

**STUDI PENGUKURAN IMPEDANSI LISTRIK DAN
PENGARUH ANTIOKSIDAN DARI JAHE MERAH (*Zingiber
officinale* Rosc.), TEMULAWAK (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.),
DAN BUAH MENGKUDU (*Morinda citrifolia*, L.) PADA
ORGAN HATI MENCIT (*Mus musculus*) YANG TERPAPAR
OBAT NYAMUK *ONE PUSH AEROSOL***

SKRIPSI

Oleh :
NENENG KURNIA SARI
165090300111004



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



**STUDI PENGUKURAN IMPEDANSI LISTRIK DAN
PENGARUH ANTIOKSIDAN DARI JAHE MERAH (*Zingiber
officinale* Rosc.), TEMULAWAK (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.),
DAN BUAH MENGKUDU (*Morinda citrifolia*, L.) PADA
ORGAN HATI MENCIT (*Mus musculus*) YANG TERPAPAR
OBAT NYAMUK ONE PUSH AEROSOL**

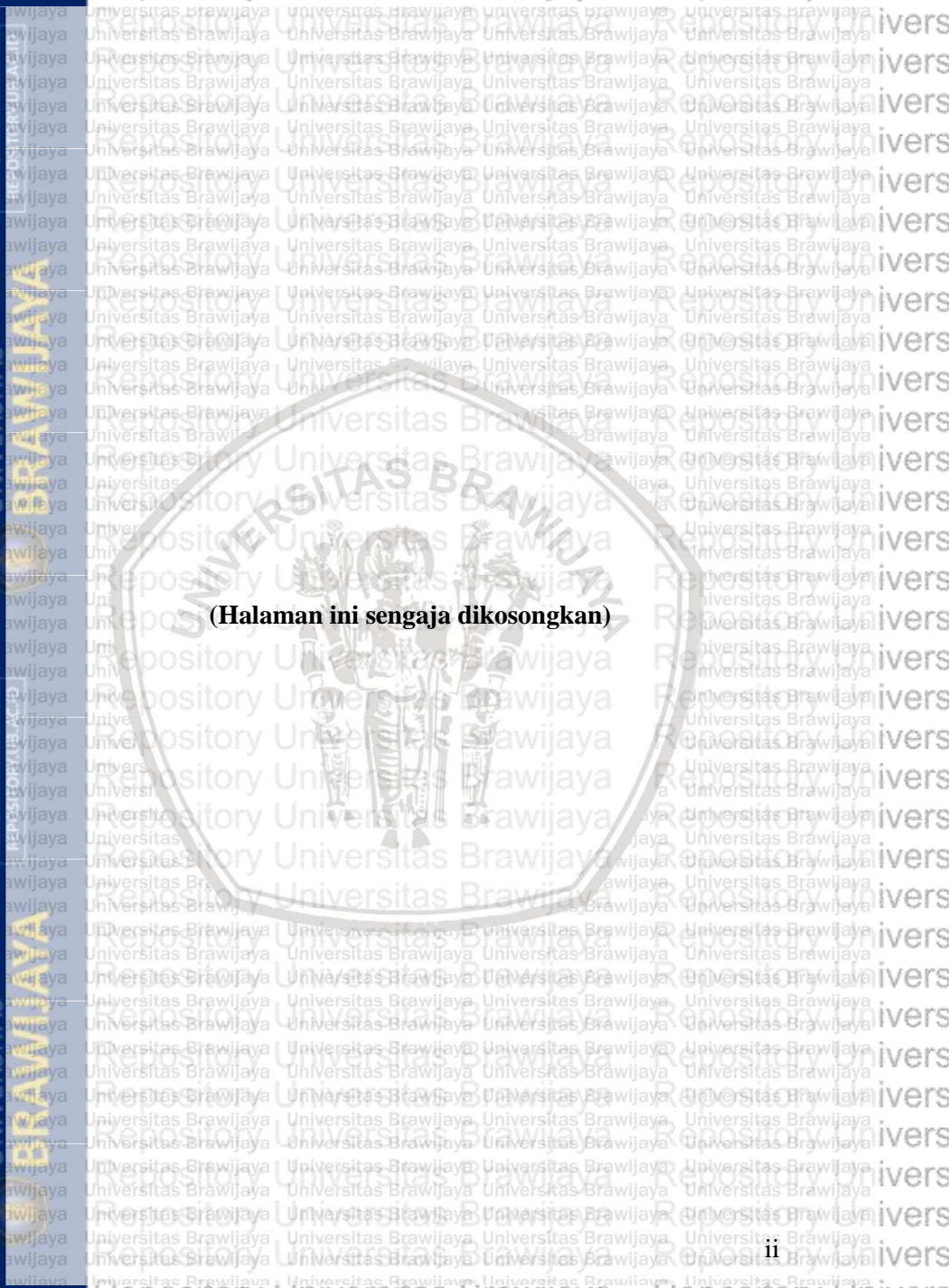
SKRIPSI

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

Oleh :
NENENG KURNIA SARI
165090300111004



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



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



**LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI**

**STUDI PENGUKURAN IMPEDANSI LISTRIK DAN
PENGARUH ANTIOKSIDAN DARI JAHE MERAH (*Zingiber
officinale* Rosc.), TEMULAWAK (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.),
DAN BUAH MENGKUDU (*Morinda citrifolia* L.) PADA
ORGAN HATI MENCIT (*Mus musculus*) YANG TERPAPAR
OBAT NYAMUK *ONE PUSH AEROSOL***

Oleh:

**NENENG KURNIA SARI
165090300111004**

Setelah dipertahankan didepan Majelis Penguji pada
tanggal..**16. JULI 2020**.....

dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika

Pembimbing I

Drs. Unggul P. Juswono, M.Sc.

NIP. 196501111990021002

Pembimbing II

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

NIP. 196910201995121002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika FMIPA UB

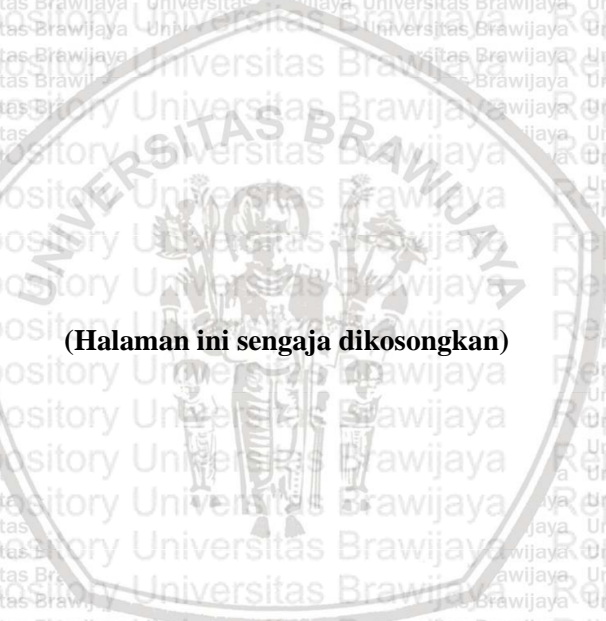


Prof. Dr. rer.nat Muhammad Nurhuda

NIP. 19640910199021001



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Neneng Kurnia Sari

NIM : 165090300111004

Jurusan : Fisika

Penulisan Skripsi berjudul :

**“STUDI PENGUKURAN IMPEDANSI LISTRIK DAN
PENGARUH ANTIOKSIDAN DARI JAHE MERAH (*Zingiber
officinale* Rosc.), TEMULAWAK (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.),
DAN BUAH MENGKUDU (*Morinda citrifolia* L.) PADA
ORGAN HATI MENCIT (*Mus musculus*) YANG TERPAPAR
OBAT NYAMUK *ONE PUSH AEROSOL*”**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari Tugas Akhir yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain. Nama-nama dan karya-karya yang ada dalam daftar pustaka digunakan semata-mata untuk acuan.
2. Apabila dikemudian hari ternyata Tugas Akhir yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, Juli 2020



**Neneng Kurnia Sari
NIM. 165090300111004**



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI PENGUKURAN IMPEDANSI LISTRIK DAN
PENGARUH ANTIOKSIDAN DARI JAHE MERAH (*Zingiber
officinale* Rosc.), TEMULAWAK (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.),
DAN BUAH MENGKUDU (*Morinda citrifolia*, L.) PADA
ORGAN HATI MENCIT (*Mus musculus*) YANG TERPAPAR
OBAT NYAMUK *ONE PUSH AEROSOL***

ABSTRAK

Transfluthrin merupakan salah satu jenis zat aktif berbahaya yang terdapat pada obat nyamuk semprot *one push aerosol*. Kandungan *transfluthrin* pada obat nyamuk yang bertindak sebagai radikal bebas dapat menyebabkan perubahan histopatologi organ paru dan hati. Tujuan penelitian ini yaitu mengidentifikasi kandungan radikal bebas pada organ hati akibat terpapar obat nyamuk *one push aerosol*, mengetahui pengaruh pemberian antioksidan (jahe merah, temulawak, dan buah mengkudu) terhadap nilai impedansi, resistivitas, dan permitivitas organ hati yang terpapar obat nyamuk, serta mengamati pengaruh pemberian antioksidan terhadap kerusakan organ hati mencit yang terpapar obat nyamuk. Pada penelitian ini mencit dipapar dan diberi antioksidan dengan lima variasi hari paparan yaitu 15 hari, 20 hari, 25 hari, 30 hari, dan 35 hari. Pengamatan kerusakan organ hati secara mikroskopis menunjukkan bahwa pemberian antioksidan dapat mengurangi kerusakan sel yang terjadi akibat paparan obat nyamuk *one push aerosol* yaitu dari 57,084% menjadi 54,482% pada kelompok paparan 35 hari. Jenis radikal bebas yang teridentifikasi pada organ hati menggunakan ESR adalah anion superoksida (O_2^-). Nilai impedansi, resistivitas, dan permitivitas menurun seiring bertambah lamanya paparan yang diberikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian antioksidan dapat meningkatkan nilai impedansi, resistivitas, dan permitivitas.

Kata Kunci : *One push aerosol*, *Transfluthrin*, Antioksidan, Organ hati, impedansi



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



STUDY OF ELECTRICAL IMPEDANCE MEASUREMENT AND THE EFFECT OF GIVING ANTIOXIDANT FROM RED GINGER (*Zingiber officinale Rosc.*), CURCUMA (*Curcuma xanthorrhiza Roxb.*), AND NONI FRUIT (*Morinda citrifolia, L.*) TO THE LIVER OF MICE (*Mus musculus*) EXPOSED TO ONE PUSH AEROSOL

ABSTRACT

Transfluthrin is a dangerous active ingredient found in *one push aerosol* spray mosquito. The content of *transfluthrin* in mosquito repellent that act as free radicals can cause histopathological changes in lung and liver organs. The purpose of this study is to identify the effect of giving antioxidants (red ginger, curcuma and noni fruit) to liver damage in mice, the content of free radicals in the liver due to exposure to one push aerosol mosquito repellent, and the value of impedance, resistivity, and permittivity of the liver that is exposed to mosquito repellent. In this study, mice were exposed and given antioxidants with five variations of exposure days, namely 15 days, 20 days, 25 days, 30 days and 35 days. Microscopic observation of liver damage showed that the giving of antioxidants can reduce cell damage caused by exposure to mosquito repellent *one push aerosol*, from 57,084% to 54,482% in the 35-day exposure group. The type of free radicals identified in the liver using ESR is superoxide anion (O_2^-). The value of impedance, resistivity, and permittivity decreases as the duration of exposure is given. The results showed that the giving of antioxidants can increase the value of impedance, resistivity, and permittivity.

Keywords: *One push aerosol, Transfluthrin, Antioxidants, Liver organ, Impedance*



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Insektisida.....	5
2.2 Obat Nyamuk	6
2.3 Transfluthrin.....	7
2.4 Aerosol	7
2.5 Radikal Bebas.....	8
2.6 Mencit.....	11
2.7 Hati.....	12
2.7.1 Anatomi dan Fisiologi Hati.....	12



2.7.2 Histologi	13
2.7.3 Kerusakan Organ Hati	15
2.8 Electron Spin Resonance (ESR)	16
2.9 Biolistrik	20
2.9.1 Impedansi Listrik	23
2.9.2 Resistansi	24
2.9.3 Induktansi	24
2.9.4 Kapasitansi	24
2.10 Antioksidan	25
2.11 Jahe Merah	29
2.12 Temulawak	30
2.13 Buah Mengkudu	31
BAB III METODOLOGI	33
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	33
3.2 Alat dan Bahan	33
3.3 Variabel Penelitian	33
3.4 Tahapan Penelitian	34
3.5 Cara Kerja	35
3.5.1 Persiapan Hewan Uji	35
3.5.2 Penentuan Dosis Antioksidan	36
3.5.3 Perlakuan Terhadap Hewan Uji Coba	37
3.5.4 Pembedahan Hewan Coba Mencit	38
3.5.5 Pembuatan Preparat Organ Hati	39
3.6 Pengamatan Sampel Uji	41
3.6.1 Pengamatan Mikroskopis Kerusakan Organ Hati	41
3.6.2 Pengamatan Radikal Bebas dengan <i>Electron Spin Resonance (ESR)</i>	41



3.6.3 Pengukuran Impedansi Listrik	43
3.7 Analisis Data	44
3.7.1 Pengamatan mikroskopis	44
3.7.2 Pengamatan ESR.....	45
3.7.3 Pengukuran Nilai Impedansi Listrik	46

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... 49

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Gambaran Mikroskopis Organ Hati Mencit.....

4.1.2 Pengaruh Pemberian Antioksidan Terhadap Persentase Kerusakan Sel Organ Hati.....

4.1.3 Hasil Kalibrasi ESR (Electron Spin Resonance) dengan DPPH (Diphenyl picrylhydrazyl).....

4.1.4 Identifikasi Jenis Radikal Bebas pada Sampel Organ Hati Mencit.....

4.1.5 Hubungan Kecekungan Kurva Resonansi dengan Lama Paparan.....

4.1.6 Pengaruh Paparan Obat Nyamuk dan Pemberian Antioksidan Terhadap Nilai Impedansi Organ Hati Mencit

4.1.5 Pengukuran Nilai Impedansi pada Sampel Organ Hati Mencit.....

4.1.7 Pengukuran Nilai Resistivitas pada Sampel Organ Hati Mencit.....

4.1.8 Pengukuran Nilai Permittivitas pada Sampel Organ Hati Mencit.....

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pengaruh Bahan Aktif Transfluthrin terhadap Kerusakan Organ Hati

4.2.2 Pembentukan Radikal Bebas Akibat Bahan Aktif Transfluthrin.....



4.2.3 Radikal Bebas yang Teridentifikasi dalam Organ Hati . 83

4.2.3 Mekanisme Kerja Antioksidan..... 84

4.2.4 Pengaruh Pemberian Antioksidan Terhadap Nilai Impedansi, Resistivitas, dan Permittivitas 86

BAB V KESIMPULAN.....89

5.1 Kesimpulan..... 89

5.2 Saran..... 89

DAFTAR PUSTAKA91

LAMPIRAN103



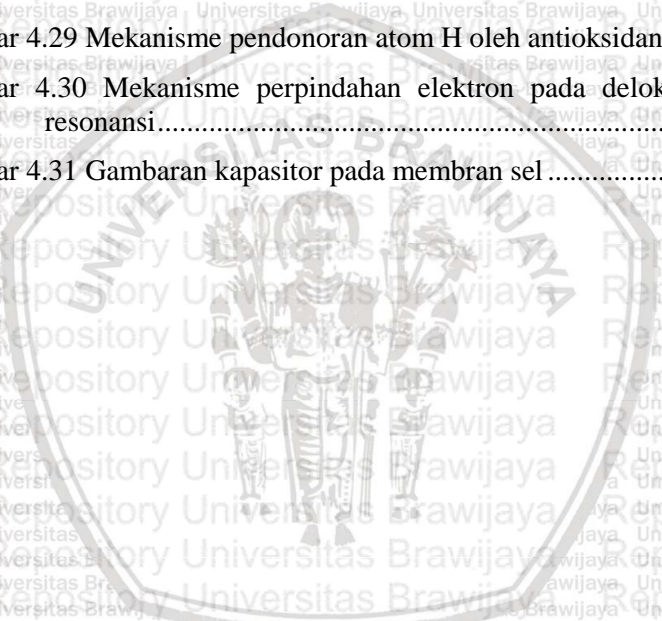
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur kimia <i>transfluthrin</i>	7
Gambar 2.2 Reaksi rantai oksidasi radikal bebas	10
Gambar 2.3 Mencit	11
Gambar 2.4 Anatomi Hati	12
Gambar 2.5 Lobulus hepatic	14
Gambar 2.6 Gambaran mikroskopis hati	15
Gambar 2.7 Kurva <i>Lissajous</i> pada osiloskop	20
Gambar 2.8 Ilustrasi membran sel yang bersifat seperti kapasitor... 21	
Gambar 2.9 Model rangkaian listrik pada suatu sel	22
Gambar 2.10 Model rangkaian listrik pada suatu sel dengan memparallelkan R_m dan C_m	22
Gambar 2.11 Struktur kimia jenis-jenis flavonoid	27
Gambar 2.12 Struktur kimia vitamin C	28
Gambar 2.13 Struktur kimia jenis-jenis karotenoid	29
Gambar 2.14 Jahe Merah	30
Gambar 2.15 Temulawak	31
Gambar 2.16 Buah Mengkudu	32
Gambar 3.1 Diagram alir tahapan penelitian	35
Gambar 3.2 Mencit dipapari obat nyamuk <i>one push aerosol</i>	38
Gambar 3.3 Diagram alir pembedahan hewan coba mencit	39
Gambar 3.4 Diagram alir pembuatan preparat organ hati mencit untuk pengamatan mikroskopis	40
Gambar 3.5 Rangkaian alat ESR tipe Leybold Heracus	42
Gambar 3.6 Diagram alir pengamatan ESR	43

Gambar 3.7 Diagram alir pengukuran impedansi listrik.....	44
Gambar 3.8 Skema pengukuran impedansi	46
Gambar 3.9 Rangkaian Alat BIA.....	47
Gambar 3.10 Diagram blok sistem pengukuran BIA	47
Gambar 4.1 Gambaran mikroskopis sel organ hati.....	51
Gambar 4.2 Gambaran mikroskopis organ hati menciit kelompok kontrol negatif	51
Gambar 4.3 Gambaran mikroskopis organ hati menciit kelompok kontrol positif atau antioksidan	52
Gambar 4.4 Gambaran mikroskopis organ hati menciit kelompok perlakuan paparan obat nyamuk selama 15 hari (P1).....	53
Gambar 4.5 Gambaran mikroskopis organ hati menciit kelompok perlakuan paparan obat nyamuk selama 20 hari (P2).....	53
Gambar 4.6 Gambaran mikroskopis organ hati menciit kelompok perlakuan paparan obat nyamuk selama 25 hari (P3).....	53
Gambar 4.7 Gambaran mikroskopis organ hati menciit kelompok perlakuan paparan obat nyamuk selama 30 hari (P4).....	53
Gambar 4.8 Gambaran mikroskopis organ hati menciit kelompok perlakuan paparan obat nyamuk selama 35 hari (P5).....	54
Gambar 4.9 Gambaran mikroskopis organ hati menciit kelompok perlakuan pemberian antioksidan dan paparan obat nyamuk selama 15 hari (PA 1).....	55
Gambar 4.10 Gambaran mikroskopis organ hati menciit kelompok perlakuan pemberian antioksidan dan paparan obat nyamuk selama 20 hari (PA 2).....	55
Gambar 4.11 Gambaran mikroskopis organ hati menciit kelompok perlakuan pemberian antioksidan dan paparan obat nyamuk selama 25 hari (PA 3).....	56

- Gambar 4.12 Gambaran mikroskopis organ hati mencit kelompok perlakuan pemberian antioksidan dan paparan obat nyamuk selama 30 hari (PA 4)..... 56
- Gambar 4.13 Gambaran mikroskopis organ hati mencit kelompok perlakuan pemberian antioksidan dan paparan obat nyamuk selama 35 hari (PA 5)..... 56
- Gambar 4.14 Grafik perbandingan kerusakan sel total pada organ hati mencit kelompok paparan obat nyamuk *one push aerosol* dengan kelompok pemberian antioksidan 58
- Gambar 4.17 Kurva *Lissajous* hasil kalibrasi ESR dengan DPPH.... 60
- Gambar 4.18 Kurva *Lissajous* dari sampel organ hati mencit yang diamati (a) Sampel kelompok kontrol (tidak ditemung radikal bebas) (b) Sampel kelompok perlakuan (mengandung radikal bebas) 61
- Gambar 4.19 Grafik perbandingan intensitas radikal bebas pada kelompok paparan obat nyamuk *one push aerosol* dengan kelompok pemberian antioksidan 64
- Gambar 4.20 Grafik hubungan frekuensi dengan impedansi pada kelompok paparan obat nyamuk *one push aerosol* 69
- Gambar 4.21 Grafik hubungan frekuensi dengan impedansi pada kelompok pemberian antioksidan 70
- Gambar 4.22 Grafik hubungan antara lama paparan dengan nilai impedansi pada frekuensi 100 Hz, 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz, dan 100 kHz 72
- Gambar 4.23 Grafik hubungan antara lama pemberian antioksidan dengan nilai impedansi pada frekuensi 100 Hz, 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz, dan 100 kHz 73
- Gambar 4.24 Grafik perbandingan nilai impedansi kelompok paparan obat nyamuk *one push aerosol* dengan kelompok pemberian antioksidan pada frekuensi 10 kHz 75

Gambar 4.25 Grafik perbandingan nilai resistivitas kelompok paparan obat nyamuk <i>one push aerosol</i> dengan kelompok pemberian antioksidan	77
Gambar 4.26 Grafik perbandingan nilai permitivitas kelompok paparan obat nyamuk semprot <i>one push aerosol</i> dengan kelompok pemberian antioksidan.....	79
Gambar 4.27 Struktur kimia <i>transfluthrin</i>	85
Gambar 4.28 Struktur kimia flavonoid.....	85
Gambar 4.29 Mekanisme pendonoran atom H oleh antioksidan.....	86
Gambar 4.30 Mekanisme perpindahan elektron pada delokalisasi resonansi.....	86
Gambar 4.31 Gambaran kapasitor pada membran sel.....	87





DAFTAR TABEL

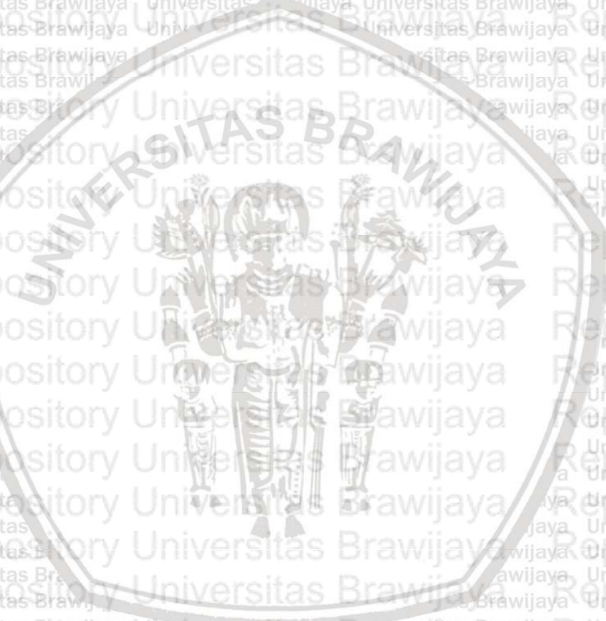
Tabel 2.1 Klasifikasi aerosol berdasarkan ukuran..... 8

Tabel 2.2 Nilai faktor Lande (g)..... 18

Tabel 3.1 Pengelompokan hewan coba mencit 35

Tabel 3.2 Penentuan dosis antioksidan untuk mencit..... 37

Tabel 4.1 Hasil identifikasi radikal bebas pada sampel 62





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan konversi dosis antioksidan.....	103
Lampiran 2. Tabulasi kandungan antioksidan pada beberapa buah dan sayur.....	104
Lampiran 3. Tabel Kerusakan Mikroskopis Kelompok Paparan Obat Nyamuk Semprot	106
Lampiran 4. Tabel Kerusakan Mikroskopis Kelompok Pemberian Antioksidan	115
Lampiran 5. Tabel Kecekungan Kurva Lissajous Kelompok Paparan Obat Nyamuk Semprot.....	126
Lampiran 6. Tabel A2 atau Intensitas Kurva Lissajous Kelompok Pemberian Antioksidan	129
Lampiran 7. Perhitungan Nilai Impedansi Kelompok Paparan.....	131
Lampiran 8. Perhitungan Nilai Impedansi Kelompok Pemberian Antioksidan	134
Lampiran 9. Tabel Nilai Resistivitas dan Permittivitas Kelompok Paparan.....	137
Lampiran 10. Tabel Nilai Resistivitas dan Permittivitas Kelompok Pemberian Antioksidan	140
Lampiran 11. Massa semprotan Obat Obat Nyamuk One Push Aerosol	143
Lampiran 12. Massa semprotan Obat Obat Nyamuk <i>One Push Aerosol</i>	144
Lampiran 13. Konsentrasi Semprotan Obat Obat Nyamuk <i>One Push Aerosol</i>	145
Lampiran 14. Gambar Kurva <i>Lissajous</i>	146
Lampiran 15. Dokumentasi Alat dan Bahan Penelitian	148
Lampiran 16. Surat Keterangan Kode Etik Penelitian	152



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tempat yang sesuai untuk menjadi habitat nyamuk adalah negara yang beriklim tropis dan subtropis. Indonesia termasuk dalam negara yang sesuai untuk tempat perkembangbiakan nyamuk. *World Health Organization* (WHO) mencatat bahwa sejak tahun 1968 hingga 2009, Indonesia merupakan negara dengan kasus DBD tertinggi di Asia Tenggara (Achmadi dkk., 2010). Perkembangbiakan yang tidak terkendali dapat memicu timbulnya masalah-masalah baru dalam lingkungan seperti penyebaran penyakit dan munculnya penyakit baru. Sehingga perlu adanya pengendalian agar perkembangbiakan nyamuk dapat terkontrol dengan baik. Salah satu metode yang dapat dilakukan oleh masyarakat umum untuk mengendalikan perkembangbiakan nyamuk adalah dengan membunuh ataupun mengusir nyamuk menggunakan obat nyamuk. Hal ini dikarenakan penggunaan obat nyamuk lebih praktis dan mudah serta harganya pun sangat terjangkau, sehingga lebih efisien untuk masyarakat umum (Depkes RI, 2008).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wahyono dan Oktarinda (2016), jenis obat nyamuk yang paling sering digunakan adalah obat nyamuk *lotion* dengan persentase 32,5 %, obat nyamuk *spray* dengan persentase 26,5 %, obat nyamuk semprot dengan persentase 18,1 %, obat nyamuk elektrik dengan persentase 15,7 %, dan obat nyamuk bakar dengan persentase 1,2 %. Kandungan bahan kimia pada obat nyamuk yang beredar di Indonesia diantaranya adalah *transfluthrin*, *bioallethrin*, *d-allethrin*, *pralethrin*, *d-phenothrin*, *cypenothrin* atau *esbiothrin*, yang merupakan turunan dari *pyrethroid* (WHO, 2005). *Pyrethroid* merupakan senyawa yang dapat mengakibatkan munculnya rantai sekunder yang bertindak sebagai radikal bebas. Radikal bebas yang muncul akan masuk dalam peredaran darah dan menyebar keseluruh tubuh (Elia dkk., 2015).

Sifat dari radikal bebas yang sangat reaktif dan tidak stabil dalam tubuh dapat mengakibatkan kerusakan jaringan, sel, serta genetik. Selain itu, penyakit degeneratif dapat timbul apabila radikal

bebas dihasilkan terus-menerus selama proses metabolisme (Yuliani dkk., 2016).

Kandungan *transfluthrin* dan *d-allethrin* pada obat nyamuk yang bertindak sebagai radikal bebas dapat menyebabkan perubahan histopatologi organ paru dan hati. Sehingga kandungan pada obat nyamuk ini sangat berbahaya pada paru-paru dan juga hati (Idowu et al., 2013).

Hati merupakan salah satu organ terbesar dalam tubuh yang terletak di dalam rongga abdomen di bawah diafragma dan merupakan organ yang memiliki fungsi eksokrin, endokrin dan mentransfer zat-zat hasil metabolisme ke bagian organ tubuh lainnya (Guyton dan Hall, 2006). Karena fungsinya yang sangat kompleks sehingga organ hati sangat rentan mengalami kerusakan jika proses detoksifikasinya terganggu (Sudatri dkk., 2016).

Kerusakan organ hati dapat diamati berdasarkan nilai impedansi listrik yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan impedansi listrik dapat diaplikasikan untuk mengetahui sifat dari suatu bahan. Sehingga penggunaan nilai impedansi listrik diharapkan dapat menjadi metode baru yang lebih mudah untuk menentukan kondisi suatu jaringan atau organ baik dalam keadaan sehat maupun rusak (Putri dkk., 2017).

Kerusakan jaringan yang disebabkan oleh radikal bebas dapat dihambat oleh senyawa yang bersifat antioksidan (Kikuzaki et al., 2002). Antioksidan dapat diperoleh secara alami maupun sintesis. Akan tetapi, antioksidan sintesis mengandung bahan-bahan kimia yang kurang aman bagi tubuh. Sehingga, perlu dicari antioksidan alami yang lebih aman digunakan seperti antioksidan yang berasal dari tumbuhan, buah, sayur, ataupun rempah-rempahan (Pujimulyani, 2003). Tingkat aktivitas antioksidan dari suatu bahan dapat dilihat berdasarkan besarnya nilai IC_{50} dari bahan yang digunakan (Anwar dan Triyasmono, 2016).

Antioksidan alami yang dapat meminimalisir kerusakan organ hati akibat paparan radiasi diantaranya adalah jahe merah (*Zingiber officinale* Rosc), temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb), dan buah mengkudu (*Morinda citrifolia* L). Menurut Kikuzaki et al. (2002) senyawa-senyawa kimia yang terkandung dalam jahe merah seperti *gingerol*, *shogaol*, dan *zingeron* memiliki kemampuan sebagai antioksidan. Hasil penelitian Yuliani dkk. (2016) menunjukkan bahwa nilai IC_{50} fraksi etil asetat ekstrak etanol rimpang jahe merah adalah

sebesar 41,27 ppm yang tergolong antioksidan sangat kuat karena dibawah 50 ppm.

Temulawak merupakan salah satu tumbuhan dengan berbagai khasiat dan diantaranya adalah dapat digunakan untuk pencegahan serta pengobatan berbagai penyakit. Menurut Ruslay el al. (2007), senyawa aktif pada temulawak yang berpotensi sebagai antioksidan adalah *curcumin*, *demethoxycurcumin*, *bisdemethoxycurcumin*. Hasil penelitian dari Rosidi dkk (2016) menyatakan bahwa temulawak memiliki aktivitas antioksidan sebesar 87,01 ppm. Berdasarkan nilai IC_{50} maka temulawak teridentifikasi sebagai antioksidan kuat.

Berdasarkan hasil penelitian, buah mengkudu mengandung senyawa bioaktif dan senyawa gizi yang terdiri dari vitamin A, C, niasin, tiamin, riboflavin, dan mineral seperti kalium, natrium, kalsium dan zat besi. Buah mengkudu dapat diidentifikasi sebagai antioksidan karena adanya kandungan flavonoid dan senyawa fenolik (Rao dan Saju, 2008). Berdasarkan penelitian Rohman dan Sugeng (2005) didapatkan besarnya nilai IC_{50} dari aktivitas aktioksidan buah mengkudu adalah sebesar 46,7 ppm. Sehingga buah mengkudu tergolong sebagai antioksidan sangat kuat.

Salah satu cara untuk meminimalisir kerusakan organ hati akibat paparan *transfluthrin* pada obat nyamuk *one push aerosol* yaitu dengan memberikan jahe merah, temulawak, dan buah mengkudu. Hal ini karena jahe merah, temulawak dan buah mengkudu telah teridentifikasi sebagai antioksidan kuat hingga sangat kuat serta kandungan dari flavonoid dan senyawa lainnya yang berpotensi dapat memperbaiki kerusakan pada organ hati mencit (*Mus musculus*) akibat radikal bebas.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana pengaruh pemberian antioksidan terhadap kerusakan organ hati dari mencit yang terpapar bahan aktif obat nyamuk *one push aerosol* tipe X, kandungan radikal bebas pada obat nyamuk *one push aerosol* tipe X, dan nilai impedansi, resistivitas, dan permitivitas pada organ hati yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian yang akan dilakukan adalah jenis obat nyamuk *one push aerosol* yang akan digunakan yaitu tipe X yang memiliki kandungan bahan aktif *transfluthrin* sebesar 25 %. Objek yang digunakan adalah mencit berjenis kelamin jantan dengan usia 2-3 bulan. Dosis antioksidan yang diberikan pada semua mencit adalah sama. Penelitian ini menggunakan organ hati karena fungsi dari organ yang sangat penting serta sangat sensitif apabila mengalami kerusakan. Analisis kerusakan organ hati mencit pada penelitian ini hanya berdasarkan kelainan struktur dari sel organ hati mencit.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi pengaruh pemberian antioksidan terhadap kerusakan organ hati dari mencit yang terpapar bahan aktif obat nyamuk *one push aerosol* berdasarkan citra mikroskopisnya, kandungan radikal bebas pada organ hati akibat terpapar obat nyamuk *one push aerosol* dengan menggunakan uji ESR, dan nilai impedansi, resistivitas, dan permittivitas dari organ hati yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu memberikan informasi kepada masyarakat mengenai bahaya senyawa *transfluthrin* yang terkandung dalam obat nyamuk *one push aerosol*. Mengetahui karakteristik kelistrikan pada organ hati akibat terpapar radikal bebas dan setelah pemberian antioksidan. Masyarakat dapat mengetahui manfaat ekstrak jahe merah, temulawak, dan buah mengkudu sebagai antioksidan alami untuk tubuh terutama organ hati yang dapat menanggulangi dampak dari bahan aktif obat nyamuk *one push aerosol* yang masuk dalam tubuh.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Insektisida

Insektisida adalah zat yang digunakan untuk mengendalikan, menolak atau membasmi organisme pengganggu yang berupa serangga. Pada umumnya insektisida digunakan untuk membasmi nyamuk, lalat, kecoa, dan lainnya. Sifat dari insektisida adalah toksik sehingga paparan insektisida yang berlebih dalam jangka waktu yang lama akan berakibat buruk bagi kesehatan. Hasil penelitian menyebutkan bahwa di Jakarta penggunaan insektisida tertinggi adalah untuk pengendalian nyamuk, yaitu sebesar 80 % (Raini, 2009).

Menurut Lu (1995) insektisida merupakan jenis pestisida terbesar dan terdiri dari beberapa senyawa kimia yang berbeda, diantaranya adalah :

- a. Organoklorin, merupakan insektisida yang relatif stabil dan kurang reaktif. Salah satu jenis insektisida organoklorin adalah DDT. Organoklorin merupakan racun untuk syaraf baik pada serangga maupun mamalia. Pada sebagian negara, penggunaan jenis organoklorin seperti DDT, aldrin, dieldrin, endrin, klordan, mirex, heptaklor, dan toksafen telah dilarang karena dampak yang ditimbulkan terhadap kesehatan dan lingkungan.
- b. Organofosfat, merupakan racun pembasmi serangga yang paling toksik terhadap binatang bertulang belakang seperti cicak, ikan, burung, dan mamalia. Prinsip kerja dari jenis insektisida ini adalah dengan menghambat penyaluran impuls syaraf sehingga dapat menyebabkan kelumpuhan.
- c. *Pyrethroid*, merupakan jenis insektisida yang banyak digunakan pada obat nyamuk bakar maupun semprot. *Pyrethroid* dapat berasal dari alam maupun sintesis. Bekerjanya adalah dengan menghalangi sodium *channel* pada serabut syaraf sehingga transmisi impuls syaraf terhambat. Pada manusia, *pyrethroid* memiliki tingkat toksisitas yang rendah karena tidak terabsorpsi dengan baik oleh kulit. Namun, bagi orang-orang yang memiliki sensitifitas kulit tinggi dapat menyebabkan alergi.

d. DEET, merupakan jenis insektisida yang berbentuk *lotion*. DEET bekerja dengan memblokir *receptor olfactory* pada serangga, sehingga dapat menghilangkan keinginan serangga untuk menggigit manusia.

e. Fumigan, merupakan jenis insektisida yang berupa gas, cairan, atau padatan yang mudah menguap pada suhu rendah dan gas yang dilepaskan dapat digunakan untuk membasmi hama. Jenis fumigan yang banyak digunakan adalah naftalen dan *Paradiklorobenzen* (PDB). Naftalen atau yang biasa dikenal dengan kapur barus memiliki bau yang tajam. PDB biasanya digunakan untuk penyegar udara dan penghilang bau.

2.2 Obat Nyamuk

Obat nyamuk menjadi salah satu alternatif pengendalian nyamuk yang banyak dilakukan oleh masyarakat. Hal ini karena obat nyamuk mudah untuk didapatkan serta praktis dalam pengaplikasiannya. Penggunaan obat nyamuk dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu dengan cara dibakar, disemprot, dioles, dan elektrik (Depkes RI, 2008). Menurut POM (2014), produk-produk anti nyamuk dapat masuk ke dalam tubuh melalui tiga cara yaitu termakan bersama makanan yang tercemar ataupun terminum dengan minuman yang tercemar, terhirup dalam bentuk gas yang kemudian masuk ke paru-paru serta aliran darah, dan terserap melalui kulit ataupun tanpa melalui kulit.

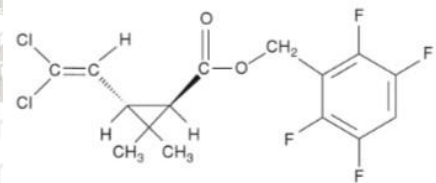
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wahyono dan Oktarinda (2016), persepsi dari masyarakat mengenai jenis obat nyamuk yang paling aman digunakan adalah *lotion* dengan persentase 31,3 %, elektrik dengan persentase 31,3 %, spray dengan persentase 15,2 %, semprot atau cair dengan persentase 12,1 %, dan obat nyamuk bakar dengan persentase 1 %.

Menurut Ganong (2003), bahan aktif berbahaya yang terkandung dalam obat nyamuk diantaranya adalah golongan organophosfat dan karbamat. Bahan aktif dari organophosfat meliputi *Dichlorovynil Dimethyl Phosphate* (DDVP). Sedangkan bahan aktif dari karbamat yaitu *propuxur* yang merupakan salah satu jenis insektisida pembunuh serangga. Senyawa lain yang terkandung dalam obat nyamuk adalah *pyrethroid*, *transfluthrin*, dan *dellatherin*.

2.3 Transfluthrin

Transfluthrin adalah salah satu bahan aktif insektisida yang merupakan golongan dari *pyrethroid*. *Transfluthrin* merupakan golongan keempat dari *pyrethroid*. Insektisida golongan *pyrethroid* bekerja dengan cara melumpuhkan serangga sasaran. Namun, jika tidak terjadi kontak langsung antara serangga dengan bahan aktif golongan *pyrethroid* maka hanya menimbulkan efek pingsan dan serangga dapat pulih kembali (Sigit, 2006). *Transfluthrin*, $C_{15}H_{12}Cl_2F_4O_2$ memiliki ciri tidak berwarna, volatile, larut dalam air, dan sangat larut dalam senyawa organik. Struktur kimia dari *transfluthrin* dapat dilihat pada Gambar 2.1 (Paranjape el al., 2015).

Penggunaan insektisida *pyrethroid* dapat menyebabkan timbulnya berbagai penyakit seperti penyakit kulit hingga kerusakan jaringan syaraf. *Pyrethroid* sintetik bersifat genositik yang dapat menyebabkan kelainan pada sperma dan beresiko terjadi kanker (Nielsen et al., 2010).



Gambar 2.1 Struktur kimia *transfluthrin* (Paranjape el al., 2015)

2.4 Aerosol

Aerosol merupakan partikel-partikel padat yang terkumpul dan tersuspensi di dalam medium gas dalam waktu yang cukup lama sehingga memungkinkan untuk dapat diamati dan diukur. Partikel aerosol berukuran 0,001-100 μm sehingga kasat mata. Aerosol banyak ditemukan di ruangan tertutup dengan ukuran yang sangat halus atau *nano aerosol*. Proses pembentukan aerosol terbagi menjadi dua yaitu proses alami dan proses buatan. Sedangkan klasifikasi aerosol berdasarkan segi ukurannya dapat dibagi menjadi tiga, yaitu inti aitken, inti besar, dan inti raksasa. Perbedaan dari ketiga jenis aerosol tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1 (Hamdi, 2013).

Tabel 2.1 Klasifikasi aerosol berdasarkan ukuran

Jenis Aerosol	Ukuran (diameter)	Sumber
Inti Aitken	$< 0,001 - 0,1 \mu$	Berasal dari hasil pembakaran dan konversi gas-partikel
Inti besar	$0,1 - 1,0 \mu$	Hasil pembakaran, spora halus, penggumpalan inti aitken, garam
Inti raksasa	$> 1 \mu$	Hasil proses industri, spora kasar

2.5 Radikal Bebas

Radikal bebas merupakan senyawa dengan tingkat kereaktifan yang tinggi. Hal ini disebabkan karena dalam senyawa tersebut terdapat elektron yang tidak berpasangan. Adanya elektron yang tidak berpasangan inilah yang menyebabkan radikal bebas sangat reaktif untuk bereaksi dengan molekul disekitarnya agar kembali menjadi stabil (Rohmatussolihat, 2009). Reaksi radikal bebas untuk kembali stabil terjadi terus-menerus dalam tubuh dan hal inilah yang dapat memicu gangguan kesehatan seperti penyakit jantung, kanker, penuaan dini, serta penyakit degeneratif lainnya (Kikuzaki dan Nakatani, 1993).

Radikal bebas yang berada dalam tubuh manusia dapat berasal dari dalam atau disebut dengan radikal bebas endogen dan dari luar atau radikal bebas eksogen. Radikal bebas endogen dihasilkan dari reaksi dalam tubuh seperti reaksi enzimatik *peroksidase*, *lipooksigenase*, *NADPH oksidase* dan *zatin oksidase*. Munculnya radikal bebas endogen dapat berlangsung ketika proses detoksifikasi di hati dan saat sintesa energi di mitokondria (Harliansyah, 2005).

Radikal bebas eksogen merupakan radikal bebas yang masuk dalam tubuh ketika terhirup, termakan, dan terminum. Radikal bebas jenis ini banyak ditemukan di lingkungan sekitar, misalnya pada emisi industri dan kendaraan bermotor, asap rokok, inveksi virus, obat

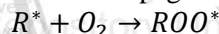
nyamuk, pestisida, paparan zat kimia yang bersifat mengoksidasi, dan radiasi elektromagnetik (Arief, 2007).

Menurut Javanmardi et al. (2003), tahapan pembentukan radikal bebas terbagi menjadi tiga yaitu tahap inisiasi, tahap propagasi dan tahap terminasi. Tahap inisiasi merupakan tahap awal pembentukan radikal bebas. Pada tahap ini terjadi radikal substrat yang terbentuk akibat turunan substrat kehilangan satu atom H sehingga senyawanya tidak stabil dan sangat reaktif, dapat dilihat pada Persamaan 2.1. Selanjutnya terjadi tahapan pemanjangan rantai radikal yang disebut dengan tahap propagasi. Radikal substrat yang telah terbentuk akan bereaksi dengan oksigen dan membentuk radikal peroksi seperti pada Persamaan 2.2. Radikal yang terbentuk dapat bereaksi dengan radikal lain ataupun bereaksi dengan non radikal sehingga akan menghasilkan radikal baru. Tahapan ini disebut dengan tahap terminasi. Proses pembentukan radikal dapat terhenti apabila terjadi reaksi antara dua radikal dan menghasilkan senyawa non radikal yang dapat dilihat pada Persamaan 2.3.

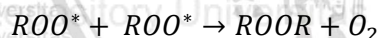
- Reaksi inisiasi



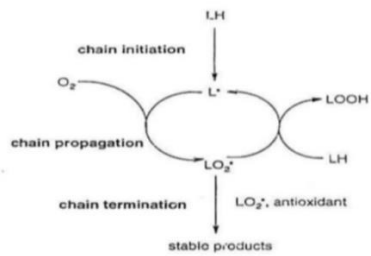
- Reaksi Propagasi



- Reaksi Terminasi



Reaksi dari ketiga tahap pembentukan radikal bebas tersebut disebut juga dengan reaksi rantai oksidasi yang dapat dilihat pada Gambar 2.2 (Papas, 1999).



Gambar 2.2 Reaksi rantai oksidasi radikal bebas (Papas, 1999)

Menurut Arief (2007), radikal bebas yang banyak terdapat dalam tubuh adalah radikal derivat dari oksigen atau yang disebut dengan kelompok oksigen reaktif (*Reactive Oxygen Species* (ROS)). ROS merupakan radikal bebas oksigen yang elektron tidak berpasangannya sangat reaktif. Pembentukan ROS dalam tubuh dapat terjadi ketika proses pembentukan energi, ionisasi, radiasi ultraviolet, ketika kadar antioksidan dalam tubuh rendah, dan ketika adanya pencemaran dari lingkungan sekitar. Radikal bebas yang terbentuk dapat menyebabkan berbagai penyakit diantaranya yaitu kanker, serangan jantung, arthritis, dan stroke. Radikal bebas yang termasuk dalam ROS diantaranya adalah radikal hidroksil (*OH), radikal superoksida (O₂*), radikal alkoksil (RO*), radikal nitrogen oksida (NO*), dan radikal peroksil (-COOH) (Yuslianti, 2018).

Salah satu jenis radikal bebas yang sangat reaktif adalah radikal hidroksil (*OH). Radikal ini dapat berasal dari dekomposisi hidroperoksida (ROOH). Selain itu radikal hidroksil juga dapat dihasilkan dari reaksi fisi homolitik ikatan O-O pada H₂O₂ seperti pada Persamaan 2.4 (Halliwell and John, 2015).



Radikal hidroksil dapat bereaksi dengan hampir seluruh materi biologis. Hal inilah yang menyebabkan radikal hidroksil bersifat sangat reaktif dan tidak stabil. Radikal jenis ini diperlukan dalam kimia radiasi karena reaksinya yang dapat membentuk hidrogen peroksida dan oksigen sehingga dapat memunculkan perkaratan dan radioaktif di lingkungan sekitarnya (Yuslianti, 2018).

2.6 Mencit

Mencit pada Gambar 2.3 termasuk ke dalam family *Muridae*, genus *Mus* dan spesies *Mus musculus*. Mencit merupakan salah satu hewan yang dapat dengan mudah beradaptasi dengan lingkungan sekitarnya. Mencit dapat hidup di daerah yang beriklim dingin, sedang, hingga panas. Lingkungan hidup mencit dapat berupa alam bebas maupun dalam kandang (Malole dan Promono, 1989). Mencit banyak digunakan sebagai hewan percobaan, bahkan 40% hingga 80% penelitian menggunakan mencit sebagai hewan uji laboratorium. Hal ini karena mencit memiliki keunggulan seperti siklus hidup relatif pendek, genetiknya bervariasi, jumlah anak per kelahiran banyak, mudah beradaptasi, serta karakteristik reproduksi dan sifat produksinya mirip dengan hewan mamalia lainnya seperti sapi, kambing, domba, dan babi (Moriwaki et al., 1994).

Mencit dapat hidup hingga umur 1-3 tahun dan memiliki tingkat kesuburan yang tinggi. Selama kurun waktu kurang lebih 1 tahun, mencit dapat menghasilkan kurang lebih satu juta keturunan. Produktivitasnya berlangsung selama 7-8 bulan dengan banyaknya anak yang dilahirkan rata-rata 6-10 anak per kelahiran (Priyambodo, 2003).

Mencit digunakan menjadi subjek penelitian sebagai pengganti manusia. Meskipun struktur anatomi dan fisik dari mencit berbeda dengan manusia, akan tetapi mencit termasuk hewan mamalia yang memiliki ciri-ciri fisiologi dan biokimia yang menyerupai manusia. Sehingga mencit baik untuk digunakan sebagai hewan uji dalam penelitian (Syahrin, 2006).



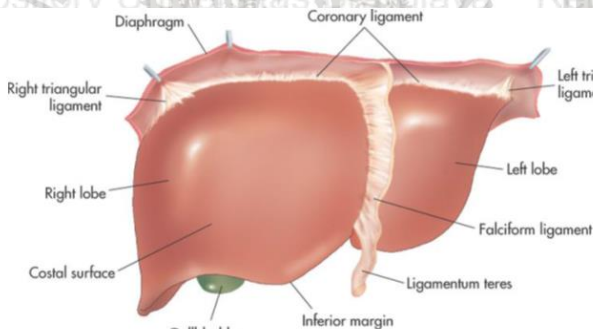
Gambar 2.3 Mencit (Tetebano, 2011)

2.7 Hati

2.7.1 Anatomi dan Fisiologi Hati

Hati atau hepar adalah organ terbesar dalam tubuh yang terletak di sebelah kanan atas rongga abdomen. Hati termasuk sebagai tempat untuk persediaan darah, oleh karena itu hati berwarna merah tua (Sloane, 2004).

Hati pada Gambar 2.4 terdiri dari empat lobus yang saling berhubungan, yaitu lobus kanan, lobus kiri, lobus kaudatus, dan lobus kuadratus. Lobus kanan merupakan bagian lobus terbesar. Pada bagian tengah hati terdapat ligamen falsiform yang memisahkan antara lobus kanan dengan lobus kiri dan ditutupi oleh kapsula fibrous yang tipis atau yang disebut dengan *Glisson's capsul*. Darah yang kaya akan oksigen dialirkan menuju hati melewati vena umbikalis atau ligamentum teres hepatic. Darah yang tidak melewati hati masuk ke dalam venosum (Young et al., 2006).



Gambar 2.4 Anatomi Hati (Mosby, 2001)

Menurut Guyton dan Hall (2006), fungsi dari hati diantaranya adalah :

a. Metabolisme karbohidrat

Hati memiliki peranan penting dalam proses metabolisme karbohidrat karena hati memiliki fungsi untuk menyimpan glikogen dalam jumlah besar, mengubah galaktosa dan fruktosa menjadi glukosa, glukoneogenesis, dan membentuk senyawa kimia penting lainnya.

b. **Metabolisme lemak**

Dalam proses metabolisme lemak, hati berfungsi untuk menyuplai energi bagi fungsi tubuh lainnya dengan cara mengoksidasi asam lemak, membentuk lemak yang berasal dari protein dan karbohidrat, dan membentuk sebagian kolesterol, lipoprotein, serta fosfolipid.

c. **Metabolisme protein**

Fungsi hati pada metabolisme protein adalah pembentuk protein plasma, mengeluarkan amonia dari cairan tubuh dengan cara membentuk ureum, deaminasi asam amino, dan membentuk senyawa lain dari asam amino.

d. **Fungsi lain**

Hati memiliki fungsi lainnya yaitu sebagai tempat penyimpanan vitamin dan zat besi, membentuk zat-zat yang digunakan untuk koagulasi darah dan mengekresi hormon, obat-obatan, dan zat lain.

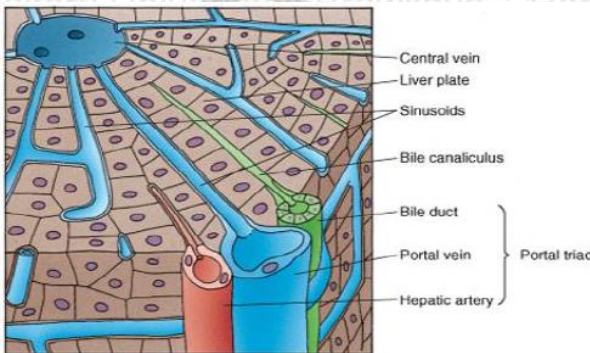
2.7.2 Histologi

Sel-sel penyusun hati diantaranya adalah sel hepatosit, sel endotel, sel makrofag yang biasa disebut sebagai sel kuppfer, dan sel ito yaitu sel penimbun lemak. Sel hepatosit terletak dalam lobulus hati yang tersusun berderet secara radier membentuk lapisan sel sebanyak 1-2 yang serupa dengan susunan bata. Lempong sel ini mengarah dari tepian lobulus ke pusatnya dan membentuk struktur seperti busa dan labirin. Diantara lempeng-lempeng ini terdapat celah yang mengandung kapiler dan disebut dengan sinusoid hati (Junqueira et al., 2007).

Sinusoid hati adalah saluran pada lobulus hari yang berliku-liku dan melebar serta dilapisi oleh 3 macam sel. Sel yang melapisi sinusoid diantaranya yaitu sel endotel dengan bentuk inti yang pipih gelap, sel kuppfer yang fagositik dengan inti ovoid, dan sel ito atau *liposit hepatic* yang berfungsi menyimpan vitamin A dan memproduksi matriks ekstraseluler serta kolagen. Aliran darah di sinusoid merupakan darah yang kaya akan nutrisi dari saluran pencernaan dan juga kaya oksigen dari jantung. Darah yang dialirkan melalui sinusoid berasal dari cabang terminal vena portal dan arteri

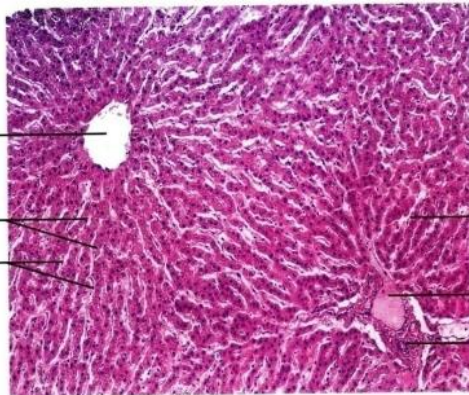
hepatik atau dapat dilihat pada Gambar 2.5. kemudian darah ini dialirkan ke *vena centralis* (Junqueira et al., 2007).

Darah arteri dan vena berjalan menuju *vena centralis* melalui sinusoid yang berada di antara sel-sel hepar. *Vena centralis* yang berada di masing-masing lobulus bermuara ke *venae hepaticae*. Canalis hepatis yang terdapat dalam ruangan antara lobulus-lobulus berisi cabang-cabang *arteria hepatica*, *vena portae hepatis*, dan sebuah cabang *ductus choledochus* (trias hepatis) seperti pada Gambar 2.6. (Sloane, 2004).



Gambar 2.5 Lobulus hepatic (Gartner, 2003)

Pada hati terdapat aliran darah yang terbagi dalam unit struktural yang disebut dengan asinus hepatic. Asinus hepatic terletak di traktus portal dan berbentuk seperti buah berry. Traktus portal dapat ditemukan di sudut-sudut heksagonal dan terdiri dari venula portal terminal, arteriola, serta duktus biliaris. Asinus hepatic terletak diantara 2 atau lebih venula hepatic terminal. Asinus terbagi menjadi 3 zona, dengan zona 1 merupakan zona yang banyak menerima darah kaya oksigen karena zona ini terletak dekat dengan traktus portal, sedangkan zona 3 hanya menerima sedikit oksigen karena letaknya yang jauh dari traktus portal dan paling mudah terkena jejak iskemik. Zona 2 merupakan zona yang berada di antara zona 1 dan 3 (Junqueira et al., 2007).



Gambar 2.6 Gambaran mikroskopis hati (Eroschenko, 2010)

2.7.3 Kerusakan Organ Hati

Kerusakan pada organ hati ditandai dengan kenaikan konsentrasi bilirubin sehingga mata dan kulit menjadi menguning. Selain itu, kerusakan hati juga ditandai dengan SGOT (*Serum Glutamic Oxaloacetic Transaminase*), SGPT (*Serum Glutamic Pyruvic Transaminase*) dan GGT (*Gamma Glutamyl Transaminase*) mengalir ke dalam darah. Jenis-jenis penyakit hati diantaranya adalah sirosis hati, hepatitis, penyakit kuning, penyakit Wilson, dan tumor hati (Lu, 1995). Menurut Depkes RI (2007), perbedaan dari jenis penyakit hati tersebut adalah :

a. Hepatitis

Penyakit hepatitis dapat disebabkan oleh virus maupun obat-obatan. Jenis virus dari hepatitis diantaranya adalah hepatitis A, B, C, D, E, F, dan G. Hepatitis termasuk penyakit menular yang penularannya dapat melalui darah, jarum suntik, transfusi darah, dan lainnya.

b. Sirosis hati

Sirosis hati adalah suatu penyakit ketika anatomi pembuluh darah besar dan seluruh sistem di hati berubah menjadi tidak teratur. Penyakit ini dapat disebabkan karena faktor keturunan, virus hepatitis, penyakit Wilson, dan hemokromatosis.

c. Kanker hati

Pada umumnya kanker hati terjadi karena komplikasi dari penyakit hepatitis kronis akibat virus hepatitis B dan hemokromatosis.

d. Hemokromatosis

Hemokromatosis terjadi ketika terdapat pengendapan zat besi dalam jaringan. Sehingga proses metabolisme zat besi akan terganggu.

e. Kolestasis dan Jaundice

Kolestasis terjadi ketika produksi atau pengeluaran empedu gagal. Sehingga akan terjadi penumpukan empedu, bilirubin, dan kolesterol di hati. Sedangkan *jaundice* adalah kelebihan bilirubin dalam sirkulasi darah.

f. Abses hati

Infeksi bakteri atau amuba di hati menyebabkan terjadinya abses hati. Gejala yang ditimbulkan jika terkena abses hati adalah demam dan menggigil.

2.8 Electron Spin Resonance (ESR)

Electron Spin Resonance (ESR) adalah salah satu metode yang digunakan untuk mengamati aktivitas radikal bebas. Prinsip kerjanya adalah dengan mengamati penyerapan energi yang dilakukan oleh elektron radikal bebas terhadap radiasi elektromagnetik akibat terjadi resonansi dengan medan magnet. Pada dasarnya ESR menggunakan hubungan antara momentum sudut spin elektron (s) pada keadaan $s = +1/2$ dan $s = -1/2$ dengan momen magnetnya (μ) yang dapat ditulis dengan Persamaan 2.5.

$$\mu = g\mu_B S \quad (2.5)$$

dengan g adalah faktor Lande dan β adalah magneton Bohr yaitu sebesar $9,273 \times 10^{-24} \text{Am}^2$ (Atkins, 1999).

Efek Zeeman adalah terpecahnya garis spektral akibat adanya medan magnet eksternal. Garis spektral yang terpecah terbagi menjadi tiga dengan frekuensi yang berbeda-beda (Setyawarno dan Supahar, 2017). Efek Zeeman terjadi ketika momen magnetik dari atom berinteraksi dengan medan magnet eksternal, akibatnya terjadi degenerasi energi pada atom. Interaksi yang terjadi setiap tingkatan

energi ditunjukkan dengan momentum angular dari atom melalui Persamaan 2.6.

$$J = L + S \quad (2.6)$$

dengan L adalah orbit, S adalah spin momentum angular, dan J dapat diperoleh dari (L-S) hingga (L+S) (Schumacher, 2010).

Efek Zeeman terbagi menjadi dua yaitu efek Zeeman normal dan efek Zeeman anomali. Garis spektral pada efek Zeeman normal terpecah menjadi tiga komponen. Energi awal dan akhir diketahui memiliki angular momentum spin $S=0$ (Schumacher, 2010). Pada efek Zeeman anomali, garis spektral yang muncul ketika diberi medan magnet eksternal lebih dari tiga. Padahal berdasarkan teori, garis spektral yang muncul seharusnya adalah tiga sehingga efek ini disebut dengan efek Zeeman anomali. Garis spektral yang dihasilkan dari efek Zeeman jenis ini adalah 9 komponen dengan 6 komponen untuk $\Delta m_l = \pm 1$ dan 3 komponen untuk $\Delta m_l = 0$ (Topper, 2007).

Hubungan antara g dengan efek Zeeman yaitu nilai g dapat digunakan untuk mempelajari perbedaan efek Zeeman normal dan efek Zeeman anomali melalui Persamaan 2.7.

$$g = 1 + \frac{J(J+1)+S(S+1)-L(L+1)}{2J(J+1)} \quad (2.7)$$

(Melissinos dan Jim, 2003).

Hubungan antara spin orbit yaitu elektron paramagnet dengan inti atom sekitarnya dapat dilihat dengan menggunakan faktor Lande (g). Setiap molekul yang bersifat radikal memiliki nilai g yang berbeda-beda sehingga metode ini juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis radikal bebas (Atkins, 1999).

Proses terjadinya resonansi dari elektron yaitu ketika elektron dari radikal bebas yang tidak berpasangan menyerap energi gelombang elektromagnetik dari koil. Ketika proses ini terjadi, elektron akan mengalami eksitasi dan deeksitasi. Sehingga gelombang sinusoidal akan timbul akibat resonansi yang terjadi pada elektron. Nilai dari resonansi yang dihasilkan yaitu sebesar hf yang dapat digunakan untuk menentukan nilai g melalui Persamaan 2.8 (Selly dkk., 2015).

$$g = \frac{hf}{\mu_B B} \quad (2.8)$$

dengan : h = konstanta Planck ($h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ Ws}^{-2}$)

f = frekuensi yang digunakan (Hz)

μ_B = megneton Bohr ($\mu_B = 9,273 \times 10^{-24} \text{ Am}^2$)

B = medan megnet eksternal (T)

Medan magnet yang timbul pada kumparan Helmholtz akan menyebabkan terjadi efek Zeeman pada kulit atom dari sampel, besarnya medan magnet tersebut dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.9 (Selly dkk., 2015).

$$B = \mu_0 \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{n}{r} I \quad (2.9)$$

dengan : μ_0 = tetapan permeabilitas ruang hampa

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

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

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

I = arus yang mengalir pada kumparan Helmholtz (A)

Menurut Atkins (1999), setiap jenis radikal bebas memiliki nilai g yang berbeda-beda yaitu berkisar antara 1,9 hingga 2,1. Besarnya nilai g dari masing-masing jenis radikal bebas tersebut adalah seperti pada Tabel 2.2 (Juswono etc., 2020).

Tabel 2.2 Nilai faktor Lande (g)

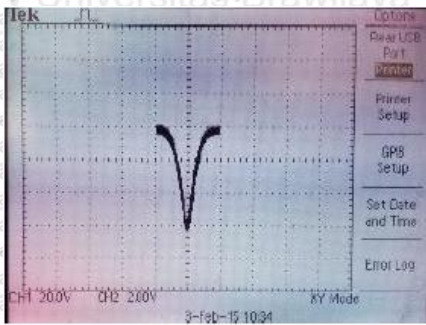
No.	Nama Radikal Bebas	Nilai faktor Lande (g)
1.	$^1\text{O}_2$	1,501
2.	O_2^-	1,501-1,750
3.	Fe_2^+	1,77
4.	MnO_2	1,8367
5.	FeS	1,86
6.	Hidroperoksida	1,9896
7.	CO_2^-	1,996-2,0007
8.	Cu	1,997
9.	SO_4^-	1,9976
10.	Hidroksil	2,00047

Tabel 2.2 bersambung

Lanjutan Tabel 2.2

11.	CO ₂	2,0007
12.	Alkoksil	2,0016-2,00197
13.	Helium	2,002
14.	Methanol	2,00205
15.	Alkil	2,00206
16.	Hidrogen	2,00232
17.	Methyl	2,00255-2,00286
18.	DPPH	2,0036
19.	SO ₃ ⁻	2,0037
20.	Etil	2,0044
21.	C	2,00505-2,,00548
22.	Peroksil	2,0155-2,0265
23.	CuOx	2,098
24.	CuGeO ₃	2,154
25.	YBa ₂ Cu ₃ O ₇	2,24
26.	Cu-HA	2,289
27.	Hg	4,0-4,5

Gelombang sinusoidal dari hasil resonansi yang dipadukan dengan gelombang elektromagnetik dari alat akan menghasilkan kurva *Lissajous*. Kurva *Lissajous* pada Gambar 2.7 merupakan pemetakan dari dua buah gelombang dan luas kurva *Lissajous* menunjukkan besarnya amplitudo dari masing-masing gelombang. Luas kurva *Lissajous* dapat dianggap sebagai luas kurva radikal bebas karena besarnya amplitudo berbanding lurus dengan kuadrat intensitas. Jika semakin besar amplitudo gelombangnya maka intensitas radikal bebas juga akan semakin besar. Sehingga kandungan radikal bebas dapat dilihat berdasarkan luas kurva *Lissajous* (Selly dkk., 2015).



Gambar 2.7 Kurva *Lissajous* pada osiloskop (Selly dkk., 2015)

2.9 Biolistrik

Biolistrik merupakan karakteristik kelistrikan dari suatu sel atau jaringan makhluk hidup. Sifat biolistrik meliputi nilai impedansi, kapasitansi, konduktansi, dan konstanta dielektrik. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi sifat biolistrik dari suatu jaringan, diantaranya adalah frekuensi, suhu, densitas, komposisi, dan struktur materi (Sucipto dkk., 2016).

Menurut Asriwati (2017), biolistrik merupakan fenomena listrik berupa elektron-elektron yang terpancar dari dalam tubuh akibat adanya rangsangan yang diterima. Sumber energi biolistrik pada manusia berasal dari ATP (*Adenosine Tri Posphate*) yang dihasilkan melalui proses respirasi sel pada mitokondria. Setiap sel dalam tubuh menghasilkan potensial listrik berupa muatan negatif yang terletak di dalam sel dan muatan positif di luar sel. Kedua muatan di sekitar sel ini dibatasi oleh membran sel. Dalam bidang fisika, hukum yang mempengaruhi biolistrik diantaranya adalah hukum Ohm dan hukum Joule. Hal ini dapat dibuktikan dengan bunyi dari hukum Ohm yaitu : “Perbedaan potensial antara ujung konduktor berbanding lurus dengan arus yang melewati dan berbanding terbalik dengan tahanan dari konduktor ”.

Berdasarkan bunyi dari hukum tersebut maka dapat dibuat persamaan seperti pada Persamaan 2.10.

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.10)$$

dengan : $R = \text{hambatan } (\Omega)$

$I = \text{kuat arus (A)}$

$V = \text{tegangan (V)}$

Sedangkan pada hukum Joule dinyatakan bahwa “Arus listrik yang melewati konduktor dengan beda potensial (V), dalam waktu tertentu akan menimbulkan panas”. Sehingga rumus yang didapat berdasarkan pernyataan dari hukum Joule yaitu seperti pada Persamaan 2.11.

$$Q = VI t \quad (2.11)$$

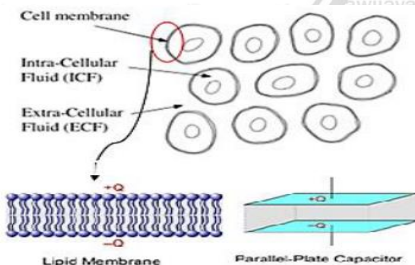
dengan : $Q = \text{energi panas yang ditimbulkan (J)}$

$V = \text{tegangan (V)}$

$I = \text{arus (A)}$

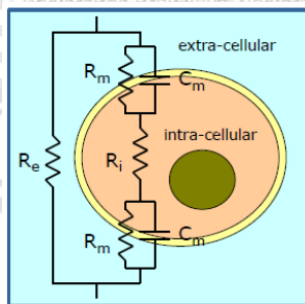
$t = \text{waktu ketika arus mengalir (s)}$

Sel pada suatu jaringan terdiri atas cairan intraseluler yang terdapat di dalam sel dan cairan ekstraseluler yang terdapat di luar sel. Cairan-cairan tersebut dapat berupa air, ion bebas, garam, elektrolit, maupun komponen lainnya. Suatu sel dibungkus oleh membran yang bersifat semipermeabel. Sehingga hanya beberapa ion tertentu saja yang dapat dilewatkan pada membran sel ini. Membran ini tersusun atas molekul-molekul berlapis ganda dan protein-protein. Membran sel berfungsi sebagai pembatas antara cairan intraseluler dengan cairan ekstraseluler. Sehingga sifat dari membran sel ini adalah konduktor. Peran membran sel sebagai batas antara dua bahan konduktor ini menyebabkan membran sel bersifat seperti kapasitor. Ilustrasi membran sel yang dapat bersifat seperti kapasitor dapat dilihat pada Gambar 2.8 (Jaffrin dan Morel, 2008).



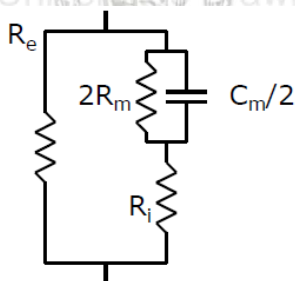
Gambar 2.8 Ilustrasi membran sel yang bersifat seperti kapasitor (Lorenzo et al., 1997)

Maxwell Wagner membuat model impedansi pada suatu jaringan dengan mengkombinasikan rangkaian parallel dari C_m dan R_m . C_m adalah nilai kapasitansi dari membran sel, R_m adalah nilai resistansi dari membran. Selain itu terdapat juga R_i dan R_e , dimana R_i adalah nilai resistansi di dalam sel dan R_e adalah nilai resistansi di luar sel. Model rangkaian listrik pada suatu sel berdasarkan model impedansi dari Maxwell Wagner dapat dilihat pada Gambar 2.9 (Yang et al., 2013).



Gambar 2.9 Model rangkaian listrik pada suatu sel (Ivorra, 2002)

Rangkaian listrik dalam sel pada Gambar 2.9 dapat disederhanakan lagi dengan menyusun R_m dan C_m menjadi rangkaian parallel seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Model rangkaian listrik pada suatu sel dengan

memparalelkan R_m dan C_m (Ivorra, 2002)

Besarnya impedansi listrik dari suatu sel dapat diperoleh dari nilai resistansi dan reaktansi kapasitif pada sel tersebut. Sehingga, menurut

Maxwell Wagner nilai impedansi dari suatu sel dapat dirumuskan seperti pada Persamaan 2.12 (Yang et al., 2013).

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

maka persamaan menjadi :

$$Z(\omega) = \frac{1}{G+j\omega C} \quad (2.12)$$

2.9.1 Impedansi Listrik

Impedansi adalah hambatan total suatu rangkaian yang terdiri dari kapasitor, resistor, dan induktor. Nilai impedansi digunakan untuk menentukan karakteristik dari suatu bahan. Nilai hambatan jenis bahan, sifat magnetik, dan sifat dielektrik dapat ditentukan melalui nilai impedansi listrik. Nilai impedansi dapat ditentukan melalui penurunan rumus dari hukum Ohm. Secara umum, impedansi digunakan untuk menggambarkan parameter hambatan seperti pada Persamaan 2.13 (Salamena dkk., 2017).

$$Z = \frac{V}{I} \quad (2.13)$$

dengan : R = hambatan (Ω)

I = kuat arus (A)

V = tegangan (V)

Menurut Giancoli (2001), faktor-faktor yang mempengaruhi nilai impedansi diantaranya adalah frekuensi, X_L , dan X_C . Jika frekuensinya bertambah maka X_L akan bertambah sedangkan X_C akan berkurang. Besarnya nilai impedansi yang dihasilkan dapat dihitung melalui Persamaan 2.14.

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (2.14)$$

Jika dijabarkan maka Persamaan 2.14 akan menjadi Persamaan 2.15.

$$Z = \sqrt{R^2 + (2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC})^2} \quad (2.15)$$

dengan : Z = impedansi (Ω)

R = hambatan (Ω)

X_L = reaktansi induktif (Ω)

X_C = reaktansi kapasitif (Ω)

f = frekuensi (Hz)

L = induktansi (H)

C = kapasitas kapasitor (F)

2.9.2 Resistansi

Resistansi atau hambatan dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan listrik pada komponen elektronik dengan arus listrik yang mengalir pada rangkaian tersebut. Arus listrik yang mengalir dapat dihambat oleh suatu alat yang dinamakan resistor. Besarnya nilai resistansi dapat ditentukan melalui Persamaan 3.10 (Lutfiyana dkk., 2017).

2.9.3 Induktansi

Induktansi dari suatu rangkaian elektronik dapat menyebabkan timbulnya potensial listrik terhadap arus yang mengalir pada rangkaian tersebut ataupun dari rangkaian lain. Satuan dari induktansi adalah weber per ampere atau biasa disebut dengan henry (H) (Yasa dkk., 2019).

Medan magnet induksi dapat timbul apabila terdapat dua buah kumparan yang didekatkan. Jika arus yang dialirkan pada kedua kumparan merupakan arus yang searah maka beda potensial yang terjadi antar kedua ujung solenoid akan mendekati nol. Hal ini karena besarnya beda potensial sama dengan perkalian antara arus dengan hambatan solenoid. Sedangkan, jika solenoid dialiri arus yang berubah-ubah maka sifat dari solenoid juga akan berubah. Hal inilah yang akan mengakibatkan ggl induksi karena perubahan dari medan magnet dan fluks magnet pada solenoid (Amri dkk., 2018).

2.9.4 Kapasitansi

Menurut Young dan Freedman (2003), kemampuan suatu kapasitor dalam menampung muatan listrik dapat dinyatakan dalam besaran kapasitansi. Besarnya kapasitansi juga bergantung pada

ukuran dan bentuk konduktor. Jika terdapat sebuah material pengisolasi atau dielektrik, maka nilai kapasitansi juga dapat bertambah. Pengukuran nilai kapasitansi dapat dilakukan berdasarkan besarnya muatan yang disimpan pada suatu kenaikan tegangan atau dapat ditulis dengan Persamaan 2.16.

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2.16)$$

dengan : C = kapasitansi (F)
Q = muatan elektron (C)
V = tegangan (V)

2.10 Antioksidan

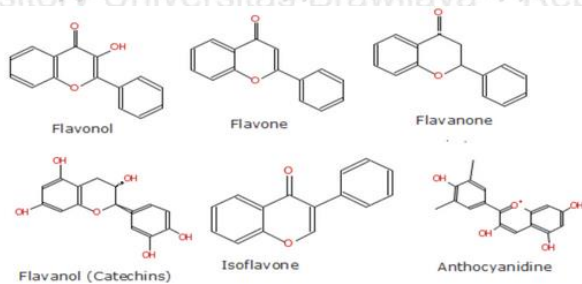
Pengertian dari antioksidan dapat didefinisikan secara kimia dan biologi. Berdasarkan definisi secara kimia, antioksidan adalah senyawa yang memberikan elektronnya ke senyawa lain. Senyawa lain yang didonorkan elektron oleh antioksidan adalah yang bersifat oksidan sehingga aktivitas berbahaya dari senyawa oksidan dapat dihambat. Sedangkan berdasarkan definisi secara biologi, antioksidan adalah senyawa yang dapat menangkal dampak negatif oksidan di dalam tubuh. Berdasarkan mekanisme kerjanya, antioksidan dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu antioksidan primer, antioksidan sekunder, dan antioksidan tersier. Antioksidan primer disebut juga dengan antioksidan enzimatis karena jenis antioksidan ini terdiri dari enzim superoksida dismutase, katalase, dan glutation peroksidase. Mekanisme kerja dari enzim-enzim tersebut untuk menghambat pembentukan radikal bebas yaitu dengan memutus reaksi berantai kemudian mengubahnya menjadi produk yang lebih stabil. Sedangkan antioksidan sekunder disebut juga dengan antioksidan *non-enzimatis*. Senyawa antioksidan sekunder merusak atau memotong reaksi oksidasi berantai sehingga radikal bebas tidak dapat bereaksi dengan komponen lain. Senyawa pada antioksidan sekunder meliputi vitamin E, vitamin C, flavonoid, karoten, bilirubin, dan albumin. Kelompok antioksidan tersier terdiri dari enzim DNA-*repair* dan metionin sulfoksida reduktase yang berfungsi untuk memperbaiki biomolekuler yang rusak akibat aktivitas radikal bebas (Winarsi, 2007).

Menurut Hariyatmi (2004), jika ditinjau berdasarkan sumbernya maka antioksidan dapat dibedakan menjadi dua yaitu antioksidan endogen dan antioksidan eksogen. Antioksidan endogen merupakan antioksidan yang diproduksi dari dalam tubuh yaitu berupa enzim *Superoksida Dismutase* (SOD), *Glutathionin Peroksidase*, dan katalase. Sedangkan antioksidan eksogen yaitu antioksidan yang berasal dari luar tubuh, misalnya dari sayur-sayuran, rempah-rempahan, dan buah-buahan.

Enzim SOD terletak di mitokondria dan sitosol. Ketika tahap awal pembentukan radikal bebas telah terjadi di dalam tubuh, enzim SOD membutuhkan Mn (mangan), Cu (tembaga) dan Zn (seng) untuk mengendalikan radikal bebas tersebut. Sedangkan enzim *Glutathionin Peroksidase* adalah enzim yang berfungsi untuk menghilangkan H_2O_2 dalam tubuh serta menstabilkan konsentrasi oksigen agar tidak berubah menjadi peroksida. Enzim katalase dapat ditemukan pada retikulum endoplasma dalam sel yang berfungsi mengkatalisasi radikal bebas dan peroksida menjadi oksigen dan air (Mukono, 2005).

Antioksidan eksogen yang banyak ditemukan pada sayur-sayuran, rempah-rempahan, dan buah-buahan diantaranya adalah vitamin E, vitamin C, senyawa flavonoid, senyawa fenolik, dan lainnya. Senyawa flavonoid dan senyawa fenol memiliki aktivitas antioksidan yang dapat menghambat aktivitas karsinogen. Sedangkan vitamin dapat berfungsi sebagai pencegah penyakit hepar (Winarsi, 2007).

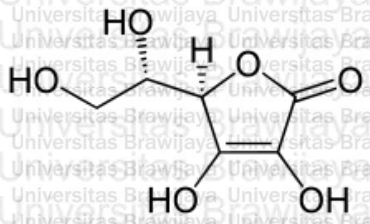
Senyawa flavonoid merupakan kelompok senyawa fenol yang banyak ditemukan di alam. Terdapat beberapa jenis flavonoid utama yang sering dijumpai, diantaranya adalah *flavanols*, *flavanones*, *flavones*, *flavonols*, *isoflavons* dan *anthocyanidins*. Struktur kimia berbagai jenis flavonoid tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.11. Flavonoid disebut juga dengan bioflavonoid karena senyawa ini memiliki aktivitas senyawa antioksidan di dalam tubuh. Selain itu, flavonoid juga berfungsi sebagai *radical scavenging antioxidant* yaitu dapat menangkap radikal bebas yang akan menyerang lipid dan menangkap radikal peroksil lipid (Yuslianti, 2018).



Gambar 2.11 Struktur kimia jenis-jenis flavonoid (Yuslianti, 2018)

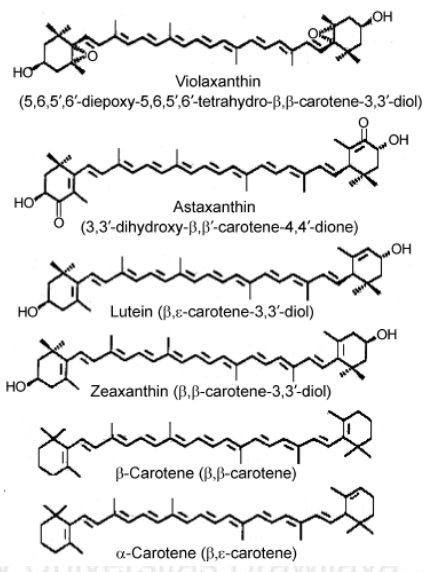
Flavonoid merupakan salah satu jenis senyawa antioksidan yang kuat. Hal ini dikarenakan dalam struktur kimia flavonoid terdapat lebih dari satu gugus fenol dan juga memiliki ikatan ganda yang terkonjugasi, dimana struktur ini diperlukan dalam mengikat radikal bebas. Mekanisme flavonoid dalam bertindak sebagai antioksidan yaitu dengan mengambil atom hidrogen dari radikal bebas (R^*) agar ikatan ganda yang dimiliki oleh flavonoid dapat stabil. Sehingga akan terbentuk flavonoid fenoksil yang kemudian dapat menyerang radikal bebas yang lain dan menghilangkan ikatan ganda pada flavonoid, menstabilkan strukturnya, dan menetralisasi radikal bebas (Avisha & Utami, 2018).

Senyawa antioksidan lainnya yang banyak ditemukan pada tumbuhan adalah vitamin C. Vitamin C dapat digunakan untuk mengurangi stres oksidatif dan bertindak sebagai pendonor elektron. Vitamin C mendonorkan elektronnya agar senyawa-senyawa lain tidak teroksidasi sehingga dapat mencegah timbulnya radikal bebas. Vitamin C dapat menjadi antioksidan untuk lipid, protein, dan DNA dengan cara bereaksi dengan oksigen sehingga dapat mencegah terbentuknya lipid hiperoksidan ataupun dengan mencegah reaksi antara oksigen dan asam amino (Padayatty, 2003). Struktur kimia dari vitamin C dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Struktur kimia vitamin C (Lee et al., 2004)

Salah satu antioksidan kuat yang banyak terdapat pada tumbuhan adalah karotenoid. Karotenoid merupakan senyawa yang bertindak sebagai pigmen pada tumbuhan. Lebih dari 500 pigmen yang terdapat pada tumbuhan diidentifikasi termasuk dalam kelompok karotenoid, yang dibagi menjadi karoten dan xantofil. Salah satu bentuk dari senyawa karoten adalah beta karoten yang merupakan penawar kuat untuk oksigen reaktif. Jenis karotenoid lainnya yang efektif sebagai antioksidan adalah likopen, lutein, astaksantin, violaksantin, dan zeaksantin (Yuliarti, 2009). Setiap jenis karotenoid memiliki struktur kimia berbeda-beda yang dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Struktur kimia jenis-jenis karotenoid (Ranga et al., 2009)

2.11 Jahe Merah

Menurut Hapsoh, dkk (2008), berdasarkan taksonomi tumbuhan, tanaman jahe merah dapat diklasifikasikan menjadi :

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Divisi	: <i>Spermatophyta</i>
Subdivisi	: <i>Angiospermae</i>
Kelas	: <i>Monocotyledonae</i>
Ordo	: <i>Zingiberales</i>
Famili	: <i>Zingiberaceae</i>
Genus	: <i>Zingiber</i>
Spesies	: <i>Zingiber officinale</i> Rosc.

Jahe merah (*Zingiber officinale* Rosc.) mengandung senyawa kimia yang terdiri dari minyak menguap (*volatit oil*), minyak tidak menguap (*nonvolatile oil*), dan pati. Salah satu jenis dari minyak menguap adalah minyak atsiri yang memberikan bau khas terhadap jahe merah. Sedangkan pada minyak tidak menguap terdapat kandungan oleoresin yang memberikan rasa pedas dan pahit pada jahe merah. Senyawa kimia lainnya yang terkandung pada jahe merah yaitu *gingerol*, *1,8-cineole*, *10-dehydro-gingerdione*, *6-gingerdione*, *arginine*, *α -linolenic acid*, *aspartic*, *β -sitosterol*, *caprylic acid*, *capsaicin*, *chlorogenis acid*, *farnesal*, *farnesene*, *farneso*, dan serat *resin* (Utami, 2002).

Jahe merah seperti pada Gambar 2.14 merupakan salah satu tanaman rempah-rempah yang dikenal masyarakat luas. Rasa pedas serta aroma yang khas dari jahe merah menjadikan tanaman ini seringkali dimanfaatkan sebagai obat tradisional dan bumbu masakan. Manfaat jahe merah dalam bidang kesehatan diantaranya adalah sebagai penguat hepar, menguatkan kekebalan tubuh, mencegah proses penuaan, memicu regenerasi sel kulit, dan anti inflamasi. Senyawa antioksidan yang terdapat pada jahe merah yaitu *gingerol*, *shagaol*, *zingerone*, dan flavonoid. Senyawa lain yang telah diindikasikan sebagai antioksidan kuat pada jahe merah adalah flavonoid (Zakaria dkk., 2000).



Gambar 2.14 Jahe Merah (Hapsoh, 2008)

2.12 Temulawak

Klasifikasi tanaman temulawak menurut Wijayakusuma (2007) adalah sebagai berikut :

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Divisi	: <i>Spermatophyta</i>
Subdivisi	: <i>Angiospermae</i>
Kelas	: <i>Monocotyledonae</i>
Ordo	: <i>Zingiberales</i>
Famili	: <i>Zingiberaceae</i>
Genus	: <i>Curcuma</i>
Spesies	: <i>Curcuma xanthorrhiza</i> Roxb.

Temulawak pada Gambar 2.15 mengandung berbagai senyawa kimia seperti minyak atsiri sebesar 3-12 %, pati sebesar 48-54 %, dan kurkumin. Senyawa lain yang terdapat pada temulawak yaitu *α*-kurkumen, *ar*-turmeron, dan *α*-atlanton. Selain itu, rimpang temulawak juga mengandung senyawa flavonoid dan fenol yang berfungsi sebagai antioksidan alami (Dalimartha, 2000).

Temulawak merupakan salah satu tanaman yang banyak ditemukan di resep-resep obat, terutama obat tradisional. Kandungan senyawa pada temulawak yang memiliki khasiat serta manfaat berlimpah menjadikan tanaman ini banyak dibudidaya untuk diolah menjadi obat, bahan kosmetik, penyedap makanan, maupun lainnya.

Manfaat dari temulawak diantaranya adalah sebagai obat gangguan fungsi hati, menurunkan kadar kolesterol hati, mengaktifkan enzim pemecah lemak di hati, mengobati kerusakan pada parenkim hati, meningkatkan produksi dan sekresi empedu, obat anti inflamasi sehingga sangat baik untuk mengobati penyakit sendi ataupun rematik, dan sebagai antioksidan. Temulawak juga berfungsi untuk mengatasi masalah kesehatan lainnya seperti ambeien, sariawan, maag, batuk, dan asma (Afifah dan tim lentera, 2003).



Gambar 2.15 Temulawak (Itanursari, 2009)

2.13 Buah Mengkudu

Menurut Djauhariya (2003) klasifikasi dari tanaman mengkudu berdasarkan taksonomi tumbuhan adalah sebagai berikut :

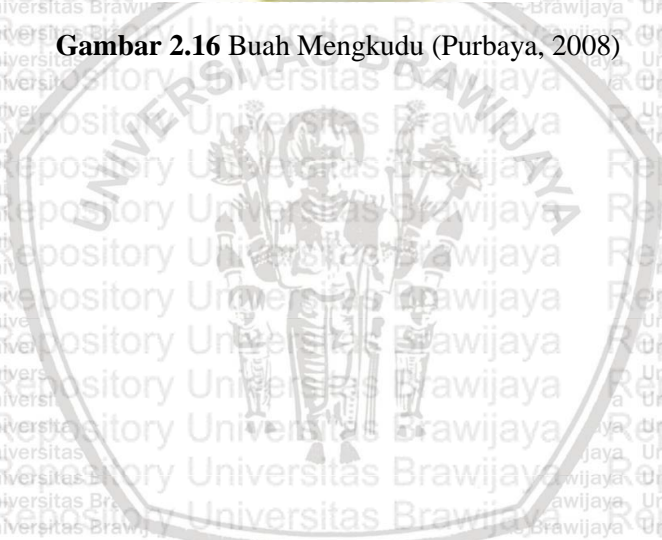
- Kingdom : *Plantae*
- Divisi : *Spermatophyta*
- Subdivisi : *Angiospermae*
- Kelas : *Monocotyledonae*
- Ordo : *Rubiales*
- Famili : *Rubiaceae*
- Genus : *Morinda*
- Spesies : *Morinda citrifolia*, L.

Senyawa bioaktif yang terkandung pada buah mengkudu seperti Gambar 2.16 diantaranya adalah *xeronine*, *proxeronine*, *dammacantal*, *scopoletin*, vitamin C, alkaloid, saponin, flavonoid, steroid, terpenoid, arginin, prolin, lisin, sitosterol, dan lainnya. Berdasarkan kandungan senyawa yang terdapat pada mengkudu maka

tanaman ini dapat dimanfaatkan sebagai antioksidan, antiseptik dan desinfektan, pengatur tekanan darah, penghambat pertumbuhan sel kanker, pengatur sistem imun, pembentuk kolagen pada tubuh, mengaktifkan kelenjar tiroid, dan lainnya (Djauhariya, 2003).



Gambar 2.16 Buah Mengkudu (Purbaya, 2008)



BAB III

METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Desember 2019 hingga Maret 2020 yang bertempat di Laboratorium Farmakologi Universitas Muhammadiyah Malang serta Laboratorium Fisika Lanjutan, Laboratorium *Measurement Circuit and System*, dan Laboratorium Sentral Ilmu Hayati (LSIH) Universitas Brawijaya Malang.

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah *chamber*, kandang mencit, neraca digital, gelas ukur, pipet, pengaduk, alat bedah, alat preparasi, masker, sarung tangan *latex*, papan bedah hewan, alat sonde, tabung durham, mikroskop binokuler, komputer, *slide glass*, satu set alat pengukur impedansi listrik yang meliputi *Bioelectrical Impedance Analysis (BIA)*, elektroda, dan kaca akrilik, satu set alat ESR yang meliputi ESR unit, pengendali ESR, osiloskop, multimeter, solenoid, dua buah kumparan Helmholtz, dan beberapa kabel penghubung. Sedangkan bahan yang digunakan adalah mencit jantan usia 2-3 bulan sebanyak 60 ekor, obat nyamuk *one push aerosol* tipe X (bahan aktif *transfluthrin* 25 %), akuades, alkohol, formalin 10%, pewarna HE (*Hematoksilin Eosin*), *xylol*, parafin, entellan, dan berbagai macam antioksidan yang meliputi ekstrak jahe merah, temulawak, serta buah mengkudu.

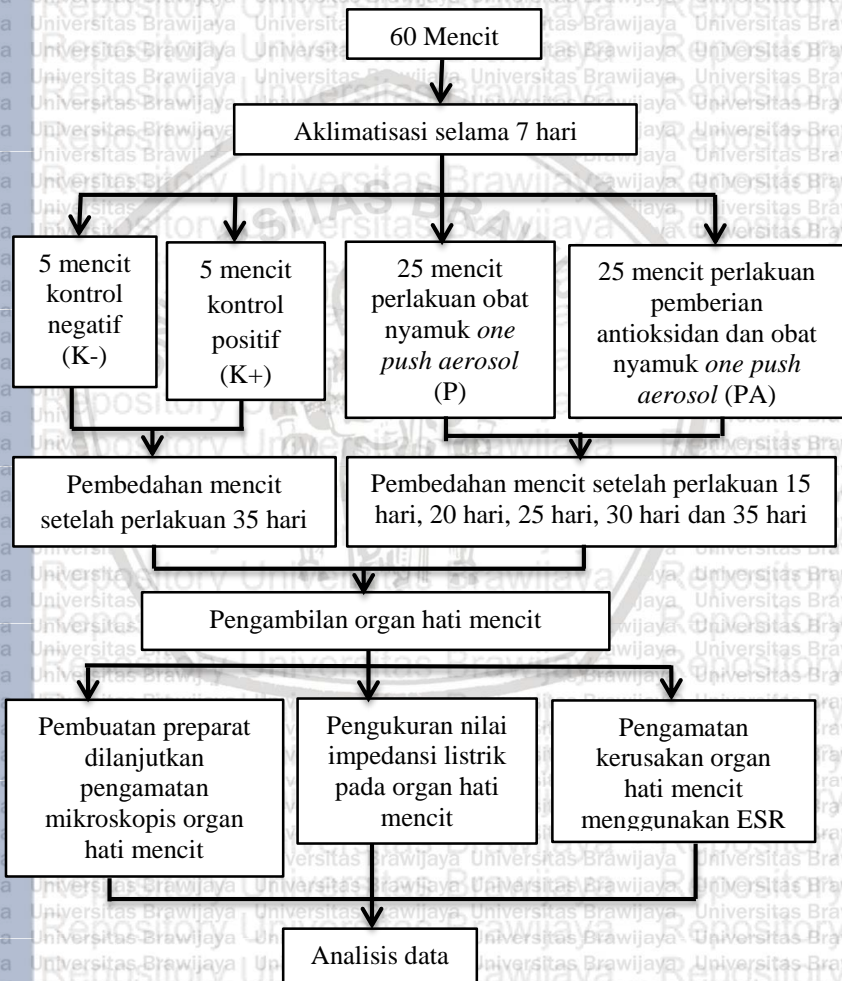
3.3 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa variabel yang digunakan, diantaranya adalah variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas pada penelitian ini meliputi jumlah hari mencit terpapar obat nyamuk *one push aerosol* dan setelah pemberian antioksidan. Variabel terikatnya adalah jumlah kerusakan dari organ hati mencit, nilai kecekungan kurva resonansi kuadrat, serta nilai impedansi, resistivitas, dan permitivitas organ hati. Sedangkan variabel kontrol dalam penelitian ini adalah banyaknya semprotan

obat nyamuk yang digunakan dan besarnya dosis antioksidan yang diberikan pada mencit.

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir seperti pada Gambar 3.1 yang dimulai dari persiapan alat dan bahan kemudian pengelompokan hewan uji.



Gambar 3.1 Diagram alir tahapan penelitian

3.5 Cara Kerja

3.5.1 Persiapan Hewan Uji

Mencit yang akan digunakan sebagai hewan uji dipelihara pada kandang yang berisi sekam serta pakan dan minum mencit. Sebelum dilakukan perlakuan, mencit terlebih dahulu diaklimatisasi selama 7 hari agar dapat beradaptasi dengan lingkungannya. Selanjutnya 60 hewan coba mencit dibagi menjadi 4 kelompok berdasarkan perlakuannya seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Pengelompokan hewan coba mencit

Kelompok	Nama	Perlakuan
Kontrol Negatif	K-	Tanpa paparan obat nyamuk <i>one push aerosol</i> dan tanpa pemberian antioksidan
Kontrol Positif	K+	Pemberian antioksidan dan Tanpa paparan obat nyamuk <i>one push aerosol</i>
5 kelompok paparan obat nyamuk <i>one push aerosol</i>	P1	Setelah 15 hari paparan obat nyamuk <i>one push aerosol</i>
	P2	Setelah 20 hari paparan obat nyamuk <i>one push aerosol</i>
	P3	Setelah 25 hari paparan obat nyamuk <i>one push aerosol</i>
	P4	Setelah 30 hari paparan obat nyamuk <i>one push aerosol</i>
	P5	Setelah 35 hari paparan obat nyamuk <i>one push aerosol</i>
5 kelompok pemberian antioksidan dan paparan obat nyamuk <i>one push aerosol</i>	PA1	Setelah 15 hari pemberian antioksidan dan paparan obat nyamuk <i>one push aerosol</i>

Tabel 3.1 bersambung

Lanjutan Tabel 3.1

PA2	Setelah 20 hari pemberian antioksidan dan paparan obat nyamuk <i>one push aerosol</i>
PA3	Setelah 25 hari pemberian antioksidan dan paparan obat nyamuk <i>one push aerosol</i>
PA4	Setelah 30 hari pemberian antioksidan dan paparan obat nyamuk <i>one push aerosol</i>
PA5	Setelah 35 hari pemberian antioksidan dan paparan obat nyamuk <i>one push aerosol</i>

3.5.2 Penentuan Dosis Antioksidan

Dosis antioksidan yang diberikan pada mencit ditentukan dengan cara mengkonversi dosis antioksidan yang diberikan kepada manusia menjadi dosis untuk mencit. Konversi ini dihitung melalui perbandingan massa mencit dengan massa manusia dikali dengan dosis yang diberikan kepada manusia yang dapat ditulis seperti pada Persamaan 3.1.

$$\text{Dosis mencit} = \frac{\text{massa mencit}}{\text{massa manusia}} \times \text{dosis manusia} \quad (3.1)$$

Menurut Wang dan Fischer (2008), hasil perbandingan antara massa mencit dengan massa manusia adalah 0,0026, sehingga dosis mencit dapat ditentukan melalui Persamaan 3.2.

$$\text{Dosis mencit} = 0,0026 \times \text{dosis manusia} \quad (3.2)$$

Berdasarkan konversi dosis tersebut, didapatkan besarnya dosis antioksidan yang diberikan pada mencit adalah seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Penentuan dosis antioksidan untuk mencit

Jenis Antioksidan	Dosis (mg)
Jahe Merah	3,12
Temulawak	5,72
Buah Mengkudu	7,8
Total	16,64

Sehingga dosis antioksidan yang diberikan pada mencit dalam penelitian ini adalah sebesar 16,64 mg. Dosis tersebut merupakan penjumlahan dari keseluruhan dosis antioksidan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya adalah jahe merah, temulawak, dan buah mengkudu. Pemberian antioksidan pada mencit dilakukan setelah mencit dipapar obat nyamuk *one push aerosol*. Antioksidan yang meliputi jahe merah, temulawak, dan buah mengkudu dimasukkan ke dalam mulut mencit dengan cara disonde.

3.5.3 Perlakuan Terhadap Hewan Uji Coba

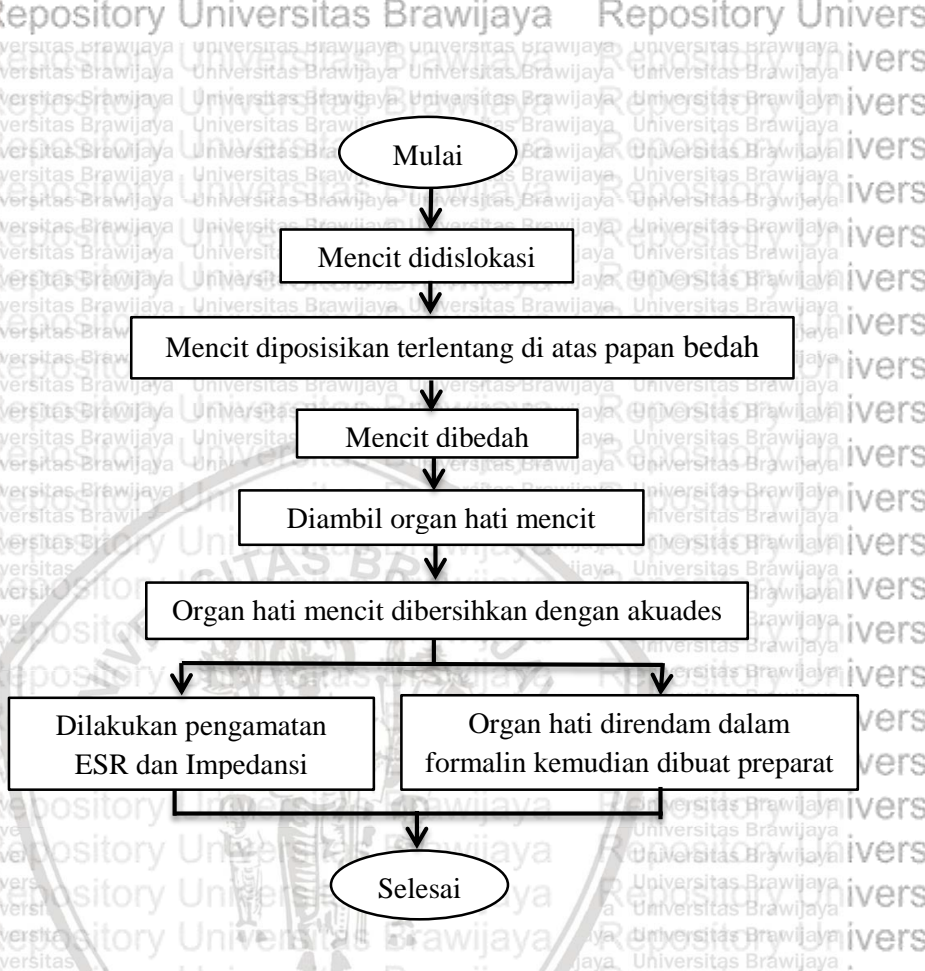
Perlakuan terhadap hewan uji coba yaitu dengan penyemprotan hewan coba mencit dengan obat nyamuk *one push aerosol* setiap hari dengan lama paparan bergantung pada masing-masing kelompok hewan uji. Perlakuan penyemprotan untuk kelompok paparan obat nyamuk *one push aerosol* (P) yaitu mencit dimasukkan ke dalam *chamber* yang tertutup rapat seperti pada Gambar 3.2 kemudian disemprot dengan obat nyamuk *one push aerosol* dengan jumlah semprotan sebanyak 3 semprot. Mencit kemudian dibiarkan dalam *chamber* tertutup selama 20 menit. Selanjutnya mencit dikembalikan ke dalam kandang. Untuk kelompok pemberian antioksidan dan paparan obat nyamuk *one push aerosol* (PA) yaitu terlebih dahulu mencit diberi antioksidan sesuai dosis yang telah ditentukan dengan cara disonde kemudian dibiarkan selama 20 menit dan selanjutnya dimasukkan ke dalam *chamber* untuk dipapar dengan obat nyamuk *one push aerosol*.



Gambar 3.2 Mencit dipapari obat nyamuk *one push aerosol*

3.5.4 Pembedahan Hewan Coba Mencit

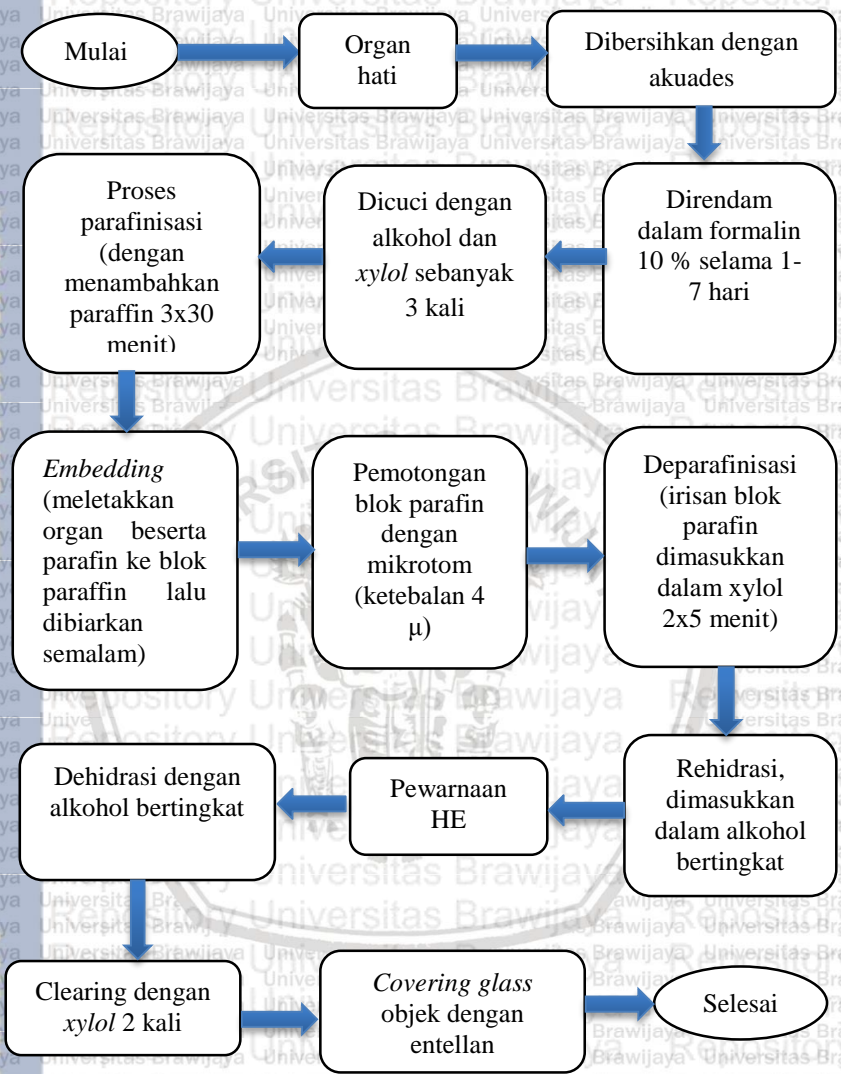
Setelah mendapatkan perlakuan selama 15 hari, 20 hari, 25 hari, 30 hari, dan 35 hari maka pada hari ke-16, ke-21, ke-26, ke-31, dan ke-36 dilakukan pembedahan mencit untuk diambil organ hatinya. Mencit dimatikan terlebih dahulu dengan cara dislokasi yaitu dengan menekan kepala bagian belakang sambil menarik ekornya. Mencit yang telah mati diletakkan diatas papan bedah dan selanjutnya dilakukan pembedahan untuk diambil organ hatinya. Organ hati yang telah diambil kemudian dibersihkan menggunakan akuades dan khusus untuk pembuatan preparat, organ hati yang telah bersih direndam dalam wadah yang berisi formalin selama tujuh hari untuk selanjutnya dibuat preparat. Sampel organ hati lainnya digunakan untuk pengamatan ESR, dan impedansi. Alur pembedahan hewan coba mencit secara rinci dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram alir pembedahan hewan coba mencit

3.5.5 Pembuatan Preparat Organ Hati

Pembuatan preparat bertujuan untuk memudahkan dalam mengamati kerusakan organ hati hewan coba mencit secara mikroskopis. Diagram alir pembuatan preparat organ hati untuk pengamatan mikroskopis dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Diagram alir pembuatan preparat organ hati menciit untuk pengamatan mikroskopis

3.6 Pengamatan Sampel Uji

3.6.1 Pengamatan Mikroskopis Kerusakan Organ Hati

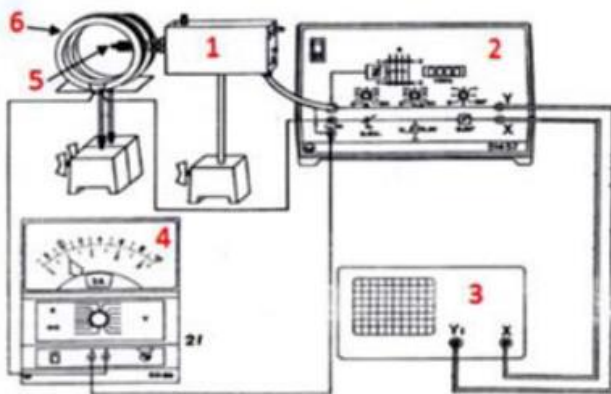
Preparat organ hati dari setiap mencit diamati dengan menggunakan mikroskop binokuler. Setiap preparat organ hati mencit dibagi menjadi 5 luas lapang pandang. Area dari 5 lapang pandang ini terdiri dari bagian atas, bawah, kanan, kiri, dan tengah. Kondisi sel hati yang sehat dan rusak dihitung untuk setiap luas lapang pandang berdasarkan metode *Manja Roenigk*. Sel hati yang dihitung dari hasil pengamatan mikroskopis adalah sel normal, sel yang mengalami degenerasi parenkim, sel yang mengalami degenerasi hidropik, dan sel yang mengalami nekrosis. Jumlah sel yang dihitung tersebut kemudian dikalikan dengan skor *Manja Roenigk*, dimana skor *Manja Roenigk* untuk sel normal adalah 1, sel yang mengalami degenerasi parenkim adalah 2, sel yang mengalami degenerasi hidropik adalah 3, dan sel yang mengalami nekrosis adalah 4. Hasil skor tersebut kemudian dijumlahkan sehingga didapatkan skor jumlah kerusakan untuk satu sampel organ hati. Adapun presentasi kerusakan sel hati dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.3.

$$\% \text{ kerusakan} = \frac{\text{jumlah skor sel rusak}}{\text{jumlah skor sel dalam satu lapang pandang}} \times 100\% \quad (3.3)$$

3.6.2 Pengamatan Radikal Bebas dengan *Electron Spin Resonance* (ESR)

Pengamatan ESR digunakan untuk mengetahui jenis radikal bebas yang terkandung pada sampel yang diteliti berdasarkan nilai faktor g yang dihasilkan. Radikal bebas pada sampel yang diteliti dapat dideteksi dari kurva *Lissajous* yang terbentuk akibat adanya resonansi antara radio frekuensi dari kumparan solenoid yang terserap oleh radikal bebas dengan medan magnet yang dipancarkan oleh koil Helmholtz. Sebelum dilakukan pengujian jenis radikal maka rangkaian alat ESR pada Gambar 3.5 harus dikalibrasikan menggunakan DPPH terlebih dahulu agar dapat diketahui keakuratan dari alat tersebut. Sampel organ hati yang akan dideteksi menggunakan alat uji ini terlebih dahulu dilatakan ke dalam tabung

durham. Selanjutnya dimasukkan ke dalam kumparan solenoid untuk diamati jenis radikal bebas serta kecekungan kurva resonansi yang dihasilkan dari masing-masing sampel.

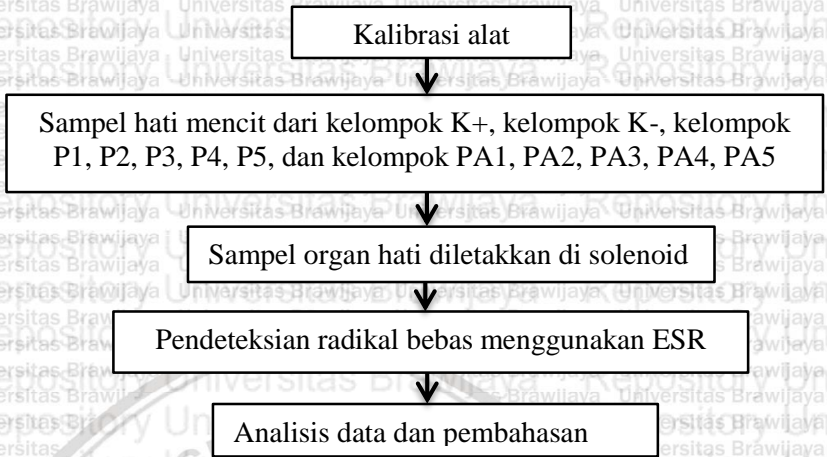


Gambar 3.5 Rangkaian alat ESR tipe Leybold Heracus

Keterangan gambar:

1. Pengatur radio frekuensi
2. Pengatur ESR
3. Osiloskop
4. Multimeter
5. Solenoid untuk tempat sampel
6. Kumparan Helmholtz

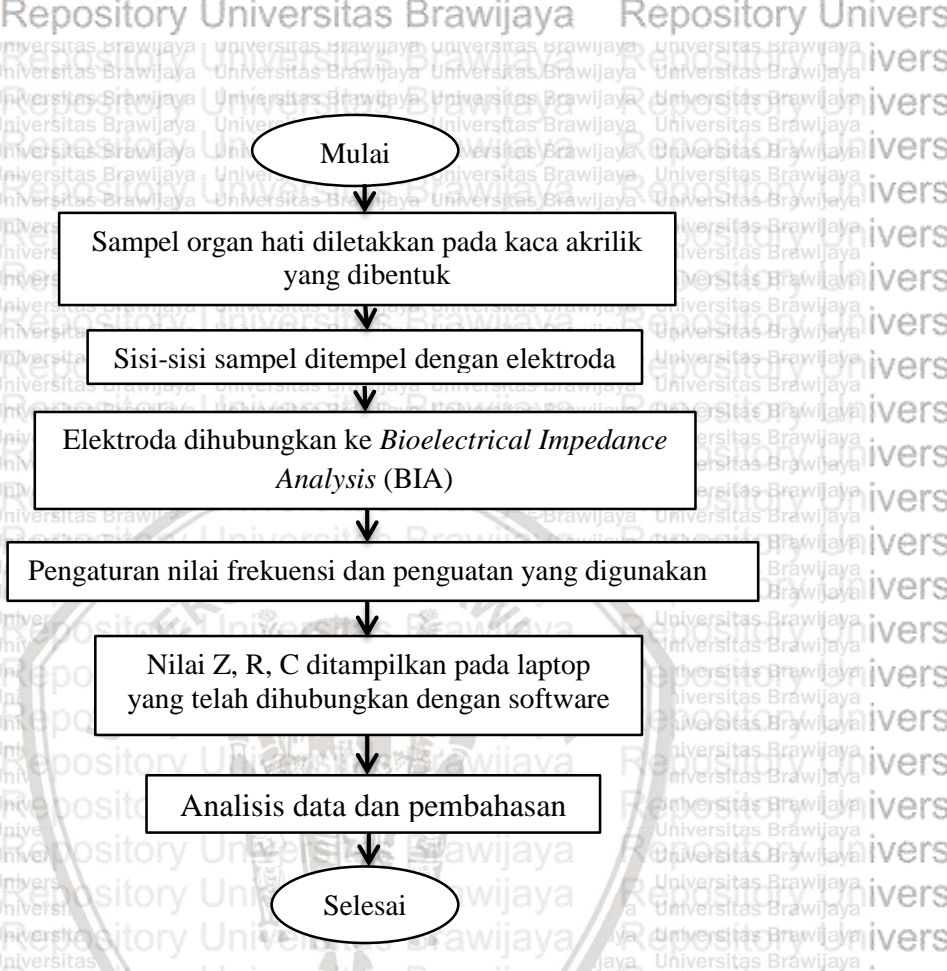
Terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan dalam pengidentifikasian radikal bebas. Prosedur pengamatan radikal bebas menggunakan ESR tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Diagram alir pengamatan ESR

3.6.3 Pengukuran Impedansi Listrik

Preparat organ hati dari kelompok K+, kelompok K-, kelompok P1, P2, P3, P4, P5, dan kelompok PA1, PA2, PA3, PA4, PA5 diamati untuk pengukuran nilai impedansi listrik. Pengukuran impedansi listrik menggunakan *Bioelectrical Impedance Analysis* (BIA) ini bertujuan untuk melihat perbandingan nilai impedansi, nilai kapasitansi, nilai resistansi, nilai resistivitas, dan nilai permitivitas yang dihasilkan dari masing-masing kelompok perlakuan. Sehingga sel yang sehat dan yang rusak pada organ hati akan lebih mudah diamati berdasarkan hasil pengukuran tersebut. Diagram alir pengukuran sampel hati untuk menentukan impedansi listrik dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Diagram alir pengukuran impedansi listrik

3.7 Analisis Data

3.7.1 Pengamatan mikroskopis

Data hasil pengamatan kerusakan sel hati yang telah diperoleh kemudian dikali dengan skor *Manja Roenigk* kemudian digitung persentase kerusakan sel dan selanjutnya diolah menjadi grafik dengan bantuan Microsoft Office Excel. Grafik yang dibuat merupakan korelasi antara kerusakan total sel hati akibat paparan obar nyamuk *one push aerosol* dan pemberian antioksidan (jahe merah, temulawak,

dan buah mengkudu) dengan lama paparan yang diberikan. Sehingga grafik yang ditampilkan adalah grafik antara jumlah sel hati yang rusak dengan jumlah hari lamanya terpapar obar nyamuk *one push aerosol* dan grafik antara jumlah sel hati yang rusak setelah pemberian antioksidan dengan jumlah hari lamanya perlakuan agar dapat diketahui pengaruh pemberian antioksidan terhadap kerusakan sel hati. Selain itu terdapat juga grafik kerusakan tiap sel masing-masing perlakuan dengan lama paparan yang diberikan.

3.7.2 Pengamatan ESR

Uji ESR digunakan untuk menentukan jenis radikal bebas yang ditentukan melalui perhitungan nilai faktor g. Nilai faktor g dapat dihitung melalui data yang telah didapatkan pada penelitian ini yaitu nilai dari frekuensi yang digunakan (f) dan besarnya arus yang mengalir pada kumparan (I). Data yang telah didapat digunakan terlebih dahulu untuk menentukan nilai dari medan magnet (B) melalui Persamaan 3.4.

$$B = \mu_0 \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{n}{r} I \quad (3.4)$$

dengan : μ_0 = tetapan permeabilitas ruang hampa ($\mu_0 = 1,2566 \times 10^{-6}$ Vs/Am)

n = jumlah lilitan kumparan Helmholtz (n = 320)

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

I = arus yang mengalir pada kumparan Helmholtz (A)

Setelah nilai dari medan magnet (B) telah didapat maka nilai faktor g dapat dihitung melalui Persamaan 3.5.

$$g = \frac{hf}{\mu_B B} \quad (3.5)$$

dengan : h = konstanta planck ($h = 6,63 \times 10^{-34}$ Ws⁻²)

f = frekuensi yang digunakan (Hz)

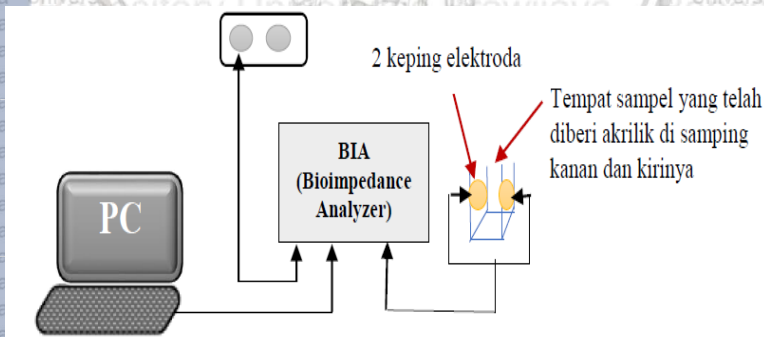
μ_B = megneton Bohr ($\mu_B = 9,273 \times 10^{-24}$ Am²)

B = medan megnet eksternal (T)

Nilai g yang dihasilkan dapat menentukan jenis radikal bebas yang terdapat pada organ yang diteliti dengan membandingkan antara nilai g yang didapat pada penelitian dengan nilai g yang terdapat pada literatur. Selain itu, dari hasil pengukuran ESR juga didapatkan besarnya intensitas radikal bebas yang terkandung pada masing-masing sampel. Nilai intensitas ini didapatkan dari amplitudo atau kecekungan kurva *Lissajous* yang dihasilkan. Pengukuran amplitudo ini menggunakan *software* khusus yang bernama ImageJ.

3.7.3 Pengukuran Nilai Impedansi Listrik

Nilai impedansi listrik pada penelitian ini didapatkan paa rentang frekuensi 100 Hz – 100 kHz. Berdasarkan data yang telah diperoleh maka untuk setiap kelompok perlakuan yaitu kelompok P dan kelompok PA dibuat grafik korelasi antara nilai impedansi dengan frekuensi yang didapat. Selain itu, dalam penelitian ini juga didapatkan nilai resistivitas dan nilai permitivitas pada masing-masing sampel yang selanjutnya dibuat grafik korelasi antara lama perlakuan dengan nilai resistivitas dan permitivitas. Sehingga dalam grafik tersebut, jumlah hari perlakuan merupakan variabel bebas ditampilkan sebagai sumbu X dan nilai impedansi, nilai resistivitas, dan nilai permitivitas yang merupakan variabel terikat ditampilkan pada sumbu Y. Skema alat pengukuran impedansi dapat dilihat pada Gambar 3.8.

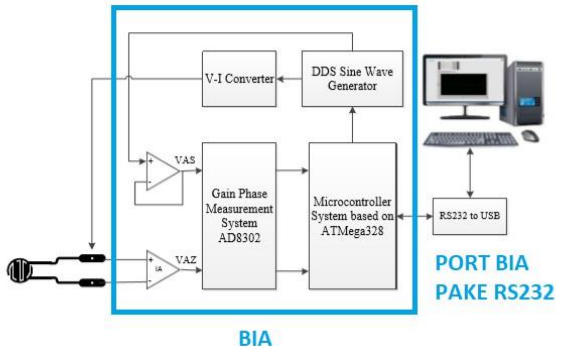


Gambar 3.8 Skema pengukuran impedansi



Gambar 3.9 Rangkaian Alat BIA

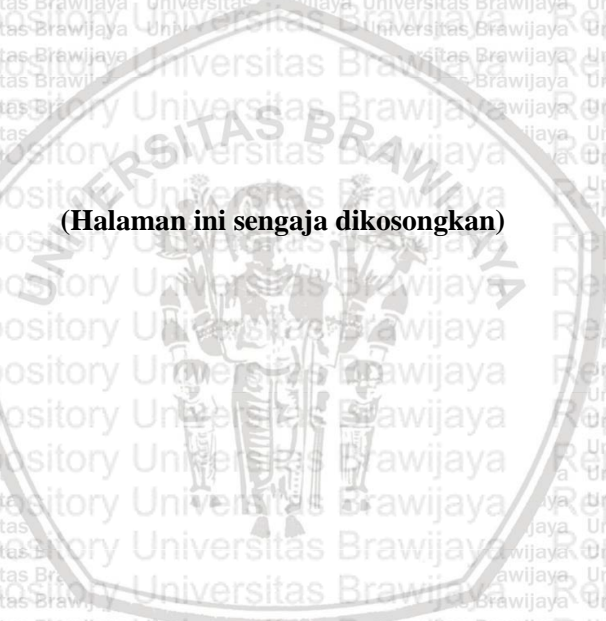
Pengaplikasian alat BIA seperti Gambar 3.9 dikendalikan oleh *software* khusus yang telah diinstall di komputer. Tahapan-tahapan yang diperlukan dalam penggunaa BIA antara lain, menginstall *software* pada komputer, meletakkan sampel pada akrilik yang telah diberi elektroda, kemudian mengatur nilai besaran yang digunakan pada penelitian. Besaran-besaran ini meliputi arus dan penguatan yang digunakan, rentang frekuensi yang digunakan, dan banyaknya pengulangan pengukuran yang dilakukan. Diagram blok sistem pengukuran yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Diagram blok sistem pengukuran BIA



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

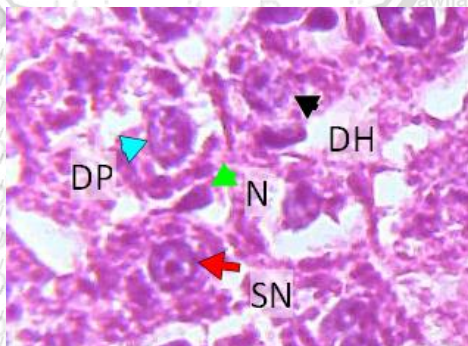
4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kerusakan sel yang ditimbulkan oleh bahan aktif *transfluthrin* yang terdapat pada obat nyamuk semprot *one push aerosol*, mengidentifikasi jenis radikal bebas yang terkandung dalam obat nyamuk semprot, serta menentukan nilai impedansi listrik pada organ hati mencit yang dipapar obat nyamuk semprot *one push aerosol* dan setelah diberi antioksidan. Penelitian ini meliputi aklimatisasi hewan coba mencit selama 7 hari, pembagian mencit dalam kelompok kontrol dan perlakuan, pembedahan mencit, pengambilan organ hati, pembuatan preparat, pengamatan mikroskopis, pengukuran ESR, pengukuran impedansi, dan pengolahan data. Penelitian yang dilakukan dengan pemberian paparan obat nyamuk dan antioksidan dalam waktu yang bervariasi yaitu selama 15 hari, 20 hari, 25 hari, 30 hari, dan 35 hari, bertujuan agar kerusakan organ hati akan lebih mudah teramati. Berdasarkan hasil penelitian ini, semakin lama paparan yang diberikan maka kerusakan organ hati yang ditimbulkan juga semakin besar. Hal ini dapat diketahui dari gambaran mikroskopis yang dihasilkan. Semakin tinggi tingkat kerusakan sel maka jumlah sel yang mengalami degenerasi parenkim, degenerasi hidropik, dan nekrosis semakin banyak. Kerusakan dari organ hati berpengaruh pada nilai impedansi, resistivitas, dan permitivitas. Nilai impedansi, resistivitas, dan permitivitas akan menurun seiring bertambah rusaknya sel organ hati.

4.1.1 Gambaran Mikroskopis Organ Hati Mencit

Pengamatan mikroskopis kerusakan organ hati dilakukan menggunakan mikroskop komputer binokuler olympus Cx 31 dengan perbesaran 400x. Gambaran histologi organ hati mencit yang diamati meliputi kontrol negatif yaitu ketika mencit tidak diberi perlakuan apapun, kontrol positif yaitu ketika mencit hanya di beri antioksidan, perlakuan dengan dipapar obat nyamuk dengan kandungan *transfluthrin* 25 %, dan perlakuan dengan diberi antioksidan sekaligus dipapar dengan obat nyamuk.

Pengamatan secara mikroskopis organ hati mencit meliputi bentuk sel pada organ hati mencit dari tiap kelompok perlakuan yang terdiri dari sel normal, degenerasi parenkim, degenerasi hidropik, dan nekrosis seperti pada Gambar 4.1. Organ hati normal adalah organ hati yang memiliki keteraturan sel yang baik dan memiliki sel normal atau sel sehat yang lebih banyak daripada sel rusak. Sel hati normal adalah sel yang memiliki bentuk poligonal, sitoplasma berwarna merah, sel tersusun rapi, dan batas dari dinding sel masih terlihat jelas. Kerusakan hati ditandai dengan adanya sel yang mengalami degenerasi dan nekrosis. Degenerasi sel diakibatkan adanya zat toksik yang ada pada hati dan apabila zat toksik tersebut dihilangkan sel dapat kembali normal seperti sedia kala. Kerusakan sel degenerasi terbagi menjadi dua, yaitu degenerasi parenkim dan degenerasi hidropik. Degenerasi parenkim merupakan degenerasi teringan yang ditandai dengan terjadinya pembengkakan pada sel, terdapat granula-granula pada sitoplasma, dan sitoplasma terlihat lebih keruh karena adanya air yang terserap masuk ke dalam sel. Sedangkan degenerasi hidropik ditandai dengan sitoplasma sel membengkak dan mengalami vakuolisasi sehingga sel nampak jernih karena menerima cariran lebih banyak dari normalnya. Nekrosis adalah kematian sel atau jaringan yang ditandai dengan sel bergranula, inti sel menjadi lebih padat atau sel berwarna gelap (piknotik) (Istikhomah & Lisdiana, 2016). Sedangkan menurut Suhita dkk (2013), jika dilihat secara mikroskopis ciri-ciri sel yang mengalami nekrosis diantaranya adalah inti sel tampak pecah (karioreksia), dan inti sel tampak hilang akibat terjadi hidrolisis kromatin (kariolisis).

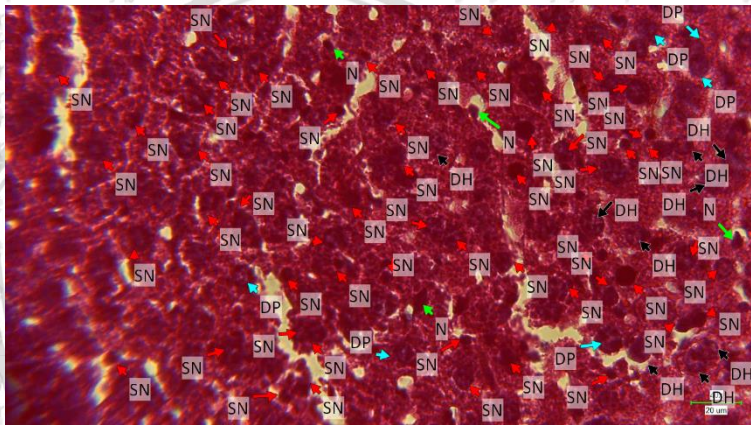


Gambar 4.1 Gambaran mikroskopis sel organ hati

Keterangan Gambar :

- SN : Sel Normal
- DP : Degenerasi Parenkim
- DH : Degenerasi Hidropik
- N : Nekrosis

Berikut ini merupakan gambaran mikroskopis organ hati mencit dari masing-masing kelompok perlakuan, baik kelompok paparan maupun kelompok pemberian antioksidan



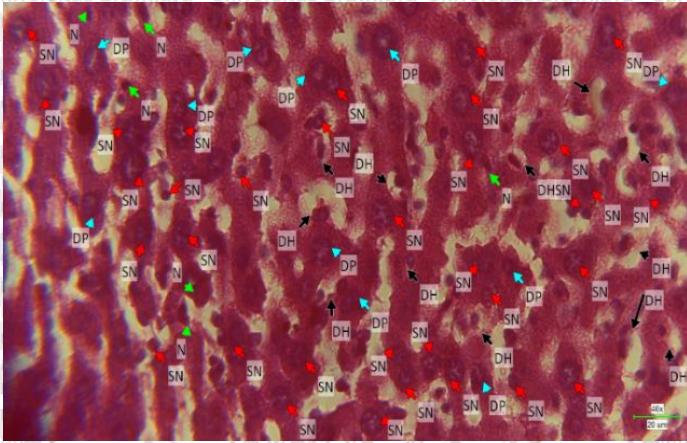
Gambar 4.2 Gambaran mikroskopis organ hati mencit kelompok kontrol negatif

Keterangan Gambar :

- SN : Sel Normal
- DP : Degenerasi Parenkim
- DH : Degenerasi Hidropik
- N : Nekrosis

Pada Gambar 4.2 merupakan gambaran mikroskopis organ hati yang tidak diberi perlakuan apapun dan diamati dengan perbesaran 400 kali. Berdasarkan hasil pengamatan sel, jumlah sel sehat pada gambaran tersebut lebih banyak serta bentuk sel terlihat lebih jelas yaitu berbentuk bulat. Adanya sel-sel yang rusak disebabkan karena faktor eksternal seperti kondisi lingkungan tempat tinggal atau

kandang mencit, faktor makanan, ataupun kondisi kesehatan mencit sendiri.

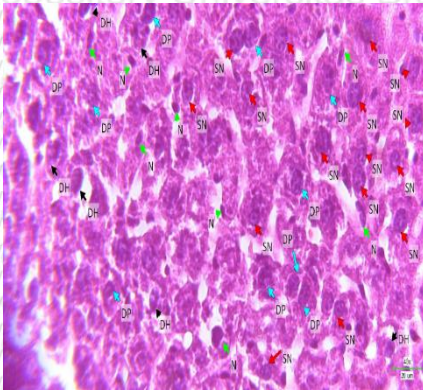


Gambar 4.3 Gambaran mikroskopis organ hati mencit kelompok kontrol positif atau antioksidan

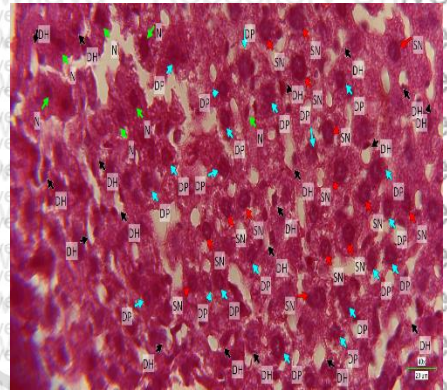
Keterangan Gambar :

- SN : Sel Normal
- DP : Degenerasi Parenkim
- DH : Degenerasi Hidropik
- N : Nekrosis

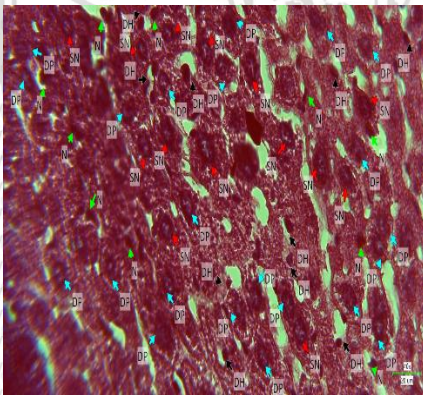
Berdasarkan Gambar 4.3 tersebut dapat dilihat bahwa jumlah sel normal pada kelompok kontrol antioksidan lebih banyak. Kerusakan sel pada kelompok kontrol antioksidan ditunjukkan dengan teramatinya sel yang mengalami degenerasi parenkim, degenerasi hidropik, dan nekrosis. Kerusakan pada kelompok ini bukan karena adanya perlakuan yang diberikan, melainkan karena adanya faktor lain seperti kondisi psikologis serta immunitas dari mencit. Selain itu adanya radikal alami dalam tubuh juga dapat memicu kerusakan sel hepatosit pada kelompok kontrol negatif tersebut.



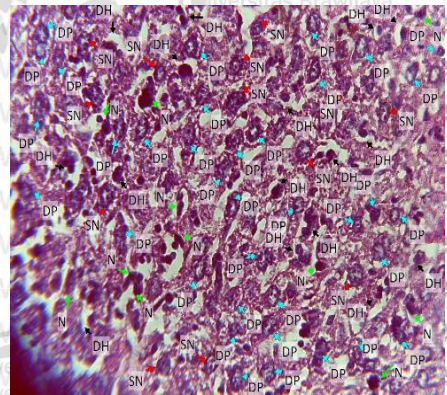
Gambar 4.4 Gambaran mikroskopis organ hati mencit kelompok perlakuan paparan obat nyamuk selama 15 hari (P1)



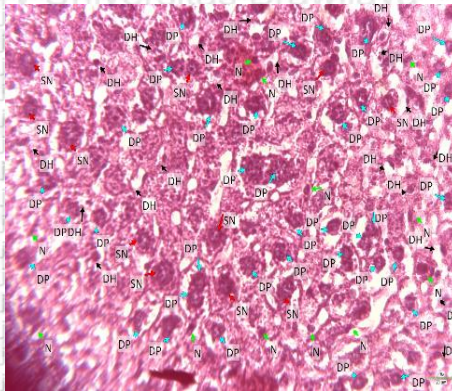
Gambar 4.5 Gambaran mikroskopis organ hati mencit kelompok perlakuan paparan obat nyamuk selama 20 hari (P2)



Gambar 4.6 Gambaran mikroskopis organ hati mencit kelompok perlakuan paparan obat nyamuk selama 25 hari (P3)



Gambar 4.7 Gambaran mikroskopis organ hati mencit kelompok perlakuan paparan obat nyamuk selama 30 hari (P4)



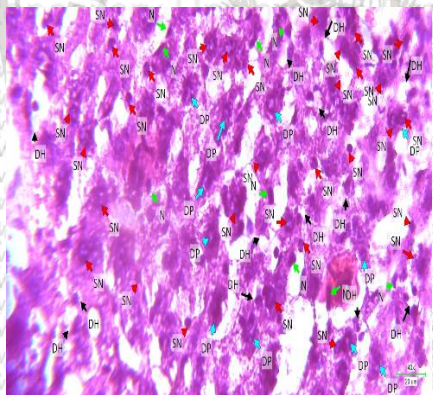
Gambar 4.8 Gambaran mikroskopis organ hati mencit kelompok perlakuan paparan obat nyamuk selama 35 hari (P5)

Keterangan Gambar :

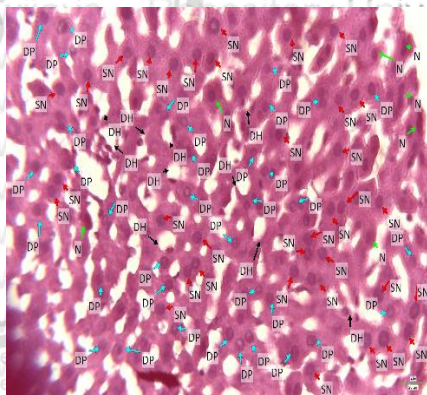
- SN : Sel Normal
- DP : Degenerasi Parenkim
- DH : Degenerasi Hidropik
- N : Nekrosis

Pada Gambar 4.4, Gambar 4.5, Gambar 4.6, Gambar 4.7, dan Gambar 4.8 merupakan gambaran mikroskopis kerusakan organ hati mencit dari kelompok perlakuan paparan obat nyamuk dengan lama waktu paparan yang bervariasi. Gambaran mikroskopis untuk Gambar 4.4 adalah kerusakan yang ditimbulkan karena paparan obat nyamuk selama 15 hari, dimana dalam gambaran mikroskopisnya terlihat adanya kerusakan yang ditandai dengan sel yang mengalami degenerasi parenkim, degenerasi hidropik, dan nekrosis. Semakin lama paparan obat nyamuk yang diberikan, semakin banyak sel yang mengalami kerusakan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.8 yang merupakan kelompok perlakuan yang diberi paparan obat nyamuk selama 35 hari. Jumlah sel yang mengalami degenerasi parenkim dan degenerasi hidropik lebih banyak daripada kelompok perlakuan lainnya. Degenerasi hati yang terjadi disebabkan karena adanya penumpukan zat-zat toksik di dalam hati. Zat toksik inilah yang dapat menyebabkan cairan ekstraseluler masuk ke dalam sel sehingga sel mengalami pembengkakan. Pembengkakan yang semakin besar dan

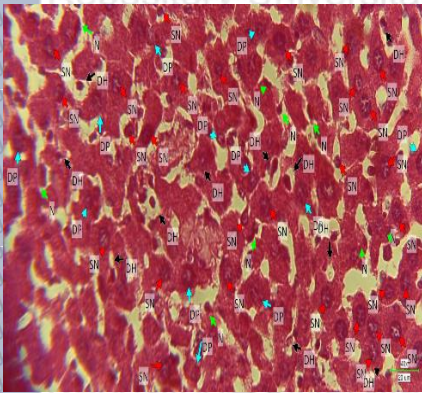
dalam waktu yang lama akan menyebabkan sel mengalami degenerasi hidropik. Kerusakan sel hati juga dapat diindikasikan berdasarkan sel nekrosis. Sel nekrosis pada Gambar 4.8 lebih banyak dibandingkan dengan Gambar 4.4, Gambar 4.5, Gambar 4.6, dan Gambar 4.7. Nekrosis adalah kematian sel yang bersifat *irreversible*, sehingga hepatosit tidak dapat kembali ke bentuk normal. Nekrosis dapat disebabkan karena sel kekurangan oksigen, anemia, maupun karena adanya bahan radikal bebas. Bahan radikal bebas tersebut dapat diperoleh dari paparan bahan kimia yang bersifat toksik (Oktarian dkk., 2017). Adanya sel-sel yang mengalami nekrosis pada penelitian ini disebabkan karena kerusakan sel degenerasi hidropik yang terus menerus terkena paparan sehingga mengakibatkan sel mengalami kematian atau nekrosis. Sehingga dalam penelitian ini semakin lama paparan yang diberikan, jumlah sel nekrosis juga semakin banyak karena adanya penumpukan zat-zat toksik terus menerus di dalam organ hati.



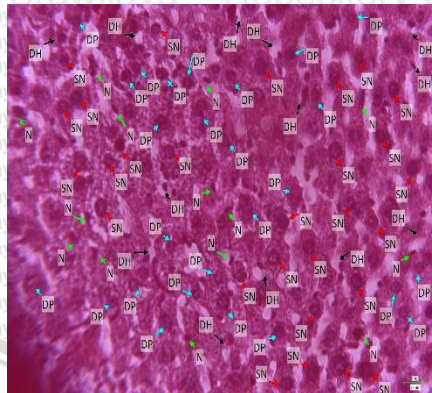
Gambar 4.9 Gambaran mikroskopis organ hati mencit kelompok perlakuan pemberian antioksidan dan paparan obat nyamuk selama 15 hari (PA 1)



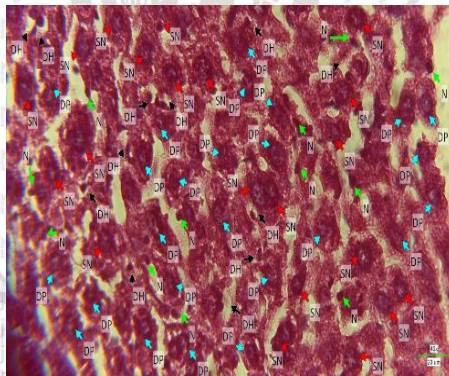
Gambar 4.10 Gambaran mikroskopis organ hati mencit kelompok perlakuan pemberian antioksidan dan paparan obat nyamuk selama 20 hari (PA 2)



Gambar 4.11 Gambaran mikroskopis organ hati mencit kelompok perlakuan pemberian antioksidan dan paparan obat nyamuk selama 25 hari (PA 3)



Gambar 4.12 Gambaran mikroskopis organ hati mencit kelompok perlakuan pemberian antioksidan dan paparan obat nyamuk selama 30 hari (PA 4)



Gambar 4.13 Gambaran mikroskopis organ hati mencit kelompok perlakuan pemberian antioksidan dan paparan obat nyamuk selama 35 hari (PA 5)

Keterangan Gambar :

- SN : Sel Normal
- DP : Degenerasi Parenkim
- DH : Degenerasi Hidropik

N : Nekrosis

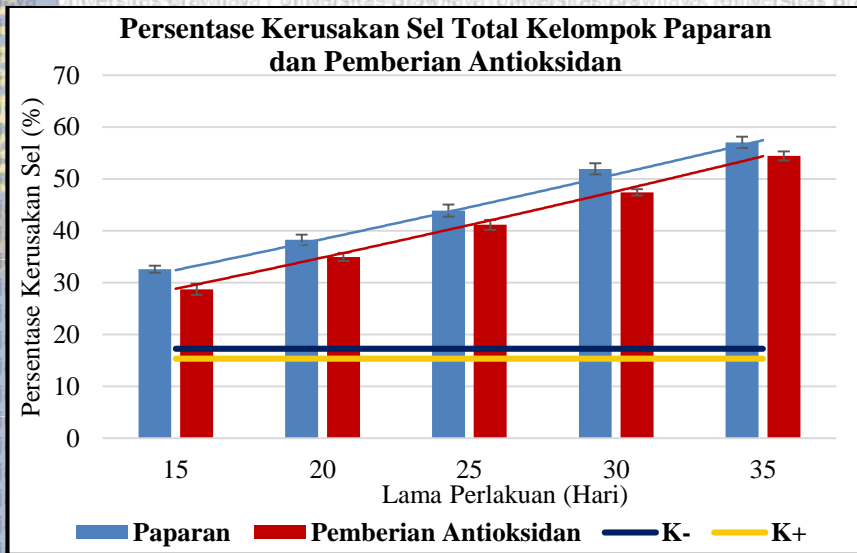
Gambar 4.9, Gambar 4.10, Gambar 4.11, Gambar 4.12, dan Gambar 4.13 merupakan gambaran mikroskopis dari kelompok perlakuan pemberian antioksidan dan paparan obat nyamuk dengan lama waktu paparan yang berbeda-beda. Gambar 4.9 merupakan kelompok perlakuan dengan waktu paparan yang paling sedikit yaitu selama 15 hari. Jumlah sel rusak yang teramati pada Gambar 4.9 cukup sedikit dibandingkan dengan kelompok perlakuan dengan waktu paparan 20 hari, 25 hari, 30 hari, dan 35 hari. Kerusakan sel yang teramati mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu paparan.

Pada Gambar 4.13 jumlah sel yang rusak, baik sel yang mengalami degenerasi parenkim, degenerasi hidropik, dan sel nekrosis lebih banyak. Hal ini karena Gambar 4.13 merupakan gambaran mikroskopis kelompok perlakuan dengan waktu paparan yang paling lama yaitu 35 hari. Pada kelompok perlakuan ini jumlah sel yang mengalami degenerasi parenkim lebih banyak daripada jumlah sel normal. Hal ini mengindikasikan bahwa sel hepatosit hati telah mengalami kerusakan. Kerusakan yang muncul pada kelompok pemberian antioksidan ini dapat diakibatkan karena dosis pemberian antioksidan yang belum efektif sehingga masih terjadi kerusakan pada sel hati.

4.1.2 Pengaruh Pemberian Antioksidan Terhadap Persentase Kerusakan Sel Organ Hati

Lamanya paparan obat nyamuk semprot *one push aerosol* pada hewan coba mencit memberikan pengaruh terhadap persentase kerusakan sel organ hati yang teramati. Total kerusakan sel organ hati mencit didapatkan dari jumlah total sel yang mengalami degenerasi parenkim, degenerasi hidropik, dan nekrosis. Degenerasi parenkim terjadi karena proses oksidasi tidak berjalan sempurna yang mengakibatkan transportasi protein terganggu sehingga air terkumpul di dalam sel dan terjadi pembengkakan sel (Mitcell et al., 2008). Degenerasi hidropik terjadi akibat adanya gangguan transport aktif ion Na^+ . Karena adanya kerusakan pada membran sel sehingga ion Na^+ tidak dapat dipompa keluar sel sehingga konsentrasi ion Na^+ di dalam sel tinggi. Akibatnya nukleus membesar dan sel membengkak seperti

vakuola (Robbins et al., 2007). Perbedaan dari kedua kerusakan tersebut adalah pada derajat kerusakannya. Kerusakan degenerasi hidropik lebih parah jika dibandingkan dengan degenerasi parenkim. Menurut Januar (2014), jika sel hepatosit terus terpapar zat-zat toksik maka selanjutnya akan mengalami nekrosis. Nekrosis ditandai dengan adanya pengerutan inti atau inti sel yang menghilang. Pengaruh paparan zat aktif *transfluthrin* dan pemberian antioksidan terhadap kerusakan organ hati dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Grafik perbandingan kerusakan sel total pada organ hati mencit kelompok paparan obat nyamuk *one push aerosol* dengan kelompok pemberian antioksidan

Keterangan :

■ Paparan

$$y = 0,0983x^2 + 5,6697x + 26,675 \quad R^2 = 0,9958$$

■ Pemberian Antioksidan

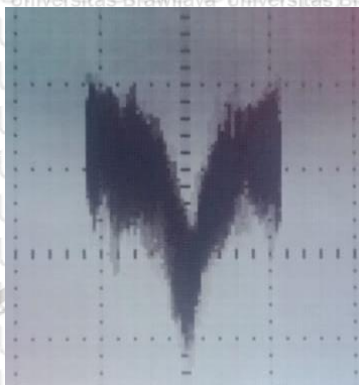
$$y = 0,1207x^2 + 5,6679x + 23,037 \quad R^2 = 0,9998$$

Grafik pada Gambar 4.14 menunjukkan bahwa semakin lama paparan yang diberikan maka kerusakan sel yang terjadi juga semakin tinggi. Pada keadaan kontrol negatif dan kontrol antioksidan, total sel yang mengalami kerusakan yaitu sebesar 17,272% dan 15,326%. Hal ini disebabkan karena kondisi fisik maupun imunitas dari mencit ketika aklimatisasi. Kondisi mencit ketika harus beradaptasi dengan tempat baru juga dapat memicu munculnya stres yang mengakibatkan terjadinya kerusakan sel. Paparan obat nyamuk *one push aerosol* dapat meningkatkan persentase kerusakan sel organ hati dari awal pemaparan hingga 35 hari pemaparan yaitu sebesar 39,812%. Pada kelompok perlakuan dengan lama paparan 15 hari, terjadi penurunan total kerusakan sel setelah pemberian antioksidan sebesar 3,865%. Penurunan total kerusakan sel juga terjadi pada kelompok perlakuan dengan lama paparan 20 hari yaitu sebesar 3,294%. Pada kelompok perlakuan dengan lama paparan 25 hari, persentase total kerusakan sel menurun sebesar 2,729%. Sedangkan pada kelompok perlakuan dengan lama paparan 30 hari, penurunan persentase total kerusakan sel sebesar 4,495%. Penurunan persentase total kerusakan sel tertinggi terjadi pada kelompok perlakuan dengan lama paparan 35 hari yaitu sebesar 2,602%. Berdasarkan data tersebut maka pemberian antioksidan jahe merah, temulawak, dan buah mengkudu dapat mengurangi kerusakan sel pada organ hati hingga 4,495%. Penurunan nilai persentase kerusakan pada organ hati yang kecil diakibatkan karena pemberian dosis antioksidan yang kurang efektif. Sehingga antioksidan yang diberikan belum dapat sepenuhnya menghambat reaksi dari radikal bebas yang muncul.

4.1.3 Hasil Kalibrasi ESR (Electron Spin Resonance) dengan DPPH (Diphenyl picrylhydrazyl)

Pada penelitian ini, perangkat ESR yang digunakan adalah ESR tipe Leybold Heracus. Sebelum dilakukan pengujian, perangkat ESR terlebih dahulu dikalibrasi menggunakan DPPH dan jenis kumparan solenoid tertentu. Pengkalibrasian tersebut bertujuan untuk mengetahui keakuratan pengukuran dari ESR dalam penentuan kurva *Lissajous* yang tepat. Kurva *Lissajous* hasil pengkalibrasian dengan DPPH berbentuk simetris atau berbentuk V yang dapat dilihat pada

osiloskop seperti Gambar 4.17. Selanjutnya dari hasil kurva tersebut dihitung kecekungan kurva *Lissajous* yang terbentuk.



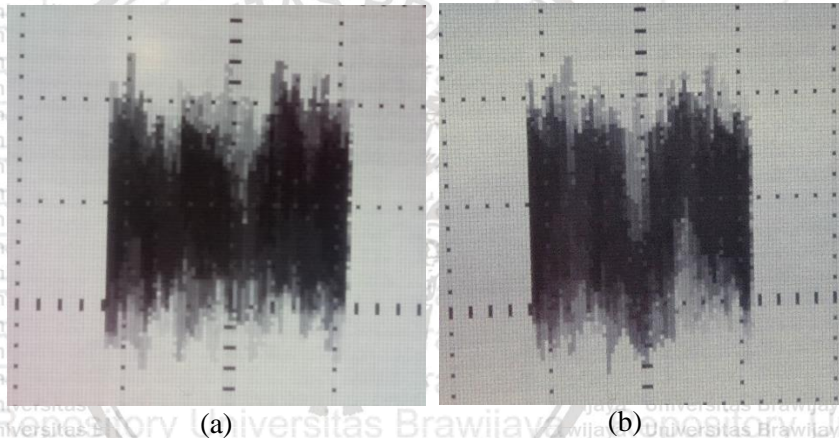
Gambar 4.17 Kurva *Lissajous* hasil kalibrasi ESR dengan DPPH

Data pengukuran yang dihasilkan dari kalibrasi ESR dengan DPPH diantaranya adalah kuat arus (I) yang berkisar antara 0,212 - 0,221 A dan frekuensi pada rentang 26,2 – 28,5 MHz. Berdasarkan data tersebut, nilai faktor g yang dihasilkan adalah 2,0864; 2,1797; 2,1380; 2,0791; 2,1240; 2,2071; 2,1662; 2,1410; dan 2,1695. Pada literatur, besarnya nilai g untuk DPPH yaitu 2,0036. Sehingga, untuk menentukan nilai faktor g yang terdapat pada sampel diperlukan suatu nilai faktor pengkali atau faktor kalibrasi. Faktor kalibrasi tersebut didapatkan dari hasil pembagian antara nilai faktor g DPPH berdasarkan literatur dengan nilai faktor g DPPH dari hasil pengukuran sampel. Selanjutnya, nilai faktor g DPPH yang diuji didapatkan dari hasil perkalian antara nilai faktor g sampel uji dengan faktor kalibrasi.

Setelah dilakukan kalibrasi, ESR siap digunakan untuk mengidentifikasi jenis radikal bebas yang terkandung pada tiap sampel. Nilai arus dan frekuensi tiap sampel yang diuji dicatat untuk kemudian digunakan dalam perhitungan nilai faktor g sampel uji dan selanjutnya di lakukan penggolongan jenis radikal bebasnya.

4.1.4 Identifikasi Jenis Radikal Bebas pada Sampel Organ Hati Mencit

Sampel organ hati mencit dalam penelitian ini adalah sampel yang berasal dari 4 kelompok perlakuan. Kelompok perlakuan tersebut terbagi menjadi kelompok kontrol negatif, kelompok kontrol positif atau kelompok kontrol antioksidan, kelompok perlakuan yang dipapar dengan obat nyamuk semprot *one push aerosol*, dan kelompok perlakuan yang diberi antioksidan sekaligus dipapar obat nyamuk semprot. Pemaparan obat nyamuk pada semua kelompok mencit dilakukan selama 20 menit. Jenis radikal bebas yang terdapat pada organ hati dapat diamati melalui kurva *Lissajous* dari sampel yang dihasilkan seperti pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Kurva *Lissajous* dari sampel organ hati mencit yang diamati (a) Sampel kelompok kontrol (tidak ditemukan radikal bebas) (b) Sampel kelompok perlakuan (mengandung radikal bebas)

Berdasarkan hasil penelitian yang berupa kurva *Lissajous* seperti pada Gambar 4.18 dan perhitungan nilai faktor g dari kalkulasi data yang didapat, maka dapat diidentifikasi jenis radikal bebas dari sampel berdasarkan perbandingan nilai faktor g yang dihasilkan dengan nilai faktor g pada literatur. Nilai faktor g yang dihasilkan pada penelitian ini yaitu seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil identifikasi radikal bebas pada sampel

Sampel	I (A)	f (MHz)	Nilai faktor g	Nilai faktor g literatur	Jenis radikal bebas
K-	0,215	22,2	1,6158	1,501-1,75	O_2^-
	0,213	22,4	1,6457	1,501-1,75	O_2^-
	0,219	22,6	1,6006	1,501-1,75	O_2^-
	0,214	22,2	1,6234	1,501-1,75	O_2^-
K+	0,213	19,4	1,4222	-	-
P1	0,213	23,1	1,7583	1,501-1,75	O_2^-
	0,211	22,4	1,7211	1,501-1,75	O_2^-
	0,211	21,7	1,6673	1,501-1,75	O_2^-
P2	0,215	22,4	1,6592	1,501-1,75	O_2^-
	0,215	23,1	1,7111	1,501-1,75	O_2^-
	0,215	21,7	1,6074	1,501-1,75	O_2^-
	0,213	22,2	1,6598	1,501-1,75	O_2^-
P3	0,212	22,3	1,6324	1,501-1,75	O_2^-
	0,212	22,4	1,6397	1,501-1,75	O_2^-
	0,213	22,2	1,6174	1,501-1,75	O_2^-
	0,213	23,1	1,6830	1,501-1,75	O_2^-
P4	0,214	21,7	1,5584	1,501-1,75	O_2^-
	0,214	22,2	1,5943	1,501-1,75	O_2^-
	0,215	22,2	1,5869	1,501-1,75	O_2^-
	0,215	22,7	1,6681	1,501-1,75	O_2^-
P5	0,213	22,2	1,6491	1,501-1,75	O_2^-
	0,214	23,1	1,7079	1,501-1,75	O_2^-
	0,214	22,4	1,6562	1,501-1,75	O_2^-
	0,215	22,8	1,6779	1,501-1,75	O_2^-
PA 1	0,214	22,6	1,6490	1,501-1,75	O_2^-

Tabel 4.1 bersambung

Lanjutan Tabel 4.1

	0,213	22,3	1,6348	1,501-1,75	O_2^-
	0,212	21,7	1,5983	1,501-1,75	O_2^-

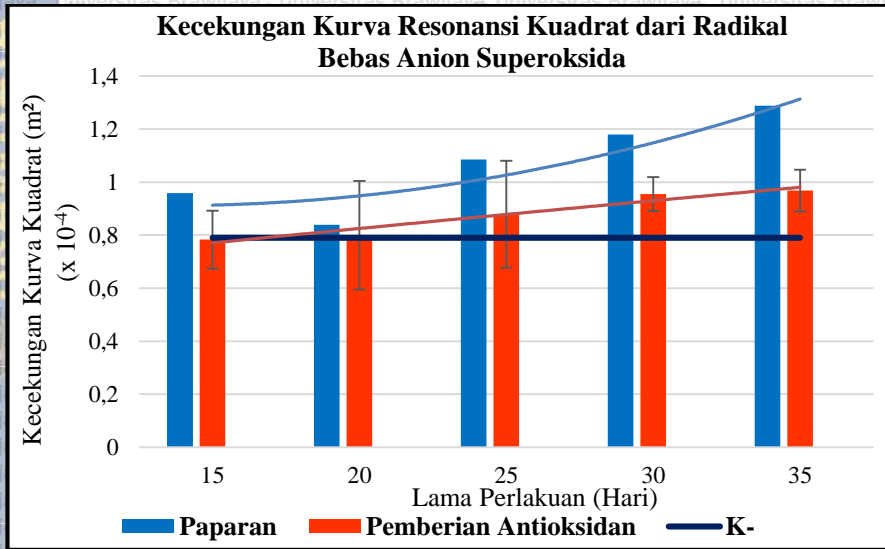
	0,211	22,3	1,6503	1,501-1,75	O_2^-
PA 2	0,213	22,3	1,6046	1,501-1,75	O_2^-
	0,213	22,4	1,6118	1,501-1,75	O_2^-
	0,212	21,7	1,5688	1,501-1,75	O_2^-
	0,212	22,2	1,6049	1,501-1,75	O_2^-
PA 3	0,213	22,2	1,6012	1,501-1,75	O_2^-
	0,212	21,7	1,5726	1,501-1,75	O_2^-
	0,212	22,3	1,640	1,501-1,75	O_2^-
	0,217	21,6	1,5519	1,501-1,75	O_2^-
PA 4	0,214	22,2	1,6878	1,501-1,75	O_2^-
	0,213	22,2	1,6957	1,501-1,75	O_2^-
	0,214	22,3	1,6954	1,501-1,75	O_2^-
	0,213	19,7	1,5048	1,501-1,75	O_2^-
PA 5	0,211	22,3	1,7134	1,501-1,75	O_2^-
	0,211	21,7	1,6673	1,501-1,75	O_2^-
	0,211	19,7	1,5137	1,501-1,75	O_2^-
	0,211	22,2	1,7058	1,501-1,75	O_2^-

Berdasarkan Tabel 4.1, terdapat satu jenis radikal bebas yang terkandung pada organ hati setelah diberi perlakuan paparan obat nyamuk semprot *one push aerosol* dan pemberian antioksidan. Jenis radikal bebas tersebut adalah O_2^- atau anion superoksida. Kandungan radikal bebas terbanyak ditemukan pada kelompok perlakuan paparan obat nyamuk semprot. Radikal bebas jenis anion superoksida juga masih ditemukan pada kelompok perlakuan pemberian antioksidan. Hal ini disebabkan karena dosis pemberian antioksidan belum sesuai dengan paparan yang diberikan sehingga antioksidan belum sepenuhnya menangkalkan radikal bebas yang terkandung pada obat nyamuk semprot *one push aerosol*. Sehingga masih terdapat radikal bebas yang ada pada organ hati.

4.1.5 Hubungan Kecekungan Kurva Resonansi dengan Lama Paparan

Banyak sedikitnya kandungan radikal bebas pada sampel dapat dilihat berdasarkan nilai kecekungan kurva resonansi kuadrat (A^2)

yang terbentuk setiap pengujian sampel. Besarnya nilai A^2 dapat mengindikasikan banyaknya intensitas gelombang hasil *deexitasi* yang dipancarkan karena adanya radikal bebas yang terdapat pada sampel. Semakin banyak kandungan radikal bebas pada sampel, semakin banyak pula gelombang *deexitasi* yang dihasilkan.



Gambar 4.19 Grafik perbandingan kecekgan kurva resonansi kuadrat pada kelompok paparan obat nyamuk *one push aerosol* dengan kelompok pemberian antioksidasi

Keterangan :

■ Paparasi

$$y = 2 \times 10^{-6}x^2 - 3 \times 10^{-6}x + 9 \times 10^{-5} \quad R^2 = 0,8486$$

■ Pemberian Antioksidasi

$$y = -6 \times 10^{-8}x^2 + 6 \times 10^{-6}x + 7 \times 10^{-5} \quad R^2 = 0,9463$$

Gambar 4.19 mempresentasikan grafik perbandingan kecekgan kurva resonansi kuadrat pada kelompok paparan obat nyamuk *one push aerosol* dengan kelompok pemberian antioksidasi.

Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin lama perlakuan yang diberikan, nilai kecekungan kurva resonansi kuadrat yang dihasilkan juga semakin tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin lama perlakuan yang diberikan, radikal bebas yang terdapat pada organ hati mencit juga akan semakin tinggi.

Pada keadaan kontrol negatif, telah terbentuk kurva *Lissajous* dengan kecekungan sebesar $7,9 \times 10^{-5} \text{ m}^2$. Hal ini disebabkan karena kondisi mencit ketika aklimatisasi ataupun karena proses metabolisme tubuh dari mencit. Menurut Guyton and Hall (2006), sistem biokimiawi dalam tubuh akan menghasilkan radikal bebas sebagai efek samping dari proses metabolisme tubuh. Pada gambar 4.19 terlihat bahwa kecekungan kurva resonansi kuadrat kelompok paparan lebih besar dibandingkan dengan kelompok pemberian antioksidan. Penurunan nilai kecekungan kurva resonansi kuadrat setelah diberi antioksidan terjadi misalnya pada kelompok paparan 35 hari, ketika mencit hanya dipapar nilai A^2 sebesar $12,878 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ dan setelah diberi antioksidan nilainya turun menjadi $9,68 \times 10^{-5} \text{ m}^2$. Hal ini menandakan bahwa setelah perlakuan selama 35 hari pemberian antioksidan dapat mengurangi kecekungan kurva resonansi akibat paparan obat nyamuk sebesar $3,12 \times 10^{-5} \text{ m}^2$. Pemberian antioksidan jahe merah, temulawak, dan buah mengkudu belum dapat sepenuhnya menangkal radikal bebas pada organ hati yang terpapar obat nyamuk semprot. Hal ini disebabkan karena dosis pemberian antioksidan yang belum efektif untuk perlakuan ini sehingga masih terdapat radikal bebas yang terkandung pada organ hati.

4.1.6 Pengaruh Paparan Obat Nyamuk dan Pemberian Antioksidan Terhadap Nilai Impedansi Organ Hati Mencit

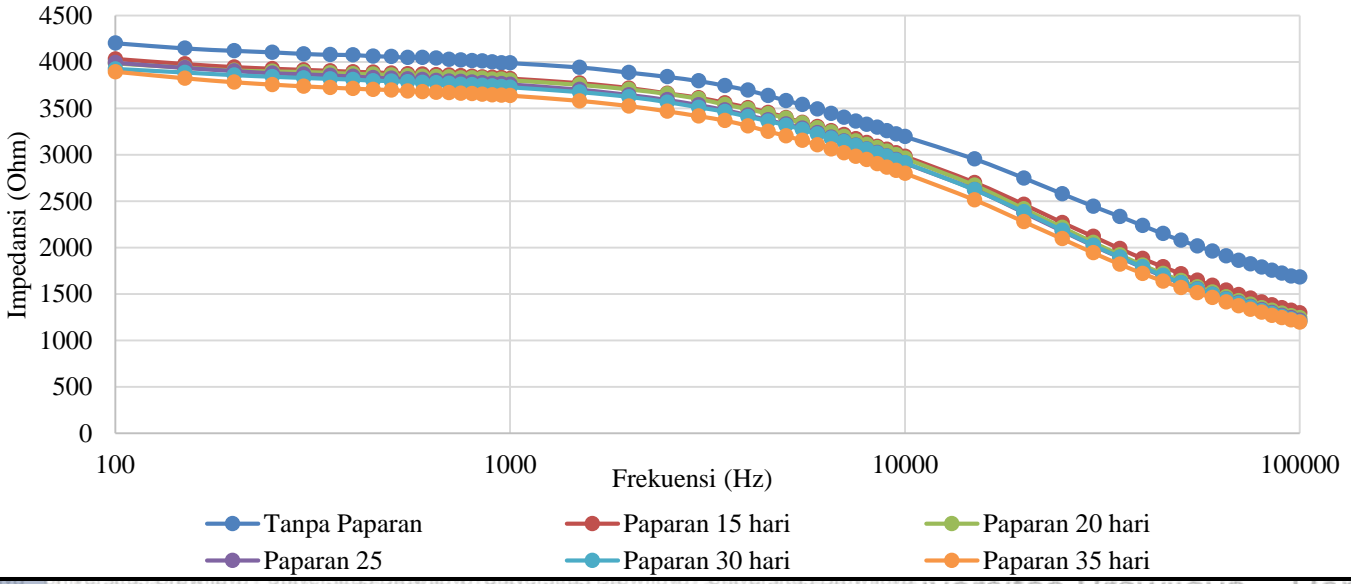
Nilai impedansi listrik dipengaruhi oleh besarnya frekuensi yang digunakan dalam pengukuran. Frekuensi yang digunakan dalam pengukuran impedansi listrik yaitu pada rentang 100 Hz - 100 kHz. Pengukuran dengan frekuensi yang bervariasi tersebut bertujuan untuk mengetahui korelasi antara impedansi dengan frekuensi yang digunakan pada penelitian ini.

Gambar 4.20 menunjukkan grafik hubungan impedansi dengan frekuensi pada rentang 100 Hz - 100 kHz kelompok paparan obat nyamuk *one push aerosol*. Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa

pada rentang frekuensi 100 Hz – 100 kHz, nilai impedansi dari setiap kelompok paparan sulit diamati. Hanya terlihat bahwa nilai impedansi tertinggi yaitu pada kelompok kontrol negatif sedangkan nilai impedansi terendah merupakan kelompok paparan selama 35 hari.

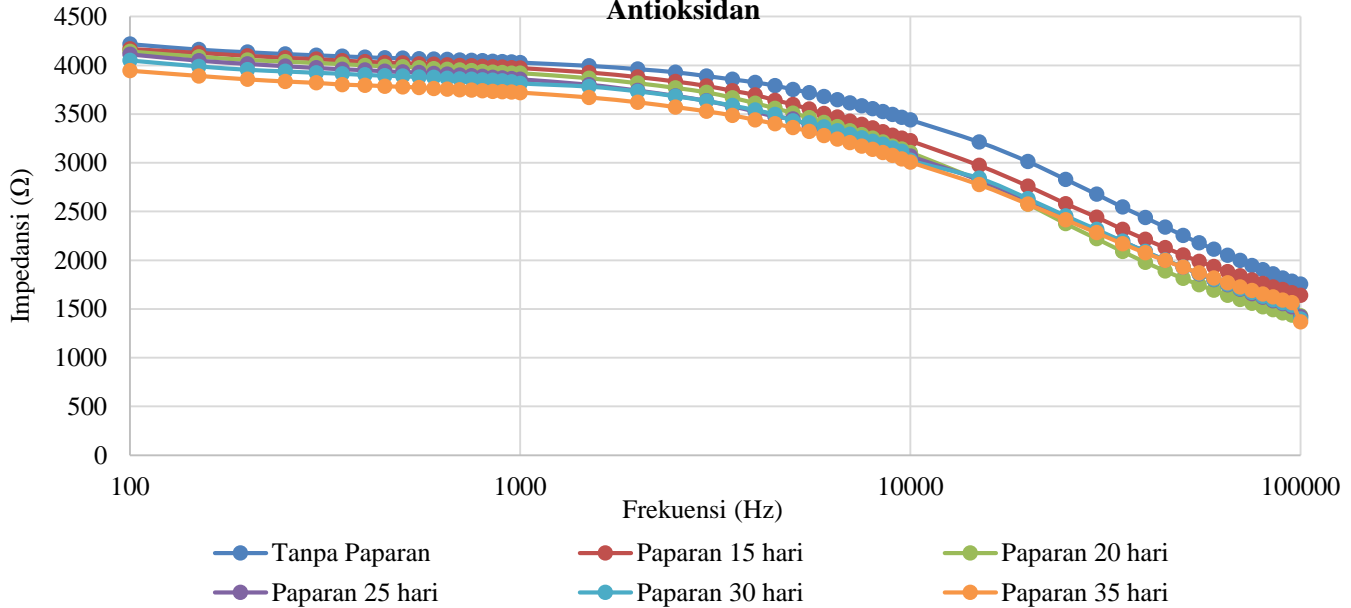
Nilai impedansi pada masing-masing kelompok paparan obat nyamuk *one push aerosol* menurun seiring bertambah lamanya paparan yang diberikan. Penurunan nilai impedansi ini sebanding dengan semakin tingginya persentase kerusakan jaringan akibat paparan obat nyamuk semprot dalam waktu yang lama. Hal ini dikarenakan ketika terjadi kerusakan pada jaringan maka membran sel juga mengalami kerusakan, dimana membran sel dapat dianalogikan sebagai resistor membran dan kapasitor membran. Akibatnya cairan intraseluler dan ekstraseluler dapat masuk ke dalam sel tanpa adanya hambatan. Ketika hambatan menurun maka nilai impedansi juga akan menurun karena besarnya nilai impedansi berbanding lurus dengan nilai resistansi seperti pada Persamaan 2.15. Begitu pula dengan nilai kapasitansinya, ketika membran sel mengalami kerusakan maka kemampuan membran sel dalam memisahkan cairan intraseluler dan ekstraseluler juga mengalami penurunan. Akibatnya nilai kapasitansi dari suatu sel menurun sehingga nilai impedansi dari sel tersebut juga mengalami penurunan.

Grafik Hubungan Antara Impedansi dengan Frekuensi Pada Kelompok Paparan



Gambar 4.20 Grafik hubungan frekuensi dengan impedansi pada kelompok paparan obat nyamuk *one push ae*

Grafik Hubungan Antara Impedansi dengan Frekuensi Pada Kelompok Pemberian Antioksidan

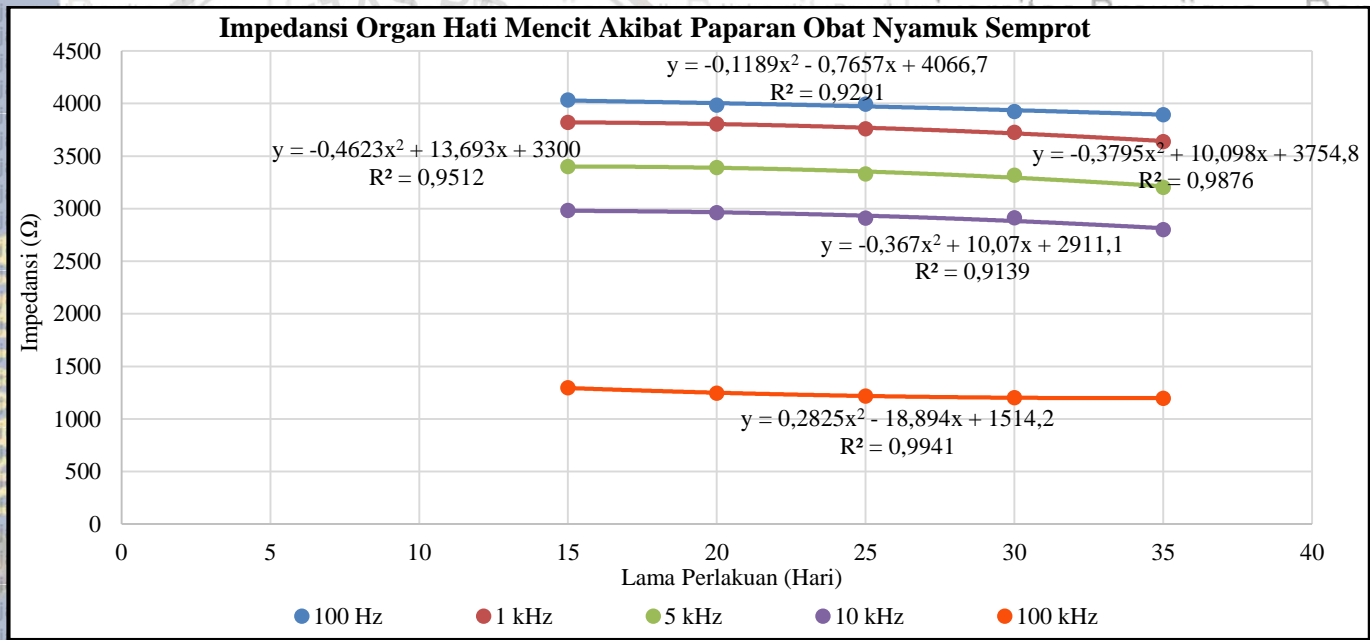


Gambar 4.21 Grafik hubungan frekuensi dengan impedansi pada kelompok pemberian antioksidan

Gambar 4.21 menunjukkan grafik hubungan impedansi dengan frekuensi pada rentang 100 Hz - 100 kHz kelompok pemberian antioksidan. Berdasarkan grafik tersebut, nilai impedansi pada frekuensi 100 Hz - 10 kHz menampilkan kurva tertinggi pada range ini merupakan kelompok kontrol positif atau kontrol antioksidan, sedangkan kurva terendah terlihat pada kelompok pemberian antioksidan 35 hari. Pada range frekuensi 10 kHz – 100 kHz, terlihat bahwa kurva tertinggi merupakan kelompok kontrol positif sedangkan yang teramati pada kurva terendah merupakan kelompok pemberian antioksidan selama 20 hari. Hal ini dapat disebabkan karena adanya beberapa mencit pada kelompok ini yang mengalaih stres akibat bertengkar dengan mencit lainnya. Sehingga kondisi ini dapat memicu menurunnya nilai impedansi yang dihasilkan. Jika dibandingkan antar kedua kelompok perlakuan, nilai impedansi pada kelompok pemberian antioksidan lebih besar dibandingkan dengan kelompok paparan obat nyamuk semprot. Hal ini mengindikasikan bahwa pemberian antioksidan dapat menaikkan nilai impedansi dari organ hati yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol*.

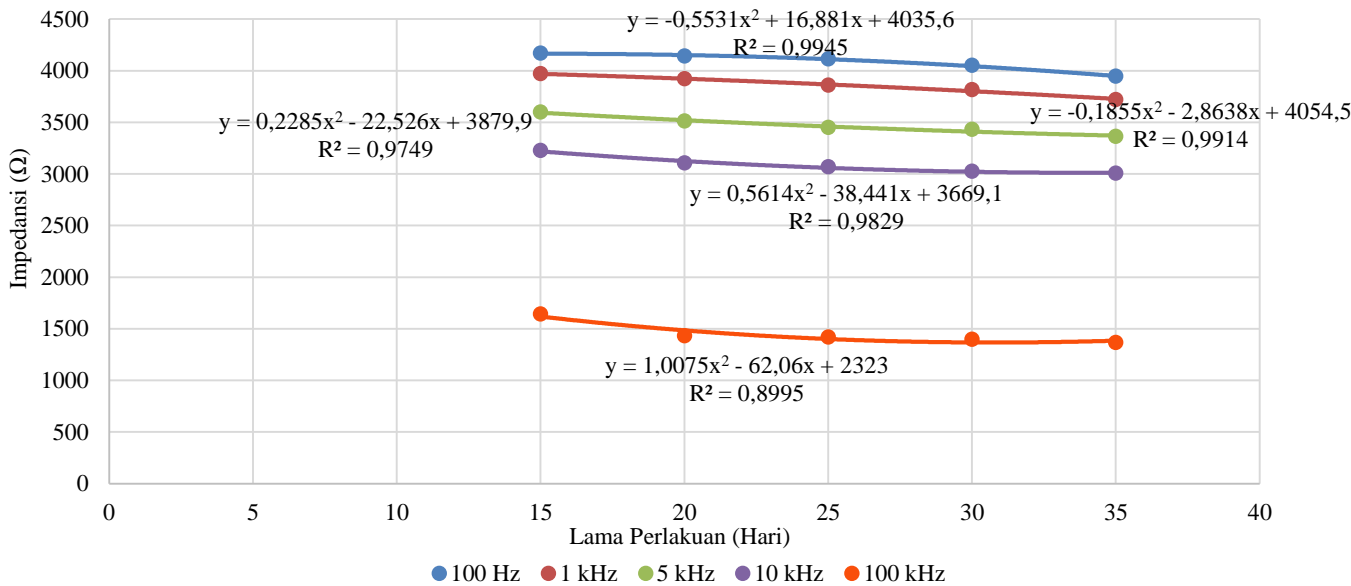
4.1.5 Pengukuran Nilai Impedansi pada Sampel Organ Hati Mencit

Nilai impedansi dipengaruhi oleh nilai resistansi R , reaktansi kapasitif X_C , dan reaktansi induktif X_L dari suatu rangkaian listrik. Impedansi dapat bekerja pada sistem jaringan biologis. Hal ini dikarenakan jaringan terdiri dari sel-sel dengan cairan di sitoplasma (cairan internal) dan cairan di luar sel (cairan ekstraseluler), di mana terdapat membran sel sebagai batas antar dua cairan tersebut. Membran sel merupakan bahan dielektrik yang dapat menjadi isolator pada frekuensi rendah dan bersifat seperti kapasitor (Ghatass *et al.*, 2008). Sehingga sel dapat dianalogikan sebuah rangkaian listrik yang terdiri dari cairan intraseluler, cairan ekstraseluler, dan protein membran sebagai resistor dan membran sel sebagai kapasitor. Karena adanya rangkaian listrik dalam suatu jaringan inilah maka sifat kelistrikan dari suatu jaringan dapat diketahui, salah satunya yaitu berdasarkan nilai impedansi dari suatu jaringan yang dihasilkan.



Gambar 4.22 Grafik hubungan antara lama paparan dengan nilai impedansi pada frekuensi 100 Hz, 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz, dan 100 kHz

Impedansi Organ Hati Mencit Akibat Pemberian Antioksidan



Gambar 4.23 Grafik hubungan antara lama pemberian antioksidan dengan nilai impedansi pada frekuensi 100 Hz, 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz, dan 100 kHz

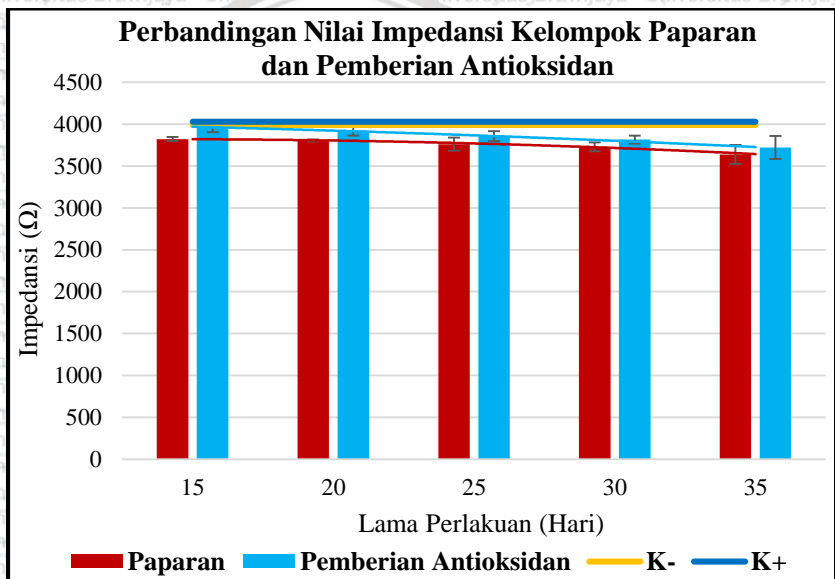
Berdasarkan Gambar 4.22 yang merupakan grafik hubungan antara lama paparan obat nyamuk *one push aerosol* dengan nilai impedansi pada frekuensi 100 Hz – 100 kHz, karakteristik nilai impedansi pada organ hati yang dipapar obat nyamuk semprot menurun seiring bertambah tingginya frekuensi yang digunakan. Nilai impedansi paling besar yaitu pada frekuensi 100 Hz. Setiap frekuensi pada kelompok perlakuan ini memiliki nilai R^2 mendekati 1. Nilai R^2 sebesar 1 mengindikasikan bahwa antar kedua variabel yakni variabel bebas dan terikat memiliki kesuaian yang sempurna sehingga antar kedua variabel tersebut memiliki hubungan linier. Pada penelitian ini maka besarnya R^2 menunjukkan korelasi antara frekuensi yang digunakan dengan nilai impedansi yang terukur. Nilai R^2 paling besar dan mendekati 1 terdapat pada frekuensi 1 kHz yaitu sebesar 0,9876. Besarnya nilai R^2 pada grafik yang dihasilkan mengindikasikan bahwa pengaruh lama perlakuan terhadap nilai impedansi yang diukur yaitu sebesar 98,76%. Sehingga untuk penelitian mengenai paparan obat nyamuk *one push aerosol* direkomendasikan menggunakan frekuensi sebesar 1 kHz agar didapatkan hasil pengukuran yang lebih baik.

Gambar 4.23 ditujukan untuk mengetahui frekuensi yang tepat untuk meneliti pengaruh pemberian antioksidan selama 15 hari, 20 hari, 25 hari, 30 hari, dan 35 hari. Nilai R^2 paling besar terdapat pada frekuensi 1 kHz yaitu sebesar 0,9914. Apabila pengukuran nilai impedansi pada penelitian ini menggunakan frekuensi sebesar 1 kHz maka pengaruh lama paparan terhadap nilai impedansi yang dihasilkan yaitu sebesar 99,14%. Sehingga frekuensi 1 kHz merupakan frekuensi yang direkomendasikan untuk penelitian pengaruh pemberian antioksidan jahe merah, temulawak, dan buah mengkudu selama 15 hari, 20 hari, 25 hari, 30 hari, dan 35 hari. Hal ini dikarekan frekuensi 1 kHz dianggap lebih sensitif terhadap hasil pengukuran sehingga nilai yang didapat akan lebih tepat.

Pada Gambar 4.22 dan Gambar 4.23 menunjukkan bahwa nilai impedansi pada masing-masing kelompok perlakuan semakin menurun sepanjang penambahan frekuensi. Pada frekuensi rendah arus hanya bisa melewati cairan ekstraseluler tanpa bisa menembus membran, sedangkan pada frekuensi tinggi arus dapat menembus membran hingga ke cairan intraseluler (Damez et al., 2007). Berdasarkan teori tersebut maka pada frekuensi rendah kemampuan sel dalam menghambat arus yang masuk tinggi sehingga nilai

resistansi yang dihasilkan juga tinggi. Oleh karena itu nilai impedansi yang terukur besar. Sedangkan, pada frekuensi tinggi kemampuan sel dalam menghambat arus yang masuk kecil sehingga nilai resistansi yang dihasilkan akan kecil yang mengakibatkan nilai impedansi yang terukur dari sampel akan mengalami penurunan.

Berdasarkan hasil yang didapat bahwa pengukuran impedansi pada penelitian ini direkomendasikan pada frekuensi 1 kHz, maka berikut ini merupakan grafik perbandingan nilai impedansi organ hati mencit akibat paparan dan setelah pemberian antioksidan pada frekuensi 1 kHz.



Gambar 4.24 Grafik perbandingan nilai impedansi kelompok paparan obat nyamuk *one push aerosol* dengan kelompok pemberian antioksidan pada frekuensi 1 kHz

Keterangan :

■ Paparan

$$y = -9,4885x^2 + 12,534x + 3817,9 \quad R^2 = 0,9876$$

■ Pemberian Antioksidan

$$y = 2,7138x^2 - 41,787x + 3169,7 \quad R^2 = 0,6013$$

Berdasarkan Gambar 4.24 terlihat bahwa nilai impedansi pada awal paparan hingga pemberian paparan selama 35 hari mengakibatkan penurunan nilai impedansi sebesar 350,745 Ω . Sedangkan pada kelompok pemberian antioksidan, nilai impedansi mengalami penurunan sebesar 307,897 Ω . Berdasarkan grafik tersebut kelompok pemberian antioksidan memiliki nilai impedansi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok paparan. Hal ini mengindikasikan bahwa pemberian antioksidan jahe merah, temulawak, dan buah mengkudu dapat menaikkan nilai impedansi sel organ hati akibat paparan obat nyamuk *one push aerosol*. Pada kelompok paparan selama 35 hari, nilai impedansi setelah pemberian antioksidan mengalami kenaikan sebesar 205,85 Ω . Kenaikan nilai impedansi menandakan bahwa kerusakan sel hati yang terjadi semakin berkurang. Hal ini disebabkan karena adanya senyawa pada antioksidan yang dapat menghambat reaksi berantai dari radikal bebas pada membran sel sehingga kerusakan pada membran sel dapat diminimalisir. Sehingga fungsi membran sel sebagai resistor dan kapasitor dapat bekerja sebagaimana mestinya.

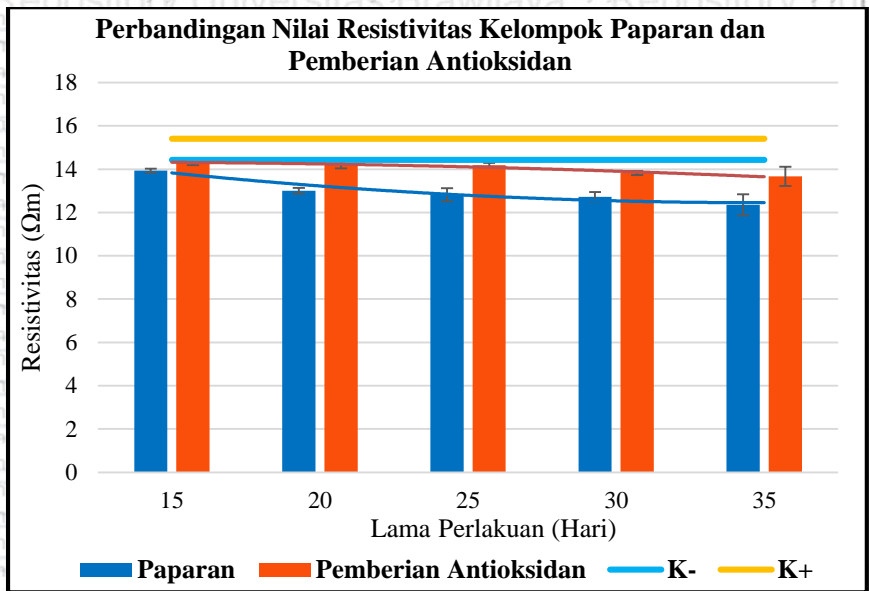
4.1.7 Pengukuran Nilai Resistivitas pada Sampel Organ Hati Mencit

Resistivitas adalah kemampuan suatu bahan untuk menghambat arus listrik yang mengalir, yang dapat dirumuskan seperti pada Persamaan 4.1 (Ronilaya, 2018).

$$\rho = R \frac{A}{l} \quad (4.1)$$

Di mana, ρ = resistivitas (Ωm), R = resistansi (Ω), A = luas penampang (m^2), l = panjang bahan (m). Berdasarkan persamaan tersebut maka nilai resistivitas sangat dipengaruhi oleh besarnya resistansi yang terdapat pada rangkaian listrik atau jika dalam tubuh manusia maka pada komponen penyusun sel. Besarnya nilai resistansi dipengaruhi oleh resistor pada rangkaian listrik dalam jaringan tubuh. Resistor pada rangkaian listrik sel dianalogikan dengan protein channel pada membran sel, cairan intraseluler, dan cairan ekstraseluler sel. Hal

tersebut berdasarkan fungsi dari protein channel sebagai tempat keluar masuknya cairan intraseluler dan ekstraseluler yang sangat selektif (Golan et al., 2008).



Gambar 4.25 Grafik perbandingan nilai resistivitas kelompok paparan obat nyamuk *one push aerosol* dengan kelompok pemberian antioksidan

Keterangan :

■ Paparan

$$y = 0,0858x^2 - 0,8586x + 14,598 \quad R^2 = 0,9247$$

■ Pemberian Antioksidan

$$y = -0,0312x^2 + 0,0199x + 14,327 \quad R^2 = 0,9511$$

Berdasarkan Gambar 4.25 yang merupakan grafik perbandingan nilai resistivitas kelompok paparan obat nyamuk *one push aerosol* dengan kelompok pemberian antioksidan, nilai resistivitas mengalami penurunan seiring bertambah lamanya paparan yang diberikan. Ketika

terjadi kerusakan pada membran sel, cairan intraseluler dan cairan ekstraseluler dapat dengan mudah keluar masuk sel tanpa terkendali. Hal tersebut terjadi karena rusaknya resistor pada sel sehingga tidak ada lagi komponen yang menghambat transport ion antara cairan intraseluler dan cairan ekstraseluler (Damez *et al.*, 2007). Sehingga apabila terjadi kerusakan pada membran sel dimana protein channel juga mengalami kerusakan maka cairan yang keluar masuk sel tidak dapat terkontrol. Akibatnya jika tidak ada lagi resistor yang menghambat transport ion maka nilai resistansi pada sel akan mengalami penurunan.

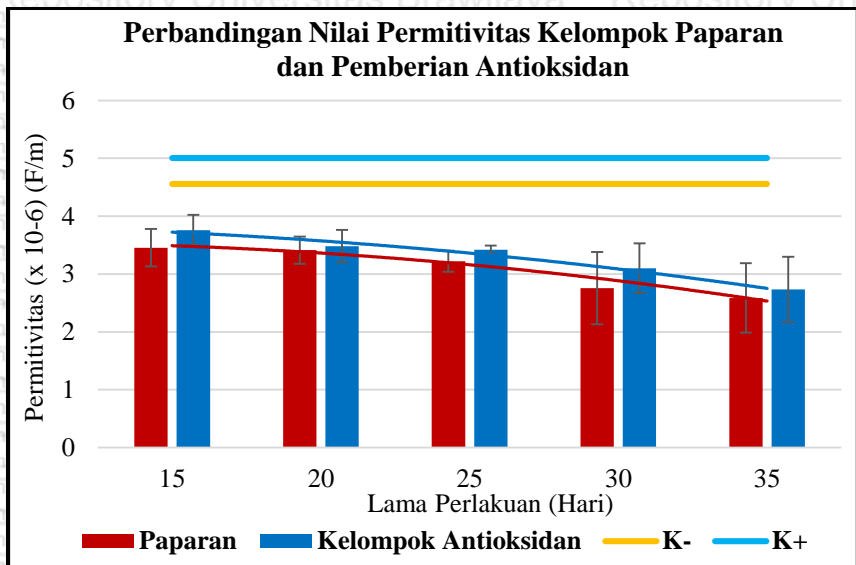
Pada kelompok paparan obat nyamuk *one push aerosol* nilai resistivitas mengalami penurunan sebesar 1,578 Ωm sejak pertama kali pemberian paparan obat nyamuk hingga 35 hari pemberian paparan. Sedangkan pada kelompok pemberian antioksidan, nilai resistivitasnya mengalami penurunan sebesar 0,646 Ωm . Perbedaan antar kedua perlakuan tersebut yaitu nilai resistivitas pada kelompok pemberian antioksidan lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok paparan. Hal tersebut dapat dilihat pada kelompok perlakuan selama 35 hari (P5) dimana nilai resistivitas pada kelompok paparan yaitu sebesar 12,352 Ωm , sedangkan pada kelompok pemberian antioksidan yaitu sebesar 13,671 Ωm . Nilai resistivitas pada penelitian ini meningkat sebesar 1,319 Ωm setelah pemberian antioksidan. Hal ini menandakan bahwa pemberian antioksidan dapat mengurangi kerusakan sel yang terjadi terutama kerusakan pada membran sel. Sehingga protein channel dapat menghambat atau menyeleksi cairan ekstraseluler yang masuk. Akibatnya nilai resistivitas yang dihasilkan pada kelompok pemberian antioksidan lebih tinggi jika dibandingkan dengan kelompok paparan.

4.1.8 Pengukuran Nilai Permittivitas pada Sampel Organ Hati Mencit

Permittivitas (ϵ) adalah kemampuan suatu material untuk berpolaisasi (Smallman dan Bishop, 2000). Besarnya nilai permittivitas dipengaruhi oleh nilai kapasitansi, yang dapat dilihat pada Persamaan 4.2 (Polk dan Postow, 1995).

$$\epsilon = \frac{C d}{A} \quad (4.2)$$

dengan ϵ = permitivitas (F/m), C = kapasitansi (F), d = jarak antar dua elektroda (m), dan A = luas penampang elektroda (m²). Pada suatu sel, kapasitor diibaratkan sebagai membran dari sel tersebut yang berperan untuk memisahkan cairan intraseluler dan ekstraseluler (Damez etc., 2007). Sehingga besarnya nilai kapasitansi yang dihasilkan bergantung dari kemampuan membran sel dalam memisahkan cairan intraseluler dan ekstraseluler yang terdapat pada suatu sel.



Gambar 4.26 Grafik perbandingan nilai permitivitas kelompok paparan obat nyamuk semprot *one push aerosol* dengan kelompok pemberian antioksidan

Keterangan :

■ Paparan

$$y = -4 \times 10^{-8}x^2 - 2 \times 10^{-8}x + 4 \times 10^{-6} \quad R^2 = 0,9563$$

■ Pemberian Antioksidan

$$y = -3 \times 10^{-8}x^2 - 6 \times 10^{-8}x + 4 \times 10^{-6} \quad R^2 = 0,9782$$

Berdasarkan Gambar 4.26 yang merupakan grafik perbandingan nilai permitivitas kelompok paparan obat nyamuk semprot *one push aerosol* dengan kelompok pemberian antioksidan,

terlihat bahwa pada masing-masing kelompok perlakuan terjadi penurunan nilai permitivitas seiring bertambah lamanya paparan yang diberikan. Penurunan tersebut disebabkan karena adanya kerusakan pada membran sel sehingga membran mengalami penurunan kapabilitasnya dalam memisahkan cairan intraseluler dan ekstraseluler. Karena membran sel dapat dianalogikan sebagai kapasitor sehingga apabila membran sel mengalami kerusakan, fungsi kapasitor juga akan terganggu yang berakibat pada penurunan nilai permitivitas. Faktor yang menyebabkan rusaknya membran sel diantaranya adalah adanya proses lisis dan adanya oksidasi yang diakibatkan karena terpapar radikal bebas. Berdasarkan pernyataan tersebut maka nilai permitivitas akan semakin kecil apabila sel yang diamati semakin rusak. Pemberian antioksidan (jahe merah, temulawak, dan buah mengkudu) dapat memberikan pengaruh terhadap nilai permitivitas. Nilai permitivitas pada kelompok paparan selama 35 hari mengalami peningkatan setelah diberi antioksidan yaitu dari $2,587 \times 10^{-6}$ F/m menjadi $2,736 \times 10^{-6}$ F/m. Hal ini mengindikasikan bahwa pemberian antioksidan dapat mengurangi kerusakan pada membran sel sehingga nilai permitivitas dari sel akan mengalami kenaikan.

4.2 Pembahasan

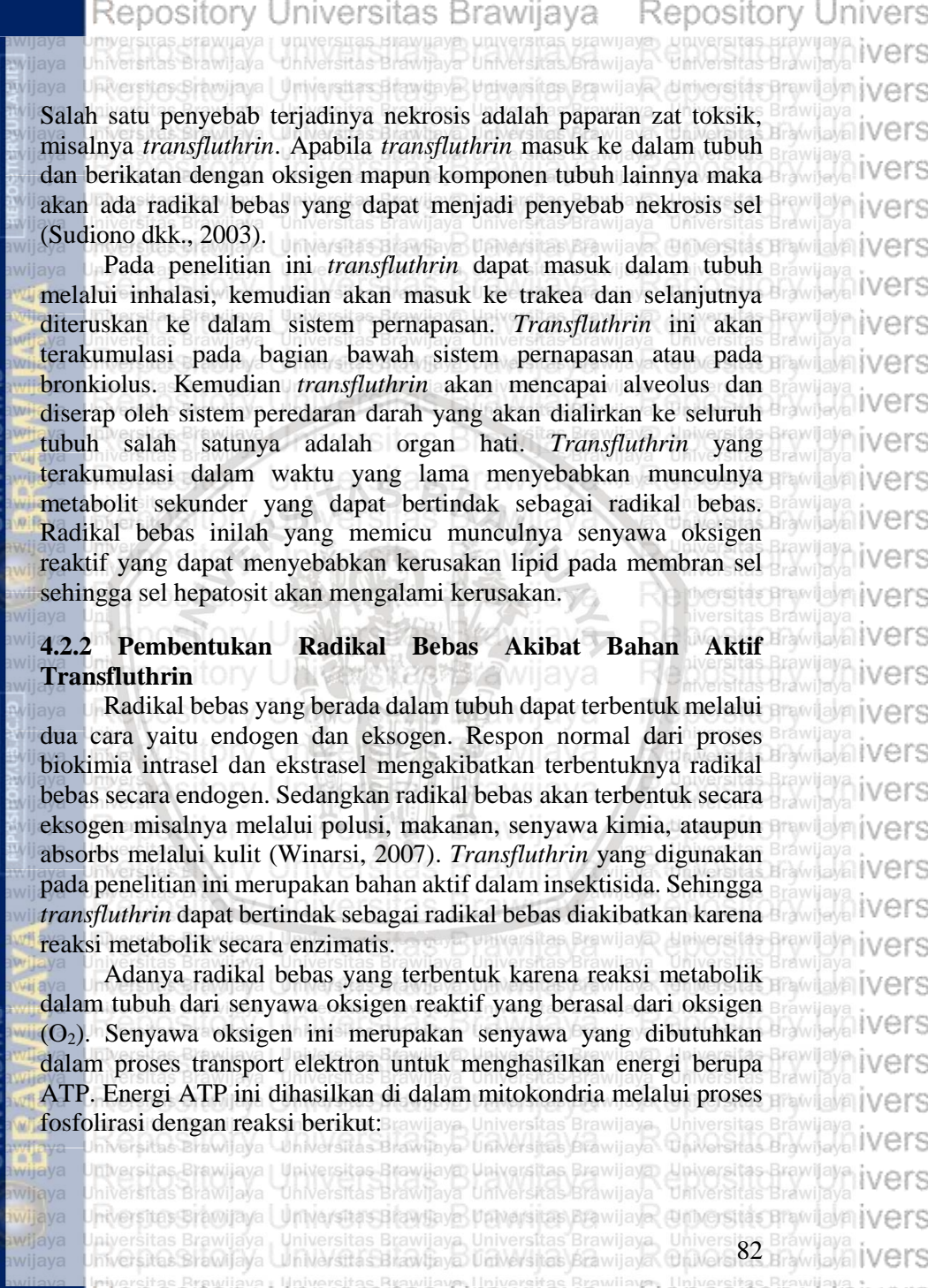
4.2.1 Pengaruh Bahan Aktif Transfluthrin terhadap Kerusakan Organ Hati

Transfluthrin merupakan salah satu bahan aktif insektisida yang masuk dalam golongan *pyrethroid*. Cara kerjanya adalah dengan melumpuhkan serangga sasaran (Sigit, 2006). *Pyrethroid* yang masuk ke dalam tubuh dalam waktu yang lama dapat menyebabkan gangguan pada paru-paru, iritasi kulit, mata, asma, dan menyebabkan proses detoksifikasi pada organ hati terganggu (Kurniati dkk., 2012). Apabila proses detoksifikasi tidak sempurna akan mengakibatkan munculnya metabolit sekunder yang dapat bertindak sebagai radikal bebas. Radikal bebas inilah yang akan masuk ke peredaran darah menuju seluruh tubuh (Christijanti dkk., 2010).

Salah satu fungsi hati yaitu detoksifikasi bahan-bahan yang bersifat toksik. Setelah diabsorpsi di usus halus dan masuk dalam peredaran darah, kemudian hati melakukan detoksifikasi bahan toksik

menjadi lebih polar sehingga memudahkan dalam proses eksresi (Oktrian dkk., 2017). Partikel yang bersifat toksik seperti halnya *transfluthrin* merupakan salah satu radikal bebas yang apabila masuk ke dalam tubuh akan berikatan dengan oksigen dan komponen lainnya di tubuh. Salah satu hasil ikatan tersebut adalah kelompok oksigen reaktif (Yuningtyaswari, 2002). Kelompok oksigen reaktif (ROS) apabila masuk dalam tubuh dapat merusak membran sel dan komponen intrasel seperti protein, lipid, dan asam nukleat. Paparan radikal bebas pada konsentrasi tinggi dapat menurunkan sintesis protein dan menyebabkan pembengkakan pada organ hati (Orrenius, 1993). Menurut Lie et al (2015), hati merupakan organ yang seringkali terkena dampak stress oksidatif sehingga hati menjadi organ utama yang menghasilkan ROS tertinggi. Hal ini dikarenakan organ hati berfungsi sebagai metabolisme xenobiotik dan zat-zat asing yang masuk dalam tubuh serta memiliki isoenzim sitokrom P450 paling tinggi diantara organ lainnya (Mogu and Maxa, 2000). Ketika menetralkan toksik, metabolisme sitokrom P450 ini dapat menghasilkan ROS sehingga jumlah ROS yang terakumulasi di dalam organ hati tinggi (Zangar et al., 2004).

Paparan obat nyamuk semprot *one push aerosol* dalam jangka waktu lama dapat menyebabkan terjadinya perubahan histopatologi berupa degenerasi parenkim, degenerasi hidropik, dan nekrosis. Pada penelitian ini, degenerasi parenkim merupakan jenis kerusakan sel yang paling sering terjadi. Menurut Sarjadi (2003), degenerasi parenkim terjadi karena cairan ekstraseluler masuk ke dalam sel. Hal ini dikarenakan terdapat kerusakan pada membran sel yang disebabkan oleh bahan toksik atau dalam penelitian ini adalah bahan aktif *transfluthrin*. Menurut Sudiono dkk. (2003), degenerasi hidropik merupakan jenis kerusakan sel yang terjadi akibat cairan ekstraseluler masuk ke dalam sel sehingga cairan intraseluler melebihi batas normalnya. Perbedaannya dengan degenerasi parenkim adalah pada degenerasi hidropik ini kerusakan yang terjadi lebih berat karena waktu paparan yang lebih lama. Pada degenerasi ini terlihat adanya ruangan-ruangan jernih di sitoplasma. Nekrosis adalah kerusakan sel yang ditandai dengan adanya kematian sel atau jaringan pada organisme hidup. Kematian sel dapat terjadi melalui proses apoptosis dan nekrosis. Apoptosis merupakan kematian sel yang terencana atau terprogram, sedangkan nekrosis ditandai dengan sel radang (Lu, 1995).



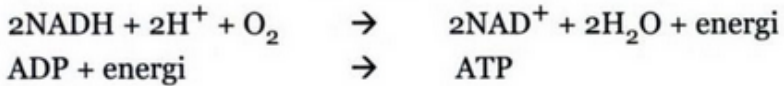
Salah satu penyebab terjadinya nekrosis adalah paparan zat toksik, misalnya *transfluthrin*. Apabila *transfluthrin* masuk ke dalam tubuh dan berikatan dengan oksigen maupun komponen tubuh lainnya maka akan ada radikal bebas yang dapat menjadi penyebab nekrosis sel (Sudiono dkk., 2003).

Pada penelitian ini *transfluthrin* dapat masuk dalam tubuh melalui inhalasi, kemudian akan masuk ke trakea dan selanjutnya diteruskan ke dalam sistem pernapasan. *Transfluthrin* ini akan terakumulasi pada bagian bawah sistem pernapasan atau pada bronkiolus. Kemudian *transfluthrin* akan mencapai alveolus dan diserap oleh sistem peredaran darah yang akan dialirkan ke seluruh tubuh salah satunya adalah organ hati. *Transfluthrin* yang terakumulasi dalam waktu yang lama menyebabkan munculnya metabolit sekunder yang dapat bertindak sebagai radikal bebas. Radikal bebas inilah yang memicu munculnya senyawa oksigen reaktif yang dapat menyebabkan kerusakan lipid pada membran sel sehingga sel hepatosit akan mengalami kerusakan.

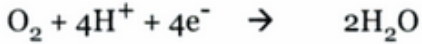
4.2.2 Pembentukan Radikal Bebas Akibat Bahan Aktif Transfluthrin

Radikal bebas yang berada dalam tubuh dapat terbentuk melalui dua cara yaitu endogen dan eksogen. Respon normal dari proses biokimia intrasel dan ekstrasel mengakibatkan terbentuknya radikal bebas secara endogen. Sedangkan radikal bebas akan terbentuk secara eksogen misalnya melalui polusi, makanan, senyawa kimia, ataupun absorbs melalui kulit (Winarsi, 2007). *Transfluthrin* yang digunakan pada penelitian ini merupakan bahan aktif dalam insektisida. Sehingga *transfluthrin* dapat bertindak sebagai radikal bebas diakibatkan karena reaksi metabolik secara enzimatik.

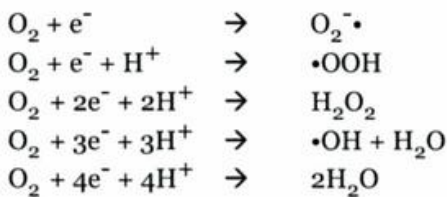
Adanya radikal bebas yang terbentuk karena reaksi metabolik dalam tubuh dari senyawa oksigen reaktif yang berasal dari oksigen (O_2). Senyawa oksigen ini merupakan senyawa yang dibutuhkan dalam proses transport elektron untuk menghasilkan energi berupa ATP. Energi ATP ini dihasilkan di dalam mitokondria melalui proses fosfolirasi dengan reaksi berikut:



Pada proses ini 1 molekul oksigen akan tereduksi menjadi 2 molekul air berdasarkan reaksi berikut:



Proses pereduksian 1 molekul oksigen (O_2) menjadi 2 molekul air dengan memindahkan 4 elektron. Namun, dalam kondisi tertentu proses pemindahan elektron tersebut tidak berjalan sempurna sehingga mengakibatkan terjadinya senyawa oksigen reaktif (ROS). Tahapan pembentukan ROS dapat dilihat pada reaksi berikut:

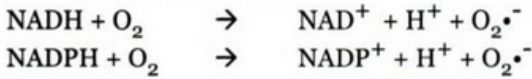


Berdasarkan tahapan reaksi tersebut, terlihat bahwa terbentuknya ROS yang meliputi ion superoksida, radikal peroksil, hidrogen peroksida, dan radikal hidroksil akibat pemindahan elektron pada proses reduksi oksigen kurang sempurna (Winarsih, 2007).

4.2.3 Radikal Bebas yang Teridentifikasi dalam Organ Hati

Radikal bebas yang teridentifikasi dalam organ hati yang dipapar obat nyamuk one push aerosol adalah ion superoksida ($\text{O}_2^{\cdot-}$). Ion superoksida merupakan salah satu jenis radikal dari senyawa oksigen reaktif (ROS). Radikal ion superoksida disebut juga dengan anion superoksida. Senyawa ini dapat diproduksi di berbagai tempat yang memiliki transport elektron, misalnya pada mitokondria, kloroplas, glikosom, peroksisom, dan sitosol. Terdapat beberapa mekanisme dalam pembentukan anion superoksida, diantaranya adalah hasil reaksi samping dalam reaksi yang melibatkan Fe^{++}

misalnya pada fosforilasi oksidatif dan oksigenasi hemoglobin. Selain itu anion superoksida juga dihasilkan dari reaksi dalam mitokondria dan granulosit yang dikatalisis oleh NADH/NADPH oksidase seperti pada reaksi berikut:

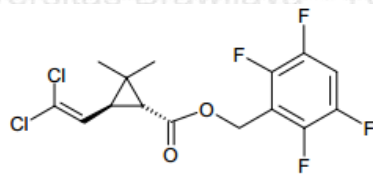


(Winarsih, 2007).

Radikal bebas dapat terbentuk melalui proses sintesis energi oleh mitokondria ataupun saat proses detoksifikasi di hati yang melibatkan P-450. Pada proses metabolisme terjadi oksidasi zat-zat makanan yang diubah menjadi senyawa pengikat energi dengan (adenisin triphospat). Senyawa oksigen reaktif (ROS) yang berupa anion superoksidan dan hidrosil radikal akan terbentuk sebagai akibat dari proses oksidasi tersebut (Khaira, 2010).

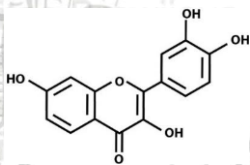
4.2.3 Mekanisme Kerja Antioksidan

Seperti pada Gambar 4.27, *transfluthrin* memiliki 1 elektron bebas dari atom C yang tidak berpasangan. Adanya 1 elektron yang tidak berpasangan inilah yang membuat *transfluthrin* bersifat reaktif. Antioksidan jahe merah, temulawak, dan buah mengkudu mengandung senyawa flavonoid yang tinggi. Flavonoid memiliki aktivitas antioksidan yang kuat untuk melawan radikal bebas dibandingkan dengan vitamin C dan vitamin E. Flavonoid memiliki kemampuan untuk mereduksi radikal bebas. Mekanismenya ialah dengan cara menekan pembentukan *reactive oxygen species* (ROS) yaitu dengan inhibisi enzimatik dan menetralkan ROS. ROS merupakan molekul yang sangat reaktif karena memiliki elektron yang tidak berpasangan. Peningkatan ROS terjadi karena adanya stres oksidatif. Flavonoid juga dapat menghambat enzim yang memproduksi anion superoksida sehingga radikal bebas tidak dapat berikatan dengan molekul jaringan hati dan kerusakan jaringan dapat dihindari (Orbayinah, 2008).



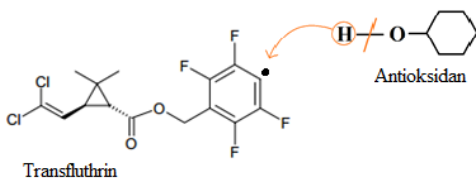
Gambar 4.27 Struktur kimia *transfluthrin*

Flavonoid seperti pada Gambar 4.28 tersusun atas satu cincin aromatic A, satu cincin aromatik B, dan cincin heterosiklik yang mengandung oksigen yang berada di tengah struktur (Redha, 2010). Flavonoid berperan sebagai antioksidan dengan cara mendonorkan atom hidrogen kepada senyawa radikal bebas atau dengan cara mengkelat logam (Cuppett et al., 1954). Flavonoid dapat dengan mudah mendonorkan atom hidrogen karena ikatan O dan H pada gugus fungsi OH memiliki energi disosiasi terkecil sehingga atom H mudah terlepas (Ningsih dkk., 2011). Selain itu, flavonoid dapat bertindak sebagai antioksidan dengan cara mengikat ion-ion metal seperti Fe dan Cu. Ion-ion seperti Fe dan Cu ini dapat mengkatalisis suatu reaksi yang akan memunculkan radikal bebas (Muhctadi, 2000).



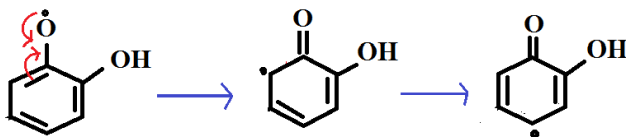
Gambar 4.28 Struktur kimia flavonoid

Atom C yang tidak berpasangan pada senyawa *transfluthrin* memiliki elektronegatifitas yang lebih tinggi daripada atom H pada gugus fungsi antioksidan salah satunya adalah pada struktur kimia flavonoid. Elektron bebas yang dimiliki atom C menarik paksa atom H pada pada gugus fungsi antioksidan secara homolitik seperti pada Gambar 4.29 (Fessenden dan Fessenden, 1986).



Gambar 4.29 Mekanisme pendorongan atom H oleh antioksidan

Setelah terjadi pendorongan atom H oleh antioksidan yang diberikan kepada *transfluthrin*, sehingga akan ada satu elektron bebas pada antioksidan. Namun, elektron bebas pada antioksidan ini tidak reaktif. Hal ini karena adanya delokalisasi resonansi terhadap elektron yang tidak berpasangan sehingga tetap dalam keadaan stabil. Biasanya senyawa ini disebut dengan radikal fenoksi. Mekanisme dari reaksi ini dapat dilihat pada Gambar 4.30 (Fessenden dan Fessenden, 1986).



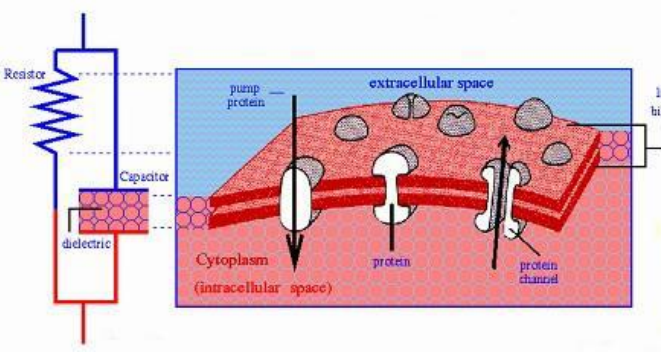
Gambar 4.30 Mekanisme perpindahan elektron pada delokalisasi resonansi

Elektron yang berada pada rantai siklik akan terus mengalami delokalisasi atau penyebaran. Anion yang terbentuk akan semakin stabil apabila jalur delokalisasi yang terjadi semakin panjang (Andarwulan dan Faradila, 2012).

4.2.4 Pengaruh Pemberian Antioksidan Terhadap Nilai Impedansi, Resistivitas, dan Permittivitas

Rangkaian listrik pada jaringan merupakan rangkaian yang terdiri dari sel dan cairan dimana terdapat membran yang membungkus cairan intraselulernya. Membran merupakan lapisan yang sangat tipis dengan resistivitas lapisan yang besar yang dapat dibuat model elektrik sebagai kapasitans (C_m) dan dirangkai parallel dengan resistansi (R_m). Cairan intraseluler dapat dimodelkan sebagai

resistansi (R_i) dan cairan ekstraseluler juga dimodelkan sebagai resisitansi (R_e). Arus pada rangkaian ini dapat mengalir melalui membran sel dan juga resistansi intraseluler maupun resistansi ekstraseluler. Membran sel pada suatu jaringan terdiri dari lapisan lipid yang tidak bersifat konduktor yang diapit oleh dua lapisan molekul protein yang bersifat konduktor. Apabila dilalui arus listrik bolak-balik, struktur membran sel tersebut menjadi reaktif kapasitif sehingga dapat bersifat sebagai kapasitor, seperti pada Gambar 4.31. Fungsi membran sel secara biologis yaitu sebagai penghalang permeabel yang selektif yang memisahkan cairan intraseluler dengan cairan ekstraseluler. Sehingga tekanan osmosis antara cairan intraseluler dan cairan ekstraseluler tetap terjaga. Hal inilah yang menciptakan beda potensial antara luar dan dalam sel sehingga memunculkan resistansi dari suatu sel. Perubahan selisih potensial antara cairan intraseluler dan cairan ekstraseluler akan berdampak pada perubahan kelistrikan pada jaringan. Kerusakan pada membran sel akan berdampak pada kerusakan total hingga kematian sel (nekrosis). Akibatnya polaritas sel akan terganggu dan berakibat pada perubahan distribusi impedansi dari sel tersebut (Purwanto dan Agus, 2009).



Gambar 4.31 Gambaran kapasitor pada membran sel (Liedke, 1997)

Kerusakan organ hati dari mencit yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol* mempengaruhi nilai impedansi, resistivitas, dan permitivitas dari organ hati tersebut. Berdasarkan hasil penelitian, nilai impedansi menurun seiring bertambah lamanya paparan yang



diberikan. Hal ini dikarenakan besarnya nilai impedansi dipengaruhi oleh nilai resistansi dan kapasitansi. Apabila sel mengalami kerusakan karena adanya radikal bebas maka rangkaian listrik pada sel juga akan mengalami kerusakan. Penurunan nilai impedansi memungkinkan disebabkan karena cairan intraseluler maupun cairan ekstraseluler yang semakin berkurang akibat proses oksidasi. Cairan intraseluler dan ekstraseluler diibaratkan sebagai resistansi dari suatu rangkaian listrik. Apabila cairan intraseluler dan ekstraseluler berkurang maka nilai impedansi dalam sel akan mengalami penurunan. Hubungan antara nilai impedansi dengan resistansi adalah berbanding lurus karena impedansi merupakan hambatan pengganti yang didalamnya terdapat komponen resistansi R , induktansi L , dan kapasitansi C . Sehingga nilai resistivitas dari suatu sel juga mengalami penurunan seiring semakin rusak sel yang diuji.

Nilai permitivitas organ hati dari mencit yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol* semakin menurun seiring bertambah lamanya paparan yang diberikan. Organ hati yang terpapar obat nyamuk akan mengalami kerusakan sel atau bahkan kematian sel sehingga organ hati mengalami penurunan kemampuan polarisasi karena semakin sedikit sel yang masih hidup. Nilai permitivitas dari sel hati juga akan mengalami penurunan seiring kecilnya kemampuan polarisasi organ hati.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

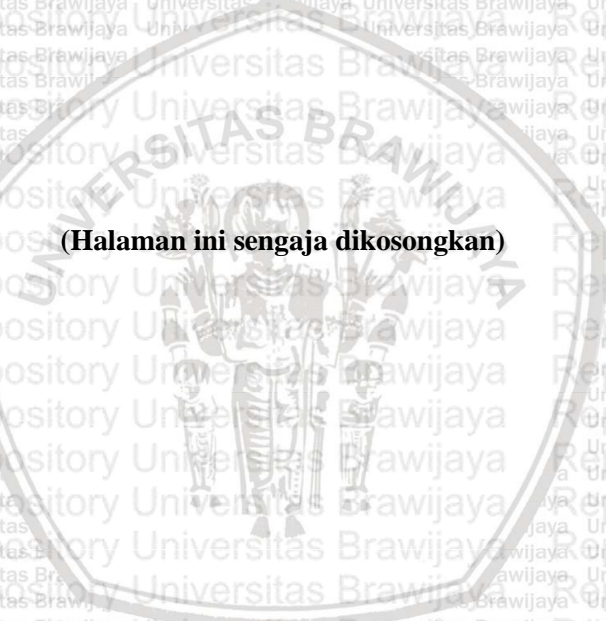
Pemberian antioksidan (jahe merah, temulawak, dan buah mengkudu) dapat menurunkan kerusakan sel organ hati akibat paparan obat nyamuk *one push aerosol*. Pada kelompok perlakuan dengan paparan 35 hari persentase kerusakan sel organ hati menurun sebesar 2,602%. Jenis radikal bebas yang terkandung pada obat nyamuk *one push aerosol* berdasarkan penelitian ini adalah anion superoksida. Pada setiap kelompok perlakuan, nilai impedansi, resistivitas, dan permitivitas dari organ hati mengalami penurunan. Penurunan ini disebabkan karena adanya kerusakan pada membran sel sehingga berpengaruh pada proses mobilisasi ion. Pemberian antioksidan pada mencit yang dipapar obat nyamuk *one push aerosol* memberikan pengaruh terhadap nilai impedansi, resistivitas, dan permitivitas dari organ hati. Nilai impedansi, resistivitas, dan permitivitas organ hati meningkat setelah pemberian antioksidan yaitu masing-masing sebesar 205,85 Ω , 1,319 Ωm , dan $0,149 \times 10^{-6}$ F/m. Hal ini mengindikasikan bahwa pemberian antioksidan dapat mengurangi kerusakan sel yang terjadi sehingga nilai impedansi, resistivitas, dan permitivitas mengalami peningkatan. Pengamatan nilai impedansi terhadap organ hati yang dipapar obat nyamuk *one push aerosol* dan yang diberi antioksidan sebaiknya diamati pada frekuensi 1 kHz. Hal ini dikarenakan berdasarkan nilai R^2 yang dihasilkan, frekuensi 1 kHz dianggap lebih sensitif terhadap hasil pengukuran sehingga nilai yang didapat akan lebih tepat.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya diharapkan untuk memvariasikan dosis antioksidan yang digunakan agar dapat diketahui dosis efektif yang tepat untuk menangkal radikal bebas akibat paparan obat nyamuk *one push aerosol* serta menggunakan software lain yang otomatis dalam menghitung jumlah kerusakan sel hati pada gambaran mikroskopis.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, U.F., Primal S., Supratman S., Tri Y.M.W., Budi H., Sigit M. dan Andria A. 2010. Demam Berdarah Dengue. *Buletin Jendela Epidemiologi*, 2 (1)
- Afifah, Efi dan Tim Lentera. 2003. *Khasiat dan Manfaat Temulawak: Rimpang Penyembuh Aneka Penyakit*. Jakarta: PT Agro Media
- Amri, M. Nabil Ainun, Dudi Darmawan, and Suprayogi. 2018. "Perancangan Multikoil Pada Sistem Induksi Medan Magnet." *e-Proceeding of Engineering*, 5(3): 5841–48
- Andarwulan, Nuri dan Faradila Fitri RH. 2012. *Senyawa Fenolik Pada Beberapa Sayuran Indigenus dari Indonesia*. Bogor : SEAFast Center
- Anwar, Khoerul dan Liling Triyasmono. 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
- Arief, Sjamsul. 2007. *Radikal Bebas*. Surabaya: FK UNAIR
- Asriwati. 2017. *Fisika Kesehatan dan Keperawatan*. Sleman: Penerbit Deepublish
- Atkins. 1999. *Kimia Fisika*. Jakarta: Erlangga
- Avisha, Azarine Neira dan Prawesty Diah Utami. 2018. "Pengaruh Pemberian Ekstrak Rimpang Temulawak (Curcuma Xanthorrhiza Roxb.) Terhadap Jumlah Eritrosit Mencit (Mus Musculus L.) Jantan BALB/c Yang Diinokulasi Plasmodium Berghei Ankal." *Hang Tuah Medical Journal*, 15(2): 112–32
- BPOM RI. 2004. *Informasi Temulawak Indonesia*. Jakarta: Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia

Chen, C.S. dan Cheng V. 2011. Morphological Changes in The Respiratory System og Mice After Inhalation Quito-Coil Smoke. *US National Library of Medicine*, 62:3-6

Christijanti, W., Nur R.U., Arya I. 2012. Efek Pemberian Antioksidan Vitamin C dan E terhadap Kualitas Spermatozoa Tikus Putih Terpapar Allethrin. *Biosaintika*, 2(1):18-26

Cuppett, S., M. S., and C. H. 1954. Natural Antioxidant – Are They Reality. Dalam Foreidoon Shahidi: Natural Antioxidants, Chemistry, Health Effect and Applications. *AOCS Press, Champaign, Illinois* : 12-24

Dalimartha, S. 2000. *Atlas Tumbuhan Obat Indonesia*. Jakarta: Trubus Agriwidya

Damez, Sylvie C., Said A., and Jeckues L. 2007. Dielectrical Behavior of Beef Meat in the 1-1500 kHz Region: Simulation with Fricke/Cole-cole Model. *Journal Meat Science*, 77(4):512-519

Depkes RI. 2007. *Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2008*. Jakarta: Depkes RI

Depkes RI. 2008. *Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2008*. Jakarta: Depkes RI

Djauhariya, Endjo. 2003. Mengkudu (*Morinda citrifolia L.*) Tanaman Obat Potensial. Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat. Pengembangan Teknologi TRO, 15 (1):1-16

Elia, Lusiana Satiawati, dan Janette M. Rumbajan. 2015. “Kualitas Spermatozoa Tikus Wistar (*Rattus Norvegicus*) Setelah Pemaparan Obat Nyamuk Elektrik Berbahan Aktif Transflutrin.” *Jurnal e-Biomedik*, 3(1): 274–79

Fessenden, J. dan JS. Fessenden. 1989. *Fundamental of Organic Chemistry*. New York: Harper and Row

Ganong, WO.F.. 2003. *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran*. Jakarta: EGC

Ghattas, Z.F., M.M. Soliman, and M.M. Mohamed, 2008. Dielectric Technique for Quality Control of Beef Meat in the Range 10 kHz – 1 MHz. *American Eurasian Journal of Scientific Research*, 3(1):62-69

Giancoli, Douglas C. 2001. Fisika Jilid 2 Edisi Kelima. Jakarta: Erlangga

Golan, David E., Armen H.T., and Ehrin J.A.MD. 2008. *Principle of Pharmacology The Pathophysiologic Basic of Drug Therapy*. Philadelphia: Wolters Kluwer

Guyton, A.C. and John E. Hall. 2006. *Textbook of Medical Physiology 11 th Edition*. Philadelphia: Saunders Elsevier

Halliwell, Barry and John M.C. Gutteridge. 2015. *Free Radicals in Biology and Medicine*. Oxford: Oxford University Press

Hamdi, Saipul. 2013. “Dampak Aerosol Terhadap Lingkungan Atmosfer.” *Berita Dirgantara*, 14(1): 9–16.

Hapsoh, Yaya Hasanah dan Elisa Julianti. 2008. *Budidaya dan Teknologi Pascapanen Jahe*. Medan : USU Press

Hariyatmi. 2004. Kemampuan Vitamin E Sebagai Antioksidan Terhadap Radikal Bebas pada Lanjut Usia. *Journal MIPA*, 14(1):52-60

Harliansyah. 2005. Mengunyah Halia Menyah Penyakit. *Paksi Jurnal*, 12:45-57

Idowu, E.T., Aimufua O.J., Ejovwoke Y.O., Akinsanya B. dan Otubanjo O.A.. 2013. Toxicologi Effects of Prolonged and Intense Use of Mosquito Coil Emission in Rats and Its Implications on Malaria Control. *Rev Biol Trop*, 61:1463-1473

Istokhomah dan Lisdiana. 2016. Efek Hepatoprotektor Ekstrak Buah Pepada (*Sonneratia caseolaris*) Pada Tikus Putih (*Rattus norvegicus*). *Life Science*, 5(1):52-58

- Ivorra, Antoni. 2002. Bioimpedance Monitoring for Physicians: An Overview. Biomedical Applications Group, 131-178
- Jaffrin, M.Y. dan Morel, H. 2008. Body Fluid Volumes Measurements By Impedance: A Review of Bioimpedance Spectroscopy (BIS) and Bioimpedance Analysis (BIA) Methods. *Medical Engineering Physics*, 30(10):1257-1269
- Januar, Rahmawati, Yusfiati, dan Fitmawati. 2014. Struktur Mikroskopis Hati Tikus Putih (*Rattus novergicus*) Akibat Pemberian Ekstrak Tanaman *Tristaniopsis whiteana* Griff. *JOM FMIPA*, 1(2): 392-401
- Javanmardi, J., C. Stushnoff, E. Locke and J. M. Vivanco. 2003. "Antioxidant Activity and Total Phenolic Content of Iranian *Ocimum* Accessions". *Food Chemistry*, 83(4): 547-50
- Junqueira, L.C., Carneiro J dan Kelley R.O.. 2007. *Histologi Dasar Edisi Ke-5*. Jakarta: EGC
- Juswono, Unggul P., Arinto Y.P.W., Chomsin S.W., Johan A.E.N., and Didik R.S. 2020. The Impact Of Exposure To Aerosol Mosquitoes Repellent Related To Free Radicals On The Organs Of Male Mice. *International Journal of GEOMATE*, 18(67):78-83
- Khaira, Kuntum. 2010. Menangkal Radikal Bebas dengan Anti-Oksidan. *Jurnal Sainstek*, 11(2): 183-187
- Kikuzaki, Hiroe, Masashi H., Kanae H., Kayo A dan Hisaji T. 2002. Antioxidants Properties of Ferulic Acid and Its Related Compounds. *Journal of Agricultural anf Food Chemistry*, 50:2161-2168
- Kikuzaki, Hiroe dan Nakatani N.. 1993. Antioxidant Effect of Some Ginger Constituents. *Journal of Food Science*, 58:1407-1410
- Kurniati, R., Retno A., dan Liyawati. 2012. Pengaruh Pemaparan Pralahir Obat Nyamuk Elektrik yang Berbahan Aktif D-

Allethrin Terhadap Fetus Mencit. *Mulawarman Scientific*, 11(2): 175

Lostari, Aini. 2011. *Pengaruh Jumlah Pengulangan Penggunaan Minyak Goreng terhadap Banyaknya Kandungan Radikal Bebas (Studi Kasus Penggorengan Kepala Ayam Broiler)*. Malang: Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya

Lu, Frank C.. 1995. *Toksikologi Dasar Asas, Organ Sasaran, dan Penilaian Resiko Edisi II*. Jakarta: UI Press

Lutfiyana, Noor Hudallah dan Agus Suryanto. 2017. "Rancang Bangun Alat Ukur Suhu Tanah , Dan Resistansi." *Teknik Elektro*, 9(2): 80–86

Malole, M.B.M. dan Pramono C.S.. 1989. *Penggunaan Hewan-Hewan Percobaan Laboratorium*. Bogor: PAU Pangan dan Gizi, IPB

Melissinos, Adrian C. dan Jim Napolitano. 2003. *Experiment in Modern Physics*. Cambridge: Academic Press

Mitcell, R.N., Kumar V., Abbas A.K., dan Fausto N. 2008. *Adaptasi Sel, Jejas Sel, dan Kematian Sel*. Dalam: Buku Saku Dasar Patologis Penyakit. Jakarta: EGC

Molyneux, Philip. 2003. The Use of The Stable Radical Diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for Estimating Antioxidant Activity. *Songklanakar Journal of Science and Technology*, 26(2)

Moriwaki, K., Shiroishi T., Yonekawa H.. 1994. *Genetic in Wild Mice, Its Application to Biomedical Research*. Tokyo: Japan Scientific Societies Press

Muchtadi, H. 2000. *Sayur-sayuran. Sumber Serat dan Antioksidan: Mencegah Penyakit Degeneratif*. Bogor: Jurusan Teknologi Pangan & Gizi. FATETA IPB

- Mukono, H.J.. 2005. *Toksikologi Lingkungan*. Surabaya: Airlangga University Press
- Nielsen, Susan S., Roberta M.C., Federico M. Farin, Elizabeth A.H., Susan P.M., dan Beth A.. 2010. Childhood Brain Tumors, Residential Insecticide Exposure, and Pesticide Metabolism Genes. *Environmental Health Perspectives*, 118 (1)
- Oktarian, Alvin, Hamdani B., dan Dwinna A.. 2017. Histopatologi Hati Tikus Putih (*Rattus norvegicus*) yang Diinjeksi Formalin. *JIMVET*, 1(3):316-323
- Orbayinah, Salman, dan Kartyanto A. 2008. Efikasi Binahong (*Anredera cordifolia* (Tenore) Steenis) terhadap Kadar Alkaline Phosphatase. *Mutiara Medika*, 8(2):89-95
- Orrenius, S. 1993. *Mechanism of Oxidative Cell Damage In Free Radicals: From Basic Science to Medicine*. Switzerland : Birkhauser Verlag Bask
- Padayatty, S.J., Katz A., Wang Y., Eck P., Kwon O., Lee J.H., Chen S., Corpe C., Dutta A., Dutta S.K., and Levine M.. 2003. Vitamin C As An Antioksidant: Evaluation Of Its Role In Disease Prevention. *Journal of American College of Nutrition*, 22 (1):18-35
- Papas, Andreas M.. 1999. *Antioxidant Status, Diet, Nutrition and Health*. CRC Press: Washington DC
- Paranjape, Kalyani. Vasant G. V.N. Krishnamurthy dan Sudha G. 2015. *The Pesticida Encyclopedia*. Pondicherry: CABI
- Polk, C. and E. Postow, 1995. *Handbook of Biological Effect of Electromagnetic Fields, Second Edition*. New York: CRC Press
- POM. 2014. *Produksi Kimia Rumah Tangga*. Jakarta: Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia
- Priyambodo, Swastiko. 2003. *Pengendalian Hama Tikus Terpadu*. Jakarta: Penebar Swadaya

- Pujimulyani, Dwiwati. 2003. Pengaruh Bleaching terhadap Sifat Antioksidasi Sirup Kunir Putih (*Curcuma mangga val.*). *Agritech*, 23 (3):137-141
- Purwanto, R.E. dan Agus Sujatmiko. 2009. Identifikasi Kerusakan Sel Melalui Pengamatan Perubahan Distribusi Impedansi Elketris. *Prosiding SENTIA*
- Putri, R. R. A., Sulistya, C., dan 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.
- Raini, Mariana. 2009. "Toksikologi Insektisida Rumah Tangga Dan Pencegahan Keracunan." *Media of Health Research and Development*, 19(2): 27–33
- Rao, U.S.M. dan Saju S.. 2008. Biochemical Evaluation of Antihyperglycemic and Antioxidative Effect of Morinda Citrifolia Fruit Extract Studied in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats. *Medicinal Chemistry Research*, 18 (6):433-446
- Redha, Abdi. 2010. Flavonoid : Struktur, Sifat Antioksidatif dan Peranannya dalam Sistem Biologis. *Jurnal Belian*, 9(2): 196-202
- Robbins, S.L., Cotran R.S., dan Kumar V. 2007. *Jejas, Adaptasi, dan Kematian Sel*. Dalam: Buku Ajar Patologi I. Jakarta:EGC
- Rohman, Abdul dan Sugeng Riyanto. 2005. Aktivitas Antioksidan Ekstrak Buah Mengkudu (*Morinda Citrifolia L.*). *Agritech*, 25 (3):131-136
- Rohmatussolihat, S.. 2009. Antioksidan, Penyelamat Sel-Sel Tubuh Manusia. *Biotrends*, 4(1)
- Ronilaya, Ferdian. 2016. *Ilmu Bahan Listrik*. Malang: Polinema Press
- Rosidi, Ali, Ali Khomsan, Budi Setiawan, Hadi Riyadi dan Dodik Briawan. 2016. Antioxidant Potential of Temulawak (*Curcuma*

xanthorrhiza roxb). *Pakistan Journal of Nutrition*, 15 (6):556-560

Ruslay, S., F. Abbas, K. Shaari, Z. Zainal, Maulidiani, H. Sirat, D.A. Israf dan N.H. Lajis. 2007. Characterization of The Components Present in The Active Fractions of Health Gingers (*Curcuma xanthorrhiza* and *Zingiber zerumbet*). *Food Chemistry*, 104 (3):1183-1191

Salamena, Gianita A, Didik R Santoso dan Abdurrouf. 2017. "Analisis Hasil Eksperimen Pengukuran Nilai Impedansi Listrik Pada Zat Cair Dengan Injeksi Arus Pada Plat Sejajar." *Natural B*, 4(1): 31–36

Sarjadi. 2003. *Patologi Umum*. Ed 2. Semarang : Badan Penerbit Universitas Diponegoro

Schumacher, R. T.. 2010. *Introduction to Magnetic Resonance: Principles and Application*. Minnesota: University of Minnesota Press

Searles, S.N., R. McKean, Federico M.F., Elizabeth A.H., Susan P., and Beth A.M. 2010. Childhood Brain Tumors, Residential Insecticide Exposure and Pesticide Metabolism Genes. *Enviromental Health Perspective*, 118

Selly, Jannes Bastian, Abdurrouf dan Unggul P. Juswono. 2015. "Efek Ekstrak *Sterculia Quadrifida* R.Br. Terhadap Kandungan Radikal Bebas Organ Hati Akibat Pencemaran Logam Berat." *Natural B*, 3(2): 175–81

Setyawarno, Didik dan Supahar. 2017. "Pengaruh Medan Magnetik Eksternal Pada Tabung Gas Hidrogen Terhadap Spektrum Emisi Pada Efek Zeeman." *Jurnal Ilmu Fisika dan Pembelajaran (JIFP)*, 1(1): 1–4

Sigit, S. 2006. *Hama Pemukiman Indonesia, Pengenalan, Biologi, dan Pengendalian*. Bogor: Unit Kajian Pengendalian Hama Pemukiman FKHIPB

- Sloane, E. 2004. *Anatomi dan Fisiologi Untuk Pemula*. Jakarta: EGC
- Smallman, R.E. and R.J. Bishop. 2000. *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering*. New York: Hill International Book Company
- Sucipto, Dimas F.A.R., dan M. Lutfi A.H. 2016. Pengaruh Ukuran Sampel, Frekuensi, dan Suhu terhadap Sifat Biolistrik Tebu (*Saccharum Officinarum L.*) untuk Prediksi Cepat Rendemen Tebu. *Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 5(3): 140–48
- Sudatri, Ni Wayan, Iriani Setyawati, Ni Made Suartini dan Dwi Ariani Yulihastuti. 2016. “Penurunan Fungsi Hati Tikus Beina (*Rattus Norvegicus L*) Yang Diinjeksi White Vitamin C Dosis Tinggi Dalam Jangka Waktu Lama Ditinjau Dari Kadar SGPT, SGOT Serta Gambaran Histologi Hati.” *jurnal Metamorfosa*, 51(1): 44–51
- Sudiono, J., B. Kurniadhi, A. Hendrawan, dan B. Djimantoro. 2003. *Ilmu Patologi*. Jakarta : Kedokteran EGC
- Suhita, N.L.P.R., I.W. Sudira, dan B.O. Winaya. 2013. Histopatologi Ginjal Tikus Putih Akibat Pemberian Ekstrak Pegagan (*Centella asiatica*) Peroral. *Jurnal Veteriner Udayana*. 5(2):77
- Suidah, H. 2011. Pengaruh Mengkudu Terhadap Penurunan Tekanan Darah pada Penderita Hipertensi di Desa Wedoroklurak Kecamatan Candi Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Keperawatan*, 1 (1)
- Syahrin, Ahmad. 2006. *Kesan Ekstrak Etanol Andrographis Paniculate (Burm.F.) Nees Ke Atas Tikus Betina Diabetik Aruhan-Streptozotosin*. Malaysia: Universiti Sains Malaysia
- Tooper, B. 2007. *The Zeeman Effect*. Lahore: LUMS
- Utami, Prapti. 2002. *Khasiat dan Manfaat Jahe Merah Si Rimpang Ajaib*. Jakarta: Agromedia Pustaka

Wahyono, Tri Yunis Miko dan Oktarinda MW. 2016. "Penggunaan Obat Nyamuk Dan Pencegahan Demam Berdarah Di DKI Jakarta Dan Depok Use of Mosquito ' s Insecticide and Dengue Prevention Activities at DKI Jakarta and Depok." *Jurnal Epidemiologi Kesehatan Indonesia*, 1(1): 35–40

Wang, Y and Fischer. 2008. *Manual of Stroke Models in Rats*. Florida: CRC Press

Widyaningsih, Tri Dewanti, Novita Wijayanti dan Nur Ida P. N.. 2017. *Pangan Fungsional: Aspek Kesehatan, Evaluasi, dan Regulasi*. Malang: UB Press

Winarsi, Hery. 2007. *Antioksidan Alami dan Radikal Bebas: Potensi dan Aplikasinya dalam Kesehatan*. Yogyakarta: Kanisius

Yang, Y., Zhong Y.W., Qiang D., Lan H., Cheng W., and Da Z.Z. 2013. Moisture Content Prediction of Porcine Meat by Bioelectrical Impedance Spectroscopy. *Mathematic and Computer Modelling*, 58:819-825

Yasa, I Gede Sudarma, Putu Suka Arsa dan Agus Adiarta. 2019. "Penerapan Model Group Investigation Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Keterampilan Kelistrikan SMPN 6 Singaraja." *Pendidikan Teknik Elektro Undiksha*, 8(1): 31–39

Young, Barbara, James s. Lowe, Alan Stevens and John W. Heath. 2006. *Wheather's Functional Histology*. London: Elsevier

Young, Hugh dan Roger A. Freedman. 2003. *Fisika Universitas Jilid 2 Edisi Kesepuluh*. Jakarta: Erlangga

Yasa, I. G. S., Arsa, P. S., & Adiarta, A. (2019). Penerapan Model Group Investigation Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Keterampilan Kelistrikan SMPN 6 Singaraja. *Pendidikan Teknik Elektro Undiksha*, 8(1), 31–39.

Yuliani, N. N., Sambara, J., & Mau, M. A. (2016). Uji Aktivitas Antioksidan Fraksi Etilasetat Ekstrak Etanol Rimpang Jahe



Merah (*Zingiber officinale* var. *Rubrum*) dengan Metode DPPH(1,1-Diphenyl-2- Picrylhydrazyl). *Informasi Kesehatan*, 14(1), 1091–1111.

Yuliarti, Nurheti. 2009. *A to Z Food Supplement*. Yogyakarta: Andi Offset

Yuslianti, Euis Reni. 2018. *Pengantar Radikal Bebas dan Antioksidan*. Sleman: Deepublish Publisher

Zakaria, Fransiska R, Hari Susanto dan Arif Hartoyo. 2000. Pengaruh Konsumsi Jahe (*Zingiber officinale Roscoe*) Terhadap Kadar Malonaldehida dan Vitamin E Plasma pada Mahasiswa Pesantren Ulil Albaab Kedung Badak, Bogor. *Bul. Teknol. Dan Industri Pangan*. Vol. 6 (1)

Zangar, R.C., Davydov D.R., and Verma S. 2004. Mechanism That Regulate Production of Reactive Oxygen Species By Cytochrome P450. *Toxicol Appl Pharmacol*, 199:316-331



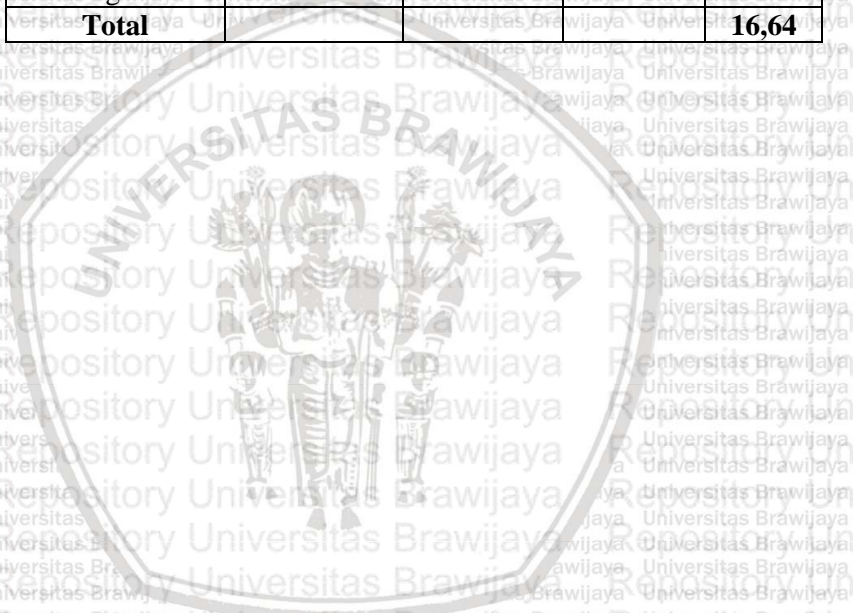
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan konversi dosis antioksidan

Antioksidan	Kapsul/hari	mg/kapsul	mg/hari	mg
Jahe Merah	6	200	1200	3,12
Temulawak	4	550	2200	5,72
Buah Mengkudu	6	500	3000	7,8
Total				16,64



Lampiran 2. Tabulasi kandungan antioksidan pada beberapa buah dan sayur

Tumbuhan	Flavonoid	Alkolid	Fenolik	Kurkumin	Vitamin A	Vitamin B	Vitamin C	Vitamin E	Minyak atsiri	Betakaroten	Saponin	Tannin	Sterooid	Monoterpen	Betalaid	Terpenoid	Polifenol	Antosianin	Kortone	Epkatekin	Katakain	Proantosiainin	Betainin	Xanthon	Kalsium	Fosfor	Zat Besi	Tembagasium	Magnesium	Sterol	Sempol	Skopolin
Daun kelor	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Kulit manggis	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Biji anggur	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Daun sirsak	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Buah Bit	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Seledri	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓



Lampiran 3. Tabel Kerusakan Mikroskopis Kelompok Paparan Obat Nyamuk Semprot

K-												
	L P	SN	DP	DH	N	SEL RUSAK	JUMLAH SEL	% KERUSAKAN				
								TOTA L	SN	DP	DH	N
M 1	A	53	8	9	8	25	78	32,051 3	67, 9	10, 3	11,5 4	10
	B	60	6	0	8	14	74	18,918 9	81, 1	8,1 1	0	11
	C	58	4	6	0	10	68	14,705 9	85, 3	5,8 8	8,82 4	0
	D	52	8	6	4	18	70	25,714 3	74, 3	11, 4	8,57 1	5, 7
	E	65	6	6	0	12	77	15,584 4	84, 4	7,7 9	7,79 2	0
	RATA-RATA								21,395	78, 6	8,6 9	7,34 5
M 2	A	51	2	9	4	15	66	22,727 3	77, 3	3,0 3	13,6 4	6, 1
	B	56	2	3	4	9	65	13,846 2	86, 2	3,0 8	4,61 5	6, 2
	C	56	4	6	4	14	70	20	80	5,7 1	8,57 1	5, 7
	D	60	4	6	0	10	70	14,285 7	85, 7	5,7 1	8,57 1	0
	E	55	0	6	4	10	65	15,384 6	84, 6	0	9,23 1	6, 2
	RATA-RATA								17,248 8	82, 8	3,5 1	8,92 5
M 3	A	56	0	3	0	3	59	5,0847 5	94, 9	0	5,08 5	0
	B	55	6	6	4	16	71	22,535 2	77, 5	8,4 5	8,45 1	5, 6
	C	58	4	3	0	7	65	10,769 2	89, 2	6,1 5	4,61 5	0
	D	55	2	0	4	6	61	9,8360 7	90, 2	3,2 8	6, 0	6
	E	59	4	6	0	10	69	14,492 8	85, 5	5,8 6	8,69 6	0
	RATA-RATA								12,543 6	87, 5	4,7 4	5,36 9
M 4	A	58	4	6	0	10	68	14,705 9	85, 3	5,8 8	8,82 4	0
	B	59	4	3	0	7	66	10,606 1	89, 4	6,0 6	4,54 5	0



	C	54	4	6	0	10	64	15,625	84,4	6,25	9,375	0
	D	56	4	0	0	4	60	6,6666	93,7	6,67	0	0
	E	60	8	3	4	15	75	20	80,7	10,7	4	5,3
	RATA-RATA								13,5207	86,5	7,11	5,349
M5	A	59	10	6	0	16	75	21,3333	78,3	13,3	8	0
	B	53	12	6	4	22	75	29,3333	70,3	7,16	8	5,3
	C	63	10	3	0	13	76	17,1053	82,9	13,2	3,947	0
	D	61	6	3	0	9	70	12,8571	87,1	8,57	4,286	0
	E	55	12	9	0	21	76	27,6316	72,6	15,4	11,84	0
	RATA-RATA								21,6521	78,3	13,4	7,215

Keterangan :

LP = Lapang Pandang ; SN = Sel Normal ; DP = Degenerasi Parenkim ; DH = Degenerasi Hidropik, JS = Jumlah Sel, SR = Sel Rusak, M = Mencit

P1												
	LP	SN	DP	DH	N	SEL RUSAK	JUMLAH SEL	% KERUSAKAN				
								TOTAL	SN	DP	DH	N
M1	A	58	14	18	4	36	130	27,6923	45	10,8	14	3
	B	51	26	21	12	59	169	34,9112	30	15,4	12	7
	C	54	22	18	8	48	150	32	36	14,7	12	5
	D	55	18	21	4	43	141	30,4965	39	12,8	15	3
	E	58	18	21	16	55	168	32,7381	35	10,7	13	10
RATA-RATA								31,5676	37	12,9	13	6
M2	A	53	10	15	4	29	82	35,3659	65	12,2	18	5
	B	57	12	15	8	35	92	38,0435	62	13	16	9
	C	57	8	18	4	30	87	34,4828	66	9,2	21	5
	D	58	10	12	4	26	84	30,9524	69	11,9	14	5
	E	57	10	12	8	30	87	34,4828	66	11,5	14	9
RATA-RATA								34,6654	65	11,6	17	6
M3	A	56	10	18	4	32	88	36,3636	64	11,4	20	5
	B	59	12	9	4	25	84	29,7619	70	14,3	11	5

	C	48	10	12	8	30	78	38,4615	62	12,8	15	10
	D	53	8	15	4	27	80	33,75	66	10	19	5
	E	58	8	15	4	27	85	31,7647	68	9,41	18	5
RATA-RATA								34,0204	66	11,6	17	6
M4	A	58	8	12	4	24	82	29,2683	71	9,76	15	5
	B	55	10	15	8	33	88	37,5	63	11,4	17	9
	C	51	8	12	8	28	79	35,443	65	10,1	15	10
	D	57	8	12	4	24	81	29,6296	70	9,88	15	5
	E	58	8	15	4	27	85	31,7647	68	9,41	18	5
RATA-RATA								32,7211	67	10,1	16	7
M5	A	54	8	9	8	25	79	31,6456	68	10,1	11	10
	B	60	6	12	4	22	82	26,8293	73	7,32	15	5
	C	55	10	12	4	26	81	32,0988	68	12,3	15	5
	D	60	8	15	8	31	91	34,0659	66	8,79	16	9
	E	60	8	9	4	21	81	25,9259	74	9,88	11	5
RATA-RATA								30,1131	70	9,69	14	7

Keterangan :

LP = Lapang Pandang ; SN = Sel Normal ; DP = Degenerasi Parenkim ; DH = Degenerasi Hidropik, JS = Jumlah Sel, SR = Sel Rusak, M = Mencit

P2												
	LP	SN	DP	DH	N	SEL RUSAK	JUMLAH SEL	% KERUSAKAN				
								TOTAL	SN	DP	DH	N
M1	A	45	16	12	12	40	85	47,05882353	52,9	18,82	14,	14,1
	B	58	16	15	8	39	97	40,20618557	59,7	16,49	15,	8,25
	C	52	18	9	4	31	83	37,34939759	62,6	21,68	10,	4,82
	D	58	18	12	8	38	96	39,58333333	60,4	16,75	12,	8,33
	E	52	14	15	4	33	85	38,82352941	61,1	16,47	17,	4,71
	RATA-RATA								40,60425389	59,3	18,44	14,
M2	A	50	16	9	12	37	87	42,52873563	57,4	18,39	10,	13,8



M2	B	55	18	15	4	37	92	40,217 3913	59,7 826	19,56 5	16, 3	14,35	
	C	47	12	9	8	29	76	38,157 89474	61,8 421	15,78 9	11, 84	10,5	
	D	51	16	15	4	35	86	40,697 67442	59,3 023	18,60 5	17, 44	4,65	
	E	59	12	12	8	32	91	35,164 83516	64,8 352	13,18 7	13, 19	8,79	
	RATA-RATA								39,353 30625	60,6 467	17,10 7	13, 82	8,42
									36,708 86076	63,2 911	10,12 7	11, 39	15,2
M3	B	53	16	12	8	36	89	40,449 4382	59,5 506	17,97 8	13, 48	8,99	
	C	50	16	12	12	40	90	44,444 44444	55,5 556	17,77 8	13, 33	13,3	
	D	43	8	15	8	31	74	41,891 89189	58,1 081	10,81 1	20, 27	10,8	
	E	56	8	9	0	17	73	23,287 67123	76,7 123	10,95 9	12, 33	0	
	RATA-RATA								37,356 46131	62,6 435	13,53 16	14, 16	9,66
									37,777 77778	62,2 222	11,11 1	13, 33	13,3
M4	B	44	8	9	8	25	69	36,231 88406	63,7 681	11,59 4	13, 04	11,6	
	C	51	10	15	12	37	88	42,045 45455	57,9 545	11,36 4	17, 05	13,6	
	D	58	10	12	4	26	84	30,952 38095	69,0 476	11,90 5	14, 29	4,76	
	E	47	8	12	8	28	75	37,333 33333	62,6 667	10,66 7	16, 16	10,7	
	RATA-RATA								36,868 16613	63,1 318	11,32 8	14, 74	10,8
									35,294 11765	64,7 059	11,76 5	17, 65	5,88
M5	B	44	10	15	8	33	77	42,857 14286	57,1 429	12,98 7	19, 48	10,4	
	C	40	14	3	12	29	69	42,028 98551	57,9 71	20,29 20,29	4,3 48	17,4	
	D	45	14	3	8	25	70	35,714 28571	64,2 857	20 20	4,2 86	11,4	
	E	44	8	3	8	19	63	30,158 73016	69,8 413	12,69 8	4,7 62	12,7	
	RATA-RATA								37,210 65238	62,7 893	15,54 8	10, 1	11,6
									42,857 14286	57,1 429	12,98 7	19, 48	10,4

Keterangan :



LP = Lapang Pandang ; SN = Sel Normal ; DP = Degenerasi Parenkim ; DH = Degenerasi Hidropik, JS = Jumlah Sel, SR = Sel Rusak, M = Mencit

P3												
	LP	SN	DP	DH	N	SEL RUSAK	JUMLAH SEL	% KERUSAKAN				
								TOTAL	SN	DP	DH	N
M1	A	48	20	15	12	47	95	49,4736 8421	50,52 6	21,05 3	15,7 89	12,631 6
	B	49	14	15	16	45	94	47,8723 4043	52,12 8	14,89 4	15,9 57	17,021 3
	C	47	6	12	8	26	73	35,6164 3836	64,38 4	8,219 2	16,4 38	10,958 9
	D	42	18	18	12	48	90	53,3333 3333	46,66 7	20 20	20 20	13,333 3
	E	48	14	12	12	38	86	44,1860 4651	55,81 4	16,27 9	13,9 53	13,953 5
	RATA-RATA								46,0963 6857	53,90 4	16,08 9	16,4 28
M2	A	45	20	12	16	48	93	51,6129 0323	48,38 7	21,50 5	12,9 03	17,204 3
	B	50	16	12	8	36	86	41,8604 6512	58,14 5	18,60 5	13,9 53	9,3023 3
	C	47	6	9	12	27	74	36,4864 8649	63,51 4	8,108 1	12,1 62	16,216 2
	D	46	20	9	12	41	87	47,1264 3678	52,87 4	22,98 9	10,3 45	13,793 1
	E	45	18	3	8	29	74	39,1891 8919	60,81 1	24,32 4	4,05 41	10,810 8
	RATA-RATA								43,2550 9616	56,74 5	19,10 6	10,6 84
M3	A	44	10	12	8	30	74	40,5405 4054	59,45 9	13,51 4	16,2 16	10,810 8
	B	40	18	12	12	42	82	51,2195 122	48,78 1	21,95 34	14,6 34	14,634 1
	C	42	14	9	12	35	77	45,4545 4545	54,54 5	18,18 2	11,6 88	15,584 4
	D	44	12	9	8	29	73	39,7260 274	60,27 4	16,43 8	12,3 29	10,958 9
	E	45	14	6	16	36	81	44,4444 4444	55,55 6	17,28 4	7,40 74	19,753 1
	RATA-RATA								44,2770 1401	55,72 3	17,47 4	12,4 55
M4	A	46	16	3	16	35	81	43,2098 7654	56,79 3	19,75 3	3,70 37	19,753 1
	B	45	8	9	12	29	74	39,1891 8919	60,81 1	10,81 1	12,1 62	16,216 2

	C	46	8	12	8	28	74	37,8378 3784	62,16 2	10,81 1	16,2 16	10,810 8
	D	46	18	9	4	31	77	40,2597 4026	59,74	23,37 7	11,6 88	5,1948 1
	E	48	18	12	12	42	90	46,6666 6667	53,33 3	20	13,3 33	13,333 3
RATA-RATA								41,4326 621	58,56 7	16,95	11,4 21	13,061 7
M5	A	46	14	18	4	36	82	43,9024 3902	56,09 8	17,07 3	21,9 51	4,8780 5
	B	39	4	12	4	20	59	33,8983 0508	66,10 2	6,779 7	20,3 39	6,7796 6
	C	42	12	15	4	31	73	42,4657 5342	57,53 4	16,43 8	20,5 48	5,4794 5
	D	47	18	9	8	35	82	42,6829 2683	57,31 7	21,95 1	10,9 76	9,7561 3
	E	39	10	27	20	57	96	59,375 8487	40,62 5	10,41 7	28,1 25	20,833 3
	RATA-RATA								44,4648 8487	55,53 5	14,53 2	20,3 88

Keterangan :

LP = Lapang Pandang ; SN = Sel Normal ; DP = Degenerasi Parenkim ; DH = Degenerasi Hidropik, JS = Jumlah Sel, SR = Sel Rusak, M = Mencit

P4												
	LP	SN	DP	DH	N	SEL RUSAK	JUMLAH SEL	% KERUSAKAN				
								TOTAL	SN	DP	DH	N
M1	A	43	12	15	12	39	82	47,5609 7561	52,43 9	14,6 34	18,29 27	14,6 34
	B	43	20	15	20	55	98	56,1224 4898	43,87 8	20,4 08	15,30 61	20,4 08
	C	47	18	12	12	42	89	47,1910 1124	52,80 9	20,2 25	13,48 31	13,4 83
	D	49	30	24	4	58	107	54,2056 0748	45,79 4	28,0 37	22,42 99	3,73 83
	E	43	20	9	12	41	84	48,8095 2381	51,19	23,8 1	10,71 43	14,2 86
RATA-RATA								50,7779 1342	49,22 2	21,4 23	16,04 52	13,3 1
M2	A	41	18	12	8	38	79	48,1012 6582	51,89 9	22,7 85	15,18 99	10,1 27
	B	42	22	6	12	40	82	48,7804 878	51,22	26,8 29	7,317 07	14,6 34
	C	40	20	24	16	60	100	60	40	20	24	16

	D	45	20	18	12	50	95	52,6315 7895	47,36 8	21,0 53	18,94 74	12,6 32
	E	43	18	6	12	36	79	45,5696 2025	54,43	22,7 85	7,594 94	15,1 9
RATA-RATA								51,0165 9057	48,98 3	22,6 9	14,60 99	13,7 16
M3	A	44	22	27	12	61	105	58,0952 381	41,90 5	20,9 52	25,71 43	11,4 29
	B	47	24	12	8	44	91	48,3516 4835	51,64 8	26,3 74	13,18 68	8,79 12
	C	43	24	24	16	64	107	59,8130 8411	40,18 7	22,4 3	22,42 99	14,9 53
	D	42	20	27	12	59	101	58,4158 4158	41,58 4	19,8 02	26,73 27	11,8 81
	E	45	26	9	8	43	88	48,8636 3636	51,13 6	29,5 45	10,22 73	9,09 09
	RATA-RATA								54,7078 897	45,29 2	23,8 21	19,65 82
M4	A	44	12	27	16	55	99	55,5555 5556	44,44 4	12,1 21	27,27 27	16,1 62
	B	44	24	21	8	53	97	54,6391 7526	45,36 1	24,7 42	21,64 95	8,24 74
	C	44	10	12	12	34	78	43,5897 4359	56,41	12,8 21	15,38 46	15,3 85
	D	41	28	9	12	49	90	54,4444 4444	45,55 6	31,1 11	10	13,3 33
	E	41	14	12	8	34	75	45,3333 3333	54,66 7	18,6 67	16	10,6 67
	RATA-RATA								50,7124 5044	49,28 8	19,8 92	18,06 14
M5	A	36	20	24	16	60	96	62,5	37,5	20,8 33	25	16,6 67
	B	46	16	18	12	46	92	50	50	17,3 91	19,56 52	13,0 43
	C	52	20	21	20	61	113	53,9823 0088	46,01 8	17,6 99	18,58 41	17,6 99
	D	39	0	6	24	30	69	43,4782 6087	56,52 2	8,695 0	34,7 65	83
	E	49	14	24	16	54	103	52,4271 8447	47,57 3	13,5 92	23,30 1	15,5 34
	RATA-RATA								52,4775 4924	47,52 2	13,9 03	19,02 92

Keterangan :

LP = Lapang Pandang ; SN = Sel Normal ; DP = Degenerasi Parenkim ; DH = Degenerasi Hidropik, JS = Jumlah Sel, SR = Sel Rusak, M = Mencit



P5												
	LP	SN	DP	DH	N	SEL RUSAK	JUMLAH SEL	% KERUSAKAN				
								TOTAL	SN	DP	DH	N
M1	A	50	28	15	8	51	101	50,49505	49,505	27,723	14,851	7,92079
	B	50	28	15	8	51	101	50,49505	49,505	27,723	14,851	7,92079
	C	44	26	12	20	58	102	56,862745	43,1373	25,49	11,765	19,6078
	D	52	24	45	28	97	149	65,100671	34,8993	16,107	30,201	18,7919
	E	48	30	30	20	80	128	62,5	37,5	23,438	23,438	15,625
	RATA-RATA								57,090703	42,9093	24,096	19,021
M2	A	44	26	12	16	54	98	55,102041	44,898	26,531	12,245	16,3265
	B	49	22	27	12	61	110	55,54545	44,5455	20	24,545	10,9091
	C	48	26	33	16	75	123	60,97561	39,0244	21,138	26,829	13,0081
	D	51	30	42	16	88	139	63,309353	36,6906	21,583	30,216	11,5108
	E	51	28	24	16	68	119	57,142857	42,8571	23,529	20,168	13,4454
	RATA-RATA								58,396881	41,6031	22,556	22,801
M3	A	42	26	9	8	43	85	50,588235	49,4118	30,588	10,588	9,41176
	B	44	22	12	4	38	82	46,341463	53,6585	26,829	14,634	4,87805
	C	37	26	24	16	66	103	64,07767	35,9223	25,243	23,301	15,534
	D	41	24	12	20	56	97	57,731959	42,268	24,742	12,371	20,6186
	E	33	18	12	16	46	79	58,227848	41,7722	22,785	15,19	20,2532
	RATA-RATA								55,393435	44,6066	26,037	15,217
M4	A	41	16	27	12	55	96	57,291667	42,7083	16,667	28,125	12,5
	B	40	24	24	28	76	116	65,517241	34,4828	20,69	20,69	24,1379
	C	46	14	12	16	42	88	47,727273	52,2727	15,909	13,636	18,1818
	D	49	30	9	12	51	100	62,135922	37,8641	31,068	11,65	19,4175
	E	39	32	12	20	64	103	57,291922	42,7083	16,667	28,125	12,5
	RATA-RATA								57,291922	42,7083	16,667	28,125

RATA-RATA								56,734 421	43,2 656	22,8 67	16,6 2	17,247 4
M5	A	37	30	6	24	60	97	61,855 67	38,1 443	30,9 28	6,18 56	24,742 3
	B	40	22	9	20	51	91	56,043 956	43,9 56	24,1 76	9,89 01	21,978
	C	42	18	9	24	51	93	54,838 71	45,1 613	19,3 55	9,67 74	25,806 5
	D	37	26	18	16	60	97	61,855 67	38,1 443	26,8 04	18,5 57	16,494 8
	E	36	16	3	24	43	79	54,430 38	45,5 696	20,2 53	3,79 75	30,379 7
	RATA-RATA								57,804 877	42,1 951	24,3 03	9,62 15

Keterangan :

LP = Lapang Pandang ; SN = Sel Normal ; DP = Degenerasi Parenkim ; DH = Degenerasi Hidropik, JS = Jumlah Sel, SR = Sel Rusak, M = Mencit

Kerusakan Rata-Rata Setiap Kelompok Perlakuan Paparan Obat Nyamuk Semprot *One Push Aerosol*

PERLAKUAN	MENCIT	% KERUSAKAN SEL			% SEL NORMAL	% KERUSAKAN TOTAK
		DEG. PARENKIM	DEG. HIDROPIK	NEKROSIS		
K-	1	8,693530105	7,34512546	5,356301356	78,60504308	21,39495692
	2	3,507159507	8,92507493	4,816516817	82,75124875	17,24875125
	3	4,736068071	5,36929736	2,438235973	87,4563986	12,5436014
	4	7,105258467	5,34879679	1,066666667	86,47927807	13,52072193
	5	13,37042607	7,21503759	1,066666667	78,34786967	21,65213033
RATA-RATA		7,482488443	6,84066643	2,948877496	82,72796764	17,27203236
P1	1	12,8601512	13,1331613	5,574307417	36,86476023	31,56761989
	2	11,56660346	16,6731007	6,425741833	65,33455398	34,66544602
	3	11,57632564	16,5901011	5,853930383	65,97964291	34,02035709
	4	10,10692482	15,8662696	6,747938822	67,27886677	32,72113323
	5	9,691417293	13,6871988	6,734476612	69,88690733	30,11309267
RATA-RATA		11,16028448	15,1899663	6,267279013	61,06894624	32,61752978



P2	1	18,445142	14,1143994	8,044712507	59,39574611	40,60425389
	2	17,107392	13,8239909	8,421923381	60,64669375	39,35330625
	3	13,53032061	14,1615844	9,664556321	62,64353869	37,35646131
	4	11,32807579	14,7415961	10,79849426	63,13183387	36,86816613
	5	15,54799733	10,1046047	11,55805036	62,78934762	37,21065238
RATA-RATA		15,19178555	13,3892351	9,697547366	61,72143201	38,27856799
P3	1	16,08889929	16,427753	13,57971627	53,90363143	46,09636857
	2	19,10619314	10,6835516	13,46535143	56,74490384	43,25509616
	3	17,4737716	12,4549698	14,34827265	55,72298599	44,27701401
	4	16,95026628	11,4207454	13,06165039	58,5673379	41,4326621
	5	14,53181482	20,3877515	9,545318549	55,53511513	44,46488487
RATA-RATA		16,83018903	14,2749543	12,80006186	56,09479486	43,90520514
P4	1	21,42278714	16,0452287	13,30989754	49,22208658	50,77791342
	2	22,69030402	14,6098503	13,7164362	48,98340943	51,01659057
	3	23,82066972	19,6581903	11,22902969	45,2921103	54,7078897
	4	19,89235415	18,0613654	12,75873085	49,28754956	50,71245044
	5	13,90319715	19,0291822	19,54516985	47,52245076	52,47754924
RATA-RATA		20,34586244	17,4807634	14,11185283	48,06152133	51,93847867
P5	1	24,09612464	19,0213037	13,97327472	42,90929695	57,09070305
	2	22,55619384	22,8007031	13,03998422	41,60311886	58,39688114
	3	26,03746004	15,216872	14,13910307	44,6065649	55,3934351
	4	22,86667478	16,6203008	17,24744499	43,26557938	56,73442062
	5	24,30315724	9,62145313	23,88026677	42,19512287	57,80487713
RATA-RATA		23,97192211	16,6561265	16,45601475	42,91593659	57,08406341

Lampiran 4. Tabel Kerusakan Mikroskopis Kelompok Pemberian Antioksidan

K+



	L P	SN	DP	D H	N	SEL RUSAK	JUMLAH SEL	% KERUSAKAN					
								TOTA L	SN	DP	DH	N	
M 1	A	56	6	9	4	19	75	25,3333	7	8	12	5	3
	B	50	4	3	0	7	57	12,2807	7	2	3	0	0
	C	62	4	6	4	14	76	18,4211	81,6	5,2	7,89	5	3
	D	59	2	6	0	8	67	11,9403	88,1	2,9	8,95	5	0
	E	66	4	6	0	10	76	13,1579	86,8	5,2	7,89	5	0
RATA-RATA								16,2267	83,8	5,7	8,40	2	1
M 2	A	52	2	9	4	15	67	22,3881	77,6	2,9	13,4	3	6
	B	57	2	3	0	5	62	8,06452	91,9	3,2	4,83	9	0
	C	46	4	3	4	11	57	19,2982	80,7	7,0	5,26	3	7
	D	67	4	3	4	11	78	14,1026	85,9	5,1	3,84	5	1
	E	46	4	6	0	10	56	17,8571	82,1	7,1	10,7	1	0
RATA-RATA								16,3421	83,7	5,1	7,61	3	6
M 3	A	64	4	3	4	11	75	14,6667	85,3	5,3	4,4	5	3
	B	51	6	3	0	9	60	15	85	10	5	0	0
	C	56	4	3	4	11	67	16,4179	83,6	5,9	4,47	8	6
	D	65	2	3	0	5	70	7,14286	92,9	2,8	4,28	6	0
	E	65	4	6	4	14	79	17,7215	82,3	5,0	7,59	5	1
RATA-RATA								14,1898	85,8	5,8	5,07	3	3
M 4	A	56	4	6	0	10	66	15,1515	84,8	6,0	9,09	6	0
	B	56	4	3	4	11	67	16,4179	83,6	5,9	4,47	8	6
	C	61	2	6	0	8	69	11,5942	88,4	2,9	8,69	6	0
	D	63	4	6	4	14	77	18,1818	81,8	5,1	7,79	5	2



	E	61	6	3	0	9	70	12,8571	87,1	8,57	4,28	6	0
RATA-RATA								14,8405	85,2	5,74	6,868	2,2	
M5	A	59	4	6	4	14	73	19,1781	80,8	5,48	8,219	5,5	
	B	63	4	6	0	10	73	13,6986	86,3	5,48	8,219	0	
	C	66	2	3	4	9	75	12,88	88,7	2,64	5,43		
	D	61	4	3	0	7	68	10,2941	89,7	5,88	4,412	0	
	E	68	4	9	4	17	85	20,80	80,1	4,79	10,59	4,7	
RATA-RATA								15,0342	85,4	4,84	7,088	3,1	

Keterangan :

LP = Lapang Pandang ; SN = Sel Normal ; DP = Degenerasi Parenkim ; DH = Degenerasi Hidropik, JS = Jumlah Sel, SR = Sel Rusak, M = Mencit

PA 1												
	LP	SN	DP	DH	N	SEL RUSAK	JUMLAH SEL	% KERUSAKAN				
								TOTAL	SN	DP	DH	N
M1	A	69	6	6	0	12	81	14,8148	85	7,41	7,4	0
	B	64	10	9	4	23	87	26,4368	74	11,5	10	5
	C	56	14	9	4	27	83	32,5301	67	16,9	11	5
	D	57	14	9	4	27	84	32,1429	68	16,7	11	5
	E	54	14	12	8	34	88	38,6364	61	15,9	14	9
RATA-RATA								28,9122	71	13,7	11	5
M2	A	68	12	0	4	16	84	19,0476	81	14,3	0	5
	B	64	14	15	4	33	97	34,0206	66	14,4	15	4
	C	63	10	9	4	23	86	26,7442	73	11,6	10	5
	D	73	12	9	8	29	102	28,4314	72	11,8	8,8	8
	E	70	10	9	4	23	93	24,7312	75	10,8	9,7	4
RATA-RATA								26,595	73	12,6	8,9	5
M3	A	65	14	9	8	31	96	32,2917	68	14,6	9,4	8
	B	67	10	12	0	22	89	24,7191	75	11,2	13	0
	C	76	10	15	4	29	105	27,619	72	9,52	14	4

	D	67	8	9	4	21	88	23,8636	76	9,09	10	5
	E	64	12	9	4	25	89	28,0899	72	13,5	10	4
RATA-RATA								27,3167	73	11,6	11	4
M4	A	58	8	9	0	17	75	22,6667	77	10,7	12	0
	B	65	16	6	4	26	91	28,5714	71	17,6	6,6	4
	C	56	12	9	4	25	81	30,8642	69	14,8	11	5
	D	53	8	12	0	20	73	27,3973	73	11	16	0
	E	55	12	12	8	32	87	36,7816	63	13,8	14	9
RATA-RATA								29,2562	71	13,6	12	4
M5	A	57	8	6	4	18	75	24	76	10,7	8	5
	B	58	16	9	8	33	91	36,2637	64	17,6	9,9	9
	C	61	18	3	4	25	86	29,0698	71	20,9	3,5	5
	D	58	14	12	4	30	88	34,0909	66	15,9	14	5
	E	52	16	12	0	28	80	35	65	20	15	0
RATA-RATA								31,6849	68	17	10	5

Keterangan :

LP = Lapang Pandang ; SN = Sel Normal ; DP = Degenerasi Parenkim ; DH = Degenerasi Hidropik, JS = Jumlah Sel, SR = Sel Rusak, M = Mencit

PA 2												
	LP	SN	DP	DH	N	SEL RUSAK	JUMLAH SEL	% KERUSAKAN				
								TOTAL	SN	DP	D H	N
M1	A	66	14	9	12	35	101	34,653 46535	65,3 465	13,86 1	8,9 11	11, 9
	B	57	18	12	4	34	91	37,362 63736	62,6 374	19,78	13, 19	4,4
	C	50	16	6	4	26	76	34,210 52632	65,7 895	21,05 3	7,8 95	5,2 6
	D	65	12	6	12	30	95	31,578 94737	68,4 211	12,63 2	6,3 16	12, 6
	E	49	14	6	12	32	81	39,506 17284	60,4 938	17,28 4	7,4 07	14, 8
RATA-RATA								35,462 34985	64,5 377	16,92 2	8,7 43	9,8
M2	A	52	18	9	0	27	79	34,177 21519	65,8 228	22,78 5	11, 39	11, 0



	B	47	14	12	0	26	73	35,616 43836	64,3 836	19,17 8	16, 44	0	
	C	50	16	9	8	33	83	39,759 03614	60,2 41	19,27 7	10, 84	9,6 4	
	D	52	12	12	4	28	80	52	35	65	15	15	5
	E	65	18	9	0	27	92	29,347 82609	70,6 522	19,56 5	9,7 83	9,7 0	
	RATA-RATA								34,780 10316	65,2 199	19,16 1	12, 69	2,9 3
M3	A	52	12	6	12	30	82	36,585 36585	63,4 146	14,63 4	7,3 17	14, 6	
	B	48	10	12	8	30	78	38,461 53846	61,5 385	12,82 1	15, 38	10, 3	
	C	49	10	9	4	23	72	31,944 44444	68,0 556	13,88 9	12, 5	5,5 6	
	D	53	16	6	8	30	83	36,144 57831	63,8 554	19,27 7	7,2 29	9,6 4	
	E	48	12	12	4	28	76	36,842 10526	63,1 579	15,78 9	15, 79	5,2 6	
RATA-RATA								35,995 60647	64,0 044	15,28 2	11, 64	9,0 7	
M4	A	65	18	12	12	42	107	39,252 33645	60,7 477	16,82 2	11, 21	11, 2	
	B	58	10	12	0	22	80	27,5	72,5	12,5	15	0	
	C	59	12	12	20	44	103	42,718 4466	57,2 816	11,65	65	19, 4	
	D	55	8	12	4	24	79	30,379 74684	69,6 203	10,12 7	15, 19	5,0 6	
	E	62	12	9	8	29	91	31,868 13187	68,1 319	13,18 7	9,8 9	8,7 9	
RATA-RATA								34,343 73235	65,6 563	12,85 7	12, 59	8,9	
M5	A	54	10	12	8	30	84	35,714 28571	64,2 857	11,90 5	14, 29	9,5 2	
	B	55	10	15	12	37	92	40,217 3913	59,7 826	10,87	3	13	
	C	56	12	9	4	25	81	30,864 19753	69,1 358	14,81 5	11, 11	4,9 4	
	D	62	16	6	4	26	88	29,545 45455	70,4 545	18,18 2	6,8 18	4,5 5	
	E	53	12	9	8	29	82	35,365 85366	64,6 341	14,63 4	10, 98	9,7 6	
RATA-RATA								34,341 43655	65,6 586	14,08 1	11, 9	8,3 6	

Keterangan :

LP = Lapang Pandang ; SN = Sel Normal ; DP = Degenerasi Parenkim ; DH = Degenerasi Hidropik, JS = Jumlah Sel, SR = Sel Rusak, M = Mencit

PA 3												
	LP	SN	DP	DH	N	SEL RUSAK	JUMLAH SEL	% KERUSAKAN				
								TOTAL	SN	DP	DH	N
M1	A	59	18	21	8	47	106	44,3396 2264	55,6 6	16,98 1	19,81 1	7,54 717
	B	55	16	30	12	58	113	51,3274 3363	48,6 73	14,15 9	26,54 9	10,6 195
	C	56	18	12	0	30	86	34,8837 2093	65,1 16	20,93	13,95 3	0
	D	57	20	18	8	46	103	44,6601 9417	55,3 4	19,41 7	17,47 6	7,76 699
	E	58	18	3	12	33	91	36,2637 3626	63,7 36	19,78	3,296 7	13,1 868
	RATA-RATA								42,2949 4153	57,7 05	18,25 4	16,21 7
M2	A	53	18	24	8	50	103	48,5436 8932	51,4 56	17,47 6	23,30 1	7,76 699
	B	57	14	12	8	34	91	37,3626 3736	62,6 37	15,38 5	13,18 7	8,79 121
	C	52	18	15	4	37	89	41,5730 3371	58,4 27	20,22 5	16,85 4	4,49 438
	D	58	16	12	0	28	86	32,5581 3953	67,4 42	18,60 5	13,95 3	0
	E	47	14	15	8	37	84	44,0476 1905	55,9 52	16,66 7	17,85 7	9,52 381
	RATA-RATA								40,8170 2379	59,1 83	17,67 1	17,03
M3	A	55	18	12	8	38	93	40,8602 1505	59,1 4	19,35 5	12,90 3	8,60 215
	B	43	8	24	8	40	83	48,1927 7108	51,8 07	9,638 6	28,91 6	9,63 855
	C	50	12	15	4	31	81	38,2716 0494	61,7 28	14,81 5	18,51 9	4,93 827
	D	46	14	12	8	34	80	42,5 46,6666	57,5 53,3	17,5 17,77	15 8	10 889
	E	48	16	18	8	42	90	46,6666 6667	53,3 33	17,77 8	20 8	8,89 889
	RATA-RATA								43,2982 5155	56,7 02	15,81 7	19,06 7
M4	A	46	8	15	8	31	77	40,2597 4026	59,7 4	19,48 10,39	10,3 1	896



	B	48	10	18	4	32	80	40	60	12,5	22,5	5
	C	45	16	9	4	29	74	39,1891	60,8	21,62	12,16	5,40
	D	46	14	12	8	34	80	42,5	57,5	17,5	15	10
	E	42	10	9	4	23	65	35,3846	64,6	15,38	13,84	6,15
	RATA-RATA								39,4667	60,5	15,47	16,59
M5	A	54	18	18	8	44	98	44,8979	55,1	18,36	18,36	8,16
	B	53	16	12	4	32	85	37,6470	62,3	18,82	14,11	4,70
	C	50	16	9	0	25	75	33,3333	66,6	21,33	3	12
	D	54	18	12	8	38	92	41,3043	58,6	19,56	13,04	8,69
	E	52	16	15	8	39	91	42,8571	57,1	17,58	16,48	8,79
	RATA-RATA								40,0079	59,9	19,13	14,80

Keterangan :

LP = Lapang Pandang ; SN = Sel Normal ; DP = Degenerasi Parenkim ; DH = Degenerasi Hidropik, JS = Jumlah Sel, SR = Sel Rusak, M = Mencit

PA 4												
	LP	SN	DP	DH	N	SEL RUSAK	JUMLAH SEL	% KERUSAKAN				
								TOTAL	SN	DP	DH	N
M1	A	58	30	27	8	65	123	52,8455	47,1	24	21,9	6,50
	B	50	20	15	16	51	101	50,4950	49,5	80	14,8	15,8
	C	49	22	21	0	43	92	46,7391	53,2	91	22,8	0
	D	55	24	24	8	56	111	50,4504	49,5	62	21,6	7,20



	E	54	20	15	4	39	93	41,9354 8387	58,0 65	21, 50	16,1 29	4,30 11
	RATA-RATA							48,4931 2854	51,5 07	22, 24	19,4 759	6,77 08
M2	A	52	20	12	16	48	100	48	52	20	12	16
	B	50	22	18	8	48	98	48,9795 9184	51,0 2	44 9	18,3 673	8,16 33
	C	52	20	18	8	46	98	46,9387 7551	53,0 61	40 8	18,3 673	8,16 33
	D	50	18	21	8	47	97	48,4536 0825	51,5 46	55 7	21,6 495	8,24 74
	E	55	20	15	16	51	106	48,1132 0755	51,8 87	18, 86	14,1 509	15,0 94
	RATA-RATA							48,0970 3663	51,9 03	20, 05	16,9 07	11,1 34
M3	A	55	22	15	12	49	104	47,1153 8462	52,8 85	21, 15	14,4 231	11,5 38
	B	53	18	27	16	61	114	53,5087 7193	46,4 91	15, 78	23,6 842	14,0 35
	C	54	24	27	4	55	109	50,4587 156	49,5 41	22, 01	24,7 706	3,66 97
	D	56	18	18	8	44	100	44	56	18	18	8
	E	46	22	15	4	41	87	47,1264 3678	52,8 74	25, 28	17,2 414	4,59 77
	RATA-RATA							48,4418 6178	51,5 58	20, 45	19,6 239	8,36 82
M4	A	50	20	15	4	39	89	43,8202 2472	56,1 8	22, 47	16,8 539	4,49 44
	B	49	22	12	8	42	91	46,1538 4615	53,8 46	24, 17	13,1 868	8,79 12
	C	50	14	18	12	44	94	46,8085 1064	53,1 91	14, 89	19,1 489	12,7 66
	D	44	18	12	4	34	78	43,5897 4359	56,4 1	23, 07	15,3 846	5,12 82

	E	47	16	15	16	47	94	50	50	17,02	15,97	17,02
	RATA-RATA							46,0744 6502	53,926	20,328	16,1063	9,6402
M5	A	47	20	18	8	46	93	49,4623 6559	50,538	21,505	19,3548	8,6022
	B	51	20	12	8	40	91	43,9560 4396	56,044	21,978	13,1868	8,7912
	C	46	18	12	4	34	80	42,5	57,5	22,5	15	5
	D	51	18	18	12	48	99	48,4848 4848	51,515	18,182	18,1818	12,121
	E	49	20	18	4	42	91	46,1538 4615	53,846	21,978	19,7802	4,3956
	RATA-RATA							46,1114 2084	53,889	21,229	17,1007	7,782

Keterangan :

LP = Lapang Pandang ; SN = Sel Normal ; DP = Degenerasi Parenkim ; DH = Degenerasi Hidropik, JS = Jumlah Sel, SR = Sel Rusak, M = Mencit

PA 5												
	LP	SN	DP	DH	N	SEL RUSAK	JUMLAH SEL	% KERUSAKAN				
								TOTAL	SN	DP	DH	N
M1	A	49	14	27	12	53	102	51,960784	48,0392	13,725	26,471	11,7647
	B	49	18	30	16	64	113	56,637168	43,3628	15,929	26,549	14,1593
	C	48	18	18	12	48	96	50	50	18,75	18,75	12,5
	D	49	18	21	8	47	96	48,958333	51,0417	18,75	21,875	8,3333
	E	45	22	21	12	55	100	55	45	22	21	12

RATA-RATA								52,51 1257	47,4 887	17,83 1	22,929	11,7 515
M2	A	49	22	24	16	62	111	55,85 5856	44,1 441	19,82 19,82	21,622	14,4 144
	B	50	16	30	12	58	108	53,70 3704	46,2 963	14,81 5	27,778	11,1 111
	C	50	10	30	12	52	102	50,98 0392	49,0 196	9,803 9	29,412	11,7 647
	D	57	12	30	16	58	115	50,43 4783	49,5 652	10,43 5	26,087	13,9 13
	E	54	10	18	12	40	94	42,55 3191	57,4 468	10,63 8	19,149	12,7 66
	RATA-RATA								50,70 5585	49,2 944	13,10 2	24,809
M3	A	47	34	36	8	78	125	62,4 52,12	37,6 47,8	27,2 21,27	28,8	6,4 8,51
	B	45	20	21	8	49	94	766 55,85	723 44,1	7	22,34	064 3,60
	C	49	22	36	4	62	111	5856 56,86	441 43,1	19,82 9,803	32,432	36 11,7
	D	44	10	36	12	58	102	2745 54,08	373 45,9	9 10,20	35,294	647 16,3
	E	45	10	27	16	53	98	1633 56,26	184 43,7	4 17,66	27,551	265 9,32
	RATA-RATA								55,79 5579	43,7 344	17,66 1	29,284
M4	A	45	18	30	8	56	101	55,44 5545	44,5 545	17,82 2	29,703	7,92 079
	B	47	22	27	12	61	108	56,48 1481	43,5 185	20,37	25	11,1 111
	C	46	14	30	12	56	102	54,90 1961	45,0 98	13,72 5	29,412	11,7 647
	D	48	30	24	8	62	110	56,36 3636	43,6 364	27,27 3	21,818	7,27 273
	E	49	8	36	16	60	109	55,04 5872	44,9 541	7,339 4	33,028	14,6 789
	RATA-RATA								55,64 7699	44,3 523	17,30 6	27,792
M5	A	46	22	30	12	64	110	58,18 1818	41,8 182	20	27,273	10,9 091
	B	48	4	39	8	51	99	51,51 5152	48,4 848	4,040 4	39,394	8,08 081
	C	46	20	24	12	56	102	54,90 1961	45,0 98	19,60 8	23,529	11,7 647
	D	47	26	39	16	81	128	63,28 125	36,7 188	20,31 3	30,469	12,5 12,5
	E	51	30	30	12	72	123	58,53 6585	41,4 634	24,39 24,39	24,39	9,75 61
	RATA-RATA								57,28 3353	42,7 166	17,67	29,011

Keterangan :

LP = Lapang Pandang ; SN = Sel Normal ; DP = Degenerasi Parenkim ; DH = Degenerasi Hidropik, JS = Jumlah Sel, SR = Sel Rusak, M = Mencit

Kerusakan Rata-Rata Setiap Kelompok Perlakuan Pemberian Antioksidan

PERLAKUAN	MENCIT	% KERUSAKAN SEL			% SEL NORMAL	% KERUSAKAN TOTAL
		DEG. PARENKIM	DEG. HIDROPIK	NEKROSIS		
K+	1	5,705786855	8,401571092	2,11929825	83,77334381	16,22665619
	2	5,099897442	7,619028591	3,62317965	83,65789432	16,34210568
	3	5,844783317	5,071652587	3,27335475	85,81020935	14,18979065
	4	5,739107961	6,868419057	2,23299089	85,15948209	14,84051791
	5	4,842761214	7,087671233	3,10373355	84,965834	15,034166
RATA-RATA		5,446467358	7,009668512	2,87051142	84,67335271	15,32664729
PA 1	1	13,66897755	10,58925157	4,65395842	71,08781246	28,91218754
	2	12,572801	8,885996514	5,13619828	73,4050042	26,5949958
	3	11,58343061	11,49669853	4,23653874	72,68333212	27,31666788
	4	13,56318132	11,98719546	3,70585566	70,74376755	29,25623245
	5	17,01768154	10,00296912	4,66423189	68,31511744	31,68488256
RATA-RATA		13,68121441	10,59242224	4,4793566	71,24700675	28,75299325
PA 2	1	16,92195341	8,7431276	9,79726883	64,53765015	35,46234985
	2	19,16104363	12,69134868	2,92771084	65,21989684	34,78010316
	3	15,28202603	11,64401558	9,06956485	64,00439353	35,99560647
	4	12,85726216	12,5890844	8,89738579	65,65626765	34,34373235
	5	14,08102129	11,89899296	8,3614223	65,65856345	34,34143655
RATA-RATA		15,66066131	11,51331385	7,81067052	65,01535433	34,98464567
PA 3	1	18,25367044	16,21718263	7,82408846	57,70505847	42,29494153
	2	17,67127609	17,03046957	6,11527813	59,18297621	40,81702379
	3	15,8171971	19,0674814	8,41357305	56,70174845	43,29825155
	4	15,47916948	16,5977671	7,38977239	60,53329103	39,46670897
	5	19,13436893	14,80239775	6,07120172	59,9920316	40,0079684

RATA-RATA		17,27113641	16,74305969	7,16278275	58,82302115	41,17697885
PA 4	1	22,24645311	19,4758891	6,77078634	51,50687146	48,49312854
	2	20,05635368	16,90702436	11,1336586	51,90296337	48,09703663
	3	20,44980496	19,62386179	8,36819504	51,55813822	48,44186178
	4	20,3279102	16,10634883	9,640206	53,92553498	46,07446502
	5	21,2286477	17,10073797	7,78203517	53,88857916	46,11142084
RATA-RATA		20,86183393	17,84277241	8,73897622	52,55641744	47,44358256
PA 5	1	17,83093875	22,92885216	11,7514663	47,48874284	52,51125716
	2	13,10232734	24,80941136	12,7938465	49,29441484	50,70558516
	3	17,66088375	29,2835992	9,32109568	43,73442136	56,26557864
	4	17,30596391	27,79208795	10,5496471	44,35230105	55,64769895
	5	17,67019822	29,01101447	10,6021405	42,71664683	57,28335317
RATA-RATA		16,71406239	26,76499303	11,0036392	45,51730538	54,48269462

Lampiran 5. Tabel Kecekungan Kurva Lissajous Kelompok Paparan Obat Nyamuk Semprot

Faktor koreksi nilai faktor g							
Kelompok Perlakuan	Arus (A)	F (Hz)	Medan Magnet (T)	Faktor g pengukuran	F Seharusnya (Hz)	Faktor Koreksi	Faktor g
K-	0.214	27400000	0.000905	2.16161739	25397019.91	0.926899	2.0036
K+ (M1-M4)	0.219	28100000	0.000927	2.16622838	25990408.23	0.924926	2.0036
K+ (M5-M6)	0.219	28100000	0.000927	2.16622838	25990408.23	0.924926	2.0036
P1	0.212	26200000	0.000897	2.08644753	25159664.59	0.960293	2.0036
P2	0.217	27300000	0.000918	2.12395323	25753052.9	0.943335	2.0036
P3	0.213	27500000	0.000901	2.17969199	25278342.25	0.919212	2.0036

P4 (M1-M3)	0.214	27900000	0.000905	2.20106297	25397019.91	0.910287	2.0036
P4 (M4-M5)	0.22	27900000	0.000931	2.14103398	26109085.89	0.93581	2.0036
P5	0.214	27100000	0.000905	2.13795005	25397019.91	0.937159	2.0036
PA 1	0.219	28100000	0.000927	2.16622838	25990408.23	0.924926	2.0036
PA 2	0.218	28500000	0.000922	2.20714265	25871730.56	0.90778	2.0036
PA 3 (M1-M3)	0.217	28300000	0.000918	2.20175372	25753052.9	0.910002	2.0036
PA 3 (M4-M5)	0.221	28400000	0.000935	2.16954221	26227763.55	0.923513	2.0036
PA 4	0.216	26600000	0.000914	2.07907388	25634375.24	0.963698	2.0036
PA 4	0.212	26200000	0.000897	2.08644753	25159664.59	0.960293	2.0036
PA 5	0.212	26200000	0.000897	2.08644753	25159664.59	0.960293	2.0036

KONTROL NEGATIF

Mencit	Arus (A)	Frekuensi (Hz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A (m)	A ² (m ²)	JENIS RADIKAL BEBAS
1	0.215	22200000	0.000909728	1.6158	8,56E-03	7,32736E-05	O_2^-
2	0.213	22400000	0.000901265	1.6457	8,96E-03	8,02816E-05	O_2^-
3	0.213	22400000	0.000901265	1.6457	7,51E-03	5,64001E-05	O_2^-
4	0.214	22200000	0.000905497	1.6234	7,75E-03	6,00625E-05	O_2^-
5	0.219	22400000	0,000926653	1.6006	1,12E-02	0,000124992	O_2^-
Rata-rata						7,9002E-05	

P1

Mencit	Arus (A)	Frekuensi (Hz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A (m)	A ² (m ²)	JENIS RADIKAL BEBAS
1	0.213	23100000	0.000901265	1.7583	8,21E-03	6,74041E-05	O_2^-
2	0.211	22400000	0.000892803	1.7211	1,07E-02	0,00011449	O_2^-
3	0.211	22400000	0.000892803	1.7211	1,16E-02	0,00013549	O_2^-
4	0.211	21700000	0.000892803	1.6673	8,12E-03	6,59344E-05	O_2^-

Rata-rata						9,58295E-05	
-----------	--	--	--	--	--	-------------	--

P2							
----	--	--	--	--	--	--	--

Mencit	Arus (A)	Frekuensi (Hz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A (m)	A ² (m ²)	JENIS RADIKAL BEBAS
1	0.213	23100000	0.000901265	1.7583	8,21E-03	6,74041E-05	O_2^-
2	0.211	22400000	0.000892803	1.7211	1,07E-02	0,00011449	O_2^-
3	0.211	22400000	0.000892803	1.7211	1,16E-02	0,00013549	O_2^-
4	0.211	21700000	0.000892803	1.6673	8,12E-03	6,59344E-05	O_2^-
5	0.213	22200000	0.000901265	1.6598	8,51E-03	7,24201E-05	O_2^-
6	0.213	22200000	0.000901265	1.6598	6,90E-03	0,00004761	O_2^-

Rata-rata						8,38914E-05	
-----------	--	--	--	--	--	-------------	--

P3							
----	--	--	--	--	--	--	--

Mencit	Arus (I)	Frekuensi (Hz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A	A ²	JENIS RADIKAL BEBAS
1	0.212	22300000	0.000897034	1.6324	8,48E-03	7,19104E-05	O_2^-
2	0.212	22400000	0.000897034	1.6397	1,04E-02	0,000108994	O_2^-
3	0.212	22400000	0.000897034	1.6397	1,03E-02	0,000106916	O_2^-
4	0.213	22200000	0.000901265	1.6174	1,38E-02	0,000189613	O_2^-
5	0.213	23100000	0.000901265	1.6830	8,06E-03	6,49636E-05	O_2^-

Rata-rata						0,000108479	
-----------	--	--	--	--	--	-------------	--

P4							
----	--	--	--	--	--	--	--

Mencit	Arus (A)	Frekuensi (Hz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A (m)	A ² (m ²)	JENIS RADIKAL BEBAS
1	0.214	21700000	0.000905497	1.5584	6,12E-03	3,74544E-05	O_2^-
2	0.214	22200000	0.000905497	1.5943	1,15E-02	0,000131561	O_2^-
3	0.215	22200000	0.000909728	1.5869	1,26E-02	0,000157754	O_2^-

Mencit	Arus (A)	Frekuensi (Hz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A (m)	A ² (m ²)	JENIS RADIKAL BEBAS
4	0.215	22700000	0.000909728	1.6681	1,21E-02	0,000145203	O_2^-
Rata-rata						0,000117993	
P5							
1	0.213	22200000	0.000901265	1.6491	1,18E-02	0,000139476	O_2^-
2	0.214	23100000	0.000905497	1.7079	1,27E-02	0,000160023	O_2^-
3	0.214	22400000	0.000905497	1.6562	1,11E-02	0,000122324	O_2^-
4	0.215	22800000	0.000909728	1.6779	9,66E-03	9,33156E-05	O_2^-
Rata-rata						0,000128784	

Lampiran 6. Tabel A2 atau Intensitas Kurva *Lissajous* Kelompok Pemberian Antioksidan

KONTROL POSITIF							
Mencit	Arus (A)	Frekuensi (Hz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A (m)	A ² (m ²)	JENIS RADIKAL BEBAS
1	0.213	19400000	0.000901265	1.4222	0	0	
2	0.213	19400000	0.000901265	1.4222	0	0	
3	0.211	19500000	0.000892803	1.4431	0	0	
4	0.211	19600000	0.000892803	1.4505	0	0	
5	0.212	19600000	0.000897034	1.4436	0	0	
Rata-rata						7.8E-05	

PA1							
Mencit	Arus (I)	Frekuensi (Hz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A	A ²	JENIS RADIKAL BEBAS
1	0.214	22600000	0.000905497	1.6490	7,86E-03	6,2E-05	O_2^-
2	0.213	22300000	0.000901265	1.6348	8,66E-03	7,5E-05	O_2^-
3	0.212	21700000	0.000897034	1.5983	6,99E-03	4,9E-05	O_2^-
4	0.212	21700000	0.000897034	1.5983	1,02E-02	0,0001	O_2^-
5	0.211	22300000	0.000892803	1.6503	1,01E-02	0,0001	O_2^-
Rata-rata						7,8E-05	

PA2							
Mencit	Arus (A)	Frekuensi (Hz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A (m)	A ² (m ²)	JENIS RADIKAL BEBAS
1	0.213	22300000	0.000901265	1.6046	8,68E-03	7,5E-05	O_2^-
2	0.213	22400000	0.000901265	1.6118	7,92E-03	6,3E-05	O_2^-
3	0.212	21700000	0.000897034	1.5688	1,08E-02	0,00012	O_2^-
4	0.212	22200000	0.000897034	1.6049	8,04E-03	6,5E-05	O_2^-
Rata-rata						8E-05	

PA3							
Mencit	Arus (A)	Frekuensi (Hz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A (m)	A ² (m ²)	JENIS RADIKAL BEBAS
1	0.213	22200000	0.000901265	1.6012	8,48E-03	7,2E-05	O_2^-
2	0.213	22200000	0.000901265	1.6012	9,08E-03	8,2E-05	O_2^-
3	0.212	21700000	0.000897034	1.5726	9,80E-03	9,6E-05	O_2^-
4	0.212	22300000	0.000897034	1.6400	5,69E-03	3,2E-05	O_2^-
5	0.217	21600000	0.000918191	1.5519	1,25E-02	0,00016	O_2^-

Rata-rata							8,8E-05
PA4							
Mencit	Arus (A)	Frekuensi (Hz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A (m)	A ² (m ²)	JENIS RADIKAL BEBAS
1	0.214	22200000	0.000905497	1.6878	9,41E-03	8,9E-05	O_2^-
2	0.213	22200000	0.000901265	1.6957	1,01E-02	0,0001	O_2^-
3	0.214	22200000	0.000905497	1.6878	8,60E-03	7,4E-05	O_2^-
4	0.214	22300000	0.000905497	1.6954	1,02E-02	0,0001	O_2^-
5	0.213	19700000	0.000901265	1.5048	1,05E-02	0,00011	O_2^-
Rata-rata							9,5E-05
PA5							
Mencit	Arus (A)	Frekuensi (Hz)	Medan Magnet (T)	Nilai Faktor g	A (m)	A ² (m ²)	JENIS RADIKAL BEBAS
1	0.211	22300000	0.000892803	1.7134	1,11E-02	0,00012	O_2^-
2	0.211	21700000	0.000892803	1.6673	1,04E-02	0,00011	O_2^-
3	0.211	19700000	0.000892803	1.5137	9,20E-03	8,5E-05	O_2^-
4	0.211	21700000	0.000892803	1.6673	9,20E-03	8,5E-05	O_2^-
5	0.211	22200000	0.000892803	1.7058	9,19E-03	8,4E-05	O_2^-
Rata-rata							9,7E-05

Lampiran 7. Perhitungan Nilai Impedansi Kelompok Paparan

Frekuensi	K-	P1	P2	P3	P4	P5
100	4203,599	4033,669	3986,427	3993,97	3926,432	3895,927
150	4147,692	3978,865	3940,968	3938,235	3886,684	3825,216
200	4121,591	3945,73	3910,502	3904,906	3858,765	3782,872



250	4105,313	3928,345	3899,89	3880,451	3841,429	3757,26
300	4088,426	3915,963	3893,67	3869,015	3828,623	3738,478
350	4078,886	3905,87	3884,565	3857,114	3818,871	3724,838
400	4076,283	3895,065	3873,924	3844,957	3810,884	3713,712
450	4063,555	3889,385	3868,542	3833,712	3799,051	3704,906
500	4058,646	3880,963	3861,108	3824,769	3795,47	3698,634
550	4047,712	3874,508	3852,185	3816,931	3785,988	3688,436
600	4048,608	3870,119	3847,288	3809,897	3780,003	3681,544
650	4041,728	3863,092	3843,471	3802,123	3777,42	3675,195
700	4029,309	3858,559	3838,661	3795,204	3770,623	3671,408
750	4021,478	3852,425	3829,892	3790,102	3761,212	3662,57
800	4015,332	3845,387	3828,456	3785,409	3754,741	3658,611
850	4012,026	3840,226	3825,821	3777,275	3749,513	3651,79
900	4002,615	3834,285	3816,092	3770,969	3744,038	3646,949
950	3992,488	3831,022	3813,907	3766,194	3736,283	3641,015
1000	3989,477	3822,363	3805,192	3760,676	3728,485	3638,732
1500	3942,712	3772,505	3754,876	3703,516	3675,748	3581,968
2000	3886,982	3719,835	3706,258	3646,763	3624,561	3525,853
2500	3841,136	3662,292	3657,406	3592,932	3568,238	3469,515
3000	3796,3	3616,327	3604,487	3537,673	3512,373	3417,413
3500	3745,609	3560,755	3542,049	3483,162	3465,05	3369,471
4000	3696,321	3509,585	3494,248	3428,016	3411,505	3312,85
4500	3638,693	3457,013	3443,968	3375,78	3363,552	3253,417
5000	3585,248	3402,82	3393,398	3331,103	3319,943	3204,059



5500	3541,337	3348,865	3343,058	3286,74	3272,401	3154,714
6000	3494,958	3303,738	3290,925	3238,587	3224,363	3109,598
6500	3446,888	3260,534	3244,601	3192,404	3181,528	3062,064
7000	3406,028	3217,363	3196,038	3148,737	3143,465	3020,397
7500	3364,748	3173,558	3149,865	3104,157	3100,633	2984,636
8000	3328,413	3133,378	3112,307	3064,599	3060,753	2948,03
8500	3296,671	3091,472	3078,482	3026,955	3019,866	2904,778
9000	3260,827	3059,24	3037,434	2986,801	2983,691	2867,096
9500	3226,635	3020,35	2999,718	2949,598	2943,686	2833,316
10000	3196,866	2984,591	2962,949	2911,218	2915,162	2801,454
15000	2956,354	2702,356	2672,688	2626,739	2623,889	2515,621
20000	2750,91	2465,959	2419,312	2377,541	2386,876	2279,809
25000	2581,697	2271,505	2219,634	2180,033	2187,826	2096,417
30000	2446,356	2120,08	2057,326	2020,666	2026,452	1944,72
35000	2337,163	1990,527	1923,088	1894,259	1898,856	1821,97
40000	2238,566	1882,662	1812,952	1785,044	1792,481	1722,895
45000	2151,666	1794,906	1720,234	1693,01	1700,479	1640,573
50000	2078,933	1718,755	1646,527	1620,614	1620,821	1571,358
55000	2019,687	1649,866	1578,189	1555,332	1553,28	1513,368
60000	1963,755	1592,798	1522,825	1498,128	1496,418	1461,708
65000	1911,132	1543,213	1469,756	1449,082	1446,623	1413,653
70000	1864,551	1495,256	1427,789	1406,949	1401,214	1371,935
75000	1826,7	1455,333	1391,997	1366,421	1358,205	1336,218
80000	1790,268	1415,746	1353,954	1332,298	1320,921	1302,998

85000	1754,824	1382,65	1325,718	1300,32	1289,95	1270,947
90000	1723,915	1351,945	1293,434	1270,278	1260,404	1246,047
95000	1693,914	1323,831	1266,916	1245,419	1230,498	1222,177
100000	1683,38	1296,474	1244,712	1219,899	1204,427	1197,44

Lampiran 8. Perhitungan Nilai Impedansi Kelompok Pemberian Antioksidan

Frekuensi	K+	PA 1	PA 2	PA 3	PA 4	PA 5
100	4218,3665	4168,82	4142,43925	4113,945917	4051,161	3945,137083
150	4161,958417	4128,26083	4088,381083	4049,208083	3990,7485	3891,71025
200	4135,546	4097,72042	4055,615917	4016,53025	3955,751667	3856,46075
250	4116,686917	4078,12233	4039,478083	3992,486083	3938,564417	3834,761667
300	4103,781917	4063,47908	4024,21025	3974,789167	3924,716167	3820,390833
350	4093,396833	4049,29908	4012,89425	3960,813417	3914,397583	3803,204667
400	4084,071917	4037,97292	3999,95775	3951,935917	3902,91425	3795,426667
450	4076,86375	4029,12858	3990,826083	3940,52475	3895,205333	3786,93375
500	4073,693417	4024,08433	3985,802917	3932,823083	3889,050667	3779,213
550	4069,32925	4015,9745	3976,453	3928,179333	3882,14925	3773,805833
600	4064,660167	4011,06483	3965,559	3917,482833	3876,787667	3763,658083
650	4061,93075	4004,40608	3959,444833	3910,105083	3867,557	3755,655083





700	4053,73791 7	3998,01575	3952,5785	3901,706083	3861,63625	3749,091667
750	4050,80433 3	3994,59125	3946,133	3894,19825	3858,634	3745,177583
800	4049,47233 3	3989,68367	3935,548667	3887,688917	3850,8325	3739,220583
850	4043,16525	3987,27575	3930,773917	3876,254	3846,573	3734,235333
900	4037,63191 7	3981,503	3926,68475	3871,28825	3842,33908 3	3729,01075
950	4035,89691 7	3977,59025	3920,834917	3863,903917	3832,54516 7	3726,254
1000	4029,28833 3	3972,61408	3920,291417	3858,390333	3815,85566 7	3721,391333
1500	3995,9025	3927,512	3868,311833	3803,023333	3782,96866 7	3671,1375
2000	3961,80691 7	3879,86942	3817,19575	3742,299083	3734,08416 7	3621,3525
2500	3929,74683 3	3834,787	3769,03775	3688,21675	3683,8265	3572,185667
3000	3890,89466 7	3789,14375	3723,4765	3636,981083	3635,70366 7	3529,04875
3500	3856,52983 3	3739,47992	3667,576333	3580,965917	3588,07383 3	3487,031833
4000	3826,02441 7	3697,19358	3611,903583	3526,967	3542,07133 3	3441,342417
4500	3792,35891 7	3642,44	3559,379583	3474,888	3495,51558 3	3401,438583
5000	3753,98158 3	3599,793	3511,30225	3450,054083	3432,009	3361,904167
5500	3721,27941 7	3550,79092	3462,691333	3382,829833	3412,33491 7	3323,850083



6000	3681,90058 3	3506,83908	3413,8145	3342,102417	3369,11025	3279,592917
6500	3646,32183 3	3469,66433	3370,434667	3296,747417	3328,25158 3	3242,222
7000	3614,74816 7	3426,994	3329,6795	3258,682917	3291,695	3207,001
7500	3586,26116 7	3393,19083	3290,106833	3223,337917	3257,17441 7	3170,816167
8000	3556,85266 7	3358,763	3253,65725	3189,294	3222,14833 3	3136,994583
8500	3525,772	3318,31842	3214,019667	3157,221333	3190,88675	3104,575083
9000	3495,06391 7	3283,44967	3172,089417	3126,683917	3152,84208 3	3075,245167
9500	3467,46958 3	3254,02775	3140,268667	3095,07125	3118,60266 7	3041,559583
10000	3440,67566 7	3226,13342	3106,799167	3068,83525	3025,91341 7	3007,30475
15000	3214,09516 7	2973,07142	2820,0205	2826,083417	2842,99191 7	2776,58175
20000	3013,46458 3	2761,77767	2577,804333	2618,358333	2633,78066 7	2577,3415
25000	2830,87183 3	2580,892	2376,080167	2449,538583	2455,84775	2416,292
30000	2678,13308 3	2442,67642	2221,438417	2305,65175	2316,20975	2283,209417
35000	2546,03266 7	2316,96892	2089,9165	2194,3005	2194,73691 7	2170,712333
40000	2437,71883 3	2215,44825	1979,88125	2090,001333	2090,10283 3	2076,4945
45000	2341,80125	2129,68242	1889,386583	2002,652583	2003,32066 7	1998,390833

50000	2255,7015	2054,06217	1813,374333	1928,57225	1931,43033	3	1928,856167
55000	2177,98225	1987,42525	1748,082083	1860,897583	1864,08316	7	1869,961833
60000	2113,73491	1935,07108	1691,835583	1801,861083	1806,37841	7	1818,426333
65000	2050,11966	1883,51842	1642,08025	1749,092167	1756,55541	7	1768,422167
70000	1998,7665	1841,25175	1597,637583	1701,775583	1709,59366	7	1726,858167
75000	1946,159	1797,64242	1560,013917	1657,838167	1669,24766	7	1689,935333
80000	1902,8755	1761,03017	1523,227167	1621,732167	1630,31641	7	1654,404917
85000	1861,3315	1726,53292	1491,7115	1586,2855	1596,05891	7	1623,317083
90000	1818,41283	1698,84758	1461,79875	1554,9045	1564,39758	3	1592,644417
95000	1785,53133	1668,55217	1438,58975	1523,785083	1538,42158	3	1566,921583
100000	1754,88116	1642,20708	1431,74275	1419,711917	1396,29591	7	1367,84225

Lampiran 9. Tabel Nilai Resistivitas dan Permittivitas Kelompok Paparan

K-								
No	R (Ω)	C (F)	d/l	A	r (m)	π	ρ (Ωm)	ϵ (F/m)
1	4091	1.52E-08	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	14.46461	4.3E-06
2	4120	1.07E-08	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	14.56714	3.03E-06
3	4069	1.53E-08	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	14.38682	4.34E-06

4	4085	1.69E-08	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	14.44339	4.77E-06
5	4074	1.7E-08	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	14.4045	4.82E-06
Jumlah	20439	7.51E-08	0.01	3.54E-05	0.0075	15.71429	72.26646	2.13E-05
Rata-Rata	4087.8	1.5E-08	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	14.45329	4.25E-06

P1

No	R (Ω)	C (F)	d/l	A	r (m)	π	ρ (Ω m)	ϵ (F/m)
1	3969	1,2807E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	14,03325	3,62218E-06
2	3945	9,85E-09	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	13,94839	2,78586E-06
3	3975	1,6146E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	14,05446	4,56655E-06
4	3115	1,289E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	11,01375	3,64566E-06
5	3871	1,0065E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	13,68675	2,84667E-06
Jumlah	18875	6,1758E-08	0,01	3,53571E-05	0,0075	15,71429	66,73661	1,74669E-05
Rata-Rata	3775	1,23516E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	13,34732	3,49338E-06

P2

No	R (Ω)	C (F)	d/l	A	r (m)	π	ρ (Ω m)	ϵ (F/m)
1	3593	1,1659E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	12,70382	3,29749E-06
2	3763	1,215E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	13,30489	3,43636E-06
3	3719	1,115E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	13,14932	3,15354E-06
4	3638	1,3298E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	12,86293	3,76105E-06
5	3417	1,583E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	12,08154	4,47717E-06



Jumlah	18130	6,4087E-08	0,01	3,53571E-05	0,0075	15,71429	64,1025	1,81256E-05
Rata-Rata	3626	1,28174E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	12,8205	3,62512E-06

P3

No	R (Ω)	C (F)	d/l	A	r (m)	π	ρ (Ωm)	ϵ (F/m)
1	3618	1,0362E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	12,79221	2,93067E-06
2	3393	1,4025E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	11,99668	3,96667E-06
3	3621	1,1273E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	12,80282	3,18832E-06
4	3417	1,2635E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	12,08154	3,57354E-06
5	3844	1,1286E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	13,59129	0,000003192
Jumlah	17893	5,9581E-08	0,01	3,53571E-05	0,0075	15,71429	63,26454	1,68512E-05
Rata-Rata	3578,6	1,19162E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	12,65291	3,37024E-06

P4

No	R (Ω)	C (F)	d/l	A	r (m)	π	ρ (Ωm)	ϵ (F/m)
1	3630	1,5264E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	12,83464	4,31709E-06
2	3726	5,741E-09	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	13,17407	1,62372E-06
3	3602	6,185E-09	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	12,73564	1,74929E-06
4	3353	1,631E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	11,85525	4,61293E-06
5	3438	1,1767E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	12,15579	3,32804E-06

Jumlah	17749	5,5267E-08	0,01	3,53571E-05	0,0075	15,71429	62,75539	1,56311E-05
Rata-Rata	3549,8	1,10534E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	12,55108	3,12621E-06
P5								
No	R (Ω)	C (F)	d/l	A	r (m)	π	ρ (Ωm)	ϵ (F/m)
1	3523	1,0792E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	12,45632	3,05228E-06
2	3089	1,46E-09	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	10,92182	4,12929E-07
3	3680	1,4332E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	13,01143	4,05349E-06
4	3752	9,412E-09	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	13,266	2,66198E-06
5	3682	1,001E-08	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	13,0185	2,83111E-06
Jumlah	17726	4,6006E-08	0,01	3,53571E-05	0,0075	15,71429	62,67407	1,30118E-05
Rata-Rata	3545,2	9,2012E-09	0,002	7,07143E-06	0,0015	3,142857	12,53481	2,60236E-06

Lampiran 10. Tabel Nilai Resistivitas dan Permittivitas Kelompok Pemberian Antioksidan

K+								
No	R (Ω)	C (F)	d/l	A	r (m)	π	ρ (Ωm)	ϵ (F/m)
1	4521	1,52E-08	0,002	7,07E-06	0,0015	3,142857	15,98496	4,30663E-06

2	4513	1,4E-08	0,002	7,07E-06	0,0015	3,142857	15,95668	3,96186E-06
3	4290	1,81E-08	0,002	7,07E-06	0,0015	3,142857	15,16821	5,12117E-06
4	4281	1,78E-08	0,002	7,07E-06	0,0015	3,142857	15,13639	5,04481E-06
5	4340	2,09E-08	0,002	7,07E-06	0,0015	3,142857	15,345	5,90178E-06
Jumlah	21945	8,6E-08	0,01	3,54E-05	0,0075	15,71429	77,59125	2,43362E-05
Rata-Rata	4389	1,72E-08	0,002	7,07E-06	0,0015	3,142857	15,51825	4,86725E-06

PA 1

No	R (Ω)	C (F)	d/l	A	r (m)	π	ρ (Ω m)	ϵ (F/m)
1	4018	1,23E-08	0,002	7,07E-06	0,0015	3,142857	14,2065	3,49E-06
2	4165	1,31E-08	0,002	7,07E-06	0,0015	3,142857	14,72625	3,69E-06
3	4007	1,57E-08	0,002	7,07E-06	0,0015	3,142857	14,16761	4,44E-06
4	4008	1,21E-08	0,002	7,07E-06	0,0015	3,142857	14,17114	3,41E-06
5	3936	1,66E-08	0,002	7,07E-06	0,0015	3,142857	13,91657	4,71E-06
Jumlah	20134	6,98E-08	0,01	3,54E-05	0,0075	15,71429	71,18807	1,97E-05
Rata-Rata	4026,8	1,4E-08	0,002	7,07E-06	0,0015	3,142857	14,23761	3,95E-06

PA 2

No	R (Ω)	C (F)	d/l	A	r (m)	π	ρ (Ω m)	ϵ (F/m)
1	4133	1,17E-08	0,002	7,07E-06	0,0015	3,142857	14,61311	3,3E-06
2	3836	1,58E-08	0,002	7,07E-06	0,0015	3,142857	13,563	4,46E-06
3	4038	1,39E-08	0,002	7,07E-06	0,0015	3,142857	14,27721	3,94E-06
4	4043	1,16E-08	0,002	7,07E-06	0,0015	3,142857	14,29489	3,29E-06
5	4062	1,02E-08	0,002	7,07E-06	0,0015	3,142857	14,36207	2,88E-06



Jumlah	20112	6.32E-08	0.01	3.54E-05	0.0075	15.71429	71.11029	1.79E-05
Rata-Rata	4022.4	1.26E-08	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	14.22206	3.57E-06

PA 3

No	R (Ω)	C (F)	d/l	A	r (m)	π	ρ (Ω m)	ε (F/m)
1	3952	1.29E-08	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	13.97314	3.66E-06
2	3985	1.22E-08	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	14.08982	3.44E-06
3	3928	1.18E-08	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	13.88829	3.33E-06
4	4065	1.18E-08	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	14.37268	3.35E-06
5	4051	1.15E-08	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	14.32318	3.24E-06
Jumlah	19981	6.02E-08	0.01	3.54E-05	0.0075	15.71429	70.64711	1.7E-05
Rata-Rata	3996.2	1.2E-08	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	14.12942	3.4E-06

PA 4

No	R (Ω)	C (F)	d/l	A	r (m)	π	ρ (Ω m)	ε (F/m)
1	3952	1.05E-08	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	13.97314	2.96E-06
2	3965	1.47E-08	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	14.01911	4.15E-06
3	3928	8.18E-09	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	13.88829	2.31E-06
4	4065	1.05E-08	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	14.37268	2.97E-06
5	3914	1.65E-08	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	13.83879	4.66E-06
Jumlah	19824	6.03E-08	0.01	3.54E-05	0.0075	15.71429	70.092	1.71E-05
Rata-Rata	3964.8	1.21E-08	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	14.0184	3.41E-06

PA 5

No	R (Ω)	C (F)	d/l	A	r (m)	π	ρ (Ω m)	ε (F/m)
1	4085	8.81E-09	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	14.44339	2.49E-06
2	4083	6.19E-09	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	14.43632	1.75E-06
3	4091	1.65E-08	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	14.46461	4.65E-06
4	3446	8.64E-09	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	12.18407	2.44E-06



5	3853	1.51E-08	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	13.62311	4.26E-06
Jumlah	19558	5.51E-08	0.01	3.54E-05	0.0075	15.71429	69.1515	1.56E-05
Rata-Rata	3911.6	1.1E-08	0.002	7.07E-06	0.0015	3.142857	13.8303	3.12E-06

Lampiran 11. Massa semprotan Obat Nyamuk One Push Aerosol

Lama Paparan	Massa Obat Nyamuk <i>One Push Aerosol</i> (gr)				
	Perlakuan tanpa Antioksidan				
	P1	P2	P3	P4	P5
1	0,324	0,323	0,325	0,324	0,323
2	0,324	0,322	0,323	0,325	0,324
3	0,322	0,323	0,325	0,324	0,322
4	0,324	0,326	0,323	0,324	0,325
5	0,323	0,324	0,322	0,323	0,324
6	0,321	0,323	0,321	0,322	0,323
7	0,325	0,325	0,326	0,324	0,324
8	0,323	0,324	0,323	0,326	0,325
9	0,324	0,321	0,324	0,325	0,326
10	0,325	0,325	0,322	0,324	0,325
11	0,321	0,325	0,326	0,324	0,322
12	0,323	0,324	0,326	0,322	0,324
13	0,324	0,323	0,325	0,324	0,323
14	0,327	0,325	0,324	0,323	0,322
15	0,321	0,324	0,324	0,325	0,326
16	-	0,323	0,326	0,325	0,325
17	-	0,324	0,325	0,326	0,324
18	-	0,322	0,324	0,325	0,321
19	-	0,326	0,324	0,322	0,325
20	-	0,322	0,322	0,326	0,325
21	-	-	0,326	0,323	0,324
22	-	-	0,325	0,325	0,323

23	-	-	0,324	0,322	0,325
24	-	-	0,321	0,321	0,324
25	-	-	0,325	0,321	0,324
26	-	-	-	0,324	0,323
27	-	-	-	0,324	0,325
28	-	-	-	0,324	0,323
29	-	-	-	0,325	0,322
30	-	-	-	0,323	0,321
31	-	-	-	-	0,326
32	-	-	-	-	0,325
33	-	-	-	-	0,324
34	-	-	-	-	0,323
35	-	-	-	-	0,325

Lampiran 12. Massa semprotan Obat Obat Nyamuk *One Push Aerosol*

Lama Paparan	Massa Obat Nyamuk <i>One Push Aerosol</i> (gr)				
	Perlakuan dengan Antioksidan				
	PA1	PA2	PA3	PA4	PA5
1	0,325	0,324	0,322	0,321	0,324
2	0,325	0,324	0,325	0,323	0,324
3	0,325	0,323	0,321	0,322	0,323
4	0,325	0,325	0,326	0,324	0,324
5	0,324	0,324	0,323	0,326	0,325
6	0,321	0,321	0,324	0,325	0,326
7	0,325	0,325	0,322	0,324	0,325
8	0,323	0,325	0,326	0,324	0,322
9	0,325	0,323	0,323	0,323	0,323
10	0,323	0,324	0,322	0,321	0,322
11	0,325	0,322	0,324	0,325	0,321
12	0,325	0,326	0,326	0,323	0,326
13	0,325	0,326	0,325	0,324	0,323
14	0,321	0,325	0,324	0,325	0,324
15	0,326	0,324	0,324	0,321	0,322

16	-	0,324	0,324	0,323	0,326
17	-	0,326	0,321	0,324	0,326
18	-	0,323	0,325	0,327	0,325
19	-	0,324	0,325	0,321	0,324
20	-	0,322	0,324	0,323	0,324
21	-	-	0,323	0,325	0,326
22	-	-	0,325	0,324	0,325
23	-	-	0,326	0,324	0,325
24	-	-	0,325	0,322	0,321
25	-	-	0,324	0,324	0,325
26	-	-	-	0,323	0,321
27	-	-	-	0,324	0,326
28	-	-	-	0,323	0,323
29	-	-	-	0,324	0,324
30	-	-	-	0,325	0,322
31	-	-	-	-	0,326
32	-	-	-	-	0,325
33	-	-	-	-	0,326
34	-	-	-	-	0,325
35	-	-	-	-	0,322

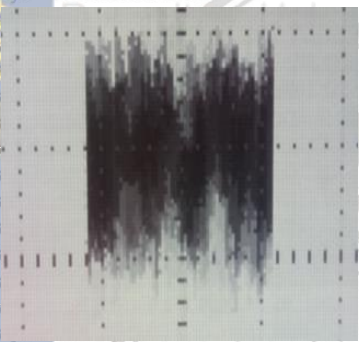
Lampiran 13. Konsentrasi Semprotan Obat Nyamuk *One Push Aerosol*

Volume Chamber
315 mm x 215 mm x 195 mm
31,5 mm x 21,5 mm x 19,5 mm

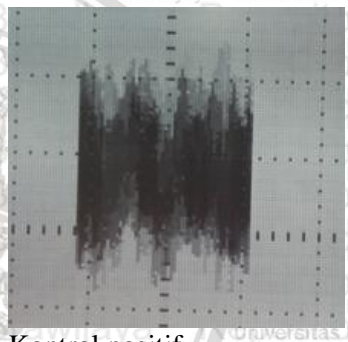
Kelompok	Volume (cm ³)	Δm Total (gr)	Konsentrasi (gram/cm ³) (Total)	Δm Rata-Rata (gr)	Konsentrasi (gram/cm ³) (Tiap Hari)
P1	13206,375	4,851	0,000367323	0,3234	2,44882E-05
P2	13206,375	6,474	0,000490218	0,3237	2,45109E-05
P3	13206,375	8,101	0,000613416	0,32404	2,45366E-05

P4	13206,375	9,715	0,00073563	0,323833333	2,4521E-05
P5	13206,375	11,335	0,000858298	0,323857143	2,45228E-05
PA 1	13206,375	4,863	0,000368231	0,3242	2,45488E-05
PA 2	13206,375	6,48	0,000490672	0,324	2,45336E-05
PA 3	13206,375	8,099	0,000613264	0,32396	2,45306E-05
PA 4	13206,375	9,382	0,000710414	0,323517241	2,44971E-05
PA 5	13206,375	11,341	0,000858752	0,324028571	2,45358E-05

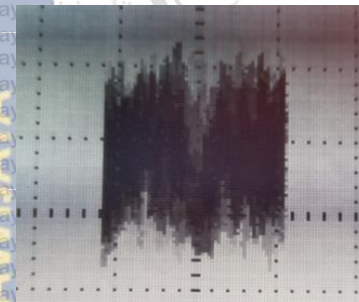
Lampiran 14. Gambar Kurva Lissajous



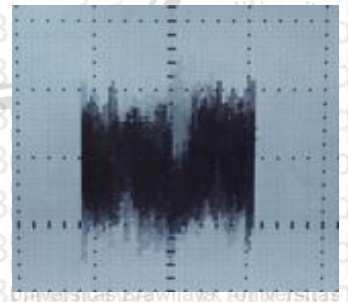
Kontrol negatif



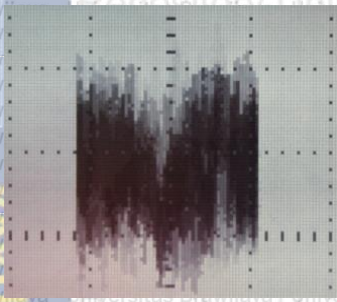
Kontrol positif



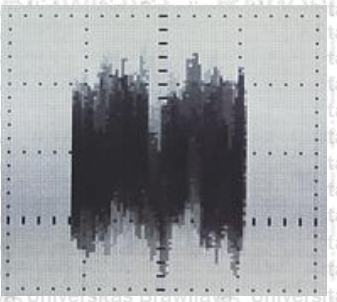
Paparan 15 hari (P1)



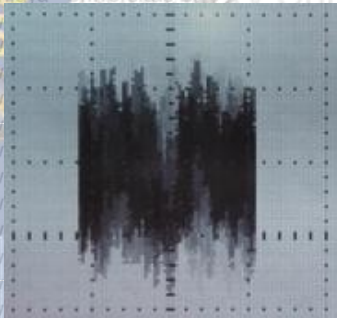
Pemberian antioksidan 15 hari (PA 1)



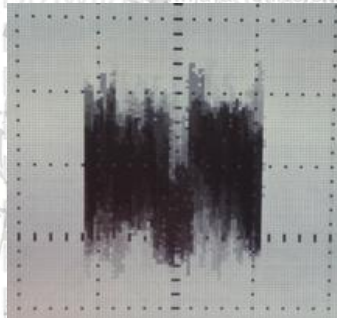
Paparan 20 hari (P2)



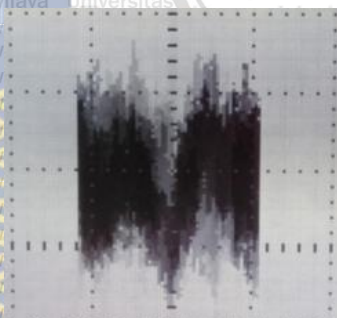
Pemberian antioksidan 20 hari (PA 2)



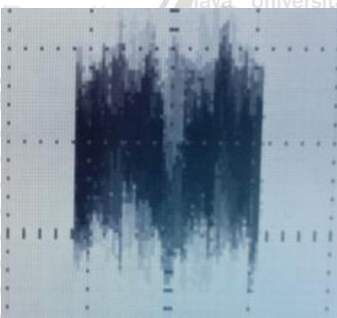
Paparan 25 hari (P3)



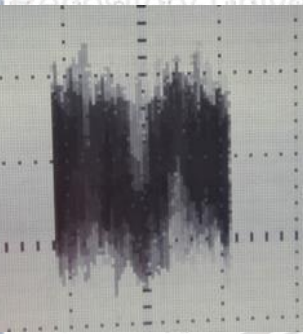
Pemberian antioksidan 25 hari (PA 3)



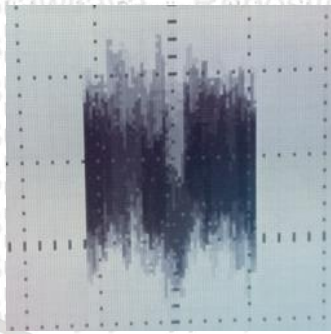
Paparan 30 hari (P4)



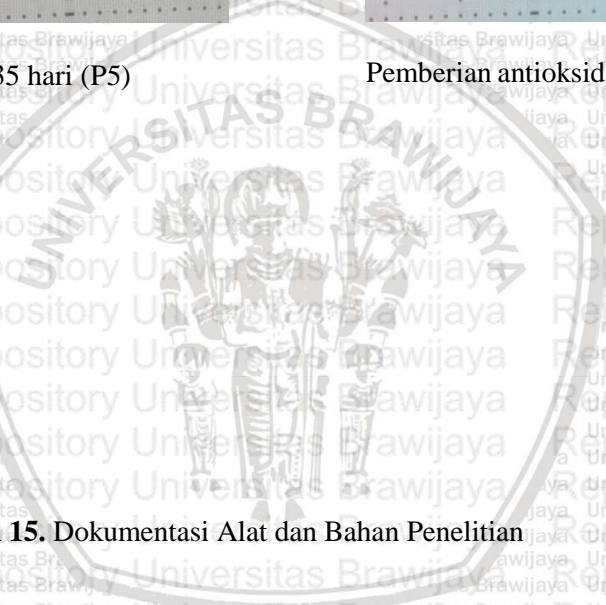
Pemberian antioksidan 30 hari (PA 4)



Paparan 35 hari (P5)



Pemberian antioksidan 35 hari (PA 5)



Lampiran 15. Dokumentasi Alat dan Bahan Penelitian



Timbangan Digital



Chamber



Seperangkat Alat Bedah



Mencit dan Kandang



Alat Pengukuran Impedansi



Elektroda



Seperangkat Alat ESR



Pengamatan mikroskopis



Antioksidan Ekstrak Jahe Merah, Temulawak, dan Mengkudu



Obat Nyamuk Semprot *One Push Aerosol*



Sampel Organ Hati Mencit



Proses Penyemprotan Obat Nyamuk



Preparat



Tabung Durham



Pembedahan mencit



Pemberian antioksidan dengan cara sonde

Lampiran 16. Surat Keterangan Kode Etik Penelitian



KOMISI ETIK PENELITIAN UNIVERSITAS BRAWIJAYA

KETERANGAN KELAIKAN ETIK "ETHICAL CLEARENCE"

No: 027-KEP-UB-2020

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 : STUDI PENGUKURAN IMPEDANSI LISTRIK DAN
PENGARUH PEMBERIAN ANTIOKSIDAN EKSTRAK
JAHE MERAH (*Zingiber officinale Rosc.*), TEMULAWAK
(*Curcuma xanthorrhiza Roxb.*), DAN BUAH MENGKUDU
(*Morinda citrifolia L.*) PADA ORGAN (PARU-PARU,
GINJAL, HATI, LIMPA) DAN JARINGAN DARAH
MENCIT (*Mus musculus*) YANG TERPAPAR OBAT
NYAMUK ONE PUSH AEROSOL

PENELITI UTAMA : YULIANTI MUJI LESTARI

ANGGOTA : YUMNA YUSFIA FATIKHA NENI EKA WULANDARI
NENENG KURNIA SARI DESI TRI CAHYANI

UNIT/LEMBAGA/TEMPAT : UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DINYATAKAN : LAIK ETIK

Malang, 21 Januari 2020



Komisi Etik Penelitian
Brawijaya

Prof. Dr. drh. Aulanni'am, DES.
NIP. 19600903 198802 2 001