

**PENGARUH PEMBERIAN ANTIOKSIDAN TERHADAP
KERUSAKAN JARINGAN PADA ORGAN LIMPA DARI
MENCIT (*MUS MUSCULUS*) YANG TERPAPAR GELOMBANG
ELEKTROMAGNETIK**

SKRIPSI

Oleh

**IL ISMI MUFA'IDAH
165090300111007**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2020**



**LEMBAR PENGESAHAN SKIRPSI
PENGARUH PEMBERIAN ANTIOKSIDAN TERHADAP
KERUSAKAN JARINGAN PADA ORGAN LIMPA DARI
MENCIT (*MUS MUSCULUS*) YANG TERPAPAR
GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK**

Oleh:
IL Ismi Mufa'idah
165090300111007

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji pada
tanggal..16.JULI 2020
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika

Dosen Pembimbing I

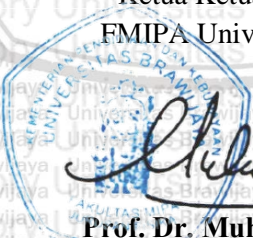
Dosen Pembimbing II

Drs. Unggul P. Juswono, M.Sc
NIP. 196501111990021002

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

Mengetahui,

Ketua Ketua Jurusan Fisika
FMIPA Universitas Brawijaya



Prof. Dr. Muhammad Nurhuda
NIP. 196409101990021001

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan kepada Allah SWT, atas segala limpahan rahmat, kuasa serta inayah dan hidayah-Nya lah sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar.

Pembuatan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan dari orang-orang yang telah mendukung pelaksanaan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih atas bimbingan dan bantuan yang telah diberikan oleh:

1. Ibu, Bapak, Adek Fadil dan Adek Dev yang selalu memberi semangat dan mendoakan.
2. Bapak Prof. Dr. Muhammad Nurhuda selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA-UB.
3. Bapak Drs. Unggul P. Juswono, M.Sc dan Bapak Dr.Eng. Didik Rahadi S., M.Si selaku Dosen Pembimbing Skripsi.
4. Ichsan, Miah, Bhakti, Mas Abu, Rima, Alvi selaku sahabat tersayang yang selalu memberikan dukungan dan semangat.
5. Milkha, Restya, Nabila, Salsa selaku teman-teman sekelompok penelitian skripsi yang selalu membantu memberi semangat.
6. Seluruh teman-teman bimbingan Pak Unggul yang selalu saling memberi semangat.
7. Semua pihak yang tidak disebutkan disini serta telah ikut membantu menyelesaikan proposal skripsi ini.

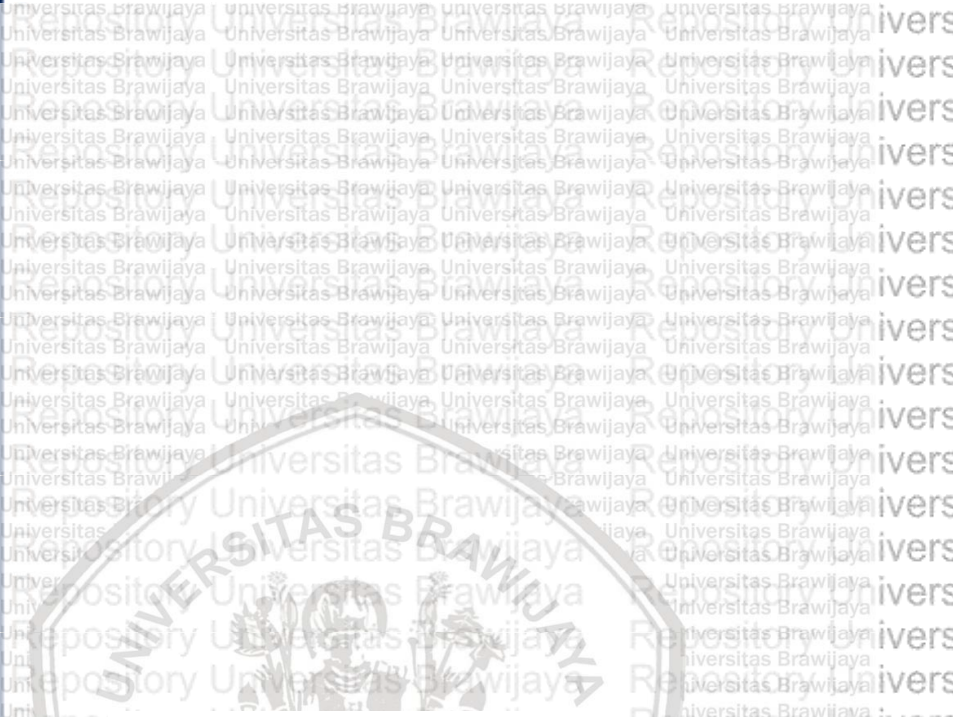
Adapun saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan proposal skripsi ini dan semoga dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan pembaca pada umumnya.

Malang, 14 Mei 2020

Penulis



Repository Universitas Brawijaya



Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **IL Ismi Mufa'idah**

NIM : **165090300111007**

Prodi / Jurusan : **Fisika / Fisika**

Penulis Skripsi berjudul:

PENGARUH PEMBERIAN ANTIOKSIDAN TERHADAP KERUSAKAN JARINGAN PADA ORGAN LIMPA DARI MENCIT (*MUS MUSCULUS*) YANG TERPAPAR GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK

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 termasuk di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam Skripsi ini.
2. Apabila dikemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 14 Mei 2020

Yang menyatakan

(IL Ismi Mufa'idah)

165090300111007



Halaman ini sengaja dikosongkan



PENGARUH PEMBERIAN ANTIOKSIDAN TERHADAP KERUSAKAN JARINGAN PADA ORGAN LIMPA DARI MENCIT (*MUS MUSCULUS*) YANG TERPAPAR GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK

ABSTRAK

Telepon seluler merupakan wujud teknologi komunikasi yang sedang marak digunakan oleh masyarakat karena sangat praktis dan dapat dibawa kemana saja. Penggunaan telepon seluler yang terus-menerus berpotensi menimbulkan kerusakan pada organ-organ yang terpapar gelombang elektromagnetik disekitarnya. Salah satu organ yang terpapar adalah organ limpa. Tujuan dari penelitian ini yaitu menganalisis organ limpa mencit yang terpengaruh paparan radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler. Pemberian antioksidan ekstrak kulit manggis, bawang putih, mengkudu, dan jambu biji pada mencit dilakukan untuk mengetahui pengaruh antioksidan terhadap perbaikan sel pada organ limpa. Pada penelitian ini, hewan uji coba diberi waktu perlakuan paparan dan variasi dosis antioksidan dengan yang berbeda-beda. Kerusakan ditentukan berdasarkan munculnya radikal bebas pengaruhnya terhadap sifat kelistrikan organ limpa. Hasil penelitian menunjukkan adanya radikal bebas yang muncul dengan intensitas yang berbeda. Lama paparan mempengaruhi sifat kelistrikan dan kerusakan organ limpa. Organ limpa mengalami kerusakan paling parah pada lama paparan 50 menit yaitu 57,19%. Pemberian antioksidan campuran ekstrak kulit manggis, bawang putih, mengkudu, dan jambu biji pada organ limpa membuat tingkat kerusakan organ limpa semakin menurun.

Kata Kunci: *Telepon seluler, Gelombang elektromagnetik, Antioksidan, Ekstrak kulit manggis, Jambu biji, Mengkudu, Bawang putih, Radikal bebas, Sifat kelistrikan*

THE INFLUENCE OF ANTIOXIDANT ON TISSUE DAMAGE OF SPLEEN ORGANS OF MICE (MUS MUSULULUS) EXPOSED WITH ELECTROMAGNETIC WAVES

ABSTRACT

A cell phone is a form of communication technology that is being used by the public due to its practicality. The continuous use of cell phones has the potential to cause damage to organs exposed to electromagnetic waves. One of the organs exposed is the spleen organ. The purpose of this study was to analyze the spleen organs of mice exposed by electromagnetic radiation waves from cellular telephones. The provision of antioxidants from mangosteen peel extract, garlic, noni, and guava on mice was carried out to determine the influence of antioxidants on cell repair in spleen organs. This study applied the experimental approach with animals that were provided with different exposure time and a variant of antioxidant dosage. The damage was determined based on the appearance of free radical influence on the electrical properties of spleen organs. The results showed that free radicals appeared with different intensities. The duration of exposure influenced the electrical properties and the damage of the spleen organs. Spleen organ suffered the most damage at 50 minutes exposure time, with 57.19%. The provision of antioxidants with a mixture of mangosteen peel extract, garlic, noni, and guava on spleen organs decreased the level of spleen organ damage.

Keywords: Antioxidants, Cellphone, Electrical Properties, Electromagnetic Waves, Free Radicals, Garlic, Guava, Mangosteen Skin Extract, Noni

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKIRPSI.....	i
KATA PENGANTAR.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Gelombang Elektromagnetik Telepon Seluler.....	5
2.1.1 Gelombang Elektromagnetik.....	5
2.1.2 Gelombang Mikro.....	7
2.1.3 Telepon Seluler.....	7
2.1.4 Radiasi Gelombang Elektromagnetik.....	9
2.1.5 Interaksi Radiasi dengan Jaringan.....	9
2.2 Radikal Bebas.....	10
2.3 <i>Electron Spin Resonance (ESR)</i>	11
2.4 Efek Zeeman.....	13
2.5 Biolistrik.....	14
2.5.1 Impedansi Listrik.....	15

2.5.2 Diagram Fazor	16
2.6 Antioksidan	17
2.7 Kulit Manggis (<i>Garcinia mangosta L.</i>)	17
2.8 Bawang Putih (<i>Allium sativum L.</i>)	19
2.9 Jambu Biji (<i>Psidium guajava</i>)	20
2.10 Mengkudu (<i>Morinda citrifolia L.</i>)	22
2.11 Mencit (<i>Mus musculus L.</i>)	23
2.12 Organ Limpa	24
2.12.1 Limpa	24
2.12.2 Fungsi Limpa.....	25
2.12.3 Kerusakan Organ Limpa	25
2.11.6 Histologi Limpa.....	26
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	27
3.2 Alat dan Bahan	27
3.3 Tahap Penelitian	27
3.3.1 Persiapan Sampel.....	29
3.3.2 Perlakuan Hewan Uji Coba.....	32
3.4 Pengukuran Sampel.....	34
3.4.1 Uji <i>Electron Spin Resonance</i>	34
3.4.2 Uji Mikroskopis.....	36
3.4.3 Uji Impedansi	36
3.5 Analisis Data	38
3.5.1 Uji ESR	38
3.5.2 Perhitungan Prosentase Kerusakan dan Perbaikan Sel....	38
3.5.3 Perhitungan Nilai Impedansi	39

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 41**4.1 Analisa Hasil 41****4.1.1 Gambaran Mikroskopis Organ Limpa dari Mencit 41****4.1.2 Pengujian Radikal Bebas Organ Limpa 46****4.1.3 Sifat Kelistrikan Organ Limpa yang Terpapar Gelombang Elektromagnetik Telepon Seluler 51****4.2 Pembahasan 59****4.2.1 Proses Terbentuknya Radikal Bebas pada Organ Limpa Mencit yang Terpapar Gelombang Elektromagnetik 59****4.2.2 Pengaruh Radiasi Telepon Seluler terhadap Gambaran Histopalogi Organ Limpa Mencit 60****4.2.3 Sifat Kelistrikan Organ Limpa Mencit yang Terpapar Gelombang Elektromagnetik Telepon Seluler 62****4.2.4 Pengaruh Campuran Ekstrak antioksidan terhadap Radikal Bebas dan Kerusakan Sel pada Limpa Mencit 64****BAB V PENUTUP 67****5.1 Kesimpulan 67****5.2 Saran 67****DAFTAR PUSTAKA 69****LAMPIRAN 75**



Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

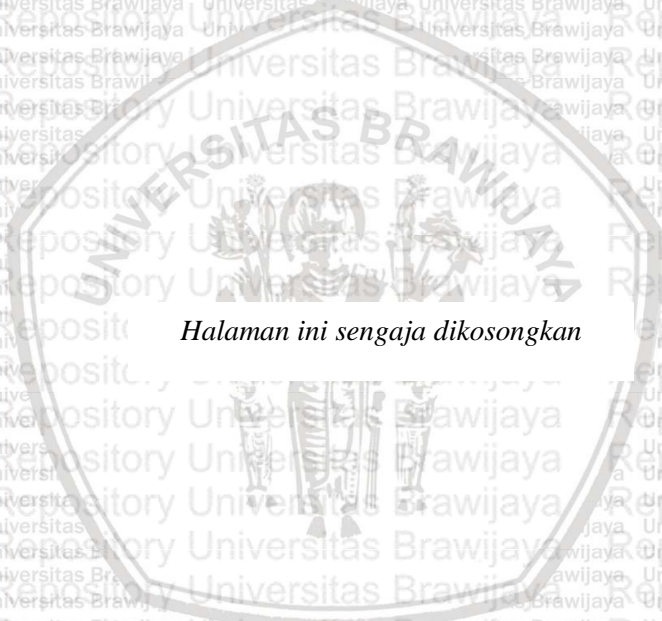
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Spektrum gelombang elektromagnetik.....	6
Gambar 2.2 Radiasi telepon seluler	8
Gambar 2.3 Perpecahan garis spektral	14
Gambar 2.4 Representasi tubuh manusia dalam rangkaian	15
Gambar 2.5 Rangkaian ekuivalen pada membran biologis	16
Gambar 2.6 Diagram Fasor rangkaian RLC seri	16
Gambar 2.7 Buah manggis (<i>Garcinia mangosta</i> L.)	18
Gambar 2.8 Struktur kimia xhantone (Yatman, 2012)	19
Gambar 2.9 Bawang putih (<i>Allium sativum</i> L.)	20
Gambar 2.10 Buah jambu biji (<i>Psidium guajava</i> L.)	21
Gambar 2.11 Buah mengkudu (<i>Morinda citrifolia</i> L.)	23
Gambar 2.12 Mencit (<i>Mus musculus</i>)	24
Gambar 2.13 Organ limpa	25
Gambar 2.14 Limpa normal (A) dan limpa tidak normal (B)	26
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	29
Gambar 3.2 Konfigurasi sumber radiasi GEM	30
Gambar 3.3 Rangkaian Alat ESR	34
Gambar 3.4 Diagram alir uji ESR	35
Gambar 3.5 Diagram alir uji mikroskopis	36
Gambar 3.6 Diagram alir uji impedansi	37
Gambar 4.1 Gambaran histologi limpa mencit menggunakan aplikasi Image Raster	41
Gambar 4.2 Hasil pengamatan tiap perlakuan yang diberi paparan. Keterangan: (a) Kontol (b) P10 (c) P20 (d) P30 (e) P40 (d) P50	42
Gambar 4.3 Grafik kerusakan sel akibat paparan gelombang elektromagnetik	43
Gambar 4.4 Hasil pengamatan tiap perlakuan yang diberi dosis antioksidan	44
Gambar 4.5 Grafik perubahan kerusakan sel setelah diberi variasi dosis antioksidan	45
Gambar 4.6 Kurva Lissajous pada kalibrator DPPH	46
Gambar 4.7 Kurva Lissajous pada sampel	48
Gambar 4.8 Grafik hubungan kecekungan kurva kuadrat dengan lama paparan	48

Gambar 4.9 Grafik Hubungan kecekungan kurva kuadrat dan pemberian variasi dosis	49
Gambar 4.10 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai impedansi 51	
Gambar 4.11 Grafik hubungan impedansi terhadap lama paparan dengan frekuensi 100 Hz, 1000 Hz, 5000 Hz, 10000 Hz, dan 100000 Hz	52
Gambar 4.12 Grafik hubungan nilai Impedansi terhadap perlakuan paparan GEM pada frekuensi 1000 Hz	53
Gambar 4.13 Grafik hubungan pemberian variasi dosis antioksidan dan Impedansi dengan frekuensi 100 Hz, 1000 Hz, 5000 Hz, 10000 Hz, dan 100000 Hz	54
Gambar 4. 14 Grafik hubungan nilai Impedansi dan pemberian variasi dosis pada frekuensi 1000 Hz	55
Gambar 4.15 Grafik hubungan nilai resistivitas dan pemberian antioksidan	56
Gambar 4.16 Grafik hubungan nilai resistivitas dengan perlakuan paparan	56
Gambar 4. 17 Grafik hubungan nilai permitivitas dengan lama paparan	57
Gambar 4. 18 Grafik nilai permitivitas dengan variasi dosis	58
Gambar 4. 19 Struktur anion superoksida	60
Gambar 4.20 Struktur organ limpa	61
Gambar 4.21 Struktur membran sel (Rahmatie dkk., 2016)	62
Gambar 4.22 Rangkaian R dan C pada membran sel (.....	63
Gambar 4.23 Struktur kimia xanthone	65



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spektrum gelombang elektromagnetik..... 6

Tabel 2.2 Nilai faktor g untuk beberapa jenis radikal bebas 13

Tabel 2.3 Komposisi gizi kulit manggis per 100 g..... 18

Tabel 2.4 Kandungan zat gizi bawang putih per 100 g. 20

Tabel 2.5 Kandungan zat gizi jambu biji per 100 g 21

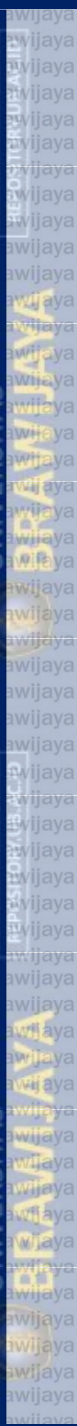
Tabel 2.6 Kandungan zat gizi mengkudu per 100 g..... 22

Table 3.1 Variasi dosis yang diberikan pada mencit32

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran DPPH sebagai data kalibrasi 47

Tabel 4.2 Jenis radikal bebas yang terbentuk..... 50





Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring berkembangnya era globalisasi, teknologi informasi dan komunikasi juga berkembang sangat pesat. Hal ini dikarenakan informasi dan komunikasi menjadi sebuah kebutuhan yang sangat penting bagi masyarakat. Telepon seluler merupakan wujud teknologi komunikasi yang sedang marak digunakan oleh masyarakat karena sangat praktis dan dapat dibawa kemana saja. Penggunaan telepon seluler sangat penting khususnya untuk masyarakat yang memerlukan mobilitas tinggi. Telepon seluler dijadikan sebagai alat komunikasi yang aktual di Indonesia selama lebih dari lima tahun terakhir karena memiliki fasilitas-fasilitas tak terbatas, misalnya SMS (*Short Messages Services*), telepon, menyimpan data, alat dokumentasi, sarana hiburan, dan lain-lain (Utaminingsih, 2006).

Telepon seluler yang memiliki banyak kelebihan juga memiliki dampak-dampak negatif. Dampak negatif tersebut berasal dari radiasi yang ditimbulkan oleh telepon seluler itu sendiri. Radiasi yang dihasilkan oleh telepon seluler adalah radiasi gelombang elektromagnetik. Radiasi gelombang elektromagnetik ini terbentuk dari gabungan medan magnet dan medan listrik yang diusik. Kedua medan tersebut akan bergetar secara saling tegak lurus dan membentuk gelombang elektromagnetik (Victorya, 2015).

Radiasi yang ditimbulkan oleh telepon seluler adalah radiasi gelombang elektromagnetik non pengion dan memiliki frekuensi yang lebih rendah. Namun jika telepon seluler digunakan dalam jangka waktu yang lama maka akan memiliki energi yang cukup untuk membahayakan jaringan hidup (Choi & Choi, 2016). Radiasi ini jika berinteraksi dengan jaringan tubuh akan membentuk sebuah radikal bebas yang membahayakan tubuh. Radikal bebas merupakan suatu molekul yang memiliki satu atau lebih elektron yang tidak mempunyai pasangan sehingga dapat dikatakan sebagai suatu molekul yang tidak stabil. Molekul tersebut mencari pasangan elektronnya agar dapat stabil dan dinamakan *reactive oxygen species* (ROS). Kehilangan elektron pada sel tubuh akan mengakibatkan sel menjadi radikal bebas (Ardhie, 2011). Adanya radikal bebas dalam tubuh mempengaruhi keadaan intraseluler maupun ekstraseluler sel. Kondisi yang berubah

ini nantinya akan berdampak pada sifat kelistrikan dalam tubuh (Purwanto dan Sujatmiko, 2009).

Radikal bebas yang ditimbulkan dapat mengancam beberapa kesehatan organ tubuh yang berada paling dekat dengan telepon seluler. Kebiasaan buruk manusia juga ikut menjadi faktor dampak negatif penggunaan telepon seluler. Kebiasaan buruk tersebut dapat berupa kebiasaan meletakkan telepon seluler di saku pakaian. Hal ini berdampak pada organ disekitar saku, khususnya organ limpa. Organ limpa merupakan salah satu organ yang sangat penting pada tubuh karena berperan pada sistem kekebalan tubuh manusia. Organ limpa merupakan tempat terjadinya perombakan sel darah merah. Organ limpa juga menjadi organ pertahanan yang penting karena terdiri dari banyak sel fagositik dan memiliki hubungan dengan darah yang mengalir pada sel-sel limpa (Husain dan Makiyah, 2012). Jika organ limpa terkena paparan radiasi elektromagnetik, maka dapat menyebabkan kerusakan pada sel-selnya dan menurunkan fungsi organ limpa tersebut. Kerusakan tersebut dapat diatasi dengan sebuah antioksidan.

Efek radikal bebas dapat dibersihkan dan dihilangkan dengan suatu senyawa yang disebut antioksidan. Radikal bebas distabilkan oleh antioksidan karena kekurangan elektron. Antioksidan inilah yang menghambat terjadinya reaksi pembentukan radikal bebas dan mengatur proses oksidasi agar tidak terjadi secara terus-menerus didalam tubuh (Selawa dkk., 2013).

Kulit manggis merupakan salah satu penghasil antioksidan yang tinggi karena mengandung senyawa *xanthone* dan *saponin* (Dungir dkk., 2012). Antioksidan lain ditemukan pada bawang putih yang mengandung banyak senyawa *fenolik* dan *flavonoid* (Jose dkk., 2014). Kandungan *likopen*, *polifenol*, *flavonoid*, dan beberapa vitamin sebagai antioksidan ditemukan pada jambu biji (Musa dkk., 2011). Pada mengkudu juga ditemukan banyak antioksidan yaitu *flavonoid* dan senyawa *fenolik* (Rohman dkk., 2006). Keempat antioksidan diatas apabila dicampurkan akan menghasilkan kandungan antioksidan yang sangat baik karena kandungan antioksidannya saling melengkapi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan diatas, maka rumusan masalah dari penelitian ini yaitu bagaimana kerusakan organ limpa mencit (*Mus musculus*) akibat paparan gelombang elektromagnetik telepon seluler serta pengaruh pemberian antioksidan terhadap kerusakan organ limpa mencit (*Mus musculus*) yang terpapar gelombang elektromagnetik telepon seluler.

1.3 Tujuan Penelitian

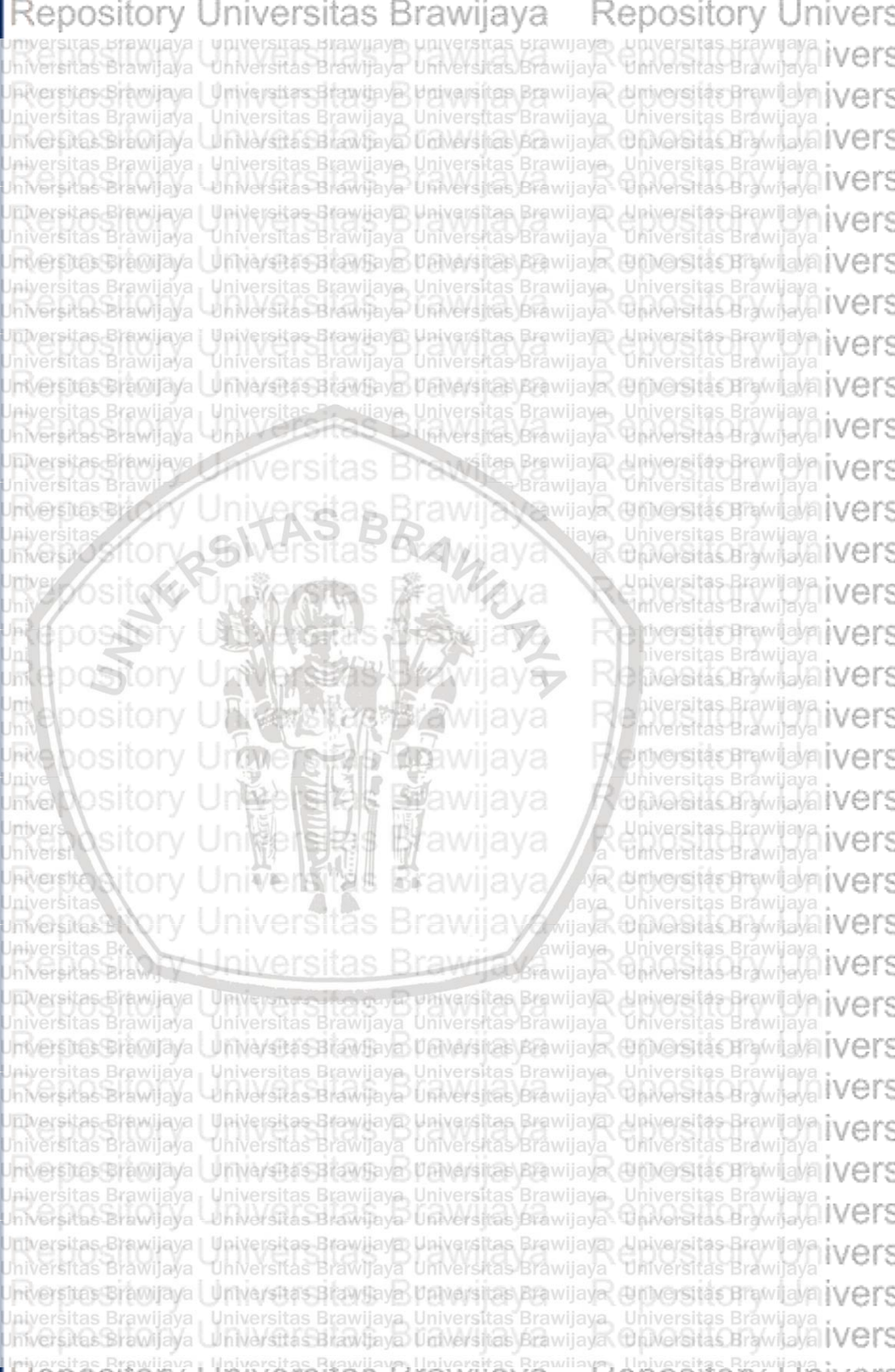
Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh paparan radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler terhadap kerusakan organ limpa mencit dan menganalisis pengaruh pemberian antioksidan terhadap kerusakan organ limpa mencit yang terpapar radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini antara lain yaitu penelitian ini menggunakan hewan coba mencit dengan jenis kelamin jantan dikarenakan mengikuti kode etik penelitian. Mencit yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan usia 2-3 bulan karena pada usia tersebut mencit sudah dikatakan dewasa. Organ yang diamati adalah organ limpa mencit karena organ limpa memiliki peranan penting pada sistem kekebalan tubuh. Sumber radiasi gelombang elektromagnetik yang digunakan berasal dari 4 telepon seluler dengan spesifikasi yang berbeda ditunjukkan dalam Lampiran 10. Campuran ekstrak jambu biji, bawang putih, kulit manggis, dan mengkudu yang diberikan pada mencit sebagai antioksidan diperoleh dari pasaran.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah sebagai sumber informasi dan pengetahuan bagi peneliti dan masyarakat tentang dampak paparan gelombang elektromagnetik dari penggunaan telepon seluler terhadap organ limpa manusia, sehingga dapat menggunakan telepon seluler lebih bijak, serta memberikan informasi tentang manfaat campuran ekstrak jambu biji, bawang putih, kulit manggis, dan mengkudu sebagai antioksidan.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang Elektromagnetik Telepon Seluler

2.1.1 Gelombang Elektromagnetik

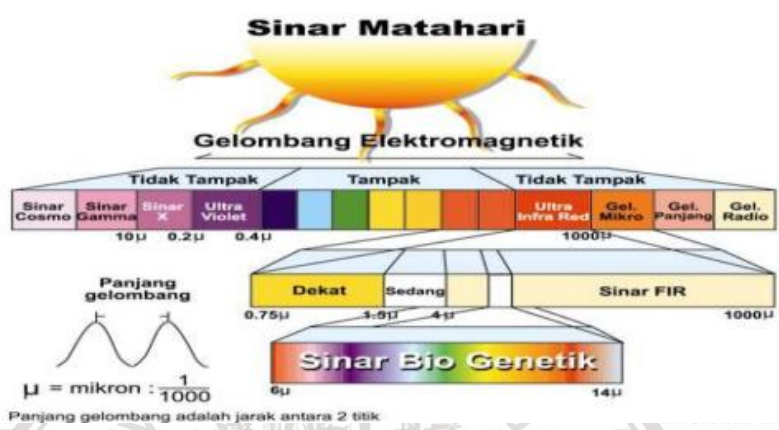
Gelombang yang terbentuk akibat gabungan medan listrik dan medan magnetik disebut gelombang elektromagnetik. Medan listrik dan medan magnetik bergetar dalam arah yang saling tegak lurus. Medan-medan ini merupakan gelombang transversal, dimana arah getarnya tegak lurus dengan arah rambatnya. Gelombang elektromagnetik ini tidak memerlukan media untuk merambat (Victorya, 2015).

Berdasarkan frekuensinya, medan elektromagnet dapat diklasifikasikan menjadi:

1. *Static EMF* (0 Hz). Contohnya medan elektromagnet yang bersumber dari alam, elektrolisis industrial, dan MRI.
2. *Extremely low-Frequency* (ELF) EMF (0-300Hz). Gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh alat saat digunakan dengan frekuensi sekitar 50-60 Hz.
3. *Intermediate frequency* EMF (300Hz-100kHz). Contohnya gelombang elektromagnetik yang bersumber pada hands free, dan detector metal.
4. *Radio Frequency* EMF (100kHz-300GHz). Contohnya sumber gelombang ponsel, TV, radio, *microwave oven*. (Tarigan dkk., 2012).

Spektrum gelombang elektromagnetik merupakan semua bentuk gelombang elektromagnetik yang disusun berdasarkan panjang gelombang dan frekuensi. Berdasarkan frekuensi dan panjang gelombangnya, spektrum gelombang elektromagnetik dibagi menjadi tujuh macam yang memiliki cepat rambat di ruang hampa yaitu $c = 3 \times 10^8$ m/s. Hal tersebut sesuai dengan teori Maxwell tentang gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh medan listrik E dan medan magnet B atau yang biasa disebut muatan yang dipercepat. Kedua medan tersebut bergetar saling tegak lurus terhadap arah rambat gelombang (Enny, 2015).

Gambar pembagian spektrum gelombang elektromagnetik dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Spektrum gelombang elektromagnetik (Enny, 2015)

Frekuensi gelombang elektromagnetik memiliki nilai yang berbeda-beda tiap spektrumnya. Spektrum gelombang radio merupakan spektrum dengan frekuensi paling kecil. Sedangkan spektrum gelombang yang paling besar adalah sinar gamma. Perbedaan nilai frekuensi ini dapat dilihat pada Tabel 2.1. sebagai berikut:

Tabel 2.1 Spektrum gelombang elektromagnetik (Victorya, 2015).

Spektrum	Frekuensi
Sinar Gamma	10^{19} - 10^{25} Hz
Sinar X	10^{16} - 10^{20} Hz
Sinar Ultraviolet	10^{15} - 10^{18} Hz
Sinar Tampak	4×10^{14} – $7,5 \times 10^{15}$ Hz
Sinar Inframerah	10^{11} - 10^{14} Hz
Gelombang Mikro	10^8 - 10^{12} Hz
Gelombang Radio	10^4 - 10^8 Hz

2.1.2 Gelombang Mikro

Gelombang mikro merupakan gelombang radio yang memiliki frekuensi sangat tinggi yaitu diatas 3 GHz. Jika sebuah benda menyerap gelombang mikro, maka benda tersebut akan mengalami efek pemanasan. Pesawat RADAR (*Radio Detection and Ranging*) yang memanfaatkan sifat pemantulan gelombang mikro dapat digunakan sebagai alat pencari atau penentu jejak sebuah benda. Hal ini dapat terjadi dikarenakan cepat rambat gelombang elektromagnetik sangat cepat yaitu sebesar $c = 3 \times 10^8$ m/s (Enny, 2015).

Perambatan gelombang pada gelombang mikro sama satu garis pandang (*LOS = Line of Sight*). Untuk komunikasi di bumi, penerima dan pemancar harus berada pada garis pandang tanpa penghalang antara satu dan lainnya. Gelombang mikro yang digunakan dalam sistem komunikasi terbagi menjadi dua, yaitu sistem *terrestrial* (darat) dan sistem *extraterrestrial* (satelit) (Purbawanto, 2011).

2.1.3 Telepon Seluler

Salah satu alat komunikasi yang marak digunakan saat ini adalah telepon seluler. Telepon seluler semakin beragam fungsi dan jenisnya seiring dengan meningkatnya teknologi dibidang *software* dan *hardware* (Battung, 2014). Telepon seluler adalah salah satu contoh sumber *Radiofrequency (RF) Electromagnetic Fields (EMF)*. RF-EMW yang beroperasi pada 900 MHz dan 1800 MHz merupakan salah satu sistem yang banyak digunakan oleh masyarakat (Dewi dan Wulan, 2015).

Berdasarkan data dari Ketua Asosiasi Telekomunikasi Seluler Indonesia (ATSI), pengguna telepon seluler di Indonesia yaitu sebanyak 80% dari jumlah masyarakatnya. Dengan meningkatnya penggunaan telepon seluler, pembangunan *Base Tranceiver Station (BTS)* juga meningkat. BTS merupakan suatu alat yang digunakan antara pengguna alat komunikasi dengan jaringannya agar dapat berkomunikasi tanpa menggunakan kabel. BTS biasanya terdapat pada puncak menara dan dapat meneruskan dan menerima sinyal melalui gelombang elektromagnetik (Hananto, 2013).

Radiasi telepon seluler tidak sepenuhnya bisa menyebabkan kesehatan manusia terganggu. Hal tersebut didasari dengan banyak masyarakat yang masih menggunakan telepon seluler sebagai alat komunikasi paling mudah. Masyarakat mulai menjadi khawatir

tentang kesehatan setelah mengetahui bahwa telepon seluler memancarkan energi frekuensi radio (*Radiofrequency*). Menurut Schomborn yang dikutip dalam *Romanian J. Biophys*, menyatakan bahwa sekitar 80% radiasi telepon seluler yang dipancarkan akan diserap oleh kepala orang dewasa (Battung, 2014). Radiasi telepon seluler dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Radiasi telepon seluler (Enny, 2015)

Setiap telepon seluler memiliki spesifikasinya masing-masing, termasuk ukuran energi dari gelombang mikro yang dapat menembus jaringan tubuh. *Specific Absorption Rate* (SAR) merupakan ukuran kadar radiasi pada sebuah telepon seluler (radio frekuensi) yang diserap oleh jaringan pengguna. SAR dinyatakan dalam *units off watts* perkilogram (W/kg). Batas SAR yang digunakan di Indonesia menurut standart baru negara Amerika adalah sebesar 1,6 W/kg. Standart tersebut ditetapkan oleh *The Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) (Swamardika, 2009).

Menurut Misran dkk. (2012), nilai SAR dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} E^2 \left(\frac{W}{kg} \right) \quad (2.1)$$

Keterangan:

E = medan elektrik (V/m)

ρ = ketumpatan jaringan (kg/m^3)

σ = konduktiviti jaringan (S/m)

2.1.4 Radiasi Gelombang Elektromagnetik

Gabungan dari medan listrik dan medan magnet yang biasa disebut elektromagnetik masing-masing memiliki energi yang sama besar. Alat-alat listrik yang memiliki energi yang tinggi dapat berpotensi menjadi sumber radiasi. Semakin banyak masyarakat yang menggunakan listrik untuk beraktivitas, maka semakin banyak pancaran radiasi yang dihasilkan. Kehidupan masyarakat akan selalu berhubungan dengan radiasi. Hal ini dikarenakan segala aktivitas yang dilakukan masyarakat selalu menimbulkan sebuah radiasi, bahkan didalam tubuh manusia terdapat sebuah radiasi (Kurniawan dan Wahyuni, 2008).

Beberapa hal yang mempengaruhi energi radiasi total yang diserap dan didistribusikan di dalam tubuh manusia yaitu frekuensi dan panjang gelombang medan elektromagnetik, jarak antara badan dan sumber radiasi EMF, sifat-sifat elektrik tubuh (konstan dielektrik dan konduktivitasnya), polarisasi medan EMF, dan keadaan paparan radiasi. Sifat-sifat elektrik tubuh bergantung pada kadar air di dalam tubuh. Media dengan konstanta dielektrik tinggi akan lebih banyak menyerap radiasi, contohnya otot, otak, dan beberapa jaringan yang memiliki kadar air yang tinggi (Tarigan dkk., 2012).

2.1.5 Interaksi Radiasi dengan Jaringan

Berdasarkan sifat pengionnya, radiasi dibagi menjadi dua yaitu radiasi pengion dan radiasi non-pengion. Radiasi pengion merupakan suatu radiasi yang dapat mengionisasi jaringan yang dilaluinya dengan menghasilkan pasangan ion positif dan negatif. Sedangkan radiasi non-pengion merupakan radiasi yang tidak dapat mengionisasi materi yang dilaluinya. Terdapat dua kemungkinan yang dapat terjadi jika radiasi mengenai tubuh manusia, yaitu radiasi berinteraksi dengan tubuh manusia atau hanya melewatinya (Ancila dan Hidayanto, 2016).

Radiasi yang berinteraksi dengan jaringan tubuh manusia dapat mengalami ionisasi atau eksitasi yang menyebabkan sebagian energi dari radiasi akan hilang. Kehilangan energi radiasi tersebut menyebabkan peningkatan temperatur pada materi yang berinteraksi dengan radiasi tersebut. Jaringan biologi yang menyerap semua energi

radiasi tersebut sebagai panas melalui vibrasi atau getaran atom dan struktur molekul yang meningkat. Hal tersebut merupakan perubahan kimiawi yang dapat menyebabkan perubahan efek biologis (Ancila dan Hidayanto, 2016).

Ionisasi dan eksitasi terjadi pada bahan biologik saat menyerap energi dari suatu radiasi. Ionisasi merupakan proses terlepasnya elektron dari orbit karena ditolak atau ditarik oleh radiasi partikel bermuatan. Sedangkan eksitasi merupakan proses elektron berpindah dari tingkat energi rendah ke tingkat energi yang lebih tinggi tanpa mengusir elektron yang lain. Suatu radiasi ketika mengenai suatu jaringan organisme maka akan mengalami interaksi secara langsung dengan sel yang mengandung kromosom. Atom yang mengalami eksitasi atau ionisasi akan menyebabkan suatu perubahan biologi dalam tubuh. Radiasi yang berinteraksi dengan jaringan tubuh (terutama yang mengandung air) akan menghasilkan suatu radikal bebas (LusiYanti dan Yaifudin, 2017).

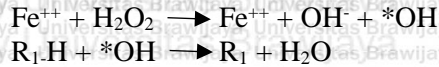
2.2 Radikal Bebas

Radikal bebas merupakan suatu molekul yang memiliki satu atau lebih elektron yang tidak mempunyai pasangan sehingga dapat dikatakan sebagai suatu molekul yang tidak stabil. Molekul tersebut mencari pasangan elektronnya agar dapat stabil dan dinamakan *reactive oxygen species* (ROS). ROS terbagi menjadi dua jenis, yaitu molekul oksigen yang memiliki elektron tidak berpasangan dan molekul oksigen tunggal. Difusi sel akan terjadi saat pengambilan elektron untuk menstabilkan diri dari komponen lipid, DNA, dan protein oleh ROS. Kehilangan elektron pada sel tubuh akan mengakibatkan sel menjadi radikal bebas (Ardhie, 2011).

Menurut Hery (2007), radikal bebas dapat terbentuk melalui tiga tahap diantaranya sebagai berikut:

1) Tahap Inisiasi

Tahap inisiasi merupakan tahap permulaan terbentuknya radikal bebas. Pada tahap ini terjadi reaksi fisi (pembelahan) homolitik ikatan kovalen yang menghasilkan radikal bebas. Contoh reaksinya:



2) Tahap Propagasi

Pada tahap ini, radikal bebas mengalami proses interaksi secara bersama-sama sehingga menghasilkan banyak radikal bebas. Misalnya:



3) Tahap Terminasi

Pada tahap ini terjadi pembentukan ikatan kovalen yang berasal dari penggabungan radikal bebas reaktif sekaligus mengakhiri proses reaksi dan menghasilkan senyawa yang stabil.



2.3 Electron Spin Resonance (ESR)

Electron Spin Resonance (ESR) merupakan suatu teknik yang berfungsi untuk mempelajari aktivitas molekul, atom, dan ion yang memiliki satu atau lebih elektron bebas atau tak berpasangan. Elektron pada radikal bebas yang beresonansi dengan radiasi elektromagnetik akan menghasilkan sebuah medan magnet. Medan magnet inilah yang akan diamati pada ESR. Proses resonansi dapat terjadi ketika energi diserap sehingga menyebabkan spin elektron berubah dari tingkat energi rendah ke yang lebih tinggi (Chusniyah dkk., 2019).

Hubungan antara momen magnet (μ) dan momentum sudut intrinsik elektron spin (s) digunakan dalam metode ESR. Dapat dituliskan dalam persamaan 2.1.

$$\mu = g\beta s \tag{2.2}$$

Keterangan:

μ = momen magnet

g = faktor Lande

β_s = magneton Bohr ($9,27408 \times 10^{-24}$ J/T)

Hubungan antara elektron paramagnet inti atom dengan interaksi spin orbit ditunjukkan oleh faktor Lande (Nurjannah dkk., 2013).

Faktor Lande merupakan faktor yang menunjukkan hubungan antara elektron paramagnet yang terdapat disekitar dengan interaksi spin-orbit. Nilai g dapat ditentukan saat sampel berinteraksi dengan radiasi elektromagnetik sebesar hf dan sebanding dengan transisi energi antara 2 tingkatan spin atau disebut resonansi magnetik. Nilai g dapat dihitung menggunakan persamaan 2.3.

$$g = \frac{hf}{\beta_s B} \quad (2.3)$$

Dimana:

β_s = magneton Bohr ($\beta_s = 9,27408 \times 10^{-24}$ J/T)

h = konstanta Plank ($h = 6,625 \times 10^{-34}$ Js²)

B = medan magnet eksternal (T) (Fauziah dkk., 2012).

Medan magnet eksternal (B) pada ESR Lebold Heracus dapat ditentukan dengan persamaan 2.4.

$$B = \mu_0 \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{n}{r} I \quad (2.4)$$

Dimana:

μ_0 = $1,2566 \times 10^{-6}$ Vs/Am

r = jari-jari kumparan Helmholtz ($r = 6,8$ cm)

I = arus yang mengalir pada kumparan Helmholtz (A) (Fauziah dkk., 2012).

Faktor Lande tiap jenis radikal bebas memiliki nilai yang berbeda-beda. Nilai faktor- g dapat dilihat pada Tabel 2.2.

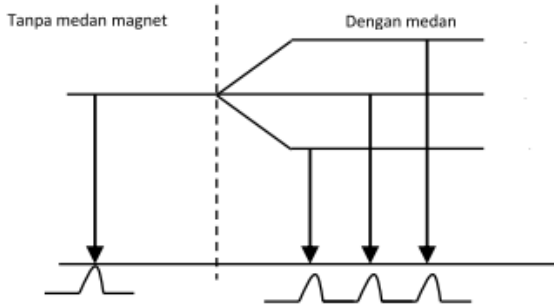
Tabel 2.2 Nilai faktor g untuk beberapa jenis radikal bebas

No.	Jenis Radikal Bebas	Nilai faktor-g
1	O	1.501
2	O_2^-	1.501-1.75
3	Fe^{3+}	1.77
4	MnO_2	1.8367
5	FeS	1.86
6	Hidroperoxida	1.9896
7	CO_2^-	1.996
8	Cu	1.997
9	SO_4^-	1.9976
10	Hydroxyl	2.00047
11	CO^2	2.0007
12	Alkoxy	2.0016
13	Hellium	2.002
14	Methanol	2.00205
15	Alkyl	2.00206
16	Free Radikal	2.00232
17	Hidrogen	2.00232
18	Methyl	2.00255
19	DPPH	2.0036
20	SO_3^-	2.0037
21	Ethyl	2.0044
22	C	2.00505
23	Peroxy	2.0155
24	CO_2	2.0356
25	CuOx	2.098
26	$CuGeO_3$	2.154
27	$YBa_2Cu_3O_7$	2.24
28	Cu-HA	2.289
29	Hg	4.0

2.4 Efek Zeeman

Efek Zeeman merupakan suatu peristiwa terpecahnya garis spektral oleh medan magnet eksternal. Efek Zeeman terbagi menjadi dua yaitu efek Zeeman anomali dan efek Zeeman normal. Efek

Zeeman anomali dapat merupakan terpecahnya garis spektrum menjadi lebih dari tiga garis spektrum. Pada kasus efek Zeeman normal, garis spektral terpecah menjadi tiga garis dengan frekuensi yang berbeda yaitu $(U + \Delta U)$, (U) , dan $(U - \Delta U)$ (Setyawarno dan Supahar, 2017). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Perpecahan garis spektral (Setyawarno dan Supahar, 2017)

Kekuatan dari interaksi dalam setiap tingkat energi pada efek Zeeman dapat dilihat dengan momentum angular dari atomnya sesuai persamaan 2.5.

$$J = L + S \quad (2.5)$$

Dimana nilai J dinamakan sebagai bilangan kuantum m_j dan dapat diperoleh dari $(L-S)$ hingga $(L+S)$. L dan S merupakan orbital spin momentum angular. Apabila medan magnet $B \gg 0$ maka spin akan terpecah, sedangkan apabila medan magnet $B \ll 0$ maka kulit atom tidak akan terpecah (Lestari, 2018).

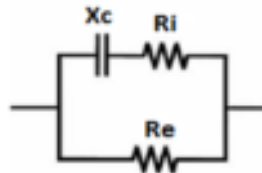
2.5 Biolistrik

Sel makhluk hidup memiliki karakteristik kelistrikan yang disebut biolistrik. Karakteristik kelistrikan pada sel makhluk hidup yang dapat diamati antara lain: kapasitansi, impedansi, induktansi, konstanta dielektrik, dan konduktivitas listrik. Biolistrik ini dipengaruhi oleh peristiwa senyawa metabolisme dan pertukaran ion pada sel tersebut. Karakteristik biolistrik pada sel makhluk hidup dipengaruhi oleh beberapa hal, misalnya kerapatan, kelembaman, temperature, frekuensi, faktor *loss* dielektrik, berat jenis bahan dan komposisi bahan (Setyani dkk., 2014). Kondisi jaringan dapat

dikorelasikan dengan karakteristik biolistrik, sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi kerusakan pada jaringan. Pendeteksian ini dapat dilakukan dengan metode impedansi (Putri dkk., 2017).

2.5.1 Impedansi Listrik

Kumpulan-kumpulan sel yang membentuk tubuh manusia tersusun atas air ekstraseluler, air intraseluler dan membrane sel. Air ekstraseluler (R_e) dan air intraseluler (R_i) bersifat konduktif sehingga keduanya disamakan dengan sifat resistor. Membran sel memiliki sifat non-konduktif karena terdiri dari lemak dan diapit oleh protein yang bersifat konduktif dan sifatnya disamakan dengan kapasitor (Zikri dkk., 2018). Tubuh manusia di representasikan dalam rangkaian ekuivalen dapat dilihat pada Gambar 2.4.



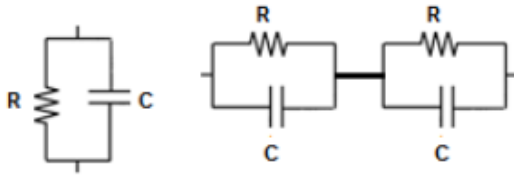
Gambar 2.4 Representasi tubuh manusia dalam rangkaian ekuivalen (Zikri dkk., 2018)

Nilai impedansi dapat dihitung dengan penurunan dari hukum Ohm yang mendefinisikan resistansi R dalam bentuk perbandingan antara tegangan dan arus. Secara umum, impedansi digunakan untuk menggambarkan parameter tahanan pada rangkaian dengan persamaan 2.6.

$$Z = \frac{V}{I} \quad (2.6)$$

dimana Z merupakan impedansi (Ω), V adalah tegangan (V) dan I merupakan arus (A) (Salamena dkk., 2017).

Menurut Putri et al. (2017), model impedansi pada jaringan biologis mengikuti Model Maxwell-Wagner yang menggunakan rangkaian ekuivalen parallel R dan C pada membran sel seperti Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Rangkaian ekuivalen pada membran biologis

Nilai impedansi pada rangkaian diatas dapat dihitung menggunakan persamaan 2.7.

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (2.7)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC})^2} \quad (2.8)$$

Keterangan:

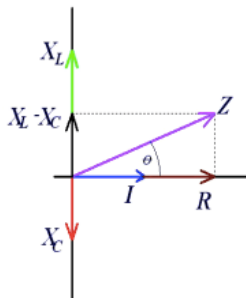
Z = Impedansi (Ω)

R = Resistor (Ω)

C = Kapasitor (F)

2.5.2 Diagram Fasor

Menurut Siregar dkk. (2016), arus pada rangkaian seri harus sama disemua komponen rangkaian tiap titik yang memiliki fase dan amplitudo yang sama besar. Reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif memiliki sebuah hubungan dengan nilai impedansi yang dapat digambarkan pada suatu diagram yang biasa disebut Diagram Fasor. Diagram Fasor dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Diagram Fasor rangkaian RLC seri

2.6 Antioksidan

Senyawa yang dapat digunakan untuk memperlambat kerusakan, perubahan warna akibat oksidasi, dan ketengikan disebut antioksidan. Antioksidan digunakan untuk menstabilkan radikal bebas yang terdapat pada tubuh dengan melengkapi kekurangan elektron dari radikal bebas tersebut. Reaksi pelengkapan elektron yang tidak stabil tersebut menyebabkan terhambatnya reaksi berantai. Senyawa fenolik merupakan contoh dari antioksidan alami yang dapat mencegah kerusakan dan menghambat oksidasi lipid (Dungir dkk., 2012).

Menurut Winarsih (2007), radikal bebas mampu mencari pasangan elektron dari senyawa yang lain. Ketika senyawa antioksidan bertemu dengan radikal bebas, maka akan terjadi tiga reaksi penting, yaitu antara lain:

1. Radikal bebas sebagai oksidator merupakan radikal bebas yang menerima elektron dari senyawa lain (bukan radikal bebas).
2. Radikal bebas reduktor, yaitu radikal bebas yang memberi elektron yang tidak berpasangan kepada senyawa lain (bukan radikal bebas).
3. Radikal bebas yang akan bergabung dengan senyawa lain (bukan radikal bebas).

2.7 Kulit Manggis (*Garcinia mangosta L.*)

Buah manggis (*Garcinia mangosta L.*) merupakan buah yang istimewa dan berasal dari hutan tropis Asia. Buah manggis memiliki kulit dengan warna merah kehitaman, daging buah berwarna putih, serta memiliki senyawa istimewa yang tidak ditemukan pada buah lain yaitu *xhantone*. Selain itu buah manggis mengandung banyak vitamin diantaranya vitamin C, vitamin B1, vitamin B2, vitamin B6, fosfor, besi, potasium, dan katekin (Yatman, 2012).

Menurut Hermawan (2016), buah manggis memiliki klasifikasi sebagai berikut:

Divisi	: Spermatophyta
Klas	: Angiospermae
Sub-Klas	: Dicotyledonae
Ordo	: Thalamiflora
Famili	: Guttiferales
Genus	: Guttieferae

Species : *Garcinia mangosta L.*

Penampakan buah manggis dapat dilihat pada Gambar 2.7.



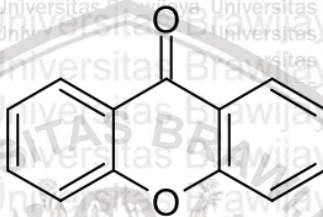
Gambar 2.7 Buah manggis (*Garcinia mangosta L.*) (Hermawan, 2016)

Komposisi gizi kulit manggis dapat dilihat di Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Komposisi gizi kulit manggis per 100 g (Yatman, 2012).

Komposisi	Satuan	Nilai
Air	g	70-80
Protein	g	0,5
Lemak	g	0,6
Karbohidrat	g	5,6
Kalsium	mg	5,7
Fosfor	mg	9,4
Besi	mg	0,3
Vitamin B1	mg	0,06
Vitamin B2	mg	0,04
Vitamin C	mg	35
Xanton kulit buah	mg	107,76
Xanton daging buah	mg	29,00
Energi	kkal	63

Buah manggis banyak mengandung xanton. Xanton merupakan antioksidan yang sangat kuat dan sangat dibutuhkan sebagai penyeimbang *pro-oxidant* atau radikal bebas di dalam tubuh. Selain sebagai antioksidan, xanton juga sebagai antiinflamasi, antiproliferasi, dan antimikrobal. Xanton memiliki sifat antioksidan lebih tinggi dari vitamin E dan vitamin C. Kandungan *polyhydroxyxanton*, yang merupakan derivat mangostin dan β -mangostin dapat ditemukan pada kulit buah manggis (Yatman, 2012). Struktur kimia xanton dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Struktur kimia xantone (Yatman, 2012)

2.8 Bawang Putih (*Allium sativum L.*)

Bawang putih (*Allium sativum L.*) merupakan jenis salah satu tumbuhan yang menjadi sumber potensial bahan terapeutik. Khasiat bawang putih sangat beragam, diantaranya yaitu antivirus, anti jamur, antithrombotik, antibiotik, anti kanker, antioksidan, immunomodulator, antiinflamasi, antibakteri, dan efek hipoglikemik. Bawang putih mengandung organosulfur yang berperan sangat penting sebagai antioksidan. Senyawa ini berfungsi sebagai pencegah kerusakan sel dan organ yang mengalami oksidasi (Prasonto dkk., 2017).

Menurut Wulandari (2011), bawang putih pada Gambar 2.9 termasuk tanaman umbi-umbian. Berikut klasifikasi bawang putih:

- Kingdom : Plantae
- Divisi : Magnoliophyta
- Kelas : Liliopsida
- Ordo : Asparagales
- Famili : Alliaceae
- Genus : *Allium*
- Species : *Allium sativum L.*



Gambar 2.9 Bawang putih (*Allium sativum* L.)
(Wulandari, 2011)

Beberapa kandungan bawang putih dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Kandungan zat gizi bawang putih per 100 g (Syamsiyah dan Tajudin, 2004).

No.	Komposisi Gizi	Jumlah
1	Air	66.2-71 gram
2	Kalori	95-122 kkal
3	Protein	4.5-7 gram
4	Lemak	0.2-0.3 gram
5	Karbohidrat	23.1-24.6 gram
6	Kalsium	26-42 mg
7	Besi	1.4-1.5 mg
8	Vitamin A dan C	9IU, 31.2 mg
9	Kalium	346-377 mg
10	Selenium	14.2 μ g

2.9 Jambu Biji (*Psidium guajava*)

Jambu biji (*Psidium guajava* L.) merupakan salah satu tanaman dengan kandungan nutrisi yang tinggi. Hal ini dikarenakan jambu biji mengandung tiga asam askrobat yang tinggi yaitu 50-300 mg dalam 100 g jambu biji dimana nilai tersebut tiga sampai enam kali lebih tinggi dari buah jeruk. Pada jambu biji ditemukan senyawa fenolik sebesar 56,53 mg/gram sampel, senyawa flavonoid sebesar 90,70 mg/gram sampel dan etil asetat, yang memiliki aktivitas penangkap radikal. Aktivitas antiradikal pada buah jambu biji dipengaruhi oleh kadar senyawa fenolik dan flavonoidnya (Pribadi dkk., 2008).

Jambu biji dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Buah jambu biji (*Psidium guajava* L.) (Utami, 2008)

Berdasarkan taksonomina, buah jambu biji (*Psidium guajava* L.) dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Subdivisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledonae
Ordo	: Myrtaless
Famili	: Myrtaceae
Genus	: <i>Psidium</i>
Spesies	: <i>Psidium guajava</i> L.

(Utami, 2008).

Beberapa kandungan jambu biji dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Kandungan zat gizi jambu biji per 100 g (Rachmaniar, dan Haruman, 2016).

No.	Komposisi Gizi	Jumlah
1	Energi	51 kkal
2	Protein	0.82 gram
3	Lemak	0.6 gram
4	Karbohidrat	11.88 gram
5	Vitamin C	183.5 mg

2.10 Mengkudu (*Morinda citrifolia L.*)

Mengkudu (*Morianda citrifolia L.*) merupakan salah satu buah yang terkenal digunakan sebagai obat-obat tradisional untuk berbagai macam penyakit. Mengkudu dipercaya dapat menyembuhkan luka yang disebabkan oleh diabetes. Selain itu, mengkudu juga merupakan buah dengan kandungan antiinflamasi, hipoglemik, analgetik, dan kemopreventif kanker. Kandungan-kandungan tersebut menunjukkan bahwa buah mengkudu mengandung aktivitas antioksidan. Buah mengkudu mengandung senyawa fenolik dan flavonoid (Anwar dan Triyasmono, 2016).

Beberapa kandungan mengkudu dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Kandungan zat gizi mengkudu per 100 g (Puspayanti dkk., 2014).

No.	Komposisi Gizi	Jumlah
1	Kalori	167 kal
2	Protein	0.75 gram
3	Lemak	1.50 gram
4	Karbohidrat	51.67 gram
5	Vitamin C	175 mg
6	Vitamin A	395.83 IU
7	Niasin	2.5 mg
8	Tiamin	0.70 mg
9	Riboflavin	0.33 mg
10	Besi	9.17 mg
11	Kalsium	325 mg
12	Natrium	335 mg
13	Kalium	1.12 mg

Buah mengkudu diklasifikasikan sebagai berikut:

- Kingdom : Stretophyta
- Divisi : Embryophyta
- Sub Divisi : Spermatophytina
- Kelas : Magnoliopsida
- Ordo : Gentianales
- Famili : Rubiaceae
- Genus : *Morinda L.*

Spesies : *Morinda citrifolia L.*
(Dewani dan Sitanggang, 2006).

Buah mengkudu dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Buah mengkudu (*Morinda citrifolia L.*)
(Dewani dan Sitanggang, 2006)

2.11 Mencit (*Mus musculus L.*)

Mencit (*Mus musculus*) adalah hewan dengan famili Muridae. *Mus musculus* yang dikenal ada yang liar ada pula yang tidak (rumahan). Namun keduanya masih satu spesies dengan *Mus musculus* laboratorium. *Mus musculus* liar memiliki rambut warna keabu-abuan, warna perut yang pucat, kulit berpigmen dan mata warna hitam (Muliani, 2011).

Menurut Akbar (2010), *Mus musculus* merupakan mamalia pengerat yang mudah dipelihara dan cepat berkembang biak. *Mus musculus* memiliki sifat anatomi dan fisiologi dengan karakteristik yang baik. Dalam penelitian, biasanya digunakan mencit dengan hasil perkawinan antara tikus putih “inbreed” atau “outbreed”. Klasifikasi mencit adalah sebagai berikut:

Kingdom : Animalia
Filum : Vertebrata
Kelas : Mamalia
Ordo : Rodentia
Familia : Muridae
Genus : Mus
Species : *Mus musculus*

Pada Gambar 2.12 dapat dilihat gambar mencit dengan species *Mus musculus*.



Gambar 2.12 Mencit (*Mus musculus*) (Akbar, 2010)

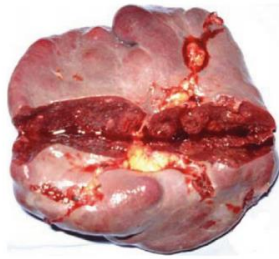
Mus musculus biasanya tidak menyukai keadaan lingkungan yang terang dan suka bersembunyi didekat sumber makanan. Hewan *terrestrial* ini (*Mus musculus*) jika ada satu jantan yang dominan, maka akan bisa hidup dengan banyak betina. *Mus musculus* biasanya pada senja dan malam hari akan lebih aktif (Swarayana dkk., 2012).

2.12 Organ Limpa

2.12.1 Limpa

Salah satu organ yang berhubungan penting dengan imunitas tubuh adalah limpa. Limpa terdiri dari gabungan atau kumpulan dari banyak jaringan limfoid di dalam tubuh. Limpa berhubungan erat dengan darah yang bersirkulasi pada tubuh karena banyak mengandung sel fagositik. Hal ini menyebabkan limpa menjadi organ pertahanan penting bagi tubuh. Apabila ada benda asing akan masuk ke dalam sirkulasi tersebut, maka limpa akan memproduksi sel darah putih untuk mengatasi hal tersebut (Husain dan Makiyah, 2012).

Limpa yang dikenal dengan kelenjar tanpa saluran (*ductless*) mempunyai fungsi memecah dan mengurai sel darah merah serta berperan dalam hal imunitas dalam tubuh. Limpa atau *lien* atau *spleen* adalah jaringan yang memiliki massa lunak dan terletak diantara diafragma serta gaster dan dibagian kiri atas rongga perut (abdomen). Organ ini berbentuk lonjong dengan ukuran sekitar 12 cm x 7 cm x 4 cm dan berat sekitar 150 g (Mebius dan Kraal, 2005). Organ limpa dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Organ limpa (Rana dkk., 2009)

2.12.2 Fungsi Limpa

Sebagian besar fungsi limpa berkaitan dengan sistem imunitas atau kekebalan tubuh dan suplai darah. Sel darah merah tua atau yang biasa disebut eritrosit dihilangkan dan kemudian dihasilkan limfosit sel darah putih oleh limpa. Limfosit sel darah putih ini tidak hanya dihasilkan, tetapi juga akan disimpan. Penyimpanan limfosit ini akan menghasilkan antibodi yang dapat membantu proses suplai darah (Mebius dan Kraal, 2005).

Limpa juga berfungsi sebagai pembentuk sel-sel darah merah pada janin. Limpa menghasilkan limfosit sel darah putih untuk menghasilkan antibodi. Selain sel darah merah yang sudah tua, limpa juga dapat menghancurkan trombosit dan leukosit. Limpa dapat berfungsi sebagai penyerap lemak dari usus kecil ke getah bening usus. Penyimpanan dan pemecahan sel darah merah dapat dilakukan oleh limpa (Mebius dan Kraal, 2005).

2.12.3 Kerusakan Organ Limpa

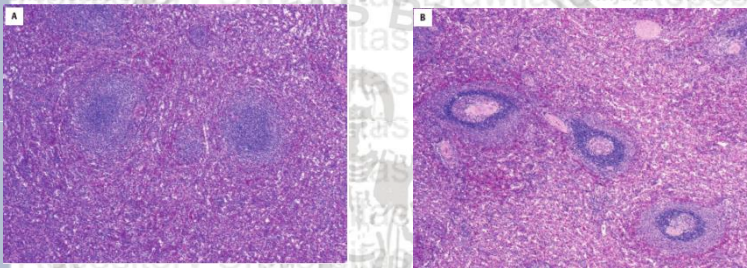
Organ limpa dapat mengalami beberapa gangguan diantaranya adalah limpa pecah, *aksesori* limpa, *splenomegaly* (pembesaran limpa), *trombositopenia* (kekurangan trombosit), dan *hypersplenisme* (limpa terlalu aktif). Keadaan *splenomegali* merupakan pembesaran limpa yang dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti infeksi yang disebabkan oleh virus, bakteri, dan parasit. Bukan hanya itu, pembesaran limpa dapat terjadi karena kanker yang mempengaruhi sistem limpatik atau darah (Ohgami dkk., 2017).

Trombositopenia merupakan keadaan dimana limpa kekurangan trombosit dalam aliran darah. *Aksesori* limpa merupakan limpa tambahan yang tidak memiliki fungsi dan tidak menimbulkan efek samping. *Asplenia* adalah keadaan limpa tidak berfungsi secara normal. Orang yang terkena *asplenia* kemungkinan sangat kecil tidak

memiliki limpa. Ketika seseorang tidak memiliki limpa, maka tugas limpa akan digantikan oleh organ-organ lain seperti hati dan lain-lain (Ohgami dkk., 2017).

2.11.6 Histologi Limpa

Ilmu cabang biologi yang mempelajari tentang struktur jaringan dengan sangat detail dengan menggunakan mikroskop disebut histologi. Pengamatan pada mikroskop ini dilakukan pada sediaan jaringan yang dipotong sangat tipis. Histologi sangat membantu pembelajaran fungsi fisiologi sel-sel dalam tubuh makhluk hidup (Rana dkk., 2009). Contoh gambar histologi organ limpa dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Limpa normal (A) dan limpa tidak normal (B) (Ohgami dkk., 2017)

Limpa dewasa normal pada Gambar 2.5 (A) menunjukkan adanya agregat limfosit kecil pulpa putih tanpa pembentukan pusat germinal yang berbeda. Sedangkan pulpa merah yang mengandung tali limpa dan sinus berada di antara komponen limfoid. Sedangkan Gambar 2.5 (B) kondisi autoimun atau infeksi, termasuk trombositopenia imun. Pulpa putih limpa didistribusikan secara merata tetapi diperluas dengan pusat germinal yang berbeda. Ciri-ciri limpa tidak normal yaitu zona mantel sel berwarna gelap, dan sitoplasma terlihat pucat (Ohgami dkk., 2017).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian yang berjudul “Pengaruh Pemberian Antioksidan Terhadap Kerusakan Jaringan pada Organ Limpa dari Mencit (*Mus musculus*) Yang Terpapar Gelombang Elektromagnetik” dilaksanakan pada bulan Desember 2019 sampai Maret 2020 bertempat di Laboratorium Fisika Lanjutan Universitas Brawijaya, Laboratorium Farmakologi Universitas Muhammadiyah Malang, dan Laboratorium MCS (*Measurement Circuit System*) Universitas Brawijaya.

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *box* plastik dan tutup yang digunakan sebagai kandang mencit, sonde lambung, timbangan digital, masker, sarung tangan, mikroskop komputer, unit ESR (*Electron Spin Resonance*), satu set alat *Bioimpedance Analyzer*, komputer, alat-alat bedah, alat preparasi dan 4 buah telepon seluler.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu mencit jantan yang memiliki umur 2-3 bulan, sekam, pakan mencit, pewarna HE (*Hemaktosilin-Erosin*), entellan, NaCl 0,9%, aquades, formalin 10%, xylol, ekstrak kulit manggis, ekstrak mengkudu, ekstrak bawang putih, dan ekstrak jambu biji.

3.3 Tahap Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi tiga tahap. Pada tahap pertama mencit sebagai variabel kontrol dimana mencit sebagai variabel kontrol ini merupakan mencit tanpa diberi perlakuan. Tahap kedua dilakukan untuk mengetahui kerusakan organ limpa dari mencit akibat terpapar radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler dengan lima variasi waktu yaitu 10, 20, 30, 40, dan 50 menit. Perlakuan tahap kedua ini dilakukan dalam waktu 21 hari. Setelah diketahui waktu paparan yang efektif untuk merusak organ limpa maka dilakukan penelitian tahap ketiga. Pada tahap ketiga ini mencit diberi antioksidan campuran ekstrak kulit manggis, ekstrak mengkudu, ekstrak jambu biji, dan ekstrak bawang putih dengan variasi dosis yaitu 6,3 mg, 9,45 mg, 12,61 mg, 15,76 mg, dan 18,91 mg. Tahap ketiga ini dilakukan 21 hari.

Berikut diagram alir dari tahapan penelitian yang akan dilakukan terdapat pada Gambar 3.1:

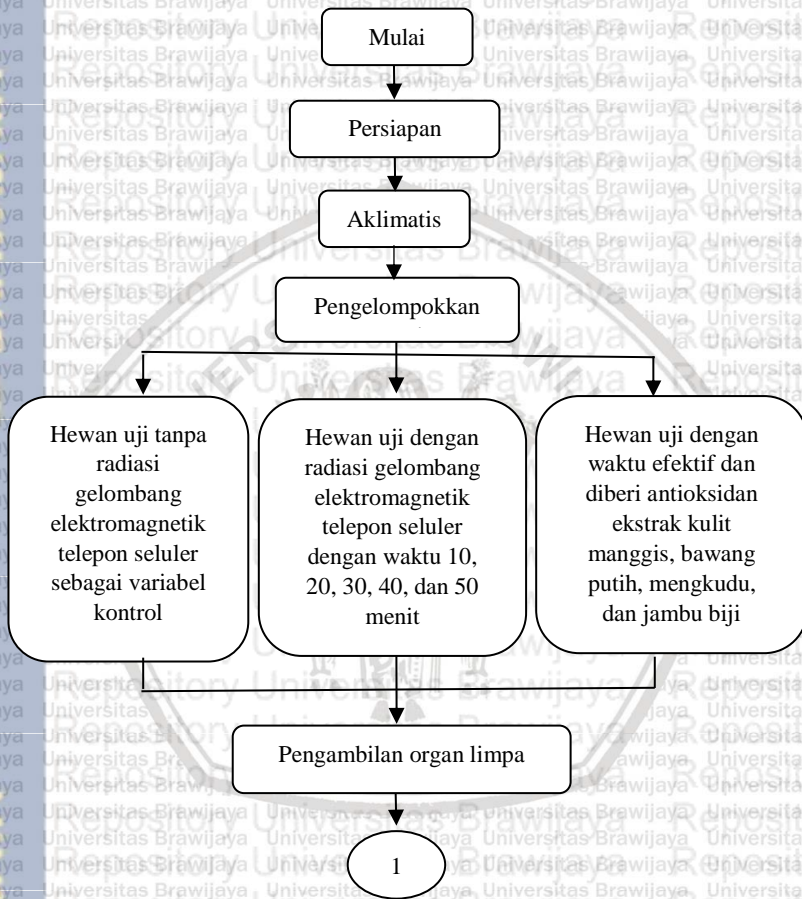
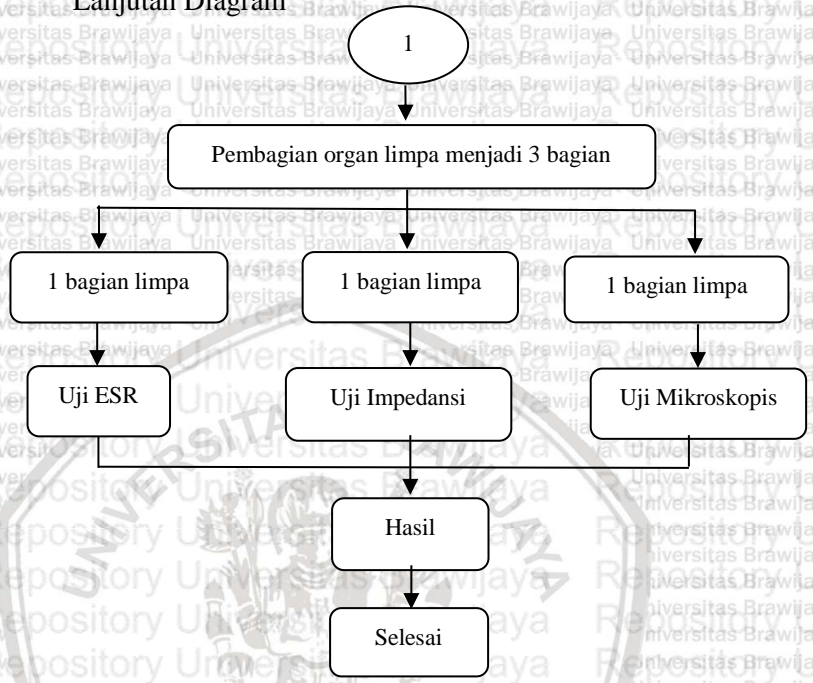


Diagram bersambung

Lanjutan Diagram



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.3.1 Persiapan Sampel

a. Persiapan Hewan Coba Mencit

Mencit yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 55 ekor. Namun jumlah mencit yang digunakan adalah 77 ekor karena 22 ekor mencit digunakan sebagai cadangan apabila kandang terisi 7 ekor mencit, 2 ekor mencit ini sebagai cadangan apabila ada mencit yang mati atau sakit. Mencit dimasukkan ke dalam kandang yang sudah tersedia pakan mencit, tempat makan, tempat minum beserta sekam sebagai alas tidur. Kemudian dilakukan tahap aklimatisasi selama 7 hari di laboratorium. Tahapan ini untuk menyesuaikan dan menyeragamkan kondisi mencit sebelum dilakukan perlakuan. Selanjutnya mencit akan dibagi menjadi 3 kelompok dengan masing-masing perlakuan yaitu:

1. Kelompok Kontrol (K)

Pada kelompok ini mencit tidak diberi perlakuan apapun. Hal ini dikarenakan pada kelompok ini mencit dijadikan sebagai variabel kontrol. Variabel kontrol merupakan suatu acuan sebagai variabel yang normal tanpa adanya perlakuan apapun pada objek. Mencit yang digunakan untuk kelompok kontrol ini berjumlah 5 ekor.

2. Kelompok Paparan Negatif (P^-)

Pada kelompok ini mencit diberi perlakuan berupa paparan radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler dengan lima variasi waktu yaitu 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, dan 50 menit. Menit yang digunakan untuk kelompok ini berjumlah 25 ekor dengan jumlah 5 ekor setiap variasi waktu. Perlakuan yang diberikan kepada kelompok paparan negatif ini dilakukan selama 21 hari. Setelah 21 hari dicari variasi waktu yang memiliki dampak kerusakan terbesar pada organ limpa mencit.

3. Kelompok Paparan Positif (P^+)

Pada kelompok ini mencit diberi paparan radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler dengan kerusakan tertinggi maka diketahui waktu paparan yang efektif untuk kerusakan tertinggi. Setelah itu mencit pada kelompok ini diberi antioksidan campuran ekstrak kulit manggis, bawang putih, mengkudu, dan jambu biji dengan variasi dosis. Dosis yang diberikan pada tahap ini adalah 6,3 mg, 9,45 mg, 12,61 mg, 15,76 mg, dan 18,91 mg. Mencit yang digunakan pada kelompok ini berjumlah 25 ekor dengan 5 ekor pada setiap variasi dosis. Perlakuan pada kelompok paparan positif dilakukan selama 24 hari dengan 3 hari pertama hanya diberikan antioksidan saja secara rutin. Kemudian 21 hari mencit diberikan antioksidan, setelah itu ditunggu dengan waktu 10 menit, lalu diberi paparan radiasi telepon seluler selama 50 menit. Kemudian dilihat perbaikan yang terjadi setelah diberikan antioksidan pada mencit.

b. Persiapan Telepon Seluler

Telepon seluler yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 4 buah telepon. Telepon seluler yang terdiri dari 4 buah ini memiliki

merk yang berbeda-beda yaitu Xiaomi Redmi 4, Lenovo A7000, Nokia E5, dan Xiaomi 6A. SAR (*Specific Absorbance Rate*) pada telepon seluler yang digunakan adalah 0,83 W/kg, 1,466 W/kg, 0,88 W/kg, dan 0,656 W/kg. Spesifikasi telepon seluler dapat dilihat pada Lampiran 10.

c. **Persiapan Campuran Ekstrak Kulit Manggis, Bawang Putih, Mengkudu, Jambu Biji**

Campuran ekstrak kulit manggis, mengkudu, jambu biji, dan bawang putih yang digunakan untuk antioksidan ini memiliki bentuk serbuk yang telah di kemas. Sebelum diberikan kepada mencit, serbuk ini dilarutkan terlebih dahulu menggunakan aquades. Setelah antioksidan larut dimasukkan melalui mulut mencit hingga ke lambung mencit, metode ini dinamakan metode sonde. Dosis campuran ekstrak yang diberikan disesuaikan dengan berat badan mencit. Selain itu, digunakan dosis dengan kadar yang berbeda-beda.

d. **Perhitungan Dosis Ekstrak Campuran**

Perhitungan penentuan dosis ekstrak kulit manggis yang digunakan sebagai antioksidan ditunjukkan pada persamaan 3.1 dibawah ini:

$$\text{Dosis} = \text{Kebutuhan manusia dalam satu hari} \times \text{massa} \\ \text{pada satu tablet} \times 0,0026 \quad (3.1)$$

Ekstrak Kulit Manggis

$$\text{Dosis} = 4 \times 550 \text{ mg} \times 0,0026 = 5,72 \text{ mg}$$

Ekstrak Mengkudu

$$\text{Dosis} = 9 \times 500 \text{ mg} \times 0,0026 = 11,7 \text{ mg}$$

Ekstrak Bawang Putih

$$\text{Dosis} = 2 \times 400 \text{ mg} \times 0,0026 = 2,08 \text{ mg}$$

Ekstrak Jambu Biji

$$\text{Dosis} = 4 \times 550 \text{ mg} \times 0,0026 = 5,72 \text{ mg}$$

$$\begin{aligned} \text{Campuran} &= \text{Ekstrak Kulit Manggis} + \text{Ekstrak Mengkudu} + \text{Ekstrak} \\ &\quad \text{Bawang Putih} + \text{Ekstrak Jambu Biji} \\ &= 5,72 \text{ mg} + 11,7 \text{ mg} + 2,08 \text{ mg} + 5,72 \text{ mg} \\ &= 25,22 \text{ mg} \end{aligned}$$

Variasi dosis yang diberikan pada mencit dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Table 3.1 Variasi dosis yang diberikan pada mencit

Dosis	Perhitungan	Hasil (mg)	Dosis pakai (mg)
Dosis 1	Campuran (50%)	12,61	6,3
Dosis 2	Campuran (75%)	18,91	9,45
Dosis 3	Campuran (100%)	25,22	12,61
Dosis 4	Campuran (125%)	31,52	15,76
Dosis 5	Campuran (150%)	37,83	18,91

3.3.2 Perlakuan Hewan Uji Coba

Perlakuan yang diberikan kepada mencit diawali dengan langkah diletakkannya 5 ekor mencit pada sebuah wadah kecil dan berbentuk lingkaran yang dapat ditempati oleh 5 ekor mencit sebagai tempat paparan radiasi. Kemudian mencit diberi paparan radiasi dengan jumlah 4 buah telepon seluler. Paparan yang diberikan pada mencit menggunakan variasi waktu 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, dan 50 menit selama 21 hari. Telepon seluler diletakkan pada sekeliling kendang yang berbentuk tabung seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar 3.2. Tabung memiliki diameter 20 cm yang bertujuan agar mencit dapat dengan optimal menerima radiasi dari telepon seluler. Radiasi yang diterima oleh mencit dari jarak 1,5 cm sampai 10 cm (jari-jari tabung) berkisar antara 3,832 W/kg sampai 0,00863 W/kg.

**Gambar 3.2** Konfigurasi sumber radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler

Setelah dilakukannya perlakuan seperti Gambar 3.2 tersebut, kemudian ditentukan terlebih dahulu variasi waktu paparan yang memiliki hasil kerusakan terbesar. Setelah itu dilakukan tahap selanjutnya yaitu pemberian antioksidan. Antioksidan diberikan dengan menggunakan metode sonde dimana metode sonde adalah memasukkan antioksidan campuran ekstrak kulit manggis, mengkudu, bawang putih, dan jambu biji langsung menuju lambung. Dosis campuran ekstrak yang diberikan adalah 6,3 mg, 9,45 mg, 12,61 mg, 15,76 mg, dan 18,91 mg. Proses kelompok paparan positif ini dilakukan selama 24 hari dengan ketentuan 3 hari adalah memberikan antioksidan saja dan hari ke 4 sampai hari ke 24 diberikan antioksidan terlebih dahulu, kemudian ditunggu 10 menit dan setelah itu diberi paparan dengan waktu efektif kerusakan paling banyak, yaitu 50 menit. Gambar 3.3 menunjukkan proses sonde.

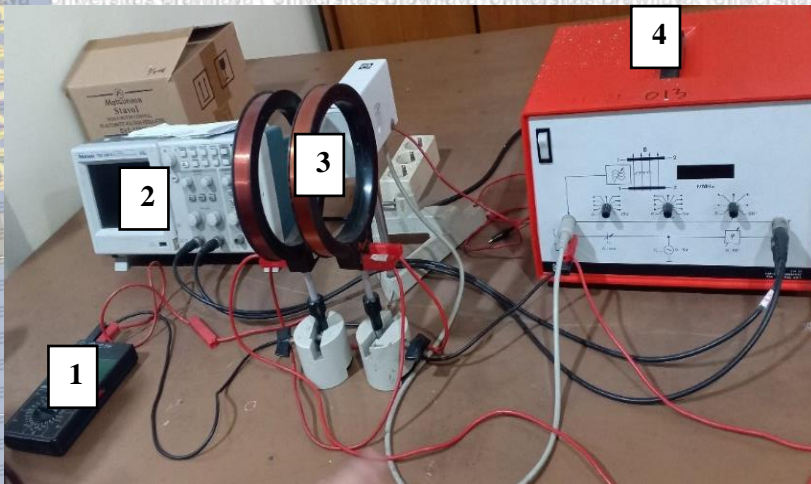


Gambar 3. 3 Proses sonde pada mencit

3.4 Pengukuran Sampel

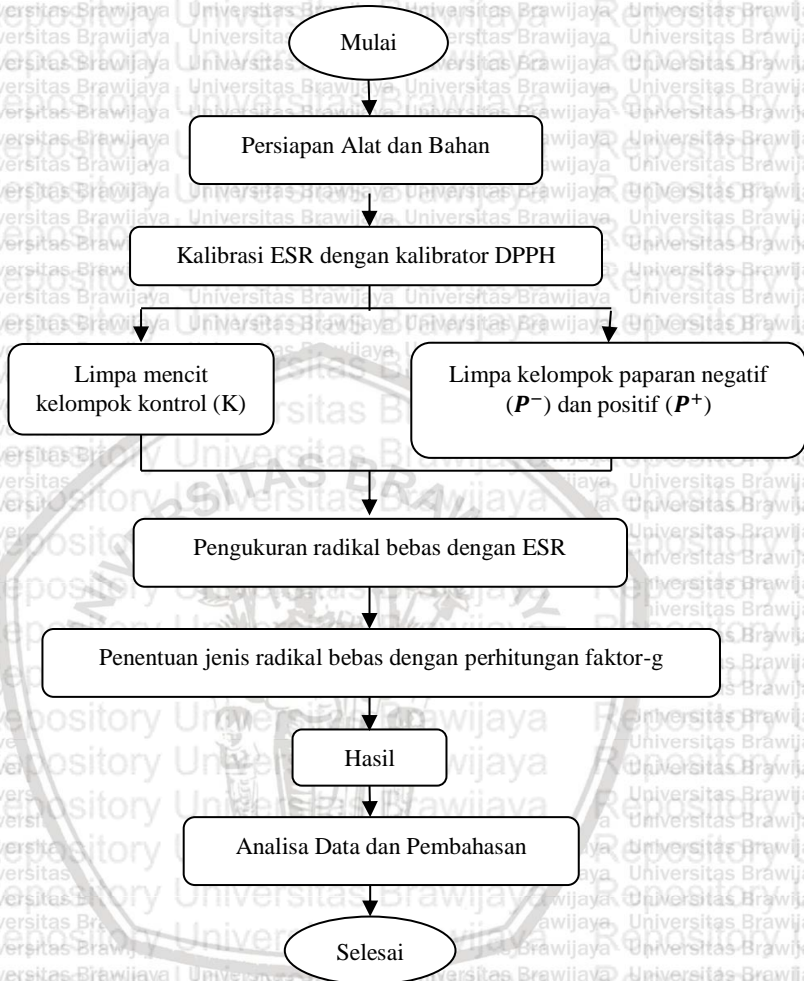
3.4.1 Uji *Electron Spin Resonance*

Pendeteksian radikal bebas pada organ limpa mencit yang terpapar radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler dalam penelitian ini menggunakan ESR. Persiapan sebelum digunakan alat ini adalah dengan merangkai alat tersebut seperti yang ditunjukkan seperti Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Rangkaian Alat ESR. Keterangan: 1. Multimeter 2. Osiloskop 3. Kumparan Helmholtz 4. Pengendali ESR

ESR yang telah dirangkai kemudian dikalibrasi terlebih dahulu. Pengkalibrasian ESR dengan cara memasukkan tabung DPPH pada kumparan solenoid atau kumparan RF dan dipasang di unit ESR yang berada diantara dua kumparan Helmholtz. Frekuensi pada osiloskop diatur hingga terbentuk kurva resonansi yang berhimpit jelas. Diagram alir pengujian ESR dapat dilihat pada Gambar 3.5.

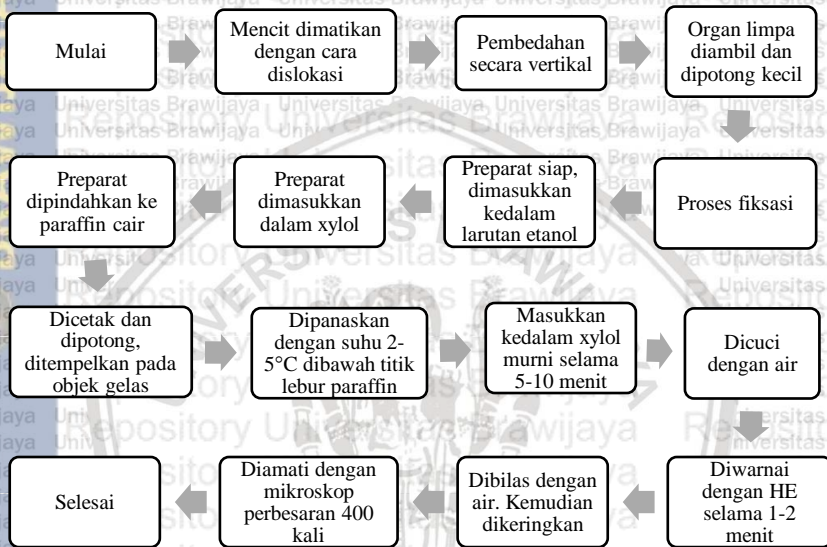


Gambar 3.5 Diagram alir uji ESR

Radikal bebas setiap sampel organ limpa mencit yang terpapar gelombang elektromagnetik telepon seluler dari masing-masing perlakuan dapat diukur dengan mengatur besar arus dan frekuensi agar dapat dihasilkan resonansi. Resonansi ini dihasilkan karena adanya medan magnet.

3.4.2 Uji Mikroskopis

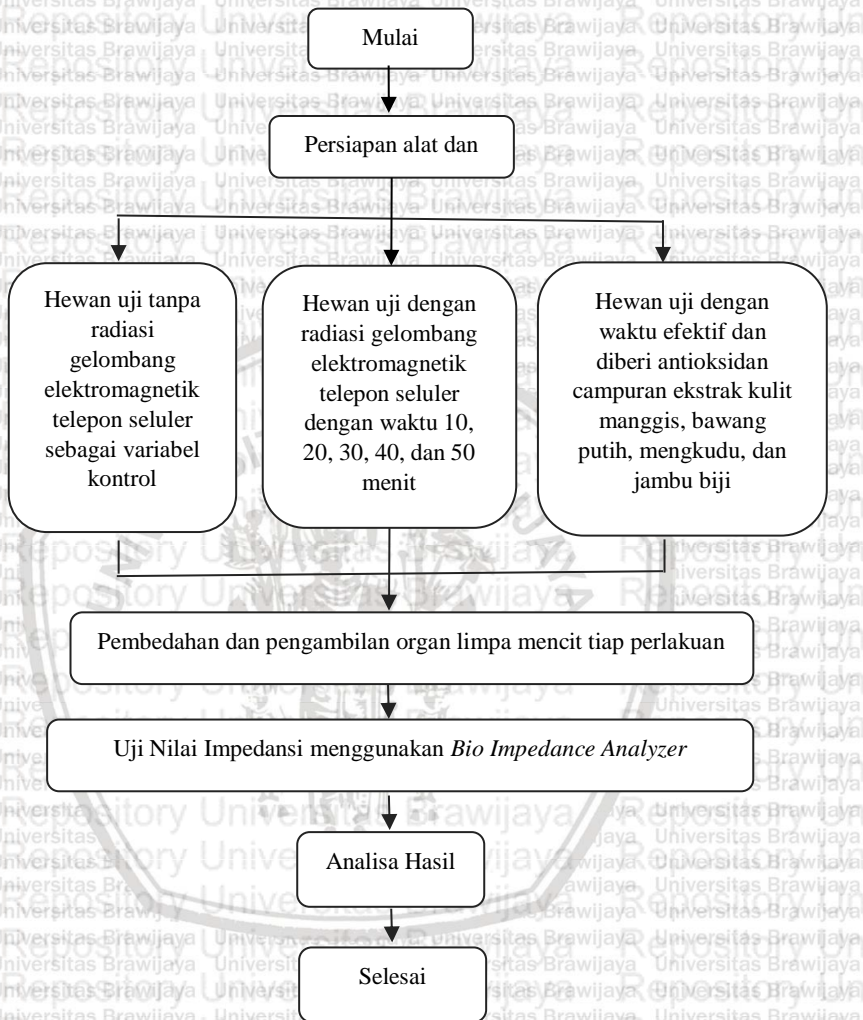
Pengamatan kerusakan organ limpa pada mencit harus dilihat menggunakan mikroskop. Pengamatan ini diawali dengan pembuatan preparat dan kemudian diamati dengan menggunakan mikroskop cahaya. Diagram alir uji mikroskopis dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Diagram alir uji mikroskopis

3.4.3 Uji Impedansi

Pada uji impedansi, digunakan alat *Bio Impedance Analyzer*. Sebelum digunakan, alat dirangkai dan dilakukan kalibrasi. Sampel dimasukkan kedalam elektroda dan dilakukan pengukuran dengan diinjeksi sebuah arus yang diatur frekuensinya. Elektroda yang digunakan merupakan sebuah plat sejajar. Diantara plat sejajar ini diberi suatu akrilik yang membantu penempatan organ yang akan diteliti. Kemudian ketika elektroda plat sejajar dihubungkan dengan alat akan didapatkan nilai impedansinya. Diagram alir uji impedansi dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Diagram alir uji impedansi

Pengujian impedansi dilakukan menggunakan alat Bio Impedance Analyzer yang dihubungkan dengan laptop yang sudah terpasang sebuah software bawaan. Proses pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.8



Gambar 3.8 Gambar alat uji impedansi

3.5 Analisis Data

3.5.1 Uji ESR

Jenis radikal bebas pada sampel dapat ditentukan dengan perhitungan dari data frekuensi (f) dan arus (I) yang telah didapat sehingga diperoleh nilai medan magnet. Nilai medan magnet (B) dapat dihitung dengan persamaan:

$$B = \mu_0 \left(\frac{4}{5}\right)^2 \frac{n}{r} I \quad (3.2)$$

dimana: $\mu_0 = 1,2566 \times 10^{-6} \text{ Vs/Am}$

r = jari-jari kumparan Helmholtz ($r = 6,8 \text{ cm}$)

n = jumlah lilitan pada kumparan Helmholtz ($n=320$)

I = arus yang mengalir pada kumparan Helmholtz (A)

Nilai medan magnet ini kemudian digunakan untuk menghitung nilai faktor g dengan persamaan:

$$g = \frac{hf}{\beta_s B} \quad (3.3)$$

dimana: β_s = magneton Bohr ($\beta_s = 9,273 \times 10^{-24} \text{ Am}^2$)

h = konstanta Plank ($h = 6,625 \times 10^{-34} \text{ Js}$)

f = frekuensi resonansi (Hz)

B = medan magnet eksternal (T)

3.5.2 Perhitungan Prosentase Kerusakan dan Perbaikan Sel

Data yang didapatkan dari penelitian ini kemudian diolah dengan menggunakan *microsoft office excel* untuk dapat dianalisis.

Perhitungan prosentase dari kerusakan dan perbaikan sel limpa mencit menggunakan persamaan 3.4 dan 3.5 dibawah ini maka dapat digunakan untuk menentukan grafik.

$$\% \text{ kerusakan sel} = \frac{x \text{ sel rusak}}{x \text{ sel dalam 1 lapang pandang}} \times 100\% \quad (3.4)$$

$$\% \text{ perbaikan sel} = \frac{x \text{ sel baik}}{x \text{ sel dalam 1 lapang pandang}} \times 100\% \quad (3.5)$$

Data yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam bentuk grafik. Terdapat dua grafik, grafik pertama menggambarkan pengaruh antara lama waktu paparan radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler terhadap kerusakan pada organ limpa mencit. Grafik kedua menggambarkan pengaruh antara dosis campuran ekstrak kulit manggis, bawang putih, mengkudu, dan jambu biji sebagai antioksidan terhadap perbaikan sel pada organ limpa mencit.

3.5.3 Perhitungan Nilai Impedansi

Hasil dari pengukuran impedansi listrik tiap sampel menggunakan *Bio Impedance Analyze* berupa nilai impedansi, kapasitansi, dan resistansi yang ditampilkan pada excel yang dihasilkan oleh program.



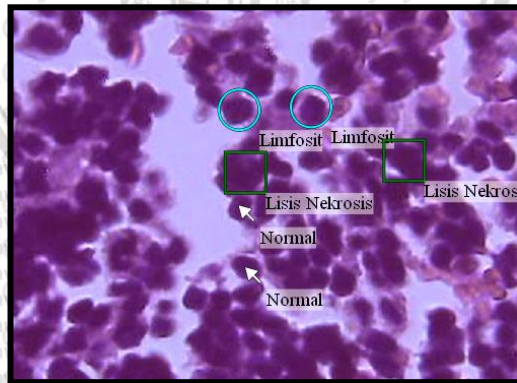
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Hasil

4.1.1 Gambaran Mikroskopis Organ Limpa dari Mencit

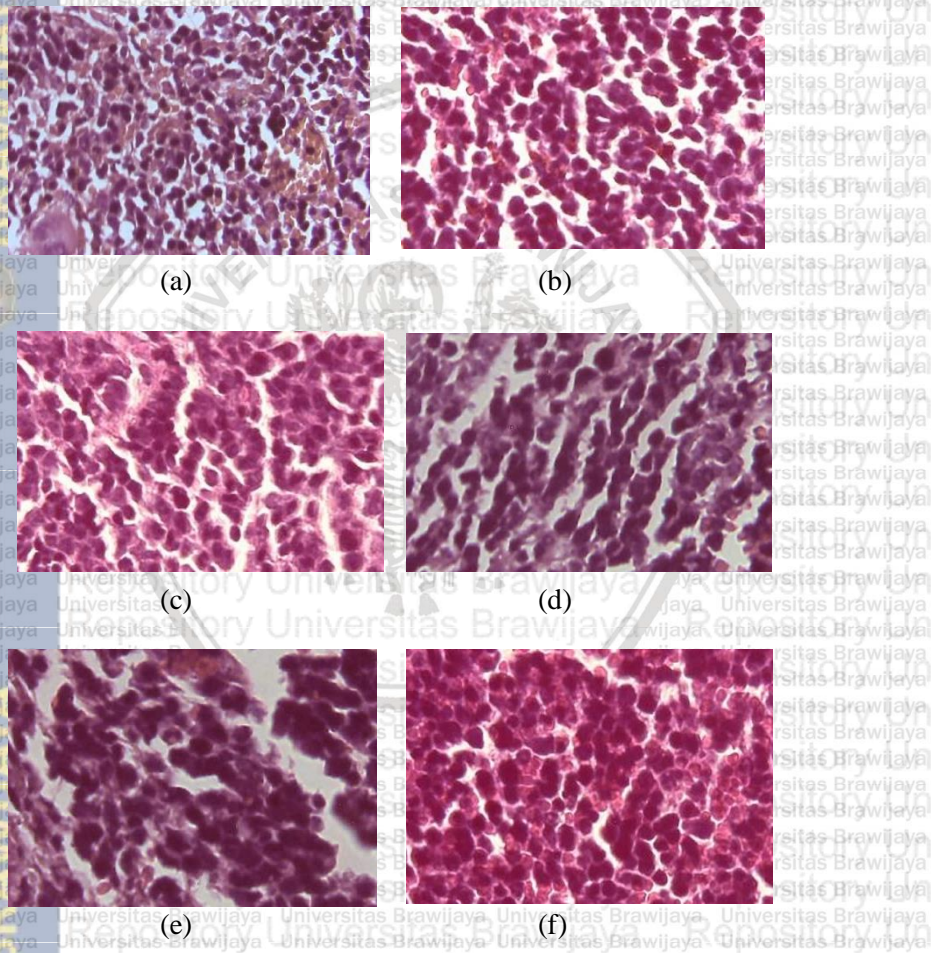
Gambaran histologi organ limpa merupakan salah satu acuan untuk menunjukkan perubahan keadaan sel pada organ limpa tersebut. Pengamatan secara mikroskopis ini meliputi sel normal, sel lisis nekrosis, dan sel limfosit pada semua perlakuan. Sel normal merupakan sel yang memiliki bentuk bulat, memiliki susunan sel yang rapi dan warnanya jelas. Sel lisis nekrosis merupakan peristiwa membran sel rusak atau terpecah sehingga menyebabkan organel sel keluar. Sel lisis nekrosis ini ditandai dengan bentuk yang tidak teratur atau memanjang, warnanya memudar, mengalami perpecahan pada inti sel, dan cenderung untuk menempel atau menggumpal pada sel yang lain. Sedangkan sel limfosit merupakan sel dengan ukuran lebih besar dibandingkan dengan sel-sel disekitarnya. Penelitian untuk pemilihan sel normal, sel lisis nekrosis, dan sel limfosit menggunakan *Image Raster*. Untuk membedakan pada *Image Raster*, sel normal ditandai dengan tanda panah putih, sel lisis nekrosis dengan kotak hijau, dan sel limfosit dengan lingkaran biru. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1.



⇨: Sel Normal □: Sel Lisis Nekrosis ○: Sel Limfosit

Gambar 4.1 Gambaran histologi limpa mencit menggunakan aplikasi Image Raster

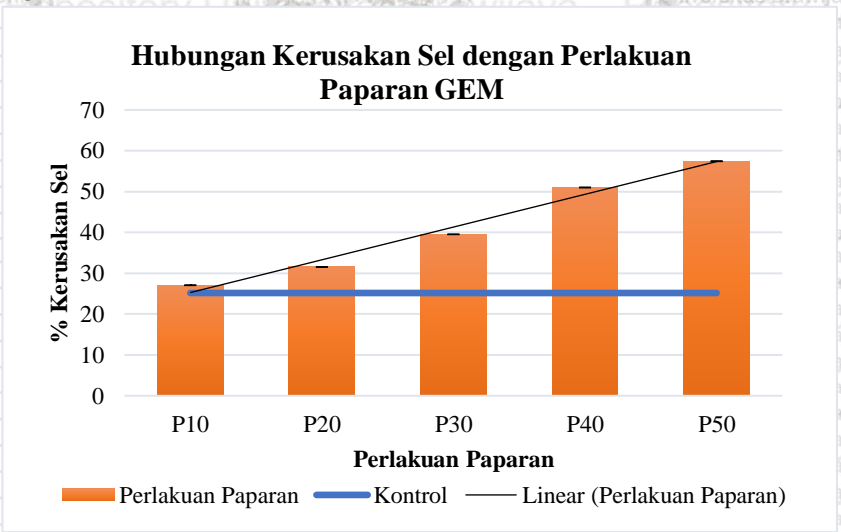
Organ limpa dapat dikategorikan sehat apabila memiliki keteraturan sel yang cukup baik dengan jumlah sel normal lebih banyak dari pada sel lisis nekrosis dan limfosit. Sel limfosit pada organ limpa menghasilkan antibodi yang bekerja ketika ada benda asing masuk. Hasil pengamatan organ limpa berupa gambaran histologi organ dengan perbesaran 400 kali dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hasil pengamatan tiap perlakuan yang diberi paparan. Keterangan: (a) Kontrol (b) P10 (c) P20 (d) P30 (e) P40 (f) P50

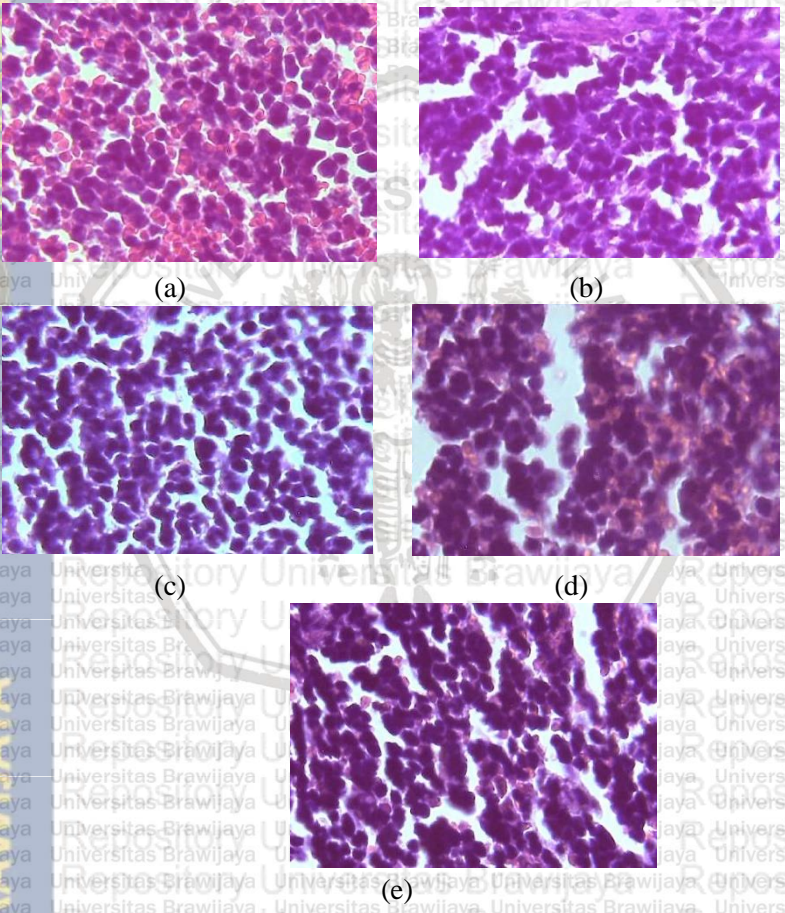
Penelitian tiap perlakuan yang diberi paparan menunjukkan bahwa pemberian paparan telepon seluler dapat menyebabkan perubahan pada sel dalam organ limpa. Pada Gambar 4.2 (a) yaitu perlakuan kontrol dimana organ memiliki banyak sel-sel yang berbentuk bulat dan teratur dengan prosentase jumlah sel jumlah sel normal lebih banyak dibanding dengan sel lisis nekrosis atau sel limfosit. Sel lisis nekrosis yang ditemukan pada perlakuan kontrol mengidentifikasi bahwa terdapat kerusakan sel, akan tetapi kerusakan tersebut karena adanya faktor eksternal seperti kondisi lingkungan tempat beradaptasi, faktor makanan, bahkan faktor kesehatan dari mencil.

Pada Gambar 4.2 terdapat gambaran histologi pada kelompok paparan negatif (P⁻) dengan waktu paparan 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, dan 50 menit dapat dilihat bahwa dengan pertambahan waktu paparan radiasi telepon seluler semakin lama maka didapatkan penurunan jumlah sel normal, sedangkan sel lisis nekrosis dan sel limfosit yang berjumlah sedikit akan mengalami pertambahan. Perubahan jumlah sel normal tersebut dapat dilihat pada grafik Gambar 4.3.



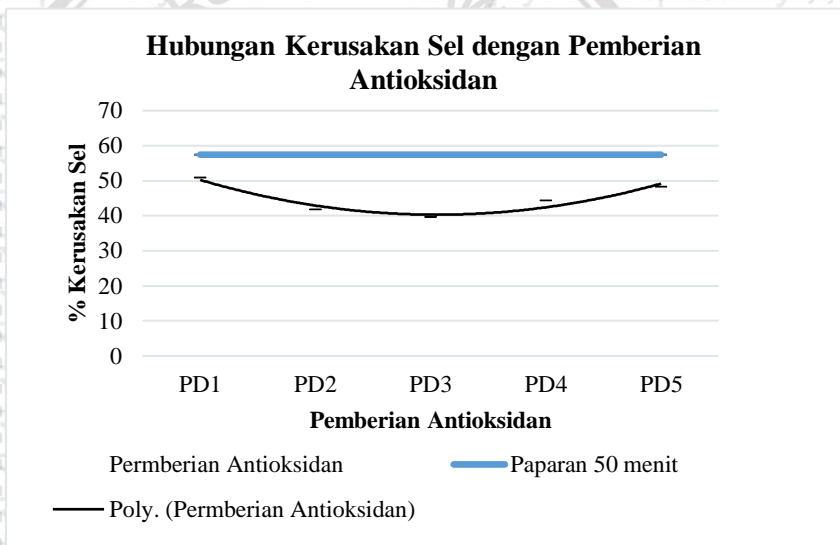
Gambar 4.3 Grafik kerusakan sel akibat paparan gelombang elektromagnetik

Perlakuan yang lain yaitu kelompok paparan positif (P^+) yang diberi dosis antioksidan yang bervariasi yaitu 50%, 75%, 100%, 125%, dan 150%. Kelompok paparan positif ini diberi paparan telepon seluler selama 50 menit. Pada Gambar 4.4 dapat dilihat gambaran histologi organ limpa kelompok paparan positif.



Gambar 4.4 Hasil pengamatan tiap perlakuan yang diberi dosis antioksidan. Keterangan: (a) PD1 (b) PD2 (c) PD3 (d) PD4 (e) PD5

Pemberian variasi antioksidan dapat berpengaruh pada perbaikan sel-sel yang terdapat pada organ sampel. Perbaikan ini ditunjukkan pada grafik yang terdapat dalam Gambar 4.5. Perlakuan P50 menjadi acuan untuk kelompok paparan positif (P⁺) dikarenakan semua perlakuan diberi paparan selama 50 menit, yang membedakan adalah variasi dosis antioksidan. Hasil dari penelitian menunjukkan perlakuan PD1 sampai PD3 mengalami penurunan prosentase kerusakan. Nilai kerusakan P50 adalah sebesar 57,2%, sedangkan PD1 sebesar 50,8%, PD2 sebesar 42,06%, PD3 sebesar 40,06%. Namun untuk perlakuan PD4 dan PD5 mengalami data yang berbeda. Pada PD4 mengalami kenaikan kerusakan menjadi 44,18% dan PD5 kerusakan sebesar 48,35%. Hal ini menunjukkan bahwa variasi dosis pada PD4 dan PD5 tidak mampu memperbaiki sel rusak dengan baik karena menyebabkan mencit overdosis.



Gambar 4.5 Grafik perubahan kerusakan sel setelah diberi variasi dosis antioksidan

4.1.2 Pengujian Radikal Bebas Organ Limpa

Kalibrasi alat ESR perlu dilakukan sebelum alat tersebut digunakan untuk mengukur jenis dan aktivitas radikal bebas. Kalibrasi alat berfungsi sebagai pengukur keakuratan dan ketepatan alat sebelum digunakan sebagai alat uji. Salah satu bahan yang memiliki sifat stabil dan digunakan untuk mengkalibrasi ESR adalah DPPH (*Diphenyl picrylhydrazyl*). Ketika dilakukan kalibrasi menggunakan bahan uji DPPH akan dihasilkan sebuah kurva *Lissajous* berbentuk “V” pada layar osiloskop seperti pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Kurva *Lissajous* pada kalibrator DPPH

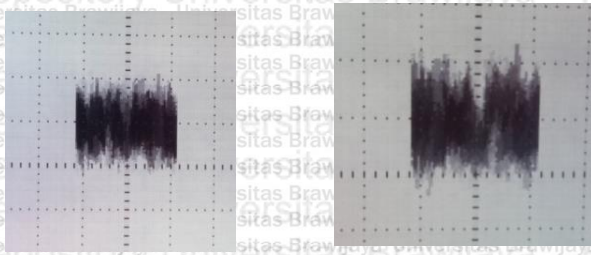
Hasil pengukuran DPPH untuk kalibrasi alat ESR dapat dilihat pada Tabel 4.1. Nilai faktor-g dari DPPH berdasarkan literatur adalah sebesar 2,0036. Dari hasil eksperimen diperoleh nilai faktor koreksi yang menunjukkan bahwa alat ESR dapat digunakan untuk pendeteksian radikal bebas dalam sampel. Faktor koreksi ini dapat digunakan untuk menentukan jenis radikal bebas yang terkandung dalam sampel.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran DPPH sebagai data kalibrasi

Arus (A)	Frekuensi (Hz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	Frekuensi Seharusnya (Hz)	Faktor Koreksi	Nilai Faktor g
0.21	26.4	0.00088	2.122	24.92	0.94	2.0036
0.211	26.4	0.00089	2.112	25.04	0.95	2.0036
0.212	26.2	0.00089	2.086	25.16	0.96	2.0036
0.219	27.3	0.00092	2.104	25.99	0.95	2.0036
0.216	26.0	0.00091	2.032	25.63	0.99	2.0036
0.217	26.7	0.00091	2.077	25.75	0.96	2.0036
0.216	26.9	0.00091	2.102	25.63	0.95	2.0036
0.219	26.9	0.00092	2.073	25.99	0.97	2.0036

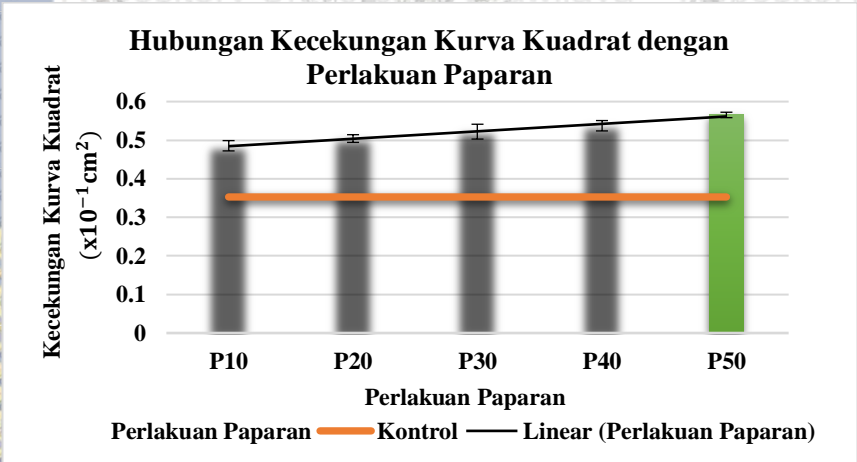
Pengambilan data dilakukan setelah proses kalibrasi menghasilkan nilai yang optimal. Pengujian sampel organ yang memiliki radikal bebas akan memiliki kurva berbentuk ‘V’. Tiap sampel organ akan memiliki kecekungan yang berbeda-beda, dimana kecekungan tersebut menunjukkan intensitas radikal bebas yang terkandung dalam sampel.

Sampel pada penelitian ini adalah organ limpa dari mencit dimana ada 11 kelompok perlakuan. Kerusakan sel akibat radikal bebas dapat dianalisis dari kurva resonansi yang terbentuk pada layar osiloskop seperti Gambar 4.7 (a) yaitu mencit yang tidak dipapari oleh gelombang elektromagnetik telepon seluler atau kelompok kontrol, dan Gambar 4.7 (b) merupakan mencit yang diberi paparan telepon seluler selama 50 menit atau P50. Semakin lama paparan gelombang elektromagnetik telepon seluler yang diberikan pada mencit, maka cekungan yang didapat akan semakin dalam. Hal tersebut menunjukkan bahwa radikal bebas pada organ limpa juga mengalami kenaikan.



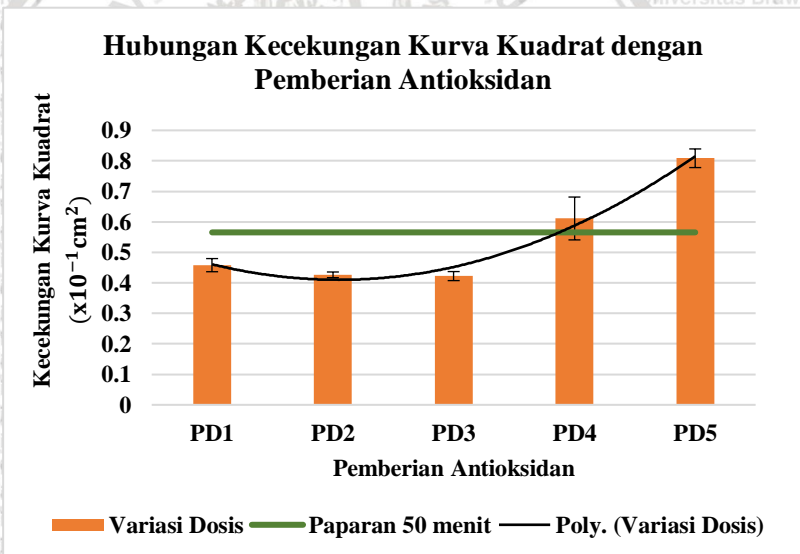
(a) (b)
Gambar 4.7 Kurva *Lissajous* pada sampel

Intensitas banyaknya radikal bebas pada organ sampel yang diuji menggunakan ESR dapat dilihat dari kedalaman cekungan kuadrat. Pada Gambar 4.8 menunjukkan grafik hubungan antara lama paparan dan kecekungan kurva kuadrat dengan nilai persamaan $y = 0.0193x + 0.465$, $R^2 = 0.9891$. Berdasarkan grafik tersebut menjelaskan bahwa nilai kecekungan kurva kuadrat dipengaruhi oleh lama paparan yang diterima sebesar 98% dan dipengaruhi oleh faktor lain sebesar 2%.



Gambar 4.8 Grafik hubungan kecekungan kurva kuadrat dengan lama paparan

Pada kelompok kontrol didapatkan sebuah cekungan yang menandakan adanya radikal bebas dalam sampel meskipun sampel tidak diberi perlakuan apapun. Hal ini dikarenakan faktor lain yang mempengaruhi. Kelompok perlakuan kontrol memiliki nilai kecekungan kurva kuadrat sebesar $0,353 \text{ cm}^2$. Pada perlakuan P10 yaitu kelompok perlakuan yang dipapar selama 10 menit, mengalami nilai kecekungan kurva kuadrat mengalami kenaikan dibandingkan kelompok kontrol yaitu sebesar $0,486 \text{ cm}^2$. Sedangkan pada P20 sampai P50 kecekungan kurva kuadrat semakin bertambah. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin lama paparan maka semakin banyak jumlah radikal bebas yang terbentuk pada sampel. Perlakuan P50 merupakan kelompok paparan paling lama dan memiliki nilai kecekungan kurva kuadrat sebesar $0,566 \text{ cm}^2$. Hal ini dapat menunjukkan bahwa P50 merupakan sampel organ paling rusak diantara perlakuan paparan yang lain.



Gambar 4.9 Grafik Hubungan kecekungan kurva kuadrat dan pemberian variasi dosis



Perlakuan yang lain yaitu kelompok perlakuan paparan yang diberi antioksidan dengan beberapa variasi untuk melihat perbaikan sel-sel organ limpa. Gambar 4.9 menunjukkan grafik hubungan antara perlakuan pemberian variasi dosis terhadap kecekungan kurva kuadrat dengan nilai persamaan $y = 0.0465x^2 - 0.1907x + 0.6052$, $R^2 = 0.9839$. Kelompok P50 merupakan kelompok perlakuan paparan selama 50 menit yang dijadikan acuan karena perlakuan pada kelompok paparan yang diberi antioksidan diberi paparan yang sama dengan kelompok P50. Penambahan dosis antioksidan dari PD1 sampai PD3 mampu menurunkan tingkat kedalaman kecekungan kurva. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kedalaman cekungan kurva akan menurun seiring bertambahnya dosis antioksidan. Namun pada PD4 dan PD5 menghasilkan data yang berbeda dikarenakan penambahan dosis pada PD4 dan PD5 tidak dapat meredam aktivitas radikal bebas pada organ limpa.

Jenis radikal bebas pada sampel dapat diidentifikasi dengan cara membandingkan nilai faktor-g yang didapatkan dari penelitian dengan nilai faktor-g pada literatur. Ditemukan dua jenis radikal bebas yang berhasil diidentifikasi pada organ limpa mencit yang dipapar telepon seluler. Jenis radikal bebas dapat dilihat pada Tabel 4.2.

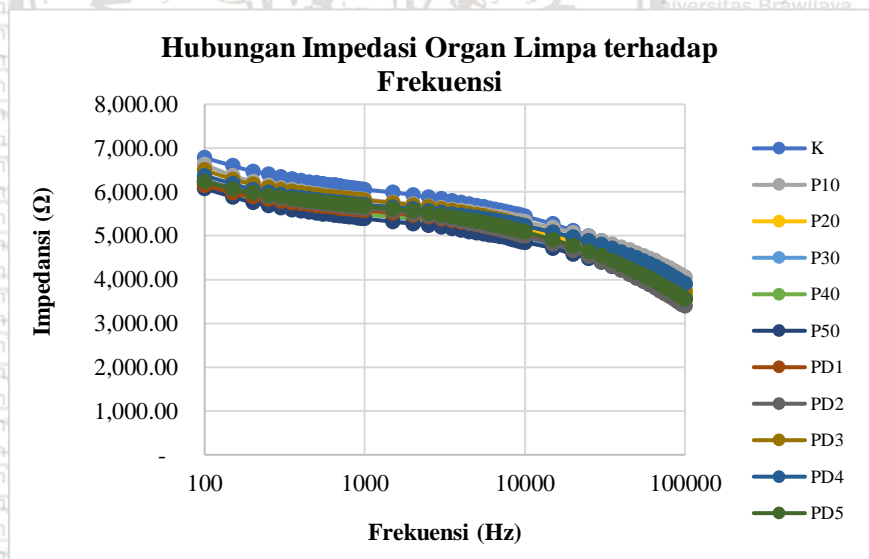
Tabel 4.2 Jenis radikal bebas yang terbentuk

Jenis Radikal	
Perlakuan	Radikal Bebas
K	CO_2^- dan O_2^-
P10	O_2^-
P20	O_2^-
P30	O_2^-
P40	O_2^- dan CO_2^-
P50	O_2^-
PD1	O_2^-
PD2	O_2^-
PD3	O_2^- dan CO_2^-
PD4	O_2^-
PD5	O_2^- dan CO_2^-

4.1.3 Sifat Kelistrikan Organ Limpa yang Terpapar Gelombang Elektromagnetik Telepon Seluler

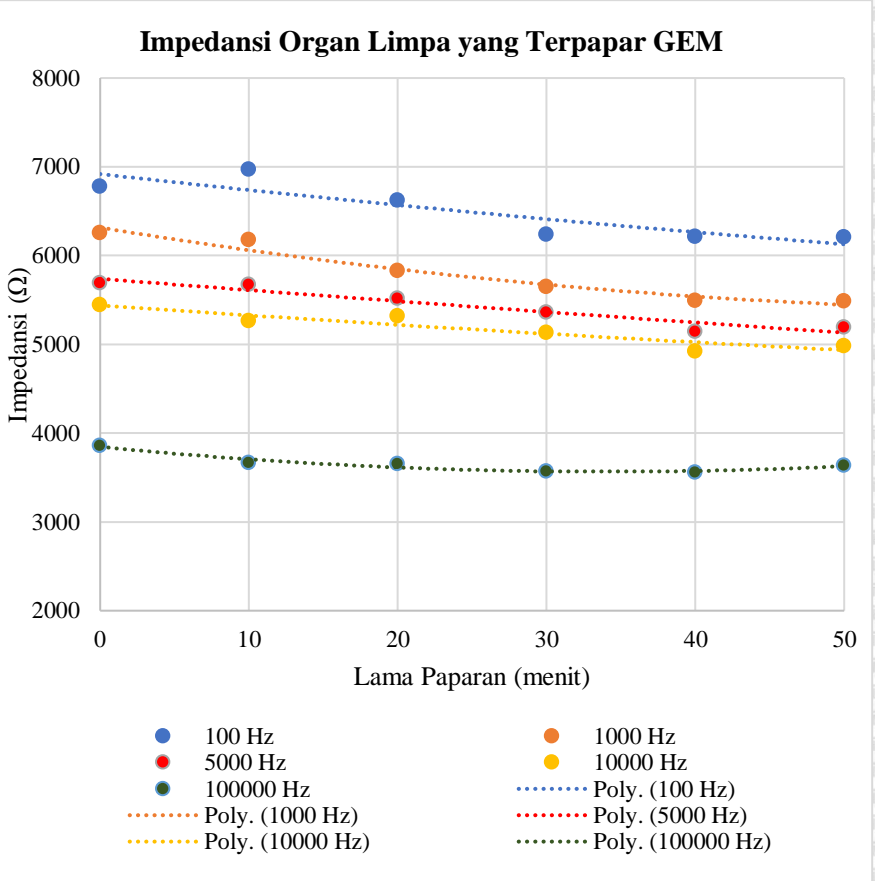
Sebuah sel hidup memiliki sifat kelistrikan yang biasa disebut dengan biolistrik. Pengujian sifat kelistrikan pada organ limpa mencit yang telah diberi perlakuan dengan mengamati nilai impedansi, kapasitansi, dan resistansi. Pengujian karakteristik biolistrik tersebut menggunakan *Bio Impedance Analyzer* yang tersambung dengan program dalam komputer dan menghasilkan beberapa nilai sifat kelistrikan yang dapat diamati. *Bio Impedance Analyzer* ini memiliki rentan frekuensi 100 Hz sampai 100.000 Hz.

Hasil analisis data impedansi menunjukkan seiring bertambahnya frekuensi maka impedansi akan menurun. Penurunan tersebut disebabkan karena adanya efek kapasitansi pada organ limpa mencit. Jaringan diibaratkan sebuah kapasitor dengan dua plat konduktor. Membran sel yang tersusun dari bilayer fosfolipid berperan untuk memisahkan cairan di luar dan di dalam sel.



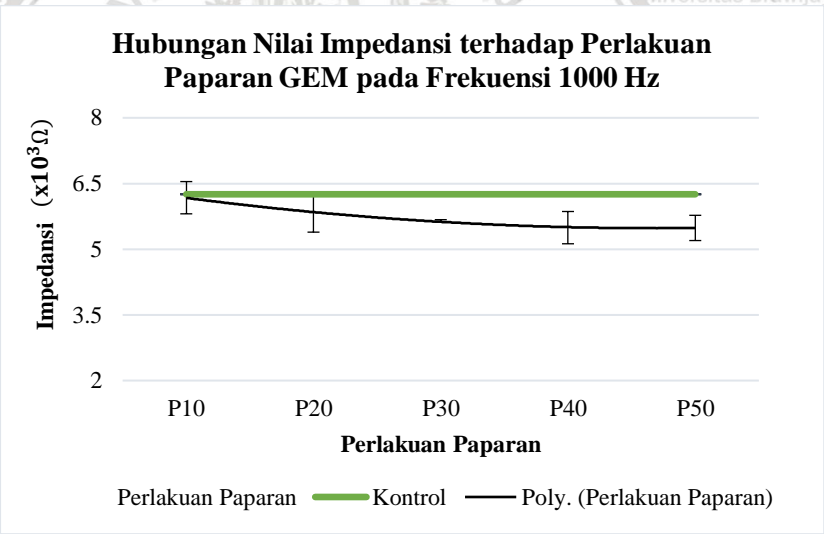
Gambar 4.10 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai impedansi

Pada Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa pada frekuensi kecil nilai impedansi sulit untuk diamati dikarenakan nilai impedansi pada frekuensi ini masih dipengaruhi oleh kapasitansi alat. Hal ini menyebabkan impedansi terhadap perlakuan paparan dan pemberian variasi dosis antioksidan masih belum didapatkan korelasi. Pada Gambar 4.11 dapat dilihat hubungan impedansi dengan lama paparan dalam lima variasi frekuensi berbeda dengan pendekatan polinom orde 2.



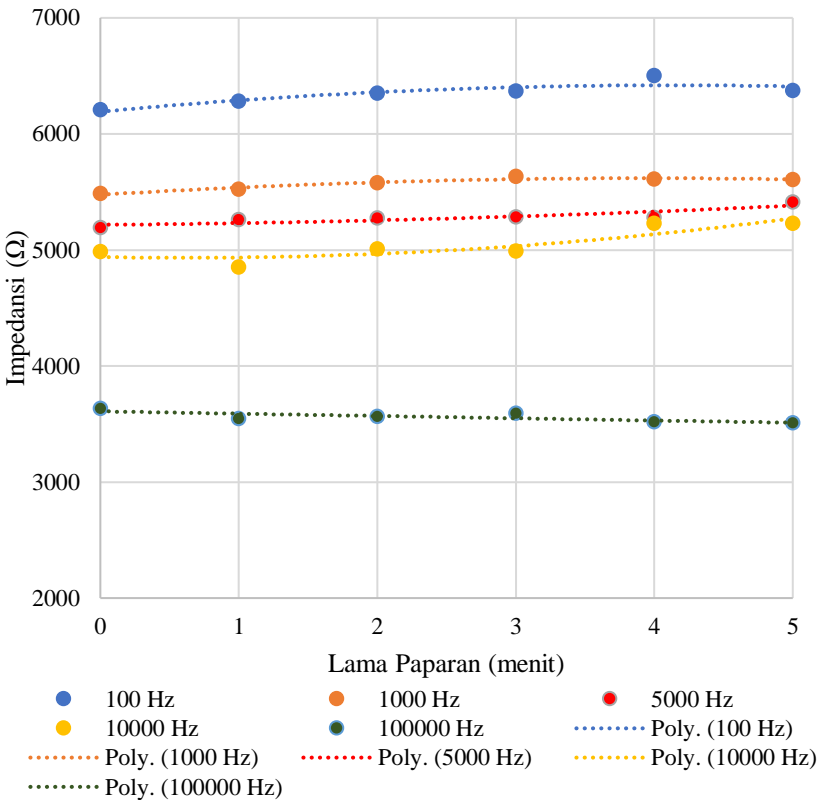
Gambar 4.11 Grafik hubungan impedansi terhadap lama paparan dengan frekuensi 100 Hz, 1000 Hz, 5000 Hz, 10000 Hz, dan 100000 Hz

Berdasarkan nilai persamaan dan regresi yang telah didapat grafik pada Gambar 4.11, frekuensi 1000 Hz merupakan frekuensi yang memiliki nilai regresi paling baik yaitu $y = -9.0523x^2 + 71.761x + 5475.4$, $R^2 = 0.9395$. Pada frekuensi ini, perlakuan kontrol memiliki nilai impedansi yang lebih tinggi dari perlakuan lainnya. Hal ini diakibatkan karena jumlah sel sehat dalam tubuh masih banyak sehingga nilai impedansinya besar. Pada Gambar 4.12, perlakuan P50 yaitu kelompok paparan dengan lama paparan 50 menit, mempunyai nilai impedansi yang sangat rendah dari pada yang lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa pada P50 banyak sel yang rusak sehingga nilai impedansinya semakin kecil.



Gambar 4.12 Grafik hubungan nilai Impedansi terhadap perlakuan paparan GEM pada frekuensi 1000 Hz

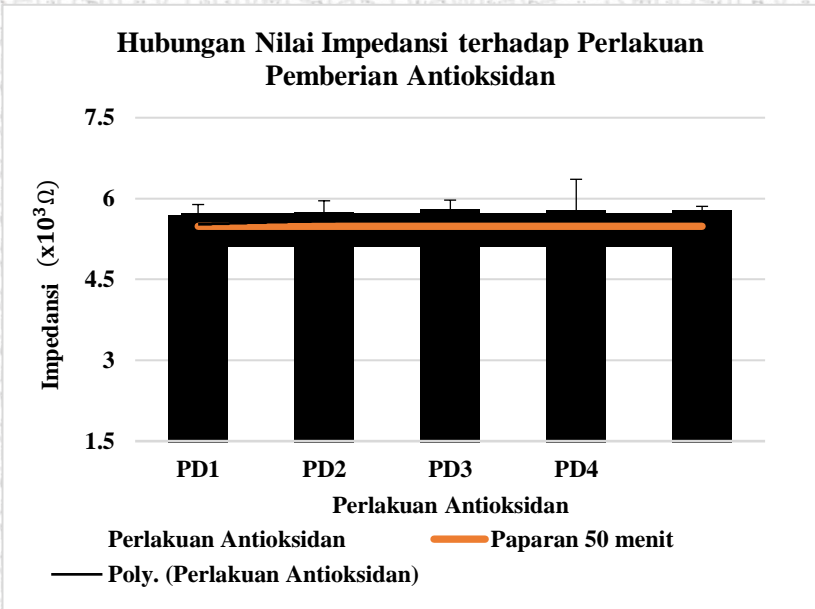
Impedansi Organ Limpa yang Terpapar dan Pemberian Dosis GEM



Gambar 4.13 Grafik hubungan pemberian variasi dosis antioksidan dan Impedansi dengan frekuensi 100 Hz, 1000 Hz, 5000 Hz, 10000 Hz, dan 100000 Hz

Pada Gambar 4.13 merupakan hasil impedansi kelompok paparan ini diberi perlakuan dengan lama paparan selama 50 menit dan diberi variasi dosis antioksidan. Berdasarkan nilai persamaan dan regresi yang telah didapat, frekuensi 1000 Hz merupakan frekuensi yang memiliki nilai regresi paling baik. Nilai impedansi yang semakin meningkat didapatkan pada perlakuan PD1 sampai PD3. Namun pada

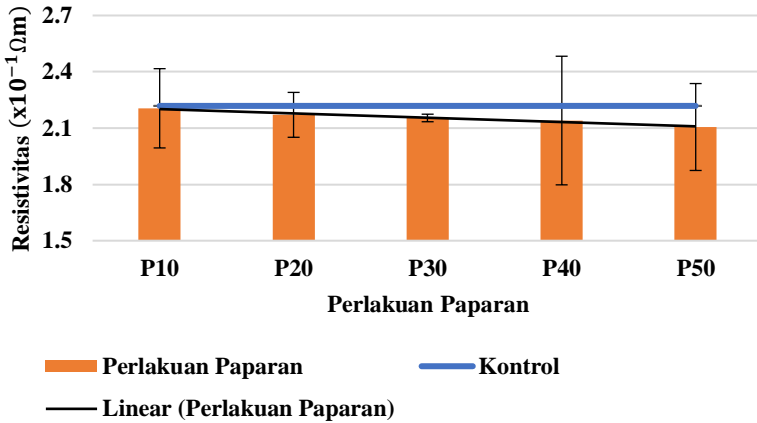
PD4 dan PD5 didapatkan nilai yang lebih kecil dari pada PD3. Hal ini menunjukkan bahwa variasi dosis pada PD4 dan PD5 tidak mampu memperbaiki sel rusak dengan baik karena menyebabkan mencit overdosis. Dengan adanya overdosis ini menyebabkan nilai impedansi menurun. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Grafik hubungan nilai Impedansi dan pemberian variasi dosis pada frekuensi 1000 Hz

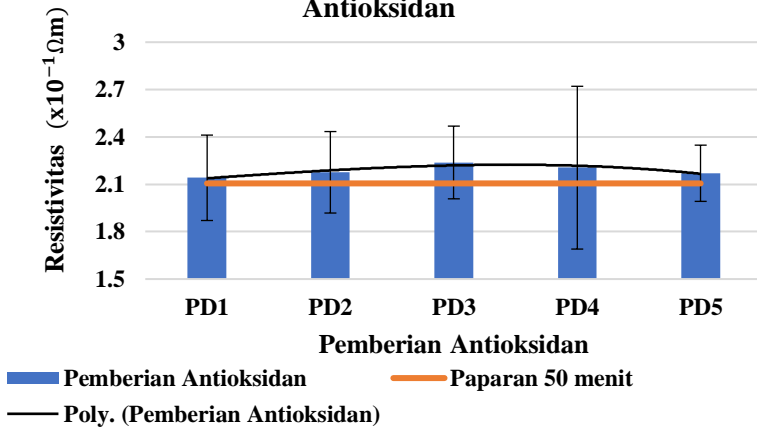
Karakteristik biolistrik lainnya yaitu resistivitas yang didapat dari nilai resistansi. Pada Gambar 4.15 dapat dilihat sebuah grafik dengan persamaan $y = -0.023x + 2.2241$, $R^2 = 0.9716$ untuk perlakuan lama paparan. Pada grafik nilai perlakuan kontrol memiliki nilai resistivitas yang besar dibanding perlakuan yang lain. Sehingga seiring bertambahnya lama paparan maka nilai resistansinya akan semakin menurun. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin rusak suatu organ maka nilai resistivitasnya akan semakin kecil.

Hubungan Resistivitas dengan Perlakuan Paparan



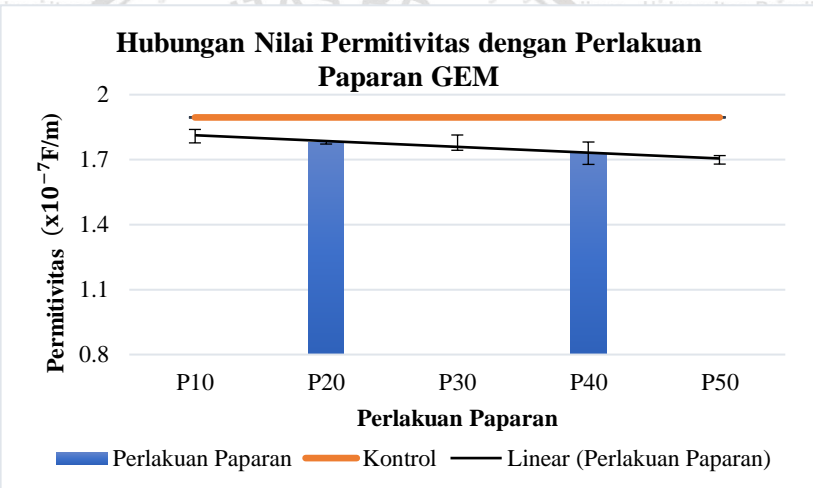
Gambar 4.16 Grafik hubungan nilai resistivitas dengan perlakuan paparan

Hubungan Resistivitas dengan Pemberian Antioksidan



Gambar 4.15 Grafik hubungan nilai resistivitas dan pemberian antioksidan

Kelompok paparan yang diberi variasi antioksidan memiliki nilai yang berkebalikan dengan yang hanya diberi paparan. Pada Gambar 4.16 dapat dilihat grafik dengan persamaan $y = -0.0025x^3 + 0.0055x^2 + 0.0512x + 2.0841$ dan regresi sebesar $R^2 = 0.8785$ untuk perlakuan pemberian variasi dosis. Berdasarkan analisa grafik hubungan nilai resistansi dan pemberian antioksidan, didapat bahwa seiring bertambahnya dosis maka nilai resistivitas akan semakin bertambah. Namun hal ini hanya terjadi pada perlakuan PD1 sampai PD3. Pada perlakuan PD4 dan PD5 nilai resistivitas mengalami penurunan. Penurunan ini disebabkan karena overdosis yang dialami mencit sehingga mengakibatkan nilai resistivitas menurun kembali.



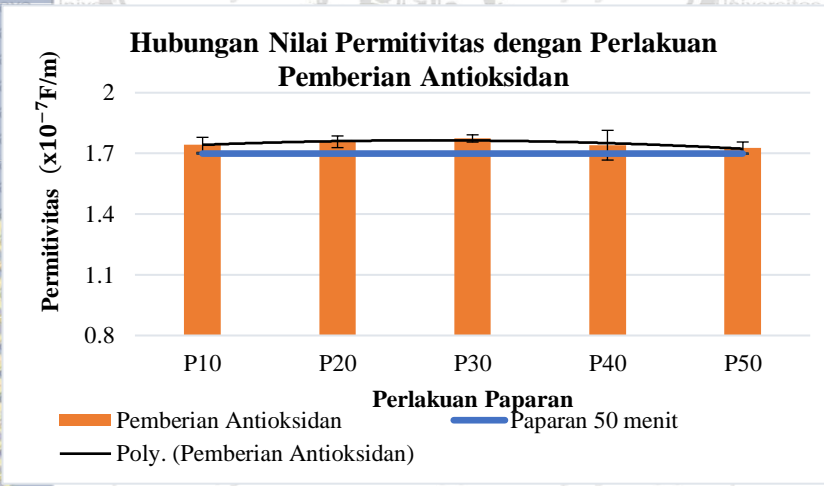
Gambar 4. 17 Grafik hubungan nilai permittivitas dengan lama paparan

Karakteristik biolistrik yang lain yaitu permittivitas, dimana permittivitas menunjukkan kemampuan jaringan dalam berpolarisasi. Nilai permittivitas pada perlakuan paparan dapat dilihat pada Gambar 4.17 dimana nilai permittivitasnya mengalami penurunan seiring bertambahnya lama paparan. Nilai permittivitas ini didapatkan dari nilai kapasitansi pada pengujian. Berdasarkan analisa grafik, semakin sehat sel maka nilai permittivitasnya semakin besar. Hal ini dapat



dilihat pada grafik bahwa nilai permitivitas kelompok kontrol nilainya besar dibanding kelompok paparan lainnya. Grafik hubungan nilai permitivitas dan lama paparan ini memiliki persamaan $y = -0.0268x + 1.8395$ dan regresi sebesar $R^2 = 0.937$.

Perlakuan kelompok paparan dan diberi variasi dosis antioksidan juga dianalisis nilai permitivitasnya. Grafik perlakuan dengan pemberian dosis dapat dilihat pada Gambar 4.18. grafik tersebut memiliki persamaan $y = -0.0078x^2 + 0.0417x + 1.7083$ dengan regresi sebesar $R^2 = 0.8192$ untuk perlakuan variasi dosis. Berdasarkan hasil pengujian, nilai permitivitas kelompok paparan variasi dosis semakin meningkat dengan bertambahnya dosis. Kelompok paparan P50 tanpa pemberian antioksidan memiliki nilai permitivitas sebesar 1.699×10^{-7} F/m. Sedangkan pa da kelompok PD1 sampai PD3 meningkat. Namun pada kelompok PD4 dan PD5 mengalami penurunan kembali. Hal ini mengindikasikan bahwa ada sel yang rusak jumlahnya lebih banyak dibandingkan perlakuan sebelumnya. Kerusakan sel ini diakibatkan karena dosis yang digunakan tidak dapat memperbaiki sel yang rusak secara optimal atau biasa disebut overdosis.



4.2 Pembahasan

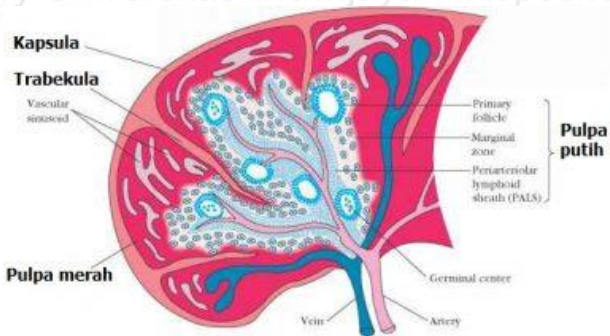
4.2.1 Proses Terbentuknya Radikal Bebas pada Organ Limpa Mencit yang Terpapar Gelombang Elektromagnetik

Radiasi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh telepon seluler akan berinteraksi dengan materi berupa organ limpa. Hal ini akan menyebabkan kerusakan pada limpa. Kerusakan ini disebabkan karena adanya getaran yang diakibatkan oleh radiasi non pengion yang dipancarkan telepon seluler. Interaksi radiasi non pengion dengan molekul protein dalam darah yang ada di limpa akan mengakibatkan molekul bereaksi secara rotasi dan vibrasi. Gerakan rotasi merupakan suatu perputaran suatu benda pada titik yang tetap yang mengakibatkan adanya gerak sentrifugal. Gaya ini mengakibatkan benda terlempar keluar. Gerak vibrasi adalah gerak bolak-balik suatu molekul dari titik kesetimbangan (bergetar). Kedua gerak ini akan terjadi secara terus menerus dan mengakibatkan adanya peningkatan suhu disekitar molekul. Akibat adanya peningkatan suhu ini mengakibatkan molekul protein tidak dapat mempertahankan ikatan antar atom sehingga terdapat bagian yang lepas. Dengan adanya molekul yang terlepas maka terindikasi sebagai radikal bebas yang dapat menghambat fungsi dan kerja dari suatu sel.

Radikal bebas merupakan suatu atom yang tidak memiliki pasangan elektron sehingga bersifat tidak stabil atau sangat reaktif. Radikal bebas akan bereaksi dengan sangat cepat dengan cara mengambil elektron yang berada disekitarnya. Hal tersebut mengakibatkan adanya kerusakan pada sel-sel normal disekitarnya. Jika terdapat radikal bebas yang mengganggu fungsi dan kerja sel, maka ada dua kemungkinan yang terjadi, yaitu sel akan tetap hidup atau sel akan mati.

Pada penelitian ditemukan radikal bebas berupa CO_2^- dan O_2^- . Kedua radikal bebas ini membutuhkan donor 1 elektron untuk dapat stabil. Radikal anion superoksida ditemukan lebih banyak dibandingkan radikal ion karbondioksida pada sampel mencit. Menurut Paniendra dkk. (2015), radikal anion superoksida (O_2^-) dapat menyebar karena adanya proses enzimatik, reaksi autooksidasi dan reaksi transfer elektron non-enzimatik dimana elektron ditransfer ke oksigen molekuler. Radikal anion superoksida ini, sebagian besar diproduksi didalam mitokondria. Enzim tersebut dapat menghasilkan superoksida termasuk *xanthine oxidase*, *lipooksigenase*,

mampu memproduksi bahan yang dapat digunakan untuk melawan molekul asing dalam tubuh. Sel limfosit banyak ditemui pada limpa karena salah satu fungsi limpa adalah sebagai sistem imun di dalam tubuh (Janqueira et al.,1995). Struktur limpa dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Struktur organ limpa

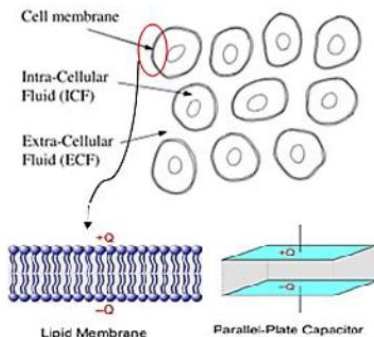
Berdasarkan hasil pengamatan mikroskopis organ limpa dari mencit yang dipapari gelombang elektromagnetik telepon seluler, terbukti menyebabkan kerusakan organ limpa mencit. Paparan gelombang elektromagnetik menyebabkan sel-sel pada organ limpa mengalami kerusakan atau nekrosis yang berakhir dengan lisis. Sel nekrosis ditandai dengan bentuk sel yang tidak beraturan berbentuk lonjong dan berwarna lebih gelap dari sel-sel lainnya. Seiring timbulnya sel nekrosis limpa juga memproduksi sel limfosit. Namun banyak tidaknya sel limfosit tidak terlalu dipengaruhi oleh sel nekrosis karena jika tidak ada sel yang nekrosis, limpa juga akan tetap memproduksinya.

Pada pengamatan gambaran mikroskopis perlakuan kontrol, jumlah sel normal lebih banyak dari pada sel nekrosis. Adanya sel lisis nekrosis pada perlakuan kontrol bukan dikarenakan adanya perlakuan pada kelompok perlakuan, tetapi karena faktor eksternal seperti faktor lingkungan yang meliputi kandang, faktor makanan dan keadaan kesehatan mencit diawal dimana dalam penelitian ini kondisi awal mencit diabaikan karena kondisi tiap mencit tidak diketahui. Ketika perlakuan lama paparan diamati, dihasilkan bahwa semakin lama sel dipapar oleh gelombang elektromagnetik maka semakin

rusak selnya. Ketika diberi antioksidan, kerusakan pada organ limpa mengalami penurunan. Namun ketika perlakuan PD4 dan PD5 didapatkan nilai yang berbeda. Hal ini disebabkan karena dosis tersebut tidak dapat menyembuhkan sel. Namun membuat sel mengalami overdosis.

4.2.3 Sifat Kelistrikan Organ Limpa Mencit yang Terpapar Gelombang Elektromagnetik Telepon Seluler

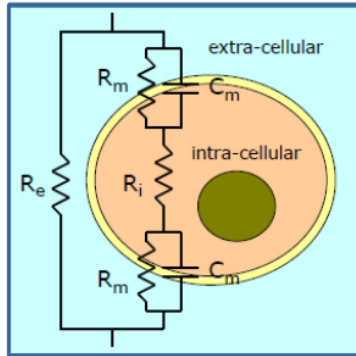
Penurunan nilai impedansi dipengaruhi oleh pecahnya dekomposisi protein yang terdapat pada sel dan menyebabkan kerusakan organ. Nilai impedansi yang menurun saat frekuensi diperbesar dipengaruhi oleh membran sel yang bersifat kapasitor. Sel dilindungi oleh membran sel, dimana membran sel tersusun atas lipid dan protein. Protein dalam membran sel mempunyai peran sebagai *channel* dan *carrier*. *Channel* berfungsi sebagai pintu untuk zat-zat pelarut yang akan membuka dan menutup sesuai kebutuhan. Sedangkan *carrier* berfungsi sebagai transpor zat-zat, dimana membran sel hanya dapat dilewati oleh zat-zat tertentu (Jauharah, 2017).



Gambar 4.21 Struktur membran sel (Rahmatie dkk., 2016)

Pada Gambar 4.21 dapat dilihat bahwa membran sel terdiri atas kepala membran dan ekor membran. Kepala membran memiliki sifat polar dan bermuatan listrik, sedangkan ekor membran memiliki sifat isolator dan tidak bermuatan listrik. Struktur membran ini dapat dianalogikan dalam rangkaian listrik, dimana kepala membran

dianalogikan sebagai kapasitor sedangkan ekor membran dianalogikan sebagai resistor. Sebuah organ tersusun atas lebih dari satu sel yang dihubungkan oleh resistor secara paralel. Analogi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Rangkaian R dan C pada membran sel (Rahmatie dkk., 2016)

Fungsi kerja dari membran bergantung dengan nilai resistivitas dan permitivitas. Sel yang sehat akan memiliki nilai resistivitas yang tinggi karena permeabilitas sel bagus dalam menghambat arus listrik yang tidak diinginkan untuk keluar masuk ke dalam sel. Sebaliknya ketika sel mengalami penurunan nilai resistivitas, maka sel akan semakin rusak.

Besarnya nilai resistivitas akan menurun akibat kerusakan membran, hal ini dikarenakan fungsi resistivitas sebagai penghambat antara luar dan dalam sel mengalami penurunan. Paparan gelombang elektromagnetik pada mencit dapat menurunkan nilai resistivitas karena sel mengalami kerusakan, sehingga sel tidak dapat menghambat zat-zat yang akan masuk ke dalam sel. Sebaliknya saat perlakuan paparan yang diberi variasi dosis, nilai resistivitasnya akan semakin naik dikarenakan adanya perbaikan sel-sel yang rusak. Perbaikan sel-sel ini dikarenakan antioksidan dapat mendonorkan elektron kepada radikal bebas sehingga radikal bebas tidak bersifat reaktif lagi.

Besar nilai resistivitas sangat dipengaruhi oleh pemberian dosis antioksidan, dimana nilai resistivitas akan mengalami kenaikan hingga dosis PD3. Sedangkan pada perlakuan PD4 dan PD5 nilai

resistivitas menurun. Penurunan nilai resistivitas pada PD4 dan PD5 disebabkan oleh dosis antioksidan yang bersifat toksik. Hal ini memicu adanya peningkatan radikal bebas. Apabila radikal bebas meningkat, maka radikal bebas akan berikatan kembali dengan membran sel hingga membran sel kembali mengalami kerusakan. Dengan adanya kerusakan kembali, maka nilai resistivitas akan menurun karena ada zat-zat luar dan di dalam sel akan keluar masuk secara tidak terkontrol.

Selain nilai resistivitas, penelitian ini juga didapatkan nilai kapasitansi yang digunakan untuk menganalisa nilai permitivitas sel. Nilai kapasitansi berpengaruh besar pada nilai permitivitas, dimana nilai permitivitas berbanding lurus dengan nilai kapasitansi suatu bahan. Apabila nilai kapasitansi besar, maka nilai permitivitas juga semakin besar. Nilai permitivitas ini menunjukkan kemampuan jaringangan dalam berpolarisasi. Polarisasi ini bergantung pada momen dipol, yaitu molekul pembentuk pusat muatan negatif dan pusat muatan positif. Bahan yang memiliki sifat kelistrikan besarnya sangat ditentukan oleh keadaan internal bahan seperti momen dipol listrik, komposisi bahan kimia, kandungan air dan sifat internalnya (Setyani et al., 2000).

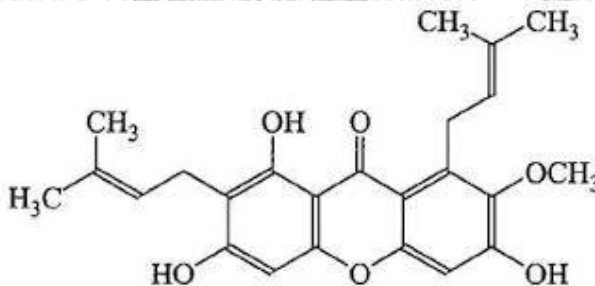
Hasil penelitian menunjukkan terjadinya kenaikan nilai permitivitas seiring dengan menurunnya kerusakan organ limpa mencit. Untuk perlakuan kelompok paparan didapatkan hasil nilai permitivitas semakin menurun dengan bertambahnya lama paparan. Hal ini dikarenakan organ semakin rusak dan responibilitas sel akan menurun. Pada kelompok paparan dan diberi variasi dosis, nilai permitivitas yang didapatkan semakin naik dari PD1 sampai PD3. Namun untuk PD4 dan PD5 mengalami penurunan dikarenakan overdosis.

4.2.4 Pengaruh Campuran Ekstrak antioksidan terhadap Radikal Bebas dan Kerusakan Sel pada Limpa Mencit

Radiasi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh telepon seluler akan mengakibatkan kerusakan pada molekul protein sel dalam limpa mencit. Radikal bebas yang terbentuk memiliki sifat yang tidak stabil. Dengan demikian untuk mengurangi tingkat kerusakan sel karena adanya elektron yang tidak berpasangan

diperlukan adanya antioksidan. Antioksidan merupakan suatu senyawa yang mampu mengurangi kerusakan pada sel akibat radikal bebas.

Terdapat berbagai antioksidan di alam, terutama dari buah-buahan dan tanaman lainnya. Contohnya pada bawang putih, jambu biji, mengkudu, dan kulit manggis. Ekstrak kulit manggis dan bawang putih banyak mengandung senyawa antioksidan yaitu *xanthone*. *Xanthone* mampu mengikat oksigen bebas yang tidak stabil yaitu radikal bebas yang dapat merusak sel di dalam organ limpa mencit sehingga *xanthone* dapat menghambat proses degenerasi (kerusakan) sel. *Xanthone* merangsang regenerasi sel tubuh yang rusak dengan cepat sehingga membuat sel kembali normal. Selain itu, *xanthone* dapat mengatasi sel kanker dengan mekanisme apoptosis sangat efektif yaitu dengan cara memaksa sel memuntahkan cairan dalam mitokondria sehingga sel kanker mati. *Xanthone* dapat meningkatkan kekebalan tubuh, menstabilkan fungsi jaringan dalam tubuh, dan menurunkan tingkat depresi.



Gambar 4.23 Struktur kimia *xanthone*

Pada Gambar 4.23 merupakan struktur *xanthone*, dimana *xanthone* ini merupakan senyawa dengan golongan polifenol. Kandungan ORAC pada manggis 3 kg sebesar 17.000 - 20.000 ORAC (*Oxygen Radical Absorbance Capacity*). Senyawa tersebut memiliki kemampuan untuk mengikat radikal bebas dengan sangat cepat dikarenakan kapasitas serap dari radikal bebasnya cukup tinggi.

Pada mengkudu dan jambu biji ditemukan kandungan vitamin C yang sangat berperan penting sebagai antioksidan. Menurut



Muliarta dkk. (2009), vitamin C dapat berperan sebagai antioksidan yang dapat menetralsisir radikal bebas yang bersifat *aqueous*. Vitamin C merupakan antioksidan yang baik untuk radikal bebas karena merupakan agen pereduksi (pendonor elektron). Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Wicaksono (2001) yang menyatakan bahwa vitamin C dapat membuat aktivitas radikal bebas pada jaringan hepar tikus Wistar menurun.



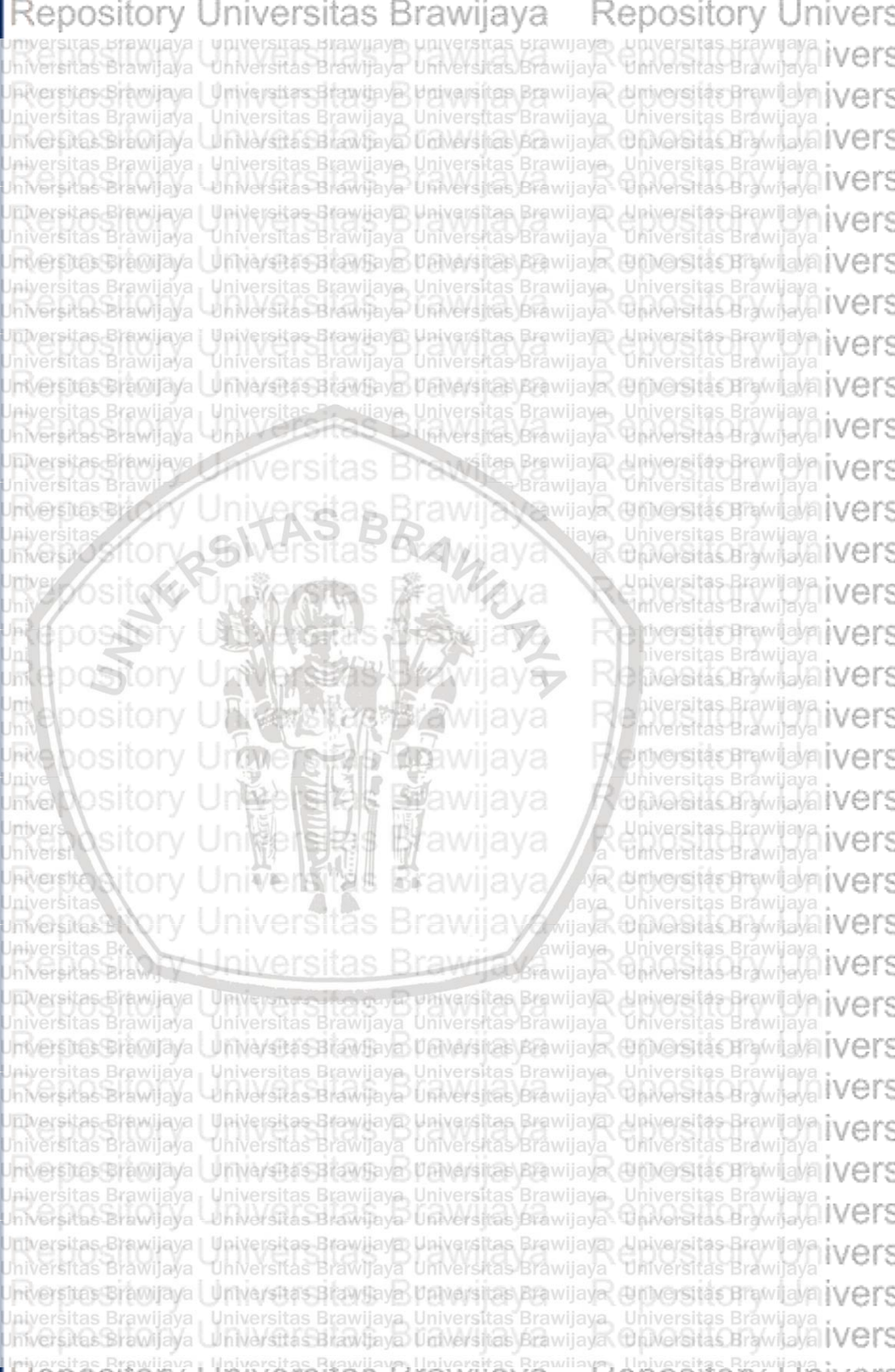
BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kesimpulan bahwa paparan radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler dapat mengakibatkan kerusakan. Radikal bebas yang terbentuk akibat paparan gelombang elektromagnetik telepon seluler pada organ limpa adalah anion superoksida (O_2^-) dan ion karbondioksida (CO_2^-). Namun jumlah jenis radikal anion superoksida lebih banyak dari pada radikal ion karbondioksida. Kedua radikal bebas ini menyebabkan kerusakan sebesar 57,19% pada organ limpa. Akibat kerusakan yang sangat tinggi menyebabkan sifat kelistrikan organ limpa menurun. Hal tersebut dibuktikan dengan menurunnya nilai impedansi, resistivitas dan permitivitas seiring bertambahnya waktu lama paparan yang diterima. Pada kelompok paparan yang diberi variasi dosis antioksidan mengalami perbaikan sel seiring bertambahnya dosis antioksidan. Namun pada variasi dosis antioksidan 125% dan 150%, organ limpa mengalami overdosis dikarenakan pada dosis tersebut mencit tidak dapat memperbaiki sel dengan baik.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan variasi waktu paparan dan memperhitungkan daya telepon seluler yang digunakan. Antioksidan yang digunakan juga bisa menggunakan antioksidan lain.



DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, Budhi. (2010). *Tumbuhan Dengan Kandungan Senyawa Aktif Yang Berpotensi Sebagai Bahan Antifertilitas*. Jakarta: Adabia Press
- Ancila, C., & Hidayanto, E. (2016). Radiologi Dental Panoramik. *Youngster Physics Journal*, 5(4), 441–450.
- Anwar, K., & Triyasmono, L. (2016). Kandungan Total Fenolik , Total Flavonoid , dan Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etanol Buah Mengkudu (*Morinda citrifolia L .*). *Kandungan Total Fenolik , Total Flavonoid , Dan Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etanol Buah Mengkudu (Morinda Citrifolia L.)*, 3(1), 83–92.
- Ardhie, A. M. (2011). Radikal Bebas dan Peran Antioksidan Dalam Mencegah Penuaan. In *Medicinus* (Vol. 24). Retrieved from <http://www.dexa-medica.com/sites/default/files/MEDICINUS> 2011 Jan.pdf
- Battung, R. O. (2014). Hubungan Radiasi Gelombang Elektromagnetik Telepon Seluler Terhadap Fungsi Pendengaran Mahasiswa Angkatan 2009 Fakultas Kedokteran Universitas Sam Ratulangi Manado. *Jurnal E-Biomedik*, 1(2), 1047–1052. <https://doi.org/10.35790/ebm.1.2.2013.3256>
- Choi, Y. J., & Choi, Y. S. (2016). Effects of Electromagnetic Radiation from Smartphones on Learning Ability and Hippocampal Progenitor Cell Proliferation in Mice. *Osong Public Health and Research Perspectives*, 7(1), 12–17. <https://doi.org/10.1016/j.phrp.2015.12.009>
- Chusniyah, D. A., Akbar, R., & Trisakti, U. (2019). *PENENTUAN KARAKTER MAGNETIK OBAT DAN LIMBAH BALUR DENGAN ELECTRON SPIN RESONANCE (ESR)*. (Ratnanindia 2008), 2–7.
- Dewi, I. K., & Wulan, A. J. (2015). *Efek Paparan Gelombang Elektromagnetik Handphone terhadap Kadar Glukosa Darah* *Effects of Handphone Electromagnetic Wave Exposure on Blood Glucose Level*. 4, 31–38.
- Dian Ayu Nurjannah, Rurini retnowati, U. P. J. (2013). Aktivitas antioksidan dari minyak bunga cengkeh (. *Kimia Student Journal Universitas Brawijaya Malang*, 1(2), 283–288.
- Dungir, S. G., Katja, D. G., & Kamu, V. S. (2012). Aktivitas

Antioksidan Ekstrak Fenolik dari Kulit Buah Manggis (*Garcinia mangostana* L.). *Jurnal MIPA*, 1(1), 11.
<https://doi.org/10.35799/jm.1.1.2012.424>

Enny, E. (2015). Efek Samping Penggunaan Ponsel. *Gema Teknologi*, 17(4), 178–183.
<https://doi.org/10.14710/gt.v17i4.8938>

Fauziah, F. F., Juswono, U. P., & Herwiningsih, S. (2012). Pengaruh Pemberian Buah Manggis, Buah Sirsak dan Kunyit Terhadap Kandungan Radikal Bebas pada Daging Sapi yang Diradiasi dengan Sinar Gamma. *Physics Student Journal*, 24–31.

Hananto, M. (2013). *Radiasi Di Sekitar Menara Base Transceiver Station Di Bandung Dan Jakarta Radiation Around the Base Transceiver Station in Bandung and Jakarta*. 23(4), 182–193.

Hermawan, I. P. (2016). *PENGARUH PEMBERIAN EKSTRAK KULIT MANGGIS (*Garcinia mangostana* Linn) TERHADAP NEKROSIS GLOMERULUS DAN TUBULUS GINJAL MENCIT JANTAN (*Mus musculus*) YANG DI PAPAR ASAP ROKOK SKRIPSI*.

Husain, M., & Makiyah, S. N. N. (2012). Pengaruh Paparan Gelombang Telepon Seluler Terhadap Struktur Histologi Limpa pada Mencit (*Mus musculus*) The The Influence of Cellular Telephone Electromagnetic Wave Exposure on Spleen Histology of Mice (*Mus musculus*) Mayfuza. *Jurnal Kedokteran Yarsi*, 20(3), 167–173.
<https://doi.org/10.1016/j.aller.2012.03.005>

Jose, C., Teruna, hilwan yuda, & D, Y. A. (2014). Total fenolik, flavonoid, serta aktivitas antioksidan ekstrak n-heksana, diklorometan dan metanol *Amaranthus spinosus* L EM5-bawang putih. *Jom Fmipa*, 1(2), 359–369.

Kurniawan, B., & Wahyuni, I. (2008). Hubungan Radiasi Gelombang Elektromagnetik Dan Faktor Lain Dengan Keluhan Subyektif Pada Tenaga Kerja Industri Eletronik GE di Yogyakarta. *The Indonesian Journal of Health Promotion*, 3(2), 127–133.
<https://doi.org/10.14710/jpki.3.2.127-133>

Lusiyanti, Y., & Yaifudin, M. U. (2017). Penerapan Efek Interaksi Radiasi Dengan Sistem Biologi Sebagai Dosimeter Biologi. *Seminar Nasional Iii Sdm Teknologi Nuklir*, 1(1978-0176), 21–22.

- Mebius, R. E., & Kraal, G. (2005). Structure and function of the spleen. *Nature Reviews Immunology*, 5(8), 606–616. <https://doi.org/10.1038/nri1669>
- Misran, N., Islam, M. T., Faruque, M. R. I., Hanafi, N. H. M., Ansarudin, F., & Ibrahim, M. F. (2012). Analisis pengurangan kadar penyerapan spesifik dalam kepala manusia menggunakan bahan ferit dan metabahan. *Sains Malaysiana*, 41(6), 779–785.
- Muliani, H. (2011). Pertumbuhan Mencit (*Mus Musculus L.*) Setelah Pemberian Biji Jarak Pagar (*Jatropha curcas L.*). *Media Informasi Biologi Struktur Dan Fungsi Sellula*, 13(2), 73–79. <https://doi.org/10.14710/baf.v19i1.2583>
- Musa, K. H., Abdullah, A., Jusoh, K., & Subramaniam, V. (2011). Antioxidant Activity of Pink-Flesh Guava (*Psidium guajava L.*): Effect of Extraction Techniques and Solvents. *Food Analytical Methods*, 4(1), 100–107. <https://doi.org/10.1007/s12161-010-9139-3>
- Ohgami, R. S., Ziai, J. M., & Arber, D. A. (2017). Disorders of the Spleen. In *Hematopathology: A Volume in the Series: Foundations in Diagnostic Pathology* (Third Edit). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-47913-4.00022-7>
- Prasonto, D., Riyanti, E., & Gartika, M. (2017). Uji AKTIVITAS ANTIOKSIDAN EKSTRAK BAWANG PUTIH (*Allium sativum*). *ODONTO: Dental Journal*, 4(2), 122. <https://doi.org/10.30659/odj.4.2.122-128>
- Pribadi, I., Da'i, M., & Utami, W. (2008). Uji Aktivitas Penangkap Radikal Buah *Psidium guajava L.* dengan Metode DPPH (1,1-Difenil-2-Pikril Hidrazil) serta Penetapan Kadar Fenolik dan Flavonoid Totalnya. *Jurnal Farmasi Indonesia Pharmacon*, 9(2), 52–56.
- Purbawanto, S. (2011). *Pengaruh Fading Pada Sistem Komunikasi*. 3(1), 33–39.
- Purwanto, R. E., Sujatmiko, A., Mesin, J. T., Malang, P. N., & Hatta, J. S. (2009). Identifikasi Kerusakan Sel Melalui Pengamatan Perubahan Distribusi Impedansi Elektris. *Sentia*, (Cm).
- Puspayanti, P. R., Ariani, R. P., Pendidikan, J., Keluarga, K., & Ganesha, U. P. (2014). *Studi eksperimen pemanfaatan buah mengkudu menjadi dodol beraroma vanili dan daun pandan*. X(1).

Putri, R. R. A., Sulistya, C., & Santoso, D. R. (2017). Analisis Nilai Impedansi Listrik pada Daging Ikan Nila yang Disimpan dalam Lemari Es. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 6(02), 117. <https://doi.org/10.13057/ijap.v6i02.1780>

Rana, N., Ming, Z., Hui, M., & Bin, Y. (2009). Case report: Littoral cell angioma of spleen. *Indian Journal of Radiology and Imaging*, 19(3), 210–212. <https://doi.org/10.4103/0971-3026.54886>

Revika Rachmaniar, Haruman Kartamihardja, M. (2016). PEMANFAATAN SARI BUAH JAMBU BIJI MERAH (*Psidium guajava* Linn.) SEBAGAI ANTIOKSIDAN DALAM BENTUK GRANUL EFFERVESCENT * Revika Rachmaniar, Haruman Kartamihardja, Merry Sekolah Tinggi Farmasi Indonesia. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 5(1), 1–20.

Rohman, A., Riyanto, S., & Utari, D. (2006). Antioxidant activities, total phenolic and flavonoid contents of ethyl acetate extract of Mengkudu (*Morinda citrifolia*, L) fruit and its fractions. *Majalah Farmasi Indonesia*, 17(3), 136–142.

Salamena, G. A., Santoso, D. R., & Abdurrouf. (2017). Analisis Hasil Eksperimen Pengukuran Nilai Impedansi Listrik pada Zat Cair dengan Injeksi Arus pada Plat Sejajar. 4(1), 31–36.

Selawa, W., Runtuwene, M. R. J., & Citraningtyas, G. (2013). Kandungan Flavonoid Dan Kapasitas Antioksidan Total Ekstrak Etanol Daun Binahong. *Pharmacon*, 2(01), 18–23. Retrieved from <http://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/pharmacon/article/view/1018>

Setyani, N. F., Widodo, C. S., & Saroja, G. (2014). Studi karakteristik biolistrik membran telur bebek sebagai bahan dielektrik. *Physics Student Journal*, 2, 1–4.

Swamardika, I. B. A. (2009). Pengaruh Radiasi Gelombang Elektromagnetik Terhadap Kesehatan Manusia. *Teknologi Elektro*, 8(1), 106–109.

Swarayana, I. M. I., Sudira, I. W., & Berata, I. K. (2012). Perubahan Histopatologi Hati Mencit (*Mus musculus*) yang Diberikan Ekstrak Daun Ashitaba (*Angelica keiskei*). *Buletin Veteriner Udayana*, 4(2), 119–125.



Tarigan, T. R. P., Gani, U. a., & Rajagukguk, M. (2012). *Studi Tingkat Radiasi Medan Elektromagnetik Yang Ditimbulkan Oleh Telepon Selular. 1*(1), 1–8.

Utaminingsih, I. A. (2006). Pengaruh Penggunaan Ponsel pada Remaja terhadap Interaksi Sosial Remaja. *Program Studi Komunikasi Dan Pengembangan Masyarakat Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor*.

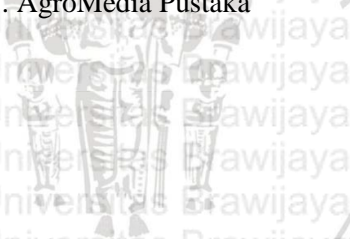
Victorya, R. M. (2015). Effect of Handphone Electromagnetic Wave Exposure on Seminiferous Tubules. *J Majority*, 4(3), 96–100.

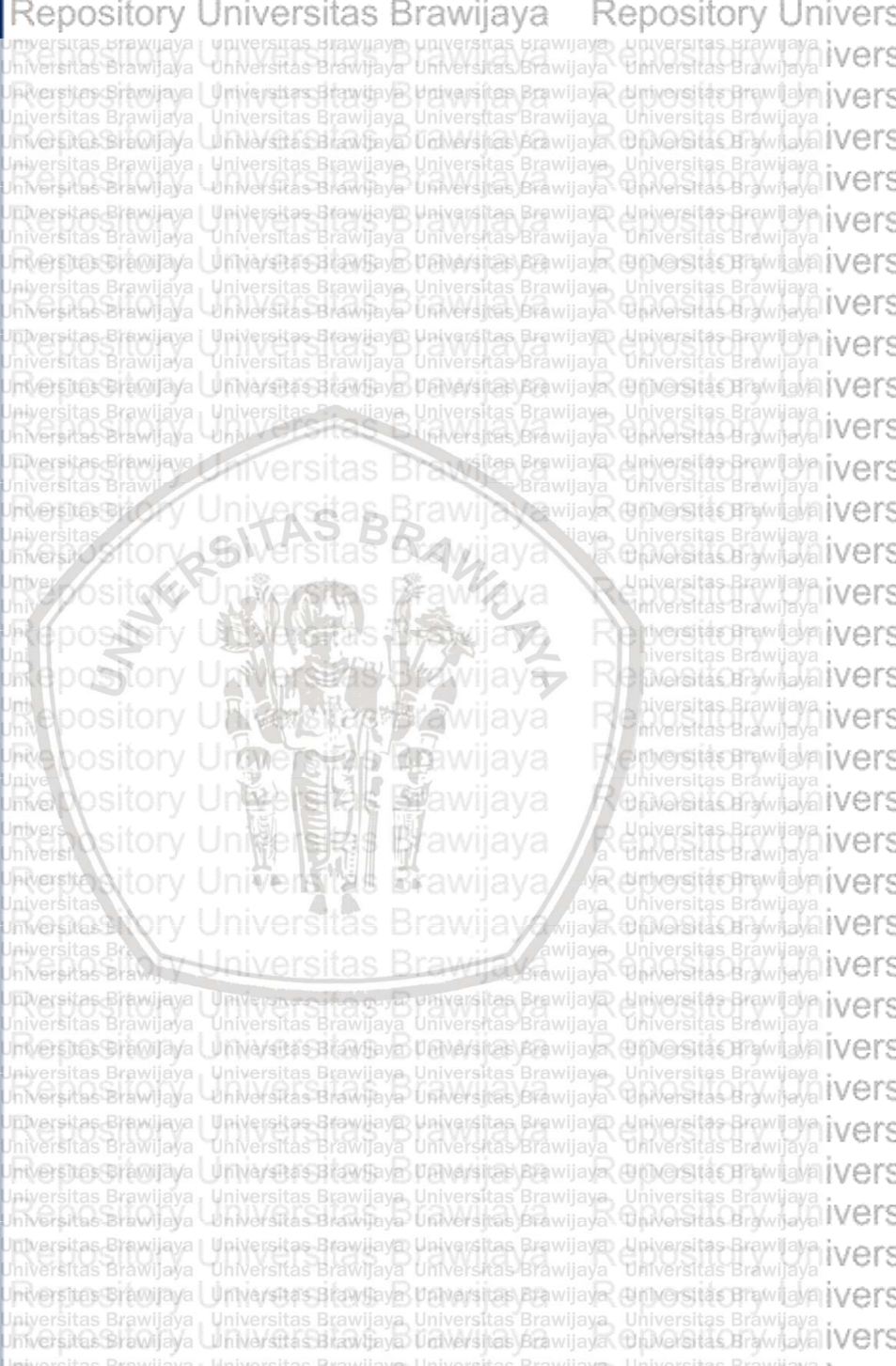
Yatman, E. (2012). Kulit buah manggis mengandung xanton yang berkhasiat tinggi. *Widya*, 29, 2–9.

Zikri, F., Salahuddin, S., & Jannah, M. (2018). Rancang Bangun Sistem Keamanan Sepeda Motor Via Ponsel. *Jurnal Energi Elektrik*, 7(2), 31. <https://doi.org/10.29103/jee.v7i2.1059>
λ. (n.d.). 2–5.

Winarsih, Hery. (2007). *Antioksidan alami dan Radikal Bebas*. Yogyakarta: Kanisius

Wulandari, Nina. (2011). *Petunjuk Praktis Bertanam Bawang*. Jakarta: PT. AgroMedia Pustaka





LAMPIRAN**Lampiran 1. Data Kalibrasi ESR**

No	Arus (I)	Frekuensi (MHz)	Medan Magnet (B)	Nilai Faktor g	Frekuensi Seharusnya (MHz)	Faktor Koreksi	Nilai Faktor g
1	0.21	26.6	0.00089	2.12	25.04	0.94	2.0036
2	0.21	26.4	0.00088	2.12	24.92	0.94	2.0036
3	0.21	26.5	0.00088	2.13	24.92	0.94	2.0036
4	0.20	26.3	0.00088	2.12	24.80	0.94	2.0036
5	0.20	26.3	0.00088	2.12	24.80	0.94	2.0036

KALIBRASI HP (K-)

No	Arus (I)	Frekuensi (MHz)	Medan Magnet (B)	Nilai Faktor g	Frekuensi Seharusnya (MHz)	Faktor Koreksi	Nilai Faktor g
1	0.21	26.4	0.000893	2.11	25.04	0.95	2.0036
2	0.21	26.3	0.000889	2.11	24.92	0.95	2.0036
3	0.21	26.4	0.000889	2.12	24.92	0.94	2.0036
4	0.20	26.5	0.000884	2.14	24.80	0.94	2.0036
5	0.20	26.3	0.000884	2.12	24.80	0.94	2.0036

KALIBRASI HP (P30)

No	Arus (I)	Frekuensi (MHz)	Medan Magnet (B)	Nilai Faktor g	Frekuensi Seharusnya (MHz)	Faktor Koreksi	Nilai Faktor g
1	0.21	27.4	0.000893	2.11	25.99	0.95	2.0036
2	0.21	27.3	0.000889	2.11	25.99	0.95	2.0036
3	0.21	28.0	0.000889	2.12	25.99	0.94	2.0036
4	0.21	27.5	0.000884	2.14	25.99	0.94	2.0036
5	0.21	27.6	0.000884	2.12	25.87	0.94	2.0036

KALIBRASI HP (P50)

No	Arus (I)	Frekuensi (MHz)	Medan Magnet (B)	Nilai Faktor g	Frekuensi Seharusnya (MHz)	Faktor Koreksi	Nilai Faktor g
1	0.21	26.0	0.000893	2.11	25.63	0.95	2.0036
2	0.21	26.3	0.000889	2.11	25.52	0.95	2.0036
3	0.21	26.2	0.000889	2.12	25.52	0.94	2.0036
4	0.21	26.6	0.000884	2.14	25.52	0.94	2.0036
5	0.21	26.4	0.000884	2.12	25.40	0.94	2.0036

KALIBRASI HP (P20)

No	Arus (I)	Frekuensi (MHz)	Medan Magnet (B)	Nilai Faktor g	Frekuensi Seharusnya (MHz)	Faktor Koreksi	Nilai Faktor g
1	0.21	27.4	0.000893	2.11	25.87	0.95	2.0036
2	0.21	26.8	0.000889	2.11	25.75	0.95	2.0036
3	0.21	27.1	0.000889	2.12	25.75	0.94	2.0036
4	0.21	26.7	0.000884	2.14	25.75	0.94	2.0036
5	0.21	26.7	0.000884	2.12	25.63	0.94	2.0036

KALIBRASI HP (P10)

No	Arus (I)	Frekuensi (MHz)	Medan Magnet (B)	Nilai Faktor g	Frekuensi Seharusnya (MHz)	Faktor Koreksi	Nilai Faktor g
1	0.21	27.2	0.000893	2.11	25.75	0.95	2.0036
2	0.21	26.9	0.000889	2.11	25.63	0.95	2.0036
3	0.21	27.4	0.000889	2.12	25.63	0.94	2.0036
4	0.21	27.2	0.000884	2.14	25.63	0.94	2.0036
5	0.21	27.3	0.000884	2.12	25.63	0.94	2.0036

KALIBRASI HP (PD1)

No	Arus (I)	Frekuensi (MHz)	Medan Magnet (B)	Nilai Faktor g	Frekuensi Seharusnya (MHz)	Faktor Koreksi	Nilai Faktor g
1	0.21	26.9	0.000893	2.11	25.99	0.95	2.0036
2	0.21	27.1	0.000889	2.11	25.87	0.95	2.0036
3	0.21	27.0	0.000889	2.12	25.87	0.94	2.0036
4	0.21	26.9	0.000884	2.14	25.87	0.94	2.0036
5	0.21	27.1	0.000884	2.12	25.87	0.94	2.0036

KALIBRASI HP (PD1)

Lampiran 2. Data Faktor-g ESR

KONTROL NEGATIF							
Mencit	Arus (I)	F (MHz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A	A ²	Jenis Radikal
1	0.21	26.0	0.00089	1.97	0.32	0.10	
2	0.21	26.7	0.00090	2.00	0.71	0.50	CO ₂ -
3	0.21	26.8	0.00089	2.03	0.66	0.43	
4	0.22	26.3	0.00093	1.91	0.38	0.14	
5	0.21	26.8	0.00089	2.03	0.77	0.59	O ₂ -
6	0.21	26.3	0.00089	2.00	0.57	0.32	CO ₂ -
Rata-rata				1.99		0.35	
P10							
Mencit	Arus (I)	Frekuensi (MHz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A	A ²	Jenis Radikal
1	0.21	27.5	0.0009	2.05	0.85	0.73	
2	0.21	26.8	0.0009	2.04	0.69	0.47	O ₂ -
3	0.21	27.3	0.0009	2.09	0.78	0.61	
4	0.21	27.0	0.0009	2.03	0.62	0.39	O ₂ -
5	0.21	26.9	0.0009	2.05	0.69	0.47	
6	0.21	26.8	0.0009	2.04	0.97	0.94	O ₂ -
Rata-rata				2.07		0.49	
P20							
Mencit	Arus (I)	Frekuensi (MHz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A	A ²	Jenis Radikal
1	0.21	27.0	0.0009	2.14	0.73	0.53	
2	0.21	26.8	0.0009	2.03	0.73	0.54	O ₂ -
3	0.23	27.0	0.0010	1.95	0.50	0.25	
4	0.21	26.9	0.0009	2.03	0.63	0.40	O ₂ -
5	0.21	26.8	0.0009	2.03	0.74	0.55	O ₂ -
6	0.21	27.4	0.0009	2.14	0.47	0.22	
Rata-rata				2.11		0.50	



P30

Mencit	Arus (I)	F (MHz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A	A ²	Jenis Radikal
1	0.21	26.2	0.0009	2.04	0.83	0.69	O2-
2	0.20	26.9	0.0009	2.03	0.73	0.53	O2-
3	0.21	26.6	0.0009	2.06	0.81	0.65	
4	0.20	26.9	0.0009	2.03	0.45	0.20	O2-
5	0.21	26.7	0.0009	2.07	0.73	0.53	
6	0.21	27.0	0.0009	2.09	0.93	0.86	
Rata-rata				2.07		0.52	

P40

Mencit	Arus (I)	F (MHz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A	A ²	Jenis Radikal
1	0.21	26.5	0.0009	2.07	0.59	0.35	
2	0.21	26.3	0.0009	2.07	0.70	0.49	
3	0.21	26.6	0.0009	2.03	0.76	0.57	O2-
4	0.22	26.5	0.0009	2.00	0.75	0.57	CO2-
5	0.22	26.6	0.0009	2.00	0.59	0.34	CO2-
6	0.22	26.5	0.0009	1.99	0.84	0.71	CO2-
Rata-rata				2.02		0.54	

P50

Mencit	Arus (I)	F (MHz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A	A ²	Jenis Radikal
1	0.21	26.2	0.0009	2.03	0.70	0.49	O2-
2	0.21	26.7	0.0009	2.07	0.71	0.50	
3	0.21	26.4	0.0009	2.05	0.79	0.62	
4	0.22	26.4	0.0009	1.96	0.75	0.56	
5	0.21	26.9	0.0009	2.04	0.95	0.90	O2-
6	0.21	27.1	0.0009	2.04	0.81	0.65	O2-
Rata-rata				2.03		0.57	

Mencit	Arus (I)	F (MHz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A	A ²	Jenis Radikal
1	0.21	27.3	0.0009	2.06	0.49	0.24	
2	0.21	27.3	0.0009	2.06	0.54	0.29	
3	0.21	27.4	0.0009	2.07	0.64	0.41	
4	0.21	27.1	0.0009	2.04	0.82	0.68	O2-
5	0.21	27.1	0.0009	2.04	0.63	0.39	O2-
6	0.21	27.2	0.0009	2.04	0.59	0.35	
Rata-rata				2.05		0.46	
PD2							
Mencit	Arus (I)	F (MHz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A	A ²	Jenis Radikal
1	0.21	27.7	0.0009	2.03	0.65	0.43	O2-
2	0.21	26.7	0.0009	2.04	0.72	0.51	O2-
3	0.21	27.2	0.0009	2.07	1.06	1.11	
4	0.22	26.9	0.0009	2.03	0.64	0.41	O2-
5	0.22	27.2	0.0009	2.06	0.60	0.36	
Rata-rata				2.05		0.43	
PD3							
Mencit	Arus (I)	F (MHz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A	A ²	Jenis Radikal
1	0.21	27.5	0.0009	2.03	0.64	0.40	O2-
2	0.21	27.0	0.0009	2.00	0.75	0.56	CO2-
3	0.21	27.1	0.0009	2.03	0.63	0.40	O2-
4	0.22	26.8	0.0009	1.97	0.56	0.32	
6	0.22	19.8	0.0009	1.45	1.37	1.86	
Rata-rata				2.01		0.42	



PD4							
Mencit	Arus (I)	F (MHz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A	A ²	Jenis Radikal
1	0.21	27.3	0.0009	2.05	1.14	1.31	
2	0.21	26.8	0.0009	2.03	0.46	0.21	O2-
3	0.21	26.9	0.0009	2.04	0.61	0.37	O2-
4	0.21	26.8	0.0009	2.03	0.75	0.56	O2-
5	0.21	26.8	0.0009	2.02	1.13	1.28	
6							
Rata-Rata				2.04		0.61	

PD5							
Mencit	Arus (I)	F (MHz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A	A ²	Jenis Radikal
1	0.21	27.0	0.0009	2.05	0.99	0.97	
2	0.21	26.4	0.0009	1.97	1.00	1.00	
3	0.21	26.5	0.0009	2.00	0.93	0.86	CO2-
4	0.21	27.1	0.0009	2.04	0.95	0.90	O2-
5	0.21	26.8	0.0009	1.99	0.71	0.50	CO2-
6							
Rata-rata				2.019		0.80856	

LAMA PAPARAN	AMPLITUDO KUADRAT	DEVIASI
K	0.35	0.021
P10	0.48	0.013
P20	0.50	0.009
P30	0.52	0.019
P40	0.53	0.013
P50	0.56	0.006
PD1	0.45	0.021
PD2	0.42	0.009
PD3	0.42	0.014
PD4	0.61	0.070
PD5	0.80	0.030

Lampiran 3. Data Impedansi

Frekuensi (Hz)	K	P10	P20	P30	P40	P50
100	6780	6620	6236	6214	6205	6078
150	6594	6373	6062	6007	5965	5885
200	6471	6232	5960	5893	5844	5758
250	6403	6147	5890	5809	5767	5687
300	6339	6092	5842	5737	5702	5634
350	6297	6047	5815	5692	5662	5595
400	6264	6014	5789	5656	5638	5563
450	6228	5980	5768	5628	5612	5535
500	6207	5955	5746	5611	5589	5513
550	6188	5927	5732	5586	5574	5498
600	6166	5910	5726	5577	5552	5486
650	6163	5892	5711	5561	5545	5467
700	6135	5875	5702	5551	5525	5455
750	6116	5866	5690	5538	5520	5443
800	6103	5856	5681	5528	5510	5431
850	6093	5843	5675	5518	5506	5427
900	6080	5837	5665	5512	5496	5407
950	6068	5830	5657	5503	5488	5399
1000	6054	5826	5649	5492	5486	5390
1500	5989	5764	5605	5424	5436	5321
2000	5934	5718	5550	5358	5393	5275
2500	5880	5675	5511	5316	5354	5234
3000	5840	5642	5473	5270	5310	5200
3500	5797	5602	5440	5239	5266	5162
4000	5766	5575	5409	5202	5239	5128
4500	5728	5547	5385	5169	5217	5096
5000	5691	5517	5362	5140	5192	5061



Frekuensi (Hz)	K	P10	P20	P30	P40	P50
5500	5660	5493	5327	5118	5166	5040
6000	5625	5470	5302	5088	5143	5019
6500	5599	5447	5276	5063	5122	5001
7000	5575	5425	5253	5050	5101	4977
7500	5549	5403	5230	5022	5067	4963
8000	5528	5386	5211	5002	5050	4935
8500	5509	5361	5184	4977	5031	4907
9000	5490	5351	5163	4954	5016	4886
9500	5469	5332	5144	4937	4999	4864
10000	5443	5316	5133	4920	4983	4850
15000	5269	5184	4996	4764	4833	4716
20000	5113	5068	4878	4619	4697	4578
25000	4997	4980	4776	4515	4598	4484
30000	4882	4885	4680	4418	4509	4390
35000	4780	4805	4590	4326	4430	4299
40000	4691	4737	4511	4251	4336	4230
45000	4602	4675	4434	4183	4273	4160
50000	4515	4608	4361	4100	4197	4083
55000	4447	4542	4290	4045	4125	4021
60000	4380	4482	4227	3979	4070	3958
65000	4291	4427	4165	3912	4009	3900
70000	4224	4363	4094	3853	3947	3847
75000	4157	4307	4038	3793	3896	3788
80000	4094	4257	3985	3744	3841	3741
85000	4031	4203	3930	3690	3780	3691
90000	3973	4150	3869	3642	3733	3632
95000	3910	4104	3815	3597	3676	3590
100000	3858	4050	3770	3558	3632	3546

Frekuensi (Hz)	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5
100	6147	6267	6501	6372	6237
150	5983	6088	6286	6184	6062
200	5889	5976	6176	6057	5974
250	5828	5897	6097	5990	5921
300	5781	5849	6047	5937	5882
350	5750	5814	6010	5895	5847
400	5730	5789	5982	5864	5821
450	5707	5759	5955	5841	5800
500	5688	5745	5928	5826	5785
550	5674	5722	5908	5801	5762
600	5659	5705	5897	5786	5747
650	5647	5696	5875	5770	5737
700	5631	5684	5864	5761	5723
750	5622	5667	5854	5743	5717
800	5615	5660	5843	5729	5703
850	5604	5652	5837	5720	5695
900	5598	5641	5818	5714	5686
950	5591	5641	5825	5709	5675
1000	5577	5631	5811	5706	5669
1500	5522	5570	5748	5656	5614
2000	5468	5510	5700	5609	5560
2500	5433	5455	5656	5565	5511
3000	5387	5411	5618	5522	5469
3500	5348	5365	5578	5493	5432
4000	5315	5330	5537	5464	5393
4500	5285	5288	5507	5445	5361
5000	5254	5255	5477	5413	5331



Frekuensi (Hz)	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5
5500	5220	5223	5454	5389	5304
6000	5187	5199	5419	5367	5276
6500	5165	5173	5392	5352	5250
7000	5139	5144	5366	5333	5229
7500	5112	5112	5341	5315	5197
8000	5089	5088	5315	5294	5174
8500	5065	5064	5284	5274	5148
9000	5045	5036	5262	5256	5127
9500	5026	5010	5246	5238	5107
10000	5006	4988	5229	5226	5087
15000	4852	4812	5078	5078	4913
20000	4719	4660	4937	4971	4772
25000	4606	4527	4806	4877	4644
30000	4502	4414	4696	4796	4536
35000	4415	4305	4600	4714	4432
40000	4327	4208	4511	4629	4331
45000	4248	4120	4425	4559	4253
50000	4179	4037	4354	4492	4170
55000	4105	3956	4285	4422	4098
60000	4033	3887	4213	4356	4029
65000	3967	3816	4145	4301	3959
70000	3905	3740	4082	4242	3895
75000	3848	3676	4014	4176	3828
80000	3781	3615	3948	4114	3769
85000	3733	3552	3883	4055	3715
90000	3678	3492	3825	4004	3662
95000	3626	3440	3773	3951	3605
100000	3574	3391	3718	3907	3557

Frekuensi 1000

Perlakuan	Impedansi	Deviasi
K	6.254	0.241
P10	6.176	0.368
P20	5.826	0.437
P30	5.649	0.026
P40	5.492	0.368
P50	5.486	0.288
PD1	5.520	0.369
PD2	5.577	0.382
PD3	5.631	0.340
PD4	5.611	0.747
PD5	5.606	0.250

Lampiran 4. Data Resistansi dan Resistivitas

Perlakuan	R (Ohm)	d (m)	l (m)	r (m)	A (m ²)	Rho	Deviasi x 10 ⁻²
K	6279	0.003	0.002	0.0015	0.000007065	22.18	0.24
P10	6243	0.003	0.002	0.0015	0.000007065	22.05	0.21
P20	6145	0.003	0.002	0.0015	0.000007065	21.71	0.12
P30	6098	0.003	0.002	0.0015	0.000007065	21.54	0.02
P40	6059	0.003	0.002	0.0015	0.000007065	21.40	0.34
P50	5961	0.003	0.002	0.0015	0.000007065	21.06	0.23
PD1	6062	0.003	0.002	0.0015	0.000007065	21.41	0.27
PD2	6161	0.003	0.002	0.0015	0.000007065	21.76	0.26
PD3	6337	0.003	0.002	0.0015	0.000007065	22.38	0.23
PD4	6243	0.003	0.002	0.0015	0.000007065	22.05	0.52
PD5	6143	0.003	0.002	0.0015	0.000007065	21.70	0.18

Lampiran 5. Data Kapasitansi dan Permittivitas

Perlakuan	C x 10 ⁻⁷ (F)	diameter (m)	d (m)	r (m)	A (m ²)	Epsilon 10 ⁻⁷ (F/m)	Deviasi x 10 ⁻⁷
K	6.69	0.003	0.002	0.0015	0.000007065	1.89	0.026
P10	6.38	0.003	0.002	0.0015	0.000007065	1.80	0.031
P20	6.28	0.003	0.002	0.0015	0.000007065	1.77	0.007
P30	6.28	0.003	0.002	0.0015	0.000007065	1.77	0.035
P40	6.11	0.003	0.002	0.0015	0.000007065	1.72	0.051
P50	6.00	0.003	0.002	0.0015	0.000007065	1.69	0.019
PD1	6.15	0.003	0.002	0.0015	0.000007065	1.74	0.037
PD2	6.20	0.003	0.002	0.0015	0.000007065	1.75	0.028
PD3	6.26	0.003	0.002	0.0015	0.000007065	1.77	0.017
PD4	6.14	0.003	0.002	0.0015	0.000007065	1.74	0.073
PD5	6.09	0.003	0.002	0.0015	0.000007065	1.72	0.030

Lampiran 6. Data Mikroskopis

	K				P10			
	Normal	Lisis	Limfosit	% Kerusakan	Normal	Lisis	Limfosit	% Kerusakan
a	35	35	34	33.65	80	31	16	24.41
b	38	23	22	27.71	24	14	17	25.45
c	60	21	37	17.80	50	21	10	25.93
d	52	36	29	30.77	55	19	10	22.62
e	54	25	23	24.51	110	36	32	20.22
Mencit 1	239	140	145	26.89	319	121	85	23.73
a	80	31	26	22.63	86	27	20	20.30
b	42	21	31	22.34	69	31	19	26.05
c	58	26	23	24.30	95	35	34	21.34
d	67	25	27	21.01	96	46	28	27.06
e	110	36	32	20.22	102	47	25	27.01
Mencit 2	357	139	139	22.10	448	186	126	24.35
a	51	45	37	33.83	42	25	21	28.41
b	49	37	20	34.91	51	23	28	22.55
c	64	39	24	30.71	60	31	12	30.10
d	38	27	42	25.23	59	32	15	30.19
e	54	23	37	20.18	54	31	10	32.63
Mencit 3	256	171	160	28.97	266	142	86	28.78



	K				P10			
	Normal	Lisis	Limfosit	% Kerusakan	Normal	Lisis	Limfosit	% Kerusakan
A	49	24	21	25.53	51	45	37	33.83
B	51	23	28	22.55	49	49	20	41.53
C	60	31	19	28.18	64	39	24	30.71
D	59	25	21	23.81	35	20	33	22.73
E	57	31	24	27.68	52	26	29	24.30
Mencit 4	276	134	113	25.55	251	179	143	30.62
a	86	24	20	18.46	35	21	34	23.33
b	69	31	21	25.62	24	23	22	33.33
c	95	31	34	19.38	59	23	27	21.10
d	96	46	28	27.06	52	36	29	30.77
e	93	32	25	21.33	56	35	23	30.70
Mencit 5	439	164	128	22.37	226	138	135	27.85
Rata-rata				25.18				27.06
Deviasi				0.04				0.0421503



	P20				P30			
	Normal	Lisis	Limfosit	% Kerusakan	Normal	Lisis	Limfosit	% Kerusakan
a	54	42	35	32.06	19	38	25	46.34
b	50	41	20	36.94	19	31	20	44.29
c	55	49	33	35.77	27	21	17	32.31
d	79	46	25	30.67	18	29	18	44.62
e	59	36	24	30.25	37	32	20	35.96
Mencit 1	297	214	137	33.14	120	151	100	40.70
a	68	45	28	31.91	33	38	27	38.78
b	38	33	31	32.35	31	38	26	40.00
c	58	40	33	30.53	34	33	28	34.74
d	30	27	42	27.27	45	36	16	37.11
e	50	45	30	36.00	52	38	18	35.19
Mencit 2	244	190	164	31.61	195	183	115	37.16
a	75	50	28	32.68	33	35	25	37.63
b	67	32	45	22.22	28	38	18	45.24
c	59	42	26	33.07	46	45	15	42.45
d	47	28	33	25.93	28	25	20	34.25
e	45	27	36	25.00	33	27	14	36.49
Mencit 3	293	179	168	27.78	168	170	92	39.21

	P20				P30			
	Normal	Lisis	Limfosit	% Kerusakan	Normal	Lisis	Limfosit	% Kerusakan
A	39	35	35	32.11	28	39	34	38.61
B	56	36	27	30.25	41	22	23	25.58
C	36	34	25	35.79	27	43	17	49.43
D	53	33	27	29.20	34	25	13	34.72
e	38	22	32	23.91	43	34	12	38.20
Mencit 4	222	160	146	30.25	173	163	99	37.31
a	14	25	20	42.37	21	38	24	45.78
b	23	28	22	38.36	21	37	19	48.05
c	26	19	16	31.15	16	29	21	43.94
d	21	17	23	27.87	37	32	18	36.78
e	27	24	17	35.29	26	31	17	41.89
Mencit 5	111	113	98	35.01	121	167	99	43.29
Rata-rata				31.56				39.53
Deviasi				0.0383532				0.0457254



	P40				P50			
	Normal	Lisis	Limfosit	% Kerusakan	Normal	Lisis	Limfosit	% Kerusakan
a	24	46	22	50.00	43	49	30	40.16
b	19	30	25	40.54	23	47	31	46.53
c	20	32	26	41.03	26	39	26	42.86
d	26	40	15	49.38	33	53	34	44.17
e	25	37	14	48.68	27	56	15	57.14
Mencit 1	114	185	102	45.93	152	244	136	46.17
a	29	42	12	50.60	15	66	21	64.71
b	20	38	19	49.35	15	64	20	64.65
c	22	51	31	49.04	23	50	14	57.47
d	28	49	21	50.00	16	52	19	59.77
e	25	46	22	49.46	13	56	14	67.47
Mencit 2	124	226	105	49.69	82	288	88	62.81
a	29	57	10	59.38	19	62	12	66.67
b	13	44	26	53.01	28	58	16	56.86
c	24	43	19	50.00	35	57	21	50.44
d	26	43	17	50.00	13	55	29	56.70
e	19	36	20	48.00	36	56	12	53.85
Mencit 3	111	223	92	260.387	131	288	90	56.90

	P40				P50			
	Normal	Lisis	Limfosit	% Kerusakan	Normal	Lisis	Limfosit	% Kerusakan
a	39	35	35	32.11	28	39	34	38.61
b	56	36	27	30.25	41	22	23	25.58
c	36	34	25	35.79	27	43	17	49.43
d	53	33	27	29.20	34	25	13	34.72
e	38	22	32	23.91	43	34	12	38.20
Mencit 4	222	160	146	30.25	173	163	99	37.31
a	14	25	20	42.37	21	38	24	45.78
b	23	28	22	38.36	21	37	19	48.05
c	26	19	16	31.15	16	29	21	43.94
d	21	17	23	27.87	37	32	18	36.78
e	27	24	17	35.29	26	31	17	41.89
Mencit 5	111	113	98	35.01	121	167	99	43.29
Rata-rata				51.01				57.44
Deviasi				0,07796				0,06707



	PD1				PD2			
	Normal	Lisis	Limfosit	% Kerusakan	Normal	Lisis	Limfosit	% Kerusakan
a	24	54	21	54.55	45	56	21	24
b	18	44	15	57.14	25	45	26	18
c	19	63	17	63.64	31	56	32	19
d	25	68	21	59.65	19	33	32	25
e	15	45	27	51.72	28	42	31	15
Mencit 1	101	274	101	57.34	148	232	142	101
a	33	73	25	55.73	26	55	45	33
b	28	68	12	62.96	39	44	30	28
c	26	56	26	51.85	47	34	15	26
d	16	49	32	50.52	32	41	18	16
e	28	66	31	52.80	33	58	28	28
Mencit 2	131	312	126	54.77	177	232	136	131
a	27	113	21	70.19	33	43	24	27
b	59	77	41	43.50	38	48	26	59
c	46	75	29	50.00	47	41	28	46
d	46	75	18	53.96	36	43	38	46
e	44	54	29	42.52	33	39	32	44
Mencit 3	222	394	138	52.03	187	214	148	222

	PD1				PD2			
	Normal	Lisis	Limfosit	% Kerusakan	Normal	Lisis	Limfosit	% Kerusakan
a	20	65	35	54.17	33	54	21	50.00
b	37	66	30	49.62	36	42	26	40.38
c	59	58	24	41.13	19	32	29	40.00
d	35	71	21	55.91	46	31	25	30.39
e	33	65	23	53.72	24	36	31	39.56
Mencit 4	184	325	133	50.91	158	195	132	40.07
a	34	43	18	45.26	33	59	25	50.43
b	33	52	43	40.63	28	64	31	52.03
c	56	41	25	33.61	37	44	26	41.12
d	58	43	24	34.40	28	32	33	34.41
e	33	45	25	43.69	35	41	29	39.05
Mencit 5	214	224	135	197.584	161	240	144	43.41
Rata-rata				50.91				41.81
Deviiasi				0.07214				0.04489

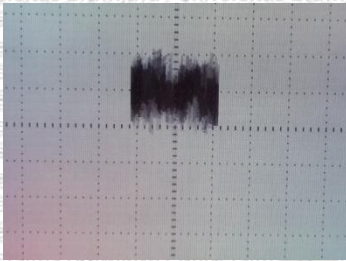


	PD3				PD4			
	Normal	Lisis	Limfosit	% Kerusakan	Normal	Lisis	Limfosit	% Kerusakan
A	29	63	45	45.99	29	42	18	47.19
B	19	44	39	43.14	33	52	32	44.44
C	32	26	21	32.91	33	41	25	41.41
D	19	41	29	46.07	29	33	24	38.37
e	38	56	28	45.90	33	29	25	33.33
Mencit 1	137	230	162	42.80	157	197	124	40.95
a	38	35	29	34.31	22	33	18	45.21
b	32	57	31	47.50	24	50	34	46.30
c	16	48	36	48.00	56	41	25	33.61
d	17	29	32	37.18	58	43	24	34.40
e	42	36	25	34.95	33	37	19	41.57
Mencit 2	145	205	153	40.39	193	204	120	40.22
a	39	44	21	42.31	24	43	18	50.59
b	36	45	32	39.82	25	29	25	36.71
c	31	56	19	52.83	20	32	21	43.84
d	27	42	32	41.58	19	44	26	49.44
e	28	37	31	38.54	28	39	17	46.43
Mencit 3	161	224	135	43.02	116	187	107	45.40

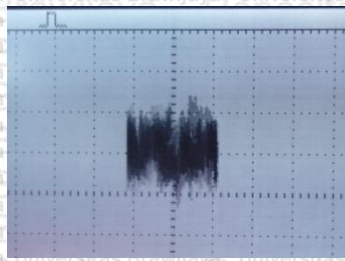
	PD3				PD4			
	Normal	Lisis	Limfosit	% Kerusakan	Normal	Lisis	Limfosit	% Kerusakan
a	26	35	24	41.18	33	53	29	46.09
b	38	24	29	26.37	19	45	12	59.21
c	47	19	28	20.21	26	47	24	48.45
d	22	43	32	44.33	16	33	26	44.00
e	19	31	32	37.80	18	47	36	46.53
Mencit 4	152	152	145	33.98	112	225	127	48.86
a	22	42	32	43.75	26	39	16	48.15
b	36	42	32	38.18	29	49	31	44.95
c	28	32	29	35.96	35	57	29	47.11
d	46	44	28	37.29	38	56	18	50.00
e	33	36	31	36.00	29	32	15	42.11
Mencit 5	165	196	152	38.24	157	233	109	46.46
Rata-rata				39.68				44.38
Deviasi				0.05737				0.04811

PDS				
	Normal	Lisis	Limfosit	% Kerusakan
a	25	66	27	55.93
b	29	67	20	57.76
c	32	50	17	50.51
d	33	54	19	50.94
e	25	56	21	54.90
Mencit 1	144	293	104	54.01
a	26	61	21	56.48
b	19	59	28	55.66
c	24	45	23	48.91
d	35	52	32	43.70
e	39	44	18	43.56
Mencit 2	143	261	122	49.66
a	43	51	27	42.15
b	19	47	31	48.45
c	31	39	35	37.14
d	33	49	34	42.24
e	17	47	27	51.65
Mencit 3	143	233	154	44.33
a	29	58	20	54.21
b	29	61	32	50.00
c	26	44	15	51.76
d	30	53	36	44.54
e	34	49	27	44.55
Mencit 4	148	265	130	49.01
a	26	55	12	59.14
b	28	38	21	43.68
c	35	32	34	31.68
d	13	31	29	42.47
e	17	47	38	46.08
Mencit 5	119	203	134	44.61
Rata-rata				48.32

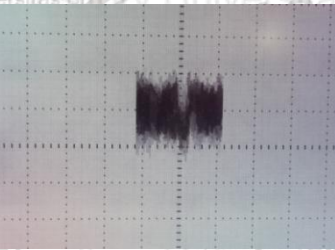
Lampiran 7. Hasil Kurva ESR



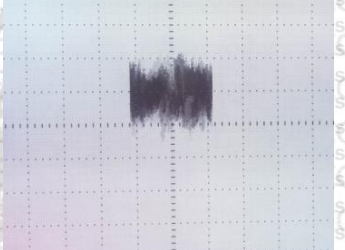
Gambar 1. Perlakuan K



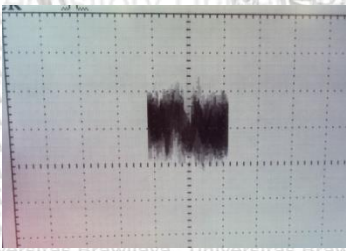
Gambar 2. Perlakuan P10



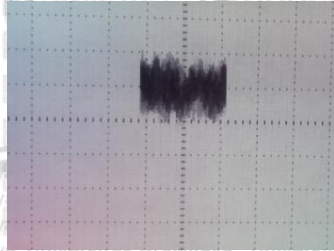
Gambar 3. Perlakuan P20



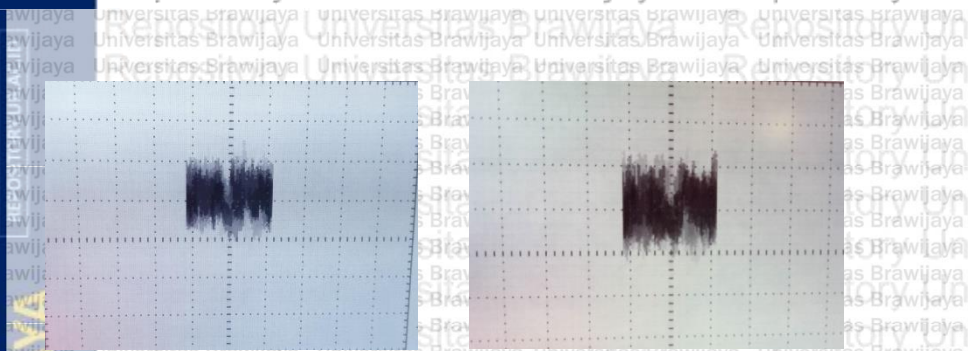
Gambar 4. Perlakuan P30



Gambar 5. Perlakuan P40

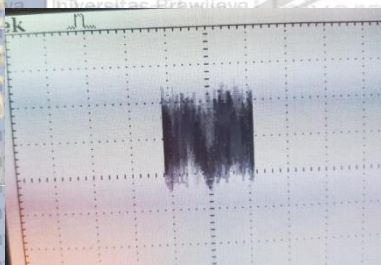


Gambar 6. Perlakuan P50

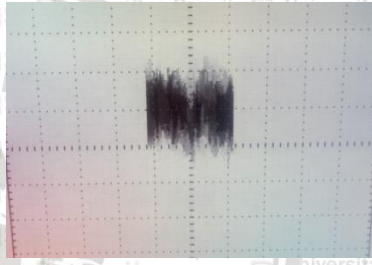


Gambar 7. Perlakuan PD1

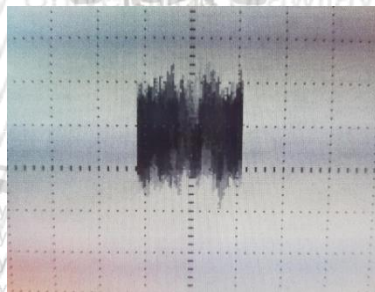
Gambar 8. Perlakuan PD2



Gambar 9. Perlakuan PD3

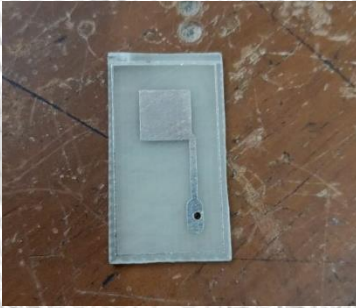


Gambar 10. Perlakuan PD4



Gambar 11. Perlakuan PD5

Lampiran 8. Foto Kegiatan



Lampiran 9. Data Antioksidan

Antioksidan	Jambu biji	Bawang Putih	Kulit Manggis	Kulit Naga	Daun Sirsak	Kecambah
Kandungan						
Vitamin C						
Vitamin E						
Vitamin A						
Polifenol						
Flavonoid						
Xanthone						
Betha karoten						
Folat						
Zat Besi						
Curcumin						
Likopen						
Organosulfur						
Antosianin						
Atkaloid						
Fenolik						
Filoalbumin						
Asam Fenolat						
Acetogenin						
Saponin						
Steroid						
Fitosterol						
Vitamin B6						

Antioksidan	Jambu biji	Bawang Putih	Kulit Manggis	Kulit Naga	Daun Sirsak	Kecambah
Tanin						
Asam Linoleat						
Asam Amino						
Iridoid						
Kopoletin						
Asam Laktat						
Potasium						
Riboflavin						
Koryofilin						
Seskuiterpen						
Hidroksimetil fufusa						
Karetonoid						
Triterpenoid						
Isoflafon						
Asam Jengkolat						



Antioksidan	Teh Hijau	Kiwi	Faloak	Jengkol	Cengkeh	Binahong
Kandungan						
Vitamin C						
Vitamin E						
Vitamin A						
Polifenol						
Flavonoid						
Xanthone						
Betha karoten						
Folat						
Zat Besi						
Curcumin						
Likopen						
Organosulfur						
Antosianin						
Atkaloid						
Fenolik						
Filoalbumin						
Asam Fenolat						
Acetogenin						
Saponin						
Steroid						
Fitosterol						
Vitamin B6						

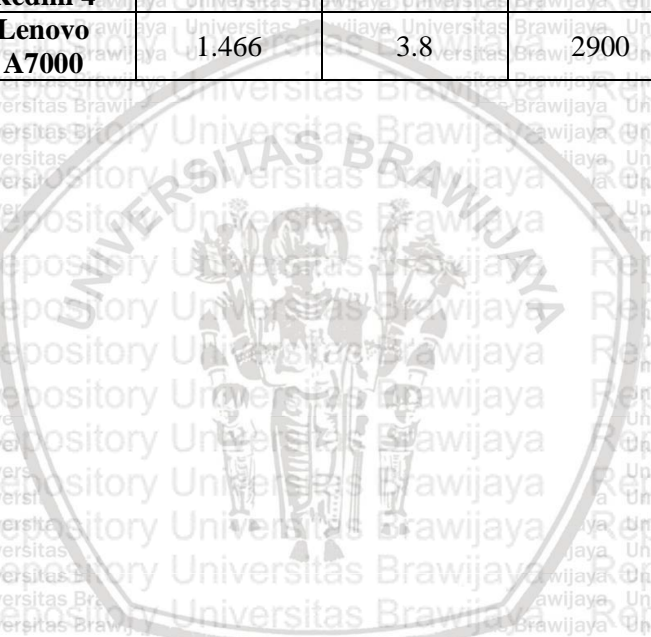
Antioksidan	Teh Hijau	Kiwi	Faloak	Jengkol	Cengkeh	Binahong
Tanin						
Asam Linoleat						
Asam Amino						
Iridoid						
Kopoletin						
Asam Laktat						
Potasium						
Riboflavin						
Koryofilin						
Seskuitерpen						
Hidroksimetil fufusa						
Karetonoid						
Triterpenoid						
Isoflafon						
Asam Jengkolat						

Antioksidan	Jinten Hitam	Mengkudu	Buah Merah	Kurma	Madu
Kandungan					
Vitamin C					
Vitamin E					
Vitamin A					
Polifenol					
Flavonoid					
Xanthone					
Betha karoten					
Folat					
Zat Besi					
Curcumin					
Likopen					
Organosulfur					
Antosianin					
Atkaloid					
Fenolik					
Filoalbumin					
Asam Fenolat					
Acetogenin					
Saponin					
Steroid					
Fitosterol					
Vitamin B6					

Antioksidan	Jinten Hitam	Mengkudu	Buah Merah	Kurma	Madu
Tanin					
Asam Linoleat					
Asam Amino					
Iridoid					
Kopoletin					
Asam Laktat					
Potasium					
Riboflavin					
Koryofilin					
Seskuitерpen					
Hidroksimetil fufusa					
Karetonoid					
Triterpenoid					
Isoflafon					
Asam Jengkolat					

Lampiran 10. Spesifikasi Telepon Seluler yang digunakan

Merek	SAR (W/kg)	Voltage (V)	mAh
Xiaomi Redmi 6A	0.656	3.85	2900
Nokia E5	0.88	3.85	2600
Xiaomi Redmi 4	0.83	4.4	4100
Lenovo A7000	1.466	3.8	2900



Lampiran 11. Kode Etik Penelitian



KOMISI ETIK PENELITIAN UNIVERSITAS BRAWIJAYA

KETERANGAN KELAIKAN ETIK "ETHICAL CLEARANCE"

No: 1204-KEP-UB

**KOMISI ETIK PENELITIAN (ANIMAL CARE AND USE COMMITTEE)
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
TELAH MEMPELAJARI SECARA SEKSAMA RANCANGAN PENELITIAN YANG
DIUSULKAN, MAKA DENGAN INI MENYATAKAN BAHWA:**

PENELITIAN BERJUDUL : PENGARUH PEMBERIAN ANTIOKSIDAN EKSTRAK
JAMBU BJI (*Psidium guajava*), BAWANG PUTIH (*Allium
sativum*), KULIT MANGGIS (*Gracinia mangostana*), DAN
MENGKUDU (*Morinda citrifolia*) TERHADAP ORGAN
LIMPA MENCIT (*Mus musculus*) YANG TERPAPAR
RADIASI GELOMBANG ELEKTRO MAGNETIK
TELEPON SELULER

PENELITI : IL ISMI MUFA' IDAH

UNIT/LEMBAGA/TEMPAT : UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DINYATAKAN : LAIK ETIK

Malang, 10 Desember 2019

Ketua Komisi Etik Penelitian



Prof. Dr. Hartuti Anis'am, DE.S.
NIP. 196009031988022001