

**STUDI PENGARUH GULA TEBU (*Sukrosa*) DAN SAKARIN
(*1,2-Benzisotiazolin-3-on-1-1-dioksida*) TERHADAP NILAI
IMPEDANSI LISTRIK SARI APEL MANALAGI (*Malus
sylvestris Mill*)**

SKRIPSI

oleh:
ARDIAN MUHTAR EFENDI
135090307111002



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2017**

**STUDI PENGARUH GULA TEBU (*Sukrosa*) DAN SAKARIN
(*1,2-Benzisotiazolin-3-on-1-1-dioksida*) TERHADAP NILAI
IMPEDANSI LISTRIK SARI APEL MANALAGI (*Malus
sylvestris Mill*)**

SKRIPSI

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

oleh:
ARDIAN MUHTAR EFENDI
135090307111002



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2017**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**STUDI PENGARUH GULA TEBU (*Sukrosa*) DAN SAKARIN
(*1,2-Benzisotiazolin-3-on-1-1-dioksida*) TERHADAP NILAI
IMPEDANSI LISTRIK SARI APEL MANALAGI (*Malus
sylvestris Mill*)**

oleh:
ARDIAN MUHTAR EFENDI
135090307111002

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

Pembimbing I

Pembimbing II

Chomsin S. Widodo, M.Si., Ph.D. Dr. Eng. Didik R. Santoso, M.Si.
NIP. 19691020 199512 1 002 NIP. 19690610 199402 1 001

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

**Prof. Dr.rer.nat Muhammad Nurhuda
NIP. 19640910 199002 1 001**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ardian Muhtar Efendi
NIM : 135090307111002
Jurusan : Fisika
Penulis Skripsi berjudul : Studi Pengaruh Gula Tebu (*Sukrosa*) dan Sakarin (*1,2-Benzisotiazolin-3-on-1-I-dioksida*) terhadap Nilai Impedansi Listrik Sari Apel Manalagi (*Malus sylvestris Mill*).

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam Skripsi ini.
2. Apabila dikemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 10 Agustus 2017
Yang menyatakan,

(Ardian Muhtar Efendi)
NIM. 135090307111002

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI PENGARUH GULA TEBU (*Sukrosa*) DAN SAKARIN
(*1,2-Benzisotiazolin-3-on-1-1-dioksida*) TERHADAP NILAI
IMPEDANSI LISTRIK SARI APEL MANALAGI (*Malus
sylvestris Mill*)**

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kandungan gula tebu dan *sakarin* pada sari apel manalagi. Identifikasi komponen penyusun bahan tersebut dilakukan dengan pengukuran nilai impedansi listrik menggunakan sistem empat elektroda dan PicoScope. Pengukuran impedansi listrik dilakukan dengan menginjeksikan arus sebesar $100 \mu\text{A}$ dengan rentang frekuensi 1 Hz hingga 1 MHz pada sampel. Dalam rentang frekuensi 1 Hz hingga 1 MHz, nilai impedansi listrik sari apel manalagi adalah ($1721,166 \Omega$ hingga $41,870 \Omega$). Penelitian ini menunjukkan bahwa perbedaan komposisi massa gula tebu dan massa *sakarin* dapat diamati dengan baik pada rentang frekuensi 1 kHz hingga 10 kHz. Nilai impedansi sari apel manalagi naik akibat adanya penambahan massa gula tebu dan turun akibat adanya penambahan massa *sakarin*.

Kata kunci : Gula Tebu, *Sakarin*, Impedansi Listrik, Sari Apel Manalagi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDY ON EFFECT OF CANE SUGAR (*Sucrose*) AND
SACCHARIN (*1,2-Benzisothiazolin-3-on-1-1-dioxide*) ON
MANALAGI APEL CIDER (*Malus sylvestris Mill*)
ELECTRICAL IMPEDANCE VALUE**

ABSTRACT

This study aims to identify the content of cane sugar and saccharin on manalagi apple cider. The identification of material constituent components is done by measuring the electrical impedance value using system of four electrode and PicoScope. Electrical impedance measurements were performed by injecting a 100 μ A of current with a frequency range from 1 Hz - 1 MHz to sample. On frequency range from 1 Hz to 1 MHz, the electric impedance value of manalagi apple cider was (1721,166 Ω to 41,870 Ω). This study show that differences in composition of both cane sugar mass and saccharin mass can be observed well in frequency range from 1 kHz to 10 kHz. The manalagi apple cider electrical impedance value increased due to the addition of cane sugar mass and decreased due to the addition of the saccharin mass.

Keywords : Cane Sugar, Saccharin, Electrical Impedance, Manalagi Apple Cider.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas segala limpahan rahmat, inayah dan hidayah-Nya lah sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan lancar. Tugas Akhir ini ditulis dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan jenjang kuliah S-1 untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dalam bidang fisika. Pada Tugas Akhir ini penulis mengambil judul “**Studi Pengaruh Gula Tebu (Sukrosa) dan Sakarin (1,2-Benzisotiazolin-3-on-1-1-dioksida) terhadap Nilai Impedansi Listrik Sari Apel Manalagi (Malus Sylvester Mill)**”.

Dalam proses penulisan skripsi ini, penulis menyadari dan mengakui bahwa seluruh upaya yang dilakukan untuk perampungan tidak lepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak yang telah bersedia memberikan tenaga dan pikiran serta meluangkan waktu. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Bapak Prof. Dr.rer.nat Muhammad Nurhuda selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya.
2. Bapak Chomsin S. Widodo S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Pertama yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan motivasi selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
3. Bapak Dr. Eng. Didik R. Santoso, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam pengerjaan Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Sunaryo, M.Si selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah memberikan berbagai ilmu baru yang bermanfaat.
5. Kedua orang tua saya, Bapak (Margono), Ibu (Nurhayati), Kakak (Andika Muhsin S.Si dan Rabiatul Adawiyah) serta Dessy Anggraeni Setyowati.
6. Bapak Ir. D.J. Djoko Herry S., M.Phil., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing, memberikan pengarahan dan motivasi dalam Bidang Akademik mulai dari semester satu hingga lulus.
7. Bapak Robby Asmara Indrajid selaku laboran Laboratorium Biofisika Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya.

8. Seluruh Dosen, Staff dan Karyawan Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya yang telah memberikan pendidikan dan bantuan selama penulis berkuliah di Universitas Brawijaya.
9. Rekan seperjuangan satu tim penelitian (Achmad Ainul Yaqin, Aminah Nisaurrohmah, Arini Mawardah Infantriwati, Anak Agung Ayu Sari Trisna Citta, Wahyu Sugianto, Herenda Sela Wismaya, Fenia Nurlaila, Safira Setyawangsa, dan Talitha Dea Ambarwati) yang telah memberikan saran, motivasi dan semangat selama proses penelitian.
10. Semua pihak yang tidak disebutkan disini serta telah ikut membantu pelaksanaan Tugas Akhir ini.

Adapun kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan penelitian ini dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan pembaca pada umumnya.

Malang, 10 Agustus 2017

Penulis

ACKNOWLEDGEMENT

Penelitian ini merupakan bagian dari hibah penelitian PUPR tahun 2017 dengan nomor kontrak: 460.70/UN10.C10/PN/2017 atas nama Chomsin S. Widodo, dkk, yang berjudul “Studi Impedansi Biolistrik Medium Sel Kanker dan Medium Sel Berpotensi Anti Kanker”.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	v
LEMBAR PERNYATAAN.....	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
ACKNOWLEDGEMENT	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Metode dielektrik.....	5
2.2 Impedansi Listrik.....	6
2.3 Kapasitansi	10
2.4 Rangkaian Randles	11
2.5 Apel Manalagi (<i>Malus sylvestris Mill</i>).....	12
2.6 Pemanis	14
2.6.1 Gula Tebu	15
2.6.2 Sakarin.....	16
BAB III METODOLOGI	19
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	19
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	19
3.3 Metode Penelitian.....	19
3.3.1 Diagram Alir Penelitian	19
3.3.2 Sistem Akuisisi Data.....	21
3.3.3 Persiapan Sampel.....	23
3.3.4 Pengukuran Sampel	25

3.4 Analisis Data	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Nilai Impedansi Listrik Sari Apel Manalagi tanpa Pemanis	29
4.2 Nilai Impedansi Listrik Sari Apel Manalagi dengan Gula Tebu	32
4.3 Nilai Impedansi Listrik Sari Apel Manalagi dengan <i>Sakarin</i>	37
BAB V PENUTUP	43
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN.....	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Resistansi bahan (a) ohmik (b) non ohmik	6
Gambar 2.2	Hubungan antara arus dan tegangan pada komponen (a) resistor, (b) induktor, dan (c) kapasitor	7
Gambar 2.3	Rangkaian RLC seri yang dihubungkan dengan tegangan AC	8
Gambar 2.4	Rangkaian RLC paralel yang dihubungkan dengan tegangan AC	9
Gambar 2.5	Diagram spektrum impedansi	10
Gambar 2.6	Dispersi nilai impedansi akibat kenaikan frekuensi..	11
Gambar 2.7	Rangkaian Randles	12
Gambar 2.8	Hasil simulasi rangkaian randles	13
Gambar 2.9	Struktur kimia gula tebu.....	16
Gambar 2.10	Struktur kimia <i>sakarin</i>	17
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	20
Gambar 3.2	Rangkaian alat penelitian	22
Gambar 3.3	Skema pembuatan sampel sari apel manalagi.....	23
Gambar 3.4	Hasil pengaturan <i>software</i> PicoScope	25
Gambar 4.1	Nilai impedansi listrik sari apel manalagi tanpa pemanis	30
Gambar 4.2	Polaritas molekul air	31
Gambar 4.3	Nilai impedansi listrik sari apel manalagi dengan gula tebu.....	33
Gambar 4.4	Pengaruh penambahan massa gula tebu terhadap nilai impedansi listrik sari apel manalagi pada berbagai frekuensi	35
Gambar 4.5	Molekul polar (a) Sebelum diberi medan listrik (b) Sesudah diberi medan listrik eksternal (c) Medan listrik induksi akibat medan listrik eksternal	36s
Gambar 4.6	Nilai impedansi listrik sari apel manalagi dengan <i>sakarin</i>	38
Gambar 4.7	Pengaruh penambahan massa <i>sakarin</i> terhadap nilai impedansi listrik pada berbagai frekuensi.....	40
Gambar 4.8	Polarisasi molekul non polar	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi kimia per 100 gr apel manalagi	14
Tabel 2.2	Kandungan kimia tebu	15
Tabel 2.3	Sifat fisis dan kimia sukrosa	16
Tabel 2.4	Sifat fisis dan kimia sakari.....	17
Tabel 3.1	Variasi massa gula tebu	24
Tabel 3.2	Variasi massa sakarin.....	25

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Alat dan Bahan Penelitian	48
Lampiran 2 Data Hasil Penelitian.....	51

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Apel merupakan buah dengan tingkat produktivitas yang tinggi yaitu mencapai 17 kg/pohon (Kusumawati, 2013). Untuk meningkatkan daya jualnya, apel banyak digunakan sebagai bahan dasar pembuatan makanan dan minuman. Salah satu jenis apel yang banyak dimanfaatkan dan diolah adalah apel varietas Manalagi. Terdapat beberapa cara dalam pengolahan apel sebagai produk minuman, salah satunya adalah sebagai minuman sari apel. Proses pengolahan sari apel meliputi pemilihan buah, pemotongan, ekstraksi, penyaringan, penambahan bahan lain salah satunya pemanis, dan sterilisasi (Khurniyati dkk, 2015). Secara umum pemanis yang banyak digunakan untuk campuran bahan makanan dan minuman adalah gula tebu. Pada industri minuman, fungsi pemanis adalah untuk meningkatkan cita rasa manis setelah adanya proses pengolahan yang dapat menurunkan cita rasa dari olahan minuman tersebut. Selain pemanis alami terdapat beberapa pemanis sintetis atau pemanis buatan. Pemanis buatan yang sering digunakan antara lain *sakarin* (Rasyid, 2011).

Gula tebu berasal dari sukrosa yang merupakan komponen yang akan dibuat menjadi gula, sehingga senyawa inilah yang akan diambil sebanyak-banyaknya dari tebu untuk dipisahkan dari bagian-bagian lain dan dikristalkan menjadi gula. *Sakarin* merupakan garam natrium dari asam sakarin yang memiliki tingkat kemanisan 300 kali dari gula biasa atau sukrosa (Rasyid, 2011). Rasa manis yang kuat hanya dengan penambahan sedikit *sakarin*, menumbulkan banyaknya kasus penambahan *sakarin* untuk memangkas biaya produksi dari beberapa produk minuman (Cahyadi, 2008). Batas maksimal penambahan *sakarin* menurut Permenkes No.722 Tahun 1988 pada minuman ringan adalah 300 mg/kg. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 41 tahun 2014 untuk konsumsi gula pasir atau gula tebu adalah 50 gram per orang per hari, sedangkan batas maksimal konsumsi *sakarin* adalah 5 mg per kg berat badan. Penambahan bahan tambahan pangan misalnya pemanis dapat merubah komposisi kimia sari apel (Khurniyati dkk, 2015). Perbedaan

komposisi bahan tambahan dapat di deteksi berdasarkan karakteristik biolistriknya, salah satunya yaitu sifat dielektrik yang dapat memberikan informasi tentang interaksi bahan dengan energi elektromagnetik. Berdasarkan sifat dielektrik, maka dapat dianalisa nilai impedansi bahan untuk mengetahui pengaruh zat tambahan terhadap bahan murni. Karakteristik biolistrik dalam setiap bahan nilainya ditentukan oleh kondisi internal bahan tersebut, antara lain komposisi bahan kimia, kandungan air, momen dipol listrik, dan tingkat keasaman (Hermawan, 2005).

Telah dilakukan penelitian tentang pengukuran nilai impedansi larutan gula menggunakan metode dielektrik. Nilai impedansi naik seiring dengan pertambahan konsentrasi gula, sedangkan seiring dengan bertambahnya frekuensi yang diberikan nilai impedansi menurun. Pengukuran impedansi dilakukan dengan meninjeksikan arus listrik menggunakan *Converter V to I* dengan rentang frekuensi 1 Hz hingga 1 MHz (Sari, 2016). Nilai impedansi listrik memperhitungkan efek *double layer* yang muncul pada penggunaan plat sejajar. Pengukuran impedansi dapat dilakukan dengan bantuan Picoscope. Pembangkit tegangan pada Picoscope dapat disetting untuk memberikan nilai tegangan input sebesar 1 Volt dengan rentang frekuensi 0,03 Hz hingga 20 MHz, namun karena keterbatasan alat, frekuensi maksimal yang dapat digunakan adalah 1 MHz. Rentang frekuensi yang pernah digunakan untuk pengukuran impedansi buah apel adalah 200 Hz hingga 2 GHz (El Khaled dkk, 2015). Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka dalam penelitian ini dilakukan pengukuran terhadap nilai impedansi listrik sari buah apel manalagi berdasarkan penambahan gula tebu dan pemanis *sakarin* dengan rentang frekuensi 1 Hz hingga 1 MHz. Metode yang digunakan adalah metode pengukuran impedansi menggunakan dua elektroda plat untuk injeksi arus dan dua elektroda jarum sebagai elektroda pengukuran dengan harapan mengurangi efek *double layer* sehingga hambatan listrik bahan dari sampel yang lebih dominan terukur. Dengan menggunakan metode pengukuran impedansi listrik ini diharapkan dapat digunakan untuk menentukan kandungan bahan tambahan pangan, apakah terdapat tambahan gula tebu atau *sakarin*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana nilai impedansi listrik sari apel manalagi?
- b. Bagaimana pengaruh frekuensi terhadap nilai impedansi listrik sari apel manalagi?
- c. Bagaimana pengaruh gula tebu dan *sakarin* terhadap nilai impedansi listrik sari apel manalagi?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini antara lain:

- a. Apel yang digunakan hanya apel varietas manalagi.
- b. Pemanis yang digunakan adalah gula tebu dan *sakarin*.
- c. Pengukuran sampel dilakukan pada suhu ruang.
- d. Digunakan arus injeksi sebesar $100 \mu\text{A}$ dengan rentang frekuensi 1 Hz hingga 1 MHz.
- e. Tidak dilakukan uji kandungan kimia sampel sebagai perbandingan data.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Menganalisis nilai impedansi listrik sari apel manalagi.
- b. Menganalisis pengaruh frekuensi terhadap nilai impedansi listrik sari apel manalagi.
- c. Menganalisis pengaruh gula tebu dan *sakarin* terhadap nilai impedansi listrik sari apel manalagi.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai informasi tentang metode pengukuran yang dapat digunakan untuk mendeteksi seberapa besar massa gula tebu dan *sakarin* yang ditambahkan pada sari apel manalagi melalui karakteristik kelistrikan yaitu nilai impedansi listriknya. Diharapkan nantinya dapat dikembangkan alat ukur untuk menentukan kadar pemanis alami dan buatan dalam bahan minuman dengan spesifikasi tertentu yang dimiliki oleh alat tersebut berupa rentang frekuensi dan besar arus injeksi yang digunakan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode dielektrik

Dalam suatu bahan biologis, komponen penyusunnya berupa sel biologis dengan komposisi yang berbeda. Perbedaan komposisi penyusun bahan biologis dapat di deteksi berdasarkan karakteristik biolistriknya, salah satunya yaitu sifat dielektrik yang dapat memberikan informasi tentang interaksi bahan dengan energi elektromagnetik. Setiap bahan memiliki karakteristik biolistrik yang nilainya ditentukan oleh komposisi bahan kimia, kandungan air, momen dipol listrik, tingkat keasaman (Hermawan, 2005).

Dielektrik adalah bahan nonconducting, seperti karet, kaca, atau kertas wax. Bila dielektrik disisipkan di antara pelat kapasitor, kapasitansi meningkat. Jika dielektrik benar-benar mengisi ruang di antara pelat, kapasitansi meningkat dengan faktor k , yang disebut konstanta dielektrik material. Konstanta dielektrik bervariasi dari satu material ke material lainnya. Jika medan listrik awal antara keping suatu plat tembaga tanpa adanya bahan dielektrik disebut E_0 , maka medan listrik di dalam dielektrik dapat dirumuskan menggunakan Persamaan 2.1.

$$E = \frac{E_0}{k} \quad (2.1)$$

dengan, E = medan listrik dielektrik (N/C)

E_0 = medan listrik ruang hampa (N/C)

k = konstanta dielektrik

Beda potensial pada pelat kapasitor dengan dan tanpa bahan dielektrik dapat dijelaskan dengan Persamaan 2.2 (Serway, 2004).

$$\Delta V = \frac{\Delta V_0}{k} \quad (2.2)$$

dengan, ΔV = beda potensial dengan bahan dielektrik (V)

ΔV_0 = beda potensial tanpa bahan dielektrik (V)

k = konstanta dielektrik

Telah dilakukan pengukuran nilai impedansi listrik dengan metode dielektrik menggunakan plat sejajar. Sampel yang digunakan sebagai bahan uji adalah campuran lemak babi dan sapi. Metode ini digunakan untuk membedakan nilai impedansi listrik berdasarkan persentase penambahan lemak babi dalam lemak sapi. Lemak babi dan lemak sapi merupakan bahan dengan sifat non polar. Nilai impedansi listrik campuran lemak babi dalam lemak sapi turun seiring dengan peningkatan presentase lemak babi yang dicampurkan dan turun pula seiring peningkatan frekuensi arus yang di injeksikan (Islahiyya, 2016).

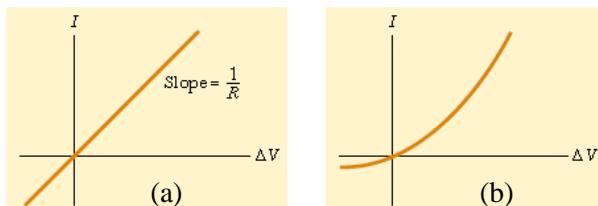
Metode dielektrik menggunakan plat sejajar dengan berbagai ukuran elektroda dan variasi jarak antar elektroda telah dilakukan untuk mengetahui karakteristik nilai impedansi listrik larutan gula dengan berbagai konsentrasi. Nilai impedansi listrik naik seiring semakin tingginya konsentrasi gula pada sampel. Kenaikan nilai impedansi ini terjadi pada semua variasi ukuran plat dan jarak antar plat (Sari, 2016).

2.2 Impedansi Listrik

Tahanan listrik merupakan kemampuan bahan dalam menahan aliran arus listrik yang melewatkannya. Tahanan listrik dapat dijelaskan menggunakan hukum Ohm sesuai Persamaan 2.3.

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (2.3)$$

Dengan R adalah resistansi, ρ adalah resistivitas bahan, l adalah panjang bahan, dan A adalah luas bahan. Bahan yang mematuhi hukum ohm disebut dengan bahan ohmik. Perbedaan nilai R dari bahan ohmik dan non ohmik dapat dilihat pada Gambar 2.1.

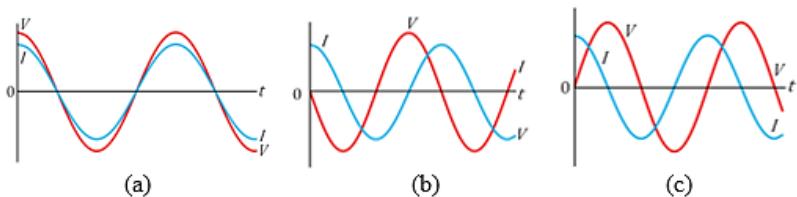


Gambar 2.1 Resistansi bahan (a) ohmik (b) non ohmik (Serway, 2004)

Apabila bahan bersifat ohmik, maka nilai R konstan dan dapat dinyatakan nilai R seperti pada Persamaan 2.4.

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.4)$$

Dengan V adalah beda potensial, I adalah arus, dan R adalah tahanan. Apabila bahan bersifat non ohmik, nilai V tidak sebanding dengan I . Hukum Ohm di atas hanya berlaku untuk rangkaian AC dengan tahanan yang mempunyai elemen murni resistansi, sedangkan pada praktisnya rangkaian AC juga memperhitungkan tahanan yang muncul dari komponen induktif dan kapasitif. Impedansi listrik merupakan hambatan total pada rangkaian elektronik ketika diberi arus AC. Terdapat perbedaan fase antara tegangan dan arus yang dapat dilihat pada Gambar 2.2.



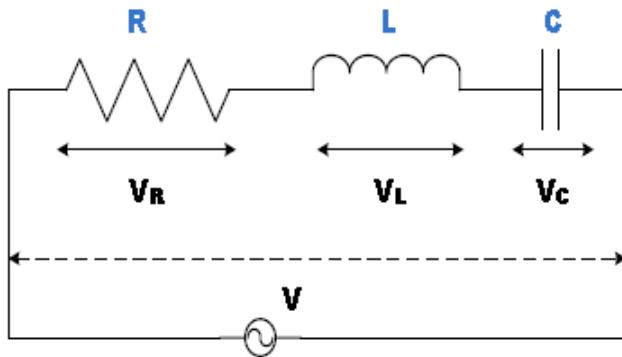
Gambar 2.2 Hubungan antara arus dan tegangan pada komponen (a) resistor, (b) induktor, dan (c) kapasitor (Juansyah dkk, 2013)

Pada komponen resistor, tegangan dan arus berada dalam satu fase, pada komponen induktor, tegangan mendahului arus sebesar 90° , dan pada komponen kapasitor, tegangan tertinggal oleh arus sebesar 90° . Vektor impedansi terdiri dari resistansi yang merupakan bagian real dan dari kapasitor serta induktor yang merupakan bagian imajiner (Juansyah dkk, 2013).

Impedansi dapat dinyatakan dalam bentuk yang lebih kompleks seperti pada Persamaan 2.5.

$$Z = R - jX_C \quad \text{dan} \quad Z = R + jX_L \quad (2.5)$$

dengan Z impedansi, R adalah resistansi, X_C adalah reaktansi kapasitif, X_L adalah reaktansi induktif, dan j merupakan bilangan imajiner, dimana $j = \sqrt{-1}$. Gambar 2.3 merupakan rangkaian RLC seri yang dihubungkan dengan sumber tegangan AC.



Gambar 2.3 Rangkaian RLC seri yang dihubungkan dengan tegangan AC (Karris, 2009)

Impedansi total rangkaian seri (Z_s) dinyatakan oleh Persamaan 2.6.

$$Z_s = Z_R + X_L + X_C = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \quad (2.6)$$

atau dapat ditulis,

$$Z_s = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (2.7)$$

Besarnya nilai impedansi total rangkaian seri RLC dapat dijelaskan menggunakan Persamaan 2.8 (Karris, 2009).

$$|Z_s| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (2.8)$$

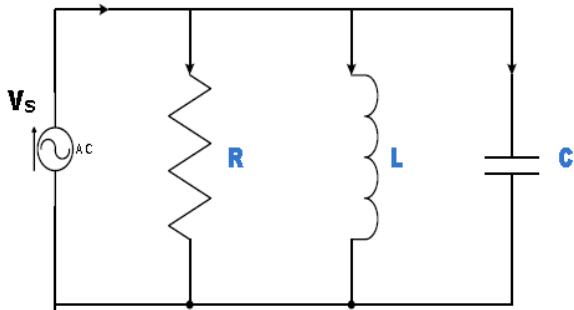
dengan, $|Z_s|$ = Impedansi total rangkaian seri RLC (Ω)

R = resistansi (Ω)

L = induktansi (H)

C = kapasitansi (F)

Gambar 2.4 merupakan rangkaian RLC paralel yang dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik (AC).



Gambar 2.4 Rangkaian RLC paralel yang dihubungkan dengan tegangan AC (Santoso, 2013)

Impedansi total rangkaian paralel (Z_p) dinyatakan terlebih dahulu menggunakan admitansi (Y_p) seperti pada Persamaan 2.9.

$$Y_p = Y_R + Y_L + Y_C = \frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L} + j\omega C \quad (2.9)$$

atau dapat ditulis,

$$Y_p = \frac{1}{R} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) \quad (2.10)$$

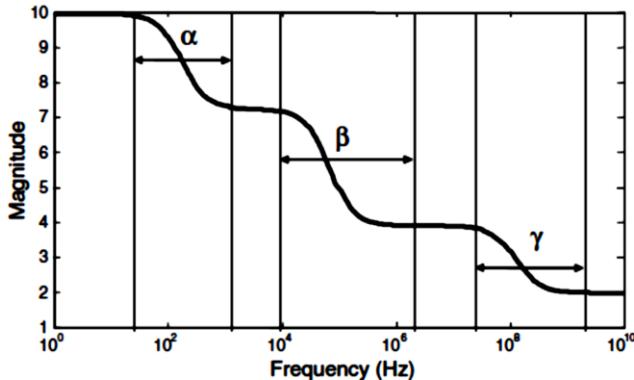
Nilai admitansi (Y_p) rangkaian RLC paralel dinyatakan dalam Persamaan 2.11.

$$|Y_p| = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2} \quad (2.11)$$

Nilai impedansi total rangkaian paralel (Z_p) dapat dinyatakan menggunakan Persamaan 2.12 (Santoso, 2013).

$$|Z_p| = \frac{1}{|Y_p|} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}} \quad (2.12)$$

Pengukuran nilai impedansi listrik suatu bahan biologis menunjukkan adanya dispersi yaitu penurunan nilai impedansi akibat adanya peningkatan frekuensi arus injeksi. Jenis dispersi dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Diagram spektrum impedansi (Juansah, 2011)

Dispersi α terjadi pada frekuensi rendah, penurunan nilai impedansi ini menunjukkan adanya relaksasi dipol non permanen yang terbentuk karena adanya aliran elektron disekitar molekul bahan (Juansah, 2011). Dispersi β terjadi karena respon molekul serta kapasitansi membran sel apabila bahan berupa sel biologis, dan dispersi γ terjadi karena mekanisme dipolar pada medium polar seperti air, garam, dan protein (Grimnes, 2015).

2.3 Kapasitansi

Kapasitansi (C) dari kapasitor didefinisikan sebagai rasio besarnya muatan pada kedua plat konduktor dengan besarnya perbedaan potensial antara konduktor yang dapat dirumuskan dengan Persamaan 2.13.

$$C = \frac{Q}{\Delta V} \quad (2.13)$$

dengan, C = kapasitansi (Farad)

Q = jumlah muatan (Coulomb)

V = beda potensial (Volt)

Kapasitansi kapasitor pelat sejajar sebanding dengan luas dari pelat dan berbanding terbalik dengan jarak antar pelat, yang dapat dirumuskan dengan Persamaan 2.14 (Serway, 2004).

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (2.14)$$

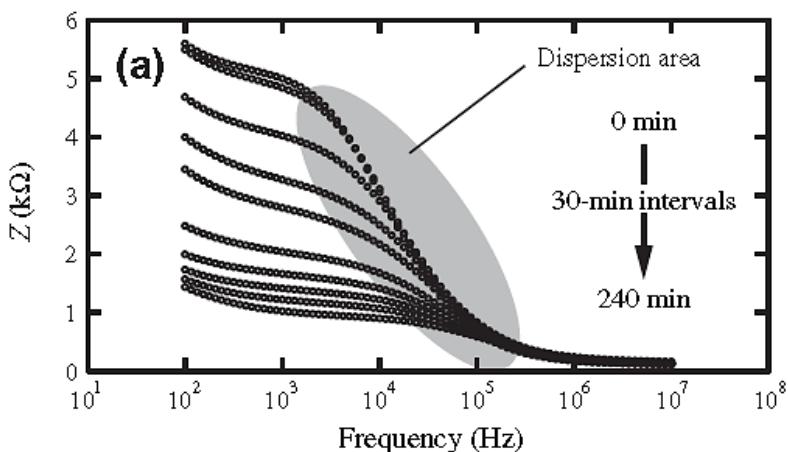
dengan, C = kapasitansi (Farad)

ϵ_0 = permitivitas ruang hampa (F/m)

A = luas permukaan pelat (m^2)

d = jarak antar pelat (m)

Telah dilakukan penelitian dengan metode spektroskopi impedansi listrik pada kentang. Nilai impedansi listrik turun seiring dengan penambahan frekuensi. Penurunan nilai impedansi listrik akibat kenaikan frekuensi ini disebut dengan dispersi, dapat dilihat pada Gambar 2.6.

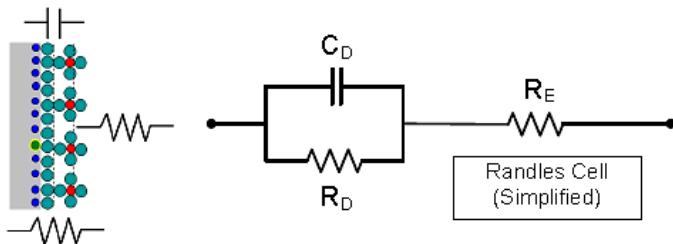


Gambar 2.6 Dispersi nilai impedansi akibat kenaikan frekuensi
(Ando, 2014)

Gambar 2.6 merupakan hubungan nilai frekuensi terhadap nilai impedansi listrik dari jaringan kentang yang diukur menggunakan elektroda jarum. Dispersi yang terjadi dalam rentang frekuensi 10^4 Hz hingga 10^6 Hz ini merupakan dispersi β . Dispersi ini terjadi karena pengaruh perubahan nilai kapasitansi yang terukur (Ando, 2014).

2.4 Rangkaian Randles

Rangkaian randels dapat digunakan untuk menghitung besarnya nilai impedansi yang dihasilkan oleh suatu plat sejajar *double layer* dalam pengukuran impedansi listrik dengan sampel berupa larutan. Rangkaian randles digambarkan dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Rangkaian Randles (Ketter, 2011)

Nilai R_D merupakan resistansi *double layer*, sedangkan C_D merupakan kapasitansi *double layer*, dan R_E merupakan resistansi larutan. Besarnya nilai impedansi listrik total Z_T merupakan jumlah dari impedansi parallel *double layer* Z_D dengan impedansi larutan Z_E yang dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.15.

$$Z_T = Z_E + Z_D \quad (2.15)$$

$$Z_D = R_D // X_{CD} ; X_{CD} = \frac{1}{j\omega C_D} ; \omega = 2\pi f \quad (2.16)$$

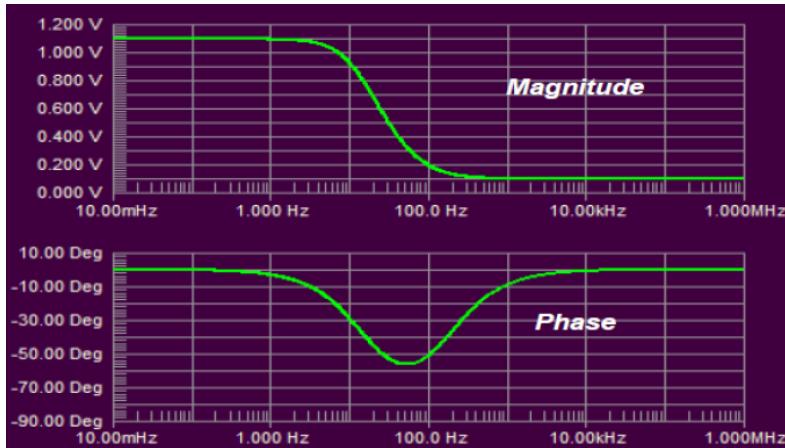
$$\frac{1}{Z_D} = \frac{1}{R_D} + \frac{1}{X_{CD}} = \frac{1}{R_D} + j\alpha C_D = \frac{1 + R_D j \alpha C_D}{R_D} \quad (2.17)$$

$$Z_D = \frac{R_D}{1 + R_D j \alpha C_D} \quad (2.18)$$

Nilai impedansi total rangkaian randles dapat dinyatakan dalam Persamaan 2.19 (Ketter, 2011):

$$Z_T = R_E + \frac{R_D}{1 + R_D j \alpha C_D} \quad (2.19)$$

Telah dilakukan simulasi rangkaian randles dengan menggunakan nilai $R_D = 1 \text{ k}\Omega$, $C_D = 10 \mu\text{F}$, dan $R_E = 100 \Omega$. Arus listrik injeksi yang digunakan dalam simulasi sebesar 1 mA. Hasil dari simulasi rangkaian randles berupa nilai tegangan dan perubahan fase dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Hasil simulasi rangkaian randles (Sari, 2016)

Nilai impedansi sebanding dengan nilai tegangan yang terukur pada simulasi. Nilai impedansi maksimum terletak pada rentang frekuensi rendah yaitu 10 mHz hingga 1 Hz. Dalam rentang 1 Hz hingga 1 kHz nilai impedansi mengalami penurunan dikarenakan komponen reaktansi kapasitif yang berpengaruh terhadap nilai impedansi, serta perubahan fase juga dapat terlihat dari hasil simulas. Nilai impedansi minimum terletak pada rentang frekuensi tinggi yaitu 1 kHz hingga 1 MHz (Sari, 2016).

2.5 Apel Manalagi (*Malus sylvestris Mill*)

Salah satu varietas buah apel di kota Malang adalah apel manalagi. Ciri-ciri fisik apel manalagi adalah diameter buah berkisar antara 5-7 cm dan berat 75 hingga 100 gram per buahnya (Untung, 1994). Kandungan dalam setiap 100 gram apel manalagi dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi kimia per 100 gr apel manalagi (Soelarso, 1996).

Komposisi	Kandungan
Kadar Air	84.05 g
Vitamin C	7.43 mg
Kandungan asam	0.22 g
pH cairan buah	4.65
Fruktosa	45.00 mg
Glukosa	37.20 mg
Sukrosa	45.40 mg

Apel manalagi merupakan buah dengan tingkat produktivitas yang tinggi yaitu mencapai 17 kg/pohon (Kusumawati, 2013). Untuk meningkatkan daya jualnya, apel manalagi banyak digunakan sebagai bahan dasar pembuatan makanan dan minuman. Terdapat beberapa cara dalam pengolahan apel sebagai produk minuman, salah satunya adalah sebagai minuman sari apel. Proses pengolahan sari apel meliputi sortasi buah, pemotongan, ekstraksi, penyaringan, penambahan bahan lain, dan sterilisasi (Khurniyati dkk., 2015).

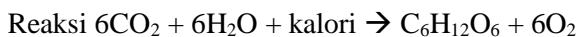
2.6 Pemanis

Dalam pembuatan sari apel dibutuhkan bahan tambahan pangan berupa pemanis dan perasa makanan. Secara umum pemanis banyak digunakan untuk campuran bahan makanan dan minuman. Pada industri minuman, fungsi pemanis adalah untuk meningkatkan cita rasa manis setelah adanya proses pengolahan yang dapat menurunkan cita rasa dari olahan minuman tersebut. Pemanis dapat digolongkan menjadi pemanis alami dan buatan. Rasa manis dihasilkan oleh berbagai senyawa organik, termasuk alkohol, glikol, gula dan turunan gula. Pemanis alami dapat berasal dari olahan tebu, gula kelapa, dan aren. Selain itu juga terdapat bahan pemanis buatan dari karbohidrat, protein, maupun senyawa sistetis yang bermolekul sederhana dan

tidak mengandung kalori seperti pemanis alami. Pemanis buatan yang sering digunakan antara lain *sakarin* dan *siklamat* (Rasyid, 2011).

2.6.1 Gula Tebu

Tebu mengandung hidrokarbon yang terbentuk dalam tanaman karena proses fotosintesis. Karbohidrat ini terdiri dari monosakarida (glukosa, fruktosa), disakarida (sakharosa), dan polisakarida (selulosa). Dalam fotosintesa terjadi reaksi antara CO_2 dan H_2O dibantu tenaga sinar matahari dan zat hijau daun (klorofil) menghasilkan karbohidrat monosakarida.



Berdasarkan hasil analisa kandungan batang tebu, persentase komposisi kimia tebu dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kandungan kimia tebu (Respati, 1980).

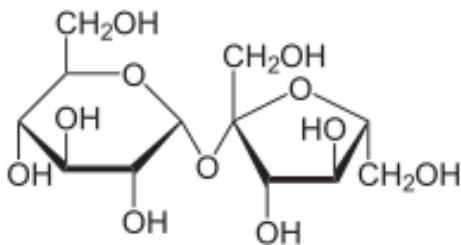
Komposisi	Kandungan
Monosakarida	0,5 – 1,50 %
Sakharosa (disakarida)	1,0 – 19,00%
Zat organic (abu)	0,5 – 1,50 %
Sabut (selulosa, pentosa)	11,0 – 19,00%
Asam-asam organic	0,15 %
Bahan lain (lilin, zat warna)	12,00%
Air	65,0 – 75,00 %

Susunan tebu ini tidak sama untuk semua tebu, tergantung pada keadaan tanah, iklim, pemeliharaan tanaman dan macam tebu. Sakharosa (sukrosa) merupakan komponen yang akan dibuat menjadi gula, sehingga senyawa inilah yang akan diambil sebanya-banyaknya dari tebu untuk dipisahkan dari bagian-bagian lain dan dikristalkan menjadi gula. Sukrosa adalah karbohidrat yang mempunyai rumus molekul $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$, disakharida yang terdiri dari satu molekul glukosa dan satu molekul fruktosa. Sifat-sifat fisis dan kimia dari sukrosa dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Sifat fisis dan kimia sukrosa (Respati, 1980)

Sifat	Keterangan
Rumus molekul	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁
Bentuk	Kristal tak berwarna
Kelarutan	Mudah larut dalam air
Massa jenis	1.600 kg/m ³
Titik lebur	185 °C

Struktur kimia dari gula tebu (sukrosa) dapat dilihat pada Gambar 2.9.



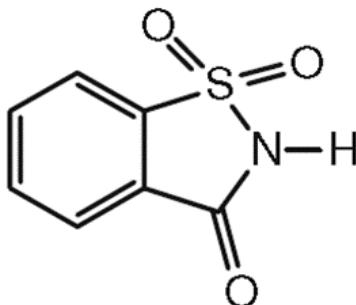
Gambar 2.9 Struktur kimia gula tebu (sukrosa)

Sukrosa memiliki struktur kimia dengan ikatan tunggal. Dalam suasana asam, sukrosa mudah terhidrolisa menjadi gula reduksi, peristiwa ini disebut inverse (Respati, 1980).



2.6.2 Sakarin

Sakarin (C₇H₅NO₃S) dengan nama kimia *1,2-benzisotiazolin-3-on-1-1-dioksida* merupakan pemanis buatan yang mempunyai rasa manis 300 kali sukrosa atau yang biasa disebut dengan gula (Cahyadi, 2008). Struktur kimia *sakarin* dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Struktur kimia *sakarin* (O'Donnell, 2012)

Struktur kimia dari *sakarin* ditandai dengan adanya ikatan rangkap 2 pada atom O. *Sakarin* pertama kali ditemukan oleh Fahbelrg dan Remsen pada tahun 1897. Kegunaan awal dari *sakarin* ketika pertama kali ditemukan adalah sebagai antiseptik dan pengawet, tetapi sejak tahun 1900 *sakarin* digunakan sebagai pemanis. Nama lain dari *sakarin* adalah o-sulfobenzimidida, dan memiliki nama dagang antara lain: glucida, garantose, saccarinol, saccarinose, sakarol, saxin, sykose, dan hermesetas (Ambarsari, dkk, 2008).

Sifat fisis dan kimia dari sakarin dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Sifat fisis dan kimia sakarin (Ambarsari, dkk, 2008).

Sifat	Keterangan
Rumus molekul	C ₇ H ₅ NO ₃ S
Bentuk	Kristal putih
Kelarutan	Tidak mudah larut dalam air
Massa jenis	828 kg/m ³
Titik lebur	228,8 °C

Sejak bulan Desember 2000, FDA (Food and Drug Administration) telah menghilangkan kewajiban pelabelan pada produk pangan yang mengandung *sakarin*, dan 100 negara telah mengijinkan penggunaannya. CAC (Codex Alimentarius Commission) mengatur maksimum penggunaan *sakarin* pada berbagai produk pangan berkisar antara 80 – 5.000 mg/kg produk. Saat ini, meskipun *sakarin* telah dinyatakan aman untuk dikonsumsi,

namun di USA sendiri penggunaannya dalam produk pangan masih sangat dibatasi (Ambarsari, dkk, 2008).

Pemerintah Indonesia mengeluarkan peraturan melalui Menteri Kesehatan RI No. 208 / Menkes / Per /IV/1985 tentang pemanis buatan dan No. 722/Menkes/Per/IX/1988 tentang bahan tambahan pangan, bahwa pada pangan dan minuman olahan khusus yaitu berkalori rendah dan untuk penderita penyakit diabetes mellitus kadar maksimum *sakarin* yang diperbolehkan adalah 300 mg/kg.

BAB III

METODOLOGI

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini bertempat di Laboratorium Biofisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya Malang dengan waktu penelitian pada bulan Maret 2017 – Juli 2017.

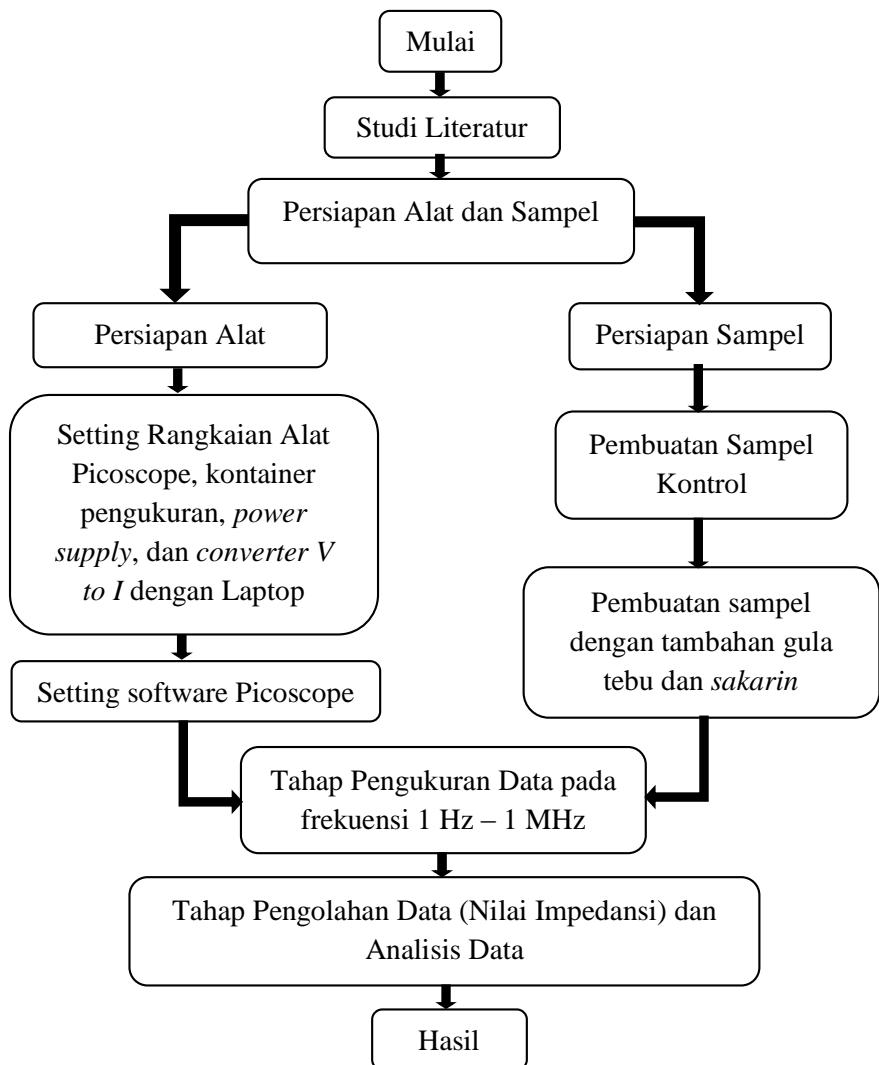
3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pisau *stainless steel*, kain saring, *aluminium foil*, *oven* merek Memmer tipe U30 1400 Watt buatan Jerman, pemanas elektrik merek Eastern Electric Single Burner Model CRS-1200 300 Watt, gelas beker, gelas ukur, gelas arloji, timbangan digital Centaurus Scale tipe CTR 20P buatan Taiwan, blender Panasonic MX-GX1462 205 Watt buatan Cina, *magnetic stirrer* merek Cole-Parmer model HS1-2 C-P 450 Watt buatan USA, kontainer pengukuran, *power supply*, Picoscope tipe 5244B, *Converter V to I*, termometer digital, dan laptop DELL Inspiron 15 seri 5000 Core i7 RAM 8 GB. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain buah apel manalagi, *sakarin*, gula tebu dan aquades.

3.3 Metode Penelitian

3.3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini dimulai dari studi literatur. Tahap persiapan terdiri dari persiapan alat dan persiapan sampel. Setelah alat dan sampel siap, maka silakukan pengukuran menggunakan sistem akuisisi data yang digunakan. Tahap pengolahan data meliputi perhitungan nilai impedansi. Nilai impedansi dianalisa sehingga didapatkan hasil penelitian. Alur dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

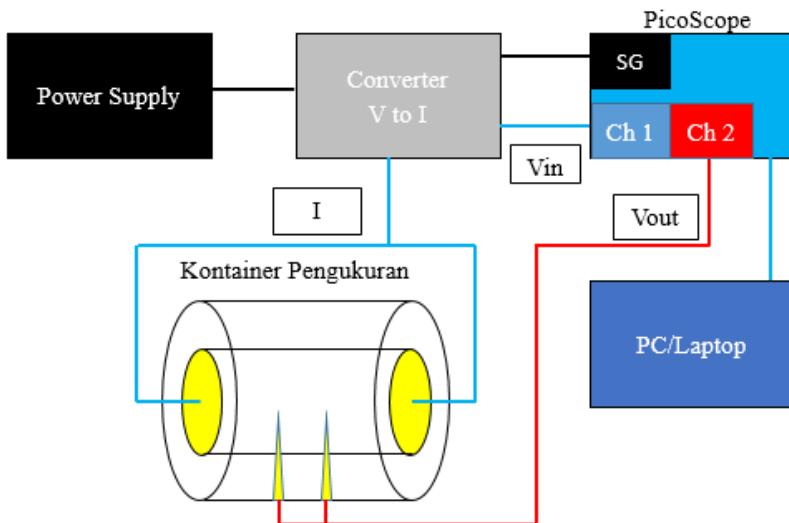
3.3.2 Sistem Akuisisi Data

Peralatan yang dipergunakan dalam penelitian pengukuran impedansi listrik ini adalah PicoScope series 5000 dengan tipe 5422B yang terdiri dari 2 *channel*. Secara umum prinsip kerja PicoScope pada penelitian ini adalah mengukur V input dan output serta menampilkan hasil pengukuran menggunakan media PC/Laptop dalam bentuk gelombang. Terdapat *software* bawaan PicoScope yang dapat diunduh di web resmi PicoScope, pada penelitian ini digunakan *software* PicoScope 6 versi 6.12.5.2630. Dalam *software* ini dapat diatur *time/div*, jumlah *channel* aktif yang digunakan, bentuk gelombang, nilai frekuensi, dan nilai amplitudo yang digunakan, serta *measurements* yang dapat digunakan untuk mengukur nilai V in dan Vout secara otomatis. *Channel* power PicoScope dihubungkan ke laptop, *channel* SG dihubungkan pada *converter V to I* bagian *signal generator*, *channel* A dihubungkan pada *converter V to I* bagian input, dan *channel* B dihubungkan ke kontainer pengukuran pada bagian elektroda jarum.

Power Supply pada rangkaian alat berfungsi sebagai sumber tegangan untuk *converter V to I*. Pada *power supply* terdapat dua *channel* dimana *channel* pertama dihubungkan ke sumber listrik dan *channel* kedua dihubungkan ke *converter V to I*. *Converter V to I* berfungsi mengubah tegangan menjadi arus yang akan diinjeksikan pada kontainer pengukuran yang berisi sampel. Terdapat dua potensiometer pada *converter V to I* yaitu faktor penguatan yang terdiri dari penguatan 1, 10, 100, dan 1000 kali dan besar arus 1 mA, 100 μ A, 10 μ A, dan 1 μ A. Terdapat tiga *channel* pada *converter V to I*, *channel* pertama dihubungkan pada *power supply*, *channel* kedua dihubungkan ke PicoScope pada *channel* bagian *signal generator*, dan *channel* ketiga dihubungkan ke kontainer pengukuran pada bagian elektroda injeksi.

Kontainer pengukuran terdiri dari empat elektroda dengan bahan emas. Kontainer atau tempat meletakkan sampel berbentuk tabung yang terbuat dari bahan akrilik dengan panjang 2,3 cm dan diameter tabung 2,7 cm. Pada bagian atas terdapat lubang untuk memasukkan sampel. Bagian samping dapat dibuka sehingga mempermudah proses pembersihan kontainer, serta terdapat penyanga untuk mengunci posisi tabung agar penutup samping tidak terlepas. Pada bagian ujung kontainer terdapat dua elektroda plat

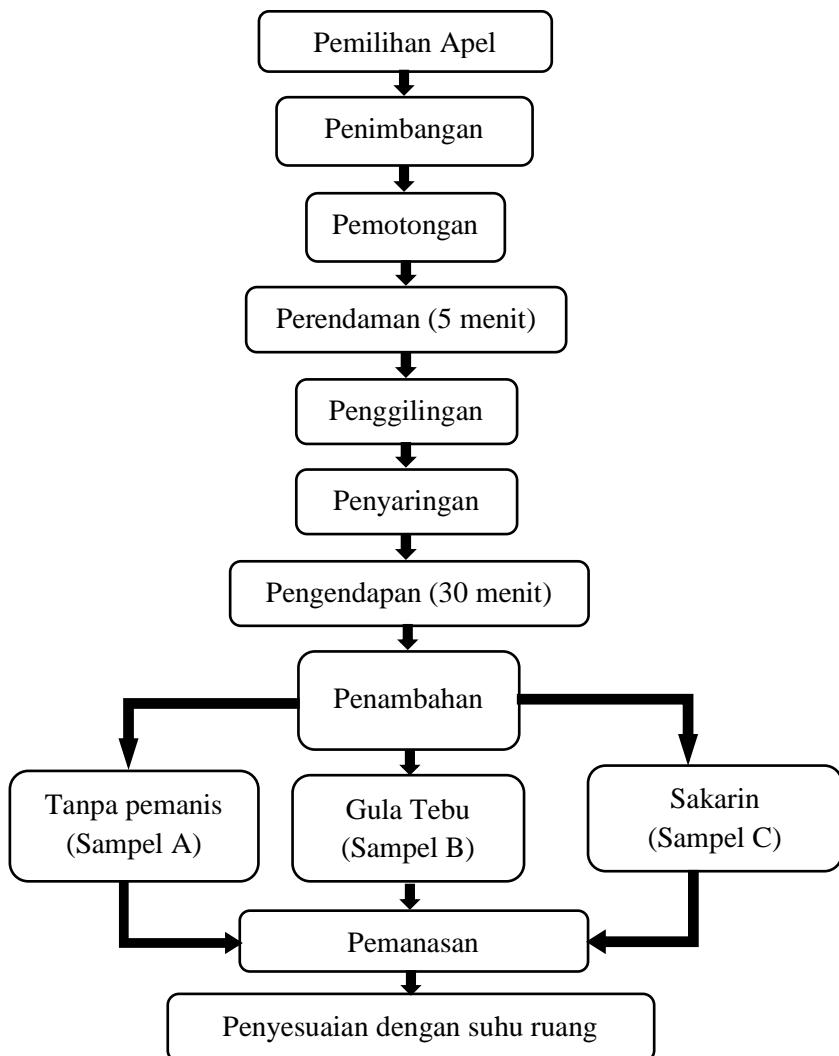
berbentuk lingkaran berdiameter 0,8 cm yang berfungsi untuk injeksi arus listrik, jarak antar plat adalah 2 cm. Pada bagian tengah terdapat dua elektroda jarum dengan jarak antar jarum 0,6 cm yang berfungsi untuk mengukur V_{out} . Pada kontainer terdapat dua *channel*, *channel* pertama digunakan untuk injeksi arus sehingga dihubungkan dengan *converter V to I* dan *channel* kedua sebagai pengukur V_{out} sehingga dihubungkan dengan PicoScope pada *channel B*. Rangkaian alat penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Rangkaian alat penelitian

3.3.3 Persiapan Sampel

Persiapan sampel pada penelitian ini dilakukan dalam dua tahapan yaitu tahap pembuatan sampel kontrol dan tahap pembuatan sampel dengan penambahan gula tebu dan *sakarin* yang dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Skema pembuatan sampel sari apel manalagi

Pembuatan sampel dilakukan dengan beberapa tahap. Buah apel disortir berdasarkan warna, bentuk, dan ukuran yang hampir sama. Dilakukan pemotongan buah apel dengan menggunakan pisau dan ditimbang menggunakan timbangan digital. Apel ditimbang dengan massa 20 gram. Pemilihan massa apel 20 gram sebagai kontrol dikarenakan nilai impedansi listrik berdasarkan tiga pengulangan menunjukkan nilai dengan simpangan yang kecil, nilai impedansi yang stabil serta nilai impedansi yang tidak terlalu tinggi atau rendah. Nilai impedansi yang tinggi akan menyebabkan gelombang Vout mengalami *cut off* pada frekuensi rendah, sedangkan nilai impedansi yang terlalu kecil akan menyebabkan cutt off pada frekuensi tinggi sehingga PicoScope sulit untuk menampilkan hasil pengukuran. Dilakukan perendaman dalam air dengan suhu 80°C selama 5 menit. Potongan apel digiling menggunakan blender dan dilakukan penyaringan serta pengendapan selama 30 menit. Pembuatan sampel kontrol dilakukan tanpa penambahan pemanis (Sampel A). Pembuatan sampel dengan pemanis dilakukan dengan penambahan gula tebu dan *sakarin* sesuai nama sampel dengan cara diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 menit agar tercampur secara homogen. Variasi massa gula pasir dan *sakarin* dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Variasi massa gula tebu

Nama Sampel	Massa Gula tebu (mg)
B1	3.000
B2	10.000
B3	15.000
B4	25.000
B5	50.000

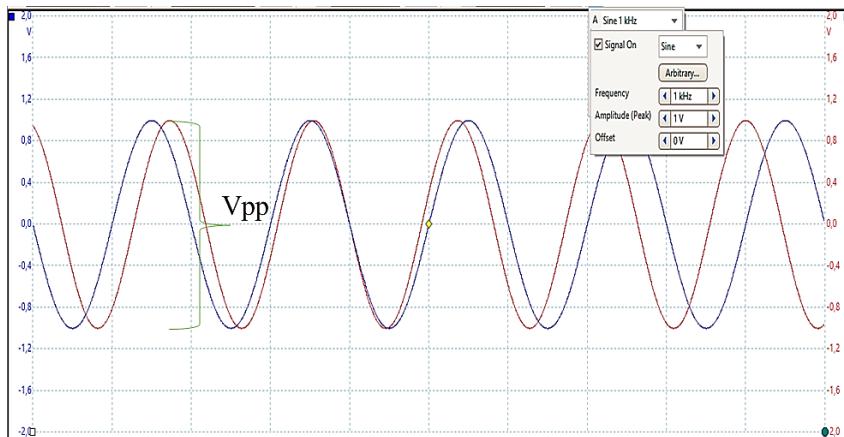
Tabel 3.2 Variasi massa sakarin

Nama Sampel	Massa Sakarin (mg)
C1	10
C2	30
C3	50
C4	70

Dilanjutkan dengan proses pemanasan menggunakan oven selama 15 menit dengan suhu 90°C. Sari apel didiamkan hingga suhu sesuai dengan suhu ruang selama 1 jam dan sampel siap untuk menuju tahap pengukuran impedansi listrik.

3.3.4 Pengukuran Sampel

Rangkaian sistem pengukuran dihubungkan dengan laptop dan software PicoScope dibuka, dilakukan pengaturan sehingga muncul tampilan yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Hasil pengaturan *software* PicoScope

Pengaturan *software* dilakukan dengan beberapa tahap, yang pertama jumlah *channel* aktif yang digunakan diatur sebanyak dua *channel* yaitu *channel* A dan B. Pada tampilan aplikasi terdapat dua gelombang yang berwarna biru dan merah. Gelombang berwarna biru

merupakan hasil pengukuran dari *channel A* yang menunjukkan V_{in} , sedangkan gelombang berwarna merah merupakan hasil pengukuran dari *channel B* yang menunjukkan V_{out} . Terdapat skala pada bagian kiri untuk *channel A* dan pada bagian kanan untuk *channel B*. Diatur bentuk gelombang yang digunakan yaitu sinusoidal, nilai amplitudo yang digunakan adalah 1 Volt, *measurements* diaktifkan dan diatur untuk mengukur nilai V_{in} dan V_{out} sebagai V_{pp} . Sampel dimasukkan kedalam kontainer pengukuran dan ditutup dengan *alumunium foil*. Dilakukan pengukuran dengan menggunakan frekuensi pada rentang 1 Hz hingga 1 MHz yang dapat diatur dengan software pada laptop dengan arus injeksi 100 μ A yang dapat diatur pada *converter V to I*. Besar *time/div* diatur sesuai dengan kerapatan gelombang. Hasil pengukuran *di-record* mulai gelombang pertama pada sisi kiri layar hingga gelombang terakhir pada sisi kanan layar. Kemudian *di-pause* dan di simpan dalam direktori penyimpanan *file* yang ditentukan.

3.4 Analisis Data

Data hasil pengukuran berupa nilai V_{in} dan V_{out} dalam bentuk gelombang sinusoidal dengan nilai V_{pp} kemudian dilakukan perhitungan. Perhitungan data meliputi perhitungan nilai impedansi dari sampel kontrol dan sampel dengan penambahan pemanis. *File* dibuka dan dicatat nilai V_{pp} dari hasil pengukuran *measurements software* PicoScope pada setiap frekuensi yang digunakan.

Perhitungan nilai tegangan dilakukan dengan menghitung nilai V , atau setengah dari V_{pp} dengan menggunakan Persamaan 3.1.

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

Dimana, V = tegangan total (Volt)

V_{pp} = tegangan *peak to peak* (Volt)

Perhitungan nilai impedansi listrik dilakukan menggunakan Persamaan 3.2.

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

Dimana, Z = impedansi (Ω)

V = tegangan (Volt)

I = arus injeksi dari *converter V to I* (Ampere)

Data hasil penelitian dan hasil perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 2. Analisa data untuk mengetahui pengaruh frekuensi terhadap nilai impedansi listrik dilakukan dengan membuat plot grafik dengan sumbu X merupakan nilai frekuensi (Hz) dan sumbu Y merupakan nilai impedansi listrik (Ω). Untuk mengetahui pengaruh penambahan pemanis terhadap nilai impedansi maka diplot grafik dengan sumbu X merupakan besar massa pemanis yaitu gula tebu dan *sakarin* dan sumbu Y merupakan nilai impedansi listrik (Ω).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

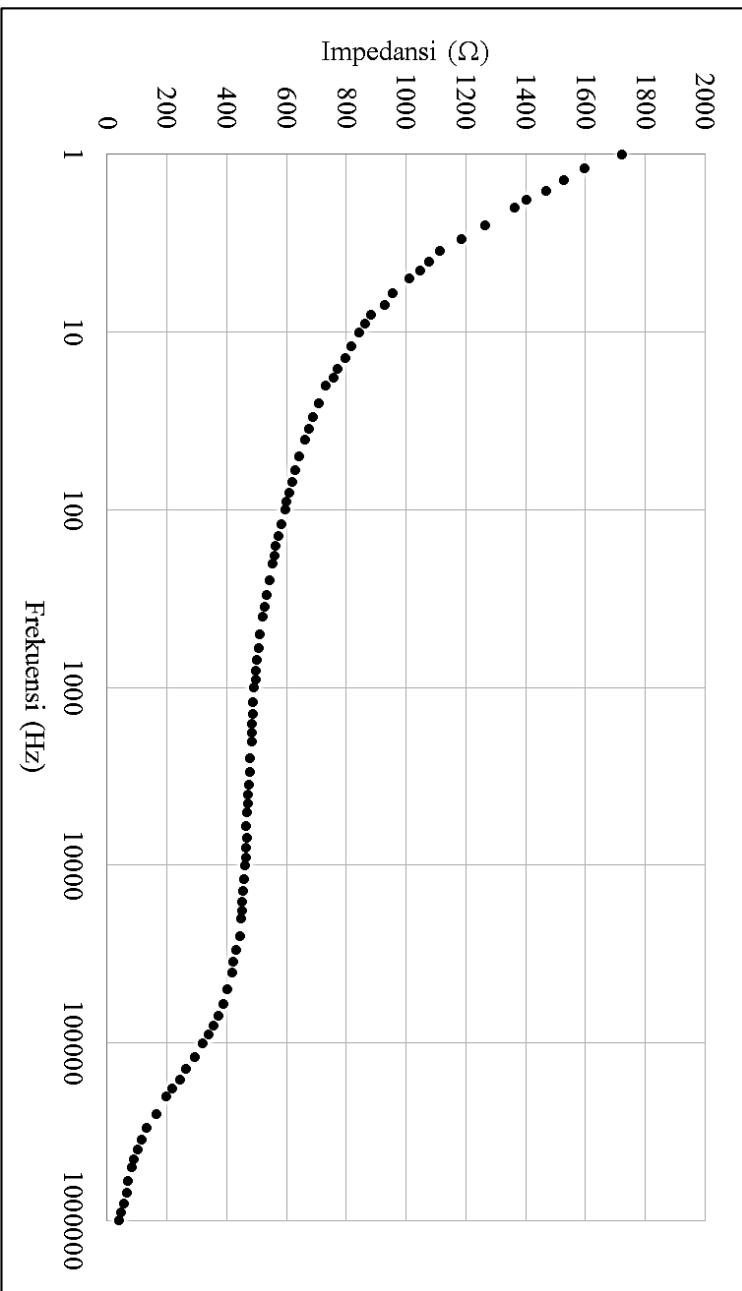
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Nilai Impedansi Listrik Sari Apel Manalagi tanpa Pemanis

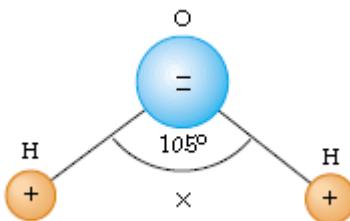
Hasil pengukuran dalam penelitian ini berupa nilai tegangan masukan dan tegangan keluaran dalam bentuk gelombang sinusoidal. Tegangan masukan (V_{in}) yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 1 Volt. Bentuk gelombang tegangan keluaran (V_{out}) hasil dari pengukuran stabil mulai dari frekuensi 1 Hz hingga 100 kHz, pada frekuensi di atas 100 kHz hingga 1 MHz gelombang mengalami *cut off* yang ditandai dengan bentuk gelombang yang terpotong, acak dan terdapat banyak noise. Gambar 4.1 menunjukkan nilai impedansi listrik sari apel dengan massa 20 gram yang diinjeksi dengan arus listrik sebesar $100 \mu\text{A}$ dengan rentang frekuensi 1 Hz hingga 1 MHz. Nilai impedansi listrik sari apel manalagi pada frekuensi 1 Hz menunjukkan nilai $1721,167 \Omega$, dan nilai impedansi terkecil terdapat pada frekuensi 1 MHz yaitu sebesar $41,870 \Omega$. Penggunaan skala logaritmik dikarenakan nilai impedansi dipengaruhi oleh komponen resistansi dan kapasitansi yang dapat dianalogikan dengan model randles.

Dalam rentang frekuensi 1 Hz hingga 1 kHz, nilai impedansi turun secara drastis yang menunjukkan sifat kapasitansi yang dominan, nilai impedansi turun ketika terjadi polarisasi molekul-molekul yang menyusun sari apel manalagi. Penurunan nilai impedansi listrik pada frekuensi rendah ini merupakan dispersi α . Dalam rentang frekuensi 1 kHz hingga 10 kHz nilai impedansi listrik sari apel menunjukkan nilai yang relatif konstan meskipun tetap terjadi penurunan dengan nilai yang kecil. Nilai yang relatif konstan ini terjadi dikarenakan arah dipol-dipol molekul air yang mendekati sejajar dengan medan listrik eksternal dari injeksi arus. Dalam rentang frekuensi 10 kHz hingga 1 MHz nilai impedansi listrik kembali mengalami penurunan yang drastis hingga mencapai nilai yang sangat kecil. Nilai impedansi listrik menurun drastis hingga bernilai sangat rendah dikarenakan adanya dispersi β .



Gambar 4.1 Nilai impedansi listrik sari apel manalagi tanpa pemanis

Dalam metode dielektrik plat sejajar, sari apel manalagi berperan sebagai bahan dielektrik yang menghambat arus listrik yang di injeksikan. Bahan dielektrik ini yang mempengaruhi nilai beda potensial pada kedua plat kapasitor sebelum dan sesudah diberi arus injeksi. Sari apel manalagi tersusun dari banyaknya komposisi air. Air merupakan molekul yang bersifat polar dengan arah polarisasi yang acak sebelum dilewati oleh medan listrik eksternal. Muatan negatif terletak pada atom O dan muatan positif terletak di antara kedua atom H yang ditandai dengan simbol x seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Polaritas molekul air (Serway, 2004)

Pengaruh sel yang berasal dari penggunaan buah apel tidak terlalu banyak dalam merubah nilai impedansi sari apel, hal ini dikarenakan pada proses pembuatan sari apel dilakukan penyaringan dan pemanasan hingga didapatkan sampel yang bersifat cair dan didominasi oleh kandungan air. Ketika diberi medan listrik eksternal akibat adanya injeksi arus listrik, arah polarisasi molekul-molekul air akan berputar hingga sejajar dengan arah medan listrik eksternal. Tingkat kesejajaran arah polarisasi molekul air tersebut meningkat seiring dengan besarnya medan listrik yang diinduksi pada bahan dielektrik. Dengan frekuensi yang lebih besar, maka arus akan menyebabkan dipol-dipol molekul penyusun sari apel manalagi menjadi semakin sejajar dengan arah medan listrik. Kesejajaran dipol-dipol listrik ini menyebabkan nilai impedansi sari apel manalagi semakin kecil seiring dengan besarnya frekuensi arus AC yang diinjeksikan.

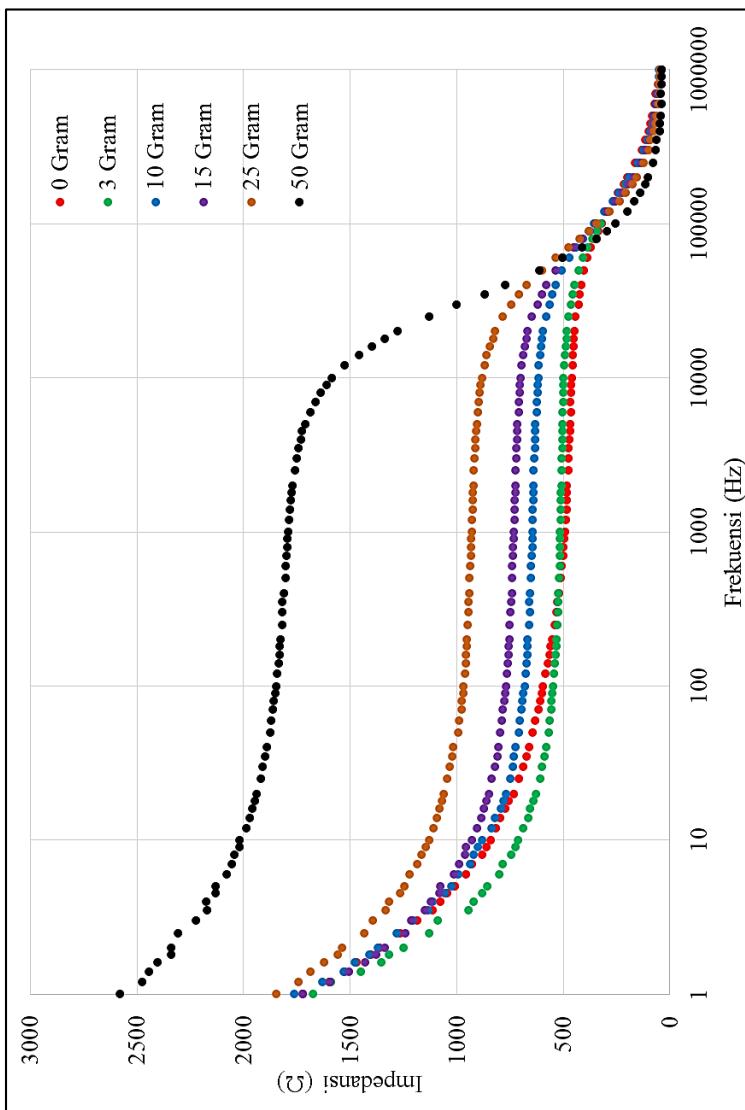
4.2 Nilai Impedansi Listrik Sari Apel Manalagi dengan Gula

Tebu

Penambahan gula tebu dilakukan dengan variasi massa 3, 10, 15, 25, dan 50 gram yang dapat dilihat pada Tabel 3.2. Pengukuran dilakukan dengan metode yang sama dengan sampel kontrol sari apel manalagi. Penggunaan rentang frekuensi mulai dari 1 Hz hingga 1 MHz pada penelitian ini bertujuan untuk menentukan rentang frekuensi efektif yang dapat digunakan untuk membedakan massa pemanis yang ditambahkan pada sari apel manalagi berdasarkan nilai impedansi listrik yang terukur. Pengaruh frekuensi terhadap nilai impedansi sari apel dengan penambahan gula tebu dapat dilihat dari Gambar 4.3. Dalam rentang frekuensi 1 Hz hingga 1 kHz, nilai impedansi sari apel tidak bisa dibedakan berdasarkan penambahan massa gula tebu dikarenakan nilai yang acak dan terjadi persilangan (*cross*) yang terlihat jelas antara sampel kontrol dengan sampel dengan massa gula tebu 3 gram.

Dalam rentang frekuensi 1 kHz hingga 10 kHz dapat diamati dengan baik perbedaan nilai impedansi listrik berdasarkan penambahan massa gula tebu. Dalam rentang frekuensi ini dapat dilihat dengan jelas bahwa nilai impedansi listrik sari apel manalagi mengalami kenaikan seiring besarnya penambahan massa gula tebu.

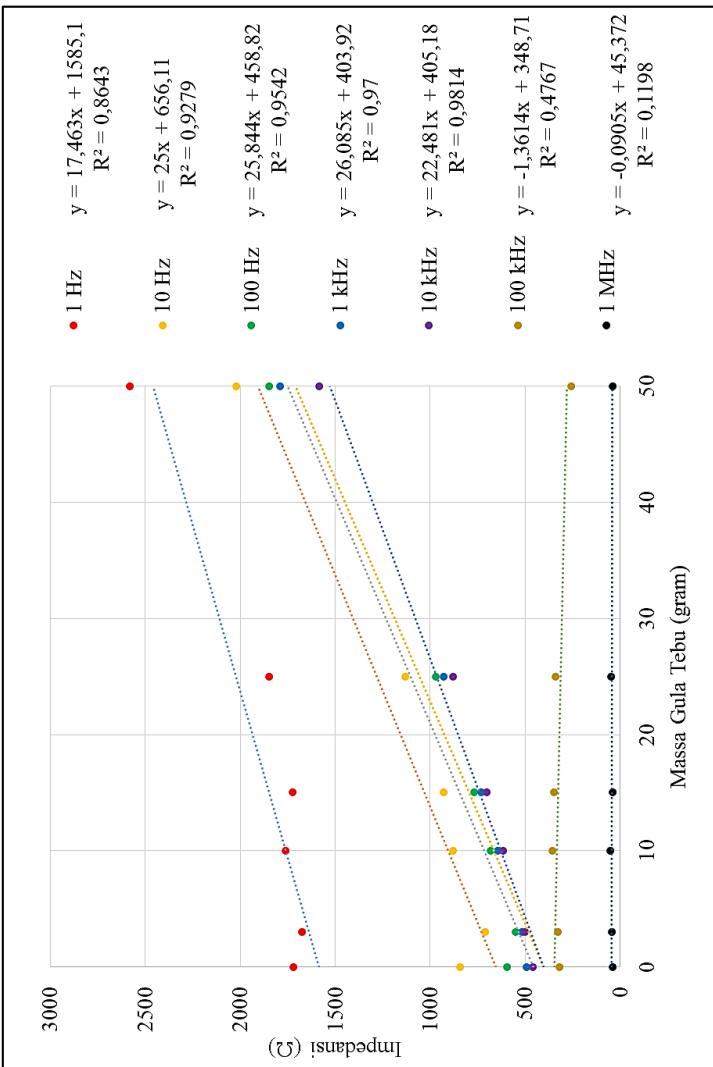
Dalam rentang frekuensi 10 kHz hingga 1 MHz respon frekuensi alat tidak cukup bagus, sinyal output yang terbaca oleh PicoScope mengalami cut off. Dalam rentang frekuensi ini nilai impedansi sari apel juga tidak bisa dibedakan berdasarkan penambahan massa gula tebu. Nilai impedansi dalam rentang frekuensi ini kembali acak dan terjadi persilangan (*cross*).



Gambar 4.3 Nilai impedansi listrik sari apel manalagi dengan gula tebu

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa nilai impedansi listrik sari apel dengan gula tebu mengalami fluktuasi pada frekuensi 1 Hz, 10 Hz, dan 100 Hz. Fluktuasi ini terjadi karena pada frekuensi rendah, momen dipol bahan masih tersusun secara acak dan belum terlalu terpengaruh medan listrik eksternal dari injeksi arus. Ketika diplot grafik dengan frekuensi 1 kHz dan 10 kHz, terlihat jelas bahwa nilai impedansi naik akibat penambahan gula tebu pada sari apel manalagi. Nilai impedansi sari apel manalagi cenderung semakin bertambah seiring dengan besarnya penambahan massa gula tebu. Pada penggunaan frekuensi 100 kHz dan 1 MHz nilai impedansi justru mengalami penurunan. Nilai impedansi yang cenderung turun dengan gradien yang kecil ini menunjukkan bahwa pada rentang frekuensi ini, alat yang digunakan sudah tidak dapat digunakan untuk membedakan pengaruh penambahan massa gula tebu pada sari apel manalagi. R^2 merupakan koefisien determinasi, dengan besarnya error = 1 - R^2 sehingga dapat dikatakan bahwa apabila R^2 mendekati nilai 1 maka error bernilai kecil. Error terkecil terdapat pada penggunaan frekuensi 1 kHz dan 10 kHz.

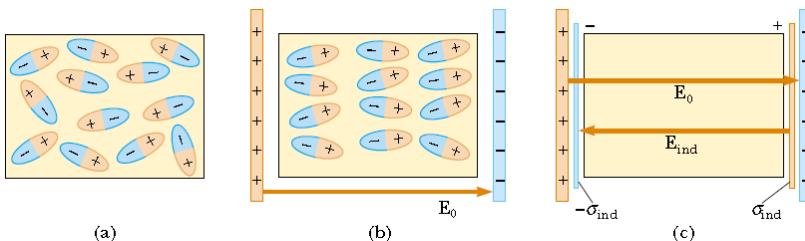
Karakterisasi nilai impedansi listrik sari apel manalagi berdasarkan penambahan massa gula tebu dapat dilakukan dengan linierisasi grafik hubungan massa gula tebu terhadap impedansi listrik. Dalam persamaan garis terdapat gradien yang menunjukkan kemiringan garis. Kemiringan garis atau gradien ini yang menentukan besarnya pengaruh penambahan massa gula tebu terhadap nilai impedansi yang mampu terukur oleh alat dalam metode penelitian ini. Gradien garis yang terbentuk pada penggunaan frekuensi 10 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz dan 100 kHz memiliki nilai yang tidak jauh berbeda yaitu sekitar 22,4 hingga 26. Gradien dengan nilai yang hampir sama ini menunjukkan bahwa karakteristik nilai impedansi listrik berdasarkan penambahan massa gula tebu cenderung naik dan dapat terukur dengan baik dengan alat menggunakan rentang frekuensi 10 Hz hingga 100 kHz.



Gambar 4.4 Pengaruh penambahan massa gula tebu terhadap nilai impedansi listrik sari apel manalagi pada berbagai frekuensi

Kenaikan nilai impedansi listrik ini terjadi dikarenakan air yang merupakan komponen terbesar pada sari apel manalagi merupakan molekul yang bersifat polar serta gula tebu juga merupakan senyawa yang mempunyai sifat polar. Gula tebu bersifat polar ditandai dengan larutnya dalam air serta memiliki ikatan O-H. Struktur kimia gula tebu dapat dilihat pada Gambar 2.9.

Bahan yang bersifat polar apabila dilarutkan dalam pelarut yang bersifat polar maka akan larut. Atom-atom pada molekul polar sudah membentuk dipol-dipol listrik secara permanen namun masih tersusun secara acak, dapat dianalogikan seperti pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Molekul polar
 (a) Sebelum diberi medan listrik
 (b) Sesudah diberi medan listrik eksternal (c) Medan listrik induksi akibat medan listrik eksernal (serway, 2004)

Semakin banyak gula tebu yang ditambahkan pada sari apel manalagi, maka semakin banyak dipol-dipol listrik pada bahan. Semakin banyaknya dipol-dipol listrik menyebabkan arus injeksi memerlukan frekuensi yang lebih tinggi untuk proses polarisasi. Semakin banyak dipol-dipol yang mengalami polarisasi menyebabkan semakin banyak pula medan listrik induksi yang muncul dengan arah berlawanan dengan medan arus injeksi. Besarnya medan medan arus induksi ini yang menyebabkan nilai impedansi listrik sari apel manalagi semakin tinggi. Nilai impedansi secara konsisten naik seiring bertambahnya massa gula tebu yang ditambahkan pada sari apel manalagi. Kenaikan terendah yaitu pada penambahan massa gula tebu sebanyak 3 gram, sedangkan kenaikan tertinggi yaitu pada penambahan massa gula tebu sebanyak 50 gram.

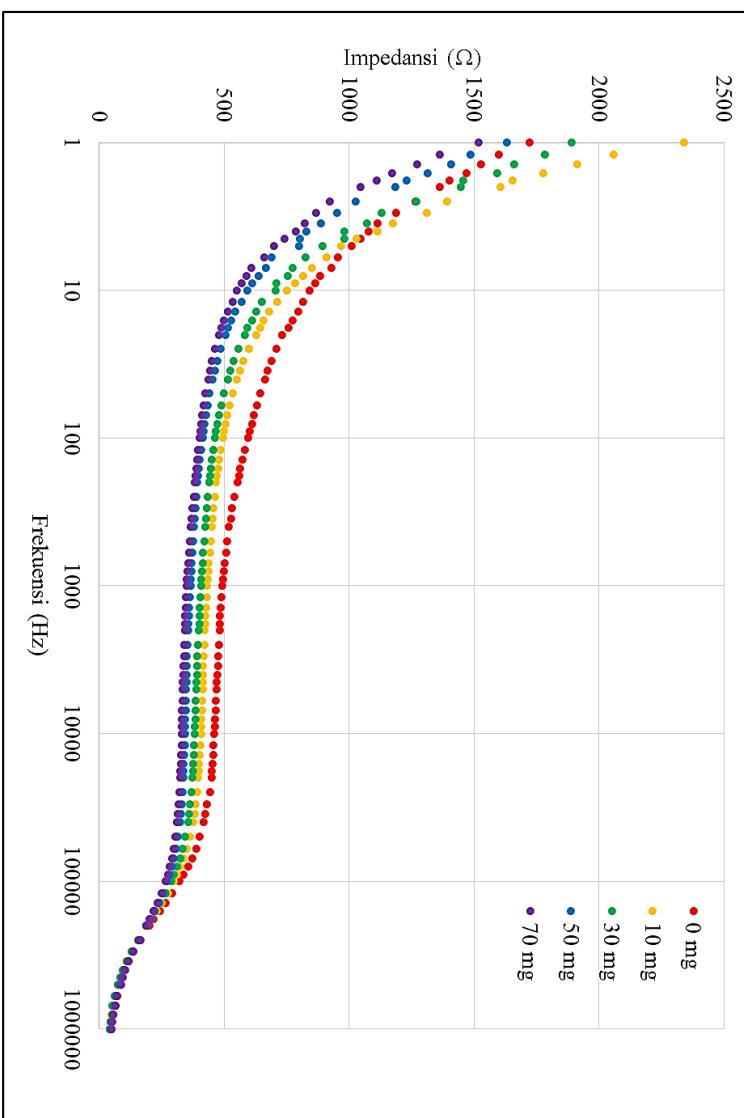
4.3 Nilai Impedansi Listrik Sari Apel Manalagi dengan *Sakarin*

Penambahan *sakarin* dilakukan dengan variasi massa 10, 30, 50, dan 70 mg yang dapat dilihat pada Tabel 3.3. Pengukuran dilakukan dengan metode yang sama dengan sampel kontrol sari apel manalagi tanpa tambahan pemanis. Nilai impedansi listrik sari apel memiliki fluktuasi nilai pada frekuensi rendah. Nilai impedansi sari apel manalagi cenderung semakin berkurang seiring dengan besarnya penambahan massa *sakarin*. Dalam rentang frekuensi tinggi, nilai impedansi listrik sari apel manalagi dengan *sakarin* tidak terbedakan karena nilai yang kecil.

Pengaruh frekuensi terhadap nilai impedansi sari apel dengan penambahan *sakarin* dapat dianalisa dari Gambar 4.6. Dalam rentang frekuensi 1 Hz hingga 10 Hz, nilai impedansi sari apel tidak bisa dibedakan berdasarkan penambahan massa *sakarin* dikarenakan nilai yang acak dan terjadi persilangan (cross).

Dalam rentang frekuensi 10 Hz hingga 10 kHz, nilai impedansi listrik sari apel menunjukkan nilai yang relatif konstan meskipun tetap terjadi penurunan dengan nilai yang kecil. Dalam rentang frekuensi ini dapat diamati dengan baik perbedaan nilai impedansi listrik berdasarkan penambahan massa *sakarin*. Nilai impedansi listrik mengalami penurunan seiring besarnya penambahan massa *sakarin*.

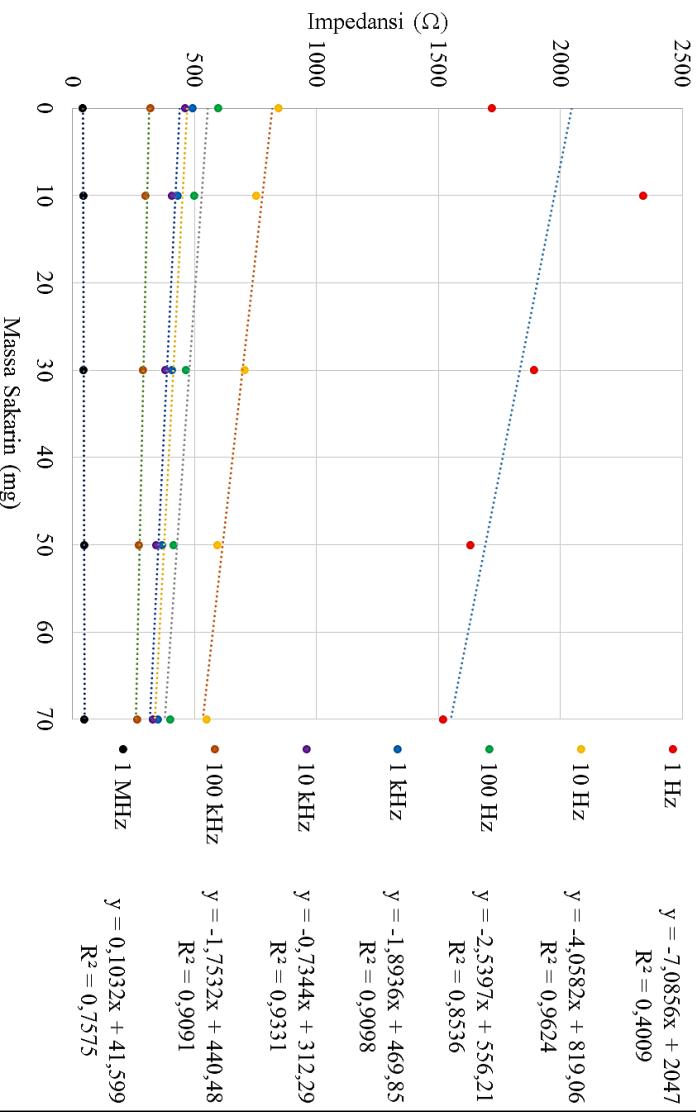
Dalam rentang frekuensi 10 kHz hingga 1 MHz nilai impedansi listrik kembali mengalami penurunan yang drastis hingga mencapai nilai yang sangat kecil. Respon frekuensi alat juga tidak cukup bagus dalam frekuensi tinggi. Dalam rentang frekuensi ini nilai impedansi sari apel juga tidak bisa dibedakan berdasarkan penambahan massa *sakarin* dikarenakan nilai yang acak dan terjadi persilangan (cross).



Gambar 4.6 Nilai impedansi listrik sati apel manalagi dengan *sakarin*

Pengaruh penambahan massa *sakarin* terhadap nilai impedansi listrik sari apel manalagi pada penggunaan frekuensi 1 Hz, 10 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz, dan 1MHz dapat dilihat pada Gambar 4.7. Nilai impedansi listrik sari apel dengan *sakarin* mengalami fluktuasi pada frekuensi 1 Hz. Ketika diplot grafik pada frekuensi 1 Hz, 10 Hz, 100 Hz, 1 kHz dan 10 kHz, terlihat bahwa nilai impedansi mengalami penurunan akibat penambahan *sakarin* pada sari apel manalagi. Nilai impedansi sari apel manalagi cenderung semakin turun seiring dengan besarnya penambahan massa *sakarin*. Dengan penggunaan frekuensi 1 MHz nilai impedansi justru mengalami kenaikan. Nilai impedansi yang justru naik dengan gradien yang kecil ini menunjukkan bahwa pada rentang frekuensi ini, alat yang digunakan sudah tidak dapat membedakan pengaruh penambahan massa *sakarin* terhadap nilai impedansi listrik sari apel manalagi. Error terkecil terdapat pada penggunaan frekuensi 1 kHz dan 10 kHz.

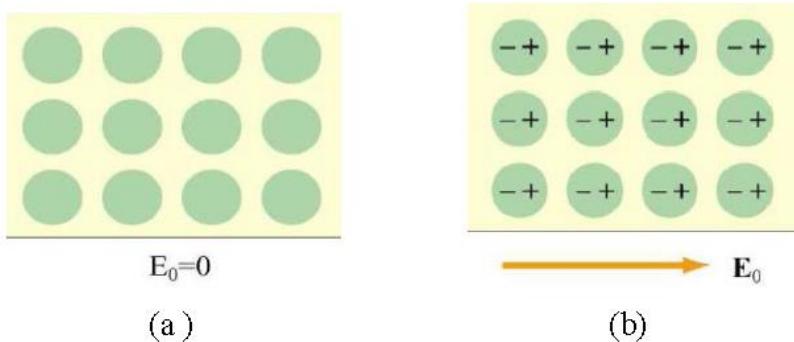
Nilai impedansi listrik sari apel manalagi berdasarkan penambahan massa *sakarin* dapat dianalisis karakteristiknya dengan linierisasi grafik hubungan massa *sakarin* terhadap nilai impedansi listrik. Dari linierisasi didapatkan persamaan garis, terdapat gradien yang menunjukkan kemiringan garis tersebut. Kemiringan garis atau gradien menentukan besarnya pengaruh penambahan massa *sakarin* terhadap nilai impedansi yang mampu terukur oleh rangkaian alat dalam penelitian. Gradien garis yang terbentuk pada penggunaan frekuensi 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz dan 100 kHz memiliki nilai yang tidak jauh berbeda yaitu sekitar -0,7 hingga -2,5. Gradien bernilai negatif menunjukkan bahwa penambahan massa *sakarin* mengakibatkan nilai impedansi listrik sari apel manalagi mengalami penurunan. Gradien dengan nilai yang hampir sama ini menunjukkan bahwa karakteristik nilai impedansi listrik berdasarkan penambahan massa *sakarin* yang cenderung turun dapat terukur dengan baik menggunakan alat pada rentang frekuensi 100 Hz hingga 100 kHz.



Gambar 4.7 Pengaruh penambahan massa sakarin terhadap nilai impedansi listrik pada berbagai frekuensi.

Penurunan nilai impedansi listrik ini terjadi dikarenakan air yang merupakan komponen terbesar pada sari apel manalagi merupakan molekul yang bersifat polar sedangkan *sakarin* mempunyai sifat non polar. *Sakarin* bersifat non polar ditandai dengan tidak adanya kutub positif atau negatif pada struktur kimianya akibat meratanya distribusi elektron, dapat dilihat struktur kimia dari *sakarin* pada Gambar 2.10. Sifat nonpolar *sakarin* dapat ditandai dengan tidak mudah larutnya *sakarin* dalam pelarut air pada suhu ruang. Proses pembuatan sari apel melibatkan proses pemanasan dengan suhu 90°C selama 15 menit. Dengan adanya proses pemanasan ini, *sakarin* dapat tercampur secara homogen pada sari apel manalagi.

Atom-atom pada molekul non polar belum membentuk dipol-dipol listrik secara permanen. Injeksi arus yang diberikan akan menyebabkan polarisasi dan menyearahkan dipol-dipol yang terbentuk. Semakin banyak *sakarin* yang ditambahkan pada sari apel manalagi, maka semakin banyak dipol-dipol listrik pada bahan. Molekul non polar yang terpengaruh medan listrik luar akan menginduksi momen dipol yang searah dengan arah medan listrik, namun juga menghasilkan medan listrik dengan arah sejajar dengan medan listrik awal (Serway, 2004). Polarisasi molekul non polar dapat dianalogikan sesuai pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Polarisasi molekul non polar (Young, 2004)

Semakin tinggi massa *sakarin* yang dicampurkan pada sari apel manalagi, maka arah polaritas akan searah dengan medan listrik awal sehingga nilai impedansi semakin rendah. Nilai impedansi secara konsisten turun seiring bertambahnya massa *sakarin* yang ditambahkan pada sari apel manalagi. Penurunan terbesar terlihat

antara sampel kontrol dengan sampel yang ditambahkan *sakarin* sebanyak 10 mg, sedangkan penurunan terkecil terlihat antara sampel dengan penambahan massa *sakarin* sebanyak 60 dan 70 mg dengan grafik yang terlihat hampir berhimpit. Nilai impedansi yang mendekati sama ini disebabkan oleh hampir jenuhnya *sakarin* dalam sari apel manalagi sehingga dengan penambahan massa *sakarin* yang sangat besar tidak menurunkan nilai impedansi listrik sari apel secara signifikan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Nilai impedansi listrik sari apel manalagi yang diukur pada rentang frekuensi 1 Hz hingga 1 MHz turun dari 1721,166 Ω hingga 41,870 Ω seiring pertambahan frekuensi. Rentang frekuensi yang dapat digunakan untuk membedakan komposisi pemanis baik gula tebu ataupun *sakarin* yang ditambahkan pada sari apel manalagi adalah mulai dari 1 kHz hingga 10 kHz. Rentang frekuensi yang tidak dapat digunakan untuk membedakan komposisi gula tebu dan *sakarin* pada sari apel manalagi adalah 1 Hz hingga 1 kHz dan 10 kHz hingga 1 MHz. Nilai impedansi listrik sari apel manalagi naik seiring dengan besarnya penambahan massa gula tebu. Nilai impedansi listrik sari apel manalagi turun seiring dengan besarnya penambahan massa *sakarin*.

5.2 Saran

Pengukuran sebaiknya dilakukan pada suhu yang konstan. Penelitian dengan metode empat elektroda apabila menggunakan sampel yang berkomponen dominan air maka besar arus injeksi menggunakan 100 μ A atau 1 mA agar tegangan dapat ditampilkan dan terukur dengan baik menggunakan PicoScope. Disarankan identifikasi kandungan pemanis dengan metode ini dilakukan dengan frekuensi arus injeksi 1 kHz hingga 10 kHz.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarsari, Indrie, Qanytah dan Sarjana. 2008. *Penerapan Standar Penggunaan Pemanis Buatan Pada Produk Pangan*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jawa Tengah.
- Cahyadi, W. 2008. *Analisa Dan Aspek Kesehatan Bahan Tambahan Pangan. Edisi Kedua*. Bumi Aksara. Jakarta.
- Dwi, B. R. S. 2014. *Konstanta Dielektrik Bahan Kertas Karton Pada Keping Sejajar*. Jurnal Fisika Vol. 4 No. 2, Nopember 2014, 4, 74–77.
- El Khaled, D., Novas, N., Gazquez, J. a, Garcia, R. M., & Manzano-Agugliaro, F. 2015. *Fruit and Vegetable Quality Assessment via Dielectric Sensing. Sensors (Basel, Switzerland)* (Vol. 15). <http://doi.org/10.3390/s150715363>
- Grimnes, Sverre., Orjan G. M. 2015. *Bioimpedance and Bioelectricity Basics*. Elsevier Ltd. UK.
- Hermawan, Bandi. 2005. “*Monitoring Soil Water Content Using Dielectrical Properties At Corn Field.*” JIPI 7 (1): 15–22.
- Islahiyya, Nurussyarifatul. 2016. *Pengukuran Impedansi Listrik Campuran Lemak Babi Pada Lemak Sapi Menggunakan Metode Plat Sejajar*. Skripsi Jurusan Fisika Universitas Brawijaya. Malang.
- Juansah, J. 2013. *Kajian spektroskopi impedansi listrik untuk evaluasi kualitas buah jeruk keprok garut secara nondestruktif*. Institut Pertanian Bogor.
- Karris, S. T. 2009. *Circuit Analysis I With MATLAB Applications*. Orchard Publications. Kanada.
- Ketter, J. 2011. *Electrochemical Impedance Spectroscopy : Theory and Application*. NACE International.
- Khurniyati, M. I., Estiasih, T., P. 2015. *Pengaruh Konsentrasi Natrium Benzoat Dan Kondisi Paseurisasi (Suhu Dan Waktu)*

Terhadap Karakteristik Minuman Sari Apel Berbagai Varietas : Kajian Pustaka Effect of Concentration Sodium Benzoate and Pasteurization (Temperature and Time) on Characterist. Jurnal Pangandaran Agroindustri, 3(2), 523–529.

Kusumawati.R., M.A. Irawan, dan A.Purbasari. 2013. *Pengaruh Perbandingan Jumlah Sarter Terhadap Proses Fermentasi Wine Apel Menggunakan Nopkor MZ-11*. Jurnal Teknologi Kimia dan Industri. Vol.2, No.2, Hal 226-232.

O'Donnell, Malcolm W. 2012. *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology*. John Wiley & Sons, Ltd. UK.

Raj, R., & C, N. B. 2013. *Bio Impedance Spectroscopy For The Assessment Of Quality Of Fruits By Constructing The Equivalent Circuit*, 2(11), 1773–1776.

Rasyid, R. 2011. *Analisis Pemanis Sintesis Natrium Sakarin Dan Natrium Siklamat Dalam Teh Kemasan*. Jurnal Farmasi Higea, 3(1), 52–57.

Respati, 1977. *Pengantar Kimia Organik II*. Aksara Baru. Jakarta.

Sari, Cholifatyani Mukti, Chomsin S Widodo, and Didik R Santoso. 2016. *Pengukuran Impedansi Listrik Suatu Larutan Dengan Menggunakan Probe Plat Sejajar*. Physics Student Journal.

Santoso, D. R. 2013. *Diktat Elektronika Dasar 1*. Penerbit Akademik Fisika FMIPA Universitas Brawijaya. Malang.

Serway, Raymond A, 2004. *Physics for Scientists and Engineers. 6th Edition*. ISBN 0534408427. Thomson Brooks/Cole. California.

Soelarso. 1996. *Budidaya Apel*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.

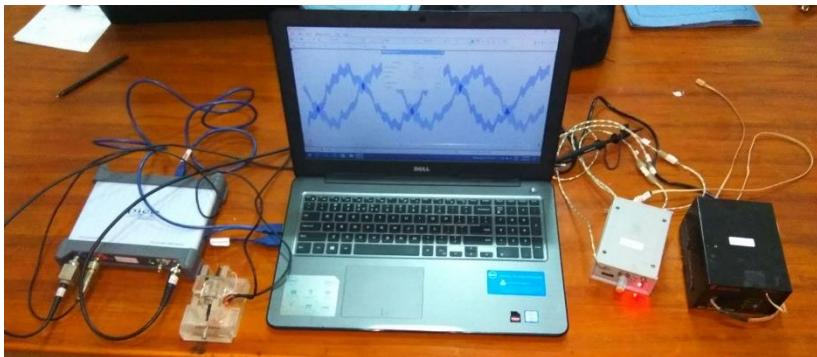
Untung, Onny. 1994. *Jenis dan Budi Daya Apel*. Penebar Swadaya. Jakarta.

Voitechovic, E., Kirsanov, D., & Legin, A. 2016. *An approach to potentiometric sensing of sugars: Baker's yeast assisted pH electrode*. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 225, 209–212. <http://doi.org/10.1016/j.snb.2015.11.021>

- Vlack, Lawrence H. Van. 2004. *Elemen-Elemen Ilmu Dan Rekayasa Material*. Erlangga. Jakarta.
- Ando, Yasumasa. 2014. *Electrical impedance analysis of potato tissues during drying*. Journal of Food Engineering 121 (2014) 24–31. Jepang.
- Young, Hugh D. 2004. *Fisika Universitas*. Erlangga. Jakarta.
- Young & Freedman. 2000. *Fisika Universitas Edisi Kesepuluh Jilid 2*. Erlangga. Jakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Alat dan Bahan Penelitian



(a) Rangkaian Alat Penelitian

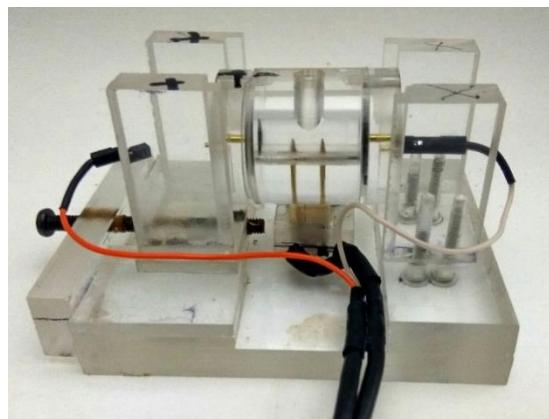


(b) Power Supply (c) Converter V to I



(d) PicoScope

(e) PC/Laptop



(f) Kontainer Pengkuran



(g) Gelas ukur



(h) Oven



(i) Pisau



(j) Alumunium foil



(k) Magnetic Stirrer



(l) Timbangan digital



(m) Blender



(n) *Sakarin*



(o) Gula Tebu

Lampiran 2 Data Hasil Penelitian

A. Sari apel tanpa pemanis

Frekuensi (Hz)	Vout (Volt)			Z rata rata (Ω)	Deviasi	Kr (%)
	1	2	3			
1	0,1516	0,2170	0,1478	1721,167	0,0225	6,527
1,2	0,1411	0,2027	0,1355	1597,500	0,0215	6,740
1,4	0,1346	0,1943	0,1295	1527,500	0,0208	6,809
1,6	0,1304	0,1869	0,1234	1468,833	0,0201	6,846
1,8	0,1246	0,1784	0,1178	1402,167	0,0192	6,835
2	0,1217	0,1735	0,1141	1364,000	0,0187	6,839
2,5	0,1112	0,1609	0,1076	1265,333	0,0172	6,792
3	0,1048	0,1499	0,1015	1187,167	0,0156	6,579
3,5	0,0982	0,1397	0,0961	1113,167	0,0142	6,381
4	0,0970	0,1358	0,0907	1078,333	0,0141	6,538
4,5	0,0920	0,1336	0,0883	1046,000	0,0145	6,939
5	0,0881	0,1293	0,0857	1010,333	0,0142	7,003
6	0,0835	0,1203	0,0831	956,167	0,0123	6,454
7	0,0803	0,1194	0,0795	930,500	0,0132	7,067
8	0,0777	0,1106	0,0766	882,667	0,0112	6,328
9	0,0758	0,1082	0,0750	863,167	0,0109	6,340
10	0,0750	0,1050	0,0730	843,167	0,0103	6,127
12	0,0731	0,1007	0,0713	816,667	0,0095	5,835
14	0,0705	0,0981	0,0703	796,000	0,0093	5,810
16	0,0691	0,0949	0,0678	772,333	0,0088	5,708
18	0,0680	0,0932	0,0661	757,333	0,0087	5,761
20	0,0669	0,0876	0,0655	733,167	0,0072	4,879
25	0,0650	0,0841	0,0634	708,000	0,0067	4,708
30	0,0639	0,0817	0,0615	690,333	0,0064	4,615
35	0,0626	0,0797	0,0602	674,833	0,0061	4,556
40	0,0618	0,0780	0,0590	662,500	0,0059	4,474
50	0,0602	0,0754	0,0575	643,500	0,0056	4,316

60	0,0596	0,0734	0,0564	631,000	0,0052	4,124
70	0,0586	0,0717	0,0554	618,667	0,0050	4,025
80	0,0584	0,0702	0,0547	610,667	0,0047	3,817
90	0,0574	0,0688	0,0543	601,167	0,0044	3,667
100	0,0572	0,0677	0,0540	596,167	0,0041	3,474
120	0,0562	0,0658	0,0532	583,667	0,0038	3,246
140	0,0553	0,0642	0,0527	573,833	0,0035	3,020
160	0,0548	0,0629	0,0517	564,500	0,0033	2,961
180	0,0548	0,0617	0,0516	560,000	0,0030	2,675
200	0,0542	0,0606	0,0514	553,667	0,0027	2,473
250	0,0532	0,0585	0,0511	542,333	0,0022	2,019
300	0,0528	0,0569	0,0501	532,667	0,0020	1,856
350	0,0524	0,0558	0,0503	528,000	0,0016	1,505
400	0,0517	0,0547	0,0496	519,650	0,0015	1,412
500	0,0513	0,0532	0,0492	512,050	0,0012	1,138
600	0,0510	0,0521	0,0492	507,383	0,0009	0,841
700	0,0504	0,0514	0,0486	501,083	0,0008	0,794
800	0,0505	0,0506	0,0487	499,200	0,0006	0,632
900	0,0501	0,0502	0,0488	496,783	0,0004	0,425
1000	0,0494	0,0498	0,0486	492,400	0,0004	0,369
1200	0,0493	0,0492	0,0483	489,200	0,0003	0,339
1400	0,0490	0,0486	0,0483	486,467	0,0002	0,187
1600	0,0489	0,0483	0,0480	484,133	0,0003	0,275
1800	0,0489	0,0479	0,0481	483,167	0,0003	0,324
2000	0,0490	0,0477	0,0482	483,033	0,0004	0,390
2500	0,0485	0,0472	0,0477	477,833	0,0004	0,380
3000	0,0483	0,0471	0,0478	477,267	0,0003	0,365
3500	0,0483	0,0467	0,0476	475,283	0,0005	0,496
4000	0,0477	0,0467	0,0472	471,950	0,0003	0,283
4500	0,0476	0,0462	0,0474	470,617	0,0004	0,439
5000	0,0472	0,0461	0,0476	469,683	0,0004	0,469
6000	0,0472	0,0460	0,0467	466,317	0,0003	0,375

7000	0,0475	0,0458	0,0470	467,617	0,0005	0,532
8000	0,0472	0,0457	0,0465	464,583	0,0004	0,455
9000	0,0473	0,0454	0,0466	464,267	0,0006	0,595
10000	0,0465	0,0454	0,0465	461,283	0,0004	0,411
12000	0,0462	0,0451	0,0461	457,967	0,0004	0,394
14000	0,0461	0,0448	0,0458	455,683	0,0004	0,461
16000	0,0455	0,0446	0,0457	452,633	0,0003	0,362
18000	0,0460	0,0443	0,0452	451,700	0,0005	0,568
20000	0,0456	0,0441	0,0454	450,050	0,0005	0,507
25000	0,0450	0,0434	0,0451	444,883	0,0005	0,609
30000	0,0441	0,0412	0,0438	430,483	0,0009	1,074
35000	0,0433	0,0407	0,0430	423,250	0,0008	0,963
40000	0,0427	0,0402	0,0423	417,333	0,0008	0,924
50000	0,0407	0,0397	0,0404	402,950	0,0003	0,366
60000	0,0400	0,0379	0,0392	389,883	0,0006	0,790
70000	0,0379	0,0362	0,0378	372,767	0,0005	0,713
80000	0,0360	0,0345	0,0363	356,083	0,0006	0,781
90000	0,0342	0,0327	0,0345	338,183	0,0005	0,807
100000	0,0324	0,0309	0,0325	319,600	0,0005	0,815
120000	0,0299	0,0279	0,0300	292,417	0,0007	1,188
140000	0,0269	0,0251	0,0277	265,483	0,0008	1,454
160000	0,0249	0,0227	0,0253	242,917	0,0008	1,691
180000	0,0224	0,0205	0,0224	217,250	0,0006	1,450
200000	0,0207	0,0185	0,0207	199,733	0,0007	1,788
250000	0,0169	0,0150	0,0175	164,650	0,0008	2,333
300000	0,0148	0,0121	0,0127	131,800	0,0008	3,096
350000	0,0121	0,0100	0,0127	116,183	0,0008	3,588
400000	0,0109	0,0085	0,0109	101,183	0,0008	3,974
450000	0,0098	0,0073	0,0101	90,783	0,0009	4,905
500000	0,0091	0,0066	0,0095	83,650	0,0009	5,364
600000	0,0081	0,0055	0,0078	71,317	0,0008	5,761
700000	0,0079	0,0046	0,0073	65,932	0,0010	7,543

800000	0,0062	0,0041	0,0067	56,275	0,0008	7,007
900000	0,0037	0,0036	0,0065	46,308	0,0009	10,149
1000000	0,0033	0,0033	0,0059	41,870	0,0009	10,348

B. Sari apel dengan gula tebu

B.1. Gula 3 gram

Frekuensi (Hz)	Vout (Volt)			Z rata rata (Ω)	Deviasi	Kr (%)
	1	2	3			
1	0,1410	0,1820	0,1801	1676,500	0,0134	3,985
1,2	0,1276	0,1749	0,1745	1589,833	0,0157	4,943
1,4	0,1181	0,1593	0,1580	1450,833	0,0135	4,660
1,6	0,1079	0,1524	0,1459	1353,833	0,0139	5,121
1,8	0,1061	0,1504	0,1385	1316,500	0,0133	5,033
2	0,0991	0,1442	0,1313	1248,333	0,0134	5,376
2,5	0,0978	0,1245	0,1169	1130,500	0,0079	3,507
3	0,0902	0,1205	0,1158	1088,000	0,0094	4,319
3,5	0,0777	0,1057	0,1001	944,667	0,0085	4,519
4	0,0773	0,1047	0,0947	922,333	0,0080	4,340
4,5	0,0753	0,0981	0,0913	882,000	0,0067	3,822
5	0,0720	0,0948	0,0902	856,167	0,0070	4,065
6	0,0677	0,0901	0,0822	799,500	0,0066	4,102
7	0,0654	0,0900	0,0805	786,333	0,0072	4,554
8	0,0634	0,0843	0,0757	744,500	0,0061	4,083
9	0,0621	0,0826	0,0731	725,833	0,0059	4,080
10	0,0610	0,0803	0,0722	711,500	0,0056	3,931
12	0,0597	0,0775	0,0696	689,167	0,0052	3,747
14	0,0582	0,0758	0,0660	666,333	0,0051	3,832
16	0,0578	0,0739	0,0649	655,167	0,0047	3,556
18	0,0564	0,0727	0,0629	639,500	0,0047	3,704
20	0,0558	0,0717	0,0618	630,667	0,0046	3,665
25	0,0544	0,0692	0,0596	610,667	0,0043	3,549

30	0,0539	0,0681	0,0582	600,167	0,0042	3,502
35	0,0530	0,0665	0,0570	588,000	0,0040	3,394
40	0,0526	0,0659	0,0561	581,667	0,0040	3,411
50	0,0519	0,0643	0,0549	570,167	0,0037	3,286
60	0,0513	0,0638	0,0541	563,833	0,0038	3,344
70	0,0511	0,0633	0,0532	558,667	0,0038	3,370
80	0,0507	0,0631	0,0528	554,833	0,0038	3,453
90	0,0504	0,0625	0,0525	551,167	0,0037	3,396
100	0,0503	0,0622	0,0523	548,833	0,0037	3,352
120	0,0499	0,0618	0,0514	543,800	0,0037	3,433
140	0,0497	0,0610	0,0511	539,217	0,0036	3,304
160	0,0494	0,0610	0,0510	537,867	0,0036	3,378
180	0,0493	0,0605	0,0506	534,783	0,0035	3,300
200	0,0494	0,0605	0,0504	533,833	0,0035	3,320
250	0,0489	0,0601	0,0498	529,350	0,0036	3,392
300	0,0489	0,0595	0,0496	526,767	0,0034	3,244
350	0,0487	0,0593	0,0493	524,333	0,0034	3,278
400	0,0485	0,0594	0,0494	523,933	0,0035	3,329
500	0,0482	0,0590	0,0489	520,450	0,0035	3,323
600	0,0480	0,0588	0,0487	518,400	0,0035	3,362
700	0,0480	0,0589	0,0486	518,417	0,0035	3,384
800	0,0484	0,0586	0,0484	518,183	0,0034	3,272
900	0,0480	0,0584	0,0483	515,717	0,0034	3,311
1000	0,0481	0,0587	0,0481	516,200	0,0035	3,405
1200	0,0476	0,0582	0,0482	513,417	0,0034	3,319
1400	0,0475	0,0582	0,0481	512,433	0,0035	3,398
1600	0,0475	0,0581	0,0480	512,000	0,0035	3,372
1800	0,0475	0,0581	0,0479	511,467	0,0035	3,376
2000	0,0474	0,0580	0,0478	510,467	0,0035	3,382
2500	0,0471	0,0577	0,0479	508,983	0,0034	3,347
3000	0,0471	0,0575	0,0475	506,867	0,0034	3,338
3500	0,0470	0,0577	0,0473	506,733	0,0035	3,443

4000	0,0467	0,0572	0,0474	504,017	0,0034	3,353
4500	0,0469	0,0573	0,0471	504,250	0,0034	3,409
5000	0,0469	0,0572	0,0471	503,967	0,0034	3,350
6000	0,0467	0,0571	0,0470	502,850	0,0034	3,389
7000	0,0466	0,0572	0,0468	502,033	0,0035	3,460
8000	0,0463	0,0568	0,0468	499,417	0,0034	3,410
9000	0,0463	0,0567	0,0467	498,933	0,0034	3,412
10000	0,0462	0,0570	0,0466	499,167	0,0035	3,525
12000	0,0461	0,0561	0,0465	495,833	0,0033	3,288
14000	0,0456	0,0558	0,0459	490,867	0,0033	3,395
16000	0,0455	0,0556	0,0459	489,633	0,0033	3,365
18000	0,0453	0,0550	0,0456	486,433	0,0032	3,268
20000	0,0451	0,0547	0,0453	483,383	0,0032	3,265
25000	0,0443	0,0534	0,0448	475,000	0,0030	3,110
30000	0,0433	0,0524	0,0441	466,100	0,0029	3,114
35000	0,0427	0,0512	0,0431	456,517	0,0028	3,041
40000	0,0418	0,0502	0,0426	448,683	0,0027	2,983
50000	0,0403	0,0475	0,0407	428,417	0,0023	2,735
60000	0,0384	0,0450	0,0389	407,817	0,0021	2,574
70000	0,0365	0,0425	0,0372	387,417	0,0019	2,471
80000	0,0346	0,0399	0,0354	366,300	0,0016	2,224
90000	0,0328	0,0371	0,0334	344,250	0,0014	1,977
100000	0,0310	0,0350	0,0318	326,300	0,0012	1,863
120000	0,0281	0,0310	0,0286	292,383	0,0009	1,540
140000	0,0250	0,0272	0,0257	259,483	0,0006	1,221
160000	0,0225	0,0246	0,0229	233,000	0,0006	1,381
180000	0,0204	0,0218	0,0206	209,383	0,0004	1,063
200000	0,0184	0,0194	0,0188	188,833	0,0003	0,754
250000	0,0144	0,0155	0,0150	149,733	0,0003	1,071
300000	0,0119	0,0131	0,0124	124,483	0,0003	1,384
350000	0,0100	0,0107	0,0105	104,067	0,0002	1,087
400000	0,0087	0,0093	0,0088	89,550	0,0002	1,056

450000	0,0076	0,0082	0,0083	80,150	0,0002	1,368
500000	0,0066	0,0081	0,0069	72,050	0,0005	3,137
600000	0,0057	0,0066	0,0058	60,217	0,0003	2,599
700000	0,0051	0,0064	0,0051	54,933	0,0004	3,967
800000	0,0045	0,0055	0,0044	48,180	0,0004	3,763
900000	0,0040	0,0055	0,0042	45,528	0,0005	5,030
1000000	0,0037	0,0052	0,0038	42,212	0,0005	5,591

B.2. Gula 10 gram

Frekuensi (Hz)	Vout (Volt)			Z rata rata (Ω)	Deviasi	Kr (%)
	1	2	3			
1	0,1622	0,1920	0,1745	1762,167	0,0086	2,454
1,2	0,1479	0,1788	0,1626	1630,833	0,0089	2,736
1,4	0,1348	0,1711	0,1532	1530,167	0,0105	3,424
1,6	0,1315	0,1634	0,1489	1479,167	0,0092	3,112
1,8	0,1277	0,1541	0,1415	1410,833	0,0076	2,702
2	0,1215	0,1540	0,1361	1371,667	0,0094	3,421
2,5	0,1136	0,1372	0,1341	1283,000	0,0074	2,886
3	0,1092	0,1265	0,1259	1205,333	0,0057	2,352
3,5	0,1041	0,1218	0,1147	1135,333	0,0051	2,265
4	0,1011	0,1222	0,1105	1112,333	0,0061	2,750
4,5	0,0968	0,1133	0,1072	1057,167	0,0048	2,278
5	0,0950	0,1072	0,1058	1026,333	0,0038	1,870
6	0,0910	0,1028	0,1039	992,000	0,0041	2,073
7	0,0873	0,0977	0,0968	939,000	0,0033	1,775
8	0,0859	0,0955	0,0946	919,833	0,0031	1,660
9	0,0854	0,0932	0,0922	902,667	0,0025	1,357
10	0,0819	0,0916	0,0906	879,833	0,0031	1,750
12	0,0788	0,0883	0,0845	838,500	0,0028	1,645
14	0,0765	0,0845	0,0857	822,000	0,0029	1,763
16	0,0747	0,0828	0,0811	795,167	0,0025	1,544

18	0,0736	0,0807	0,0796	779,333	0,0022	1,422
20	0,0726	0,0796	0,0786	769,167	0,0022	1,432
25	0,0705	0,0771	0,0768	747,500	0,0022	1,439
30	0,0694	0,0762	0,0754	736,333	0,0022	1,464
35	0,0697	0,0756	0,0744	732,000	0,0018	1,237
40	0,0685	0,0747	0,0738	723,167	0,0019	1,333
50	0,0672	0,0727	0,0726	708,167	0,0018	1,295
60	0,0675	0,0725	0,0719	706,333	0,0016	1,116
70	0,0660	0,0720	0,0711	696,833	0,0019	1,352
80	0,0658	0,0711	0,0706	691,500	0,0017	1,215
90	0,0652	0,0706	0,0705	687,500	0,0018	1,291
100	0,0644	0,0704	0,0700	682,333	0,0019	1,425
120	0,0645	0,0697	0,0696	679,000	0,0017	1,252
140	0,0638	0,0695	0,0691	674,333	0,0018	1,369
160	0,0630	0,0691	0,0690	670,000	0,0020	1,493
180	0,0632	0,0687	0,0686	668,167	0,0018	1,354
200	0,0635	0,0686	0,0684	668,167	0,0017	1,242
250	0,0627	0,0681	0,0680	662,500	0,0018	1,340
300	0,0625	0,0675	0,0676	658,333	0,0017	1,285
350	0,0635	0,0674	0,0676	661,667	0,0013	1,009
400	0,0620	0,0673	0,0673	655,167	0,0018	1,361
500	0,0625	0,0666	0,0669	653,167	0,0014	1,081
600	0,0620	0,0667	0,0668	651,333	0,0016	1,222
700	0,0620	0,0667	0,0666	650,667	0,0015	1,178
800	0,0614	0,0662	0,0664	646,667	0,0016	1,264
900	0,0616	0,0660	0,0664	646,500	0,0015	1,184
1000	0,0615	0,0663	0,0662	646,333	0,0016	1,231
1200	0,0620	0,0656	0,0660	645,000	0,0013	0,993
1400	0,0615	0,0655	0,0659	643,000	0,0014	1,092
1600	0,0607	0,0656	0,0657	640,000	0,0017	1,289
1800	0,0609	0,0654	0,0655	639,333	0,0015	1,186
2000	0,0610	0,0653	0,0656	639,167	0,0015	1,162

2500	0,0612	0,0653	0,0656	640,000	0,0014	1,116
3000	0,0607	0,0649	0,0652	635,667	0,0014	1,129
3500	0,0602	0,0647	0,0651	633,000	0,0016	1,247
4000	0,0604	0,0645	0,0650	632,833	0,0015	1,146
4500	0,0606	0,0645	0,0648	632,667	0,0014	1,075
5000	0,0601	0,0646	0,0647	631,167	0,0015	1,195
6000	0,0596	0,0638	0,0646	626,333	0,0015	1,225
7000	0,0595	0,0640	0,0641	625,167	0,0015	1,227
8000	0,0594	0,0635	0,0639	622,500	0,0014	1,147
9000	0,0587	0,0633	0,0637	619,000	0,0016	1,296
10000	0,0584	0,0635	0,0637	618,333	0,0017	1,389
12000	0,0589	0,0632	0,0631	617,167	0,0014	1,161
14000	0,0585	0,0620	0,0624	609,667	0,0012	1,016
16000	0,0576	0,0617	0,0620	604,000	0,0014	1,161
18000	0,0568	0,0617	0,0614	599,500	0,0016	1,316
20000	0,0572	0,0611	0,0609	597,000	0,0013	1,068
25000	0,0554	0,0594	0,0593	579,833	0,0013	1,136
30000	0,0541	0,0580	0,0575	565,000	0,0012	1,093
35000	0,0532	0,0566	0,0559	552,333	0,0010	0,938
40000	0,0519	0,0549	0,0540	535,667	0,0009	0,841
50000	0,0502	0,0521	0,0503	508,667	0,0006	0,607
60000	0,0469	0,0487	0,0468	474,433	0,0006	0,655
70000	0,0442	0,0453	0,0430	441,950	0,0007	0,751
80000	0,0407	0,0421	0,0397	408,450	0,0007	0,861
90000	0,0381	0,0396	0,0367	381,283	0,0008	1,076
100000	0,0366	0,0367	0,0341	357,817	0,0009	1,198
120000	0,0318	0,0323	0,0289	310,033	0,0011	1,698
140000	0,0277	0,0284	0,0248	269,467	0,0011	2,046
160000	0,0257	0,0245	0,0217	239,800	0,0012	2,467
180000	0,0206	0,0220	0,0189	204,767	0,0009	2,160
200000	0,0204	0,0201	0,0167	190,367	0,0012	3,127
250000	0,0173	0,0155	0,0124	150,683	0,0014	4,683

300000	0,0145	0,0125	0,0100	123,483	0,0013	5,336
350000	0,0124	0,0110	0,0082	105,550	0,0012	5,891
400000	0,0109	0,0093	0,0070	90,733	0,0011	6,194
450000	0,0101	0,0083	0,0061	81,633	0,0012	7,090
500000	0,0096	0,0078	0,0055	76,117	0,0012	7,879
600000	0,0097	0,0067	0,0044	69,203	0,0015	11,006
700000	0,0082	0,0059	0,0038	59,543	0,0013	10,708
800000	0,0074	0,0054	0,0033	53,900	0,0012	10,899
900000	0,0076	0,0053	0,0031	53,017	0,0013	12,252
1000000	0,0079	0,0051	0,0027	52,148	0,0015	14,208

B.3. Gula 15 gram

Frekuensi (Hz)	Vout (Volt)			Z rata rata (Ω)	Deviasi	Kr (%)
	1	2	3			
1	0,1811	0,1778	0,1578	1722,167	0,0073	2,110
1,2	0,1669	0,1660	0,1451	1593,333	0,0071	2,235
1,4	0,1552	0,1609	0,1364	1508,333	0,0074	2,454
1,6	0,1489	0,1521	0,1282	1430,167	0,0075	2,619
1,8	0,1449	0,1442	0,1239	1376,333	0,0069	2,505
2	0,1376	0,1408	0,1234	1339,000	0,0054	1,999
2,5	0,1292	0,1323	0,1114	1242,833	0,0065	2,626
3	0,1254	0,1292	0,1103	1216,000	0,0058	2,376
3,5	0,1199	0,1249	0,1008	1151,833	0,0073	3,183
4	0,1152	0,1205	0,1009	1121,667	0,0059	2,615
4,5	0,1120	0,1166	0,0958	1081,333	0,0063	2,917
5	0,1098	0,1166	0,0976	1079,500	0,0056	2,574
6	0,1054	0,1073	0,0908	1011,667	0,0052	2,576
7	0,1024	0,1046	0,0895	988,000	0,0047	2,389
8	0,1003	0,1025	0,0854	960,500	0,0054	2,791
9	0,1000	0,1013	0,0854	955,667	0,0051	2,667
10	0,0958	0,1001	0,0825	927,833	0,0053	2,852

12	0,0935	0,0980	0,0804	906,167	0,0053	2,910
14	0,0908	0,0959	0,0793	886,167	0,0049	2,770
16	0,0896	0,0945	0,0780	873,500	0,0049	2,798
18	0,0884	0,0934	0,0765	860,833	0,0050	2,921
20	0,0862	0,0929	0,0757	849,000	0,0050	2,939
25	0,0854	0,0913	0,0741	835,667	0,0050	3,021
30	0,0833	0,0899	0,0731	820,667	0,0049	2,985
35	0,0819	0,0893	0,0721	810,833	0,0050	3,063
40	0,0819	0,0888	0,0713	806,333	0,0051	3,164
50	0,0806	0,0881	0,0705	796,833	0,0051	3,200
60	0,0802	0,0872	0,0695	789,667	0,0051	3,259
70	0,0795	0,0866	0,0691	783,833	0,0051	3,251
80	0,0779	0,0865	0,0686	776,500	0,0052	3,319
90	0,0778	0,0857	0,0682	772,167	0,0051	3,276
100	0,0776	0,0854	0,0679	769,500	0,0050	3,280
120	0,0768	0,0853	0,0674	764,667	0,0052	3,389
140	0,0771	0,0848	0,0671	762,833	0,0051	3,358
160	0,0757	0,0847	0,0667	756,667	0,0052	3,424
180	0,0764	0,0846	0,0667	758,833	0,0052	3,408
200	0,0754	0,0843	0,0663	753,000	0,0052	3,460
250	0,0767	0,0837	0,0661	754,500	0,0051	3,390
300	0,0755	0,0838	0,0656	749,333	0,0053	3,511
350	0,0750	0,0832	0,0653	744,833	0,0052	3,463
400	0,0747	0,0829	0,0654	743,000	0,0051	3,411
500	0,0743	0,0826	0,0652	740,000	0,0050	3,405
600	0,0752	0,0827	0,0649	742,500	0,0051	3,465
700	0,0746	0,0821	0,0646	737,333	0,0051	3,447
800	0,0742	0,0821	0,0643	735,167	0,0051	3,501
900	0,0744	0,0819	0,0643	734,833	0,0051	3,470
1000	0,0738	0,0822	0,0642	733,500	0,0052	3,545
1200	0,0734	0,0817	0,0641	730,167	0,0051	3,481
1400	0,0735	0,0818	0,0640	730,833	0,0052	3,528

1600	0,0731	0,0815	0,0638	727,833	0,0051	3,511
1800	0,0729	0,0815	0,0636	726,667	0,0052	3,556
2000	0,0728	0,0814	0,0636	725,833	0,0051	3,531
2500	0,0730	0,0809	0,0633	723,833	0,0051	3,515
3000	0,0722	0,0808	0,0632	720,500	0,0051	3,526
3500	0,0727	0,0809	0,0633	722,667	0,0051	3,518
4000	0,0722	0,0805	0,0629	718,667	0,0051	3,537
4500	0,0720	0,0803	0,0631	717,833	0,0050	3,469
5000	0,0718	0,0802	0,0628	715,833	0,0050	3,499
6000	0,0715	0,0794	0,0624	711,000	0,0049	3,454
7000	0,0710	0,0794	0,0623	709,000	0,0049	3,481
8000	0,0702	0,0791	0,0624	705,333	0,0048	3,419
9000	0,0709	0,0788	0,0618	704,667	0,0049	3,486
10000	0,0701	0,0786	0,0618	701,500	0,0048	3,446
12000	0,0699	0,0775	0,0612	695,167	0,0047	3,386
14000	0,0689	0,0770	0,0607	688,667	0,0047	3,416
16000	0,0679	0,0761	0,0602	680,667	0,0046	3,372
18000	0,0671	0,0752	0,0597	673,167	0,0045	3,314
20000	0,0671	0,0743	0,0591	668,333	0,0044	3,284
25000	0,0651	0,0719	0,0576	648,333	0,0041	3,196
30000	0,0624	0,0686	0,0559	622,833	0,0037	2,932
35000	0,0602	0,0661	0,0543	601,833	0,0034	2,842
40000	0,0581	0,0638	0,0527	581,667	0,0032	2,742
50000	0,0537	0,0580	0,0491	535,750	0,0026	2,405
60000	0,0491	0,0529	0,0491	503,600	0,0013	1,261
70000	0,0452	0,0481	0,0423	451,917	0,0017	1,841
80000	0,0412	0,0433	0,0389	411,467	0,0013	1,551
90000	0,0375	0,0395	0,0362	377,333	0,0010	1,268
100000	0,0353	0,0360	0,0333	348,617	0,0008	1,154
120000	0,0299	0,0305	0,0286	296,633	0,0006	0,951
140000	0,0254	0,0264	0,0248	255,250	0,0005	0,889
160000	0,0229	0,0232	0,0210	223,750	0,0007	1,539

180000	0,0199	0,0198	0,0185	194,217	0,0005	1,176
200000	0,0180	0,0179	0,0163	173,750	0,0006	1,619
250000	0,0145	0,0135	0,0123	134,450	0,0006	2,355
300000	0,0129	0,0115	0,0097	113,767	0,0009	4,013
350000	0,0109	0,0099	0,0082	96,517	0,0008	3,992
400000	0,0093	0,0089	0,0075	85,817	0,0006	3,214
450000	0,0087	0,0078	0,0061	75,250	0,0008	5,145
500000	0,0091	0,0071	0,0055	72,317	0,0010	7,190
600000	0,0078	0,0062	0,0046	62,000	0,0009	7,485
700000	0,0072	0,0061	0,0038	56,970	0,0010	8,593
800000	0,0071	0,0053	0,0037	53,702	0,0010	9,127
900000	0,0058	0,0053	0,0031	47,200	0,0008	8,998
1000000	0,0046	0,0051	0,0028	41,717	0,0007	8,158

B.4. Gula 25 gram

Frekuensi (Hz)	Vout (Volt)			Z rata rata (Ω)	Deviasi	Kr (%)
	1	2	3			
1	0,1911	0,1877	0,1754	1847,167	0,0048	1,295
1,2	0,1820	0,1743	0,1662	1741,500	0,0045	1,306
1,4	0,1746	0,1657	0,1656	1686,000	0,0030	0,890
1,6	0,1696	0,1598	0,1575	1622,667	0,0037	1,140
1,8	0,1633	0,1539	0,1499	1557,000	0,0040	1,275
2	0,1589	0,1509	0,1513	1536,833	0,0026	0,850
2,5	0,1496	0,1399	0,1404	1432,833	0,0031	1,095
3	0,1435	0,1376	0,1369	1393,167	0,0021	0,745
3,5	0,1373	0,1316	0,1313	1333,667	0,0019	0,728
4	0,1330	0,1304	0,1317	1316,667	0,0008	0,285
4,5	0,1290	0,1236	0,1277	1267,500	0,0016	0,637
5	0,1266	0,1225	0,1249	1246,500	0,0012	0,476
6	0,1235	0,1212	0,1218	1221,500	0,0007	0,287
7	0,1197	0,1173	0,1191	1186,667	0,0007	0,306

8	0,1174	0,1148	0,1177	1166,000	0,0009	0,398
9	0,1149	0,1132	0,1163	1147,500	0,0009	0,391
10	0,1136	0,1117	0,1140	1130,500	0,0007	0,314
12	0,1111	0,1101	0,1121	1110,500	0,0006	0,260
14	0,1088	0,1085	0,1103	1092,000	0,0006	0,255
16	0,1075	0,1076	0,1093	1081,167	0,0006	0,262
18	0,1056	0,1065	0,1084	1067,833	0,0008	0,386
20	0,1048	0,1058	0,1075	1060,000	0,0008	0,371
25	0,1033	0,1041	0,1060	1044,500	0,0008	0,376
30	0,1012	0,1032	0,1054	1032,500	0,0012	0,580
35	0,0997	0,1027	0,1041	1021,500	0,0013	0,629
40	0,0993	0,1022	0,1038	1017,667	0,0013	0,647
50	0,0979	0,1012	0,0992	994,000	0,0010	0,490
60	0,0976	0,1006	0,0982	988,000	0,0009	0,464
70	0,0960	0,1002	0,0976	979,000	0,0012	0,618
80	0,0960	0,0995	0,0972	975,667	0,0010	0,526
90	0,0953	0,0993	0,0967	971,000	0,0012	0,603
100	0,0953	0,0992	0,0964	969,167	0,0012	0,599
120	0,0944	0,0985	0,0958	962,000	0,0012	0,624
140	0,0941	0,0982	0,0954	958,667	0,0012	0,624
160	0,0941	0,0981	0,0953	958,167	0,0012	0,620
180	0,0933	0,0978	0,0949	953,167	0,0013	0,692
200	0,0934	0,0979	0,0949	954,000	0,0013	0,693
250	0,0932	0,0976	0,0945	950,667	0,0013	0,680
300	0,0931	0,0970	0,0940	946,667	0,0012	0,620
350	0,0926	0,0967	0,0940	944,000	0,0012	0,636
400	0,0923	0,0967	0,0937	942,000	0,0013	0,687
500	0,0919	0,0965	0,0936	939,667	0,0013	0,713
600	0,0920	0,0962	0,0931	937,333	0,0013	0,679
700	0,0916	0,0958	0,0931	934,667	0,0012	0,666
800	0,0913	0,0957	0,0931	933,333	0,0013	0,677
900	0,0913	0,0957	0,0928	932,500	0,0013	0,694

1000	0,0915	0,0954	0,0925	931,000	0,0012	0,637
1200	0,0909	0,0953	0,0922	928,000	0,0013	0,703
1400	0,0908	0,0954	0,0921	927,167	0,0014	0,738
1600	0,0908	0,0949	0,0919	925,167	0,0012	0,669
1800	0,0905	0,0951	0,0919	924,667	0,0014	0,734
2000	0,0904	0,0947	0,0918	922,833	0,0013	0,678
2500	0,0901	0,0946	0,0915	920,500	0,0013	0,714
3000	0,0898	0,0943	0,0914	918,000	0,0013	0,716
3500	0,0891	0,0937	0,0910	912,667	0,0013	0,731
4000	0,0893	0,0936	0,0910	912,833	0,0012	0,676
4500	0,0889	0,0934	0,0908	910,000	0,0013	0,716
5000	0,0886	0,0932	0,0903	907,000	0,0013	0,740
6000	0,0881	0,0927	0,0902	903,167	0,0013	0,737
7000	0,0873	0,0922	0,0895	896,333	0,0014	0,799
8000	0,0870	0,0916	0,0891	892,333	0,0013	0,745
9000	0,0871	0,0913	0,0885	889,500	0,0012	0,701
10000	0,0859	0,0904	0,0881	881,000	0,0013	0,737
12000	0,0850	0,0893	0,0870	871,000	0,0012	0,713
14000	0,0841	0,0883	0,0857	860,000	0,0012	0,704
16000	0,0822	0,0868	0,0844	844,500	0,0013	0,778
18000	0,0809	0,0853	0,0830	830,333	0,0013	0,774
20000	0,0803	0,0844	0,0817	821,000	0,0012	0,731
25000	0,0772	0,0802	0,0780	784,500	0,0009	0,579
30000	0,0728	0,0765	0,0742	744,500	0,0011	0,724
35000	0,0689	0,0730	0,0703	707,167	0,0012	0,853
40000	0,0663	0,0692	0,0666	673,333	0,0009	0,696
50000	0,0593	0,0622	0,0592	602,167	0,0010	0,803
60000	0,0528	0,0554	0,0524	535,167	0,0009	0,863
70000	0,0476	0,0494	0,0464	477,867	0,0009	0,892
80000	0,0421	0,0439	0,0413	424,483	0,0008	0,919
90000	0,0377	0,0396	0,0369	380,383	0,0008	1,048
100000	0,0342	0,0356	0,0329	342,533	0,0008	1,138

120000	0,0292	0,0294	0,0271	285,967	0,0007	1,286
140000	0,0245	0,0246	0,0222	237,350	0,0008	1,670
160000	0,0221	0,0210	0,0191	207,167	0,0009	2,140
180000	0,0185	0,0183	0,0164	177,250	0,0007	1,867
200000	0,0163	0,0164	0,0140	155,483	0,0008	2,538
250000	0,0142	0,0127	0,0101	123,367	0,0012	4,785
300000	0,0111	0,0105	0,0083	99,317	0,0009	4,312
350000	0,0107	0,0094	0,0069	90,050	0,0011	6,081
400000	0,0096	0,0078	0,0056	76,633	0,0012	7,516
450000	0,0088	0,0072	0,0047	68,970	0,0012	8,575
500000	0,0079	0,0067	0,0042	62,645	0,0011	8,874
600000	0,0077	0,0061	0,0036	57,907	0,0012	10,313
700000	0,0051	0,0062	0,0034	48,817	0,0008	8,439
800000	0,0054	0,0073	0,0031	52,725	0,0012	11,596
900000	0,0048	0,0063	0,0029	46,615	0,0010	10,427
1000000	0,0045	0,0063	0,0031	46,473	0,0009	9,792

B.5. Gula 50 gram

Frekuensi (Hz)	Vout (Volt)			Z rata rata (Ω)	Deviasi	Kr (%)
	1	2	3			
1	0,2229	0,2710	0,2802	2580,167	0,0178	3,446
1,2	0,2136	0,2576	0,2722	2478,000	0,0176	3,554
1,4	0,2121	0,2570	0,2637	2442,500	0,0162	3,314
1,6	0,2108	0,2504	0,2604	2405,000	0,0151	3,150
1,8	0,2083	0,2402	0,2538	2340,667	0,0135	2,883
2	0,2074	0,2425	0,2522	2340,000	0,0136	2,909
2,5	0,2035	0,2373	0,2520	2309,167	0,0144	3,108
3	0,1970	0,2256	0,2441	2222,167	0,0137	3,086
3,5	0,1938	0,2218	0,2365	2173,500	0,0125	2,880
4	0,1911	0,2236	0,2376	2174,000	0,0138	3,169
4,5	0,1902	0,2168	0,2325	2131,500	0,0124	2,900

5	0,1874	0,2192	0,2331	2132,167	0,0135	3,176
6	0,1837	0,2131	0,2268	2078,167	0,0127	3,059
7	0,1807	0,2110	0,2248	2054,833	0,0130	3,166
8	0,1796	0,2096	0,2235	2042,000	0,0130	3,173
9	0,1778	0,2072	0,2211	2020,000	0,0128	3,160
10	0,1770	0,2074	0,2213	2018,833	0,0131	3,239
12	0,1743	0,2042	0,2182	1988,667	0,0130	3,258
14	0,1725	0,2028	0,2165	1972,333	0,0130	3,299
16	0,1712	0,2022	0,2150	1960,833	0,0130	3,316
18	0,1699	0,2004	0,2138	1946,833	0,0130	3,333
20	0,1689	0,1999	0,2131	1939,333	0,0131	3,378
25	0,1668	0,1982	0,2111	1920,000	0,0132	3,427
30	0,1665	0,1968	0,2103	1911,833	0,0129	3,386
35	0,1644	0,1964	0,2091	1899,667	0,0133	3,500
40	0,1636	0,1955	0,2082	1890,833	0,0133	3,505
50	0,1630	0,1936	0,2065	1876,500	0,0129	3,437
60	0,1623	0,1933	0,2056	1870,167	0,0129	3,444
70	0,1611	0,1927	0,2050	1862,333	0,0131	3,514
80	0,1602	0,1927	0,2045	1857,833	0,0132	3,564
90	0,1598	0,1917	0,2038	1850,833	0,0131	3,544
100	0,1596	0,1917	0,2034	1848,833	0,0131	3,545
120	0,1590	0,1916	0,2027	1844,167	0,0131	3,552
140	0,1582	0,1906	0,2021	1836,167	0,0132	3,583
160	0,1578	0,1900	0,2015	1831,000	0,0131	3,571
180	0,1581	0,1901	0,2013	1831,500	0,0129	3,532
200	0,1577	0,1896	0,2012	1827,833	0,0130	3,558
250	0,1569	0,1888	0,2007	1820,833	0,0131	3,591
300	0,1572	0,1887	0,1999	1818,833	0,0128	3,514
350	0,1572	0,1887	0,1993	1817,167	0,0126	3,477
400	0,1564	0,1883	0,1991	1812,500	0,0128	3,535
500	0,1554	0,1876	0,1985	1804,500	0,0129	3,585
600	0,1549	0,1873	0,1985	1802,167	0,0131	3,626

700	0,1547	0,1871	0,1980	1799,000	0,0130	3,609
800	0,1546	0,1862	0,1980	1795,667	0,0130	3,609
900	0,1549	0,1863	0,1971	1793,833	0,0127	3,528
1000	0,1542	0,1861	0,1970	1790,833	0,0128	3,582
1200	0,1535	0,1859	0,1967	1786,833	0,0130	3,629
1400	0,1535	0,1851	0,1964	1783,167	0,0128	3,599
1600	0,1533	0,1850	0,1961	1781,000	0,0128	3,601
1800	0,1533	0,1844	0,1953	1776,500	0,0126	3,546
2000	0,1530	0,1841	0,1947	1772,500	0,0125	3,529
2500	0,1519	0,1829	0,1932	1759,833	0,0124	3,523
3000	0,1510	0,1817	0,1922	1749,333	0,0123	3,528
3500	0,1502	0,1809	0,1914	1741,333	0,0124	3,551
4000	0,1500	0,1799	0,1895	1731,167	0,0119	3,434
4500	0,1494	0,1795	0,1889	1725,833	0,0119	3,448
5000	0,1479	0,1775	0,1874	1709,167	0,0119	3,468
6000	0,1468	0,1752	0,1842	1686,833	0,0113	3,341
7000	0,1443	0,1727	0,1814	1661,000	0,0112	3,367
8000	0,1428	0,1700	0,1785	1637,167	0,0108	3,288
9000	0,1399	0,1676	0,1754	1609,333	0,0108	3,341
10000	0,1383	0,1652	0,1722	1585,333	0,0103	3,254
12000	0,1336	0,1592	0,1650	1526,000	0,0096	3,161
14000	0,1290	0,1517	0,1575	1460,333	0,0087	2,981
16000	0,1240	0,1454	0,1501	1398,167	0,0080	2,869
18000	0,1200	0,1392	0,1429	1340,167	0,0071	2,654
20000	0,1141	0,1333	0,1365	1279,667	0,0070	2,733
25000	0,1022	0,1181	0,1189	1130,667	0,0054	2,405
30000	0,0917	0,1049	0,1045	1003,500	0,0043	2,156
35000	0,0818	0,0909	0,0885	870,333	0,0027	1,555
40000	0,0728	0,0804	0,0787	772,833	0,0023	1,487
50000	0,0589	0,0640	0,0616	614,833	0,0015	1,210
60000	0,0499	0,0518	0,0492	502,950	0,0008	0,769
70000	0,0406	0,0429	0,0400	411,400	0,0009	1,063

80000	0,0348	0,0358	0,0332	345,900	0,0007	1,059
90000	0,0304	0,0309	0,0281	297,817	0,0009	1,443
100000	0,0268	0,0265	0,0238	257,167	0,0009	1,837
120000	0,0211	0,0206	0,0182	199,533	0,0009	2,281
140000	0,0187	0,0170	0,0146	167,567	0,0012	3,540
160000	0,0162	0,0143	0,0119	141,183	0,0012	4,380
180000	0,0131	0,0122	0,0101	117,767	0,0009	3,786
200000	0,0122	0,0106	0,0087	105,167	0,0010	4,810
250000	0,0095	0,0084	0,0065	81,150	0,0009	5,521
300000	0,0089	0,0068	0,0051	69,133	0,0011	7,937
350000	0,0087	0,0063	0,0043	64,450	0,0013	9,967
400000	0,0055	0,0053	0,0038	48,435	0,0005	5,662
450000	0,0058	0,0052	0,0032	47,545	0,0008	8,333
500000	0,0050	0,0054	0,0030	44,765	0,0007	8,189
600000	0,0048	0,0044	0,0028	39,990	0,0006	7,896
700000	0,0045	0,0059	0,0023	42,185	0,0011	12,492
800000	0,0041	0,0056	0,0028	41,647	0,0008	9,576
900000	0,0043	0,0060	0,0022	41,462	0,0011	12,964
1000000	0,0042	0,0052	0,0021	38,493	0,0009	12,157

C. Sari apel dengan *sakarin*

C.1. Sakarin 10 mg

Frekuensi (Hz)	Vout (Volt)			Z rata rata (Ω)	Deviasi	Kr (%)
	1	2	3			
1	0,2328	0,2401	0,2289	2339,167	0,0033	0,704
1,2	0,2084	0,2084	0,2006	2057,833	0,0026	0,630
1,4	0,1937	0,1932	0,1872	1913,167	0,0021	0,546
1,6	0,1743	0,1809	0,1775	1775,500	0,0019	0,541
1,8	0,1634	0,1654	0,1680	1655,500	0,0013	0,402
2	0,1595	0,1585	0,1636	1605,167	0,0016	0,489
2,5	0,1320	0,1432	0,1428	1393,000	0,0037	1,311

3	0,1294	0,1254	0,1389	1312,333	0,0040	1,525
3,5	0,1153	0,1192	0,1183	1175,667	0,0012	0,504
4	0,0977	0,1191	0,1170	1112,167	0,0068	3,062
4,5	0,0927	0,1070	0,1093	1029,500	0,0052	2,522
5	0,0893	0,0996	0,1013	967,000	0,0037	1,930
6	0,0826	0,0926	0,0979	909,833	0,0045	2,465
7	0,0782	0,0882	0,0892	851,667	0,0035	2,052
8	0,0747	0,0836	0,0867	816,333	0,0036	2,193
9	0,0714	0,0800	0,0832	782,000	0,0035	2,253
10	0,0680	0,0768	0,0807	751,667	0,0038	2,498
12	0,0635	0,0737	0,0762	710,833	0,0039	2,732
14	0,0609	0,0709	0,0723	680,167	0,0036	2,634
16	0,0588	0,0686	0,0702	658,500	0,0036	2,718
18	0,0580	0,0673	0,0685	645,667	0,0033	2,557
20	0,0557	0,0653	0,0673	627,500	0,0036	2,848
25	0,0532	0,0626	0,0636	597,833	0,0033	2,765
30	0,0511	0,0607	0,0616	577,833	0,0034	2,901
35	0,0496	0,0592	0,0600	562,317	0,0033	2,958
40	0,0485	0,0581	0,0587	550,883	0,0033	2,987
50	0,0469	0,0562	0,0568	532,950	0,0032	2,987
60	0,0459	0,0550	0,0557	521,517	0,0032	3,025
70	0,0450	0,0540	0,0546	511,883	0,0031	3,019
80	0,0444	0,0533	0,0537	504,533	0,0030	3,021
90	0,0439	0,0527	0,0532	499,167	0,0030	3,016
100	0,0434	0,0522	0,0527	494,400	0,0030	3,048
120	0,0427	0,0514	0,0518	486,000	0,0030	3,037
140	0,0422	0,0508	0,0512	480,633	0,0029	3,057
160	0,0419	0,0503	0,0507	476,183	0,0029	3,028
180	0,0414	0,0498	0,0502	471,167	0,0028	3,017
200	0,0412	0,0494	0,0498	467,800	0,0028	2,971
250	0,0413	0,0487	0,0490	463,150	0,0025	2,715
300	0,0409	0,0482	0,0484	458,150	0,0025	2,675

350	0,0406	0,0477	0,0480	454,250	0,0024	2,651
400	0,0404	0,0474	0,0476	451,333	0,0024	2,622
500	0,0399	0,0469	0,0470	446,033	0,0023	2,626
600	0,0398	0,0465	0,0464	442,167	0,0022	2,520
700	0,0393	0,0461	0,0461	438,483	0,0023	2,599
800	0,0393	0,0457	0,0459	436,533	0,0022	2,479
900	0,0390	0,0455	0,0457	433,850	0,0022	2,539
1000	0,0389	0,0454	0,0454	432,250	0,0022	2,525
1200	0,0387	0,0451	0,0451	429,683	0,0021	2,501
1400	0,0386	0,0448	0,0447	427,117	0,0020	2,395
1600	0,0385	0,0447	0,0446	425,800	0,0021	2,425
1800	0,0383	0,0444	0,0444	423,767	0,0021	2,426
2000	0,0382	0,0443	0,0444	422,667	0,0020	2,424
2500	0,0381	0,0440	0,0441	420,567	0,0020	2,358
3000	0,0377	0,0437	0,0438	417,333	0,0020	2,428
3500	0,0376	0,0435	0,0437	416,050	0,0020	2,407
4000	0,0374	0,0435	0,0436	414,867	0,0020	2,469
4500	0,0375	0,0434	0,0433	413,967	0,0019	2,338
5000	0,0376	0,0432	0,0434	413,833	0,0019	2,277
6000	0,0373	0,0432	0,0432	412,533	0,0020	2,372
7000	0,0371	0,0429	0,0430	409,883	0,0020	2,391
8000	0,0371	0,0428	0,0429	409,300	0,0019	2,352
9000	0,0369	0,0426	0,0429	408,050	0,0020	2,409
10000	0,0370	0,0426	0,0425	406,750	0,0019	2,284
12000	0,0367	0,0423	0,0420	403,550	0,0018	2,251
14000	0,0366	0,0422	0,0418	402,217	0,0018	2,243
16000	0,0364	0,0419	0,0415	399,617	0,0018	2,204
18000	0,0366	0,0417	0,0413	398,633	0,0017	2,076
20000	0,0363	0,0414	0,0412	396,500	0,0017	2,119
25000	0,0357	0,0409	0,0406	390,833	0,0017	2,161
30000	0,0355	0,0404	0,0400	386,317	0,0016	2,031
35000	0,0351	0,0398	0,0394	380,767	0,0015	1,950

40000	0,0348	0,0388	0,0389	374,883	0,0014	1,813
50000	0,0339	0,0373	0,0376	362,783	0,0012	1,621
60000	0,0331	0,0360	0,0361	350,667	0,0010	1,392
70000	0,0321	0,0346	0,0346	337,583	0,0008	1,202
80000	0,0315	0,0331	0,0331	325,467	0,0005	0,835
90000	0,0306	0,0315	0,0316	312,233	0,0003	0,500
100000	0,0294	0,0303	0,0301	299,233	0,0003	0,446
120000	0,0275	0,0275	0,0274	274,633	0,0000	0,071
140000	0,0252	0,0248	0,0248	249,200	0,0001	0,291
160000	0,0235	0,0227	0,0225	228,833	0,0003	0,692
180000	0,0217	0,0205	0,0205	208,750	0,0004	1,012
200000	0,0199	0,0185	0,0186	190,267	0,0004	1,164
250000	0,0166	0,0151	0,0148	155,050	0,0006	1,801
300000	0,0141	0,0123	0,0122	128,717	0,0006	2,409
350000	0,0120	0,0103	0,0104	108,967	0,0006	2,584
400000	0,0104	0,0088	0,0088	93,350	0,0005	2,760
450000	0,0094	0,0081	0,0076	83,733	0,0006	3,298
500000	0,0084	0,0072	0,0072	75,867	0,0004	2,598
600000	0,0071	0,0059	0,0059	63,033	0,0004	3,219
700000	0,0062	0,0051	0,0050	54,167	0,0004	3,477
800000	0,0054	0,0046	0,0045	48,313	0,0003	2,741
900000	0,0052	0,0043	0,0042	45,622	0,0003	3,579
1000000	0,0049	0,0039	0,0040	42,705	0,0003	3,892

C.2. Sakarin 30 mg

Frekuensi (Hz)	Vout (Volt)			Z rata rata (Ω)	Deviasi	Kr (%)
	1	2	3			
1	0,2188	0,1707	0,1780	1891,333	0,0150	3,961
1,2	0,2025	0,1656	0,1673	1784,333	0,0120	3,368
1,4	0,1912	0,1504	0,1571	1662,000	0,0126	3,799
1,6	0,1828	0,1452	0,1498	1592,333	0,0118	3,716

1,8	0,1649	0,1304	0,1417	1456,500	0,0102	3,487
2	0,1586	0,1327	0,1427	1446,500	0,0075	2,601
2,5	0,1450	0,1146	0,1211	1268,667	0,0092	3,641
3	0,1253	0,1039	0,1098	1130,000	0,0064	2,824
3,5	0,1216	0,0992	0,1009	1072,167	0,0072	3,350
4	0,1088	0,0893	0,0959	980,000	0,0057	2,922
4,5	0,1096	0,0880	0,0965	979,833	0,0063	3,206
5	0,0964	0,0841	0,0873	892,500	0,0037	2,067
6	0,0889	0,0764	0,0825	825,833	0,0036	2,176
7	0,0822	0,0741	0,0761	774,333	0,0024	1,570
8	0,0793	0,0717	0,0753	754,000	0,0022	1,446
9	0,0752	0,0673	0,0708	710,667	0,0023	1,607
10	0,0724	0,0650	0,0746	706,333	0,0029	2,063
12	0,0684	0,0619	0,0648	650,167	0,0019	1,434
14	0,0660	0,0602	0,0627	629,333	0,0017	1,324
16	0,0639	0,0582	0,0612	610,833	0,0016	1,336
18	0,0619	0,0570	0,0590	593,000	0,0014	1,199
20	0,0607	0,0557	0,0584	582,500	0,0014	1,228
25	0,0578	0,0535	0,0556	555,833	0,0012	1,117
30	0,0560	0,0519	0,0538	538,667	0,0012	1,099
35	0,0543	0,0508	0,0526	525,500	0,0010	0,975
40	0,0532	0,0498	0,0515	514,917	0,0010	0,932
50	0,0515	0,0484	0,0501	499,867	0,0009	0,893
60	0,0504	0,0470	0,0489	487,900	0,0010	0,997
70	0,0494	0,0464	0,0483	480,500	0,0009	0,920
80	0,0490	0,0458	0,0476	474,450	0,0009	0,957
90	0,0482	0,0453	0,0469	467,900	0,0009	0,910
100	0,0478	0,0449	0,0466	464,567	0,0008	0,906
120	0,0472	0,0441	0,0458	457,283	0,0009	0,977
140	0,0466	0,0437	0,0452	451,500	0,0008	0,917
160	0,0461	0,0433	0,0449	447,500	0,0008	0,883
180	0,0457	0,0429	0,0445	443,700	0,0008	0,927

200	0,0453	0,0426	0,0442	440,267	0,0008	0,917
250	0,0450	0,0420	0,0435	434,850	0,0009	0,984
300	0,0444	0,0415	0,0430	429,533	0,0008	0,965
350	0,0441	0,0412	0,0427	426,500	0,0008	0,981
400	0,0440	0,0408	0,0422	423,433	0,0009	1,087
500	0,0437	0,0404	0,0420	420,217	0,0010	1,148
600	0,0434	0,0401	0,0414	415,950	0,0010	1,165
700	0,0430	0,0398	0,0411	413,200	0,0009	1,124
800	0,0427	0,0395	0,0410	410,650	0,0009	1,140
900	0,0427	0,0393	0,0406	408,617	0,0010	1,201
1000	0,0425	0,0391	0,0404	406,733	0,0010	1,237
1200	0,0424	0,0389	0,0401	404,417	0,0010	1,262
1400	0,0420	0,0387	0,0401	402,833	0,0010	1,202
1600	0,0420	0,0385	0,0398	400,917	0,0010	1,306
1800	0,0420	0,0384	0,0397	400,500	0,0010	1,297
2000	0,0415	0,0381	0,0395	397,167	0,0010	1,245
2500	0,0414	0,0379	0,0393	395,167	0,0010	1,310
3000	0,0413	0,0377	0,0389	393,017	0,0010	1,326
3500	0,0411	0,0375	0,0387	391,067	0,0010	1,331
4000	0,0411	0,0374	0,0386	390,550	0,0011	1,375
4500	0,0410	0,0374	0,0380	387,867	0,0011	1,431
5000	0,0410	0,0373	0,0383	388,533	0,0011	1,405
6000	0,0407	0,0371	0,0383	386,750	0,0011	1,361
7000	0,0406	0,0370	0,0381	385,383	0,0011	1,374
8000	0,0405	0,0369	0,0380	384,600	0,0011	1,387
9000	0,0405	0,0368	0,0374	382,600	0,0012	1,507
10000	0,0402	0,0367	0,0373	380,883	0,0011	1,395
12000	0,0401	0,0367	0,0372	379,917	0,0011	1,431
14000	0,0400	0,0364	0,0370	378,017	0,0011	1,462
16000	0,0397	0,0362	0,0369	375,983	0,0011	1,408
18000	0,0396	0,0361	0,0367	374,733	0,0011	1,463
20000	0,0393	0,0359	0,0366	372,667	0,0010	1,391

25000	0,0389	0,0356	0,0361	368,800	0,0010	1,366
30000	0,0384	0,0352	0,0358	364,467	0,0010	1,349
35000	0,0380	0,0349	0,0353	360,433	0,0010	1,368
40000	0,0374	0,0344	0,0348	355,283	0,0009	1,306
50000	0,0361	0,0335	0,0339	344,667	0,0008	1,185
60000	0,0350	0,0326	0,0328	334,750	0,0008	1,138
70000	0,0337	0,0315	0,0318	323,183	0,0007	1,082
80000	0,0323	0,0304	0,0308	311,517	0,0006	0,920
90000	0,0311	0,0292	0,0295	299,250	0,0006	0,951
100000	0,0297	0,0283	0,0284	287,967	0,0005	0,788
120000	0,0271	0,0262	0,0262	264,983	0,0003	0,588
140000	0,0249	0,0241	0,0242	243,850	0,0002	0,494
160000	0,0228	0,0222	0,0220	223,300	0,0002	0,537
180000	0,0207	0,0205	0,0203	205,000	0,0001	0,256
200000	0,0192	0,0189	0,0187	189,350	0,0001	0,377
250000	0,0159	0,0157	0,0153	156,367	0,0002	0,503
300000	0,0130	0,0132	0,0129	129,983	0,0001	0,336
350000	0,0111	0,0112	0,0110	110,733	0,0001	0,322
400000	0,0094	0,0098	0,0094	95,450	0,0001	0,727
450000	0,0083	0,0086	0,0087	85,433	0,0001	0,668
500000	0,0072	0,0078	0,0077	75,917	0,0002	1,180
600000	0,0061	0,0064	0,0064	63,033	0,0001	0,826
700000	0,0052	0,0054	0,0054	53,450	0,0001	0,608
800000	0,0051	0,0052	0,0049	50,673	0,0001	0,778
900000	0,0043	0,0047	0,0045	44,700	0,0001	1,352
1000000	0,0043	0,0043	0,0042	42,828	0,0000	0,517

C.3. Sakarin 50 mg

Frekuensi (Hz)	Vout (Volt)			Z rata rata (Ω)	Deviasi	Kr (%)
	1	2	3			
1	0,1971	0,1439	0,1481	1630,000	0,0171	5,236
1,2	0,1840	0,1274	0,1341	1484,833	0,0179	6,016
1,4	0,1736	0,1228	0,1260	1407,667	0,0164	5,832
1,6	0,1656	0,1097	0,1186	1312,833	0,0173	6,607
1,8	0,1537	0,1028	0,1122	1228,833	0,0156	6,365
2	0,1517	0,0982	0,1055	1184,500	0,0167	7,063
2,5	0,1259	0,0869	0,0953	1026,833	0,0118	5,763
3	0,1190	0,0782	0,0887	952,667	0,0122	6,414
3,5	0,1088	0,0740	0,0837	888,167	0,0104	5,828
4	0,0979	0,0694	0,0814	828,667	0,0082	4,977
4,5	0,0947	0,0703	0,0756	801,833	0,0074	4,627
5	0,0924	0,0687	0,0789	799,667	0,0069	4,301
6	0,0795	0,0609	0,0670	691,000	0,0055	3,952
7	0,0747	0,0627	0,0633	668,500	0,0039	2,920
8	0,0715	0,0572	0,0629	638,333	0,0041	3,245
9	0,0681	0,0556	0,0597	611,333	0,0037	3,009
10	0,0658	0,0535	0,0591	594,167	0,0036	2,992
12	0,0623	0,0516	0,0571	569,667	0,0031	2,724
14	0,0594	0,0499	0,0541	544,600	0,0027	2,502
16	0,0569	0,0489	0,0529	528,900	0,0023	2,191
18	0,0550	0,0480	0,0518	515,900	0,0020	1,942
20	0,0537	0,0472	0,0509	506,083	0,0019	1,852
25	0,0509	0,0457	0,0493	486,250	0,0015	1,575
30	0,0490	0,0448	0,0482	473,350	0,0013	1,344
35	0,0478	0,0440	0,0471	462,950	0,0012	1,273
40	0,0465	0,0434	0,0463	454,033	0,0010	1,107
50	0,0448	0,0423	0,0454	441,533	0,0010	1,080
60	0,0437	0,0416	0,0446	432,817	0,0009	1,002
70	0,0430	0,0411	0,0440	426,967	0,0008	0,988

80	0,0423	0,0409	0,0434	422,150	0,0007	0,861
90	0,0418	0,0405	0,0430	417,983	0,0007	0,855
100	0,0414	0,0397	0,0429	413,417	0,0009	1,120
120	0,0408	0,0391	0,0422	406,883	0,0009	1,088
140	0,0403	0,0388	0,0418	403,017	0,0009	1,103
160	0,0400	0,0385	0,0414	399,517	0,0008	1,052
180	0,0394	0,0383	0,0410	395,850	0,0008	0,980
200	0,0392	0,0380	0,0408	393,233	0,0008	1,032
250	0,0389	0,0376	0,0402	389,167	0,0007	0,962
300	0,0386	0,0372	0,0397	385,033	0,0007	0,925
350	0,0384	0,0368	0,0395	382,517	0,0008	1,018
400	0,0383	0,0366	0,0391	379,933	0,0007	0,979
500	0,0377	0,0364	0,0388	376,083	0,0007	0,911
600	0,0374	0,0360	0,0384	372,550	0,0007	0,943
700	0,0370	0,0357	0,0380	369,300	0,0007	0,904
800	0,0369	0,0357	0,0379	368,233	0,0007	0,885
900	0,0369	0,0355	0,0376	366,650	0,0006	0,851
1000	0,0366	0,0353	0,0375	364,833	0,0006	0,867
1200	0,0365	0,0351	0,0372	362,700	0,0006	0,884
1400	0,0363	0,0349	0,0370	360,650	0,0006	0,842
1600	0,0362	0,0348	0,0368	359,517	0,0006	0,807
1800	0,0361	0,0348	0,0362	356,967	0,0005	0,644
2000	0,0359	0,0347	0,0360	355,217	0,0004	0,604
2500	0,0359	0,0343	0,0360	354,017	0,0005	0,760
3000	0,0355	0,0342	0,0356	351,317	0,0004	0,632
3500	0,0354	0,0342	0,0355	350,050	0,0004	0,602
4000	0,0355	0,0341	0,0354	349,817	0,0004	0,640
4500	0,0352	0,0340	0,0354	348,483	0,0004	0,644
5000	0,0353	0,0339	0,0351	347,833	0,0005	0,652
6000	0,0353	0,0338	0,0350	347,183	0,0004	0,646
7000	0,0350	0,0337	0,0349	345,467	0,0004	0,588
8000	0,0349	0,0337	0,0349	344,867	0,0004	0,592

9000	0,0347	0,0335	0,0347	343,283	0,0004	0,574
10000	0,0347	0,0335	0,0346	342,600	0,0004	0,580
12000	0,0347	0,0333	0,0346	341,850	0,0004	0,626
14000	0,0344	0,0332	0,0343	339,900	0,0004	0,576
16000	0,0341	0,0331	0,0341	337,783	0,0004	0,521
18000	0,0341	0,0334	0,0341	338,583	0,0002	0,335
20000	0,0340	0,0329	0,0340	336,133	0,0004	0,538
25000	0,0339	0,0326	0,0336	333,483	0,0004	0,581
30000	0,0333	0,0323	0,0333	329,533	0,0003	0,516
35000	0,0330	0,0319	0,0331	326,733	0,0004	0,596
40000	0,0325	0,0317	0,0326	322,700	0,0003	0,430
50000	0,0319	0,0309	0,0318	315,267	0,0003	0,485
60000	0,0312	0,0301	0,0310	307,533	0,0003	0,544
70000	0,0303	0,0293	0,0301	298,800	0,0003	0,507
80000	0,0295	0,0285	0,0292	290,750	0,0003	0,530
90000	0,0288	0,0278	0,0282	282,717	0,0003	0,552
100000	0,0276	0,0267	0,0273	271,717	0,0003	0,498
120000	0,0260	0,0249	0,0254	254,650	0,0003	0,641
140000	0,0239	0,0233	0,0238	236,483	0,0002	0,426
160000	0,0226	0,0216	0,0219	220,483	0,0003	0,714
180000	0,0215	0,0202	0,0202	206,500	0,0004	1,060
200000	0,0198	0,0187	0,0188	191,017	0,0004	0,973
250000	0,0170	0,0157	0,0157	161,533	0,0004	1,380
300000	0,0146	0,0134	0,0133	137,783	0,0004	1,552
350000	0,0125	0,0115	0,0113	117,900	0,0004	1,539
400000	0,0108	0,0101	0,0098	102,233	0,0003	1,437
450000	0,0100	0,0088	0,0088	91,833	0,0004	2,182
500000	0,0088	0,0080	0,0078	82,100	0,0003	1,875
600000	0,0075	0,0069	0,0064	69,367	0,0003	2,295
700000	0,0066	0,0059	0,0059	61,350	0,0002	1,905
800000	0,0061	0,0053	0,0053	55,867	0,0003	2,412
900000	0,0056	0,0048	0,0047	50,492	0,0003	2,735

1000000	0,0055	0,0048	0,0045	49,315	0,0003	2,874
---------	--------	--------	--------	--------	--------	-------

C.4. Sakarin 70 mg

Frekuensi (Hz)	Vout (Volt)			Z rata rata (Ω)	Deviasi	Kr (%)
	1	2	3			
1	0,1691	0,1406	0,1462	1519,500	0,0087	2,870
1,2	0,1546	0,1242	0,1297	1361,500	0,0093	3,429
1,4	0,1466	0,1133	0,1216	1271,500	0,0100	3,937
1,6	0,1351	0,1019	0,1148	1172,500	0,0097	4,122
1,8	0,1300	0,0956	0,1077	1111,000	0,0101	4,534
2	0,1224	0,0902	0,1007	1044,167	0,0095	4,546
2,5	0,1062	0,0793	0,0918	924,167	0,0078	4,205
3	0,1026	0,0734	0,0843	867,500	0,0085	4,901
3,5	0,0947	0,0708	0,0815	823,000	0,0069	4,208
4	0,0909	0,0650	0,0798	785,500	0,0075	4,774
4,5	0,0846	0,0633	0,0751	743,000	0,0061	4,136
5	0,0776	0,0649	0,0674	699,500	0,0039	2,784
6	0,0721	0,0606	0,0659	661,833	0,0033	2,521
7	0,0677	0,0549	0,0604	609,500	0,0037	3,041
8	0,0663	0,0522	0,0581	588,333	0,0041	3,463
9	0,0635	0,0508	0,0568	570,333	0,0037	3,216
10	0,0609	0,0495	0,0548	550,650	0,0033	2,992
12	0,0592	0,0481	0,0527	533,233	0,0032	3,000
14	0,0569	0,0464	0,0511	514,200	0,0030	2,950
16	0,0543	0,0455	0,0499	498,917	0,0025	2,549
18	0,0530	0,0446	0,0489	488,217	0,0024	2,485
20	0,0517	0,0437	0,0483	479,200	0,0023	2,407
25	0,0498	0,0423	0,0467	462,467	0,0022	2,347
30	0,0484	0,0415	0,0457	451,833	0,0020	2,213
35	0,0474	0,0406	0,0448	442,467	0,0020	2,216
40	0,0468	0,0402	0,0440	436,450	0,0019	2,209

50	0,0455	0,0391	0,0431	425,633	0,0019	2,213
60	0,0446	0,0386	0,0421	417,767	0,0018	2,100
70	0,0439	0,0380	0,0416	412,100	0,0017	2,083
80	0,0435	0,0376	0,0411	407,317	0,0017	2,087
90	0,0431	0,0373	0,0408	404,133	0,0017	2,065
100	0,0428	0,0371	0,0404	400,850	0,0016	2,046
120	0,0421	0,0365	0,0399	394,967	0,0016	2,054
140	0,0417	0,0364	0,0393	391,450	0,0016	1,982
160	0,0414	0,0359	0,0391	387,917	0,0016	2,053
180	0,0411	0,0356	0,0387	384,367	0,0016	2,054
200	0,0408	0,0353	0,0385	381,900	0,0016	2,065
250	0,0403	0,0351	0,0379	377,517	0,0015	1,988
300	0,0401	0,0346	0,0374	373,567	0,0016	2,135
350	0,0396	0,0342	0,0367	368,517	0,0016	2,119
400	0,0393	0,0340	0,0364	365,517	0,0015	2,093
500	0,0388	0,0337	0,0360	361,550	0,0015	2,041
600	0,0386	0,0335	0,0355	358,717	0,0015	2,089
700	0,0384	0,0328	0,0353	354,983	0,0016	2,269
800	0,0382	0,0327	0,0351	353,117	0,0016	2,255
900	0,0380	0,0325	0,0350	351,467	0,0016	2,289
1000	0,0380	0,0322	0,0348	350,050	0,0017	2,388
1200	0,0376	0,0321	0,0346	347,517	0,0016	2,320
1400	0,0374	0,0320	0,0345	346,067	0,0015	2,230
1600	0,0372	0,0319	0,0342	344,217	0,0015	2,233
1800	0,0372	0,0318	0,0340	343,417	0,0016	2,292
2000	0,0370	0,0320	0,0340	343,333	0,0015	2,117
2500	0,0369	0,0315	0,0338	340,683	0,0016	2,325
3000	0,0368	0,0313	0,0336	338,950	0,0016	2,327
3500	0,0364	0,0313	0,0334	337,200	0,0015	2,196
4000	0,0364	0,0312	0,0333	336,350	0,0015	2,221
4500	0,0363	0,0311	0,0333	335,333	0,0015	2,270
5000	0,0362	0,0312	0,0331	335,133	0,0014	2,161

6000	0,0361	0,0309	0,0331	333,300	0,0015	2,263
7000	0,0358	0,0308	0,0329	331,933	0,0015	2,190
8000	0,0357	0,0308	0,0328	331,100	0,0014	2,179
9000	0,0358	0,0308	0,0328	331,083	0,0014	2,188
10000	0,0356	0,0307	0,0328	330,367	0,0014	2,156
12000	0,0356	0,0305	0,0326	329,083	0,0015	2,252
14000	0,0354	0,0305	0,0325	327,733	0,0014	2,188
16000	0,0353	0,0304	0,0325	327,117	0,0014	2,157
18000	0,0352	0,0303	0,0322	325,450	0,0014	2,186
20000	0,0350	0,0301	0,0321	323,800	0,0014	2,182
25000	0,0347	0,0299	0,0320	321,983	0,0014	2,160
30000	0,0343	0,0297	0,0317	318,783	0,0013	2,081
35000	0,0339	0,0294	0,0314	315,617	0,0013	2,071
40000	0,0334	0,0291	0,0311	311,950	0,0012	1,978
50000	0,0328	0,0285	0,0303	305,483	0,0012	2,038
60000	0,0319	0,0280	0,0296	298,300	0,0011	1,857
70000	0,0309	0,0274	0,0288	290,067	0,0010	1,759
80000	0,0302	0,0267	0,0280	282,783	0,0010	1,789
90000	0,0292	0,0260	0,0273	274,783	0,0009	1,728
100000	0,0281	0,0253	0,0263	265,433	0,0008	1,550
120000	0,0262	0,0237	0,0247	248,800	0,0007	1,446
140000	0,0244	0,0223	0,0231	232,317	0,0006	1,298
160000	0,0227	0,0210	0,0214	217,233	0,0005	1,203
180000	0,0211	0,0196	0,0200	202,517	0,0004	1,051
200000	0,0196	0,0185	0,0187	189,017	0,0003	0,901
250000	0,0165	0,0159	0,0157	160,383	0,0002	0,721
300000	0,0139	0,0137	0,0134	136,650	0,0001	0,515
350000	0,0121	0,0119	0,0116	118,483	0,0001	0,607
400000	0,0105	0,0107	0,0101	104,283	0,0002	0,964
450000	0,0095	0,0097	0,0090	93,517	0,0002	1,115
500000	0,0085	0,0088	0,0086	86,233	0,0001	0,475
600000	0,0072	0,0073	0,0069	71,600	0,0001	0,780

700000	0,0063	0,0063	0,0064	63,533	0,0000	0,367
800000	0,0055	0,0058	0,0056	56,467	0,0001	0,717
900000	0,0052	0,0053	0,0051	52,083	0,0001	0,585
1000000	0,0048	0,0048	0,0047	47,783	0,0000	0,435