentrasi penambahan aquades dan 4 variasi konsentrasi penambahan santan. Pada penambahan air (Sampel A, Sampel B, dan Sampel C), semakin banyak aquades yang ditambahkan menyebabkan nilai kadar lemak menurun. Hal tersebut dikarenakan kapasitas gelembung – gelembung lemak dalam jaringan mengikat air lebih kuat dalam interaksi FGM (*Fat Globule Membrane*). Sedangkan pada penambahan santan baik pada Sampel 1 (penambahan 0%), Sampel 2 (penambahan 10%), Sampel 3 (penambahan 20%), dan Sampel 4 (penambahan 30%) secara umum terjadi peningkatan nilai kadar lemak susu sapi seiring meningkatnya kadar penambahan santan. Namun pada penambahan 30%, kadar lemak menurun. Dalam menentukan efek terhadap lemak plasma tidak hanya dari jenis lemaknya, yaitu lemak jenuh atau tidak jenuh, tetapi yang terpenting kadar FGM susu (Rosqvist *et al.*, 2015). FGM merupakan membran tipis trigliserida penyusun utama lemak nabati (santan) dan lemak hewani (susu), dimana lemak susu mengandung banyak asam lemak jenuh dan lemak nabati mengandung banyak asam lemak tak jenuh. Penambahan santan menyebabkan ikatan ganda dalam campuran susu semakin banyak dan gaya tarik antar molekul semakin kuat. Asam lemak tak jenuh juga terbukti menurunkan trigliserida (Fernandez and West, 2018) karena setiap terdapat ikatan ganda, rantai karbon akan melengkung seperti pada gambar 2.10. Hal ini menyebabkan asam lemak tak jenuh memiliki struktur yang kurang terorganisir dan lebih rapuh dibandingkan asam lemak jenuh. Sehingga pada penambahan santan 30% nilai kadar lemak menurun.



Gambar 4. 1 . Grafik hubungan penambahan santan terhadap kadar lemak

Pola grafik menggunakan *trendline* polinomial orde dua karena hubungan variasi presentase penambahan santan dan aquades dengan kadar lemak adalah kuadratis. Berdasarkan penambahan santan tanpa aquades (sampel A1, A2, A3, A4) diperoleh persamaan sebesar  $y = -0,0024x^2 + 0,0982x + 5,9817$  dengan nilai koefisien korelasi  $R^2 = 0,9882$ . Penambahan 25% aquades dan variasi santan (sampel B1, B2, B3, B4) diperoleh persamaan sebesar  $y = -0,0091x^2 + 0,3228x + 2,645$  dengan nilai koefisien korelasi  $R^2 = 0,9979$ . Dan penambahan 50% aquades dan variasi santan (C1, C2, C3, C4) diperoleh persamaan sebesar  $y = -0,0041x^2 + 0,1582x + 2,8317$  dengan nilai koefisien korelasi  $R^2 = 1$ . Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan variabel bebas yaitu prosentase penambahan santan dan aquades dengan variabel terikat yaitu kadar lemak saling berhubungan, artinya semakin banyak prosentase penambahan santan maka kadar lemak yang dihasilkan semakin bertambah hingga kadar penambahan 20 %. Berdasarkan perbedaan tingkat nilai *trendline* diperoleh nilai *trendline* sampel A memiliki nilai paling tinggi, kemudian diikuti sampel B dan sampel C sehingga dapat disimpulkan semakin banyak prosentase penambahan aquades maka kadar lemak yang dihasilkan semakin berkurang.

Selain itu, berdasarkan pola pada Gambar 4.1 diketahui bahwa terjadi anomali dimana nilai kadar lemak C1 lebih tinggi daripada B1. Hal ini dikarenakan ketidakseimbangan interaksi membran globula lemak karena aksi bakteri dalam rumen yang menyebabkan asam lemak susu berkarbon ganjil. Selain itu, komposisi lemak susu dipengaruhi oleh sumber pakan yaitu konsentrat dan padang rumput Hijauan dapat meningkatkan kadar lemak, sedangkan konsentrat meningkatkan efisiensi penggunaan energi dalam terbentuknya asam lemak volatil (Suryowardojo, 2012). Jumlah kadar lemak total sapi juga dipengaruhi oleh masa laktasi. Pada awal laktasi, sapi berada dikeseimbangan energi negatif lalu sapi menurunkan mobilisasi lemak tubuh untuk menstabilkan energi. Pada pertengahan dan akhir laktasi, asam lemak lebih konstan karena sapi mencapai keseimbangan energi positif dan sintesis lemak berjalan kembali. Sehingga pada awal laktasi, nilai kadar lemak yang dihasilkan lebih tinggi (Narayana et al., 2017). Penyakit mastitis juga dapat menyebabkan perubahan kadar lemak susu. Semakin tinggi tingkat mastitis, maka nilai kadar lemak susu akan menurun. Penurunan kadar lemak susu akibat adanya mikroorganisme pada kelenjar yang menyebabkan mobilisasi leukosit



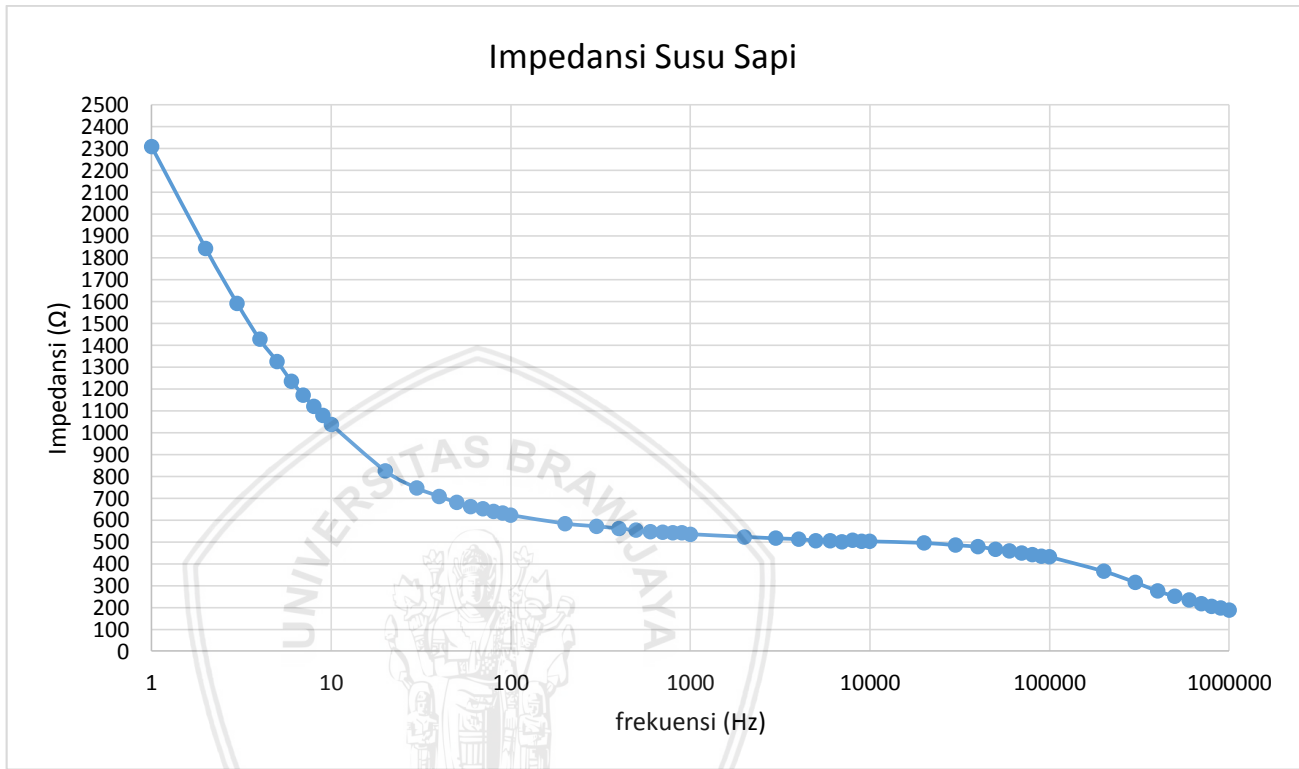
sehingga terjadi radang dan penurunan kandungan susu dalam kelenjar mammae termasuk penurunan kadar lemak (Suryowardojo,2012).

Informasi tambahan dari Grafik 4.1 adalah penambahan aquades 25% dan 50% dari jumlah total susu tanpa adanya penambahan santan (penambahan 0%) tidak disarankan. Hal ini dikarenakan pada penambahan aquades 25% diperoleh nilai kadar lemak total sebesar 2,67 % dan pada penambahan aquades 50% diperoleh nilai kadar lemak total sebesar 2,83% dengan pengukuran menggunakan metode gerber. Nilai kadar lemak total ini terlalu rendah untuk dikonsumsi, sesuai dalam standar kualitas susu menurut Badan Pengawas Obat dan Makanan (2015) bahwa kualitas susu yang baik memiliki kadar lemak total tidak kurang dari 3 %.

#### 4.2 Hubungan Frekuensi terhadap Nilai Impedansi Susu Sapi

Suatu bahan biologis akan menunjukkan struktur seluler berupa nilai impedansi saat diinjeksi arus listrik dengan frekuensi yang berbeda. Susu merupakan bersifat polar sehingga selain dianggap memiliki efek kesehatan yang positif, susu juga dapat dihubungkan dengan sifat kelistrikan yaitu impedansi. Nilai impedansi tidak dipengaruhi perubahan frekuensi sesuai dengan teori pada sub bab 2.3 melainkan  $X_C$  (reaktansi kapasitif), dimana FGM didefinisikan sebagai kapasitor karena terdiri dari dua lapisan lemak yang memisahkan cairan ekstraseluler dengan sel dan dapat mengalami difusi. Struktur seluler ini dikaitkan dengan koefisien difusi dan sifat konduktivitas bahan. Kenaikan koefisien difusi akibat distribusi frekuensi biasanya diikuti dengan kenaikan konduktivitas yang dapat diartikan sebagai penurunan nilai impedansi seperti pada Gambar 4.2.

Saat elektroda diinjeksi arus listrik dengan frekuensi rendah agar menghasilkan tegangan, arus akan terdistribusi dibagian ekstraseluler kemudian ion – ion akan tertarik ke elektroda yang disebut *electric double layer*. Muatan ion pusat berkurang menyebabkan migrasi ion terhambat, tidak ada arus yang melewati FGM, nilai  $X_C$  tak terhingga, kapasitansi FGM rendah, sehingga FGM berperilaku sebagai isolator dan nilai impedansi listrik tinggi pada frekuensi rendah. Sedangkan pada frekuensi tinggi, nilai  $X_C$  mendekati nol menyebabkan nilai impedansi listrik akan rendah karena adanya migrasi ion secara masal dari distribusi arus yang melewati FGM dan FGM berperilaku sebagai konduktor.



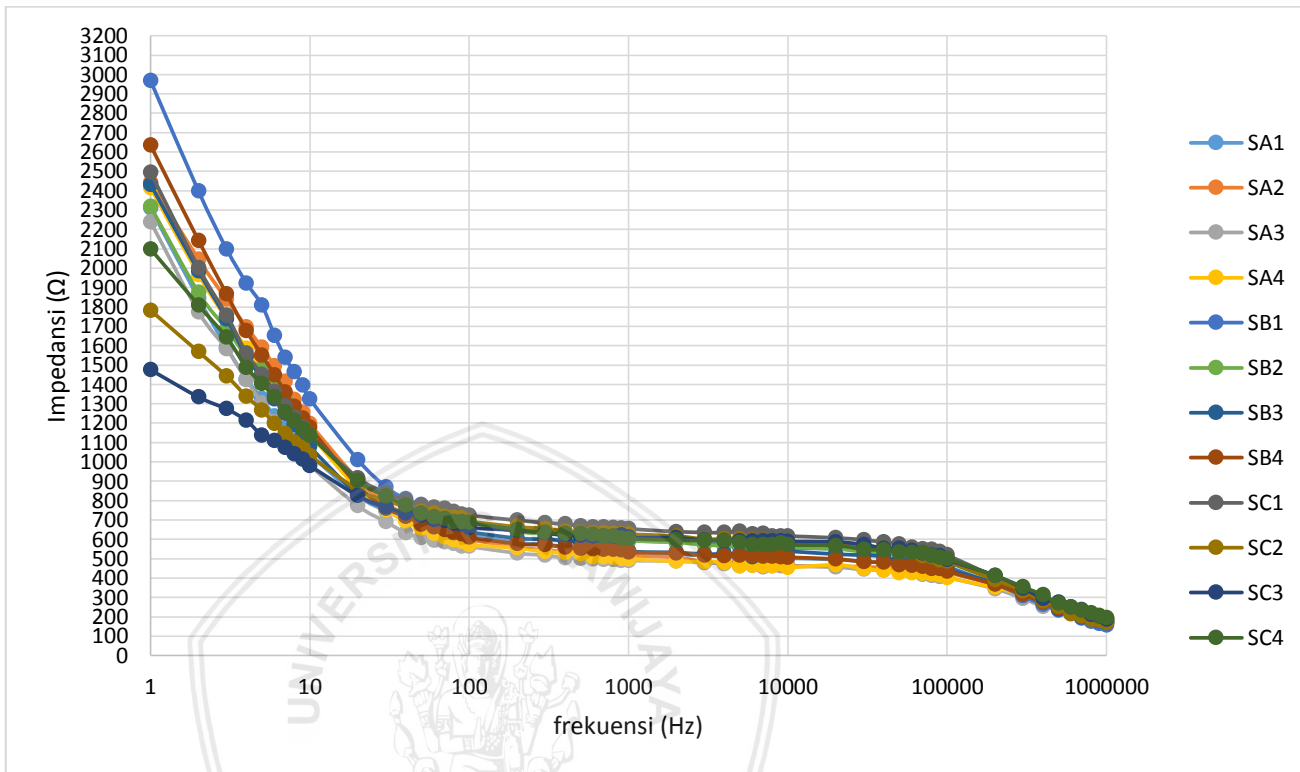
Gambar 4. 2 Hubungan impedansi dan frekuensi pada susu sapi mentah

repository.ub.ac.id

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kurva hubungan antara impedansi dan frekuensi pada susu sapi mentah secara umum memiliki pola impedansi logaritmik yang menurun mendekati nol. Rerata nilai impedansi yang terukur pada susu sapi mentah tanpa campuran berkisar dalam rentang 188  $\Omega$  hingga 2309  $\Omega$ .

Pada Gambar 4.2 menunjukkan pengukuran impedansi listrik susu sapi dilakukan pada rentang frekuensi 1 Hz – 1 MHz, karena dalam rentang frekuensi tersebut *V to I Converter* dapat bekerja baik dengan tegangan (V) *input* stabil. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan arus injeksi sebesar 100  $\mu\text{A}$  karena susu memiliki komponen sel hidup berupa mikroorganisme dicampur dengan santan dan air. Jika pengukuran dilakukan pada arus kurang dari 100  $\mu\text{A}$  maupun lebih dari 100  $\mu\text{A}$ , maka tegangan *output* yang dihasilkan tidak terbaca karena nilainya tidak sesuai dengan range dan tidak terukur pada sistem. Hal ini sesuai dengan hukum ohm bahwa arus berbanding lurus dengan tegangan sehingga semakin kecil arus yang diberikan maka semakin kecil juga tegangan dan sebaliknya.

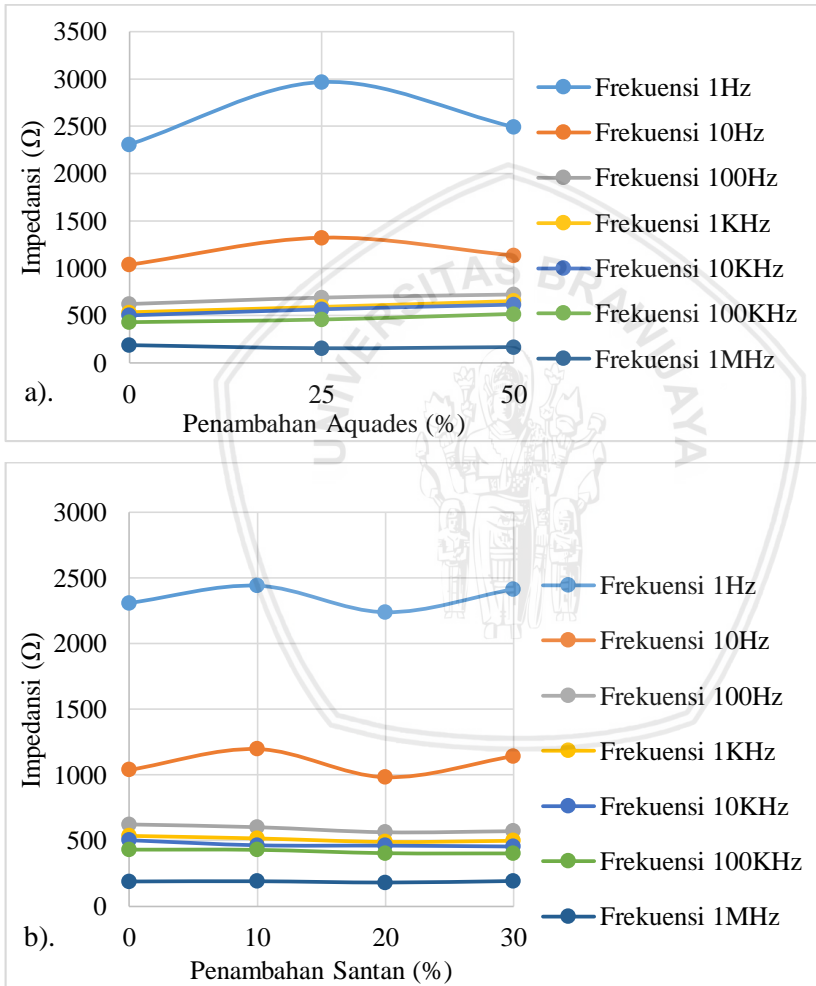
Susu merupakan larutan elektrolit yang memiliki konduktivitas ionik karena kandungan garam air dan mineral yang tinggi. Difusi ion menyebabkan terjadinya pembentukan selubung dipol sekitar ion pusat karena kekuatan ion dipol. Saat beda potensial ditempatkan pada ujung – ujung sebuah konduktor, ion dalam susu bergerak menghasilkan arus listrik. Kenaikan konduktivitas jaringan menyebabkan mobilitas ion juga semakin banyak sehingga terjadi dispersi impedansi seperti yang terlihat pada Gambar 4.3. Sesuai dengan Grimnes and Martinsen (2015) bahwa spektrum impedansi jaringan biologis dibedakan menjadi tiga, yaitu dispersi  $\alpha$ , dispersi  $\beta$ , dan dispersi  $\gamma$ . Dispersi  $\alpha$  berada pada rentang frekuensi 1 Hz hingga 1 KHz, dikarenakan adanya interaksi ion pada membran potensial dan struktur ekstraseluler. Sedangkan dispersi  $\beta$  berada pada rentang 1 KHz hingga 1 MHz yang diakibatkan kapasitansi membran sel. Dispersi  $\gamma$  berada pada tentang frekuensi 1 MHz hingga 100 GHz karena mekanisme polarisasi pada bahan polar seperti air.



Gambar 4. 3 Plot grafik impedansi listrik terhadap frekuensi pada 12 variasi konsentrasi penambahan aquades dan santan

Perbedaan penambahan persentase aquades dan santan menghasilkan suatu dispersi impedansi. Dispersi impedansi pada frekuensi 1 Hz – 1000000 Hz merupakan nilai impedansi yang dapat dibedakan menjadi tiga bagian. Tiga bagian tersebut adalah frekuensi rendah, sedang, dan tinggi. Pada frekuensi rendah (1 Hz - 1000 Hz ) nilai impedansi mengalami fluktuasi karena sebagian besar arus mengalir disekitar membran sel tanpa bisa menembusnya (hanya berada pada ekstraseluler) sehingga impedansi total pada frekuensi rendah dipengaruhi oleh resistansi bahan dan resistansi *double layer*. FGM sebagai kapasitor tidak berpengaruh pada frekuensi ini. Fluktuasi yang terjadi dapat disebabkan pula oleh polarisasi akibat arus listrik yang bergerak mengelilingi sel – sel. Sesuai dengan asumsi (Pertiwi, 2015) bahwa polarisasi ion – ion dalam membran terjadi karena *electrical breakdown* sehingga membran menipis karena adanya penekanan pada membran. *Electrical breakdown* adalah perusakan membran sel yang disebabkan efek tegangan listrik, saat kejutan listrik diberikan pada membran sel, terjadi polarisasi ion – ion dalam membran. Sedangkan nilai impedansi sampel pada frekuensi sedang (1000 Hz - 100000 Hz) dapat dibedakan sesuai variasi presentase penambahan bahan karena distribusi frekuensi arus ( $\omega$ ) semakin besar dan dapat menembus FGM sehingga impedansi total yang terukur adalah resistansi milik bahan, dimana pada saat polarisasi yang diakibatkan oleh pemberian medan listrik mencapai keadaan setimbang (posisi ion yang stabil) maka pada frekuensi sedang nilai impedansi konstan. Pada frekuensi tinggi (100000 Hz - 10000000 Hz) dispersi nilai impedansi semakin tidak terlihat karena FGM sebagai kapasitor memiliki pengaruh yang sangat kecil karena keterbatasan alat *V to I converter*. Hal ini berkaitan juga dengan penerapan injeksi arus yang dapat menyebabkan kerusakan bahan berupa peningkatan permeabilitas (difusi) membran sehingga konduktivitas bahan menurun. Semakin lama membran sel menerima tegangan listrik, globula lemak dalam susu akan mengalami *electroporasi*. *Electroporasi* merupakan pembengkakan membran sel dan pembentukan pori karena perusakan lapisan lipid pada membran sel oleh listrik bertegangan tinggi yang menyebabkan membran sel menjadi *permeabel* terhadap molekul kecil untuk memudahkan materi intraseluler masuk ke dalam membran sel kemudian membran sel akan pecah (Pertiwi, 2015).

Impedansi memiliki parameter yaitu resistansi dan konduktansi. Perubahan parameter dipengaruhi nilai pH dan suhu (Żywica, Banach and Kielczewska, 2012). Ketika suhu semakin tinggi maka viskositas larutan semakin rendah, kemudian ion – ion dalam air bergerak cepat menyebabkan nilai impedansi semakin rendah. Semakin kuat larutan elektrolit maka semakin rendah nilai impedansi yang dihasilkan. Semakin pH menurun, maka nilai impedansi semakin rendah pula.



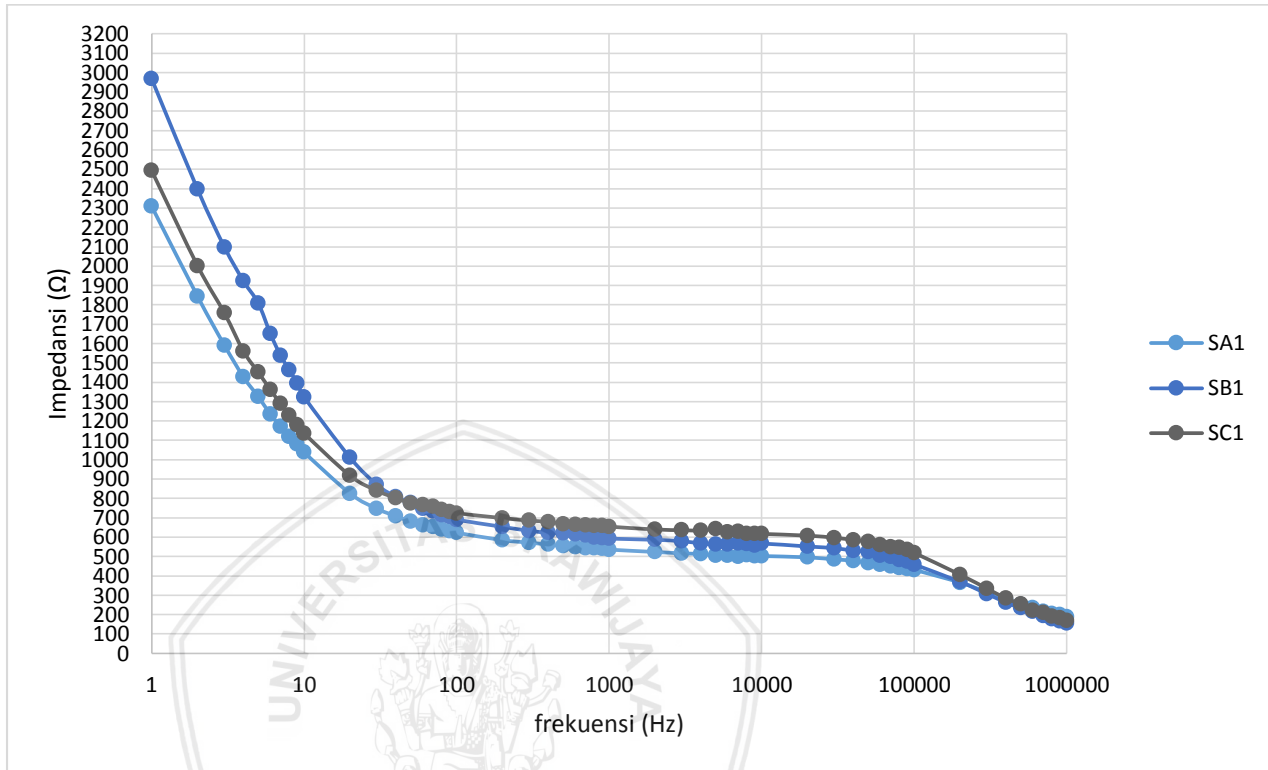
Gambar 4. 4 a). Hubungan variasi penambahan aquades dengan terhadap nilai impedansi susu b). Hubungan variasi penambahan santan dengan terhadap nilai impedansi susu

Grafik pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa range frekuensi yang tepat untuk digunakan menganalisis impedansi susu dengan penambahan santan dan aquades yaitu frekuensi sedang (1KHz, 10KHz, 100KHz) karena impedansi yang terukur stabil dengan pola linear yang dapat diartikan impedansi total yang terukur adalah milik bahan utuh.

Pada Gambar 4.3 terjadi dispersi nilai impedansi berhimpit pada frekuensi 100 Hz hingga 1 MHz. Maka untuk melihat perbedaannya, grafik akan diplot dengan sampel tertentu agar dapat terlihat nilai perbedaan sampel campuran dengan berbagai prosentase penambahan. Gambar 4.5 sampai dengan Gambar 4.11 menunjukkan suatu pola yang terbentuk dari sifat kelistrikan susu yang terpengaruh karena penambahan air dan santan.

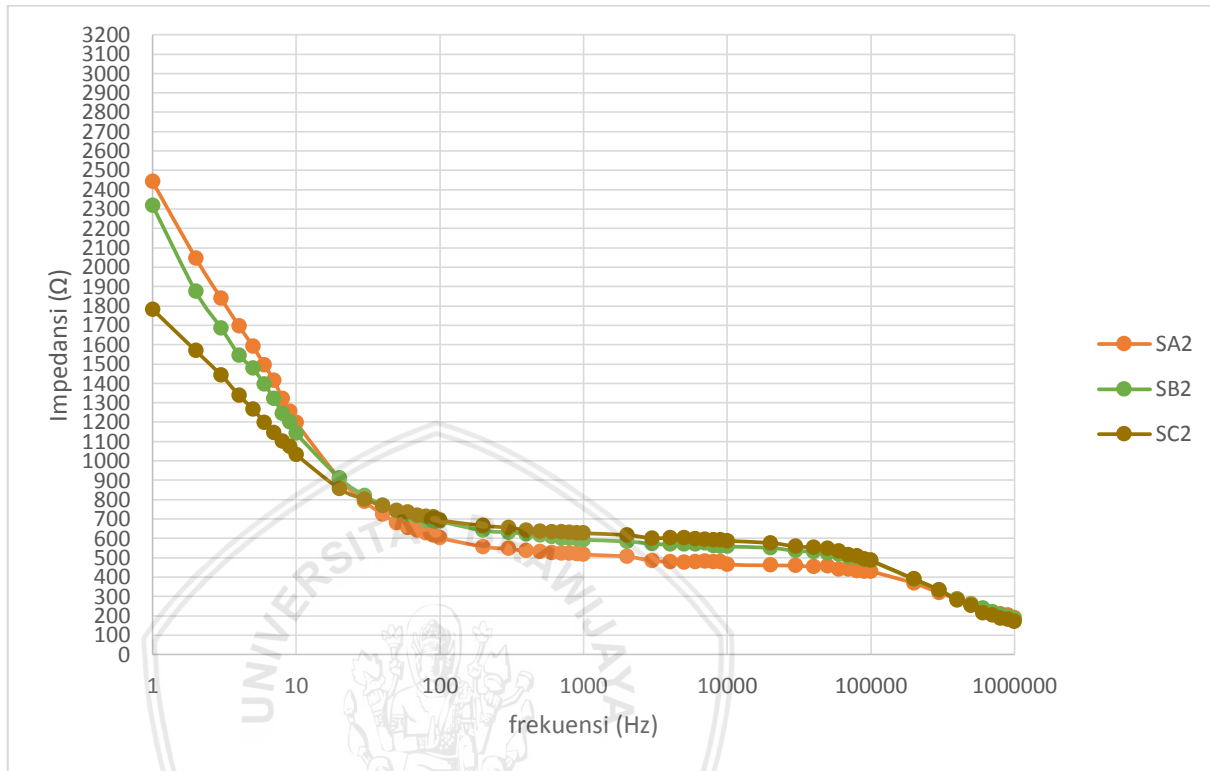
#### **4.2.1 Hubungan Susu dengan Aquades**

Berdasarkan pola yang terbentuk dalam Gambar 4.3, dapat diketahui bahwa semakin besar konsentrasi air yang dicampurkan, nilai impedansi juga semakin tinggi seperti yang terlihat pada Gambar 4.5 sampai dengan Gambar 4.8. Hal ini dikarenakan air bersifat polar yang mengakibatkan kapasitansi naik dan nilai impedansi semakin tinggi. Secara fisis hal ini dapat dipengaruhi oleh kekentalan campuran susu. Semakin banyak aquades yang dicampurkan, maka semakin rendah kekentalan dan semakin tinggi nilai impedansi yang dihasilkan.

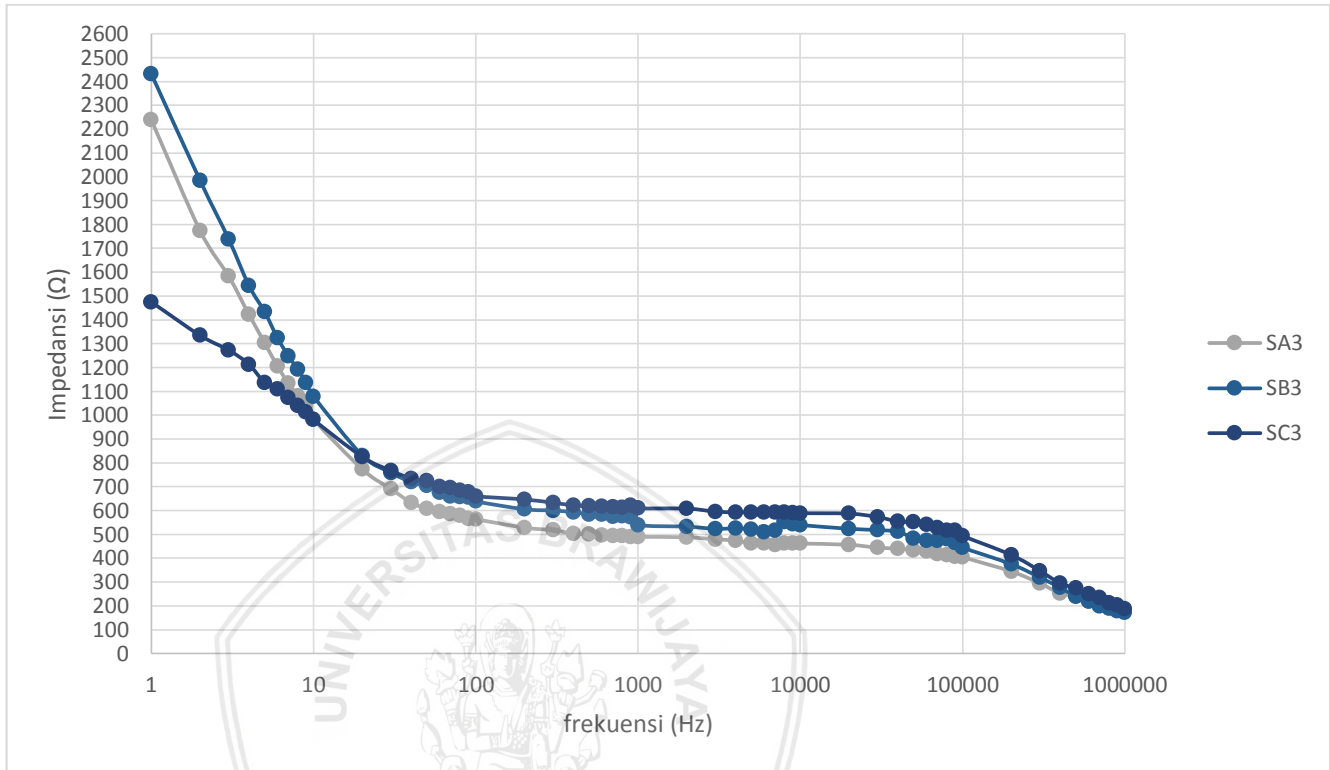


Gambar 4. 5 Hubungan variasi penambahan konsentrasi aquades tanpa santan terhadap nilai impedansi susu

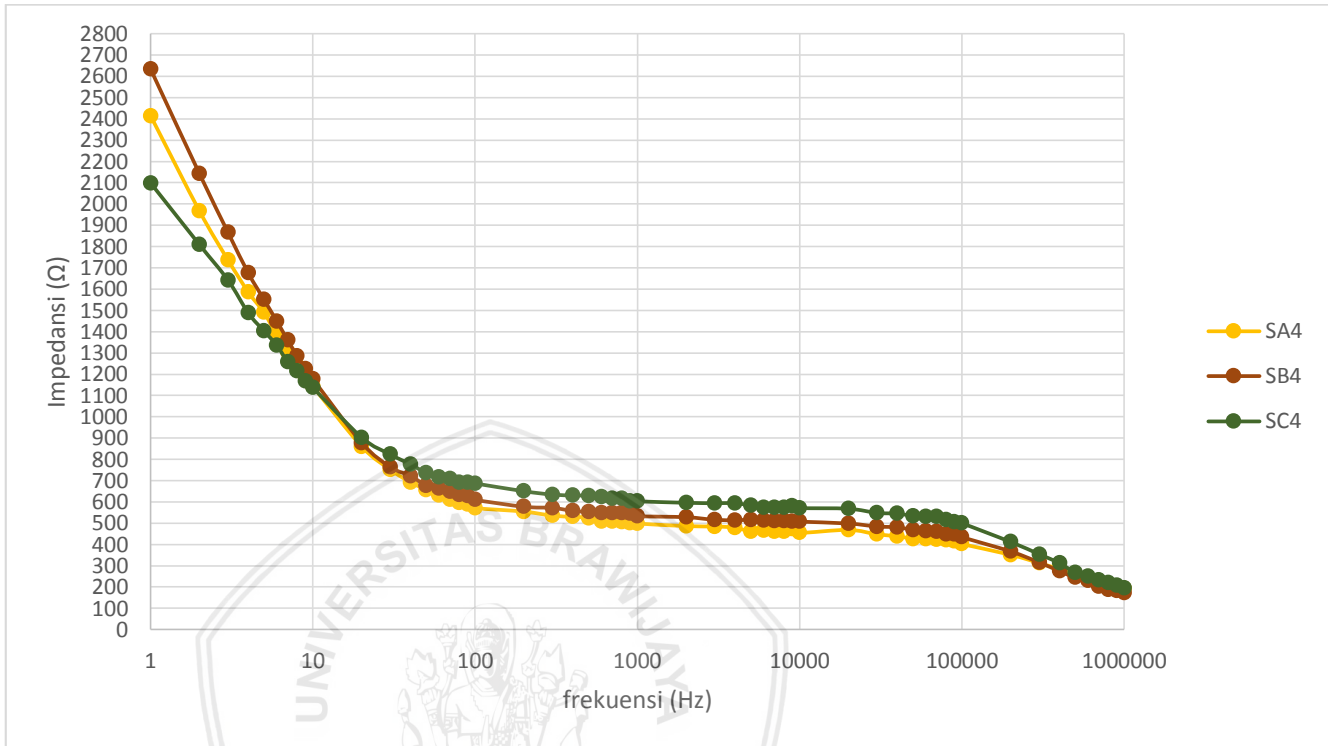




Gambar 4. 6 Hubungan variasi penambahan konsentrasi aquades dengan santan 10 % terhadap nilai impedansi susu



Gambar 4. 7 Hubungan variasi penambahan konsentrasi aquades dengan santan 20 % terhadap nilai impedansi susu



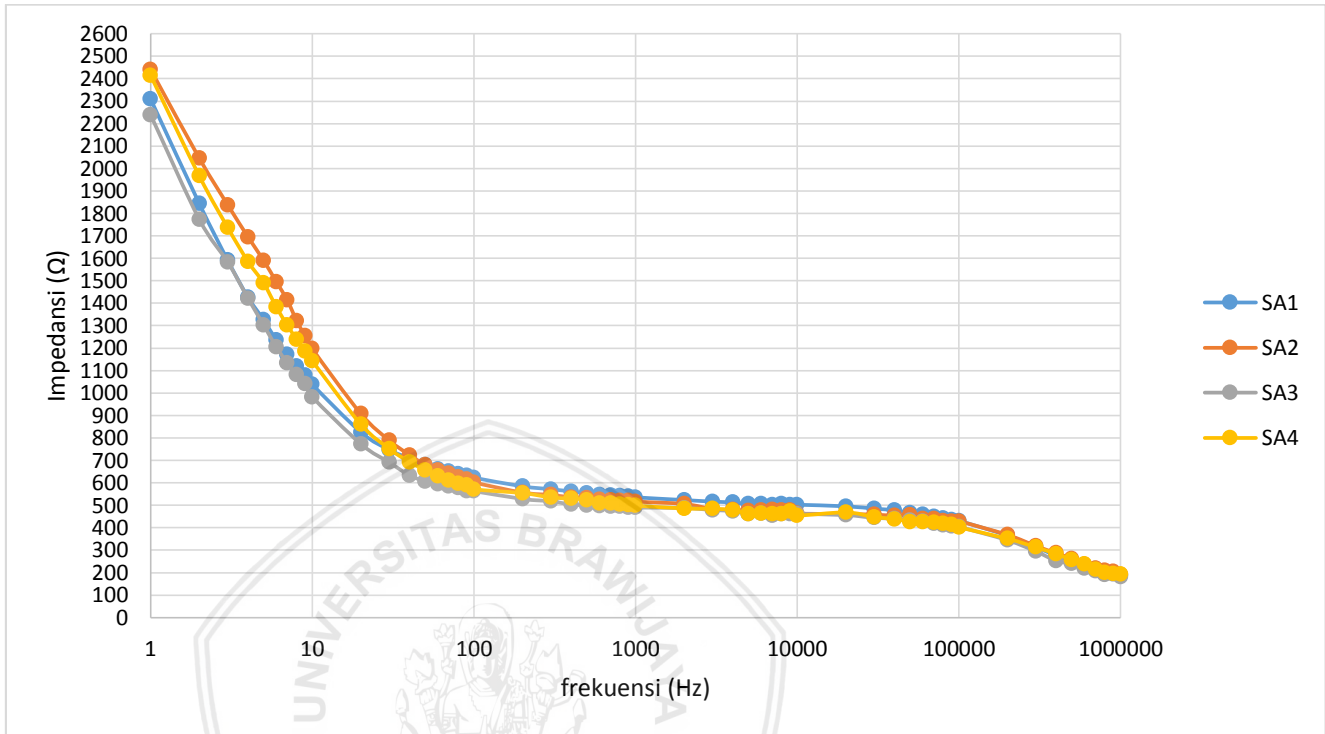
Gambar 4. 8 Hubungan variasi penambahan konsentrasi aquades dengan santan 30 % terhadap nilai impedansi susu

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa urutan sampel dengan nilai impedansi tertinggi C1, B1, dan A1. Begitu pula dengan Gambar 4.6 menunjukkan bahwa impedansi tertinggi yaitu A2, B2, dan C2. Pada Gambar 4.7 menunjukkan impedansi tertinggi yaitu A3, B3, dan C3. Gambar 4.8 menunjukkan impedansi tertinggi yaitu A4, B4, dan C4. Sehingga dari pola yang terlihat dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar penambahan aquades maka nilai impedansi yang dihasilkan semakin tinggi. Secara fisis penambahan aquades pada susu menyebabkan viskositas susu berkurang.

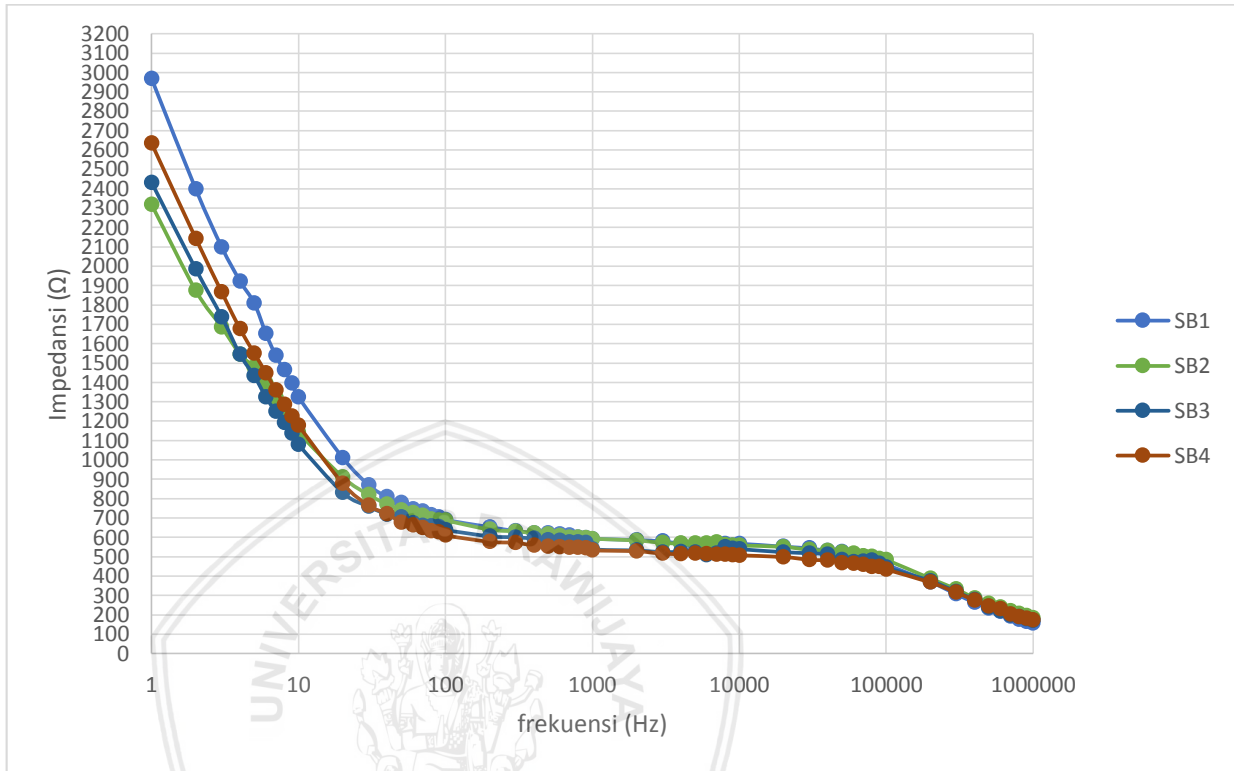
Semakin rendahnya nilai impedansi ini diakibatkan oleh sifat resistif yang dominan pada frekuensi rendah dan sifat kapasitif bahan dominan pada frekuensi tinggi. Selain itu kandungan asam lemak tak jenuh yang lebih tinggi diberikan dalam penambahan kadar aquades menyebabkan polaritas bahan semakin rendah karena elektron elektronnya lebih sukar terpolarisasi sehingga nilai impedansinya menjadi lebih tinggi.

#### **4.2.2 Hubungan Susu dengan Santan**

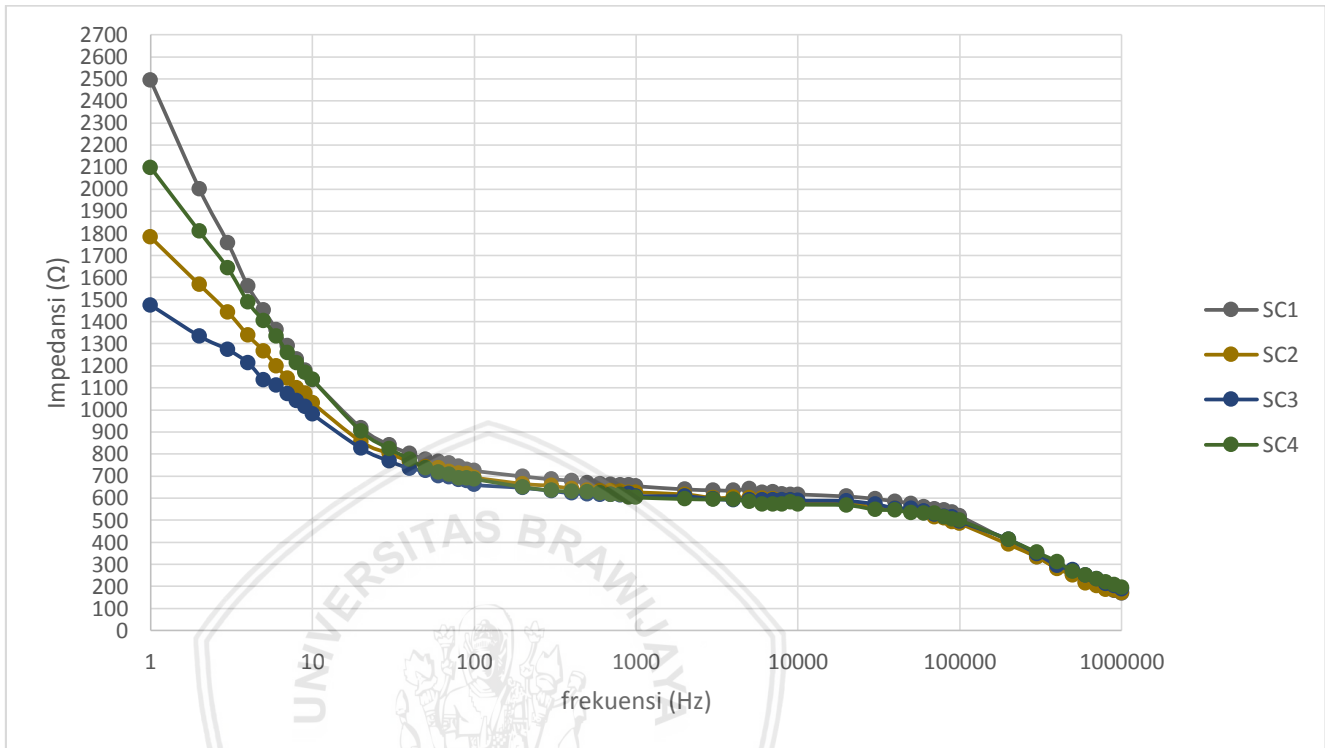
Berbeda dengan penambahan aquades, semakin besar kadar penambahan santan yang dicampurkan dalam susu sapi, nilai impedansi semakin rendah seperti yang terlihat dalam Gambar 4.9 hingga Gambar 4.11 karena lemak pada susu dan santan merupakan molekul non polar. Sehingga saat adanya penyearahan momen dipol yang mengarah ke kutub positif dan kutub negatif pada elektroda, transmisi energi tidak banyak diberikan saat frekuensi tinggi. Nilai impedansinya semakin berhimpit yang disebabkan pula oleh komposisi campuran bahan yang berubah. Pada penambahan aquades 50 % dengan variasi penambahan santan, nilai impedansinya lebih terlihat daripada nilai impedansi dengan tanpa aquades dan penambahan aquades 25 %. Hal ini dikarenakan susu dan santan yang bersifat non polar dan memiliki asam lemak tak jenuh yang tinggi lebih dominan dibandingkan dengan sifat polar dari air.



Gambar 4. 9 Hubungan variasi penambahan konsentrasi santan tanpa aquades terhadap nilai impedansi susu



Gambar 4. 10 Hubungan variasi penambahan konsentrasi santan dengan aquades 25 % terhadap nilai impedansi susu



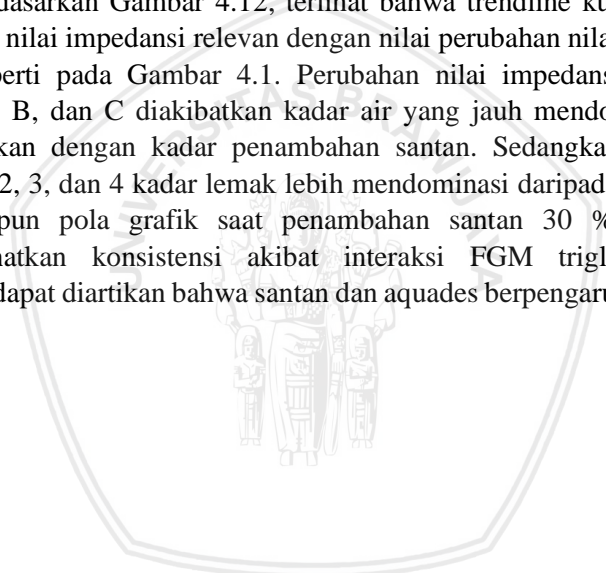
Gambar 4. 11 Hubungan variasi penambahan konsentrasi santan dengan aquades 50 % terhadap nilai impedansi susu

repository.ub.ac.id

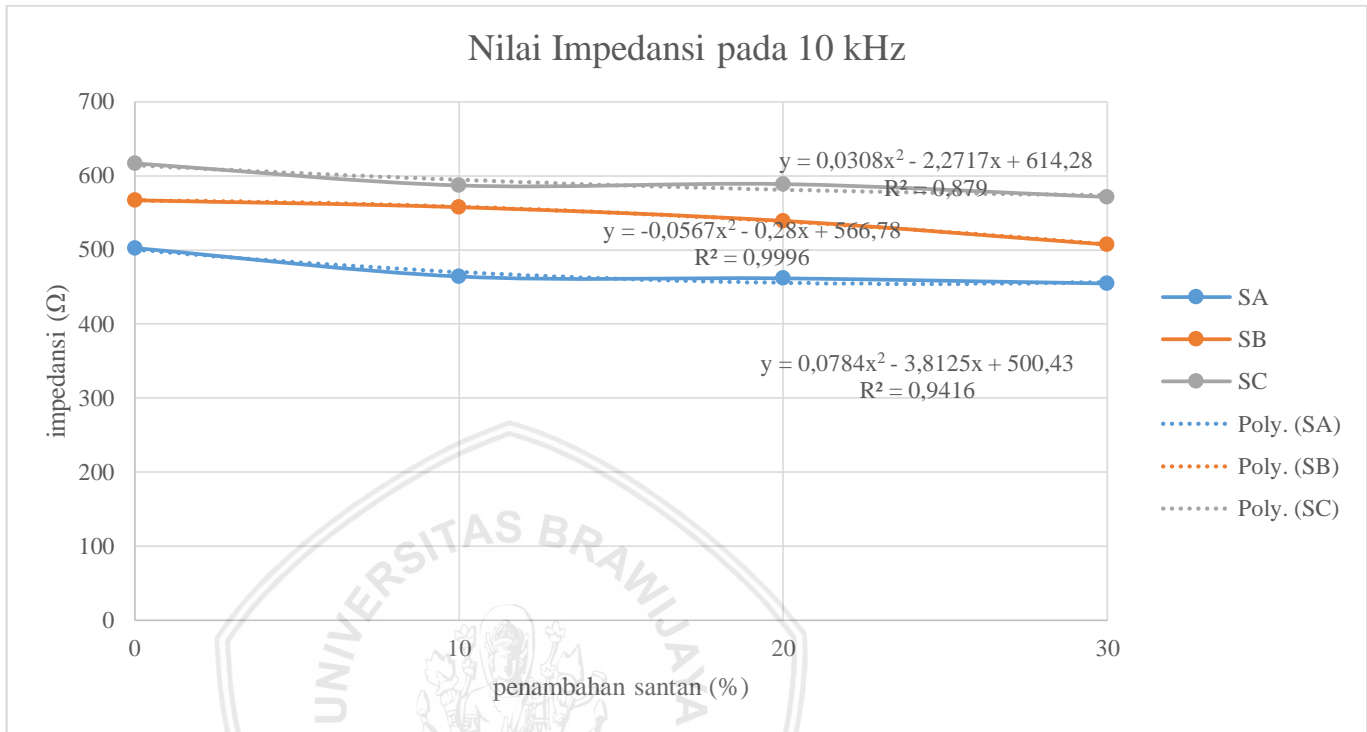
Perbedaan nilai impedansi juga dapat diakibatkan oleh kandungan asam lemak. Pada lemak santan yang memiliki kandungan asam lemak tak jenuh lebih tinggi akan bercampur pada lemak susu sapi yang memiliki komposisi asam lemak jenuh yang tinggi. Pada campuran lemak susu sapi memiliki tambahan lemak tak jenuh dari lemak santan sehingga komponen lemak susu sapi memiliki tambahan pada komposisi lemak tak jenuhnya sehingga polaritasnya semakin tinggi dari sebelumnya karena elektron – elektron dalam molekul lemaknya lebih mudah terpolarisasi yang menyebabkan nilai impedansinya menurun.

#### **4.3. Hubungan Kadar Lemak dengan Nilai Impedansi**

Berdasarkan Gambar 4.12, terlihat bahwa trendline kuadratik perubahan nilai impedansi relevan dengan nilai perubahan nilai kadar lemak seperti pada Gambar 4.1. Perubahan nilai impedansi pada sampel A, B, dan C diakibatkan kadar air yang jauh mendominasi dibandingkan dengan kadar penambahan santan. Sedangkan pada sampel 1, 2, 3, dan 4 kadar lemak lebih mendominasi daripada kadar air meskipun pola grafik saat penambahan santan 30 % tidak memperlihatkan konsistensi akibat interaksi FGM trigliserida. Sehingga dapat diartikan bahwa santan dan aquades berpengaruh pada susu.







Gambar 4. 12 Hubungan nilai impedansi dengan kadar penambahan santan pada frekuensi 10 KHz

repository.ub.ac.id

Berdasarkan Gambar 4.12 diperoleh nilai kuantitatif bahwa pada penambahan santan tanpa aquades (Sampel A), penambahan santan 10 % (SA2) meningkatkan kadar lemak sebesar 0,67% dengan menurunkan nilai impedansi sebesar 7,633%, penambahan santan 20 % (SA3) meningkatkan kadar lemak sebesar 1,03% dengan menurunkan nilai impedansi sebesar 8,13%, dan penambahan santan 30 % (SA4) meningkatkan kadar lemak sebesar 0,73% dengan menurunkan nilai impedansi sebesar 9,52%.

Pada penambahan santan dengan aquades 25 % (Sampel B), penambahan santan 10 % (SB2) meningkatkan kadar lemak sebesar 2,23% dengan menurunkan nilai impedansi sebesar 1,646%, penambahan santan 20 % (SB3) meningkatkan kadar lemak sebesar 2,87% dengan menurunkan nilai impedansi sebesar 4,909%, dan penambahan santan 30 % (SB4) meningkatkan kadar lemak sebesar 1,47% dengan menurunkan nilai impedansi sebesar 10,553%.

Sedangkan pada penambahan santan (Sampel C) dengan aquades 50 %, penambahan santan 10 % (SC2) meningkatkan kadar lemak sebesar 1,17% dengan menurunkan nilai impedansi sebesar -4,837%, penambahan santan 20 % (SC3) meningkatkan kadar lemak sebesar 1,53% dengan menurunkan nilai impedansi sebesar 4,539%, dan penambahan santan 30 % (SC4) meningkatkan kadar lemak sebesar 1,07% dengan menurunkan nilai impedansi sebesar 7,376%.

Sebaliknya dengan penambahan kadar air menggunakan aquades. Pada penambahan aquades tanpa santan (Sampel 1), penambahan aquades 25 % (SB1) menurunkan kadar lemak sebesar 3,333% dengan menaikkan nilai impedansi sebesar 12,874%, dan penambahan aquades 50% (SC1) menurunkan kadar lemak sebesar 3,1667 % dengan menaikkan nilai impedansi sebesar 22,765%.

Pada penambahan aquades dengan santan 10 % (Sampel 2), penambahan aquades 25 % (SB2) menurunkan kadar lemak sebesar 1,7667 % dengan menaikkan nilai impedansi sebesar 20,161%, dan penambahan aquades 50 % (SC2) menurunkan kadar lemak sebesar 2,667 % dengan menaikkan nilai impedansi sebesar 26,481%.

Pada penambahan aquades dengan santan 20 % (Sampel 3), penambahan aquades 25 % (SB3) menurunkan kadar lemak sebesar 1,5 % dengan menaikkan nilai impedansi sebesar 16,804%, dan

penambahan aquades 50 % (SC3) menurunkan kadar lemak sebesar 2,667 % dengan menaikkan nilai impedansi sebesar 27,564 %.

Sedangkan pada penambahan aquades dengan santan 30 % (Sampel 4), penambahan aquades 25 % (SB4) menurunkan kadar lemak sebesar 2,6 % dengan menaikkan nilai impedansi sebesar 11,559%, dan penambahan aquades 50 % (SC4) menurunkan kadar lemak sebesar 2,833 % dengan menaikkan nilai impedansi sebesar 25,674%.

Korelasi dari impedansi susu dan kadar lemak juga berdampak pada nilai kualitatif bahan berupa daya hantar listrik yang sering disebut konduktivitas termal ( $k$ ) (Żywica, Banach and Kielczewska, 2012). Nilai konduktivitas termal berbanding terbalik dengan nilai impedansi. Saat kadar air semakin besar, konduktivitas termal semakin rendah sehingga kadar lemak semakin rendah dan nilai impedansi semakin tinggi. Sedangkan saat kadar lemak semakin besar akibat penambahan santan, maka konduktivitas termal semakin tinggi sehingga nilai impedansi semakin rendah.

Hal ini berkaitan dengan polarisasi ion yang terjadi pada globula lemak akibat penginjeksian listrik pada larutan. Selain itu hal ini berkaitan dengan tingkat kejenuhan dari pencampuran bahan. Berdasarkan korelasi ini dapat diketahui bahwa semakin tinggi kandungan asam lemak tak jenuh dan semakin rendah kadar lemak, polaritas bahan semakin kecil, sifat kapasitif bahan semakin rendah sehingga nilai impedansi semakin tinggi yang dapat diartikan konduktivitas termal bahan semakin buruk. Dan sebaliknya semakin tinggi kandungan asam lemak jenuh dan semakin tinggi kadar lemak, polaritas bahan semakin besar, sifat kapasitif bahan semakin besar sehingga nilai impedansi semakin rendah yang dapat diartikan konduktivitas termal bahan semakin baik.

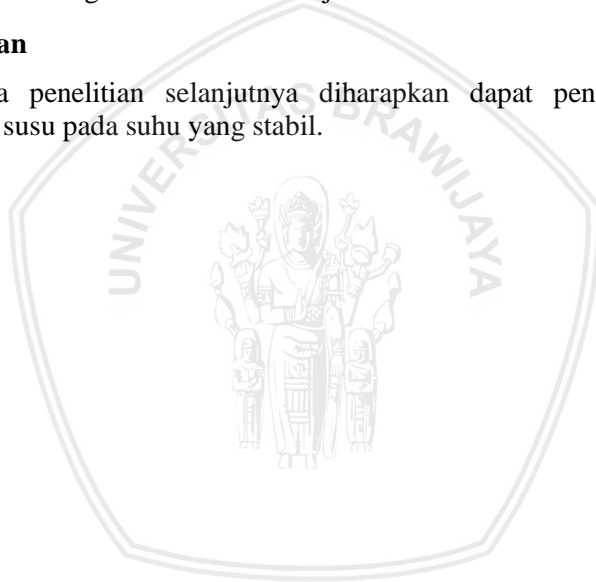
## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Penambahan air dan santan pada susu berpengaruh terhadap nilai kadar lemak dan nilai impedansi. Semakin tinggi prosentase penambahan air, nilai kadar lemak semakin rendah dan nilai impedansi yang dihasilkan semakin tinggi. Semakin tinggi prosentase penambahan santan, nilai kadar lemak semakin tinggi dan nilai impedansi semakin rendah. Besar frekuensi tidak berpengaruh pada nilai impedansi. Semakin rendah nilai impedansi, maka kadar lemak susu semakin tinggi dan kandungan asam lemak jenuh lebih dominan dibandingkan dengan asam lemak tak jenuh.

### **5.2 Saran**

Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat pengukuran impedansi susu pada suhu yang stabil.



( Halaman ini sengaja dikosongkan )



## DAFTAR PUSTAKA

- Adli, M. Z. (2016) *Karakterisasi sifat listrik susu sapi untuk identifikasi pemalsuan susu*. Departemen Fisika, Institut Pertanian Bogor.
- Ando, Y., Mizutani, K. and Wakatsuki, N. (2014) 'Electrical impedance analysis of potato tissues during drying', *Journal of Food Engineering*. Elsevier Ltd, 121, pp. 24–31. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.08.008.
- Badan Pengawas Obat dan Makanan (2015) *Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2015 Tentang Kategori Pangan, Jdih Bpom Ri*. Indonesia: Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- Balkenhohl, O. P. T., Schäfer, J. K. D. and Lisdat, F. (2008) *Impedance Spectroscopy and Biosensing*. DOI 10.100, *Adv Biochem Engin/Biotechnol*. DOI 10.100. Wildau, Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- BSN (2011) *SNI 3141.1:2011 Susu segar-Bagian 1: Sapi, Standar Nasional Indonesia*. BSN.
- Chiewchan, N., Phungamngoen, C. and Siri wattanayothin, S. (2006) 'Effect of homogenizing pressure and sterilizing condition on quality of canned high fat coconut milk', 73, pp. 38–44. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.01.003.
- Effendi, Ardian M. 2017. *Studi Pengaruh Gula Tebu dan Sakarin (1,2-Benzisotiazolin-3-On-1-1-dioksida) Terhadap Nilai Impedansi Listrik Sari Apel Manalagi (Malus Sylmestris Mill)*. Skripsi. Fakultas MIPA : Universitas Brawijaya Malang.
- Fernandez, M. L. and West, K. L. (2018) 'Recent Advances in Nutritional Sciences Mechanisms by which Dietary Fatty Acids Modulate Plasma Lipids', *Nutritional Sciences*, (May), pp. 2075–2078.
- Giancoli, D. C. (2005) *Physics Principles With Applications*. SIXTH. New Jersey: Pearson Education, Inc.

- repository.ub.ac.id
- Grimnes, S. and Martinsen, Ø. G. (2015) *Bioimpedance and Bioelectricity Basics*. 2015th edn. London: Elsevier Ltd.
- Harstad, O. M. (2010) *Cows  $\hat{e}$ ™ diet and milk composition, Improving the safety and quality of milk*. Norway: Woodhead Publishing Limited. doi: 10.1533/9781845699420.3.223.
- Islahiyya, N. 2016. *Pengukuran Impedansi Listrik Campuran Lemak Babi Pada Lemak Sapi Menggunakan Metode Plat Sejajar*. Skripsi. Fakultas MIPA : Universitas Brawijaya Malang.
- Juansah, J. and Irmansyah (2007) ‘*Kajian Sifat Dielektrik Buah Semangka dengan Pemanfaat Sinyal Listrik Frekuensi Rendah*’, *Sains Mipa*, 13(3), pp. 159–164.
- Khaled, D. El *et al.* (2017) ‘*Cleaner quality control system using bioimpedance methods : a review for fruits and vegetables*’, *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 140, pp. 1749–1762. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.10.096.
- Lvovich, V. F. (2012) *Impedance Spectroscopy - Applications to Electrochemical and Dielectric Phenomena*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- McGuire, M. and Kathy A., B. (2011) *Nutritional Sciences From Fundamentals to Food*. 2nd edn. USA: Wadsworth Cengage Learning.
- Murphy, S. C. *et al.* (2016) ‘*Influence of raw milk quality on processed dairy products: How do raw milk quality test results relate to product quality and yield?*’, *Journal of Dairy Science*. American Dairy Science Association, 99(12), pp. 10128–10149. doi: 10.3168/jds.2016-11172.
- Mushollaeni, W. and Rusdiana, E. (2009) *Analisa proses dan finansial permen dengan aplikasi susu kambing dan susu sapi afkir, Buana Sains*. Universitas Tribhuwana Tungadewi.
- Nakonieczna, A. *et al.* (2016) ‘*Electrical impedance measurements for detecting artificial chemical additives in liquid food products*’, *Food Control*, 66, pp. 116–129. doi: 10.1016/j.foodcont.2016.01.044.

- Pertiwi, Y. (2015) *Kajian sifat listrik dan aplikasi medan listrik terhadap kualitas susu sapi segar*. Institut Pertanian Bogor.
- Raghavendra, S. N. and Raghavarao, K. S. M. S. (2010) 'Effect of different treatments for the destabilization of coconut milk emulsion', *Journal of Food Engineering*. Elsevier Ltd, 97(3), pp. 341–347. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2009.10.027.
- Rosqvist, F. et al. (2015) 'Potential role of milk fat globule membrane in modulating plasma lipoproteins, gene expression, and cholesterol metabolism in humans: a randomized study', *American Journal of Clinical Nutrition*, 102(1), pp. 20–30. doi: 10.3945/ajcn.115.107045.
- Sari, Cholifatyani Mukti. 2016. *Pengukuran Impedansi Listrik Suatu Larutan dengan Menggunakan Probe Plat Sejajar*. Skripsi. Fakultas MIPA : Universitas Brawijaya Malang.
- Sartika, R. A. D. (2008) 'Pengaruh asam lemak jenuh, tidak jenuh dan asam lemak trans terhadap kesehatan', *Kesehatan Masyarakat Nasional*, 2(4), pp. 154–160. doi: 10.21109/kesmas.v2i4.258.
- Serway, R. A. (2004) *Physics for Scientists and Engineers*. 6th edn. Emeritus, James Madison University: Thomson Brooks.
- Setyawangsa, Safira. 2017. *Studi Pengaruh Lama Penyimpanan terhadap Nilai Impedansi Listrik Infused Water Lemon ( Citrus Limon)*. Skripsi. Fakultas MIPA : Universitas Brawijaya Malang.
- Sidik, W. (2013) *Identifikasi pemalsuan susu kambing melalui uji sifat listrik*. Institut Pertanian Bogor.
- Sugianto, Wahyu. 2017. *Studi Pengaruh Pemeraman Menggunakan Ethrel (2-Chloroetye Phosphonic Acid) terhadap Nilai Impedansi Listrik Buah Pisang Ambon (Musa Paradisiaca var. Sapientum)*. Skripsi. Fakultas MIPA : Universitas Brawijaya Malang.

Sukarsono, K., Marhaendrajaya, I. and Firdausi, K. S. (2008) 'Studi



*Efek Kerr Untuk Pengujian Tingkat Kemurnian Aquades , Air PAM dan Air Sumur*’, 11(1), pp. 1–10.

Suryowardojo, P. (2012) ‘*Penampilan Kandungan Protein Dan Kadar Lemak Susu Pada Sapi Perah Mastitis Friesian Holstein*’, 2(1), pp. 42–48.

Tansakul, A. and Chaisawang, P. (2006) ‘*Thermophysical properties of coconut milk*’, *Journal of Food Engineering*, 73, pp. 276–280. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.01.035.

Tipler P.A. (2008) *Physics For Scientist and Engineers*. Physics fo. New York: W.H. Freeman and Company.

Vemale (2013) ‘*Berapa Total Lemak yang Dibutuhkan Tubuh*’.

Wismaya, H. S., Widodo, C. S. and Santoso, D. R. (2017) ‘*Studi Pengaruh Konsentrasi NaCl ( Natrium Chlorida ) terhadap Nilai Impedansi Larutan Ionik NaCl ( Natrium Chlorida ) menggunakan Metode Spektroskopi Impedansi Elektrokimia*’.

Yaqin, A, A. 2017. *Studi Nilai Impedansi Listrik Jus Apel Varietas Anna (Malus Sieversii) dengan Gula Pasir (Sucrose) dan Pemanis Aspartam (Aspartylphenylalaninemethyl ester)*. Skripsi. Fakultas MIPA : Universitas Brawijaya Malang.

Young, H. D. and Freedman, R. A. (2006) *University Physics*. 12th edn. San Francisco: Addition Wesley.

Żywica, R., Banach, J. K. and Kielczewska, K. (2012) ‘*An attempt of applying the electrical properties for the evaluation of milk fat content of raw milk*’, *Journal of Food Engineering*, 111(2), pp. 420–424. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2012.01.025.