

**ANALISIS NILAI IMPEDANSI LISTRIK CAMPURAN LEMAK BABI
PADA LEMAK SAPI DAN LEMAK AYAM DENGAN MENGGUNAKAN 4
ELEKTRODA**

TESIS



Oleh:

Taufiquddin

156090300011002

PROGRAM STUDI ILMU FISIKA

BIDANG MINAT FISIKA MEDIS DAN BIOFISIKA

PROGRAM PASCASARJANA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2019

**ANALISIS NILAI IMPEDANSI LISTRIK CAMPURAN LEMAK BABI
PADA LEMAK SAPI DAN LEMAK AYAM DENGAN MENGGUNAKAN 4
ELEKTRODA**

TESIS

**Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Magister Dalam Bidang Fisika**



Oleh:

Taufiquddin

156090300011002

PROGRAM STUDI ILMU FISIKA

BIDANG MINAT FISIKA MEDIS DAN BIOFISIKA

PROGRAM PASCASARJANA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2019

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

**ANALISIS NILAI IMPEDANSI LISTRIK CAMPURAN LEMAK BABI
PADA LEMAK SAPI DAN LEMAK AYAM DENGAN MENGGUNAKAN 4
ELEKTRODA**

Oleh:

Taufiquddin

156090300011002

Telah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal 24 Juni 2019
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Master Sains
dalam bidang Fisika

KOMISI PEMBIMBING

Ketua

Anggota

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

Dr. Eng. Didik R. Santoso, M.Si
NIP. 196906101994021001

Mengetahui,

Ketua Program Studi S2 Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Mauludi Ariesto Pamungkas, S.Si, M.Si, Ph.D
NIP. 197304122000031013

IDENTITAS PENGUJI

JUDUL TESIS :

**ANALISIS NILAI IMPEDANSI LISTRIK CAMPURAN LEMAK BABI
PADA LEMAK SAPI DAN LEMAK AYAM DENGAN MENGGUNAKAN 4
ELEKTRODA**

Nama Mahasiswa : Taufiquddin
NIM : 156090300011002
Program Studi : Fisika
Minat : Fisika Medis dan Biofisika

KOMISI PEMBIMBING

Ketua : Chomsin S. Widodo, S.Si, M.Si, Ph.D
Anggota : Dr. Eng. Didik R. Santoso, M.Si

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Mauludi Ariesto Pamungkas, S.Si, M.Si, Ph.D
Dosen Penguji 2 : Sri Herwiningsih, S.Si, M.App.Sc, Ph.D

Tanggal Ujian : 24 Juni 2019



PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Taufiquddin

NIM : 156090300011002

Jurusan : Fisika

Judul Tesis : Analisis Nilai Impedansi Listrik Campuran Lemak Babi pada Lemak Sapi Dan Lemak Ayam dengan Menggunakan 4 Elektroda.

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah tesis ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.
2. Apabila ternyata di dalam naskah tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiarasi, saya bersedia tesis (MAGISTER) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku. (UU.No 20 Tahun 2003, Pasal 25 Ayat 2 dan Pasal 70).

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 24 Juni 2019

Yang menyatakan,

Taufiquddin

NIM. 156090300011002

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Taufiquddin, lahir di kota Bima, Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB), pada tanggal 03 Juli 1992. Anak ke-6 dari Bapak Sulaiman M. Saleh dan Ibu Siti Ramlah Kasim.

Riwayat pendidikan penulis dimulai dari SDN 21 Kota Bima tahun 1998-2004. Kemudian dilanjutkan ke MTsN 1 Kota Bima pada tahun 2004-2007, dan kemudian dilanjutkan ke MAN 1 Kota Bima tahun 2007-2010. Lulus dari MAN dilanjutkan dengan masuk ke S1 Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang tahun 2010-2015. Pada tahun 2016 penulis melanjutkan pendidikan S2 pada program studi Ilmu Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.

Malang, 24 Juni 2019

Penulis

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas segala limpahan rahmat, karunia dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “Analisis Nilai Impedansi Listrik Campuran Lemak Babi pada Lemak Sapi Dan Lemak Ayam dengan Menggunakan 4 Elektroda”. Keberhasilan penulisan tesis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Keluarga penulis, Ibunda Hj. Siti Ramlah Kasim, A.Ma dan Bapakku Drs. H.Sulaiman M. Saleh, serta seluruh keluarga Besar terimakasih atas do'a, kasih sayang, cinta, dukungan serta bimbingan selama ini yang tiada hentinya.
2. Bapak Chomsin S. Widodo, S.Si, M.Si, Ph.D selaku dosen pembimbing I atas ilmu, bimbingan, dan pengarahan yang telah diberikan kepada penulis selama penyusunan tesis ini.
3. Bapak Dr. Eng. Didik R. Santoso, M.Si selaku dosen pembimbing II atas ilmu, bimbingan, kesabaran, dan pengarahan yang diberikan kepada penulis selama penelitian dan penyusunan tesis ini.
4. Mauludi Ariesto Pamungkas, S.Si, M.Si, Ph.D, dan Ibu Sri Herwiningsih, S.Si, M.App.Sc, Ph.D selaku dosen penguji yang telah memberikan segala masukan dan saran kepada penulis untuk perbaikan naskah tesis ini.
5. Seluruh dosen dan staf jurusan Fisika yang telah memberikan ilmu, bimbingan dan bantuan selama perkuliahan
6. Semua rekan-rekan di Jurusan Fisika Universitas Brawijaya, terutama teman-teman S2 angkatan 2015, Rouf, Amelia, Rahmah, Ainur, Deni, Kadek, Vina, Mbak Vivin, Mas Wawan, Yosie.

7. Teman-teman penghuni Lab. Biofisika, Wahyu, Maya, Bela, Lely dan Agata
8. Teman-teman Kos wisma Bambu Joyosuko 2 No.5 Rizqi Munandar M.Si, M.Dzul Fadli, SE dan M.Ihham, ST,dkk serta teman-teman lainnya yang selalu memberikan semangat dan dukungan kepada penulis selama penyusunan naskah tesis ini.

Semoga Allah SWT memberikan pahala yang berlipat ganda kepada semua pihak yang telah membantu penulis. Semoga ilmu yang penulis peroleh dapat bermanfaat bagi penulis, masyarakat, dan ilmu pengetahuan. Aamiin.

Malang, 24 Juni 2019



Penulis

RINGKASAN

TAUFIQUDDIN. Program Pascasarjana Universitas Brawijaya. Mei 2019. Analisis Nilai Impedansi Listrik Campuran Lemak Babi pada Lemak Sapi dan Lemak Ayam dengan Menggunakan 4 Elektroda; Komisi Pembimbing, Ketua : Chomsin S. Widodo, S.Si, M.Si, Ph.D, Anggota : Dr. Eng. Didik R. Santoso, M.Si.

Metode spektroskopi impedansi merupakan metode yang sudah stabil untuk mengontrol kualitas dan kemurnian bahan secara cepat. Penelitian pengukuran impedansi listrik ini dilakukan dengan menggunakan metode empat probe pada lemak babi, lemak sapi dan lemak ayam. Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian sebelumnya yang melakukan pengukuran impedansi lemak pada frekuensi tinggi dengan menggunakan LCR meter dan metode dua probe.

Analisis model empat probe ini dapat mengindikasikan perubahan sifat listrik material ketika material tersebut mengandung bahan yang berbeda berdasarkan impedansinya. Asam lemak jenuh dan tak jenuh yang terkandung pada masing-masing lemak akan menentukan sifat kelistrikan bahan tersebut. Dalam penelitian ini, akan dijelaskan pengukuran impedansi listrik berbasis empat probe pada pengaruh campuran lemak babi terhadap lemak sapi dan lemak ayam dengan memberikan arus $100 \mu\text{A}$ pada frekuensi 1 Hz hingga 2 MHz.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum nilai impedansi listrik dari lemak menurun seiring dengan meningkatnya frekuensi pengukuran.

Impedansi listrik dari lemak sapi lebih kecil dari lemak babi dan lemak ayam.

Pengukuran impedansi bekerja dengan baik pada frekuensi hingga 1 Hz-2 MHz.

Penambahan konsentrasi campuran lemak babi pada lemak sapi akan menyebabkan nilai impedansi listrik pada lemak sapi semakin meningkat. Sedangkan penambahan konsentrasi campuran lemak babi pada lemak ayam akan menyebabkan nilai impedansi listrik semakin menurun.

SUMMARY

TAUFIQUDDIN. Postgraduate Program from Universitas Brawijaya. May 2019.
Analysis of the Value of Electricity Impedance of a Mixture of Lard on Beef Fat and Chicken Fat by Using 4 Probe Electrodes; Supervisor: Chomsin S. Widodo, S.Si, M.Sc, Ph.D, Co-Supervisor: Dr. Eng. Didik R. Santoso, M.Sc.

Impedance spectroscopy method is a stable method to control the quality and purity of a material quickly. This electrical impedance measurement study was carried out using the four probe method on lard, beef fat and chicken fat. This study is a continuation of previous studies that do fat impedance measurements at high frequencies by using LCR meter and two-probe method.

Analysis of four probe models can indicate changes in the electrical properties of the material when the material contains different materials based on its impedance. The saturated and unsaturated fatty acids contained in each fat will determine the electrical properties of the material. In this study, we will explain four probe-based electrical impedance measurements on the effect of a mixture of lard fat on beef fat and chicken fat by providing a current of 100 μA at a frequency of 1 Hz to 2 MHz.

The results showed that the electrical impedance value of fat decreased with increasing measurement frequency. Electrical impedance of beef fat is smaller than lard and chicken fat. Impedance measurement works well at frequencies up to 1 Hz-2 MHz. Addition of the mixture of lard fat to beef fat will cause the electrical impedance value of beef fat to increase. While increasing the concentration of mixed lard in chicken fat will cause the electrical impedance value to decrease.

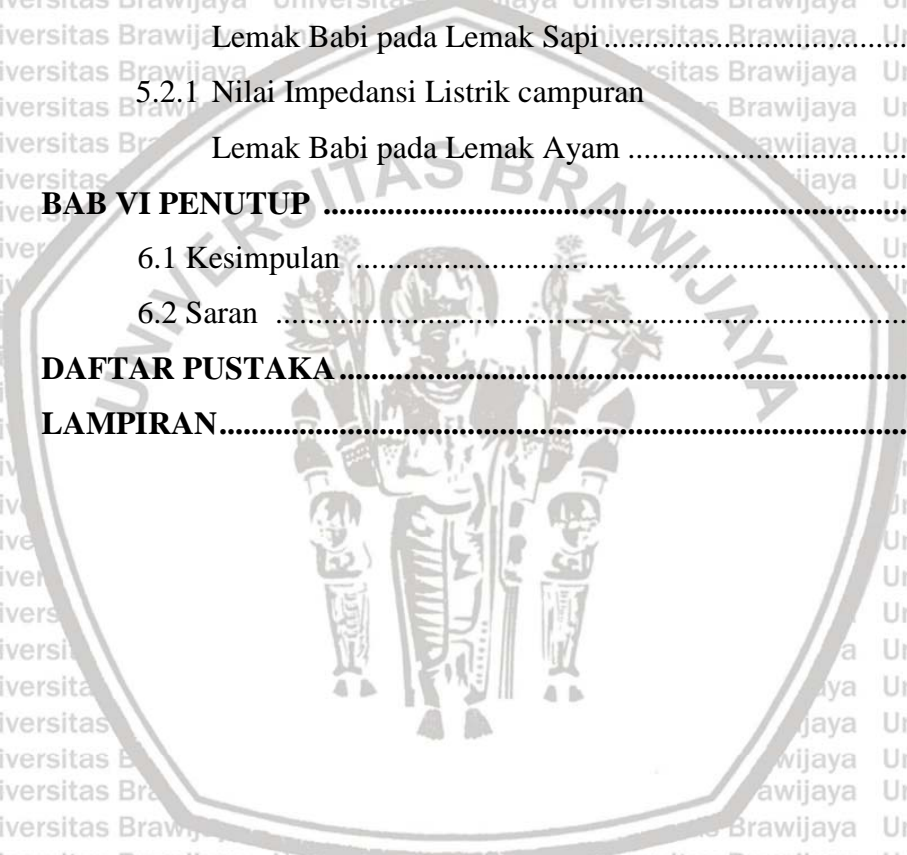
DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
LEMBARAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS	iv
RIWAYAT HIDUP	v
KATA PENGANTAR	vi
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Biolistrik dan Impedansi Spektroskopi	7
2.2 Model Maxwell-Wagner dari Jaringan	10
2.3 Lemak.....	14
BAB III KERANGKA KONSEP.....	21
3.1 Konsep Berpikir	21
3.2 Kerangka Konsep Penelitian.....	23
3.3 Hipotesis Penelitian.....	23
BAB IV METODE PENELITIAN	25
4.1 Tempat dan Waktu Penelitian	25
4.2 Alat dan Bahan	25
4.3 Diagram Alir Prosedur Penelitian	26
4.4 Prosedur Penelitian	26



4.4.1	Persiapan Alat.....	27
4.4.2	Persiapan Sampel.....	28
4.4.3	Pengukuran Sampel Lemak.....	30
4.4.4	Analisis Data.....	31
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....		33
5.1	Nilai Impedansi Listrik Lemak.....	33
5.2	Nilai Impedansi Listrik Campuran Lemak Babi Pada Lemak Sapi dan Lemak Ayam Berbagai Konsentrasi.....	39
5.2.1	Nilai Impedansi Listrik campuran Lemak Babi pada Lemak Sapi.....	39
5.2.1	Nilai Impedansi Listrik campuran Lemak Babi pada Lemak Ayam.....	51
BAB VI PENUTUP.....		63
6.1	Kesimpulan.....	63
6.2	Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA.....		64
LAMPIRAN.....		68



DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1	Arus mengalir melalui suatu jaringan.	11
Gambar 2.2	Sebuah elemen Maxwell-Wagner (MW) terdiri dari kombinasi paralel dari resistor R dan kapasitor C.	11
Gambar 2.3	Kombinasi seri dari dua Maxwell-Wagner (MW) unsur-unsur yang mewakili dua lapisan homogen.	12
Gambar 2.4	Model Rangkaian Listrik R-C setara dengan sistem sel.	13
Gambar 2.5	(a) Empat dan (b) tiga komponen mempresentasikan sel	13
Gambar 2.6	Struktur kimia Molekul trigliserida terdiri dari gliserol dan tiga asam lemak (Feiner 2016).	16
Gambar 3.1	Kerangka Konsep Penelitian	23
Gambar 4.1	Desain Chamber Pengukuran	27
Gambar 4.2	Skema Rangkaian Percobaan	28
Gambar 4.3	Contoh Tampilan Hasil Pengukuran PicoScope 31	
Gambar 5.1	Hubungan frekuensi vs impedansi lemak	35
Gambar 5.2	Grafik Hubungan antara frekuensi terhadap nilai impedansi campuran lemak babi pada lemak sapi dengan berbagai konsentrasi campuran	41
Gambar 5.3	Grafik Hubungan antara frekuensi terhadap nilai impedansi campuran lemak babi pada lemak sapi dengan konsentrasi campuran diatas 4%	42
Gambar 5.4	Grafik Hubungan antara frekuensi terhadap nilai impedansi campuran lemak babi pada lemak sapi dengan konsentrasi campuran 4%-2%	43
Gambar 5.5	Grafik Hubungan antara frekuensi terhadap nilai impedansi campuran lemak babi pada lemak sapi dengan konsentrasi campuran 1%-0.1%	44
Gambar 5.6	Grafik Nilai Impedansi Lemak Sapi terhadap Campuran Lemak Babi dengan berbagai konsentrasi pada frekuensi 1 Hz smpai 700 Hz	48
Gambar 5.7	Grafik Nilai Impedansi Lemak Sapi terhadap Campuran Lemak Babi dengan berbagai konsentrasi pada frekuensi 1 kHz - 1 MHz	49
Gambar 5.8	Grafik Hubungan antara frekuensi terhadap nilai impedansi campuran lemak babi pada lemak ayam dengan berbagai konsentrasi campuran	52

Gambar 5.9 Grafik Hubungan antara frekuensi terhadap nilai impedansi campuran lemak babi pada lemak ayam dengan konsentrasi campuran diatas 4%

53

Gambar 5.10 Grafik Hubungan antara frekuensi terhadap nilai impedansi campuran lemak babi pada lemak ayam dengan konsentrasi campuran 4%-2%

54

Gambar 5.11 Grafik Hubungan antara frekuensi terhadap nilai impedansi campuran lemak babi pada lemak ayam dengan konsentrasi campuran 1%-0.1%

55

Gambar 5.12 Grafik Nilai Impedansi Lemak ayam terhadap kosentrasi Campuran Lemak Babi pada frekuensi 1 Hz - 500 Hz

59

Gambar 5.13 Grafik Nilai Impedansi Lemak ayam terhadap kosentrasi Campuran Lemak Babi pada frekuensi 1 kHz sampai 100 kHz

60



DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1. Komposisi Asam Lemak dalam Minyak Babi 18

Tabel 2.2. Sifat Fisikokimia dari Lemak Hewani 19

Tabel 2.3. Komposisi Asam Lemak Hewani 20

Tabel 3.1. Presentase Konsentrasi Campuran Lemak Babi 23



DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

LAMPIRAN 1. Foto Penelitian 68

LAMPIRAN 2. Data Pengukuran Impedansi Listrik Lemak Murni 71

LAMPIRAN 3. Data Pengukuran Impedansi Campuran
Lemak Babi Pada Lemak Sapi 77



BABI PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lemak telah lama dikenal sebagai nutrisi penting dari makanan manusia dan sumber energi yang terkonsentrasi. Lemak dalam jumlah yang sedikit dapat menyimpan energi yang cukup banyak. Namun dilain sisi konsumsi lemak hewani banyak ditolak karena mengandung asam lemak jenuh dalam proporsi besar. Selain itu Pencampuran jenis lemak dan turunannya telah menjadi masalah besar di pasaran (Asensio et al. 2008). Pemalsuan produk pangan meliputi penggantian bahan berharga tinggi dengan bahan berkualitas lebih rendah dan berharga lebih murah (Tay et al. 2002).

Pencampuran daging babi dan turunannya dalam produk pangan merupakan masalah yang sensitif terhadap penganut Islam dan Yahudi ortodoks, selain itu juga juga menjadi masalah serius bagi lembaga regulator, pemasok minyak, dan mengancam kesehatan konsumen (Marikkar, Lai, et al. 2002). Kasus lemak babi atau gelatin babi banyak ditemukan pada beberapa produk makanan. Lemak babi digunakan sebagai campuran bahan makanan baik dalam makanan kemasan dan non kemasan serta sebagai campuran minyak goreng pada bahan makanan yang bertujuan untuk menambah cita rasa (Marikkar, Ghazali, et al. 2002). Lemak sapi cenderung memiliki harga yang mahal. Lemak babi dan lemak ayam cenderung memiliki harga yang murah dipasaran. Karena faktor tersebut, sebagian produsen olahan makanan mencampur kedua lemak tersebut kedalam bahan makanan. Cara ini membuat produsen makanan mendapatkan keuntungan besar karena dapat

menekan biaya produksi. Karena kasus ini, menimbulkan keresahan akan produk makanan halal dipasaran.

Secara umum metode deteksi lemak dan daging babi dilakukan dengan teknik konvensional secara kimiawi, diantaranya adalah *Fourier transform infrared* (FTIR) *spectroscopy*, teknik *chromatography-based* (GC-MS), *differential scanning calorimetric* (DSC), serta electronic noses untuk deteksi dan kuantifikasi turunan babi (lemak babi, babi, gelatin) dalam produk makanan. Namun teknik konvensional tersebut cenderung rumit, mahal dan waktu yang lama. Oleh karena itu perlu kontrol kualitas yang baik terhadap produk pangan dengan teknik yang cepat dan efisien, salah satunya dengan sifat kelistrikan yang dimiliki oleh bahan tersebut.

Secara umum pengukuran impedansi menggunakan metode injeksi arus pada prinsipnya adalah memberi arus AC melalui sepasang elektroda dengan amplitudo konstan dan rentang frekuensi tertentu pada suatu bahan yang akan dicari nilai impedansinya, selanjutnya diukur beda potensial yang terjadi akibat injeksi arus tersebut. Nilai impedansi didapat dari rasio kompleks antara beda potensial terukur dengan nilai arus yang diinjeksikan.

Metode impedansi merupakan metode yang sudah mapan dan stabil. Pengukuran sifat biolistrik dengan spektroskopi impedansi lebih efisien karena proses analisis cepat dan instrument lebih sederhana. Pada bahan pangan, sifat biolistrik umumnya digunakan untuk menilai kualitas dan kemurnian bahan secara cepat, non destruktif. Metode ini telah digunakan untuk mendeteksi bahan aditif dalam pangan (Nakonieczna et al. 2016), menganalisis dan memonitor kualitas

bahan pangan baik buah dan sayur (El Khaled et al. 2017), dan memisahkan minyak zaitun dari minyak nabati lain (Lizhi et al. 2008). Sifat dielektrik berbagai jenis bahan pangan diperlukan untuk memahami karakteristik bahan ketika dilewatkan medan elektromagnetik pada frekuensi tertentu dan suhu yang diinginkan (Sosa-Morales et al. 2010). Sifat dielektrik bahan dipengaruhi oleh frekuensi, suhu, kandungan air, densitas, komposisi, dan struktur bahan (Castro-Giráldez et al. 2010).

Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penerapan listrik dalam mendeteksi campuran lemak babi terhadap lemak lainnya telah dilakukan oleh Sucipto et al. (2013) telah melakukan pengukuran sifat kelistrikan konduktansi dengan frekuensi tinggi untuk mendeteksi lemak babi terhadap beberapa lemak lain menggunakan LCR (*Inductance, Capacitance, Resistance*) meter. Namun, penelitian tersebut hanya mengukur karakteristik kelistrikan pada nilai frekuensi yang tinggi yaitu 4.20-5 MHz. Kemudian studi pengaruh campuran lemak babi terhadap konstanta dielektrik lemak ayam oleh Rosita (2014) dan Nuzula (2014) yang mengamati karakteristik kelistrikan pada lemak sapi dan lemak babi dengan metode dielektrik plat sejajar menggunakan LCR meter, menunjukkan bahwa metode dielektrik mampu mengukur konstanta dielektrik campuran lemak babi terhadap lemak ayam dan lemak sapi. Peningkatan konsentrasi campuran lemak babi yang diberikan menyebabkan penurunan nilai konstanta dielektrik lemak ayam dan lemak sapi dengan kecenderungan yang linear. Namun pada rentang frekuensi di atas 2000 Hz terjadi penurunan nilai konstanta dielektrik. Selanjutnya Islahiyya (2016) melakukan pengukuran impedansi listrik pada campuran lemak babi terhadap lemak sapi dengan cara menginjeksikan arus AC sebesar $1\mu\text{A}$ pada plat

sejajar dalam rentang frekuensi 100Hz – 10kHz dengan menggunakan picoscope, dimana nilai impedansi lemak sapi yang semakin menurun akibat adanya campuran lemak babi.

Metode dielektrik dengan plat sejajar yang digunakan pada beberapa penelitian kajian terhadap karakteristik kelistrikan bahan memberikan gambaran bahwa elektroda pelat sejajar akan mengalami kontak langsung dengan bahan karena berfungsi untuk menginjeksikan arus ke larutan atau objek penelitian.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Salamena (2017) melaporkan bahwa nilai impedansi larutan yang terukur pada plat sejajar double-layer jauh lebih besar dibandingkan dengan nilai impedansi larutan yang terukur pada probe luar.

Hal ini membuktikan bahwa nilai impedansi larutan yang terukur pada plat sejajar double-layer tidak murni nilai impedansi larutan terukur. Karena dipengaruhi oleh karakteristik resistansi dan kapasitansi dari pelat sejajar double-layer. Sehingga penelitian yang dilakukan mengenai identifikasi campuran lemak babi terhadap lemak sapi maupun lemak ayam sebelumnya secara langsung menginformasikan hal yang sama.

Sifat impedansi sangat kompleks, karena dipengaruhi oleh kondisi internal dari bahan sehingga bentuk dan susunan elektroda (probe) menjadi sangat berpengaruh pada hasil pengukuran (Widodo et al. 2016). Keterkaitan antara elektroda dan sumber arus (probe) sangat penting untuk nilai impedansi. Karena itu teknik dan analisis yang lebih cepat, akurat, dan relatif murah diperlukan untuk menganalisa kualitas dan kemurnian suatu bahan berdasarkan impedansinya. Yaitu dengan menggunakan 4 elektroda pada penerapan metode spektroskopi impedansi listrik (EIS). Sehingga dari metode tersebut diharapkan dapat diperoleh identifikasi

karakteristik impedansi yang murni dari suatu bahan melalui penggunaan sifat listrik dan sifat kimia dari bahan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dalam penelitian ini dilakukan analisis nilai impedansi listrik campuran lemak babi terhadap lemak sapi dan lemak ayam. Analisa impedansi dilakukan dengan metode spektroskopi listrik menggunakan elektroda 4 probe pada rentang frekuensi yang tinggi yaitu 1 Hz – 2 MHz serta menggunakan picoscope

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana nilai impedansi listrik campuran lemak babi terhadap lemak sapi dan lemak ayam pada berbagai konsentrasi?
2. Bagaimana nilai impedansi listrik campuran lemak babi terhadap lemak sapi dan lemak ayam pada frekuensi 1 Hz - 2 MHz?
3. Bagaimana pengaruh campuran lemak babi dengan berbagai konsentrasi terhadap nilai impedansi listrik lemak sapi dan lemak ayam?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui nilai impedansi listrik campuran lemak babi terhadap lemak sapi dan lemak ayam pada berbagai konsentrasi.
2. Mengetahui nilai impedansi listrik campuran lemak babi terhadap lemak sapi dan lemak ayam pada frekuensi 1 Hz - 2 MHz.
3. Mengetahui pengaruh campuran lemak babi dengan berbagai konsentrasi terhadap nilai impedansi listrik lemak sapi dan lemak ayam.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini yaitu, Pada pengukuran impedansi listrik, metode yang digunakan adalah dengan menginjeksikan arus 100 μ A pada bahan dengan rentang frekuensi 1Hz hingga 2 MHz. Pengukuran sampel dilakukan pada suhu dan tekanan ruang. Pengukuran karakteristik biolistrik dilakukan pada lemak babi dan lemak sapi serta lemak ayam yang tidak diketahui umur, letak jaringan lemak, makanan yang diberikan pada ternak, jenis kelamin dan kandungan kimianya. Serta pengukuran impedansi listrik tanpa mengetahui kandungan airnya.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai informasi tentang adanya campuran lemak babi pada lemak sapi dan lemak ayam yang dapat dideteksi melalui karakteristik kelistrikan yaitu berdasarkan nilai impedansi. Serta dapat dikembangkan alat ukur untuk mendeteksi adanya lemak babi dalam bahan makanan. Selain itu memberikan kontribusi yang dapat dijadikan sebagai penunjang dalam proses pengawasan produksi, distribusi, dan sertifikasi kehalalan produk pangan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biolistrik dan Impedansi Spektroskopi

Bioimpedansi adalah istilah yang menggambarkan respon dari organisme hidup untuk arus yang diberikan secara eksternal. Respon tersebut adalah suatu ukuran yang berlawanan dengan aliran arus yang diterapkan melalui jaringan.

Bioimpedansi adalah metode non-invasif dengan biaya rendah dan pendekatan biasa dipakai untuk pengukuran komposisi tubuh dan pengkajian kondisi klinis (Khalil et al. 2014). Sehingga sinyal bioimpedance tersebut dapat digunakan untuk mengkarakterisasi jaringan.

Konsep bioelektrik dan bioimpedansi tidak berbeda jauh dari konsep listrik dan impedansi. Namun konsep bioelektrik umumnya mencakup fenomena listrik dalam tubuh makhluk hidup. Efek dari fenomena ini bervariasi terhadap frekuensi dan jenis atau struktur jaringan. Bioimpedansi jaringan biologis merupakan kapasitas jaringan untuk menghambat aliran arus listrik yang mengalir melalui jaringan itu sendiri. Nilai bioimpedansi tergantung pada berbagai faktor, diantaranya adalah respon jaringan hidup atau jaringan mati, permittivitas dari jaringan dan kuantitas cairan dalam jaringan tersebut. Nilainya terbagi menjadi dua nilai yaitu resistansi dan reaktansi. Nilai resistansi tergantung pada cairan ekstraseluler dan intraseluler, sedangkan nilai reaktansi adalah efek dari membran sel.

Pengukuran impedansi listrik menggunakan metode injeksi arus pada prinsipnya adalah memberi arus AC melalui sepasang elektroda dengan amplitudo

konstata dan rentang frekuensi tertentu pada suatu bahan yang akan dicari nilai impedansinya, selanjutnya diukur beda potensial yang terjadi akibat injeksi arus tersebut. Nilai impedansi didapat dari rasio kompleks antara beda potensial terukur dengan nilai arus yang diinjeksikan.

Secara umum, pengukuran impedansi dilakukan dengan menyuntikkan arus bolak-balik (AC) dengan frekuensi sudut yang dikenal ω dan amplitudo kecil ke dalam sistem dan mengukur amplitudo V_0 dan perbedaan fasa ϕ dari tegangan respon. Sehingga arus AC memiliki bentuk:

$$I = I_0 \sin(\omega t) \tag{2.1}$$

dan respon tegangan adalah

$$V = V_0 \sin(\omega t + \phi) \tag{2.2}$$

Menggunakan identitas $e^{j\theta} = \cos \theta + j \sin \theta$ dan $j = \sqrt{-1}$ (pada satuan imajiner), tegangan AC dan arus dapat diekspresikan dalam fasor sebagai

$$V = V_0 e^{j(\omega t + \phi)} \quad \text{dan} \quad I = I_0 e^{j(\omega t)} \tag{2.3}$$

Impedansi, Z , dapat ditulis sebagai fasor, magnitudo dan fase diberikan oleh:

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{V_0}{I_0} e^{j\phi} = |Z| e^{j\angle Z} \tag{2.4}$$

Dimana

$$|Z| = \frac{V_0}{I_0} \tag{2.5}$$

Bioimpedansi adalah kuantitas kompleks yang terdiri dari resistansi (R) yang disebabkan oleh cairan tubuh total dan reaktansi (X_c) yang disebabkan oleh kapasitansi dari membran sel. Dalam koordinat kartesian, impedansi ditunjukkan sebagai bilangan kompleks

$$Z = R + jX = \frac{V_o}{I_o} (\cos \varphi + j \sin \varphi) \quad (2.6)$$

Dimana bagian nyata ($\text{Re}(Z)$) dan imajiner ($\text{Im}(Z)$) dari impedansi menggambarkan masing-masing resistansi R dan reaktansi X.

Untuk rangkaian dasar yakni komponen resistor R, kapasitor C dan induktor L, besarnya hambatan AC ini disebut sebagai reaktansi X, dengan satuan ohm.

Untuk komponen resistor, nilai hambatan AC-nya adalah $X_R = R$, untuk komponen kapasitor, nilai hambatan AC-nya adalah $X_C = 1/j\omega C$, disebut sebagai reaktansi kapasitif; dan untuk komponen induktor, nilai hambatan AC-nya adalah $X_L = j\omega L$, disebut sebagai reaktansi induktif, untuk tanda pada bagian imajiner dapat negatif ataupun positif. Jika pada bagian imajiner bertanda negatif maka merupakan reaktansi kapasitif, sedangkan jika bertanda positif maka merupakan reaktansi induktif yang dapat dinyatakan dalam bentuk bilangan kompleks sebagai berikut.

$$Z = R - jX_C \qquad Z = R + jX_L \quad (2.7)$$

Dalam kasus material homogen, sistem mungkin ditunjukkan oleh konduktansi dan kapasitansi paralel, sehingga

$$Z(\omega) = \frac{1}{G + j\omega C} \quad (2.8)$$

Parameter G dan C menggambarkan kemampuan dari material homogen untuk mengkonduksi dan menyediakan muatan listrik. Untuk bagian material dari suatu luasan A dan ketebalan x , parameter diberikan oleh

$$G = \sigma \frac{A}{x} \quad \text{dan} \quad C = \varepsilon \frac{A}{x} \quad (2.8)$$

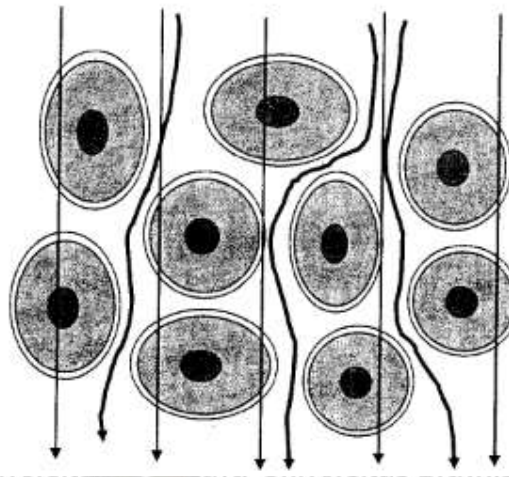
Dimana σ dan ε adalah konduktivitas listrik dan permitivitas dielektrik dari material. Sehingga itu dapat dideduksi untuk sistem tersebut

$$G = \frac{1}{|Z|} \cos \varphi \quad \text{dan} \quad C = \frac{1}{\omega |Z|} \sin \varphi \quad (2.9)$$

Dalam kasus dari aplikasi sinyal DC, misal $\omega = 0$, frekuensi bergantung pada reaktansi dalam persamaan (2.9) adalah kosong membuat impedansi sama untuk konduktansi (resistansi resiprok).

2.2 Model Maxwell-Wagner dari Jaringan

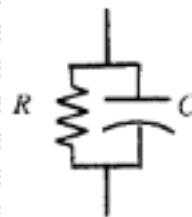
Pada dasarnya, jaringan terdiri dari sel-sel yang disusun bersama oleh matriks ekstraselular melalui mana mengalir cairan ekstraseluler. Setiap sel diselubungi oleh membran yang berisi cairan intraseluler. Ketika arus listrik diterapkan untuk jaringan aliran melalui jalur selular akan tergantung pada frekuensi. Pada frekuensi rendah, impedansi membran sangat tinggi. Ini mengarahkan arus melalui cairan sekitarnya resistivitas rendah. Pada frekuensi tinggi impedansi membran didominasi oleh kapasitansi, dalam arti bahwa istilah reaktif sangat rendah dan melangsir resistivitas membran. Dalam hal ini arus mengalir melalui sel. Hal ini dapat dipahami bila kita menganggapnya sebagai rangkaian listrik R-C seri yang digambarkan dalam Gambar 2.4. (Irvine et al. 1990)



Gambar 2.1 Arus mengalir melalui suatu jaringan.

Pada frekuensi tinggi, membran sel lintasan pendek membuatnya terlihat arus. Oleh karena itu, hasil arus dalam garis lurus (garis tipis). Di sisi lain, pada frekuensi rendah, impedansi membran sangat tinggi yang mengarahkan arus mengalir hanya melalui cairan ekstraseluler (di garis tebal). Pengukuran impedansi terbaik diinterpretasikan dengan menggunakan teori rangkaian listrik. Pada gambar 2.2 menunjukkan rangkaian listrik sederhana dari kombinasi paralel dari resistor dan kapasitor yang mewakili impedansi dari suatu sistem. Konfigurasi ini dikenal sebagai elemen Maxwell-Wagner (MW). Impedansi dari rangkaian ini biasanya dinyatakan dalam hal konduktif, G , dan kapasitif, C , elemen secara paralel, sehingga

$$Z(\omega) = \frac{1}{G + j\omega C}, \quad \text{dimana} \quad G = \frac{1}{R} \quad (2.10)$$



Gambar 2.2 Sebuah elemen Maxwell-Wagner (MW) terdiri dari kombinasi paralel dari resistor R dan kapasitor C .

Dalam aplikasi EIT (*Electrical Impedance Tomography*) Persamaan (2.8) berlaku untuk frekuensi lebih besar dari 10 kHz. Hal ini masih bisa berlaku untuk beberapa sistem biologis untuk frekuensi serendah 100 Hz.

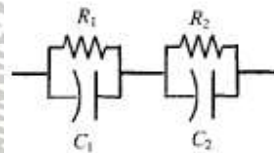
Untuk dua sistem homogen terjepit dalam satu, sirkuit listrik setara adalah dua elemen MW di seri (Gambar 2.3), dan impedansi kombinasional adalah

$$Z(\omega) = \frac{1}{G_1 + j\omega C_1} + \frac{1}{G_2 + j\omega C_2} \quad (2.11)$$

Dimana $G_1 = \frac{1}{R_1}$ dan $G_2 = \frac{1}{R_2}$

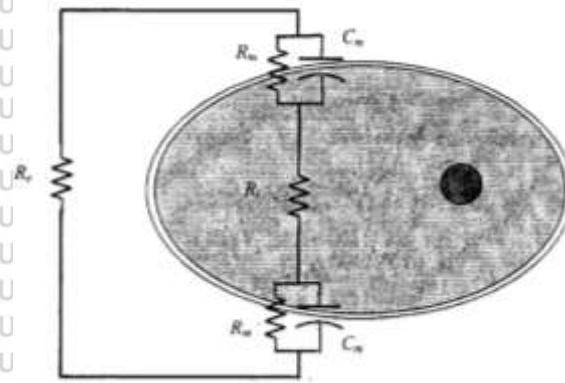
Jaringan terdiri dari lapisan sel dengan konduktansi yang berbeda dan sifat dielektrik. Oleh karena itu, model Maxwell-Wagner sesuai representasi jaringan ini.

Model Maxwell-Wagner terbukti menjadi model yang sangat berguna untuk menggambarkan perilaku impedansi biologis dan sintesis membran.



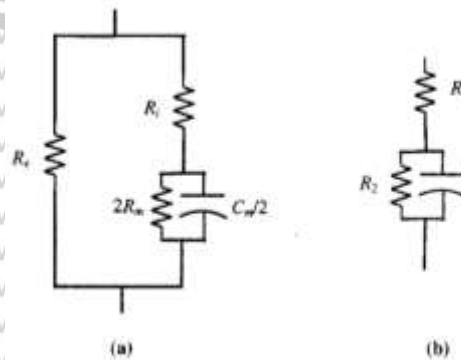
Gambar 2.3 Kombinasi seri dari dua Maxwell-Wagner (MW) unsur-unsur yang mewakili dua lapisan homogen.

Konduktansi memiliki nilai minimum pada frekuensi sangat rendah dan nilai maksimum pada frekuensi yang sangat tinggi. Perhatikan bahwa untuk satu elemen konduktansi dan kapasitansi independen frekuensi. Pengenalan elemen kedua (layer) menghasilkan dispersi dari konduktansi dan kapasitansi dengan frekuensi. Pengenalan elemen lebih (lapisan) meningkatkan besarnya dispersi dan memperluas itu. Untuk beberapa hal, ini menjelaskan fenomena arus mengalir melalui lapisan sel dijelaskan sebelumnya pada Gambar 2.1.



Gambar 2.4 Model Rangkaian Listrik R-C setara dengan sistem sel.

Gambar 2.4 merupakan model rangkaian listrik R-C seri dalam sistem jaringan, yaitu cairan ekstrasel. R_m adalah resistensi membran, R_i resistensi intraseluler, R_e resistensi ekstraseluler dan C_m kapasitansi membran. Gambar 2.4 ini menyajikan model untuk lebih memahami karakteristik listrik dari sel dan ketergantungannya pada frekuensi. Ultra tipis, membran resistif tinggi sekitar ketebalan 6 nm mengelilingi sel. Hal ini dimodelkan elektrik sebagai kombinasi paralel dari resistor (R_m) dan kapasitor (C_m). Resistor R_i dan R_e mewakili masing-masing cairan intraseluler dan ekstraseluler. Dengan menggabungkan dua sirkuit membran dalam seri, model ini dapat diwakili oleh rangkaian empat komponen, dengan $R_i \ll R_m$, dapat disederhanakan ke sirkuit tiga komponen dengan $R_2 \approx 2R_m$ dan $C = C_m/2$ seperti yang digambarkan dalam Gambar 2.5 (b).



Gambar 2.5 (a) Empat dan (b) tiga komponen mempresentasikan sel

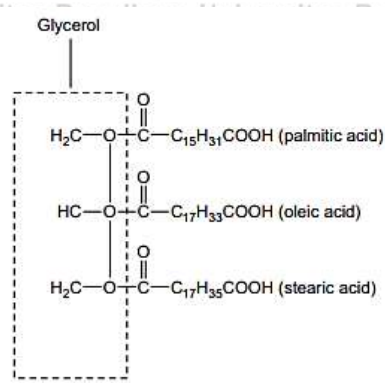
Impedansi jaringan biologis sangat bergantung terhadap frekuensi yang diberikan dan memiliki hubungan secara semilogaritmik. Arus hanya dapat mengalir pada jaringan konektif pada tubuh pada frekuensi rendah di bawah 10 kHz, sedangkan pada arus berfrekuensi rendah menyebabkan pengumpulan ion yang menumpuk dan menyebabkan polarisasi pada elektroda. Sehingga arus akan mengalir ke dalam sel pada frekuensi 10kHz. Ketika arus lebih dari 5000 Hz maka akan menggambarkan daerah kapasitif. Sedangkan pada frekuensi tinggi 1 MHz akan menggambarkan relaksasi dielektrik dari udara bebas dimana tidak terdapat efek kapasitif pada frekuensi tersebut (Yúfera et al. 2002).

2.3 Lemak

Lemak merupakan molekul kecil yang ada dalam jaringan hidup. Sebagian besar lemak terdiri dari gliserol ester dari asam lemak, yaitu triasilgliserol (TAGs) yang menjadi komponen utama. Lemak makanan dan minyak biasanya juga mengandung bekas zat nongliserida, termasuk fosfolipid, sterol, dan pigmen (Bowen-Forbes & Goldson-Barnaby 2017). Karena sifatnya tersebut lemak telah lama dikenal sebagai nutrisi penting dari makanan manusia dan sumber energi yang terkonsentrasi. Minyak dan lemak yang digunakan untuk tujuan yang dapat dimakan berasal dari tumbuhan atau hewan. Dari sudut pandang nutrisi, minyak nabati lebih disukai daripada lemak hewani karena lemak dari hewan ruminansia mengandung proporsi tinggi asam lemak jenuh dan proporsi asam lemak tak jenuh ganda yang rendah. Terlepas dari komplikasi biologis dan risiko penyakit yang terkait dengan lemak hewani, ada kecenderungan di antara beberapa negara untuk memadukan minyak nabati dengan lemak hewani seperti lemak babi dan lemak baik untuk tujuan pemalsuan atau untuk pengembangan produk.

Lemak dapat di klasifikasikan sebagai kelas lipid. Lipid pada umumnya dikelompokkan berdasarkan taksonomi Bloor (dikembangkan oleh Bloor pada tahun 1920), yaitu dengan berbagai tingkat rincian yang diberikan pada deskripsi kandungan asam lemak, fosfolipid, kolesterol serta vitamin D. Pentingnya lemak bagi manusia dan hewan terletak pada kandungan energinya yang tinggi, yang memungkinkan penyimpanan energi terbesar dalam jumlah yang sekecil mungkin dari bahan makanan. Lemak memungkinkan manusia dan hewan untuk mengkonsumsi vitamin yang larut dalam lemak dan memberi mereka asam lemak esensial, yaitu asam lemak yang tak terpisahkan yang tidak dapat disintesis oleh tubuh mereka sendiri. Efisiensi lemak sebagai bahan makanan sangat tinggi, karena lemak yang terkandung dalam makanan hampir sepenuhnya diserap oleh tubuh.

Asam lemak, secara kimiawi dapat diistilahkan dalam kategori pendek, sedang, panjang, atau sangat panjang berdasarkan jumlah ikatan atom karbonnya (2-4, 6-10, 12-18, dan 20-24 atom karbon). Tidak ada konvensi yang baku untuk klasifikasi asam lemak berdasarkan panjangnya ikatan rantai, sehingga beberapa versi klasifikasi yang berbeda ini dapat ditemukan dalam berbagai literatur. Asam lemak alami umumnya memiliki jumlah karbon yang diatur dalam rantai yang lurus dengan ikatan yang paling banyak yaitu memiliki 14-24 ikatan karbon (Bowen-Forbes & Goldson-Barnaby 2017).



Gambar 2.6 Struktur kimia Molekul trigliserida terdiri dari gliserol dan tiga asam lemak (Feiner 2016).

Asam lemak dengan jumlah ikatan yang ganjil atau rantai bercabang yang lebih banyak ditemukan pada mikroorganisme dan lemak susu. Lemak susu dan minyak tropis memiliki sejumlah besar asam lemak rantai pendek. Sehingga berdasarkan sifatnya tersebut asam lemak juga dapat digambarkan sebagai jenuh (tidak memiliki ikatan rangkap karbon karbon) atau tidak jenuh.

Asam lemak jenuh (*Saturated Fatty Acid/SFA*) adalah asam lemak yang tidak memiliki ikatan rangkap pada atom karbon. Ini berarti asam lemak jenuh tidak peka terhadap oksidasi dan pembentukan radikal bebas. Asam-asam lemak jenuh yang telah dapat diidentifikasi sebagai bagian dari lemak mempunyai atom C4 hingga C26. Sedangkan asam lemak tak jenuh (*unsaturated fatty acids*) merupakan asam lemak yang didalam rantai karbonnya mengandung ikatan rangkap. Tingkat ketidakterjenuhan dari minyak misalnya, tergantung pada jumlah rata-rata dari ikatan rangkap didalam asam lemak. Asam lemak tak jenuh ini dibagi menjadi dua yaitu, pertama, asam lemak tak jenuh tunggal (*Mono Unsaturated Fatty Acid/ MUFA*) merupakan jenis asam lemak yang mempunyai 1 ikatan rangkap pada rantai atom karbon. Asam lemak ini tergolong dalam asam lemak rantai panjang (LCFA).

Kedua, asam lemak tak jenuh jamak (*Poly Unsaturated Fatty Acid/PUFA*) adalah

asam lemak yang mengandung dua atau lebih ikatan rangkap, bersifat cair pada suhu kamar bahkan tetap cair pada suhu dingin, karena titik lelehnya lebih rendah.

Struktur asam lemak jenuh dapat dilihat pada Gambar 2.6 (Sartika 2008).

Lemak babi, seperti namanya, terdiri dari lemak berupa trigliserida.

Trigliserida terdiri dari tiga asam lemak dan persebarannya berbeda pada masing-masing minyak. Umumnya, komposisi lemak babi dan lemak sapi tidak jauh berbeda. Lemak babi memiliki kandungan lemak jenuh sebanyak 38-43% dan lemak tak jenuh sebanyak 56-62%. Lemak jenuhnya terdiri dari asam palmitic sebanyak 25-28%, asam stearic sebanyak 11-13% dan asam myristic sebanyak 2%.

Sedangkan lemak tak jenuhnya terbagi menjadi dua, yaitu lemak tak jenuh rantai tunggal (*mono*) yang terdiri dari asam oleic sebanyak 44-47% dan asam palmitoleic sebanyak 4%; dan lemak tak jenuh rantai banyak (*poly*) berupa asam linoleic sebanyak 6-11% seperti pada Table 2.1 yang merupakan kandungan komposisi asam lemak pada babi. Sifat lemak babi dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.1 Komposisi Asam Lemak dalam Minyak Babi (Rohman et al. 2012)

Asam lemak	Jumlah	Ref
Myristic acid (C14:0)	1,30 ± 0,03	1,0-2,5
Palmitic acid (C16:0)	20,66 ± 0,24	20 -30
Palmitoleic acid (C16:1)	1,98 ± 0,01	2,0-4,0
Heptadecanoic Acid (C17:0)	0,48 ± 0,02	<1,0
Stearic acid (C18:0)	10,91 ± 0,12	-
Oleic acid (C18:1)	39,13 ± 0,09	35-55
Linoleic acid (C18:2)	19,56 ± 0,04	4-12
Linoleic acid (C18:3)	1,21 ± 0,06	<1,5
Arachidic acid (C20:0)	0,91 ± 0,01	<1,0
Heneicosanoic acid (C21:0)	0,50 ± 0,05	-
Behenic acid (C22:0)	0,26 ± 0,02	-
Eicosaenoic acid (C20:1)	0,96 ± 0,04	<1,5
Eicosapentaenoic acid	0,12 ± 0,00	-
Eicosaenoic acid	0,14 ± 0,01	-
Docosaenoic acid	0,20 ± 0,00	-

Minyak yang diperoleh dari hasil ekstraksi lemak sapi dinamakan tallow.

Tallow berwujud padat pada suhu kamar dan cair pada suhu 64°C. Tallow dapat diperoleh dengan cara memanaskan lemak sapi, kerbau, dan jenis hewan lainnya.

Tallow diklasifikasikan oleh American Institute of Meat Packers (AIMP)

berdasarkan parameter warna, titer (temperatur solidifikasi dari asam lemak), persen *Free Fatty Acid* (FFA) dan *Moisture Insoluble and Unsaponifiable* (MIU).

Kandungan FFA pada bahan baku mengindikasikan tingkat hidrolisis atau pemutusan rantai trigliserida. Jumlah FFA dari tallow berkisar antara 0,75 - 7,0 %.

Titer point pada tallow umumnya di atas 40°C. Kandungan utama dari tallow yaitu asam oleat 40 - 45%, asam palmitat 24 - 37%, asam stearat 14 - 19%, asam miristat 2 - 8%, asam linoleat 3 - 4%, dan asam laurat 0,2%.

Tabel 2.2. Sifat Fisikokimia dari Lemak Hewani

Parameter	Lemak Sapi	Lemak Babi	Lemak Ayam
Bobot jenis (g/mL)	0.8999	0.8940	0.8769
Indeks bias	1.460	1.462	1.461
Titik leleh	43.5	36.0	34.5
Bilangan Iod	45.75	72.69	62.81
Bilangan penyabunan	237.57	257.70	259.77

Banyaknya asam lemak jenuh dan asam lemak berantai panjang akan memberikan kontribusi yang nyata bagi peningkatan titik leleh lemak secara keseluruhan (J.M.de Man 1999). Selain itu perbedaan komposisi asam lemak tidak jenuh pada masing masing jenis lemak akan berkontribusi pada peningkatan bilangan iodnya, sedangkan perbedaan komposisi asam lemak (rantai pendek, sedang dan panjang) akan sangat berpengaruh terhadap harga bilangan penyabunannya yang komposisinya dapat dilihat pada Tabel 2.3 (Paquot C 1999).

Tabel 2.3. Komposisi Asam Lemak Hewani

Asam Lemak	Persentase asam lemak (%)		
	Lemak Babi	Lemak sapi	Lemak Ayam
Asam Kaprilat C8:	0.01	-	-
Asam Kaprat C10:0	0.04	-	-
Asam Laurat C12:0	0.1	-	-
Asam Miristat C14:0	1.07	4.36	0.74
Asam Palmitoleat C16:1	1.78	1.40	7.01
Asam Palmitat C16:0	7.01	29.40	27.24
Asam Margarat C17:0	0.5	1.74	-
Asam Linoleat C18:2	24.94	1.17	16.36
Asam Oleat C18:1	40.74	20.53	38.35
Asam Stearat C18:0	13.95	31.26	5.56
Asam Arakidonat C20:4	0.43	-	0.87
Asam Eikosenat C20:1	-	-	0.41
Asam Arakat C20:0	0.3	0.33	-
Total unsaturated fatty acid	43	19	65
Total saturated fatty acid	30	51	29

BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN

3.1 Konsep Berpikir

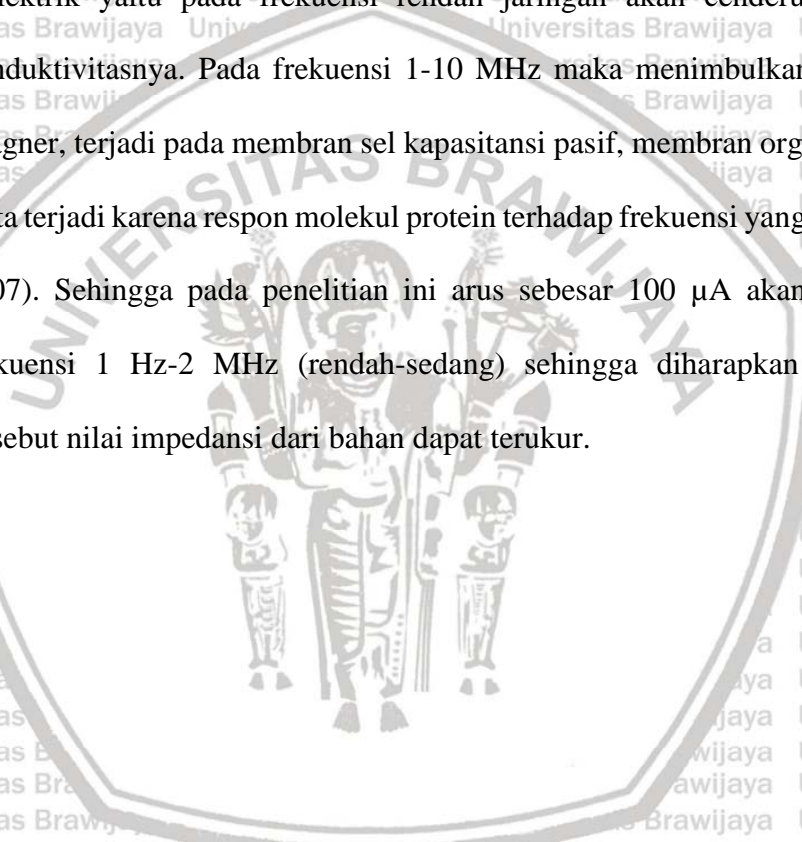
Impedansi listrik dapat digunakan sebagai basis sensor perubahan komposisi bahan akibat penurunan kualitas dan atau pemalsuan bahan. Kapasitansi, kapasitansi seri, resistensi (R), dan impedansi (Z) dapat diukur dengan satu alat pengukur sifat listrik dalam hal ini adalah metode impedansi listrik. Sifat listrik ini dapat dimanfaatkan sebagai basis sensor deteksi kualitas atau pemalsuan lemak pangan.

Masalah utama pada penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan impedansi larutan adalah peristiwa double-layer. Dimana plat sejajar akan mengalami kontak langsung dengan bahan yang akan mengakibatkan ion dari larutan akan bergabung dengan elektron yang berasal dari permukaan plat sejajar yang menginjeksi arus. Sehingga nilai impedansi yang terukur berdasarkan perubahan tegangan pada probe plat sejajar tidak lagi murni merupakan impedansi larutan karena telah dipengaruhi oleh resistansi dan kapasitansi dari probe pelat sejajar.

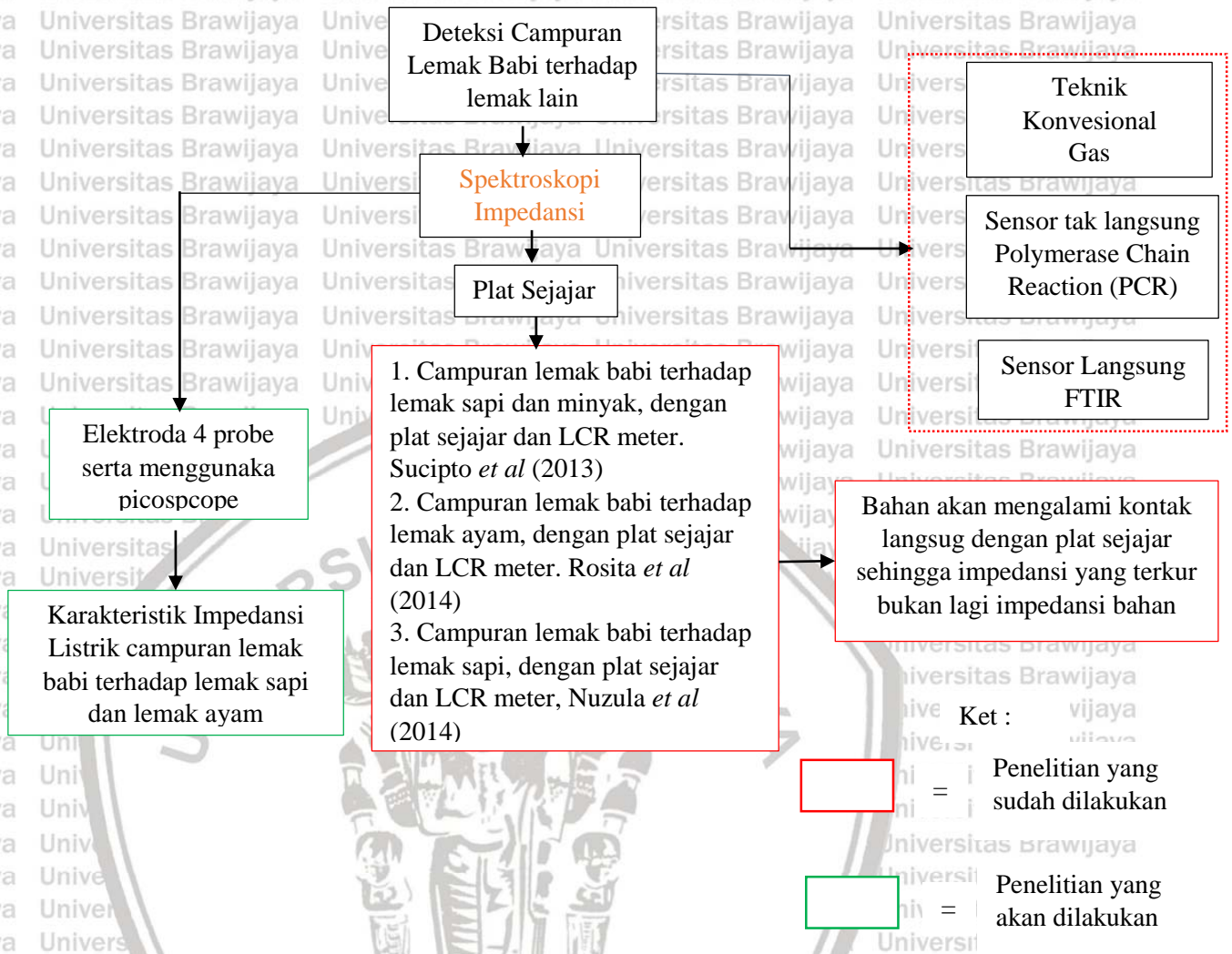
Metode yang paling sederhana dalam mempelajari sifat listrik suatu bahan atau larutan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode biolistrik impedansi spektroskopi dalam hal ini berupa elektroda yang akan berhubungan langsung dengan bahan. Kemudian menginjeksikan arus kedalam bahan berupa lemak babi, lemak sapi dan lemak ayam melalui 4 probe elektroda. Adapun model

yang digunakan adalah model Maxwell-Wagner. Dimana pada model rangkaian tersebut, bahan digambarkan sebagai suatu rangkaian paralel R dan C.

Nilai impedansi sangat bergantung terhadap frekuensi yang diberikan pada bahan. Pada frekuensi 1-100 kHz terjadi efek kontraksi (tegak lurus atau lateral) di dekat permukaan membran, efek membran sel aktif, struktur intraselular (misalnya pada sistem sarcotubula). Pada frekuensi ini terjadi difusi ionik, dan kehilangan dielektrik yaitu pada frekuensi rendah jaringan akan cenderung menurunkan konduktivitasnya. Pada frekuensi 1-10 MHz maka menimbulkan efek Maxwell-Wagner, terjadi pada membran sel kapasitansi pasif, membran organel intraselular, serta terjadi karena respon molekul protein terhadap frekuensi yang diberikan (Noor 2007). Sehingga pada penelitian ini arus sebesar 100 μA akan diberikan pada frekuensi 1 Hz-2 MHz (rendah-sedang) sehingga diharapkan pada frekuensi tersebut nilai impedansi dari bahan dapat terukur.



3.2 Kerangka Konsep



Gambar 3.1 Kerangka Konsep Penelitian

3.3 Hipotesis Penelitian

1. Ada perubahan nilai impedansi campuran lemak babi terhadap lemak sapi dan lemak ayam.
2. Terjadi perubahan nilai impedansi terhadap konsentrasi campuran lemak babi pada lemak sapi dan lemak ayam.

3. Frekuensi berpengaruh terhadap perubahan nilai impedansi campuran lemak babi terhadap lemak sapi dan lemak ayam dimana nilainya akan turun secara logaritmik.



BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Tempat dan Waktu Penelitian

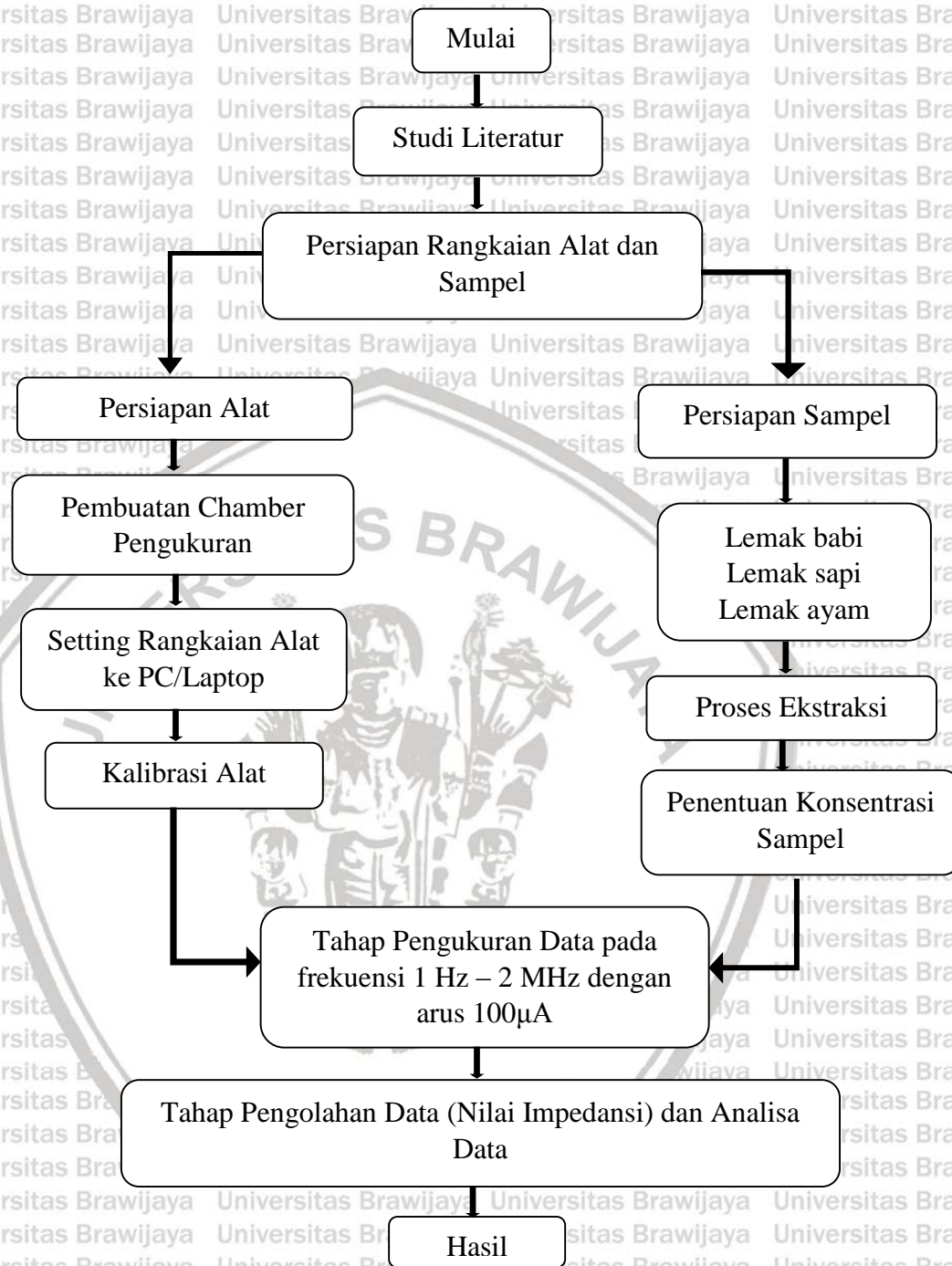
Penelitian tentang “Analisa Nilai Impdansi Listrik Campuran Lemak Babi pada Lemak Sapi dan Lemak Ayam dengan Menggunakan Elektroda 4 Probe” ini dilakukan pada bulan Januari - April 2018 di Laboratorium Biofisika Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Brawijaya Malang.

4.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Satu set alat uji Picoscope tipe S5000
2. Komputer/PC/Laptop
3. Power Supply
4. Elektroda dan Chamber pengukuran
5. Converter V to I dan kabel penghubung (koaksial)
6. Thermometer digital
7. Neraca ohaus
8. Gelas beker, gelas ukur, mikro pipet, pipet, termometer digital, pengaduk, kain penyaring, pemanas dan magnetic stirer
9. Microwave tipe P NN-215 WF/MF
10. Serta bahan yang digunakan adalah lemak sapi, lemak ayam, lemak babi, Na_2SO_4 anhidrat, serta Aquades.

4.3 Diagram Alir Prosedur Penelitian



4.4 Prosedur Penelitian

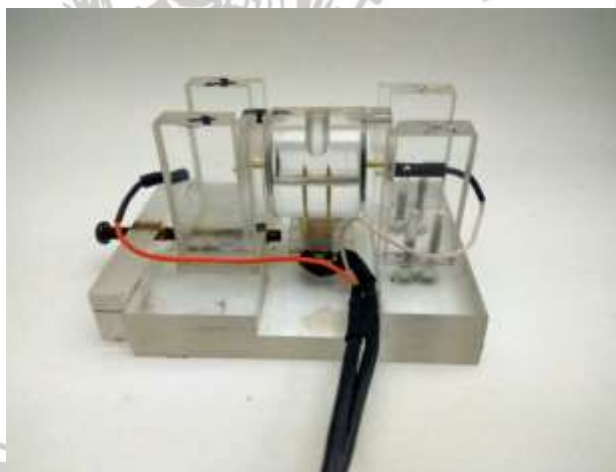
Tahapan awal penelitian adalah tahap persiapan, yang meliputi persiapan sampel dan alat yang digunakan dan kemudian kalibrasi alat. Ketika sampel dan

alat sudah siap maka dilakukan pengukuran impedansi, data hasil impedansi kemudian akan diolah dan dianalisa.

4.4.1 Persiapan Alat

a. Desain Pembuatan Chamber Pengukuran

Chamber pengukuran terbuat dari bahan akrilik. Chamber terdiri atas bagian tabung dan tutup. Pada bagian tabung terdapat elektroda jarum, sedangkan pada bagian tutup terdapat plat. Elektroda yang digunakan pada tabung ada 2 jenis, yaitu emas dan perak. Tabung pada chamber memiliki lebar 2,3 cm; diameter luar 2,7 cm; diameter dalam (samping) 0,7 cm; diameter dalam (atas) 0,4 cm dan jarak antar jarum 0,3 cm. Sedangkan pada bagian tabung diameter dalam 2,3 cm dan diameter luar 2,7 cm. Jarum piringan pada bagian tutup memiliki diameter 0,7 cm.



Gambar 4.1 Desain Chamber Pengukuran

b. Skema Rangkaian

Alat uji yang digunakan adalah PicoScope series 5000 yang berfungsi sebagai pengukur impedansi dan kapasitansi listrik. PicoScope ini menggunakan 2 channel untuk V_{in} dan V_{out} . Rangkaian dilengkapi dengan pembangkit sinyal AC yang dapat dioperasikan sampai frekuensi 20 MHz. Pada pembangkit sinyal AC,

amplitudo dan frekuensi dapat diatur dengan software bawaan yang terpasang pada PC. Pembangkit tegangan pada PicoScope diatur untuk nilai masukan tegangan sebesar 1 Volt dengan frekuensi 1 Hz sampai 2 MHz. Sedangkan untuk keluaran sinyal tegangan didapatkan dari tegangan dari chamber yang telah dikuatkan oleh rangkaian penguat dalam V to I converter.

V to I converter adalah pengubah tegangan menjadi arus listrik yang akan diinjeksikan pada sampel yang diukur dengan chamber pengukuran. Arus yang diinjeksikan bergantung pada jenis sampel dan sesuai keperluan. Channel 1 pada PicoScope digunakan untuk mengeluarkan tegangan masukan untuk plat sejajar. Sedangkan, channel 2 digunakan untuk merekam tegangan keluaran dari plat sejajar.



Gambar 4.2 Skema Rangkaian Percobaan

4.4.2 Persiapan Sampel

Persiapan sampel dilakukan dengan dua tahapan yaitu tahap ekstraksi sampel dan tahap percampuran sampel. Tahap ekstraksi, pada dua sampel yaitu lemak babi dan lemak sapi dibersihkan dan dipotong potong. Kemudian dua sampel diekstraksi dari jaringan lemak dengan menggunakan microwave Panasonic NN-

215WF/MF. Pemanasan dilakukan selama 20 menit dengan menggunakan power medium. Lemak yang leleh dikumpulkan kemudian disaring dan ditambahkan Na_2SO_4 anhidrat untuk menyerap air yang terkandung dalam lemak.

Tahap percampuran sampel yaitu lemak babi dan lemak sapi yang telah diekstraksi dicampur dengan persentase konsentrasi yang telah ditentukan.

Campuran lemak disimpan dalam botol botol kaca dan diberi label. Cara membuat campuran lemak babi dan lemak sapi ini dilakukan dengan persentase campuran lemak babi terhadap lemak sapi dan juga lemak ayam.



Tabel 3. 1 Presentasi konsentrasi campuran lemak babi pada lemak sapi

Nama Sampel	Persentase Campuran (Lemak Sapi / Lemak Ayam : Lemak Babi)	Lemak Sapi / Lemak Ayam + Lemak Babi
Sampel 1	100%:0%	10 ml + 0 ml
Sampel 2	0%:100%	0 ml + 10 ml
Sampel 3	85%: 15%	8,5 ml + 1,5 ml
Sampel 4	90%: 10%	9 ml + 1 ml
Sampel 5	95%: 5%	9,5 ml + 0,5 ml
Sampel 6	95,5%: 4,5%	9,55 ml + 0,45 ml
Sampel 7	96%: 4%	9,6 ml + 0,4 ml
Sampel 8	96,5%: 3,5%	9,65 ml + 0,35 ml
Sampel 9	97%: 3%	9,7 ml + 0,3 ml
Sampel 10	97,5%: 2,5%	9,75 ml + 0,25 ml
Sampel 11	98%: 2%	9,8 ml + 0,2 ml
Sampel 12	98,5%: 1,5%	9,85 ml + 0,15 ml
Sampel 13	99%: 1%	9,9 ml + 0,1 ml
Sampel 14	99,5%: 0,5%	9,95 ml + 0,05 ml
Sampel 15	99,5%: 0,4%	9,96 ml + 0,04 ml
Sampel 16	99,5%: 0,3%	9,97 ml + 0,03 ml
Sampel 17	99,5%: 0,2%	9,98 ml + 0,02 ml
Sampel 18	99,5%: 0,1%	9,99 ml + 0,01 ml

Setelah dilakukan pencampuran lemak kemudian dimasukkan dalam lemari pendingin. Pada pengukuran sampel, sampel yang membeku dipanaskan terlebih dahulu, kemudian keadaan lemak dalam fasa cair dicampur dan diaduk dengan magnetic stirer selama 30 detik agar tercampur secara homogen. Kemudian dilakukan pengukuran impedansi listrik ketika lemak dalam fasa padat sesuai dengan label sampel pada kelembaban dan suhu ruang.

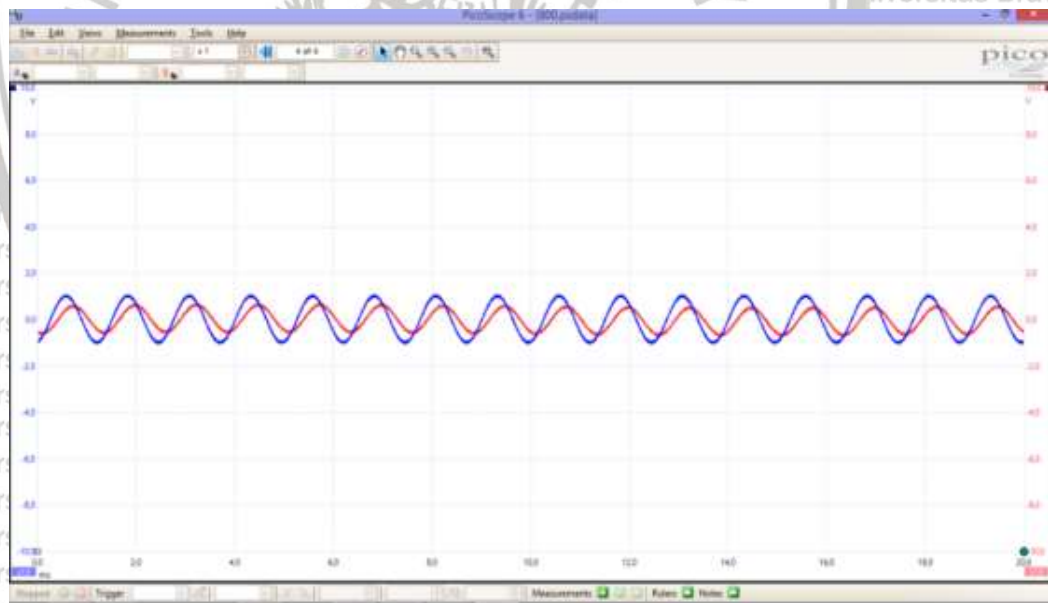
4.4.3 Pengukuran Sampel Lemak

Setiap sampel sesuai label dimasukkan dengan ukuran chamber yang telah dihubungkan dengan rangkaian percobaan. Sampel campuran lemak yang akan diukur berada pada fase padat. Pengukuran yang akan dilakukan yaitu dengan

mengubah frekuensi pada rentang 1 Hz – 2 MHz yang diatur pada komputer (PC) dan dengan menggunakan injeksi arus sebesar 100 μ A yang diatur pada pembangkit arus AC (converter V-I). Pengukuran dilakukan dari frekuensi rendah hingga frekuensi tertinggi. Pengukuran sampel dilakukan pada kelembapan dan temperatur ruang.

Pada Gambar 4.3 merupakan tampilan hasil pengukuran sampel lemak yang terukur dan ditampilkan pada komputer dalam bentuk gelombang sinusoidal.

Gelombang berwarna biru merupakan hasil pembacaan pengukuran pada Ch-1 (input) dan gelombang berwarna merah merupakan hasil pembacaan pengukuran pada Ch-2 (output sampel). Hasil pengukuran tegangan pada PicoScope kemudian di record dan disimpan.



Gambar 4.3 Contoh Tampilan Hasil Pengukuran Sampel Lemak Pada Picoscope

4.4.4 Analisis Data

Hasil pengukuran berupa nilai tegangan dalam bentuk gelombang sinusoidal yang ditampilkan pada komputer (PC). Pengambilan data tegangan yaitu dengan melihat nilai tegangan total pada setiap frekuensi yaitu menggunakan persamaan 4.1

$$V = \frac{V_{pp}}{2} \quad (4.1)$$

Nilai impedansi listrik pada rangkaian dihitung melalui rumus pada persamaan 4.2

$$Z = \frac{V}{I} \quad (4.2)$$

Dimana V = tegangan (V)

I = injeksi arus (pembangkit arus AC) (A)

Z = impedansi listrik (Ω)

Analisa data yang dilakukan adalah dengan menggambarkan hubungan frekuensi dengan nilai impedansi listrik dan hubungan antara konsentrasi dari campuran lemak sapi dan lemak ayam terhadap lemak babi dengan nilai impedansi listrik. Nilai impedansi listrik diplotkan terhadap frekuensi, dan begitu juga untuk presentase campuran lemak babi pada lemak sapi dihitung penurunan tiap konsentrasi sampel campuran. Grafik yang diplotkan yaitu pada sumbu X adalah nilai frekuensi dan untuk sumbu Y adalah nilai impedansi listriknya. Sumbu X frekuensi adalah variabel bebas dari pengukuran dan nilai impedansi pada tiap konsentrasi campuran adalah variabel terikat terhadap frekuensi yang diberikan.

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Nilai Impedansi Lemak Sapi, Lemak Ayam dan Lemak Babi

Pada penelitian ini digunakan tiga jenis lemak yang berbeda, yaitu lemak ayam, lemak sapi dan lemak babi. Dengan tujuan untuk mengamati perbedaan nilai impedansi pada tiga jenis lemak dan campurannya (lemak babi terhadap lemak ayam dan lemak babi terhadap lemak sapi), dengan menggunakan empat elektrode dan arus sebesar $100\mu\text{A}$ dengan frekuensi 1 Hz - 2 MHz. Hasil yang diperoleh berupa plot grafik impedansi sebagai fungsi frekuensi dari tiga jenis lemak yang berbeda dan campurannya dengan nilai impedansi yang terukur.

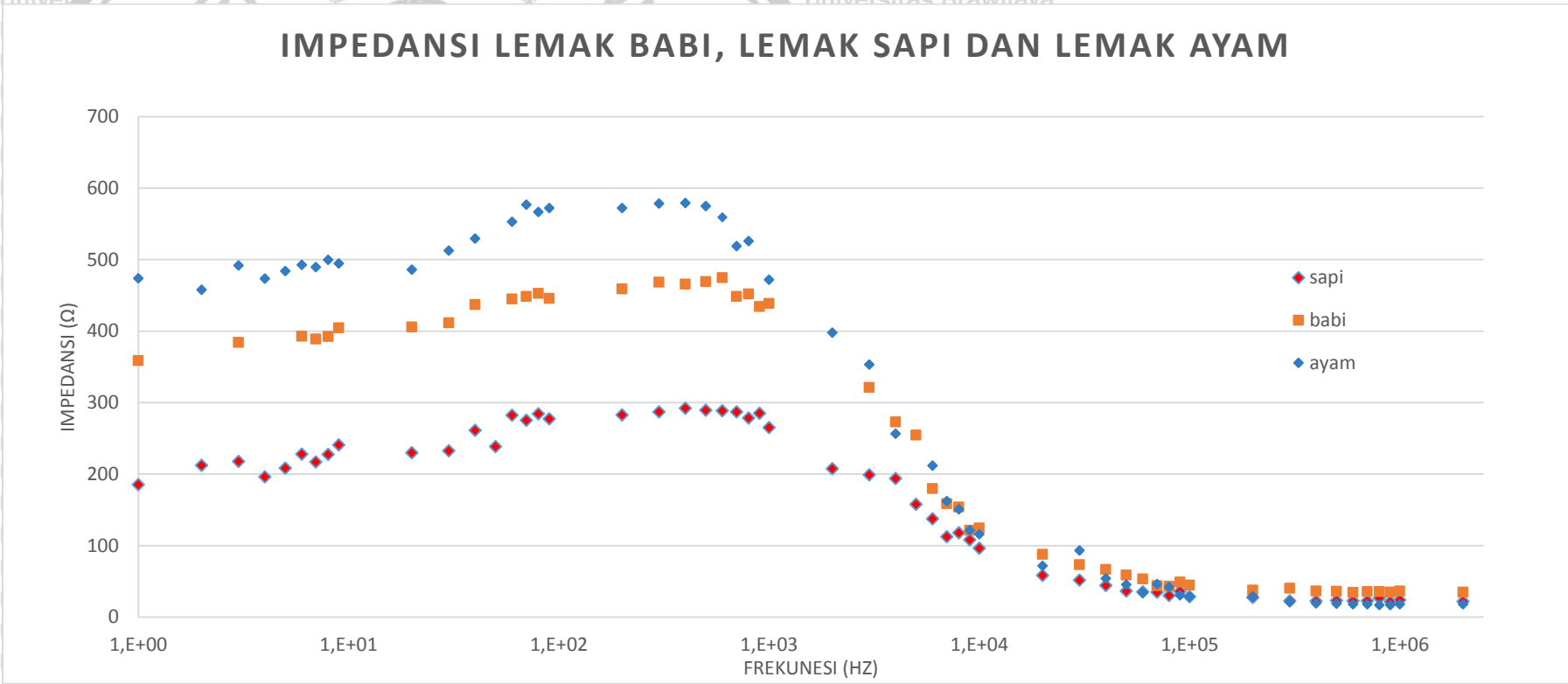
Pengukuran impedansi dilakukan pada suhu dan kelembaban ruangan. Respon frekuensi terhadap nilai tegangan keluaran saat menginjeksikan arus, dalam metode ini baik dan stabil yaitu pada frekuensi 1 Hz hingga 2 MHz. Dalam pengukuran sampel ini digunakan frekuensi antara 1 Hz hingga 2 MHz. Pengukuran nilai impedansi listrik pada lemak dengan frekuensi tersebut tegangan input yang terukur adalah stabil dengan nilai 1 Volt. Nilai impedansi total pada lemak sapi, lemak ayam dan lemak babi yang terukur frekuensi 1 Hz - 2 MHz diperoleh grafik konstan yang menggambarkan adanya dispersi nilai impedansi. Sedangkan pada frekuensi tinggi menggambarkan penurunan grafik nilai impedansi, ini dikarenakan nilai impedansi total lemak dipengaruhi oleh komponen resistansi dan kapasitansi pada rangkaian.

Dalam penelitian sebelumnya, nilai impedansi lemak belum terdiferensiasi dengan baik. Yaitu pada frekuensi yang rendah tidak diperoleh nilai impedansi.

Dimana pengukuran impedansi dengan menggunakan dua elektroda memungkinkan terjadinya peristiwa double layer yang sangat besar, karena ion dari larutan akan bergabung dengan elektron yang berasal dari elektroda saat menginjeksikan arus pada sampel. Hal ini menyebabkan nilai impedansi yang terukur berdasarkan perubahan tegangan pada elektroda bukan merupakan murni dari impedansi larutan karena sudah dipengaruhi resistansi dan kapasitansi elektroda. Sehingga hal tersebut menyebabkan pengukuran impedansi pada frekuensi rendah tidak terukur karena gelombangnya *Cut Off*. Selain itu pada frekuensi yang tinggi sinyal yang menurun seiring dengan penambahan frekuensi.

Penambahan dua elektroda pada metode dua elektroda merupakan pengukuran impedansi dengan menggunakan empat elektroda. Dua elektroda digunakan untuk menginjeksikan arus pada sampel sedangkan dua elektroda lainnya digunakan untuk mengukur beda tegangan yang ada pada sampel sehingga tidak terjadi peristiwa double layer. Hasil yang diukur adalah mewakili nilai impedansi dari bahan yang terukur.

Hubungan antara frekuensi dengan impedansi ketiga lemak dapat dilihat pada gambar 5.1 :



Gambar 5.1 Grafik Hubungan Frekuensi terhadap Impedansi Lemak

Dari gambar 5.1 di atas dapat diketahui bahwa secara umum nilai impedansi masing-masing lemak mengalami penurunan saat terjadinya kenaikan frekuensi.

Nilai impedansi maksimum ketika rentang frekuensi 1 Hz – 1 kHz. Nilai impedansi mengalami penurunan pada rentang frekuensi 1 kHz – 100 kHz. Nilai impedansi minimum terjadi pada rentang frekuensi 100 kHz – 2 MHz. Pada rentang frekuensi 1 Hz hingga 2 kHz, sistem pengukuran masih mampu mendeteksi dan membedakan ketiga jenis lemak murni yang berbeda. Namun pada frekuensi diatas 5 kHz sistem pengukuran sulit membedakan impedansi dari ketiga jenis lemak yang berbeda.

Secara berurutan, nilai impedansi dari yang terkecil untuk semua rentang frekuensi adalah lemak sapi, lemak babi dan lemak ayam. Perbedaan komposisi dari masing-masing lemak menjadi penyebab utamanya, terutama untuk lemak jenuh dan tak jenuh sangat berpengaruh pada nilai impedansi. Impedansi lemak dipengaruhi oleh komposisi asam lemak tak jenuh dari masing-masing lemak. Komposisi lemak jenuh pada lemak sapi lebih besar jika dibanding dengan 2 lemak lainnya. Karena komposisi lemak jenuh yang besar, maka akan menyebabkan nilai impedansi pada lemak sapi murni lebih kecil dibandingkan lemak ayam dan lemak babi.

Perbedaan nilai impedansi dipengaruhi oleh perbedaan jenis asam lemak yang terkandung didalamnya. Asam lemak yang mempunyai ikatan rangkap karbon yang disebut asam lemak tidak jenuh, yaitu asam oleat (C18:1) dan asam linoleat (C18:2), serta asam lemak yang tidak ada ikatan rangkap disebut asam lemak jenuh (Sucipto et al. 2013). Sehingga perbedaan jenis asam lemak tersebut akan menyebabkan perbedaan nilai impedansi dari masing lemak. Saat frekuensi tertentu diberikan kepada lemak yang didominasi asam lemak tak jenuh, energi

aktivitasnya mudah digunakan untuk pergerakan elektron dari satu posisi ke posisi lain dan memiliki polaritas lebih tinggi. Sehingga semakin jenuh asam yang terkandung pada lemak maka polaritas pergerakan elektron yang ada pada bahan tersebut akan melemah.

Sampel lemak yang diinjeksikan tabung pengukuran pada dasarnya bersifat sebagai bahan non konduktor dan yang dapat memperlemah dan sangat menghambat medan listrik. Lemak yang juga sebagai dielektrik memiliki molekul-molekul yang bersifat non polar. Pada molekul dielektrik dengan sifat non polar bila terdapat pengaruh medan listrik luar maka molekul molekul dielektrik akan menginduksi momen momen dipol yang searah dengan arah medan. Dielektrik dapat memperlemah medan listrik awal karena momen dipol yang searah dengan medan listrik atau terpolarisasi oleh medan ini menghasilkan medan listrik tambahan yang arahnya berlawanan dengan medan awal (Tipler 2001).

Pada molekul non polar, atom atom di dalamnya cenderung acak sedangkan untuk molekul polar atom atomnya sudah membentuk dipol dipol listrik permanen. Lemak sapi, lemak ayam dan lemak babi memiliki molekul yang non polar (*aprotik*). Molekul non polar pada suatu larutan memiliki sebuah dipol bila molekul itu ditempatkan dalam sebuah medan listrik karena medan itu mendorong muatan positif dalam molekul dalam arah medan listrik dan mendorong muatan negatif kearah yang berlawanan dengan medan listrik. Hal ini menyebabkan pendistribusian kembali muatan di dalam molekul itu. Dipol dipol ini dinamakan dipol terinduksi atau terpolarisasi. Molekul-molekul nonpolar mempunyai pusat pusat muatan positif dan pusat pusat muatan negatif di titik yang sama, sehingga pada saat diberikan medan listrik luar maka pusat pusat ini menjadi terpisah.

Impedansi listrik dari lemak nabati diduga sangat dipengaruhi oleh senyawa asam lemak. Lemak murni sering disebut asam lemak yang mengacu pada asam lemak trigliserida, yang terdiri dari tri-ester dari gliserol dan asam karboksilat yang berantai panjang. Satu ikatan atom karbon akan diganti dengan ikatan ganda jika satu atom hidrogen terlepas dalam asam lemak. Kemudian asam lemak ini menjadi tak jenuh. Lemak tak jenuh adalah cairan pada suhu kamar. Lemak babi dan lemak ayam termasuk minyak tak jenuh. Lemak daging sapi memiliki lemak jenuh dominan yang ada dalam suhu kamar yang bentuknya solid. Sebagai media biologis, maka sifat impedansi dipengaruhi oleh komponen resistif dan kapasitif yang dimiliki (Widodo & Saroja 2017).

Perangkat spektroskopi impedansi (IS) yang telah dirancang sebelumnya, tidak dapat membedakan jenis lemak dalam rentang frekuensi rendah dan frekuensi dibawah 100 Hz dan di atas 2 kHz. Dari hasil penelitian ini perbedaan impedansi ketiga jenis lemak yang berbeda dapat terlihat dengan jelas pada frekuensi 1 Hz - 100 kHz. Pada frekuensi 1 Hz – 1000 Hz nilai impedansi dipengaruhi oleh sifat resistif dan kapasitif bahan, ditandai dengan grafik yang menunjukkan nilai impedansi maksimum. Pada rentang frekuensi mulai 1000 Hz – 100 kHz terjadi penurunan impedansi yang sangat drastis untuk semua jenis lemak yang disebabkan oleh pengaruh dari sifat kapasitif komponen alat. Komponen alat yang berpengaruh yaitu kabel. Masing-masing kabel yang digunakan sebagai penghubung mempunyai nilai kapasitansi. Semakin panjang kabel yang digunakan maka nilai kapasitansi semakin besar sehingga nilai X_C semakin kecil dan nilai impedansi juga semakin kecil. Faktor load atau pembebanan juga mempengaruhi penurunan nilai impedansi. Semakin besar nilai R maka nilai impedansinya semakin turun.

Pada rentang frekuensi 100 kHz – 2 MHz nilai impedansi yang dihasilkan sangat kecil bahkan sering mengalami *cut off*. Hal ini dikarenakan respon frekuensi alat tidak bagus dan nilai impedansi lemak tidak dapat dibedakan. Rentang frekuensi yang dapat digunakan untuk membedakan jenis lemak adalah 1 Hz – 100kHz. Pada rentang frekuensi tersebut dapat terlihat perbedaan nilai impedansi setiap jenis lemak. Selain itu hasil penelitian juga sesuai dengan pendekatan model Randels yang digunakan pada penelitian sebelumnya, dimana semakin besar frekuensi yang diberikan maka sifat resistif dari material akan berkurang .

5.2 Nilai Impedansi Listrik Campuran Lemak Babi Pada Lemak Sapi dan Lemak Ayam Berbagai Konsentrasi

Pengukuran nilai impedansi listrik campuran lemak babi yang terdapat pada lemak sapi dilakukan dengan menggunakan injeksi arus sebesar 100 μ A pada rentang frekuensi 1 Hz hingga 2 MHz, karena dengan begitu diharapkan respon sinyal listrik yang di berikan pada masing-masing lemak dapat diamati pada rentang frekuensi tersebut dan begitu juga dengan arus yang diberikan. Konsentrasi campuran lemak babi yang digunakan yaitu sebesar 15%, 10%, 5%, 4,5%, 4%, 3,5%, 3%, 2,5%, 2%, 1,5%, 1%, 0,5%, 0,4%, 0,3%, 0,2% dan 0,1%.

5.2.1 Nilai Impedansi Listrik Campuran Lemak Babi Pada Lemak Sapi

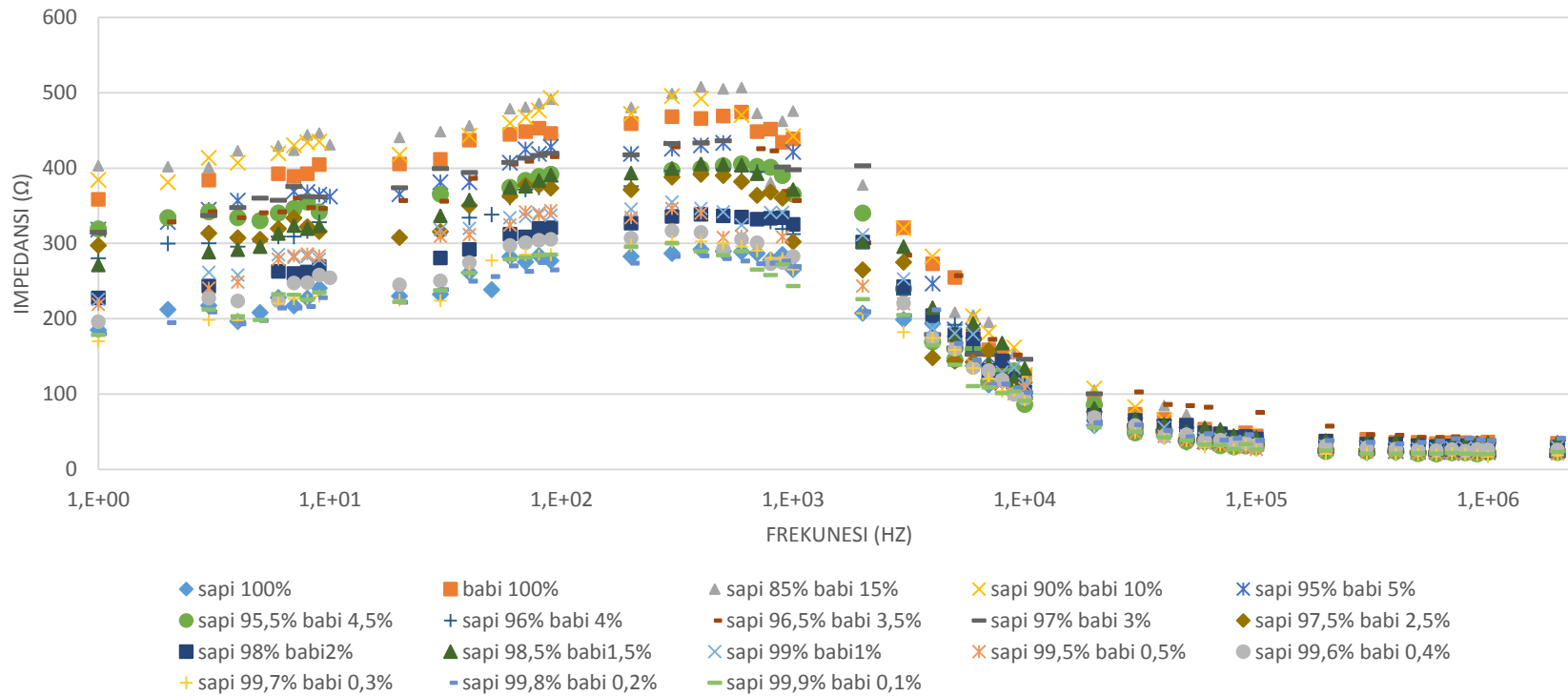
Nilai impedansi campuran lemak babi pada lemak sapi dengan berbagai konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 5.2. pada frekuensi 1 Hz hingga 2 MHz. Pada grafik tersebut terjadi penumpukan pada berbagai konsentrasi. Maka untuk melihat perbedaannya, grafik akan diplot dengan konsentrasi dan frekuensi tertentu agar dapat terlihat nilai perbedaan sampel campuran. Pada konsentrasi campuran lemak babi dibagi menjadi 3 kelompok campuran konsentrasi agar dapat terlihat

nilai perbedaannya, yaitu lemak babi konsentrasi diatas 4%, konsentrasi 4% - 2%, dan konsentrasi dibawah 1%. Plot grafik seperti pada gambar di bawah ini.

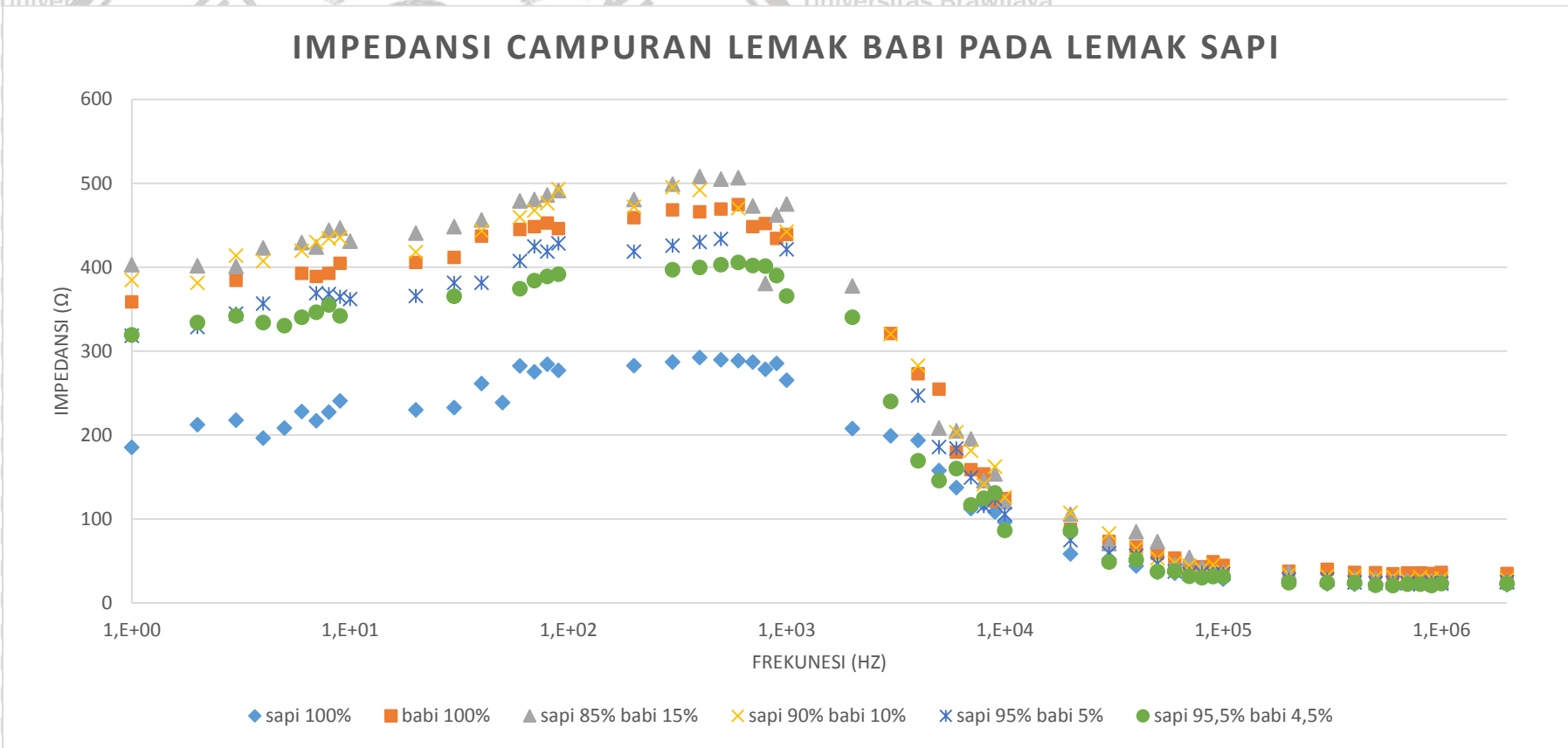
Pada grafik dibawah ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai konsentrasi campuran lemak babi yang diberikan pada lemak sapi maka nilai impedansi campuran semakin meningkat dari nilai impedansi lemak murninya.



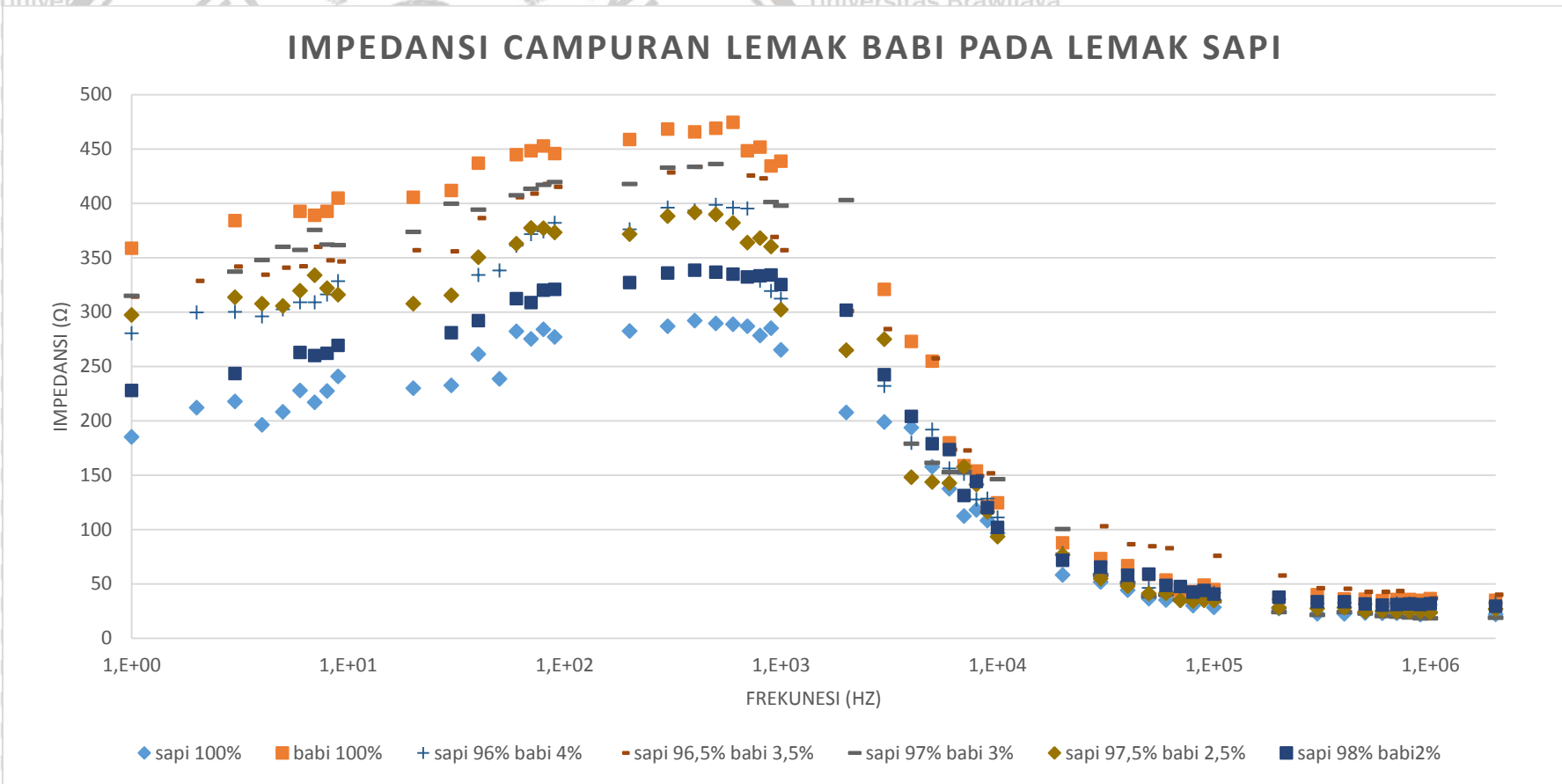
IMPEDANSI CAMPURAN LEMAK BABI PADA LEMAK SAPI



Gambar 5.2 Grafik Hubungan antara frekuensi terhadap nilai impedansi campuran lemak babi pada lemak sapi dengan berbagai konsentrasi campuran



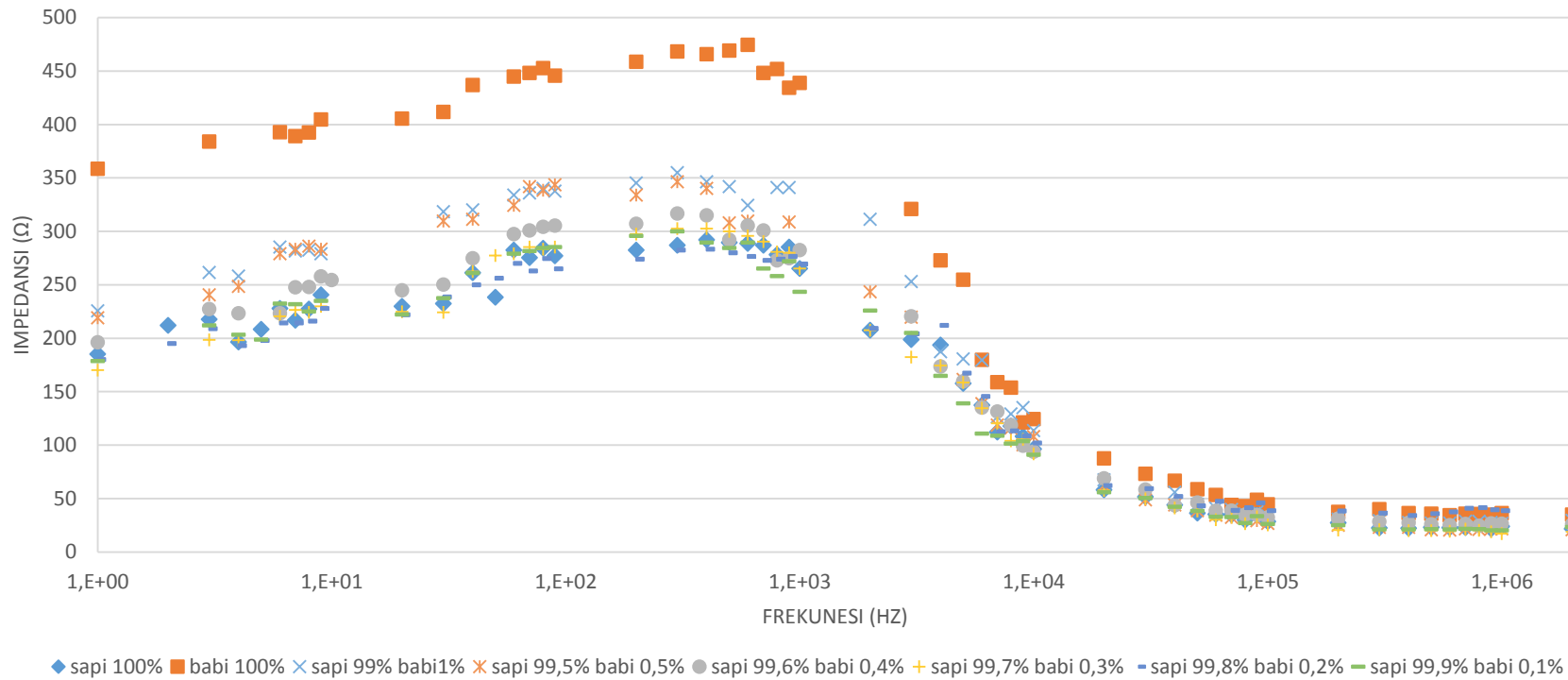
Gambar 5.3 Grafik Hubungan antara frekuensi terhadap nilai impedansi campuran lemak babi pada lemak sapi dengan konsentrasi campuran diatas 4%



Gambar 5.4 Grafik Hubungan antara frekuensi terhadap nilai impedansi campuran lemak babi pada lemak sapi dengan konsentrasi campuran 4%-2%



IMPEDANSI CAMPURAN LEMAK BABI PADA LEMAK SAPI



Gambar 5.5 Grafik Hubungan antara frekuensi terhadap nilai impedansi campuran lemak babi pada lemak sapi dengan konsentrasi campuran 1%-0.1%

Gambar 5.2 merupakan grafik yang menggambarkan hubungan antara frekuensi terhadap nilai impedansi campuran lemak babi pada lemak sapi dengan berbagai konsentrasi campuran terlihat terjadi penumpukan, sehingga grafik tersebut kemudian di plot kembali berdasarkan konsentrasi campuran lemak babi seperti yang terlihat pada gambar 5.3 sampai gambar 5.5 agar hubungan nilai impedansi dengan frekuensi dapat terlihat dengan jelas.

Dari semua grafik hubungan nilai impedansi dengan frekuensi menunjukkan semakin besar persentase campuran lemak babi pada lemak sapi, maka akan semakin besar nilai impedansi sampel. Analisis impedansi ini didasarkan prinsip perbedaan kecepatan aliran arus yang melalui bahan. Faktor utama yang mempengaruhi diantaranya yaitu komposisi bahan dan kondisi lingkungan pada saat pengambilan data seperti suhu dan kelembaban udara yang mempengaruhi perubahan fase dari cair ke padat dari lemak itu sendiri. Lemak secara tersusun atas bahan non konduksi akan menghambat aliran arus listrik (Scharfetter et al. 2001). Seiring dengan penambahan konsentrasi lemak babi pada lemak sapi, maka terjadi penambahan kandungan asam lemak tak jenuh dari babi pada lemak sapi yang jenuh. Kondisi ini menyebabkan perubahan komposisi dari lemak sapi, sehingga ion dan polaritas bahan akan meningkat. Perubahan itu juga menyebabkan konduktivitasnya menurun sehingga impedansi lemak sapi yang tercemar semakin besar. Bagian tubuh (lemak) yang dengan polaritas tinggi paling banyak mengandung air dengan ion, sehingga arus listrik dapat melaluinya.

Pada semua grafik nilai impedansi maksimum ketika rentang frekuensi 1 Hz – 1 kHz dan cenderung konstan pada frekuensi 100 Hz- 900 Hz. Nilai impedansi mengalami penurunan pada rentang frekuensi 1 kHz – 100 kHz. Nilai impedansi

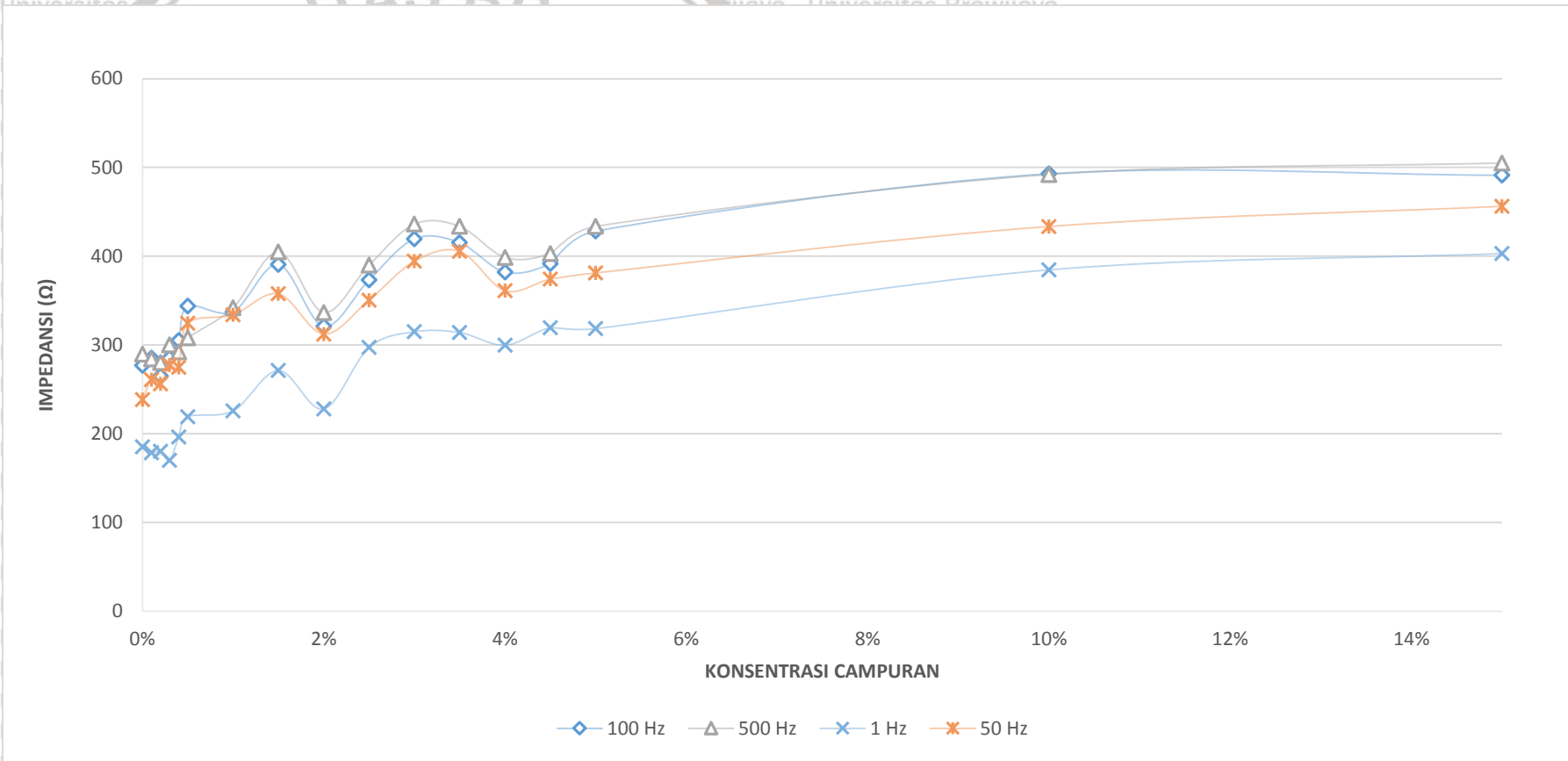
minimum terjadi pada rentang frekuensi 100 kHz – 2 MHz dan mengalami penurunan secara logaritmik, ini dikarenakan nilai impedansi total campuran lemak babi pada lemak sapi dipengaruhi oleh komponen resistansi dan kapasitansi dari alat yang sesuai dalam model Randles yang menggunakan plat sejajar. Sehingga bila frekuensi tinggi arus melewati kapasitor (beban) maka kapasitansi akan bernilai sangat besar, sehingga nilai impedansi yang terukur pada frekuensi tinggi sangat dipengaruhi oleh kapasitansi dari alat yang menyebabkan impedansi campuran lemak pada frekuensi tinggi menurun.

Pada gambar 5.3 nilai impedansi campuran lemak babi pada lemak sapi untuk konsentrasi campuran diatas 4% mengalami kenaikan yang nilainya hampir sama dengan nilai impedansi lemak babi terutama pada konsentrasi campuran 15% dan 10%. Pengaruh konsentrasi campuran lemak babi yang tinggi menyebabkan komposisi lemak sapi juga akan mengalami perubahan dengan penambahan lemak tidak jenuh yang terkandung pada lemak babi. Lemak sapi yang cenderung jenuh akan berada pada kondisi tak jenuh sehingga menyebabkan nilai impedansi yang meningkat. Pada gambar 5.4 nilai impedansi campuran lemak babi untuk konsentrasi 2% sampai 1% pada frekuensi 300 Hz berkisar diantara nilai impedansi lemak sapi murni dan lemak babi murni yaitu sebesar 300-425 Ω . Sedangkan pada gambar 5.5 nilai impedansi campuran lemak babi untuk konsentrasi dibawah 1% mengalami penurunan dengan nilai impedansi yang semakin berhimpit mendekati impedansi lemak sapi murni. Pengaruh penambahan lemak babi yang cenderung tak jenuh dengan konsentrasi kecil tidak memberikan pengaruh banyak terhadap perubahan nilai impedansi lemak sapi. Hal ini disebabkan karena lemak jenuh total

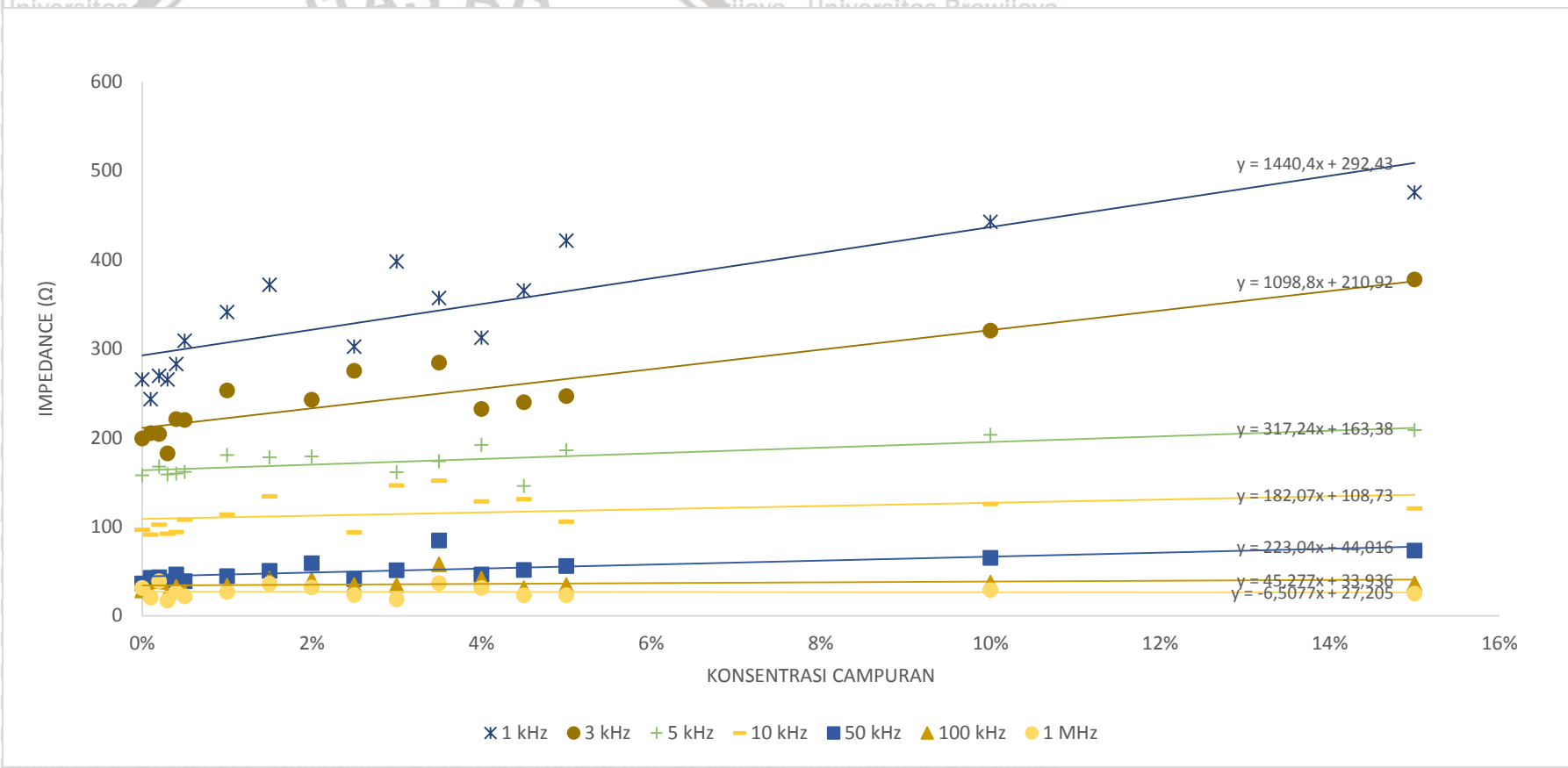
yang terkandung pada lemak sapi lebih dominan jika dibandingkan dengan yang terkandung pada lemak babi.

Pada pengukuran impedansi campuran lemak babi dengan berbagai konsentrasi dengan metode 4 probe ini diberi injeksi arus 100 μA . Pada sampel campuran lemak dengan metode ini nilai impedansi dapat terukur dengan baik pada semua frekuensi 1 Hz hingga 2 MHz dengan tegangan masukkan pada frekuensi ini tabil pada nilai 1 Volt. Berbeda dengan penelitian sebelumnya (Islahiyah, 2015) dimana arus yang digunakan sebesar 1 μA ketika frekuensi dibawah 100 Hz nilai impedansi tidak dapat terukur karena nilai tegangan mengalami *cut off* dalam proses pengukuran. Arus yang digunakan untuk sampel lemak dengan metode ini konstan sebesar 100 μA , jika digunakan arus yang besar maka nilai tegangan yang dihasilkan semakin besar pula sesuai pada teori hukum ohm dan alat tidak bisa terukur karena gelombang yang dihasilkan *Cut off*.

Pengaruh konsentrasi campuran lemak babi terhadap nilai impedansi lemak sapi dapat dilihat pada gambar berikut. Grafik diplot terpisah dari frekuensi rendah ke tinggi agar pengaruh konsentrasi campuran lemak babi terhadap impedansi lemak sapi dapat terlihat dengan jelas.



Gambar 5.6 Grafik Nilai Impedansi Lemak Sapi terhadap Campuran Lemak Babi dengan berbagai konsentrasi pada frekuensi 1 Hz - 500Hz



Gambar 5.7 Grafik Nilai Impedansi Lemak Sapi terhadap Campuran Lemak Babi dengan berbagai konsentrasi pada frekuensi 1 kHz – 1MHz

Gambar 5.6 merupakan plot grafik nilai impedansi untuk frekuensi pilihan dari 1 Hz sampai 1 kHz terhadap nilai konsentrasi campuran lemak babi yang diberikan pada lemak sapi. Secara umum nilai impedansi pada frekuensi 1 Hz – 500 Hz untuk semua penambahan konsentrasi lemak babi mengalami kenaikan sebesar $\pm 100 \Omega$. Nilai impedansi listrik untuk konsentrasi campuran yang rendah cenderung fluktuatif karena penambahan persentase lemak babi yang semakin kecil maka komposisi lemak sapi juga mengalami perubahan yang sangat kecil sehingga mempengaruhi nilai. Untuk gambar 5.7 terlihat bahwa impedansi mengalami penurunan dari frekuensi 1 kHz - 1 MHz dimana semakin tinggi frekuensinya maka nilai impedansinya cenderung mengalami penurunan yang cenderung stabil dan mendekati nol.

Perubahan nilai impedansi disebabkan oleh komposisi yang dimiliki setiap bahan berbeda-beda tertentu, sehingga nilai impedansinya juga berbeda. Sifat kelistrikan ini digunakan mengenali perubahan komposisi bahan akibat penurunan kualitas dan atau pemalsuan bahan (Damez et al. 2007). Jaringan biologis terutama daging, otot dan lemak memiliki impedansi anisotropik, yaitu impedansi yang bervariasi berdasar arus yang berjalan sejajar atau tegak lurus. Sehingga hal tersebut menyebabkan perubahan nilai impedansi.

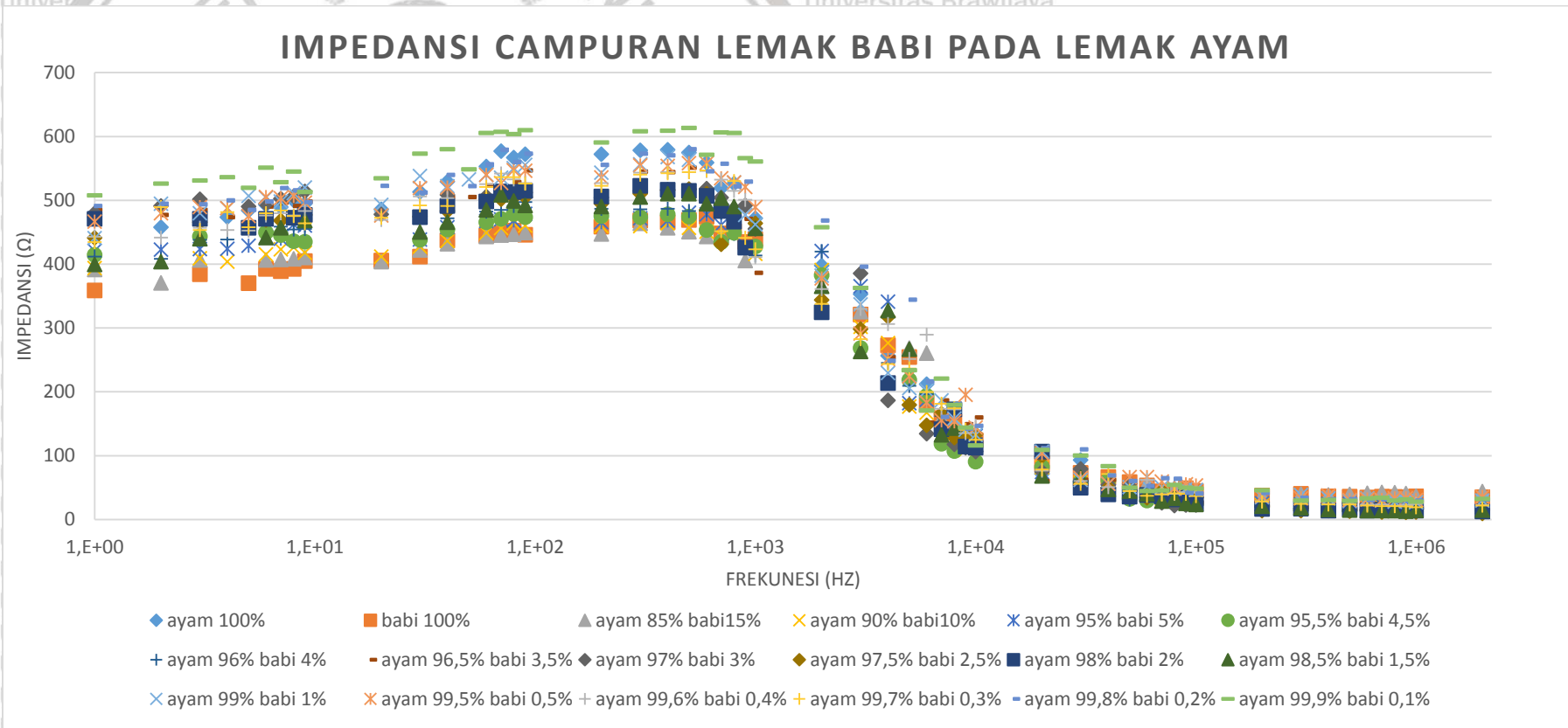
Pengaruh penambahan lemak babi yang cenderung tak jenuh dengan konsentrasi kecil tidak memberikan pengaruh banyak terhadap perubahan nilai impedansi lemak sapi. Hal ini disebabkan lemak jenuh total yang terkandung pada lemak sapi lebih dominan dibandingkan dibandingkan lemak babi. Sedangkan penambahan konsentrasi lemak babi yang besar menyebabkan nilai impedansi lemak sapi semakin meningkat. Pada frekuensi 1000 Hz impedansi lemak sapi

mengalami peningkatan sebesar 6,16 % setiap penambahan konsentrasi sebesar 0,1%. Setiap penambahan konsentrasi sebesar 0,5% - 1% impedansi lemak sapi mengalami kenaikan sebesar 32,85%. Sedangkan pada setiap penambahan konsentrasi 5% maka impedansi lemak sapi meningkat sebesar 61,27%. Semakin besar persentase campuran lemak babi menyebabkan perubahan komposisi pada lemak sapi, sehingga nilai impedansi sampel akan semakin besar.

5.1.2 Nilai Impedansi Listrik Campuran Lemak Babi Pada Lemak Ayam

Nilai impedansi campuran lemak babi pada lemak ayam dengan berbagai konsentrasi dapat dilihat pada Gambar berikut dengan frekuensi 1 Hz hingga 2 MHz. Pada grafik tersebut terjadi penumpukan nilai pada berbagai konsentrasi. Maka hal sama dilakukan seperti sub bab sebelumnya untuk melihat perbedaannya grafik akan diplot dengan konsentrasi dan frekuensi tertentu agar dapat terlihat nilai perbedaan sampel campuran. Pada konsentrasi campuran lemak babi dibagi menjadi 3 kelompok campuran konsentrasi agar dapat terlihat nilai perbedaannya, yaitu lemak babi konsentrasi diatas 4%, konsentrasi 4% - 2%, dan konsentrasi dibawah 1%.

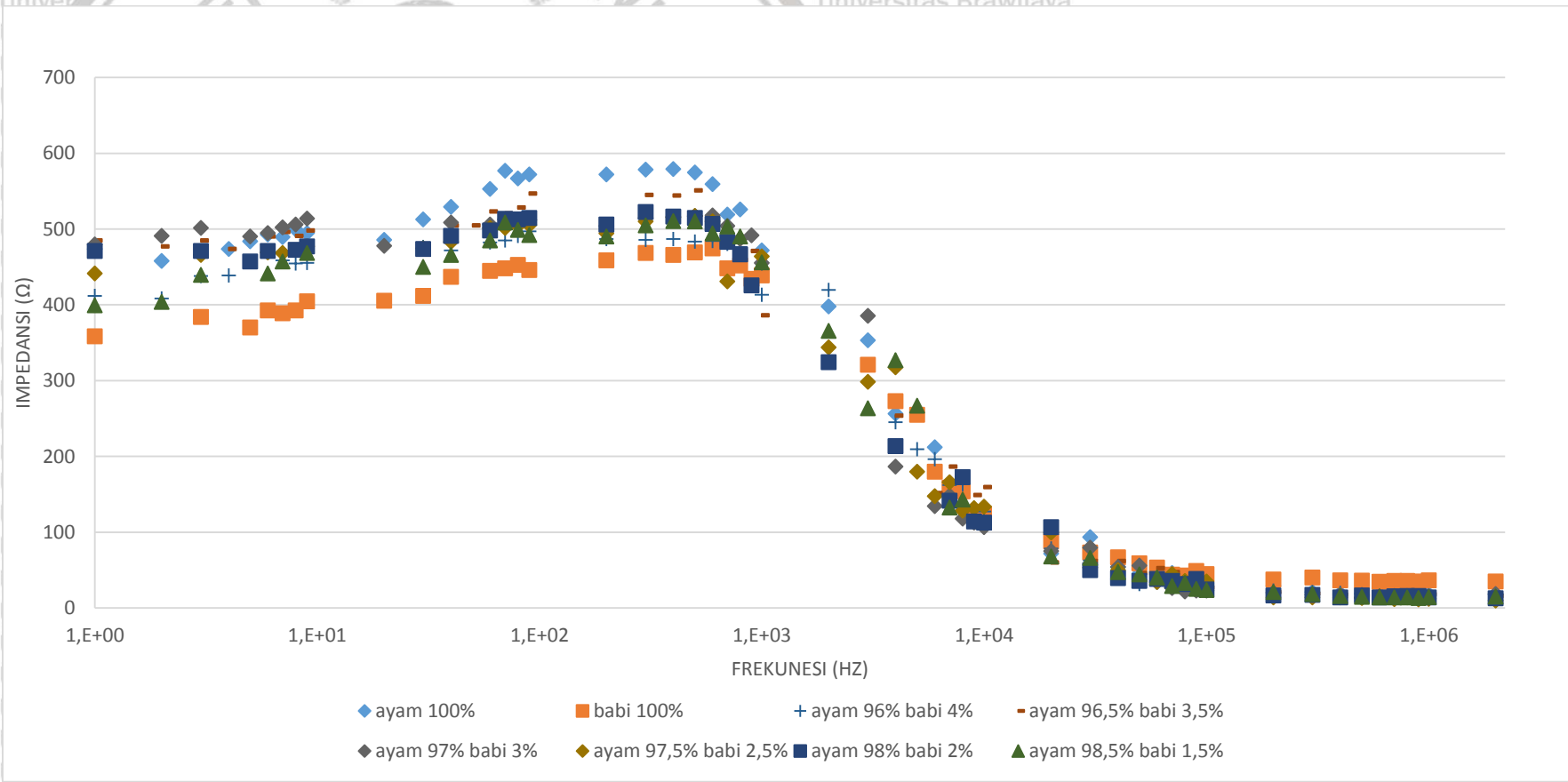
Dari grafik dibawah ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai konsentrasi campuran lemak babi yang diberikan pada lemak ayam maka nilai impedansi campuran akan menurun dari nilai impedansi lemak murninya.



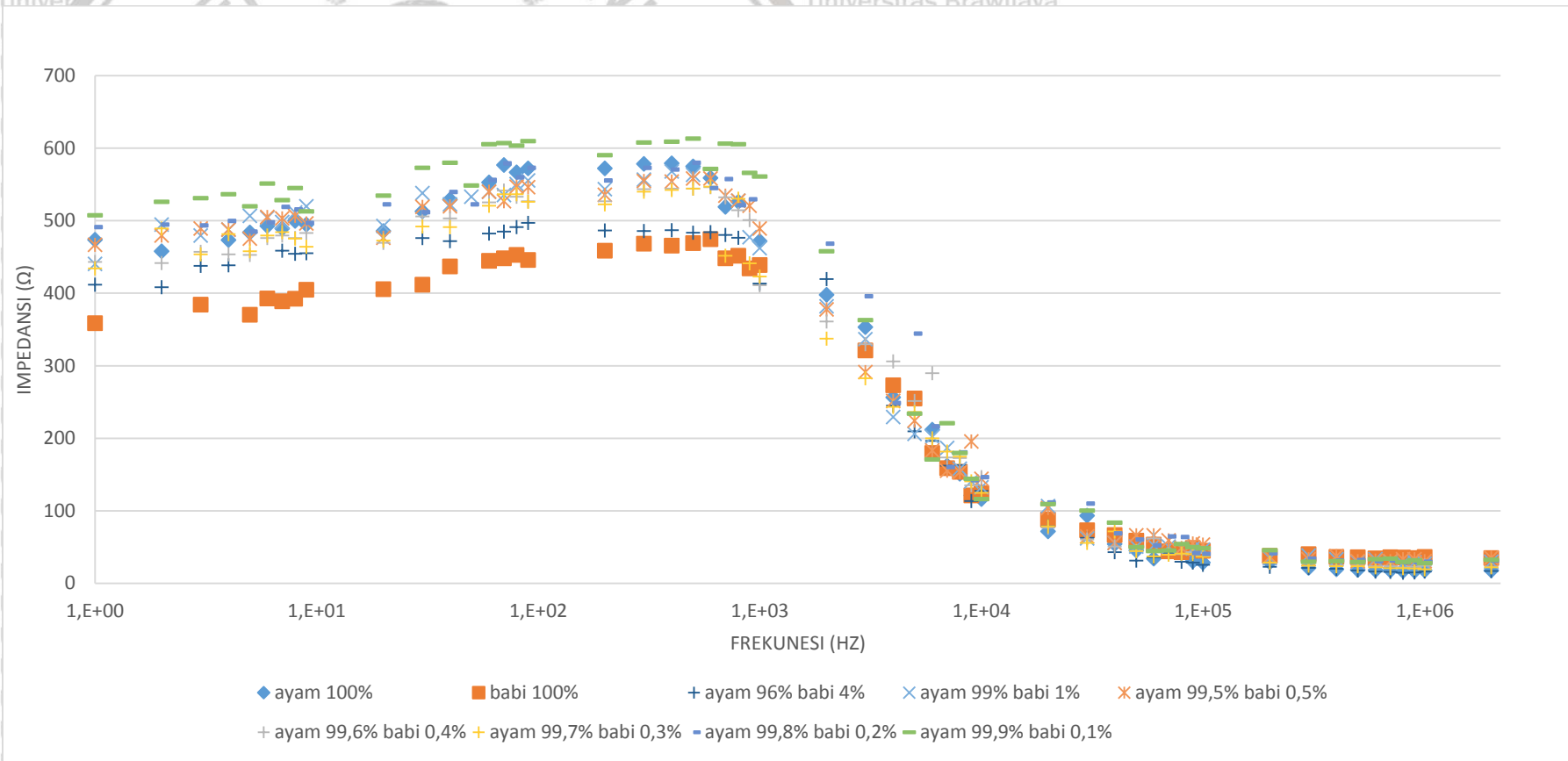
Gambar 5.8 Grafik Hubungan antara frekuensi terhadap nilai impedansi campuran lemak babi pada lemak ayam dengan berbagai konsentrasi campuran



Gambar 5.9 Grafik Hubungan antara frekuensi terhadap nilai impedansi campuran lemak babi pada lemak ayam dengan konsentrasi campuran diatas 4%



Gambar 5.10 Grafik Hubungan antara frekuensi terhadap nilai impedansi campuran lemak babi pada lemak ayam dengan konsentrasi campuran 4%-2%



Gambar 5.11 Grafik Hubungan antara frekuensi terhadap nilai impedansi campuran lemak babi pada lemak ayam dengan konsentrasi campuran 1%-0.1%

Berbeda dengan lemak sapi, secara umum dari gambar 5.6 sampai gambar 5.9 nilai impedansi campuran lemak babi pada lemak ayam mengalami penumpukan dan cenderung tumpang tindih. Hal ini disebabkan oleh jumlah komposisi lemak total dari kedua jenis lemak yang hampir sama dan keduanya bersifat tak jenuh. Selain itu perbedaan nilai impedansi dari kedua lemak (ayam dan babi) murni hanya sekitar 115Ω . Penumpukan nilai impedansi terjadi karena dalam pengambilan data penelitian ini, untuk mendapatkan lemak ayam yang sudah terekstraksi sangat sulit dan dikumpulkan dari $\pm 15-20$ ekor ayam yang berbeda-beda. Hal ini menyebabkan penurunan kualitas bahan yang mempengaruhi nilai impedansi.

Pada gambar 5.9 sampai 5.11, dapat terlihat bahwa grafik nilai impedansi campuran lemak babi pada lemak ayam untuk konsentrasi campuran 15%-4% pada frekuensi 1 Hz- 10 Hz dapat dibedakan namun pada frekuensi 20 Hz – 1 kHz impedansi campuran mengalami penumpukan terhadap nilai impedansi lemak babi murni. Sehingga pada konsentrasi tinggi lemak ayam yang sudah tercemar akan cenderung didominasi oleh lemak babi. Untuk konsentrasi campuran lemak babi 4% - 2% nilai impedansi mengalami kenaikan seiring dengan berkurangnya konsentrasi campuran lemak babi. Sedangkan untuk konsentrasi campuran lemak babi 1% - 0,1% perbedaan nilai impedansi semakin menuju kearah impedansi lemak ayam.

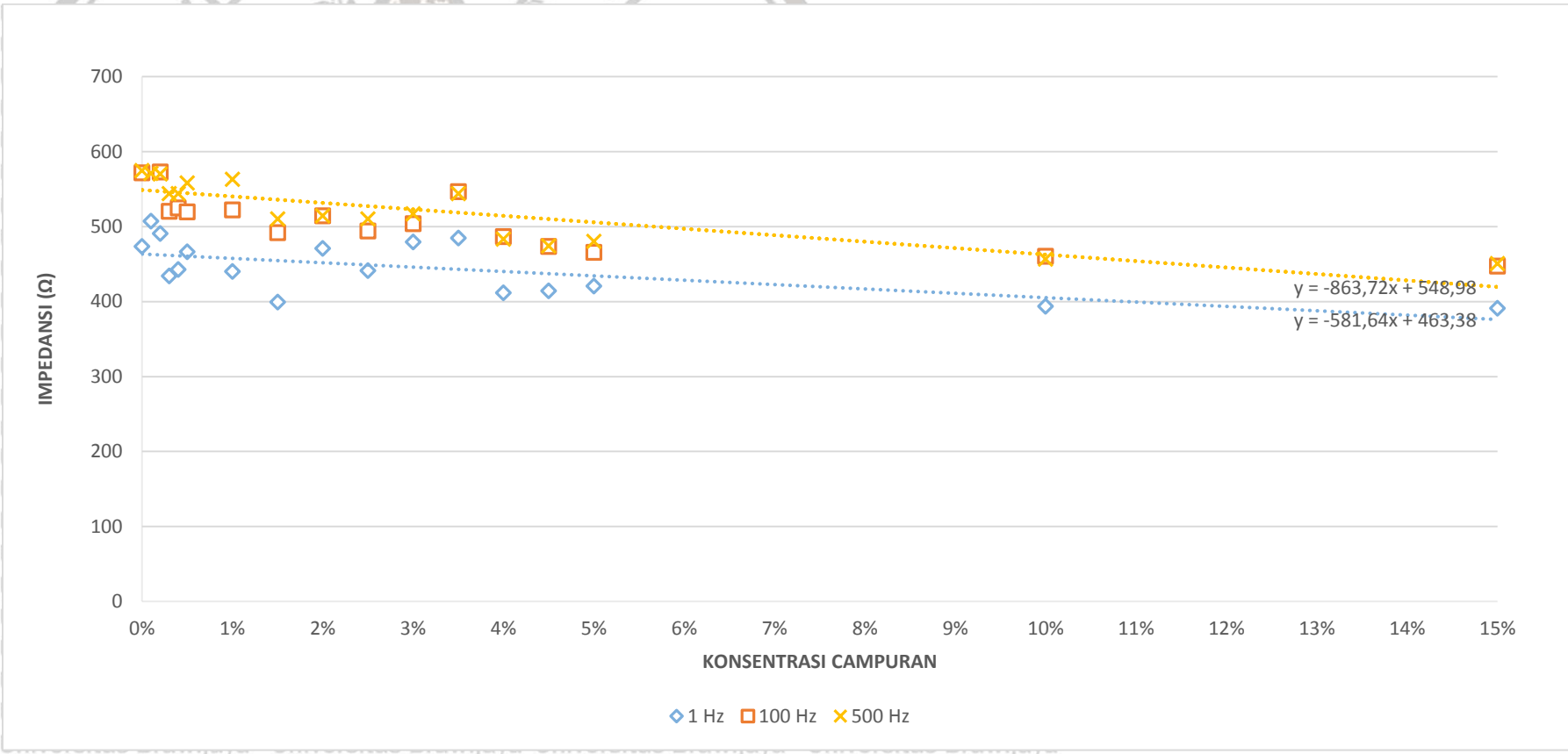
Perbedaan nilai impedansi ini dipengaruhi oleh komposisi asam lemak tidak jenuh dan asam lemak jenuh pada lemak ayam dan lemak babi yang menunjukkan adanya perbedaan. Pada lemak ayam terdeteksi terdapat asam lemak jenuh sebanyak 34,92% dan asam lemak tidak jenuh sebanyak 65,08% sedangkan

pada lemak babi terdeteksi terdapat asam lemak jenuh sebanyak 27,56% dan asam lemak tidak jenuh sebanyak 72,44% (Gunstone, 2004). Dari komposisi lemak total bahan diketahui komposisi asam lemak tak jenuh pada lemak ayam lebih kecil daripada lemak babi. Komposisi asam lemak tersebut yang menyebabkan adanya perbedaan nilai impedansi pada sampel. Oleh karena itu semakin meningkatnya nilai konsentrasi campuran lemak babi mengakibatkan nilai impedansi lemak ayam menurun. Selain itu campuran lemak babi dan lemak ayam yang bersifat non konduktor menyebabkan lemahnya medan listrik sehingga impedansi yang dihasilkan saat diberikan frekuensi yang lebih besar semakin menurun. Komposisi campuran lemak total, yaitu konsentrasi asam lemak dari lemak ayam semakin meningkat seiring dengan bertambahnya asam lemak tak jenuh yang terkandung pada lemak babi, sehingga menyebabkan nilai impedansi dari lemak ayam yang sudah tercemar teridentifikasi semakin menurun.

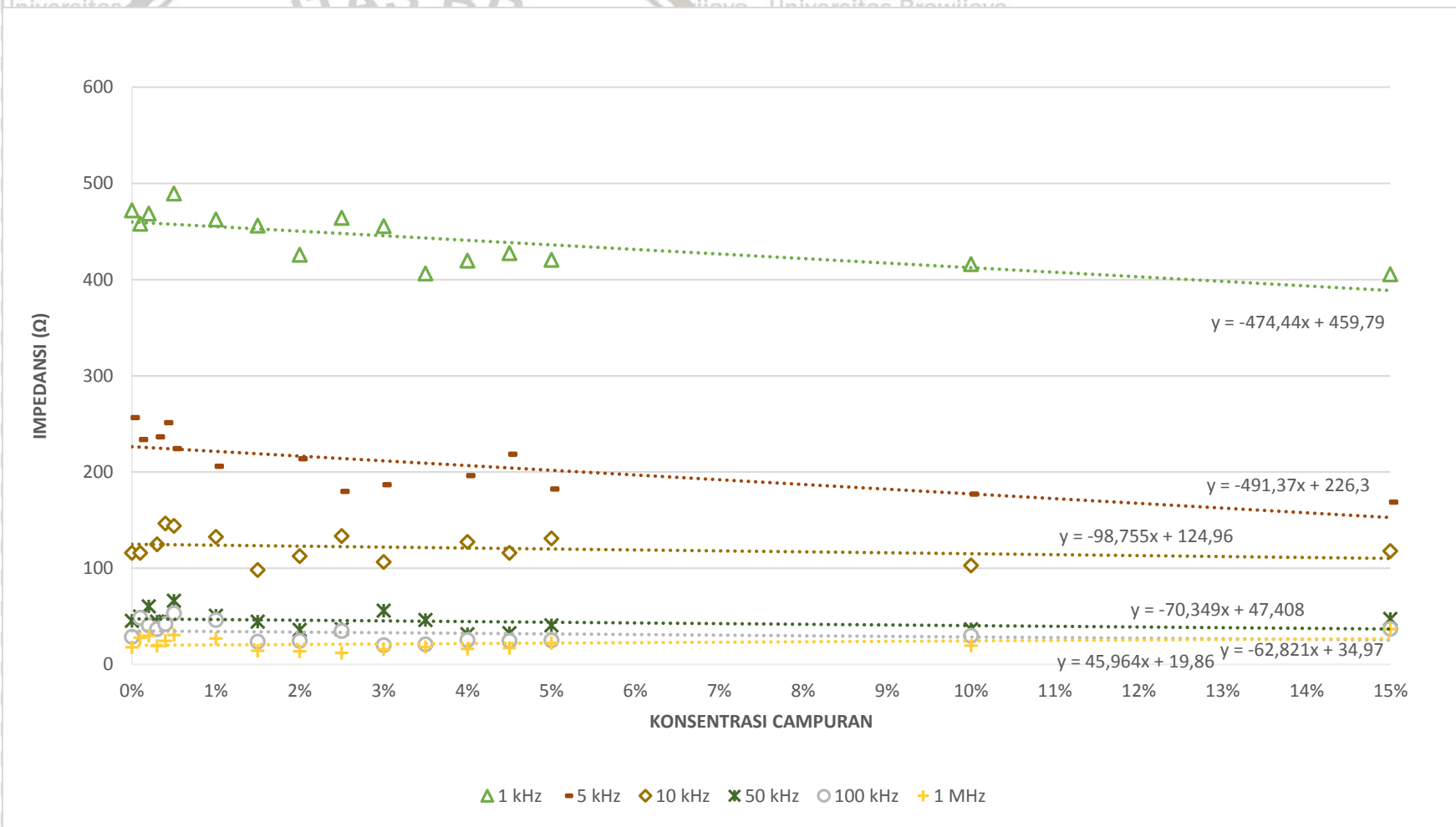
Perbedaan sifat kelistrikan dari bahan dipengaruhi oleh suhu, kelembaban (kondisi) ruangan, kontak bahan dengan elektroda serta komposisi dari bahan ketika diberikan arus listrik (Widodo et al. 2016; Castro-Giráldez et al. 2010). Perbedaan nilai impedansi pada penelitian ini juga dipengaruhi oleh kontak bahan dengan elektroda, suhu dan kelembaban ruangan pada saat pengukuran. pengaruh ini sangat dominan dan terlihat pada konsentrasi campuran lemak babi sebesar 1,5% dan 0,11%. Pada konsentrasi tersebut suhu dan kondisi ruangan ketika pengambilan data pada perulangan kedua tercatat sebesar 25,8°C dengan kelembaban ruangan 80%. Selain itu pengaruh kontak bahan dengan elektroda yang kurang sempurna, dimana terdapat sedikit rongga udara pada pojok tabung pengukuran yang menyebabkan nilai impedansi pada konsentrasi tersebut meningkat.

Pengaruh konsentrasi campuran lemak babi terhadap nilai impedansi lemak ayam dapat dilihat pada gambar berikut. Grafik diplot terpisah dengan frekuensi pilihan agar pengaruh konsentrasi campuran lemak babi pada lemak sapi dapat terlihat dengan jelas.





Gambar 5.12 Grafik Nilai Impedansi Lemak ayam terhadap kosentrasi Campuran Lemak Babi pada frekuensi 1 Hz - 500 Hz



Gambar 5.13 Grafik Nilai Impedansi Lemak ayam terhadap kosentrasi Campuran Lemak Babi pada frekuensi 1 kHz sampai 100 kHz

Pada gambar diatas terlihat bahwa nilai impedansi lemak ayam mengalami peningkatan sebesar $\pm 50 \Omega$ untuk frekuensi 1 Hz – 500 Hz pada semua konsentrasi.

Pada frekuensi di atas 1 kHz nilai impedansi lemak ayam yang sudah tercemar lemak babi menurun seiring dengan penambahan konsentrasi yang diberikan.

Secara umum, dari gambar diatas dapat diketahui bahwa untuk semua frekuensi impedansi lemak ayam akan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya konsentrasi lemak babi yang diberikan.

Berbeda dengan penelitian sbelumnya, dimana impedansi campuran lemak babi pada lemak ayam belum terdeteksi dengan baik. Pada penelitian ini nilai impedansi lemak ayam yang tercemar oleh lemak babi dapat terbedakan dengan baik. Pada frekuensi 1000 Hz untuk konsentrasi rendah dibawah 1% yaitu setiap penambahan 0,1 % lemak babi, terjadi penurunan nilai impedansi lemak ayam sebesar $\pm 1,84\%$. Pada setiap penambahan konsenrasi sebesar 0,5%-1% nilai impedansi lemak ayam menurun sekitar 7,28% Sedangkan pada konsentrsi campuran yang besar 5% nilai impedansi lemak ayam terlihat turun sekitar 12,26%.

Penurunan nlai impedansi lemak ayam sangat dipengaruhi oleh komposisi asam lemak babi (lemak tak jenuh) yang lebih dominan yaitu asam oleat, asam palmitat, asam linoleat dan asam stearat .

Kandungan asam lemak tak jenuh yang tinggi dan dominan pada lemak babi menyebabkan polaritas bahan semakin tinggi karena adanya ikatan karbon rangkap.

Pada lemak babi dengan ikatan karbon rangkap yang terkandung pada asam lemak tak jenuh menyebabkan elektron elektron dalam molekul lemaknya lebih mudah terpolarisasi pada kondisi ini lemak memiliki konduktansi yang tinggi sehingga nilai impedansi lemak ayam semakin menurun seiring dengan

bertambahnya konsentrasi lemak babi yang diberikan. Campuran lemak babi pada lemak ayam juga menyebabkan kedua komposisi bahan ikut bercampur

Nilai impedansi sangat bergantung terhadap frekuensi yang diberikan pada bahan. Pada frekuensi rendah 1-10 kHz terjadi efek kontraksi (dimana arus mengalir tegak lurus atau lateral) di dekat permukaan membran, mengaktifkan membran sel pada struktur intraselular. Pada frekuensi ini terjadi difusi ionik, dan kehilangan dielektrik yaitu pada frekuensi rendah jaringan kan cenderung menurunkan konduktivitasnya, sehingga nilai impedansi meningkat (maksimum).

Pada frekuensi arus yang tinggi 100 kHz-10 MHz maka akan menimbulkan efek Maxwell-Wagner, dimana membran sel pada membran organel intraselular terjadi proses kapasitansi pasif, yang terjadi karena respon molekul protein terhadap frekuensi yang diberikan menyebabkan nilai impedansi turun (minimum) (Noor 2007).

BAB IV KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Pada hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai impedansi listrik lemak babi, lemak sapi dan lemak ayam dapat terbedakan terutama pada frekuensi 1 Hz – 100 kHz
2. Nilai impedansi listrik campuran lemak babi terhadap lemak sapi dan lemak ayam mengalami perubahan seiring dengan penambahan konsentrasinya.
3. Nilai impedansi lemak sapi meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi campuran lemak babi. Sedangkan nilai impedansi lemak ayam menurun seiring dengan penambahan konsentrasi lemak babi.

6.2 Saran

Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan yang berkaitan dengan pengaruh lama penyimpanan, temperatur dan kelembaban lingkungan terhadap pengukuran impedansi. Pengukuran seharusnya dilakukan pada suhu dan kelembaban ruangan yang konstan. Disarankan untuk membedakan berbagai jenis lemak melalui pengukuran impedansi dengan metode empat elektroda dapat menggunakan arus 100 μ A dengan frekuensi 1 Hz sampai 1 MHz.

DAFTAR PUSTAKA

Asensio, L. et al., 2008. Determination of food authenticity by enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA); *Food Control*, 19(1), pp.1–8.

Bowen-Forbes, C.S. & Goldson-Barnaby, A., 2017. *Fats*, Elsevier Inc.

Castro-Giráldez, M., Fito, P.J. & Fito, P., 2010. Application of microwaves dielectric spectroscopy for controlling pork meat (*Longissimus dorsi*) salting process. *Journal of Food Engineering*, 97(4), pp.484–490.

Damez, J.L. et al., 2007. Dielectric behavior of beef meat in the 1–1500 kHz range:

Simulation with the Fricke/Cole-Cole model. *Meat Science*, 77(4), pp.512–519.

Feiner, G., 2016. *Salami - Practical Science and Processing Technology*,

Irvine, J.T.S., Sinclair, D.C. & West, A.R., 1990. Electroceramics: Characterization by Impedance Spectroscopy. *Advanced Materials*, 2(3), pp.132–138.

Islahiyya, N., 2016. Pengukuran Impedansi Listrik Campuran Lemak Babi Pada Lemak Sapi Dengan Menggunakan Metode Plat Sejajar. *Skripsi*.

El Khaled, D. et al., 2017. Cleaner quality control system using bioimpedance methods: a review for fruits and vegetables. *Journal of Cleaner Production*, 140, pp.1749–1762.

Khalil, S.F., Mohktar, M.S. & Ibrahim, F., 2014. The theory and fundamentals of bioimpedance analysis in clinical status monitoring and diagnosis of diseases. *Sensors (Switzerland)*, 14(6), pp.10895–10928.

Lizhi, H., Toyoda, K. & Ihara, I., 2008. Dielectric properties of edible oils and fatty

acids as a function of frequency, temperature, moisture and composition.

Journal of Food Engineering, 88(2), pp.151–158.

Marikkar, J.M.N., Lai, O.M., et al., 2002. Compositional and thermal analysis of RBD palm oil adulterated with lipase-catalyzed interesterified lard. *Food Chemistry*, 76(2), pp.249–258.

Marikkar, J.M.N., Ghazali, H.M., et al., 2002. The use of cooling and heating thermograms for monitoring of tallow, lard and chicken fat adulterations in canola oil. *Food Research International*, 35(10), pp.1007–1014.

Nakonieczna, A. et al., 2016. Electrical impedance measurements for detecting artificial chemical additives in liquid food products. *Food Control*, 66, pp.116–129.

Noor, J.A.E., 2007. EIT at Low Frequencies.

Nuzula, F., 2014. Studi Pengaruh Campuran Lemak Babi terhadap Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak sapi dengan Metode Dielektrik. *Skripsi*, (1), pp.7–10.

Rohman, A. et al., 2012. Differentiation of lard and other animal fats based on triacylglycerols composition and principal component analysis. *International Food Research Journal*, 19(2), pp.475–479.

Rosita, F.N. & Widodo, C.S., 2014. Kajian Pengaruh Campuran Lemak Babi Terhadap Konstanta Dielektrik Lemak Ayam Menggunakan metode Dielektrik. , pp.2–5.

Salamena, G.A., 2017. Studi eksperimen pengukuran impedansi listrik larutan

secara presisi menggunakan injeksi arus pada pelat sejajar.

Sartika, R.A.D., 2008. Pengaruh Asam Lemak Jenuh, Tidak Jenuh dan Asam Lemak Trans terhadap Kesehatan. *Kesmas: National Public Health Journal*, 2(4), p.154.

Scharfetter, H. et al., 2001. Assessing abdominal fatness with local bioimpedance analysis: Basics and experimental findings. *International Journal of Obesity*, 25(4), pp.502–511.

Sosa-Morales, M.E. et al., 2010. Dielectric properties of foods: Reported data in the 21st century and their potential applications. *LWT - Food Science and Technology*, 43(8), pp.1169–1179.

Sucipto, S. et al., 2013. Application of Electrical Properties to Differentiate Lard from Tallow and Palm Oil. *Media Peternakan; Vol 36, No 1 (2013): Media Peternakan*, 36(1), pp.32–39.

Tay, A. et al., 2002. Authentication of Olive Oil Adulterated with Vegetable Oils Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *LWT - Food Science and Technology*, 35(1), pp.99–103.

Widodo, C.S., Santoso, D.R. & Juswono, U.P., 2016. Double Layer Impedance Analysis on The Electrical Impedance Measurement of Solution Using Parallel Plate. *Journal of Environmental Engineering and Sustainable Technology*, 3(1), pp.65–69.

Widodo, C.S. & Saroja, G., 2017. A study of application of two probes at frequency 0.1 to 10 kHz in electrical impedance measurement system for various fats.

Proceedings - 2017 International Seminar on Sensor, Instrumentation, Measurement and Metrology: Innovation for the Advancement and Competitiveness of the Nation, ISSIMM 2017, 2017-Janua, pp.86–91.

Yúfera, A. et al., 2002. An integrated circuit for tissue impedance measure. *2nd Annual International IEEE-EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine and Biology - Proceedings*, (February), pp.88–93.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Foto Penelitian



Gambar 1. Lemak babi



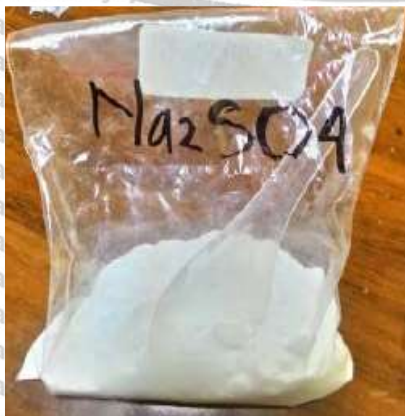
Gambar 2. Lemak sapi



Gambar 3. Lemak ayam



Gambar 4. Kain saring



Gambar 5. Na_2SO_4



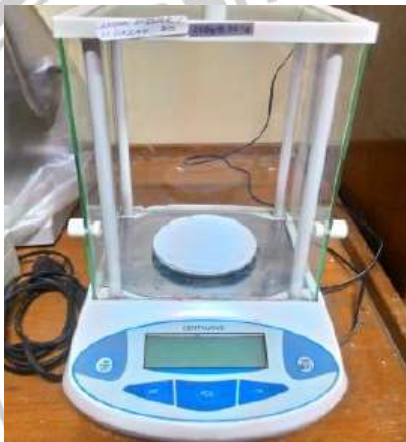
Gambar 6. Microwave Panasonic



Gambar 7. Gelas ukur



Gambar 8. Magnetic Stirrer



Gambar 9. Neraca ohaus



Gambar 10. Pico Scope S-5000



Gambar 11. Trafo



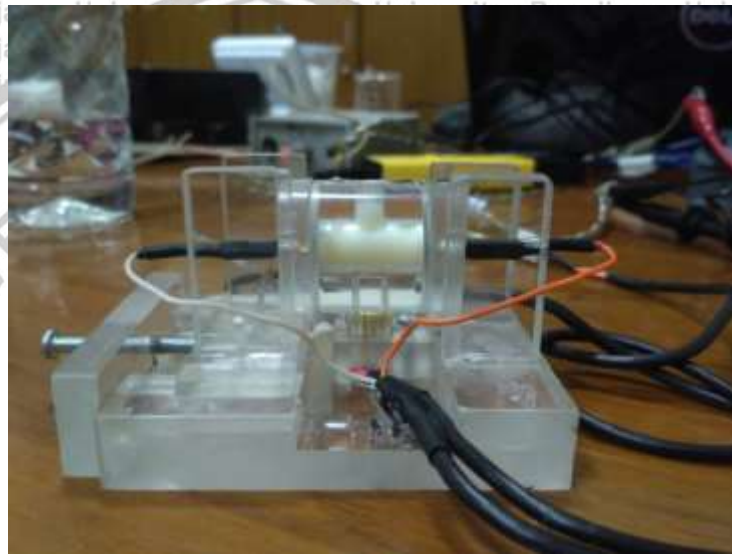
Gambar 12. Converter V to I



Gambar 13. Sampel lemak



Gambar 14. Penyaringan lemak



Gambar 15. Pengukuran impedansi

Lampiran 2 Data Hasil Pengukuran Impedansi Listrik Lemak Murni

Tabel 1. Data pengukuran impedansi lemak sapi 100%

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
1	0,00001	0,037	0,019	185,250
2	0,00001	0,042	0,021	212,167
3	0,00001	0,044	0,022	217,767
4	0,00001	0,039	0,020	196,383
5	0,00001	0,042	0,021	208,300
6	0,00001	0,046	0,023	228,000
7	0,00001	0,043	0,022	217,017
8	0,00001	0,045	0,023	227,467
9	0,00001	0,048	0,024	240,783
10	0,00001	0,041	0,021	206,383
20	0,00001	0,046	0,023	229,933
30	0,00001	0,047	0,023	232,567
40	0,00001	0,052	0,026	261,367
50	0,00001	0,048	0,024	238,517
60	0,00001	0,056	0,028	282,383
70	0,00001	0,055	0,028	275,317
80	0,00001	0,057	0,028	284,133
90	0,00001	0,055	0,028	277,100
100	0,00001	0,049	0,024	244,233
200	0,00001	0,057	0,028	282,617
300	0,00001	0,057	0,029	286,983
400	0,00001	0,058	0,029	292,217
500	0,00001	0,058	0,029	289,600
600	0,00001	0,058	0,029	288,733
700	0,00001	0,057	0,029	286,983
800	0,00001	0,056	0,028	278,267
900	0,00001	0,057	0,029	285,250
1000	0,00001	0,053	0,027	265,167
2000	0,00001	0,042	0,021	207,600
3000	0,00001	0,040	0,020	198,900
4000	0,00001	0,039	0,019	193,667
5000	0,00001	0,032	0,016	157,717
6000	0,00001	0,027	0,014	137,467
7000	0,00001	0,022	0,011	112,333
8000	0,00001	0,024	0,012	117,933

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
9000	0,00001	0,022	0,011	108,150
10000	0,00001	0,019	0,010	96,467
20000	0,00001	0,012	0,006	58,283
30000	0,00001	0,010	0,005	51,830
40000	0,00001	0,009	0,004	44,143
50000	0,00001	0,007	0,004	36,290
60000	0,00001	0,007	0,004	35,238
70000	0,00001	0,007	0,003	34,895
80000	0,00001	0,006	0,003	30,010
90000	0,00001	0,007	0,004	36,113
100000	0,00001	0,006	0,003	28,437
200000	0,00001	0,005	0,003	27,392
300000	0,00001	0,005	0,002	22,508
400000	0,00001	0,004	0,002	22,333
500000	0,00001	0,005	0,002	23,207
600000	0,00001	0,005	0,002	22,847
700000	0,00001	0,005	0,002	22,858
800000	0,00001	0,005	0,003	26,518
900000	0,00001	0,004	0,002	21,635
1000000	0,00001	0,005	0,002	23,890
2000000	0,00001	0,004	0,002	21,812

Tabel 2. Data pengukuran impedansi lemak babi 100%

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
1	0,00001	0,072	0,036	358,583
2	0,00001	0,069	0,034	344,900
3	0,00001	0,077	0,038	384,150
4	0,00001	0,075	0,037	373,583
5	0,00001	0,074	0,037	370,283
6	0,00001	0,079	0,039	392,700
7	0,00001	0,078	0,039	389,050
8	0,00001	0,079	0,039	392,600
9	0,00001	0,081	0,040	404,733
10	0,00001	0,074	0,037	370,700
20	0,00001	0,081	0,041	405,600
30	0,00001	0,082	0,041	411,767
40	0,00001	0,087	0,044	437,033
50	0,00001	0,076	0,038	381,417
60	0,00001	0,089	0,044	444,800
70	0,00001	0,090	0,045	448,300
80	0,00001	0,091	0,045	452,733
90	0,00001	0,089	0,045	445,817
100	0,00001	0,081	0,040	402,967
200	0,00001	0,092	0,046	458,817
300	0,00001	0,094	0,047	468,367
400	0,00001	0,093	0,047	465,817
500	0,00001	0,094	0,047	469,150
600	0,00001	0,095	0,047	474,483
700	0,00001	0,090	0,045	448,317
800	0,00001	0,090	0,045	451,817
900	0,00001	0,087	0,043	434,450
1000	0,00001	0,088	0,044	438,800
2000	0,00001	0,057	0,028	284,350
3000	0,00001	0,064	0,032	321,000
4000	0,00001	0,055	0,027	273,033
5000	0,00001	0,051	0,025	254,700
6000	0,00001	0,036	0,018	179,700
7000	0,00001	0,032	0,016	158,767
8000	0,00001	0,031	0,015	153,700
9000	0,00001	0,024	0,012	121,267
10000	0,00001	0,025	0,012	124,383

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
20000	0,00001	0,018	0,009	87,750
30000	0,00001	0,015	0,007	73,275
40000	0,00001	0,013	0,007	66,635
50000	0,00001	0,012	0,006	58,785
60000	0,00001	0,011	0,005	53,392
70000	0,00001	0,009	0,004	43,962
80000	0,00001	0,009	0,004	42,915
90000	0,00001	0,010	0,005	48,847
100000	0,00001	0,009	0,004	44,663
200000	0,00001	0,008	0,004	37,672
300000	0,00001	0,008	0,004	40,120
400000	0,00001	0,007	0,004	36,280
500000	0,00001	0,007	0,004	35,943
600000	0,00001	0,007	0,003	34,533
700000	0,00001	0,007	0,004	35,757
800000	0,00001	0,007	0,004	35,595
900000	0,00001	0,007	0,003	34,895
1000000	0,00001	0,007	0,004	36,463
2000000	0,00001	0,007	0,003	34,883

Tabel 3. Data pengukuran impedansi lemak ayam 100%

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
1	0,00001	0,095	0,047	473,717
2	0,00001	0,092	0,046	457,900
3	0,00001	0,098	0,049	491,900
4	0,00001	0,095	0,047	473,583
5	0,00001	0,097	0,048	484,050
6	0,00001	0,099	0,049	492,767
7	0,00001	0,098	0,049	489,367
8	0,00001	0,100	0,050	499,833
9	0,00001	0,099	0,049	494,600
10	0,00001	0,091	0,045	453,500
20	0,00001	0,097	0,049	485,933
30	0,00001	0,103	0,051	512,833
40	0,00001	0,106	0,053	529,400
50	0,00001	0,095	0,047	474,450
60	0,00001	0,111	0,055	552,983
70	0,00001	0,115	0,058	576,850
80	0,00001	0,113	0,057	566,883
90	0,00001	0,114	0,057	572,133
100	0,00001	0,104	0,052	519,917
200	0,00001	0,114	0,057	572,117
300	0,00001	0,116	0,058	578,400
400	0,00001	0,116	0,058	579,283
500	0,00001	0,115	0,057	574,867
600	0,00001	0,112	0,056	559,200
700	0,00001	0,104	0,052	519,017
800	0,00001	0,105	0,053	525,967
900	0,00001	0,115	0,058	577,483
1000	0,00001	0,094	0,047	471,833
2000	0,00001	0,080	0,040	397,817
3000	0,00001	0,071	0,035	353,300
4000	0,00001	0,051	0,026	256,467
5000	0,00001	0,073	0,037	366,283
6000	0,00001	0,042	0,021	211,983
7000	0,00001	0,032	0,016	162,250
8000	0,00001	0,030	0,015	150,900
9000	0,00001	0,024	0,012	121,250
10000	0,00001	0,023	0,012	116,017

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
20000	0,00001	0,014	0,007	71,518
30000	0,00001	0,019	0,009	93,323
40000	0,00001	0,011	0,005	54,088
50000	0,00001	0,009	0,005	45,372
60000	0,00001	0,007	0,003	34,022
70000	0,00001	0,009	0,005	46,232
80000	0,00001	0,008	0,004	41,862
90000	0,00001	0,006	0,003	30,532
100000	0,00001	0,006	0,003	28,612
200000	0,00001	0,006	0,003	28,787
300000	0,00001	0,004	0,002	21,108
400000	0,00001	0,004	0,002	19,190
500000	0,00001	0,004	0,002	18,667
600000	0,00001	0,004	0,002	18,142
700000	0,00001	0,004	0,002	17,797
800000	0,00001	0,003	0,002	16,923
900000	0,00001	0,003	0,002	16,923
1000000	0,00001	0,004	0,002	17,793
2000000	0,00001	0,004	0,002	17,797



Lampiran 3 Data Pengukuran Impedansi Campuran Lemak Babi Pada Lemak Sapi

Tabel 1. Data pengukuran impedansi campuran lemak babi 15%

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
1	0,00001	0,081	0,040	402,950	0,078	0,039	391,433
2	0,00001	0,080	0,040	401,783	0,074	0,037	370,550
3	0,00001	0,080	0,040	400,883	0,081	0,041	406,467
4	0,00001	0,085	0,042	423,033	0,080	0,040	399,467
5	0,00001	0,081	0,040	403,850	0,079	0,039	392,650
6	0,00001	0,086	0,043	429,217	0,081	0,041	406,683
7	0,00001	0,085	0,042	423,850	0,081	0,041	407,300
8	0,00001	0,089	0,044	444,050	0,082	0,041	408,350
9	0,00001	0,089	0,045	446,550	0,082	0,041	410,683
10	0,00001	0,086	0,043	430,967	0,073	0,036	362,700
20	0,00001	0,088	0,044	440,583	0,081	0,040	403,867
30	0,00001	0,090	0,045	448,400	0,084	0,042	422,267
40	0,00001	0,091	0,046	456,217	0,086	0,043	431,767
50	0,00001	0,081	0,040	404,933	0,084	0,042	418,700
60	0,00001	0,096	0,048	478,850	0,089	0,044	443,200
70	0,00001	0,096	0,048	480,683	0,089	0,045	445,733
80	0,00001	0,097	0,049	485,833	0,089	0,045	446,683
90	0,00001	0,098	0,049	491,183	0,090	0,045	449,300
100	0,00001	0,087	0,043	432,717	0,084	0,042	417,800
200	0,00001	0,096	0,048	480,617	0,090	0,045	447,517
300	0,00001	0,100	0,050	498,967	0,093	0,046	464,017
400	0,00001	0,102	0,051	507,800	0,091	0,046	457,150
500	0,00001	0,101	0,051	505,017	0,090	0,045	451,017
600	0,00001	0,101	0,051	506,683	0,089	0,044	443,167
700	0,00001	0,095	0,047	472,800	0,089	0,044	444,833
800	0,00001	0,076	0,038	380,617	0,068	0,034	339,317
900	0,00001	0,092	0,046	462,400	0,081	0,041	405,567
1000	0,00001	0,095	0,048	475,383	0,065	0,033	325,350
2000	0,00001	0,076	0,038	377,683	0,047	0,024	237,250
3000	0,00001	0,085	0,043	427,333	0,065	0,033	325,350
4000	0,00001	0,040	0,020	199,750	0,041	0,021	206,733
5000	0,00001	0,042	0,021	208,467	0,054	0,027	268,667
6000	0,00001	0,041	0,020	204,983	0,052	0,026	260,817
7000	0,00001	0,039	0,020	195,383	0,032	0,016	157,883

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
8000	0,00001	0,029	0,015	145,667	0,030	0,015	149,500
9000	0,00001	0,031	0,015	153,517	0,026	0,013	130,833
10000	0,00001	0,024	0,012	120,383	0,024	0,012	117,767
20000	0,00001	0,021	0,011	105,533	0,017	0,008	82,850
30000	0,00001	0,014	0,007	70,483	0,014	0,007	71,007
40000	0,00001	0,017	0,008	84,607	0,012	0,006	59,667
50000	0,00001	0,015	0,007	73,100	0,009	0,005	47,288
60000	0,00001	0,009	0,005	45,585	0,011	0,006	56,173
70000	0,00001	0,011	0,005	54,068	0,009	0,005	47,103
80000	0,00001	0,008	0,004	42,380	0,010	0,005	49,373
90000	0,00001	0,007	0,004	35,072	0,010	0,005	49,022
100000	0,00001	0,007	0,004	36,290	0,009	0,005	45,358
200000	0,00001	0,007	0,004	36,457	0,007	0,004	36,987
300000	0,00001	0,006	0,003	28,260	0,008	0,004	39,960
400000	0,00001	0,006	0,003	29,477	0,008	0,004	38,560
500000	0,00001	0,006	0,003	29,308	0,008	0,004	39,432
600000	0,00001	0,005	0,003	25,820	0,008	0,004	40,993
700000	0,00001	0,005	0,003	26,518	0,008	0,004	42,225
800000	0,00001	0,005	0,003	25,223	0,008	0,004	41,873
900000	0,00001	0,005	0,003	26,170	0,008	0,004	40,473
1000000	0,00001	0,005	0,002	24,947	0,007	0,004	36,818
2000000	0,00001	0,005	0,003	25,295	0,009	0,004	43,618

Tabel 2. Data pengukuran impedansi campuran lemak babi 10%

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
1	0,00001	0,077	0,038	384,633	0,079	0,039	393,933
2	0,00001	0,076	0,038	381,217	0,078	0,039	388,700
3	0,00001	0,083	0,041	413,467	0,082	0,041	409,150
4	0,00001	0,081	0,041	407,333	0,081	0,040	403,917
5	0,00001	0,080	0,040	400,433	0,079	0,039	393,350
6	0,00001	0,084	0,042	419,633	0,083	0,042	415,150
7	0,00001	0,086	0,043	430,117	0,085	0,042	423,000
8	0,00001	0,087	0,043	434,417	0,085	0,043	426,483
9	0,00001	0,087	0,044	435,200	0,084	0,042	417,850
10	0,00001	0,074	0,037	372,483	0,070	0,035	351,550
20	0,00001	0,084	0,042	417,800	0,082	0,041	411,733
30	0,00001	0,081	0,040	404,767	0,085	0,043	427,417
40	0,00001	0,089	0,044	443,133	0,087	0,044	436,150
50	0,00001	0,087	0,043	433,500	0,080	0,040	402,383
60	0,00001	0,092	0,046	459,683	0,090	0,045	449,233
70	0,00001	0,094	0,047	467,533	0,091	0,046	456,283
80	0,00001	0,095	0,048	476,217	0,093	0,046	463,983
90	0,00001	0,099	0,049	492,833	0,092	0,046	460,567
100	0,00001	0,087	0,043	432,650	0,081	0,041	407,367
200	0,00001	0,094	0,047	471,833	0,092	0,046	459,767
300	0,00001	0,099	0,050	495,350	0,092	0,046	459,683
400	0,00001	0,098	0,049	492,033	0,093	0,046	464,133
500	0,00001	0,083	0,042	415,183	0,091	0,046	457,067
600	0,00001	0,094	0,047	470,150	0,090	0,045	450,950
700	0,00001	0,081	0,040	403,050	0,089	0,044	444,850
800	0,00001	0,072	0,036	361,133	0,090	0,045	447,550
900	0,00001	0,083	0,041	412,633	0,081	0,041	407,317
1000	0,00001	0,088	0,044	442,233	0,083	0,042	416,033
2000	0,00001	0,064	0,032	320,133	0,078	0,039	390,833
3000	0,00001	0,064	0,032	320,133	0,060	0,030	301,817
4000	0,00001	0,057	0,028	282,617	0,055	0,028	276,517
5000	0,00001	0,032	0,016	160,483	0,035	0,018	177,083
6000	0,00001	0,041	0,020	203,233	0,033	0,017	167,483
7000	0,00001	0,036	0,018	181,433	0,031	0,015	154,400
8000	0,00001	0,028	0,014	141,317	0,032	0,016	158,750



Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
9000	0,00001	0,032	0,016	162,233	0,022	0,011	109,033
10000	0,00001	0,025	0,013	125,600	0,021	0,010	102,933
20000	0,00001	0,021	0,011	107,300	0,016	0,008	82,000
30000	0,00001	0,017	0,008	82,700	0,012	0,006	57,835
40000	0,00001	0,013	0,007	65,067	0,010	0,005	47,628
50000	0,00001	0,011	0,005	53,385	0,007	0,004	36,463
60000	0,00001	0,010	0,005	47,637	0,008	0,004	37,683
70000	0,00001	0,009	0,004	44,315	0,007	0,003	32,627
80000	0,00001	0,008	0,004	40,477	0,007	0,003	34,195
90000	0,00001	0,009	0,005	45,187	0,006	0,003	31,747
100000	0,00001	0,007	0,004	37,157	0,006	0,003	29,657
200000	0,00001	0,007	0,003	33,853	0,005	0,002	23,028
300000	0,00001	0,006	0,003	31,918	0,004	0,002	21,285
400000	0,00001	0,006	0,003	32,107	0,004	0,002	20,603
500000	0,00001	0,006	0,003	30,188	0,004	0,002	21,982
600000	0,00001	0,006	0,003	30,885	0,004	0,002	21,638
700000	0,00001	0,005	0,003	27,218	0,004	0,002	20,935
800000	0,00001	0,006	0,003	30,713	0,005	0,002	23,033
900000	0,00001	0,006	0,003	28,788	0,004	0,002	20,760
1000000	0,00001	0,006	0,003	28,963	0,004	0,002	19,540
2000000	0,00001	0,006	0,003	28,087	0,004	0,002	20,587

Tabel 3. Data pengukuran impedansi campuran lemak babi 5%

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
1	0,00001	0,064	0,032	318,383	0,084	0,042	420,850
2	0,00001	0,066	0,033	328,500	0,085	0,042	422,767
3	0,00001	0,069	0,034	344,567	0,085	0,042	423,783
4	0,00001	0,071	0,036	356,767	0,085	0,042	423,867
5	0,00001	0,066	0,033	332,367	0,086	0,043	429,083
6	0,00001	0,068	0,034	338,450	0,089	0,044	443,117
7	0,00001	0,074	0,037	368,983	0,088	0,044	439,633
8	0,00001	0,074	0,037	368,100	0,092	0,046	462,283
9	0,00001	0,073	0,036	364,617	0,092	0,046	460,533
10	0,00001	0,072	0,036	362,000	0,080	0,040	400,367
20	0,00001	0,073	0,037	365,483	0,086	0,043	430,033
30	0,00001	0,076	0,038	381,183	0,088	0,044	438,750
40	0,00001	0,076	0,038	381,183	0,092	0,046	458,033
50	0,00001	0,062	0,031	309,133	0,064	0,032	318,300
60	0,00001	0,081	0,041	407,317	0,094	0,047	467,517
70	0,00001	0,085	0,042	424,767	0,094	0,047	470,133
80	0,00001	0,084	0,042	418,750	0,094	0,047	468,383
90	0,00001	0,086	0,043	428,267	0,096	0,048	478,867
100	0,00001	0,075	0,038	375,967	0,088	0,044	438,717
200	0,00001	0,084	0,042	418,733	0,093	0,047	465,817
300	0,00001	0,085	0,043	425,733	0,094	0,047	471,850
400	0,00001	0,086	0,043	430,033	0,094	0,047	468,350
500	0,00001	0,087	0,043	433,617	0,096	0,048	480,583
600	0,00001	0,079	0,040	396,967	0,096	0,048	478,050
700	0,00001	0,069	0,035	346,300	0,092	0,046	461,483
800	0,00001	0,076	0,038	380,317	0,089	0,045	447,450
900	0,00001	0,073	0,037	367,233	0,078	0,039	392,467
1000	0,00001	0,084	0,042	421,283	0,072	0,036	361,067
2000	0,00001	0,065	0,033	326,233	0,084	0,042	420,450
3000	0,00001	0,044	0,022	219,817	0,073	0,037	365,567
4000	0,00001	0,049	0,025	246,850	0,068	0,034	341,133
5000	0,00001	0,037	0,019	185,800	0,036	0,018	182,317
6000	0,00001	0,037	0,018	184,050	0,038	0,019	187,550
7000	0,00001	0,030	0,015	149,167	0,031	0,015	154,383
8000	0,00001	0,023	0,012	115,150	0,031	0,015	152,650



Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
9000	0,00001	0,025	0,012	123,867	0,027	0,013	133,117
10000	0,00001	0,021	0,011	105,717	0,026	0,013	130,850
20000	0,00001	0,015	0,007	74,667	0,015	0,007	74,333
30000	0,00001	0,012	0,006	58,967	0,014	0,007	67,857
40000	0,00001	0,011	0,006	55,833	0,011	0,005	53,913
50000	0,00001	0,009	0,005	46,580	0,008	0,004	40,653
60000	0,00001	0,007	0,004	37,158	0,008	0,004	38,207
70000	0,00001	0,007	0,003	34,722	0,008	0,004	39,072
80000	0,00001	0,007	0,004	35,765	0,007	0,003	33,323
90000	0,00001	0,007	0,003	34,022	0,007	0,003	33,843
100000	0,00001	0,007	0,003	34,372	0,007	0,003	33,148
200000	0,00001	0,006	0,003	27,910	0,005	0,003	25,123
300000	0,00001	0,006	0,003	27,910	0,005	0,002	23,725
400000	0,00001	0,005	0,002	24,425	0,005	0,002	24,425
500000	0,00001	0,005	0,002	23,722	0,005	0,002	24,425
600000	0,00001	0,005	0,002	24,073	0,005	0,002	23,027
700000	0,00001	0,005	0,002	23,200	0,005	0,002	22,680
800000	0,00001	0,004	0,002	21,983	0,005	0,002	22,680
900000	0,00001	0,005	0,002	23,898	0,005	0,002	22,678
1000000	0,00001	0,005	0,002	23,032	0,004	0,002	22,155
2000000	0,00001	0,005	0,002	24,597	0,004	0,002	21,810

Tabel 4. Data pengukuran impedansi campuran lemak babi 4,5%

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
1	0,00001	0,064	0,032	319,433	0,083	0,041	414,383
2	0,00001	0,067	0,033	334,083	0,079	0,040	395,183
3	0,00001	0,068	0,034	341,933	0,089	0,044	443,150
4	0,00001	0,067	0,033	334,083	0,085	0,043	425,700
5	0,00001	0,066	0,033	330,250	0,085	0,043	426,550
6	0,00001	0,068	0,034	340,200	0,090	0,045	449,317
7	0,00001	0,069	0,035	346,300	0,089	0,045	445,733
8	0,00001	0,071	0,036	355,033	0,087	0,044	436,100
9	0,00001	0,068	0,034	341,933	0,087	0,044	435,217
10	0,00001	0,059	0,029	293,967	0,080	0,040	399,533
20	0,00001	0,065	0,032	323,617	0,083	0,041	414,333
30	0,00001	0,073	0,037	365,400	0,088	0,044	437,900
40	0,00001	0,071	0,036	355,900	0,091	0,045	454,400
50	0,00001	0,065	0,033	326,250	0,072	0,036	360,617
60	0,00001	0,075	0,037	374,217	0,093	0,047	465,733
70	0,00001	0,077	0,038	383,800	0,094	0,047	471,050
80	0,00001	0,078	0,039	389,033	0,096	0,048	478,817
90	0,00001	0,078	0,039	391,650	0,095	0,047	473,583
100	0,00001	0,069	0,034	344,550	0,082	0,041	409,100
200	0,00001	0,076	0,038	379,450	0,095	0,048	475,333
300	0,00001	0,079	0,040	396,883	0,095	0,047	473,633
400	0,00001	0,080	0,040	399,500	0,096	0,048	478,100
500	0,00001	0,081	0,040	403,000	0,095	0,047	474,450
600	0,00001	0,081	0,041	405,617	0,091	0,045	453,550
700	0,00001	0,080	0,040	402,117	0,087	0,043	434,467
800	0,00001	0,080	0,040	401,250	0,090	0,045	449,267
900	0,00001	0,078	0,039	389,917	0,066	0,033	331,450
1000	0,00001	0,073	0,037	365,500	0,085	0,043	427,383
2000	0,00001	0,068	0,034	340,183	0,077	0,038	382,883
3000	0,00001	0,048	0,024	239,883	0,054	0,027	268,650
4000	0,00001	0,034	0,017	169,233	0,052	0,026	261,700
5000	0,00001	0,029	0,015	145,683	0,044	0,022	218,533
6000	0,00001	0,032	0,016	159,817	0,039	0,019	193,667
7000	0,00001	0,023	0,012	116,717	0,024	0,012	118,633
8000	0,00001	0,025	0,012	124,733	0,021	0,011	107,283



Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
9000	0,00001	0,026	0,013	130,850	0,023	0,012	116,017
10000	0,00001	0,017	0,009	86,367	0,018	0,009	90,717
20000	0,00001	0,017	0,009	85,833	0,016	0,008	82,333
30000	0,00001	0,010	0,005	48,673	0,012	0,006	59,150
40000	0,00001	0,010	0,005	51,458	0,012	0,006	61,587
50000	0,00001	0,007	0,004	37,157	0,006	0,003	32,450
60000	0,00001	0,008	0,004	38,035	0,006	0,003	29,485
70000	0,00001	0,006	0,003	31,578	0,006	0,003	32,275
80000	0,00001	0,006	0,003	30,005	0,005	0,003	25,995
90000	0,00001	0,006	0,003	31,222	0,005	0,002	24,250
100000	0,00001	0,006	0,003	30,877	0,005	0,002	24,427
200000	0,00001	0,005	0,002	24,075	0,004	0,002	21,112
300000	0,00001	0,005	0,002	24,075	0,003	0,002	16,223
400000	0,00001	0,005	0,002	23,900	0,003	0,002	15,702
500000	0,00001	0,004	0,002	20,938	0,003	0,002	15,000
600000	0,00001	0,004	0,002	20,587	0,003	0,001	14,305
700000	0,00001	0,004	0,002	22,158	0,003	0,001	14,305
800000	0,00001	0,004	0,002	22,153	0,003	0,002	15,003
900000	0,00001	0,004	0,002	20,583	0,003	0,002	15,003
1000000	0,00001	0,005	0,002	22,855	0,003	0,002	17,093
2000000	0,00001	0,005	0,002	22,853	0,003	0,002	15,003

Tabel 5. Data pengukuran impedansi campuran lemak babi 4%

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
1	0,00001	0,056	0,028	280,517	0,082	0,041	411,800
2	0,00001	0,060	0,030	299,717	0,082	0,041	408,300
3	0,00001	0,060	0,030	300,067	0,088	0,044	437,933
4	0,00001	0,059	0,030	295,900	0,088	0,044	438,717
5	0,00001	0,061	0,030	302,517	0,085	0,043	426,600
6	0,00001	0,062	0,031	308,967	0,086	0,043	430,067
7	0,00001	0,062	0,031	308,967	0,092	0,046	458,867
8	0,00001	0,063	0,032	316,300	0,091	0,045	454,500
9	0,00001	0,066	0,033	328,333	0,091	0,046	455,283
10	0,00001	0,057	0,029	287,150	0,084	0,042	417,767
20	0,00001	0,059	0,030	297,467	0,088	0,044	437,817
30	0,00001	0,060	0,030	301,800	0,095	0,048	476,300
40	0,00001	0,067	0,033	334,083	0,094	0,047	471,850
50	0,00001	0,068	0,034	338,267	0,089	0,045	445,750
60	0,00001	0,072	0,036	361,133	0,096	0,048	482,400
70	0,00001	0,074	0,037	371,600	0,097	0,049	485,017
80	0,00001	0,075	0,037	374,217	0,098	0,049	491,117
90	0,00001	0,076	0,038	382,067	0,099	0,050	497,217
100	0,00001	0,067	0,033	334,967	0,083	0,041	414,333
200	0,00001	0,075	0,038	375,950	0,097	0,049	486,767
300	0,00001	0,079	0,040	396,017	0,097	0,049	485,950
400	0,00001	0,079	0,039	393,400	0,097	0,049	486,817
500	0,00001	0,080	0,040	398,650	0,097	0,048	483,333
600	0,00001	0,079	0,040	396,017	0,097	0,048	484,133
700	0,00001	0,079	0,040	395,150	0,096	0,048	480,550
800	0,00001	0,066	0,033	328,833	0,095	0,048	476,350
900	0,00001	0,064	0,032	319,250	0,084	0,042	418,717
1000	0,00001	0,062	0,031	312,283	0,083	0,041	413,400
2000	0,00001	0,053	0,026	264,300	0,084	0,042	419,533
3000	0,00001	0,046	0,023	232,033	0,047	0,024	237,250
4000	0,00001	0,036	0,018	179,700	0,049	0,025	245,117
5000	0,00001	0,038	0,019	191,900	0,042	0,021	209,350
6000	0,00001	0,031	0,016	156,133	0,039	0,020	196,267
7000	0,00001	0,030	0,015	151,083	0,032	0,016	162,250
8000	0,00001	0,026	0,013	127,717	0,033	0,016	163,117



Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
9000	0,00001	0,026	0,013	128,383	0,023	0,011	113,400
10000	0,00001	0,022	0,011	111,133	0,025	0,013	127,350
20000	0,00001	0,016	0,008	78,157	0,016	0,008	78,517
30000	0,00001	0,011	0,006	56,868	0,013	0,006	62,802
40000	0,00001	0,010	0,005	49,902	0,009	0,004	42,753
50000	0,00001	0,009	0,005	46,230	0,006	0,003	31,405
60000	0,00001	0,009	0,004	42,748	0,007	0,004	35,768
70000	0,00001	0,008	0,004	42,383	0,008	0,004	41,875
80000	0,00001	0,008	0,004	41,165	0,006	0,003	29,832
90000	0,00001	0,009	0,004	42,755	0,006	0,003	28,613
100000	0,00001	0,008	0,004	41,703	0,005	0,003	25,297
200000	0,00001	0,007	0,004	35,592	0,005	0,002	22,853
300000	0,00001	0,006	0,003	32,100	0,004	0,002	21,030
400000	0,00001	0,007	0,003	32,618	0,004	0,002	19,888
500000	0,00001	0,006	0,003	31,228	0,004	0,002	17,795
600000	0,00001	0,006	0,003	28,960	0,003	0,002	16,223
700000	0,00001	0,006	0,003	31,920	0,003	0,002	15,700
800000	0,00001	0,006	0,003	31,750	0,003	0,001	14,482
900000	0,00001	0,006	0,003	29,658	0,003	0,001	14,828
1000000	0,00001	0,006	0,003	31,055	0,003	0,002	16,225
2000000	0,00001	0,006	0,003	32,273	0,003	0,002	16,750

Tabel 6. Data pengukuran impedansi campuran lemak babi 3,5%

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
1	0,00001	0,063	0,031	314,017	0,097	0,049	485,000
2	0,00001	0,066	0,033	328,667	0,095	0,048	477,217
3	0,00001	0,068	0,034	341,950	0,097	0,048	484,967
4	0,00001	0,067	0,033	334,250	0,095	0,047	473,700
5	0,00001	0,068	0,034	340,717	0,094	0,047	471,083
6	0,00001	0,068	0,034	342,067	0,098	0,049	490,267
7	0,00001	0,072	0,036	360,083	0,099	0,050	496,283
8	0,00001	0,070	0,035	347,517	0,098	0,049	491,133
9	0,00001	0,069	0,035	346,467	0,100	0,050	498,100
10	0,00001	0,067	0,033	333,733	0,088	0,044	437,817
20	0,00001	0,071	0,036	356,950	0,095	0,047	473,667
30	0,00001	0,071	0,036	355,917	0,096	0,048	479,767
40	0,00001	0,077	0,039	386,467	0,101	0,050	504,983
50	0,00001	0,065	0,032	323,800	0,101	0,051	505,067
60	0,00001	0,081	0,041	405,583	0,105	0,052	523,317
70	0,00001	0,082	0,041	409,067	0,104	0,052	520,783
80	0,00001	0,084	0,042	417,817	0,106	0,053	528,550
90	0,00001	0,083	0,042	415,183	0,109	0,055	546,883
100	0,00001	0,074	0,037	368,100	0,096	0,048	477,950
200	0,00001	0,081	0,041	407,333	0,105	0,052	522,583
300	0,00001	0,086	0,043	428,283	0,109	0,055	545,133
400	0,00001	0,087	0,043	433,600	0,109	0,054	544,250
500	0,00001	0,072	0,036	359,383	0,110	0,055	551,233
600	0,00001	0,073	0,037	365,483	0,104	0,052	522,450
700	0,00001	0,085	0,043	425,650	0,087	0,044	435,217
800	0,00001	0,085	0,042	423,033	0,091	0,046	457,017
900	0,00001	0,074	0,037	368,967	0,094	0,047	471,033
1000	0,00001	0,071	0,036	356,767	0,077	0,039	386,417
2000	0,00001	0,060	0,030	300,933	0,061	0,031	306,167
3000	0,00001	0,057	0,028	284,367	0,057	0,028	284,350
4000	0,00001	0,049	0,024	242,517	0,051	0,025	253,850
5000	0,00001	0,051	0,026	257,317	0,038	0,019	191,900
6000	0,00001	0,035	0,017	173,583	0,030	0,015	151,783
7000	0,00001	0,035	0,017	172,717	0,037	0,019	186,667
8000	0,00001	0,030	0,015	149,167	0,027	0,014	135,217



Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
9000	0,00001	0,030	0,015	151,767	0,030	0,015	149,167
10000	0,00001	0,032	0,016	160,500	0,032	0,016	159,633
20000	0,00001	0,033	0,016	163,117	0,012	0,006	60,190
30000	0,00001	0,021	0,010	102,917	0,012	0,006	61,950
40000	0,00001	0,017	0,009	86,355	0,012	0,006	61,940
50000	0,00001	0,017	0,008	84,612	0,009	0,005	46,220
60000	0,00001	0,017	0,008	82,875	0,010	0,005	52,342
70000	0,00001	0,020	0,010	100,305	0,009	0,005	47,103
80000	0,00001	0,020	0,010	100,308	0,007	0,003	33,153
90000	0,00001	0,018	0,009	92,470	0,006	0,003	28,790
100000	0,00001	0,015	0,008	75,895	0,005	0,003	27,043
200000	0,00001	0,012	0,006	57,572	0,004	0,002	20,938
300000	0,00001	0,009	0,005	46,052	0,004	0,002	19,195
400000	0,00001	0,009	0,005	45,358	0,003	0,002	17,447
500000	0,00001	0,009	0,004	42,575	0,003	0,002	16,577
600000	0,00001	0,009	0,004	42,745	0,003	0,002	16,573
700000	0,00001	0,009	0,004	43,447	0,003	0,002	16,568
800000	0,00001	0,007	0,004	35,597	0,003	0,002	16,397
900000	0,00001	0,007	0,003	34,365	0,003	0,002	17,450
1000000	0,00001	0,007	0,004	36,633	0,004	0,002	18,192
2000000	0,00001	0,008	0,004	40,123	0,003	0,002	15,698

Tabel 7. Data pengukuran impedansi campuran lemak babi 3%

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
1	0,00001	0,063	0,031	314,900	0,096	0,048	479,750
2	0,00001	0,061	0,031	306,883	0,098	0,049	491,017
3	0,00001	0,067	0,034	337,233	0,100	0,050	501,517
4	0,00001	0,070	0,035	347,700	0,098	0,049	488,517
5	0,00001	0,072	0,036	360,083	0,098	0,049	490,167
6	0,00001	0,071	0,036	357,117	0,099	0,049	494,650
7	0,00001	0,075	0,038	375,467	0,100	0,050	502,417
8	0,00001	0,072	0,036	362,117	0,101	0,051	506,000
9	0,00001	0,072	0,036	361,600	0,103	0,051	513,767
10	0,00001	0,067	0,034	335,300	0,092	0,046	458,867
20	0,00001	0,075	0,037	373,733	0,096	0,048	477,983
30	0,00001	0,080	0,040	399,550	0,090	0,045	450,150
40	0,00001	0,079	0,039	394,300	0,102	0,051	508,617
50	0,00001	0,069	0,035	346,300	0,089	0,045	446,633
60	0,00001	0,081	0,041	407,417	0,101	0,051	505,967
70	0,00001	0,083	0,041	413,367	0,103	0,051	512,933
80	0,00001	0,083	0,042	416,933	0,103	0,051	512,867
90	0,00001	0,084	0,042	419,550	0,102	0,051	512,067
100	0,00001	0,077	0,039	385,550	0,090	0,045	449,283
200	0,00001	0,084	0,042	417,817	0,101	0,050	504,217
300	0,00001	0,087	0,043	432,683	0,103	0,051	514,600
400	0,00001	0,087	0,043	433,650	0,103	0,052	516,333
500	0,00001	0,087	0,044	436,100	0,103	0,052	517,217
600	0,00001	0,075	0,037	374,283	0,104	0,052	518,100
700	0,00001	0,072	0,036	359,350	0,101	0,050	504,117
800	0,00001	0,079	0,039	392,567	0,097	0,049	486,750
900	0,00001	0,080	0,040	401,283	0,098	0,049	491,917
1000	0,00001	0,080	0,040	397,733	0,091	0,046	455,383
2000	0,00001	0,081	0,040	403,050	0,062	0,031	309,633
3000	0,00001	0,053	0,026	264,467	0,077	0,039	385,583
4000	0,00001	0,036	0,018	179,000	0,037	0,019	186,683
5000	0,00001	0,032	0,016	161,200	0,046	0,023	229,417
6000	0,00001	0,031	0,015	152,650	0,027	0,013	134,233
7000	0,00001	0,031	0,015	152,983	0,030	0,015	148,283
8000	0,00001	0,020	0,010	100,133	0,024	0,012	117,750



Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
9000	0,00001	0,026	0,013	129,617	0,023	0,011	112,517
10000	0,00001	0,029	0,015	146,367	0,021	0,011	106,433
20000	0,00001	0,020	0,010	100,483	0,015	0,008	75,008
30000	0,00001	0,012	0,006	58,262	0,016	0,008	79,382
40000	0,00001	0,010	0,005	50,960	0,011	0,005	54,087
50000	0,00001	0,008	0,004	38,557	0,011	0,006	55,828
60000	0,00001	0,008	0,004	39,775	0,007	0,004	35,765
70000	0,00001	0,007	0,004	35,413	0,005	0,003	26,163
80000	0,00001	0,007	0,003	34,020	0,004	0,002	21,807
90000	0,00001	0,007	0,004	35,067	0,005	0,002	22,678
100000	0,00001	0,007	0,003	34,197	0,005	0,002	22,675
200000	0,00001	0,005	0,002	24,075	0,004	0,002	20,062
300000	0,00001	0,004	0,002	21,458	0,003	0,002	17,442
400000	0,00001	0,005	0,002	24,075	0,003	0,002	17,445
500000	0,00001	0,005	0,002	22,680	0,003	0,001	13,953
600000	0,00001	0,004	0,002	20,235	0,003	0,001	14,828
700000	0,00001	0,004	0,002	19,888	0,003	0,002	15,707
800000	0,00001	0,004	0,002	19,017	0,003	0,002	15,702
900000	0,00001	0,004	0,002	18,320	0,003	0,001	13,953
1000000	0,00001	0,004	0,002	18,317	0,003	0,002	15,702
2000000	0,00001	0,004	0,002	18,842	0,004	0,002	18,323



Tabel 8. Data pengukuran impedansi campuran lemak babi 2,5%

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
1	0,00001	0,059	0,030	297,283	0,088	0,044	441,367
2	0,00001	0,056	0,028	280,867	0,085	0,042	424,867
3	0,00001	0,063	0,031	313,500	0,093	0,047	465,800
4	0,00001	0,062	0,031	307,567	0,091	0,045	454,450
5	0,00001	0,061	0,031	305,550	0,088	0,044	440,550
6	0,00001	0,064	0,032	319,617	0,094	0,047	469,267
7	0,00001	0,067	0,033	333,917	0,094	0,047	468,467
8	0,00001	0,064	0,032	321,883	0,093	0,046	464,033
9	0,00001	0,063	0,032	315,950	0,095	0,048	477,200
10	0,00001	0,059	0,029	294,150	0,082	0,041	411,683
20	0,00001	0,062	0,031	307,750	0,089	0,044	443,083
30	0,00001	0,063	0,032	315,417	0,095	0,047	474,483
40	0,00001	0,070	0,035	350,483	0,097	0,048	483,233
50	0,00001	0,056	0,028	280,000	0,086	0,043	430,950
60	0,00001	0,073	0,036	362,883	0,100	0,050	501,550
70	0,00001	0,075	0,038	377,350	0,100	0,050	501,567
80	0,00001	0,075	0,038	377,183	0,101	0,050	504,167
90	0,00001	0,075	0,037	373,333	0,101	0,051	505,117
100	0,00001	0,066	0,033	329,717	0,091	0,046	457,050
200	0,00001	0,074	0,037	371,600	0,099	0,049	494,517
300	0,00001	0,078	0,039	388,200	0,102	0,051	510,333
400	0,00001	0,078	0,039	391,683	0,103	0,052	515,567
500	0,00001	0,078	0,039	389,917	0,103	0,052	517,333
600	0,00001	0,076	0,038	382,017	0,102	0,051	510,350
700	0,00001	0,073	0,036	363,767	0,086	0,043	430,917
800	0,00001	0,074	0,037	368,050	0,081	0,041	405,667
900	0,00001	0,072	0,036	360,200	0,080	0,040	400,400
1000	0,00001	0,060	0,030	302,167	0,093	0,046	464,000
2000	0,00001	0,053	0,027	265,000	0,069	0,034	343,683
3000	0,00001	0,055	0,027	274,950	0,060	0,030	298,333
4000	0,00001	0,030	0,015	148,117	0,063	0,032	317,467
5000	0,00001	0,029	0,014	143,750	0,036	0,018	179,700
6000	0,00001	0,029	0,014	142,717	0,029	0,015	147,417
7000	0,00001	0,032	0,016	157,700	0,033	0,017	165,733
8000	0,00001	0,028	0,014	141,300	0,026	0,013	128,217



Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
9000	0,00001	0,023	0,012	116,117	0,026	0,013	131,717
10000	0,00001	0,019	0,009	93,517	0,027	0,013	133,467
20000	0,00001	0,015	0,008	76,600	0,020	0,010	99,452
30000	0,00001	0,011	0,005	54,787	0,011	0,005	53,218
40000	0,00001	0,010	0,005	47,800	0,010	0,005	49,710
50000	0,00001	0,008	0,004	41,172	0,007	0,004	36,637
60000	0,00001	0,008	0,004	41,347	0,007	0,003	34,022
70000	0,00001	0,007	0,003	34,892	0,009	0,004	44,487
80000	0,00001	0,007	0,003	34,022	0,007	0,004	35,768
90000	0,00001	0,007	0,003	34,887	0,006	0,003	30,530
100000	0,00001	0,007	0,003	34,713	0,007	0,003	34,710
200000	0,00001	0,006	0,003	28,090	0,003	0,001	13,957
300000	0,00001	0,005	0,003	27,390	0,003	0,001	13,962
400000	0,00001	0,006	0,003	28,090	0,003	0,001	13,955
500000	0,00001	0,005	0,002	24,422	0,003	0,001	13,082
600000	0,00001	0,005	0,002	24,948	0,003	0,001	14,832
700000	0,00001	0,005	0,002	24,253	0,002	0,001	11,567
800000	0,00001	0,005	0,002	24,597	0,003	0,001	13,958
900000	0,00001	0,005	0,002	24,772	0,002	0,001	11,338
1000000	0,00001	0,005	0,002	23,377	0,002	0,001	11,862
2000000	0,00001	0,005	0,003	26,857	0,002	0,001	9,592

Tabel 9. Data pengukuran impedansi campuran lemak babi 2%

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
1	0,00001	0,046	0,023	227,850	0,094	0,047	471,067
2	0,00001	0,041	0,020	204,633	0,089	0,044	443,983
3	0,00001	0,049	0,024	243,367	0,094	0,047	471,017
4	0,00001	0,046	0,023	231,150	0,092	0,046	458,883
5	0,00001	0,044	0,022	222,143	0,091	0,046	457,117
6	0,00001	0,053	0,026	262,733	0,094	0,047	471,000
7	0,00001	0,052	0,026	259,933	0,094	0,047	467,500
8	0,00001	0,052	0,026	262,033	0,095	0,047	472,817
9	0,00001	0,054	0,027	269,367	0,095	0,048	477,167
10	0,00001	0,045	0,023	226,267	0,089	0,045	445,683
20	0,00001	0,049	0,025	245,800	0,092	0,046	458,750
30	0,00001	0,056	0,028	280,883	0,095	0,047	473,600
40	0,00001	0,058	0,029	292,217	0,098	0,049	491,117
50	0,00001	0,050	0,025	248,250	0,084	0,042	418,700
60	0,00001	0,062	0,031	312,283	0,100	0,050	498,017
70	0,00001	0,062	0,031	308,783	0,103	0,051	513,717
80	0,00001	0,064	0,032	320,133	0,103	0,051	512,933
90	0,00001	0,064	0,032	321,000	0,103	0,051	514,683
100	0,00001	0,058	0,029	291,350	0,091	0,045	454,433
200	0,00001	0,065	0,033	327,100	0,101	0,051	506,000
300	0,00001	0,067	0,034	335,833	0,105	0,052	522,517
400	0,00001	0,068	0,034	338,483	0,103	0,052	516,400
500	0,00001	0,067	0,034	336,633	0,103	0,051	514,733
600	0,00001	0,067	0,033	334,900	0,101	0,051	506,883
700	0,00001	0,066	0,033	332,367	0,097	0,048	483,250
800	0,00001	0,067	0,033	333,233	0,093	0,047	466,667
900	0,00001	0,067	0,033	334,033	0,085	0,043	425,683
1000	0,00001	0,065	0,033	325,367	0,071	0,036	355,900
2000	0,00001	0,060	0,030	301,817	0,065	0,032	324,483
3000	0,00001	0,048	0,024	242,483	0,081	0,040	404,733
4000	0,00001	0,041	0,020	204,117	0,043	0,021	213,717
5000	0,00001	0,036	0,018	178,833	0,048	0,024	239,017
6000	0,00001	0,035	0,017	173,583	0,034	0,017	170,100
7000	0,00001	0,026	0,013	131,367	0,028	0,014	141,317
8000	0,00001	0,029	0,014	144,267	0,035	0,017	172,700



Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
9000	0,00001	0,024	0,012	120,200	0,023	0,011	114,267
10000	0,00001	0,020	0,010	101,883	0,023	0,011	112,517
20000	0,00001	0,014	0,007	71,700	0,021	0,011	106,417
30000	0,00001	0,013	0,007	65,433	0,010	0,005	49,715
40000	0,00001	0,012	0,006	57,922	0,008	0,004	39,252
50000	0,00001	0,012	0,006	58,965	0,007	0,004	35,770
60000	0,00001	0,010	0,005	48,667	0,008	0,004	38,383
70000	0,00001	0,010	0,005	47,635	0,007	0,004	35,763
80000	0,00001	0,008	0,004	42,397	0,006	0,003	31,405
90000	0,00001	0,009	0,004	43,957	0,008	0,004	38,368
100000	0,00001	0,008	0,004	40,650	0,005	0,002	24,428
200000	0,00001	0,008	0,004	37,683	0,003	0,002	16,572
300000	0,00001	0,007	0,003	33,672	0,003	0,002	17,095
400000	0,00001	0,007	0,003	33,618	0,003	0,001	13,955
500000	0,00001	0,006	0,003	31,578	0,003	0,002	16,578
600000	0,00001	0,006	0,003	30,357	0,003	0,001	13,955
700000	0,00001	0,006	0,003	31,053	0,003	0,002	15,177
800000	0,00001	0,006	0,003	31,578	0,003	0,002	15,703
900000	0,00001	0,006	0,003	31,055	0,003	0,002	15,697
1000000	0,00001	0,006	0,003	31,753	0,003	0,001	13,782
2000000	0,00001	0,006	0,003	29,482	0,003	0,001	12,735

Tabel 10. Data pengukuran impedansi campuran lemak babi 1,5%

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
1	0,00001	0,054	0,027	271,283	0,080	0,040	399,483
2	0,00001	0,053	0,026	263,267	0,081	0,040	403,850
3	0,00001	0,058	0,029	288,550	0,088	0,044	439,633
4	0,00001	0,058	0,029	291,517	0,087	0,043	432,733
5	0,00001	0,059	0,030	295,700	0,084	0,042	421,367
6	0,00001	0,063	0,031	313,317	0,088	0,044	441,450
7	0,00001	0,065	0,032	323,617	0,091	0,046	457,133
8	0,00001	0,064	0,032	319,617	0,089	0,045	446,683
9	0,00001	0,065	0,032	323,450	0,094	0,047	468,500
10	0,00001	0,061	0,031	305,317	0,079	0,039	393,433
20	0,00001	0,061	0,030	303,383	0,084	0,042	421,367
30	0,00001	0,067	0,034	336,717	0,090	0,045	450,167
40	0,00001	0,072	0,036	357,633	0,093	0,047	465,767
50	0,00001	0,058	0,029	291,867	0,081	0,041	407,300
60	0,00001	0,075	0,037	374,200	0,097	0,048	484,967
70	0,00001	0,075	0,038	375,950	0,102	0,051	508,567
80	0,00001	0,077	0,038	383,817	0,100	0,050	498,933
90	0,00001	0,078	0,039	390,783	0,098	0,049	492,033
100	0,00001	0,066	0,033	331,467	0,090	0,045	448,383
200	0,00001	0,079	0,039	393,417	0,098	0,049	490,250
300	0,00001	0,080	0,040	399,517	0,101	0,051	505,050
400	0,00001	0,081	0,041	405,617	0,102	0,051	510,383
500	0,00001	0,081	0,040	404,733	0,102	0,051	510,300
600	0,00001	0,081	0,040	403,867	0,099	0,049	494,567
700	0,00001	0,079	0,039	392,533	0,101	0,050	503,233
800	0,00001	0,066	0,033	329,717	0,098	0,049	490,150
900	0,00001	0,071	0,036	355,900	0,091	0,045	452,683
1000	0,00001	0,074	0,037	371,583	0,091	0,046	456,150
2000	0,00001	0,061	0,030	302,700	0,073	0,037	365,517
3000	0,00001	0,059	0,030	295,667	0,053	0,026	263,417
4000	0,00001	0,043	0,021	214,583	0,065	0,033	327,067
5000	0,00001	0,036	0,018	177,967	0,053	0,027	266,917
6000	0,00001	0,039	0,019	193,650	0,036	0,018	182,300
7000	0,00001	0,028	0,014	139,217	0,027	0,013	132,583
8000	0,00001	0,034	0,017	167,650	0,029	0,014	143,050



Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
9000	0,00001	0,024	0,012	120,200	0,027	0,014	136,933
10000	0,00001	0,027	0,013	133,983	0,023	0,012	116,883
20000	0,00001	0,016	0,008	80,950	0,014	0,007	68,043
30000	0,00001	0,013	0,007	67,002	0,013	0,007	65,955
40000	0,00001	0,012	0,006	59,828	0,009	0,005	47,108
50000	0,00001	0,010	0,005	50,407	0,009	0,004	44,408
60000	0,00001	0,011	0,005	54,937	0,008	0,004	40,132
70000	0,00001	0,011	0,005	53,212	0,006	0,003	28,783
80000	0,00001	0,009	0,005	45,018	0,007	0,003	33,148
90000	0,00001	0,008	0,004	42,213	0,005	0,003	25,127
100000	0,00001	0,008	0,004	41,693	0,005	0,002	23,545
200000	0,00001	0,008	0,004	38,728	0,004	0,002	20,938
300000	0,00001	0,007	0,004	35,588	0,004	0,002	18,320
400000	0,00001	0,007	0,004	36,638	0,003	0,002	15,698
500000	0,00001	0,007	0,003	34,717	0,003	0,001	14,653
600000	0,00001	0,007	0,003	34,018	0,003	0,001	13,958
700000	0,00001	0,007	0,003	33,848	0,003	0,001	13,958
800000	0,00001	0,007	0,003	33,500	0,003	0,001	13,958
900000	0,00001	0,007	0,004	35,763	0,003	0,001	13,082
1000000	0,00001	0,007	0,004	35,767	0,003	0,001	14,305
2000000	0,00001	0,007	0,004	35,935	0,003	0,001	14,823

Tabel 11. Data pengukuran impedansi campuran lemak babi 1%

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
1	0,00001	0,045	0,023	225,750	0,088	0,044	440,550
2	0,00001	0,040	0,020	201,850	0,099	0,049	494,550
3	0,00001	0,052	0,026	261,683	0,096	0,048	479,800
4	0,00001	0,052	0,026	258,200	0,098	0,049	487,567
5	0,00001	0,050	0,025	250,367	0,101	0,051	506,833
6	0,00001	0,057	0,029	285,250	0,101	0,050	504,217
7	0,00001	0,056	0,028	281,750	0,100	0,050	498,117
8	0,00001	0,057	0,028	282,617	0,102	0,051	511,200
9	0,00001	0,056	0,028	279,133	0,104	0,052	519,833
10	0,00001	0,051	0,025	253,317	0,094	0,047	469,233
20	0,00001	0,056	0,028	279,133	0,099	0,049	492,783
30	0,00001	0,064	0,032	318,383	0,108	0,054	538,117
40	0,00001	0,064	0,032	320,133	0,104	0,052	522,450
50	0,00001	0,048	0,024	241,083	0,107	0,053	532,900
60	0,00001	0,067	0,033	334,100	0,108	0,054	539,983
70	0,00001	0,067	0,034	335,833	0,107	0,054	535,533
80	0,00001	0,068	0,034	340,200	0,110	0,055	550,367
90	0,00001	0,068	0,034	337,583	0,111	0,056	555,700
100	0,00001	0,060	0,030	301,817	0,101	0,050	503,317
200	0,00001	0,069	0,035	345,433	0,109	0,054	543,367
300	0,00001	0,071	0,036	355,017	0,111	0,056	556,567
400	0,00001	0,069	0,035	346,317	0,114	0,057	567,833
500	0,00001	0,068	0,034	341,950	0,113	0,056	563,467
600	0,00001	0,065	0,032	324,500	0,095	0,047	473,700
700	0,00001	0,064	0,032	319,250	0,090	0,045	451,850
800	0,00001	0,068	0,034	341,067	0,106	0,053	527,817
900	0,00001	0,068	0,034	341,067	0,095	0,048	477,200
1000	0,00001	0,058	0,029	292,217	0,092	0,046	462,300
2000	0,00001	0,062	0,031	311,417	0,076	0,038	382,117
3000	0,00001	0,051	0,025	252,967	0,067	0,034	336,700
4000	0,00001	0,038	0,019	187,533	0,046	0,023	229,417
5000	0,00001	0,036	0,018	180,550	0,041	0,021	205,867
6000	0,00001	0,036	0,018	179,683	0,040	0,020	202,350
7000	0,00001	0,025	0,013	126,483	0,037	0,019	186,667
8000	0,00001	0,026	0,013	129,083	0,032	0,016	157,883



Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
9000	0,00001	0,027	0,014	135,200	0,028	0,014	140,433
10000	0,00001	0,023	0,011	113,567	0,027	0,013	132,583
20000	0,00001	0,014	0,007	67,522	0,021	0,011	106,417
30000	0,00001	0,011	0,005	54,602	0,012	0,006	61,933
40000	0,00001	0,011	0,006	56,013	0,011	0,006	55,825
50000	0,00001	0,009	0,004	44,497	0,010	0,005	50,603
60000	0,00001	0,008	0,004	40,815	0,010	0,005	52,328
70000	0,00001	0,008	0,004	39,952	0,010	0,005	50,583
80000	0,00001	0,007	0,004	35,590	0,010	0,005	48,842
90000	0,00001	0,008	0,004	37,508	0,010	0,005	47,960
100000	0,00001	0,007	0,003	33,842	0,009	0,005	46,222
200000	0,00001	0,006	0,003	30,705	0,007	0,003	34,890
300000	0,00001	0,006	0,003	29,485	0,008	0,004	38,378
400000	0,00001	0,006	0,003	27,740	0,007	0,003	33,148
500000	0,00001	0,005	0,003	27,213	0,006	0,003	28,790
600000	0,00001	0,005	0,003	27,040	0,007	0,003	33,147
700000	0,00001	0,006	0,003	28,787	0,006	0,003	29,657
800000	0,00001	0,006	0,003	28,787	0,006	0,003	27,910
900000	0,00001	0,006	0,003	27,740	0,006	0,003	28,783
1000000	0,00001	0,005	0,003	26,867	0,005	0,003	27,038
2000000	0,00001	0,006	0,003	29,657	0,006	0,003	29,658

Tabel 12. Data pengukuran impedansi campuran lemak babi 0,5%

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
1	0,00001	0,044	0,022	219,117	0,093	0,047	466,700
2	0,00001	0,041	0,021	205,167	0,096	0,048	479,800
3	0,00001	0,048	0,024	240,750	0,098	0,049	489,433
4	0,00001	0,050	0,025	248,617	0,098	0,049	487,600
5	0,00001	0,047	0,023	234,650	0,095	0,048	475,483
6	0,00001	0,056	0,028	279,150	0,101	0,051	505,000
7	0,00001	0,057	0,028	283,483	0,101	0,050	503,383
8	0,00001	0,057	0,029	286,117	0,101	0,051	506,800
9	0,00001	0,057	0,028	283,500	0,099	0,050	496,400
10	0,00001	0,044	0,022	221,917	0,094	0,047	469,267
20	0,00001	0,051	0,026	257,333	0,095	0,048	476,333
30	0,00001	0,062	0,031	309,667	0,104	0,052	519,000
40	0,00001	0,062	0,031	311,400	0,104	0,052	519,867
50	0,00001	0,057	0,029	285,233	0,086	0,043	430,850
60	0,00001	0,065	0,032	324,500	0,108	0,054	539,933
70	0,00001	0,068	0,034	341,933	0,105	0,053	526,833
80	0,00001	0,068	0,034	338,450	0,109	0,055	547,000
90	0,00001	0,069	0,034	343,683	0,109	0,055	546,117
100	0,00001	0,056	0,028	281,750	0,098	0,049	487,683
200	0,00001	0,067	0,033	334,083	0,107	0,054	535,617
300	0,00001	0,069	0,035	346,300	0,111	0,055	554,750
400	0,00001	0,068	0,034	340,200	0,111	0,055	553,883
500	0,00001	0,062	0,031	307,917	0,112	0,056	558,350
600	0,00001	0,062	0,031	309,667	0,112	0,056	558,183
700	0,00001	0,053	0,027	266,033	0,107	0,053	534,650
800	0,00001	0,060	0,030	300,067	0,106	0,053	527,750
900	0,00001	0,062	0,031	308,783	0,104	0,052	520,783
1000	0,00001	0,049	0,025	245,100	0,098	0,049	489,283
2000	0,00001	0,049	0,024	243,367	0,076	0,038	377,700
3000	0,00001	0,044	0,022	219,817	0,058	0,029	291,350
4000	0,00001	0,031	0,015	152,633	0,050	0,025	251,233
5000	0,00001	0,032	0,016	161,367	0,045	0,022	224,183
6000	0,00001	0,028	0,014	138,700	0,037	0,018	183,183
7000	0,00001	0,024	0,012	118,633	0,031	0,016	155,267
8000	0,00001	0,023	0,012	116,017	0,031	0,015	153,517



Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
9000	0,00001	0,020	0,010	100,317	0,039	0,020	195,400
10000	0,00001	0,022	0,011	107,983	0,029	0,014	143,933
20000	0,00001	0,012	0,006	62,280	0,021	0,010	103,800
30000	0,00001	0,010	0,005	48,852	0,013	0,006	64,550
40000	0,00001	0,009	0,004	43,962	0,011	0,006	55,818
50000	0,00001	0,008	0,004	38,733	0,013	0,007	66,300
60000	0,00001	0,007	0,003	34,372	0,013	0,007	66,300
70000	0,00001	0,006	0,003	32,435	0,012	0,006	59,317
80000	0,00001	0,006	0,003	31,757	0,010	0,005	48,690
90000	0,00001	0,006	0,003	29,308	0,011	0,005	54,950
100000	0,00001	0,005	0,003	26,807	0,011	0,005	53,215
200000	0,00001	0,005	0,003	25,122	0,007	0,004	36,637
300000	0,00001	0,005	0,002	23,203	0,007	0,003	33,147
400000	0,00001	0,005	0,002	23,028	0,008	0,004	37,510
500000	0,00001	0,004	0,002	20,935	0,006	0,003	30,533
600000	0,00001	0,004	0,002	20,587	0,006	0,003	31,405
700000	0,00001	0,004	0,002	21,633	0,006	0,003	30,533
800000	0,00001	0,004	0,002	21,110	0,007	0,003	33,147
900000	0,00001	0,004	0,002	21,633	0,007	0,003	33,138
1000000	0,00001	0,004	0,002	21,633	0,006	0,003	30,530
2000000	0,00001	0,004	0,002	20,760	0,007	0,004	35,240

Tabel 13. Data pengukuran impedansi campuran lemak babi 0,4%

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
1	0,00001	0,039	0,020	196,267	0,089	0,044	443,083
2	0,00001	0,036	0,018	181,267	0,088	0,044	441,450
3	0,00001	0,045	0,023	227,483	0,091	0,046	457,083
4	0,00001	0,045	0,022	223,467	0,091	0,045	453,583
5	0,00001	0,042	0,021	209,333	0,091	0,045	452,700
6	0,00001	0,045	0,022	223,483	0,095	0,048	476,283
7	0,00001	0,050	0,025	247,733	0,096	0,048	479,683
8	0,00001	0,050	0,025	248,083	0,095	0,048	476,267
9	0,00001	0,052	0,026	258,017	0,097	0,048	483,283
10	0,00001	0,051	0,025	254,400	0,085	0,043	426,517
20	0,00001	0,049	0,024	244,933	0,094	0,047	469,367
30	0,00001	0,050	0,025	250,350	0,101	0,051	505,983
40	0,00001	0,055	0,027	274,767	0,101	0,050	503,400
50	0,00001	0,039	0,019	194,167	0,083	0,042	416,933
60	0,00001	0,059	0,030	297,450	0,105	0,053	525,150
70	0,00001	0,060	0,030	300,933	0,108	0,054	541,733
80	0,00001	0,061	0,030	304,433	0,107	0,053	532,900
90	0,00001	0,061	0,031	305,300	0,105	0,053	526,850
100	0,00001	0,051	0,026	257,317	0,096	0,048	480,700
200	0,00001	0,061	0,031	307,050	0,105	0,053	526,867
300	0,00001	0,063	0,032	316,650	0,109	0,054	543,383
400	0,00001	0,063	0,031	314,900	0,109	0,054	544,267
500	0,00001	0,058	0,029	292,217	0,109	0,054	544,333
600	0,00001	0,061	0,031	305,300	0,109	0,055	546,100
700	0,00001	0,060	0,030	300,950	0,106	0,053	532,150
800	0,00001	0,055	0,027	273,033	0,103	0,051	514,633
900	0,00001	0,055	0,027	274,783	0,100	0,050	500,750
1000	0,00001	0,057	0,028	282,617	0,082	0,041	410,850
2000	0,00001	0,041	0,020	204,133	0,072	0,036	361,083
3000	0,00001	0,044	0,022	220,683	0,066	0,033	329,717
4000	0,00001	0,035	0,017	173,583	0,061	0,031	306,117
5000	0,00001	0,032	0,016	159,633	0,050	0,025	251,217
6000	0,00001	0,027	0,014	135,200	0,058	0,029	289,633
7000	0,00001	0,026	0,013	131,367	0,035	0,017	173,583
8000	0,00001	0,024	0,012	118,800	0,035	0,017	172,717



Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
9000	0,00001	0,020	0,010	99,617	0,027	0,014	135,183
10000	0,00001	0,019	0,009	93,850	0,029	0,015	146,533
20000	0,00001	0,014	0,007	68,920	0,015	0,008	76,767
30000	0,00001	0,012	0,006	58,453	0,012	0,006	60,185
40000	0,00001	0,009	0,004	43,783	0,010	0,005	50,602
50000	0,00001	0,009	0,005	46,227	0,009	0,004	44,492
60000	0,00001	0,008	0,004	38,548	0,012	0,006	61,938
70000	0,00001	0,008	0,004	38,735	0,008	0,004	39,778
80000	0,00001	0,007	0,003	34,895	0,008	0,004	40,132
90000	0,00001	0,007	0,003	34,713	0,009	0,004	42,743
100000	0,00001	0,006	0,003	32,458	0,008	0,004	41,868
200000	0,00001	0,006	0,003	31,403	0,006	0,003	28,435
300000	0,00001	0,006	0,003	28,612	0,005	0,003	27,217
400000	0,00001	0,005	0,003	27,392	0,005	0,002	24,427
500000	0,00001	0,005	0,003	25,992	0,005	0,002	24,418
600000	0,00001	0,005	0,003	25,123	0,005	0,002	23,552
700000	0,00001	0,005	0,003	26,345	0,005	0,002	23,550
800000	0,00001	0,005	0,002	24,423	0,004	0,002	21,807
900000	0,00001	0,005	0,003	26,690	0,005	0,002	22,852
1000000	0,00001	0,005	0,003	26,517	0,005	0,002	24,417
2000000	0,00001	0,005	0,003	25,997	0,005	0,002	22,678

Tabel 14. Data pengukuran impedansi campuran lemak babi 0,3%

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
1	0,00001	0,034	0,017	170,083	0,087	0,043	434,433
2	0,00001	0,034	0,017	170,617	0,098	0,049	489,300
3	0,00001	0,040	0,020	198,367	0,091	0,045	453,517
4	0,00001	0,040	0,020	198,183	0,096	0,048	481,533
5	0,00001	0,038	0,019	189,467	0,092	0,046	457,967
6	0,00001	0,044	0,022	220,500	0,096	0,048	479,717
7	0,00001	0,045	0,023	226,450	0,097	0,048	484,150
8	0,00001	0,045	0,022	224,333	0,095	0,048	475,417
9	0,00001	0,046	0,023	229,767	0,093	0,046	464,083
10	0,00001	0,039	0,019	192,967	0,088	0,044	437,967
20	0,00001	0,045	0,022	224,883	0,095	0,047	472,733
30	0,00001	0,045	0,022	224,183	0,098	0,049	491,983
40	0,00001	0,053	0,026	262,550	0,098	0,049	491,183
50	0,00001	0,055	0,028	277,383	0,080	0,040	401,233
60	0,00001	0,056	0,028	279,150	0,104	0,052	520,783
70	0,00001	0,057	0,029	285,233	0,107	0,054	536,450
80	0,00001	0,057	0,028	283,500	0,107	0,054	536,417
90	0,00001	0,057	0,029	285,233	0,105	0,053	526,067
100	0,00001	0,051	0,025	253,833	0,096	0,048	479,833
200	0,00001	0,059	0,030	297,450	0,105	0,052	522,500
300	0,00001	0,061	0,030	302,683	0,108	0,054	539,983
400	0,00001	0,061	0,030	302,683	0,109	0,054	542,517
500	0,00001	0,060	0,030	300,067	0,109	0,054	544,350
600	0,00001	0,059	0,030	295,717	0,109	0,055	546,983
700	0,00001	0,058	0,029	290,483	0,090	0,045	451,883
800	0,00001	0,056	0,028	280,883	0,106	0,053	530,300
900	0,00001	0,056	0,028	280,017	0,088	0,044	441,383
1000	0,00001	0,053	0,027	265,167	0,085	0,042	423,100
2000	0,00001	0,042	0,021	207,600	0,068	0,034	337,583
3000	0,00001	0,036	0,018	182,300	0,057	0,028	282,600
4000	0,00001	0,035	0,017	174,467	0,049	0,024	243,367
5000	0,00001	0,032	0,016	158,750	0,047	0,024	236,400
6000	0,00001	0,027	0,013	134,500	0,040	0,020	199,750
7000	0,00001	0,024	0,012	120,533	0,036	0,018	181,450
8000	0,00001	0,021	0,010	104,133	0,035	0,017	174,467



Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
9000	0,00001	0,021	0,011	105,383	0,028	0,014	140,450
10000	0,00001	0,018	0,009	91,933	0,025	0,012	124,733
20000	0,00001	0,012	0,006	57,583	0,016	0,008	78,500
30000	0,00001	0,010	0,005	49,718	0,011	0,006	55,830
40000	0,00001	0,008	0,004	41,348	0,014	0,007	71,518
50000	0,00001	0,008	0,004	38,383	0,009	0,004	44,490
60000	0,00001	0,006	0,003	30,182	0,007	0,004	36,990
70000	0,00001	0,006	0,003	32,452	0,008	0,004	39,253
80000	0,00001	0,005	0,003	26,518	0,008	0,004	40,995
90000	0,00001	0,007	0,003	32,972	0,008	0,004	40,127
100000	0,00001	0,005	0,003	25,297	0,007	0,004	36,638
200000	0,00001	0,004	0,002	20,587	0,006	0,003	28,438
300000	0,00001	0,004	0,002	20,760	0,005	0,002	24,427
400000	0,00001	0,004	0,002	20,063	0,005	0,002	23,555
500000	0,00001	0,004	0,002	20,063	0,005	0,002	23,552
600000	0,00001	0,004	0,002	19,538	0,004	0,002	21,810
700000	0,00001	0,004	0,002	21,285	0,004	0,002	20,935
800000	0,00001	0,004	0,002	20,412	0,004	0,002	20,932
900000	0,00001	0,004	0,002	19,015	0,004	0,002	20,583
1000000	0,00001	0,003	0,002	17,095	0,004	0,002	19,188
2000000	0,00001	0,004	0,002	18,843	0,004	0,002	21,803

Tabel 15. Data pengukuran impedansi campuran lemak babi 0,2%

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
1	0,00001	0,036	0,018	180,200	0,098	0,049	491,150
2	0,00001	0,039	0,020	195,083	0,099	0,049	494,533
3	0,00001	0,042	0,021	209,033	0,099	0,049	493,650
4	0,00001	0,039	0,019	193,233	0,100	0,050	499,733
5	0,00001	0,040	0,020	197,817	0,097	0,048	484,933
6	0,00001	0,043	0,021	214,400	0,100	0,050	498,017
7	0,00001	0,043	0,021	214,233	0,104	0,052	519,033
8	0,00001	0,043	0,022	216,150	0,103	0,052	515,550
9	0,00001	0,046	0,023	228,050	0,099	0,050	497,217
10	0,00001	0,041	0,021	205,317	0,092	0,046	458,033
20	0,00001	0,044	0,022	222,067	0,105	0,052	522,583
30	0,00001	0,048	0,024	238,650	0,102	0,051	511,967
40	0,00001	0,050	0,025	250,017	0,108	0,054	539,867
50	0,00001	0,051	0,026	256,067	0,104	0,052	522,433
60	0,00001	0,054	0,027	270,183	0,111	0,056	556,467
70	0,00001	0,053	0,026	263,117	0,116	0,058	579,300
80	0,00001	0,055	0,027	274,533	0,112	0,056	559,967
90	0,00001	0,053	0,026	264,883	0,115	0,057	573,000
100	0,00001	0,047	0,023	232,900	0,095	0,047	474,567
200	0,00001	0,055	0,027	273,900	0,111	0,056	555,583
300	0,00001	0,057	0,028	282,617	0,115	0,057	573,150
400	0,00001	0,057	0,028	283,500	0,114	0,057	570,533
500	0,00001	0,056	0,028	280,017	0,116	0,058	580,133
600	0,00001	0,055	0,028	276,517	0,109	0,055	545,250
700	0,00001	0,055	0,027	273,017	0,111	0,056	557,383
800	0,00001	0,055	0,027	273,900	0,104	0,052	521,617
900	0,00001	0,055	0,028	276,517	0,106	0,053	529,450
1000	0,00001	0,054	0,027	269,517	0,093	0,047	466,600
2000	0,00001	0,042	0,021	209,350	0,094	0,047	468,467
3000	0,00001	0,041	0,020	204,117	0,079	0,040	396,050
4000	0,00001	0,042	0,021	211,983	0,050	0,025	248,600
5000	0,00001	0,033	0,017	167,483	0,069	0,034	344,483
6000	0,00001	0,029	0,015	145,583	0,043	0,022	216,317
7000	0,00001	0,023	0,011	112,517	0,032	0,016	160,500
8000	0,00001	0,023	0,011	113,400	0,036	0,018	180,567



Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
9000	0,00001	0,022	0,011	108,500	0,028	0,014	142,183
10000	0,00001	0,020	0,010	102,050	0,029	0,015	146,550
20000	0,00001	0,012	0,006	62,103	0,022	0,011	111,657
30000	0,00001	0,012	0,006	59,320	0,022	0,011	109,903
40000	0,00001	0,010	0,005	51,997	0,014	0,007	68,925
50000	0,00001	0,009	0,004	43,273	0,012	0,006	60,202
60000	0,00001	0,009	0,005	47,443	0,010	0,005	52,333
70000	0,00001	0,008	0,004	39,078	0,013	0,006	64,545
80000	0,00001	0,008	0,004	41,525	0,013	0,006	63,675
90000	0,00001	0,009	0,005	46,060	0,008	0,004	41,873
100000	0,00001	0,008	0,004	38,730	0,008	0,004	40,648
200000	0,00001	0,008	0,004	38,382	0,008	0,004	41,340
300000	0,00001	0,007	0,004	36,297	0,007	0,003	34,020
400000	0,00001	0,007	0,003	34,198	0,006	0,003	31,400
500000	0,00001	0,007	0,004	35,948	0,006	0,003	31,918
600000	0,00001	0,008	0,004	37,672	0,006	0,003	30,527
700000	0,00001	0,008	0,004	40,832	0,006	0,003	31,400
800000	0,00001	0,008	0,004	41,520	0,006	0,003	28,603
900000	0,00001	0,008	0,004	39,432	0,006	0,003	28,968
1000000	0,00001	0,008	0,004	38,727	0,006	0,003	29,658
2000000	0,00001	0,008	0,004	41,182	0,006	0,003	31,400

Tabel 16. Data pengukuran impedansi campuran lemak babi 0,1%

Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
1	0,00001	0,036	0,018	178,650	0,102	0,051	507,600
2	0,00001	0,035	0,017	173,650	0,105	0,053	526,017
3	0,00001	0,042	0,021	212,133	0,106	0,053	531,167
4	0,00001	0,041	0,020	203,250	0,107	0,054	536,467
5	0,00001	0,040	0,020	198,717	0,104	0,052	519,800
6	0,00001	0,046	0,023	232,367	0,110	0,055	551,333
7	0,00001	0,046	0,023	231,850	0,106	0,053	528,533
8	0,00001	0,045	0,023	225,217	0,109	0,055	545,217
9	0,00001	0,047	0,024	235,000	0,103	0,051	512,917
10	0,00001	0,032	0,016	157,900	0,099	0,049	493,650
20	0,00001	0,044	0,022	222,267	0,107	0,053	534,650
30	0,00001	0,048	0,024	237,617	0,115	0,057	573,033
40	0,00001	0,052	0,026	260,900	0,116	0,058	580,033
50	0,00001	0,045	0,023	227,133	0,110	0,055	548,700
60	0,00001	0,056	0,028	279,133	0,121	0,061	605,383
70	0,00001	0,056	0,028	281,733	0,121	0,061	607,133
80	0,00001	0,057	0,028	284,367	0,121	0,060	603,717
90	0,00001	0,057	0,029	285,233	0,122	0,061	609,750
100	0,00001	0,051	0,025	252,950	0,107	0,054	536,483
200	0,00001	0,059	0,030	295,717	0,118	0,059	590,500
300	0,00001	0,060	0,030	300,067	0,122	0,061	607,983
400	0,00001	0,058	0,029	289,600	0,122	0,061	608,950
500	0,00001	0,057	0,028	284,367	0,123	0,061	613,233
600	0,00001	0,058	0,029	289,600	0,114	0,057	571,333
700	0,00001	0,053	0,027	265,183	0,121	0,061	606,233
800	0,00001	0,052	0,026	258,200	0,121	0,061	605,367
900	0,00001	0,054	0,027	272,150	0,113	0,057	566,100
1000	0,00001	0,049	0,024	243,367	0,112	0,056	560,833
2000	0,00001	0,045	0,023	225,917	0,092	0,046	457,850
3000	0,00001	0,041	0,021	205,000	0,073	0,036	362,800
4000	0,00001	0,033	0,016	164,850	0,080	0,040	400,333
5000	0,00001	0,028	0,014	139,033	0,047	0,023	233,767
6000	0,00001	0,022	0,011	110,783	0,034	0,017	170,633
7000	0,00001	0,022	0,011	108,850	0,044	0,022	220,683
8000	0,00001	0,020	0,010	101,517	0,036	0,018	179,683



Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Lemak Sapi			Lemak Ayam		
		Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)	Vpp rata2 (V)	V out (V)	Z (Ω)
9000	0,00001	0,021	0,010	103,633	0,029	0,014	143,933
10000	0,00001	0,018	0,009	91,067	0,023	0,012	116,033
20000	0,00001	0,011	0,006	55,833	0,022	0,011	109,040
30000	0,00001	0,010	0,005	50,425	0,020	0,010	100,320
40000	0,00001	0,008	0,004	42,392	0,017	0,008	83,725
50000	0,00001	0,008	0,004	38,380	0,010	0,005	49,720
60000	0,00001	0,007	0,003	32,973	0,009	0,004	44,490
70000	0,00001	0,007	0,003	32,625	0,009	0,005	45,353
80000	0,00001	0,005	0,003	27,043	0,011	0,005	54,092
90000	0,00001	0,007	0,003	33,672	0,010	0,005	49,722
100000	0,00001	0,005	0,003	26,343	0,010	0,005	48,498
200000	0,00001	0,005	0,003	25,120	0,009	0,005	45,713
300000	0,00001	0,004	0,002	21,110	0,006	0,003	29,660
400000	0,00001	0,004	0,002	21,283	0,006	0,003	30,527
500000	0,00001	0,004	0,002	21,460	0,006	0,003	29,317
600000	0,00001	0,004	0,002	21,283	0,007	0,003	33,142
700000	0,00001	0,004	0,002	21,808	0,007	0,003	34,010
800000	0,00001	0,004	0,002	21,285	0,006	0,003	29,490
900000	0,00001	0,004	0,002	20,238	0,006	0,003	31,585
1000000	0,00001	0,004	0,002	20,410	0,006	0,003	27,912
2000000	0,00001	0,005	0,002	23,378	0,006	0,003	32,282

Lampiran 4. Sertifikat Bebas Plagiasi

