

**IDENTIFIKASI RADIKAL BEBAS DAN SIFAT DIELETRIK  
ORGAN GINJAL DARI MENCIT (*Mus musculus*) YANG  
TERPAPAR OBAT NYAMUK *ONE PUSH AEROSOL***

**SKRIPSI**

Oleh:

**DIAH UTAMI  
145090301111002**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2018**



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**IDENTIFIKASI RADIKAL BEBAS DAN SIFAT DIELETRIK  
ORGAN GINJAL DARI MENCIT (*Mus musculus*) YANG  
TERPAPAR OBAT NYAMUK *ONE PUSH AEROSOL***

**SKRIPSI**

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

Oleh:

**DIAH UTAMI**  
**145090301111002**



**JURUSAN FISIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**MALANG**  
**2018**



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

IDENTIFIKASI RADIKAL BEBAS DAN SIFAT DIELEKTRIK  
ORGAN GINJAL DARI MENCIT (*Mus musculus*) YANG  
TERPAPAR OBAT NYAMUK *ONE PUSH AEROSOL*

Oleh:  
**DIAH UTAMI**  
**145090301111002**

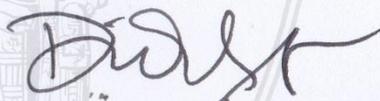
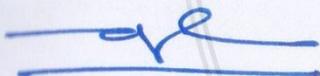
Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji Skripsi Jurusan  
Fisika Universitas Brawijaya

Pada tanggal ..... **07 JUN 2018** .....

Dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
dalam bidang fisika

Pembimbing I

Pembimbing II



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

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



Mengetahui  
Ketua Jurusan Fisika FMIPA UB

  
**Prof. Dr. rer. nat. Muhammad Nurhuda**  
**NIP. 196409101990021001**



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Diah Utami  
NIM : 145090301111002  
Jurusan : Fisika  
Penulis Skripsi dengan judul :

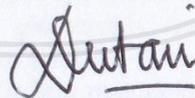
**IDENTIFIKASI RADIKAL BEBAS DAN SIFAT DIELEKTRIK  
ORGAN GINJAL DARI MENCIT (*Mus musculus*) YANG  
TERPAPAR OBAT NYAMUK *ONE PUSH AEROSOL***

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari Skripsi yang saya buat merupakan karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain. Nama-nama dan karya-karya yang terdapat pada daftar pustaka digunakan semata-mata hanya untuk acuan.
2. Apabila dikemudian hari Skripsi ini terbukti menjiplak karya orang lain, maka saya akan menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan keadaan sadar dan tidak dalam tekanan.

Malang, 9 Mei 2018  
Yang menyatakan,



**Diah Utami**  
NIM. 135090301111022



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

repository.ub.ac.id

# IDENTIFIKASI RADIKAL BEBAS DAN SIFAT DIELEKTRIK ORGAN GINJAL DARI MENCIT (*Mus musculus*) YANG TERPAPAR OBAT NYAMUK *ONE PUSH AEROSOL*

## ABSTRAK

Obat nyamuk *one push aerosol* merupakan salah satu insektisida yang digunakan masyarakat. Insektisida tersebut mengandung zat aktif *transfluthrin* yang bersifat karsinogen yang apabila terakumulasi di dalam tubuh dapat menimbulkan atau bahkan menambah radikal bebas. Oleh karena itu, dapat menyebabkan terganggunya kerja dan fungsi dari organ ginjal. Tujuan penelitian ini yaitu mengidentifikasi jenis radikal bebas dan sifat kelistrikan berdasarkan nilai konstanta dielektrik pada organ ginjal dari mencit yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol* tipe-X dan tipe-Y dengan kandungan *transfluthrin* masing-masing 25% dan 21,3%. Identifikasi radikal bebas dalam organ ginjal mencit menggunakan alat ESR (*Electron Spin Resonance*) didapatkan jenis radikal bebas  $O_2^-$  dan  $^1O_2$  yaitu radikal bebas dari *Reactive Oxygen Spesies* (ROS) yang disebabkan stres oksidatif. Sedangkan, dalam pengukuran konstanta dielektrik organ ginjal digunakan metode plat sejajar yang menunjukkan nilai konstanta dielektriknya semakin kecil seiring besarnya paparan obat nyamuk yaitu dari  $4,7 \times 10^6$  mengalami penurunan hingga  $1,2 \times 10^6$  yang berarti organ ginjal tidak mampu melakukan polarisasi. Ketidakmampuan organ ginjal tersebut dalam melakukan polarisasi disebabkan oleh banyaknya sel yang mati sehingga semakin sedikit sel hidup yang dapat mengalami momen dipol. Kerusakan organ ginjal yang dilihat secara mikroskopis menunjukkan semakin besar kandungan *transfluthrin* maka semakin besar kerusakan yang terjadi pada glomerulus dan tubulus yang masing-masing mencapai 24% dan 66,77%. Dapat disimpulkan bahwa banyaknya kandungan *transfluthrin* meningkatkan kerusakan organ ginjal yang menyebabkan penurunan nilai konstanta dielektrik organ ginjal.

**Kata Kunci:** *One push aerosol*, *Transfluthrin*, radikal bebas, konstanta dielektrik, ginjal



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



repository.ub.ac.id

# IDENTIFICATION OF FREE RADICALS AND DIELECTRIC PROPERTIES OF KIDNEY ORGANS OF MICE (*Mus Musculus*) EXPOSED TO *ONE PUSH AEROSOL* MOSQUITO REPELLENT

## ABSTRACT

One push aerosol mosquito repellent is one of the insecticides that commonly used by people. The insecticide contains a carcinogenic transfluthrin ingredient which can cause free radicals in the body. Therefore, it can lead to a disruption of the work and function of the kidney organ. The aim of this research is to identify the free radical type and electrical properties based on the dielectric constant value in kidney organs of mice exposed to X-type and Y-type aerosol mosquitoes with a respectively transfluthrin content of 25% and 21.3%. Identification of free radicals in the kidneys of mice using ESR (Electron Spin Resonance) obtained free radicals of  $O_2^-$  and  $^1O_2$ , which are free radicals of reactive oxygen species (ROS), that caused by oxidative stress. In the meantime, the parallel plate method in the measurement of the renin organ permittivity showed that the decreasing value of the dielectric constant with the increasing of the exposure of the mosquito coil from  $4.7 \times 10^6$  to  $1.2 \times 10^6$ , which mean that the renal organ could not polarizing. The inability of the kidney organ to polarizing is caused by the number of damaged cells, so only less living cells being able to having dipole moment. The kidney damage observed by the microscopic examination shows that the greater the transfluthrin content, the greater the damage to the glomerulus and tubules, reaching 24% and 66.77%, respectively. It can be concluded that the amount of transfluthrin increases the damage of the kidney organ, which leads to the decreasing of the dielectric constant of the kidney organ.

**Keyword:** *One push aerosol, Transfluthrin, free radicals, dielectric constants, kidney*



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang dilaksanakan di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya Malang. Serta Sholawat dan salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga dan para sahabat beliau. Pembuatan karya tulis ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan orang-orang yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih atas bimbingan dan bantuan yang telah diberikan oleh:

1. Alm. Papa (Opin Turzana Nurdin) dan Mama (Sri Arini Sujiah) yang selalu mendukung, memberikan doa dan kasih sayangnya yang tiada henti kepada penulis, kakak-kakak tercinta (Yopi, Tria, Amanda, dan Ardi) yang selalu menyemangati penulis, keponakan (Ayub, Azizah, dan Azzam) yang selalu menghibur disaat lelah, serta semua saudara yang telah membantu penulis selama ini.
2. Bapak Prof. Dr.rer.nat Muhammad Nurhuda selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang yang telah memberikan izin serta kesempatan kepada penulis untuk melakukan Skripsi.
3. Bapak Drs. Unggul P Juswono, M.Sc dan Bapak Dr. Eng. Didik R. Santoso, M.Si selaku Dosen Pembimbing yang telah memberi pengarahan dan bimbingan dalam penulisan ini.
4. Bapak Dr.rer.nat. Abdurrouf, S.Si., M.Si, selaku dosen pembimbing akademik yang selalu sabar membantu selama penulis kuliah di jurusan fisika UB.
5. Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah menyelenggarakan program Bidikmisi sehingga sangat membantu penulis untuk menyelesaikan pendidikan sarjana.
6. Keluarga di Malang (Pak Heri, Bu Ning, Eyang Yayuk, Eyang Tri, Eyang Tik, Kung War, dan Bi Rin) yang telah membantu dan menyemangati penulis.
7. Dedy, Shella, Windi dan Siti dan teman-teman bimbingan lain yang telah membantu, mendukung, memberi inspirasi dan semangat dalam penelitian serta menghibur dikala lelah.

8. Anggota Laboratorium MCS yang telah banyak sekali membantu dalam penelitian ini.
9. Semua teman seangkatan, kakak tingkat, dan adik tingkat jurusan fisika UB yang telah banyak membantu dan memberikan motivasi kepada penulis
10. Serta semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Skripsi ini.

Penulis menyadari Skripsi ini masih jauh dari sempurna, karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk penulis agar lebih baik lagi selanjutnya.

Malang, 9 Mei 2018

Penulis



**DAFTAR ISI**

<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xix</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xxi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Insektisida.....	5
2.2 <i>Transfluthrin</i> .....	6
2.3 Radikal Bebas.....	7
2.4 Ginjal.....	8
2.5 Mencit.....	10
2.6 Biolistrik.....	11
2.6.1. Metode dielektrik .....	11
2.6.2. Kapasitansi .....	12
2.6.3. Konstanta dielektrik .....	13
2.7 <i>Electro Spin Resonance (ESR)</i> .....	14



2.8 Efek Zeeman.....	16
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>19</b>
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	19
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	19
3.3 Prosedur Penelitian.....	19
3.3.1 Uji Radikal Bebas.....	21
3.3.2 Uji Konstanta Dielektrik.....	23
3.3.3 Pembuatan Preparat Histologi Organ Ginjal .....	24
3.4 Analisa Data .....	24
3.4.1 Uji Radikal Bebas.....	24
3.4.2 Uji Konstanta Dielektrik.....	25
3.4.3 Pengamatan Gambaran Mikroskopis Organ Ginjal .....	26
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>27</b>
4.1 Hasil Penelitian.....	27
4.1.1 Konsentrasi Obat Nyamuk <i>One Push Aerosol</i> dalam <i>Chamber</i> .....	27
4.1.2 Kalibrasi Perangkat ESR .....	29
4.1.3 Jenis Radikal Bebas pada Organ Ginjal dari Mencit yang Terpapar Obat Nyamuk <i>One Push Aerosol</i> .....	30
4.1.4 Konstanta Dielektrik Organ Ginjal dari Mencit .....	31
4.1.5 Gambaran Mikroskopis Organ Ginjal dari Mencit .....	32
4.1.6 Pengaruh Obat Nyamuk terhadap Konstanta Dielektrik, Pelebaran Glomerulus dan Penyempitan Tubulus .....	35
4.2 Pembahasan .....	28
4.2.1 Mekanisme Rusaknya Jaringan Ginjal oleh <i>Transfluthrin</i> .....	38
4.2.2 Radikal Bebas yang Teridentifikasi dalam Organ Ginjal	40
4.2.3 Perubahan Sifat Polarisasi Organ Ginjal Berdasarkan Nilai Konstanta Dielektrik .....	42
4.2.4 Korelasi Kerusakan Organ Ginjal yang Diamati Secara Mikroskopis dengan Konstanta Dielektrik .....	44

<b>BAB V PENUTUP</b> .....	<b>47</b>
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	47
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>49</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>53</b>





*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Struktur Kimia Senyawa <i>Transfluthrin</i> .....	6
<b>Gambar 2. 2</b> Struktur Atom Radikal Bebas .....	7
<b>Gambar 2. 3</b> Letak Anatomi Ginjal .....	8
<b>Gambar 2. 4</b> Anatomi Ginjal dan Nefron.....	9
<b>Gambar 2. 5</b> Mencit Putih ( <i>Mus musculus</i> ) .....	10
<b>Gambar 2. 6</b> Skema Sistem Pengukuran.....	12
<b>Gambar 2. 7</b> Pembagian Tingkat Energi $L=1$ pada Saat Ada Medan Magnet Luar .....	17
<b>Gambar 2. 8</b> Pembagian Tingkat Energi Spin Ketika Ada Medan Magnet.....	17
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram Alir Penelitian .....	20
<b>Gambar 3. 2</b> Diagram Alir Perlakuan Uji Coba.....	21
<b>Gambar 3. 3</b> Rangkaian Alat ESR Leybold-Heracus.....	22
<b>Gambar 3. 4</b> Diagram Alir Uji Radikal Bebas .....	22
<b>Gambar 3. 5</b> Skema Sistem Pengukuran Dielektrik.....	23
<b>Gambar 3. 6</b> Diagram Alir Uji Dielektrik.....	23
<b>Gambar 3. 7</b> Diagram Alir Pembuatan Preparat .....	24
<b>Gambar 4. 1</b> Grafik Perbandingan Konsentrasi Obat Nyamuk <i>One Push Aerosol</i> Tipe-X dan Tipe-Y .....	29
<b>Gambar 4. 2</b> Kurva Resonansi Kalibrasi dengan DPPH.....	29
<b>Gambar 4. 3</b> Kurva Lissajous untuk (a) Tabung Penelitian (Belum Diberi Sampel) (b) Kelompok Kontrol dan (c) Kelompok yang Diberi Perlakuan .....	31
<b>Gambar 4. 4</b> Grafik Hubungan Konsentrasi Obat Nyamuk Tipe-X dan Tipe-Y Terhadap Nilai Konstanta Dielektrik Organ Ginjal .....	32
<b>Gambar 4. 5</b> Gambar Mikroskopis Organ Ginjal dari Mencit Kelompok Kontrol dengan Perbesaran 400x. Keterangan a. Panah Hijau menunjukkan Glomerulus, b. Lingkaran Merah menunjukkan Penyempitan Tubulus, c. Lingkaran Putih menunjukkan Tubulus Normal .....	33
<b>Gambar 4. 6</b> Gambar Mikroskopis Organ Ginjal dari Mencit Kelompok Semprotan Tipe-X dengan Perbesaran 400x. Keterangan a. Panah Hijau menunjukkan Glomerulus, b. Lingkaran Merah menunjukkan Penyempitan Tubulus, c. Lingkaran Putih menunjukkan Tubulus Normal .....	34
<b>Gambar 4. 7</b> Gambar Mikroskopis Organ Ginjal dari Mencit Kelompok Semprotan Tipe-Y dengan Perbesaran 400x.	

Keterangan a. Panah Hijau menunjukkan Glomerulus, b. Lingkaran Merah menunjukkan Penyempitan Tubulus, c. Lingkaran Putih menunjukkan Tubulus Normal.....35

**Gambar 4. 8** Grafik Perbandingan Kerusakan Glomerulus dengan Nilai Konstanta Dielektrik .....36

**Gambar 4. 9** Grafik Perbandingan Kerusakan Tubulus Dengan Nilai Konstanta Dielektrik .....37

**Gambar 4. 10** Grafik Perbandingan Total Kerusakan dengan Nilai Konstanta Dielektrik .....37

**Gambar 4. 11** Sistem Peredaran Darah pada Manusia .....38

**Gambar 4. 12** Tempat Kerusakan Selular dan Biokimia Pada Sel yang Cidera .....39

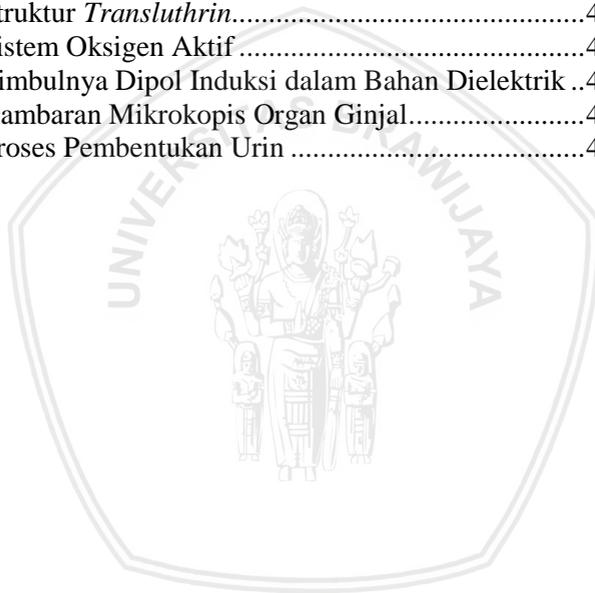
**Gambar 4. 13** Struktur *Transluthrin*.....40

**Gambar 4. 14** Sistem Oksigen Aktif .....41

**Gambar 4. 15** Timbulnya Dipol Induksi dalam Bahan Dielektrik ..43

**Gambar 4. 16** Gambaran Mikrokopis Organ Ginjal.....44

**Gambar 4. 17** Proses Pembentukan Urin .....45



**DAFTAR TABEL**

**Tabel 2. 1** Nilai Reprerentif K pada 20°C ..... 14  
**Tabel 2. 2** Nilai Faktor-g berbagai jenis radikal bebas. ....16  
**Tabel 3. 1** Kriteria Kondisi Glomerulus. ....26  
**Tabel 4. 1** Konsentrasi Obat Nyamuk *One push aerosol* Type-X ...28  
**Tabel 4. 2** Konsentrasi Obat Nyamuk *One push aerosol* Type-Y ...28  
**Tabel 4. 3** Hasil Pengukuran Kalibrasi DPPH.....30  
**Tabel 4. 4** Hasil Pengukuran Kelompok yang Diberi Perlakuan ..... 31  
**Tabel 4. 5** Hasil pengukuran Konstanta Dielektrik, Pelebaran Glomerulus dan Penyempitan Tubulus.....36



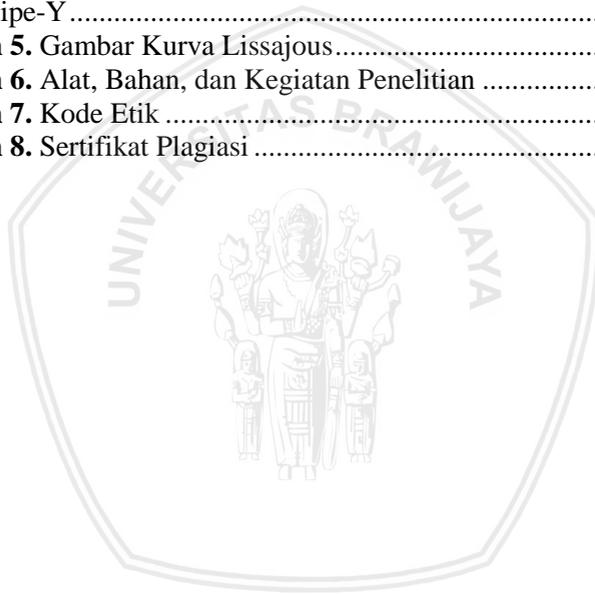


*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Tabel Jumlah Obat Nyamuk <i>One push aerosol</i> dalam Chamber .....	53
<b>Lampiran 2.</b> Tabel Hasil Perhitungan Faktor-g Organ Ginjal dari Mencit yang Terpapar Obat Nyamuk <i>One push aerosol</i> Tipe-X dan Tipe-Y .....	56
<b>Lampiran 3.</b> Tabel Perhitungan Konstanta Dielektrik Organ Ginjal yang Terpapar Obat Nyamuk <i>One push aerosol</i> Tipe-X dan Tipe-Y.....	61
<b>Lampiran 4.</b> Tabel Perhitungan Kerusakan Organ Ginjal dari Mencit yang Terpapar Obat Nyamuk <i>One push aerosol</i> Tipe-X dan Tipe-Y .....	72
<b>Lampiran 5.</b> Gambar Kurva Lissajous.....	78
<b>Lampiran 6.</b> Alat, Bahan, dan Kegiatan Penelitian .....	82
<b>Lampiran 7.</b> Kode Etik .....	83
<b>Lampiran 8.</b> Sertifikat Plagiasi .....	84





*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Keadaan geografis Indonesia dengan curah hujan yang sangat tinggi terdapat banyak rawa serta genangan air menyebabkan berbagai jenis nyamuk yang berperan sebagai vektor penyakit sangat mudah berkembang biak. Masalah kesehatan yang ditimbulkan oleh nyamuk yaitu rasa sakit, nyeri dan mungkin mengakibatkan reaksi alergi kulit dengan peradangan yang serius bahkan menimbulkan penyakit seperti demam berdarah, filariasis dan malaria. Salah satu pencegahan agar tidak diserang oleh gigitan nyamuk maka digunakan obat nyamuk (Dahniar, 2011). Obat nyamuk tersebut berupa insektisida yang digunakan untuk menghalau berbagai macam serangga, misalnya kecoa, nyamuk, dan binatang kecil lainnya. Terdapat sediaan jenis insektisida yaitu bakar, semprot, elektrik, oles dan sebagainya (Amelia dkk, 2015). Insektisida jenis aerosol merupakan obat anti nyamuk yang sering digunakan masyarakat, karena sangat mudah digunakan dan bekerja lebih cepat dibanding jenis lainnya. Ukuran partikel sangat kecil seperti gas, menyebabkan mudah menembus celah-celah kecil (Joharina dan Alfiah, 2012).

Menurut WHO (World Health Organization, 2006) insektisida mengandung zat aktif transflutrin yang berdaya racun tinggi karena bersifat karsinogen, dapat merusak atau mengganggu sistem saraf, mengganggu sistem pernafasan, jantung dan organ-organ lain. Apabila obat nyamuk ini digunakan secara terus-menerus maka zat toksik yang terkandung dalam obat nyamuk akan terakumulasi dalam tubuh yang berdampak buruk pada manusia, misalnya gelisah, muntah, bahkan dapat menyebabkan kematian apabila terjadi keracunan yang parah. Polutan yang dihasilkan dari insektisida *one push aerosol* dapat dengan mudah memasuki tubuh manusia melalui sistem saluran pernafasan dan sistem pencernaan yang dapat mengganggu atau merusak fungsi dan kerja organ tubuh, diantaranya organ ginjal. Organ ginjal dalam tubuh merupakan salah satu organ paling penting yang memiliki 3 fungsi utama yaitu filtrasi glomerulus, reabsorpsi dan sekresi darah. Ginjal merupakan salah

repository.ub.ac.id

satu organ sasaran dari efek toksik karena memiliki volume aliran darah yang tinggi, mengkonsentrasikan zat-zat toksik dan membawanya melalui sel tubulus (Nurliani, 2015). Apabila ginjal mengalami kerusakan maka akan mempengaruhi kerja ginjal sehingga ginjal tidak berfungsi dengan semestinya.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Khoiroh, 2017) membuktikan bahwa sel pada organ ginjal yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol* mengalami kerusakan yaitu ginjal mengalami pelebaran glomerulus dan penyempitan tubulus. Kerusakan tersebut diduga karena peningkatan radikal bebas akibat dari senyawa kimia aktif yang terdapat didalam obat nyamuk tersebut yaitu *transfluthrin*. Kerusakan tersebut diakibatkan oleh reaktivitas radikal bebas dalam mencari pasangan elektron. Keadaan tersebut dapat mempengaruhi proses-proses fisiologi maupun biokimia di dalam tubuh, yang mengakibatkan gangguan pada fungsi sel bahkan kematian sel. Kerusakan yang terjadi pada ginjal hanya diduga karena peningkatan radikal bebas tetapi tidak dibuktikan adanya radikal bebas dalam organ ginjal tersebut.

Kerusakan sel berkaitan dengan mutu sel itu sendiri yaitu sel tersebut dalam keadaan sehat atau tidak. Mutu suatu bahan organik dapat dianalisis menggunakan pendekatan biolistrik yaitu dengan menganalisis kandungan ionik dan komposisi kimia. Karakteristik kelistrikan dari sel makhluk hidup ini dipengaruhi oleh senyawa metabolisme dan pertukaran ion yang terjadi dalam tubuh. Karakteristik biolistrik yang dapat diamati yaitu impedansi, kapasitansi, induktansi, konstanta dielektrik dan konduktivitas listrik (Hidayat dkk, 2014). Pengukuran karakteristik biolistrik dengan menggunakan metode dielektrik dianggap lebih efisien dan lebih cepat (Sutrisno, 2014). Selain itu, dengan menggunakan metode dielektrik dapat diketahui kemampuan polarisasi suatu bahan. Berdasarkan hal tersebut, maka peneliti melakukan sebuah penelitian tentang identifikasi radikal bebas pada organ ginjal dari mencit yang terpapar obat nyamuk jenis *one push aerosol* dan sifat dielektriknya.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang yang telah dijelaskan diatas, dapat dirumuskan masalah yaitu bagaimana kandungan jenis radikal bebas yang terdapat pada organ ginjal dari mencit yang terpapar obat

nyamuk jenis *one push aerosol* dan bagaimana perbedaan nilai konstanta dielektrik pada organ ginjal dari mencit yang sehat dan yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol*?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi radikal bebas yang terdapat pada organ ginjal dari mencit yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol*, serta perbedaan nilai konstanta dielektrik dari organ ginjal dari mencit yang sehat dan organ ginjal dari mencit yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol*.

### **1.4 Batasan Masalah**

Penulis membatasi pembahasan dalam penyusunan penelitian ini yaitu obat nyamuk yang digunakan adalah jenis *one push aerosol* tipe-X dan tipe-Y yang memiliki kandungan *transfluthrin* masing-masing 25% dan 21,3%, mencit yang digunakan berjenis kelamin jantan yang berusia 2-3 bulan, dengan mengabaikan keadaan psikologis awal mencit dan sistem kekebalan tubuh masing-masing mencit, tidak membahas proses terbentuknya radikal bebas dan konsentrasi radikal bebas pada organ ginjal dari mencit yang terpapar dengan keadaan awal ginjal mencit tidak diperiksa dan tanpa memperdulikan daya regenerasi sel-sel ginjal mencit yang berbeda-beda serta parameter dalam penelitian ini adalah nilai konstanta dielektrik.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan untuk memberikan informasi kepada masyarakat tentang kandungan radikal bebas yang terdapat pada organ ginjal dari mencit yang terpapar pada obat nyamuk *one push aerosol*, serta menambah wawasan dan pengetahuan bagi peneliti serta pembaca tentang perbedaan nilai konstanta dielektrik pada organ ginjal dari mencit yang sehat dan mencit yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol*. Hal ini dapat digunakan sebagai rujukan masyarakat akan bahayanya radikal bebas yang ditimbulkan oleh obat nyamuk jenis *one push aerosol* terhadap kesehatan organ ginjal sehingga masyarakat dapat lebih menjaga kesehatan tubuh dari pencemaran udara akibat semprotan obat nyamuk.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Insektisida

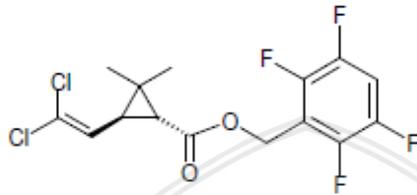
Insektisida berasal dari dua kata, yaitu *insect* dan *cide*. *Insect* artinya serangga dan *cide* artinya membunuh. Banyak insektisida yang cara kerjanya tidak membunuh, melainkan dengan cara lain seperti mengusir, menarik, menghalau dan mengganggu pertumbuhan serangga (Joharina dan Alfiah, 2012). Insektisida adalah suatu zat pengendali, penolak, pemikat atau pembasmi organisme pengganggu yaitu serangga. Insektisida dapat membantu mengendalikan penyakit-penyakit yang ditularkan melalui serangga antara lain malaria, meningitis, tipus, demam kuning dan sebagainya. Akan tetapi, penggunaan insektisida yang berlebihan, dalam jangka panjang memungkinkan terjadinya akumulasi yang akan berdampak buruk terhadap kesehatan makhluk hidup dan lingkungan (Raini, 2009).

Insektisida terdapat dalam beberapa sediaan yaitu berbentuk semprotan (cairan atau aerosol), lotion, elektrik, kepingan dan lingkaran yang biasanya dibakar. Insektisida kebanyakan mengandung bahan aktif beracun. Insektisida tidak saja beracun terhadap serangga sasarannya tetapi juga terhadap organisme lain seperti manusia. Insektisida dapat masuk ke dalam tubuh dengan berbagai cara yaitu tertelan melalui mulut atau saluran pencernaan, terhirup melalui hidung atau saluran pernafasan, terkena kulit atau mata (BPOM, 2009).

Bahan aktif yang terdapat dalam obat nyamuk akan masuk ke dalam tubuh melalui pernafasan dan kulit, lalu akan beredar dalam darah. Darah akan beredar keseluruh tubuh manusia. Fungsi organ manusia akan terganggu apabila bahan aktif masuk ke dalam tubuh manusia yang disebabkan oleh penggunaan obat nyamuk secara berlebihan dan terus-menerus. Bahan aktif dalam obat nyamuk tersebut akan menyebar ke sel-sel tubuh melalui saluran pernafasan bila terhirup, melalui saluran pencernaan bila tertelan, melalui susunan syaraf pusat menuju otak, dan ke organ-organ lainnya. (Dahniar, 2011).

## 2.2 *Transfluthrin*

*Transfluthrin* merupakan salah satu kandungan dari obat anti nyamuk. *Transfluthrin* termasuk dalam insektisida golongan *pyrethroid* yaitu analog sintesis dari insektisida alami *pyrethrum* yang berasal dari tanaman *Chrysantenim cinerariaefolium* yang diketahui dapat menyebabkan imobilisasi pada serangga yang dapat meracuni sistem saraf. Struktur kimia senyawa *transfluthrin* dapat dilihat pada Gambar 2.1 (Almahdy dkk, 2014).



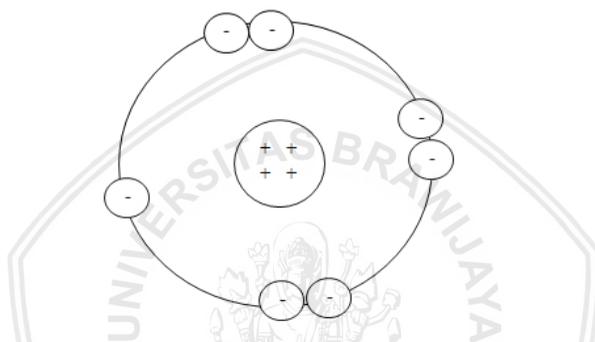
**Gambar 2. 1** Struktur Kimia Senyawa *Transfluthrin* (Almahdy dkk, 2014)

Insektisida dibatasi penggunaannya dalam lingkup rumah tangga berdasarkan Keputusan Menteri Pertanian No. 401/Kpts/Sr.140/6/2004 yaitu penggunaan insektisida diijinkan dengan kandungan bahan aktif *transfluthrin* sebesar 0,04%. *Transfluthrin* dapat menginduksi terjadinya stres oksidatif yang akan membentuk radikal bebas, sehingga jumlah radikal bebas dalam tubuh meningkat. Peningkatan radikal bebas dalam tubuh melebihi kapasitas tubuh untuk menetralsir sehingga akan menyebabkan kerusakan dalam tubuh (Abdollahi dkk, 2014). *Transfluthrin* digunakan sebagai bahan kimia dan zat industri untuk pembuatan insektisida. *Transfluthrin* tergolong dalam racun kelas menengah yang bersifat karsinogen yang dapat merusak sistem hormonal dan menghancurkan sistem endokrin. Organ sasaran dari *transfluthrin* ini yaitu kulit, mata, pernafasan, pencernaan, sistem saraf dan kardiovaskular. Zat ini menyebabkan seseorang mengalami pusing, sakit kepala, kelelahan, lemas, lesu, muntah, kejang, tetapi keracunan sistemik jarang terjadi apabila terhirup dan tertelan oleh tubuh. Sedangkan, kulit akan terasa gatal, kesemutan atau mati rasa apabila zat ini kontak langsung dengan kulit serta lakrimasi, fotofobia dan

konjungtivitis apabila terjadi kontak langsung dengan mata (Fillaeli, 2012).

### 2.3 Radikal Bebas

Radikal bebas adalah atom, molekul atau senyawa yang memiliki satu atau bahkan lebih elektron yang tidak berpasangan sehingga bersifat reaktif. Radikal bebas bersifat reaktif karena cenderung mencari pasangan dari atom, molekul atau senyawa yang berada didekatnya. Struktur atom radikal bebas dapat dilihat pada Gambar 2.2 (Hadyathma, 2010).



**Gambar 2. 2** Struktur Atom Radikal Bebas

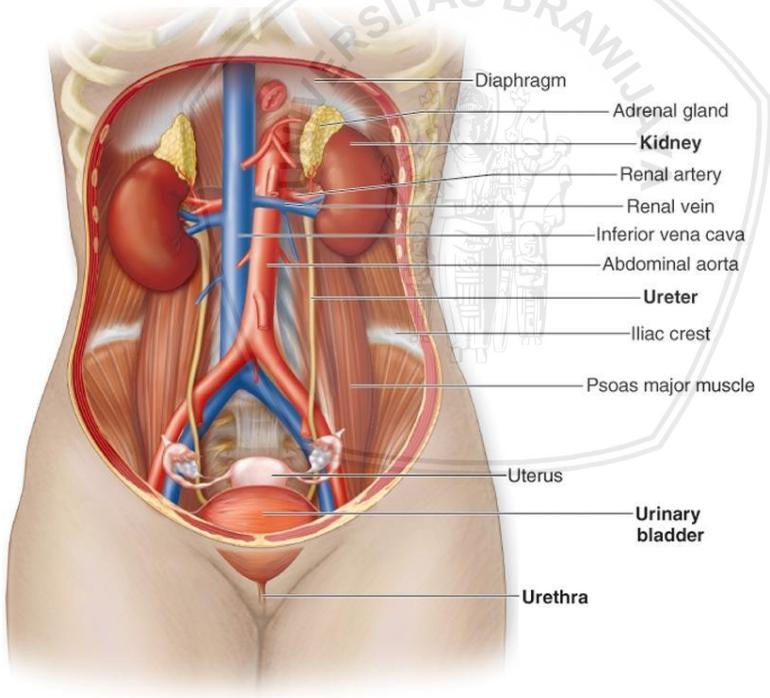
Radikal bebas cenderung mengalami reaksi berantai yang apabila terjadi di dalam tubuh dapat menyebabkan kerusakan-kerusakan yang berkelanjutan. Radikal bebas jumlahnya mengalami peningkatan karena faktor stress, radiasi, dan polusi lingkungan (Wahdiningsih, 2011). Apabila suatu molekul non radikal berinteraksi dengan radikal bebas akan membentuk molekul radikal bebas yang baru. Dengan kata lain, radikal bebas yang bersifat tidak stabil akan cenderung mengambil elektron dari sekitarnya, sehingga radikal bebas ini bersifat toksik terhadap molekul biologi (Werdhasari, 2014).

Sumber pemicu radikal bebas ada dua, yaitu radikal bebas internal dan radikal bebas eksternal. Radikal internal berasal dari dalam tubuh, yaitu dari oksigen yang dihirup oleh manusia menghasilkan banyak energi yang akan menghasilkan *Reactive*

*Oxygen Species* (ROS) sebagai hasil samping. Metabolisme aerobik selalu diikuti oleh terbentuknya radikal bebas, proses ini terjadi karena zat-zat makanan mengalami oksidasi yang kemudian dikonversi menjadi senyawa yang dapat mengikat energi dengan bantuan oksigen. Radikal bebas yang terbentuk adalah anion superoksida ( $\bar{2}O$ ) dan radikal hidroksil ( $OH^-$ ). Sedangkan radikal bebas eksternal berasal dari polusi udara, radiasi sinar ultraviolet, obat-obatan tertentu seperti anestesi, pestisida, sinar x dan kemoterapi (Khaira, 2010).

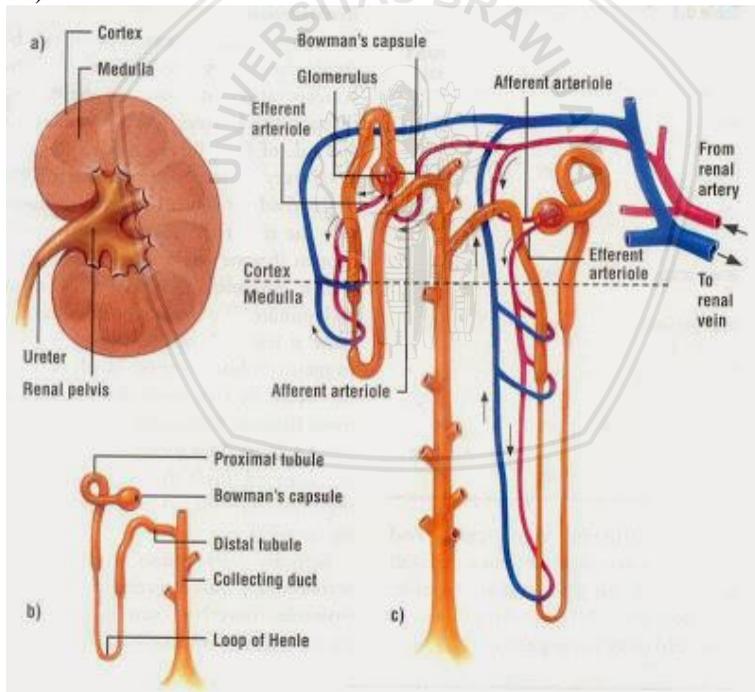
## 2.4 Ginjal

Ginjal terletak reperiitoneal dalam rongga abdomen. Setiap manusia memiliki ginjal berjumlah 2 yang masing-masingnya  $\pm 150$  gram. Letak anatomi ginjal dapat dilihat pada Gambar 2.3 (Verdiansah, 2016).



**Gambar 2. 3** Letak Anatomi Ginjal (Verdiansah, 2016)

Ginjal dibungkus oleh selaput tipis yang dinamakan kapsula fibrosa. Terdapat korteks renalis yang berwarna coklat gelap di bagian luar dan medula renalis berwarna coklat terang di bagian dalam. Bagian medula yang berbentuk seperti kerucut disebut pelvis renalis, yang terhubung dengan ureter sehingga urin akan mengalir menuju vesika urinaria. Kurang lebih terdapat satu juta lebih nefron, nefron merupakan unit fungsional dari organ ginjal. Nefron terdiri dari glomerulus, tubulus kontortus proksimal lengkung Henle, tubulus kontortus distalis dan tubulus kolektivus. Glomerulus merupakan unit kapiler yang tersusun dari tubulus membentuk kapsula Bowman. Di sekeliling tubulus ginjal terdapat pembuluh kapiler yang disebut dengan arteriola, arteriola membawa darah dari glomerulus dan juga menuju glomerulus, serta terdapat kapiler peritubulus yang berfungsi memperdarahi jaringan ginjal. Anatomi dari ginjal dan nefron dapat dilihat pada Gambar 2.4 (Verdiansah, 2016).



**Gambar 2.4** Anatomi Ginjal dan Nefron (Verdiansah, 2016)

Ginjal merupakan organ yang sangat vital karena sangat berperan sangat penting dalam mempertahankan kestabilan lingkungan dalam tubuh. Ginjal berfungsi mengatur keseimbangan cairan, elektrolit dan asam basa dalam tubuh melalui penyaringan darah dalam ginjal, reabsorpsi selektif air, serta mengekskresi kelebihan sebagai kemih. Ginjal juga berperan mengeluarkan sisa metabolisme, seperti urea, kreatin asam urat dan zat kimia asing. Selain itu, ginjal mensekresi renin penting untuk mengatur tekanan darah, bentuk vitamin D untuk mengatur kalsium serta eritropoetin untuk menstimulasi produksi sel darah merah (Rivandi dan Yonata, 2015). Fungsi utama ginjal yaitu penyaringan oleh glomerulus, reabsorpsi dan sekresi tubulus. Kerusakan sel ginjal bahkan sampai kematian sel akan menyebabkan fungsi ginjal terganggu (Windhartono dkk, 2013).

## 2.5 Mencit

Mencit (*Mus musculus*) merupakan hewan yang paling sering digunakan untuk keperluan penelitian-penelitian biologis maupun biomedis yang dipelihara intensif di laboratorium (Andri, 2007). Berikut ini adalah klasifikasi mencit berdasarkan taksonomi menurut Arrington (1972) :

Kingdom : Animalia

Filum : Chordata

Kelas : Mamalia

Ordo : Rodentia

Famili : Muridae

Genus : Mus

Spesies : *Mus musculus*



**Gambar 2. 5** Mencit Putih (*Mus musculus*)

Mencit laboratorium berwarna putih dapat dilihat pada Gambar 2.5, berbeda dengan nenek moyang mencit yang merupakan mencit liar berwarna abu-abu. Penyebaran daerah hidup mencit cukup luas, mencit dapat hidup mulai dari iklim dingin, sedang, serta panas dan dapat bertahan hidup di dalam kandang maupun hidup secara bebas menjadi hewan liar (Khoiroh, 2017).

Mencit memiliki kesamaan secara fisiologis dengan manusia maupun hewan mamalia sehingga dapat digunakan untuk penelitian. Selain itu, keunggulan hewan mencit yaitu mencit mudah dalam penanganannya, memiliki siklus hidup yang pendek, pengembangbiakannya tidak sulit dan pola reproduksinya relatif singkat. Mencit dapat memakan segala jenis makanan sehingga tergolong hewan omnivora. Mencit banyak beraktivitas seperti makan dan minum pada sore dan malam hari (Andri, 2007).

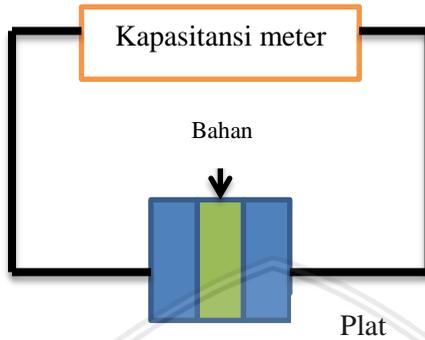
## **2.6 Biolistrik**

Setiap bahan biologis memiliki sifat kelistrikan yang dipengaruhi oleh proses metabolisme dalam bahan biologis tersebut (Sutrisno, 2014). Biolistrik merupakan suatu karakteristik kelistrikan dari sebuah sel atau jaringan dalam makhluk hidup. Biolistrik ini dipengaruhi oleh senyawa metabolisme dan pertukaran ion yang terjadi dalam tubuh makhluk hidup. Impedansi, kapasitansi, induktansi, konstanta dielektrik dan konduktivitas listrik merupakan karakteristik biolistrik yang dapat diamati (Hidayat dkk, 2014).

### **2.6.1. Metode dielektrik**

Metode dielektrik merupakan metode yang berlandaskan pada penggunaan plat kapasitor sejajar dengan objek biologis diletakkan di tengah. Karakteristik biolistrik dianggap lebih efisien dan cepat dengan menggunakan metode dielektrik (Hidayat dalam Sutrisno, 2014). Objek biologis yang akan diukur berada diantara plat kapasitor sebagai bahan dielektrik sehingga dapat diukur kapasitansi dan impedansi untuk mengetahui karakteristik kelistrikan sel atau jaringan. Pengukuran awal pada skema metode dielektrik seperti pada Gambar 2.6 yaitu mencari nilai kapasitansi dan impedansi dengan menggunakan kapasitansi meter, kemudian dapat dihitung konduktivitas dan konstanta dielektriknya. Agar dapat terukur nilai kapasitansi dari bahan dielektrik digunakan plat

paralel pada kapasitor buatan dan pemberian input sumber tegangan pada kapasitansi meter. Apabila pada plat tersebut disisipkan bahan, nilai kapasitansi dari plat tersebut pada kondisi ruang vakum dan udara sebagai C (Hidayat dkk, 2014).



**Gambar 2. 6** Skema Sistem Pengukuran (Hidayat dkk., 2014)

### 2.6.2. Kapasitansi

Kapasitansi merupakan besaran yang menyatakan kemampuan dari suatu kapasitor menampung muatan listrik. Pengukuran konstanta dielektrik tidak lepas dari pengukuran kapasitansi, karena dengan mengukur kapasitansi akan memudahkan dalam pengukuran konstanta dielektriknya. Kapasitansi pada plat kapasitor yang berisi bahan dielektrik dinyatakan oleh persamaan 2.1 (Arum, 2000).

$$C = \varepsilon' \cdot \varepsilon_0 \frac{A}{d} \tag{2.1}$$

Dimana :

$\varepsilon'$  = konstanta dielektrik

C = kapasitansi rata-rata (F)

A = luas penampang plat kapasitor (m)

d = jarak antar plat (m)

$\varepsilon_0$  = permitivitas udara =  $8,85 \times 10^{-12} F/m$

Kapasitansi merupakan kemampuan kapasitor untuk menyimpan energi dalam medan listrik. Semakin besar frekuensi yang diberikan maka semakin banyak gelombang yang ditransmisikan setiap detiknya. Sebelum kapasitor terisi penuh oleh muatan, arah arus listrik sudah berbalik sehingga terjadi pengosongan muatan pada plat elektroda kapasitor dengan cepat mengakibatkan muatan dalam kapasitor menjadi berkurang dan kemampuan kapasitor untuk menyimpan muatan menurun (semakin kecil) (Sutrisno, 2014).

### 2.6.3. Konstanta dielektrik

Konstanta dielektrik adalah perbandingan antara nilai kapasitansi kapasitor pada bahan dielektrik dengan kapasitansi di ruang hampa. Konstanta ini menunjukkan perbandingan energi listrik yang tersimpan pada bahan tersebut jika diberi sebuah potensial, relatif terhadap ruang hampa. Sifat dielektrik menggambarkan kemampuan suatu bahan untuk menyimpan muatan listrik pada beda potensial yang tinggi (Sutrisno dan Gie, 1979). Dalam menentukan konstanta dielektrik diperlukan bahan dielektrik. Bahan dielektrik adalah bahan yang tidak memiliki muatan bebas yang berpengaruh penting terhadap sifat kelistrikan bahan tersebut. Bahan dielektrik penting dalam kelistrikan karena beberapa sifatnya yaitu dapat menyimpan muatan, melewatkan arus bolak-balik (AC) dan menahan arus searah (DC). Nilai kapasitansi yang didapatkan dari pengukuran, kemudian dapat digunakan untuk mencari nilai konstanta dielektrik dengan menggunakan persamaan 2.2 (Arum, 2000).

$$\varepsilon' = \frac{C \cdot d}{\varepsilon_0 \cdot A} \quad (2.2)$$

Dimana :

$\varepsilon'$  = konstanta dielektrik

C = kapasitansi rata-rata (F)

A = luas penampang plat kapasitor (m)

d = jarak antar plat (m)

$\varepsilon_0$  = permitivitas udara =  $8,85 \times 10^{-12} F/m$

**Tabel 2. 1** Nilai Repräsentif K pada 20°C (Young, 2003)

Material	K	Material	K
Ruang hampa	1	Polivinil klorida	3,18
Udara (1 atm)	1,00059	Pleksiglas	3,4
Udara (100 atm)	1,0548	Kaca	5-10
Teflon	2,1	Neoprena	6,7
Polietilena	2,25	Germanium	16
Benzena	2,28	Gerserin	42,5
Mika	3-6	Air	80,4
Mylar	3,1	Stronium titanat	310

Konstanta dielektrik K adalah sebuah bilangan murni. Karena C selalu lebih besar daripada  $C_0$ , maka K selalu lebih besar daripada satu. Beberapa nilai representif dari K dapat dilihat pada Tabel 2.1 (Young, 2003).

### 2.7 *Electro Spin Resonance (ESR)*

Electro Spin Resonance (ESR) adalah suatu teknik untuk mengetahui senyawa yang memiliki elektron tak berpasangan, seperti radikal bebas organik, radikal bebas anorganik, maupun senyawa kompleks anorganik yang memiliki ion logam transisi. Electro Spin Resonance biasanya digunakan untuk mengetahui keberadaan inti logam dalam grup postetik dan pada skala rendah untuk mengetahui enzim radikal, serta dalam senyawa organik ESR terbatas untuk mengetahui reaksi intermediet (radikal bebas dalam keadaan triplet) (Syarifah dkk, 2014).

Teknik ESR ini memanfaatkan medan magnet yang ditimbulkan oleh elektron yang beresonansi dengan radiasi elektromagnetik. Penyerapan resonansi energi elektromagnetik oleh partikel yang berputar pada medan magnet yang kuat merupakan dasar dari ESR ini. ESR merupakan hubungan antara momentum sudut intrinsik elektron spin (S) dengan momen magnet yang ditunjukkan persamaan 2.3 (Fauziah, 2012).

$$\mu = g\beta_s \tag{2.3}$$

Dimana: g = faktor lande (2,0023 J/T)

$\beta_s$  = magneton Bohr ( $9,274078 \times 10^{-24}$  J/T)

Arus listrik pada rangkaian ESR akan menimbulkan adanya medan magnet yang muncul pada kumparan Helmholtz sehingga menyebabkan terjadi efek Zeeman pada kulit-kulit atom dari sampel yang akan diuji. Besarnya medan magnet yang muncul pada kumparan Helmholtz dapat dihitung menggunakan persamaan 2.4 berikut (Hayati, 2015).

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

Dimana

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

$n$  = jumlah lilitan dan jari-jari kumparan (320 lilitan)

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

$I$  = arus yang dipakai dalam penelitian

$B_{eks}$  = medan magnet pada kumparan Helmholtz ( $1,27 \times 10^{-3}$ - $1,28 \times 10^{-3}$  T)

Faktor lande menunjukkan hubungan antara interaksi spin-orbit dan elektron paramagnet dengan inti atom yang ada disekitarnya. Nilai ini didapat ketika sampel berinteraksi dengan radiasi elektromagnetik sebesar  $hf$  dan sebanding dengan transisi energi antara 2 tingkatan spin yang menunjukkan terjadinya resonansi magnetik seperti yang dituliskan pada persamaan 2.5. Berdasarkan nilai faktor lande dapat diketahui jenis radikal bebas yang dapat dilihat pada Tabel 2.2 (Fauziah dkk, 2012).

$$g = \frac{hf}{\mu_B B} \quad (2.5)$$

Dimana:

$h$  = konstanta plank ( $h = 6,625 \times 10^{-34}$  Ws<sup>2</sup>)

$\mu_B$  = magneton Bohr ( $\mu_B = 9,273 \times 10^{-24}$  Am<sup>2</sup>)

$B$  = medan magnet eksternal (T)

$f$  = frekuensi (Hz)

**Tabel 2. 2** Nilai Faktor-g berbagai jenis radikal bebas (Cristiya, 2013).

Nama Radikal	Nilai Faktor-g
$^1\text{O}_2$	1.501
$\text{O}_2^-$	1.501-1.75
$\text{Fe}^{3+}$	1.77
$\text{MnO}_2$	1.8367
FeS	1.86
Hidroperoxida	1.9896
$\text{CO}_2^-$	1.996
Cu	1.997
$\text{SO}_4^-$	1.9976
Hidroxyyl	2.00047
$\text{CO}_2$	2.0007
Alkoxyyl	2.0016-2.00197
Helium	2.002
Methanol	2.00205

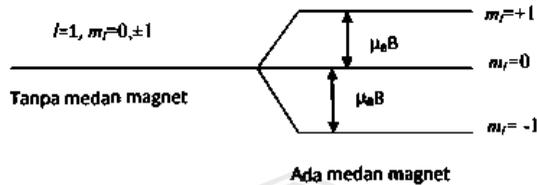
Nama Radikal	Nilai Faktor-g
Alkyl	2.00206
Hidrogen	2.00232
Methyl	2.00255-2.00286
DPPH	2.0036
$\text{SO}_3^-$	2.0037
Ethyl	2.0044
C	2.00505-2.00548
Peroxy	2.0155-2.0265
CuOx	2.098
$\text{CuGeO}_3$	2.154
$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$	2.24
Cu-HA	2.289
Hg	4.0-4.5

## 2.8 Efek Zeeman

Efek Zeeman adalah peristiwa terpisah atau terpecahnya sebuah garis spektrum dari tingkatan energi tertentu menjadi beberapa komponen yang disebabkan oleh adanya medan magnet eksternal. H. A. Lorenz pada tahun 1895 telah memprediksi efek ini dalam teori klasik dari elektron dan kemudian eksperimen selanjutnya oleh P. Zeeman menyebutkan bahwa tiga buah garis dari sebuah spektral karena medan magnet (Lestiana, 2011).

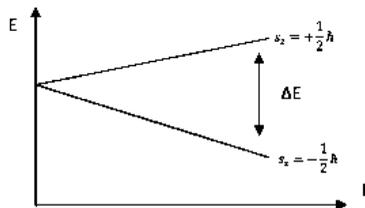
Energi keadaan atomik tertentu dalam medan magnetik bergantung pada harga  $m^l$  seperti juga pada  $n$ . Apabila atom itu berada dalam medan magnetik, dan energinya bisa sedikit lebih besar atau lebih kecil dari keadaan tanpa medan magnetik. Gejala itu menyebabkan “terpecahnya” garis spektrum individual menjadi garis-garis terpisah saat atom dipancarkan ke dalam medan

magnetik, dengan jarak antara garis bergantung dari besar medan itu. Efek Zeeman adalah gejala tambahan garis-garis spektrum jika atom-atom tereksitasi diletakkan dalam medan magnet (terpecahnya garis spektral oleh medan magnetik). Efek Zeeman, nama ini diambil dari nama seorang fisikawan Belanda Zeeman yang mengamati efek itu pada tahun 1896 (Mukti, 2003). Pembagian tingkat energi pada saat ada medan magnet luar dapat dilihat pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Pembagian Tingkat Energi  $L=1$  pada Saat Ada Medan Magnet Luar (Limiansih, 2013)

Gambar 2.7 menunjukkan perbedaan ketika tidak medan magnet dengan ketika ada medan magnet. Ketika ada medan magnet yang berinteraksi dengan elektron maka terjadi pemisahan keadaan energi elektron tersebut. Elektron memiliki momentum sudut  $L$  yang apabila diberi medan magnet ( $B$ ) dari luar elektron akan berinteraksi dengan medan magnet tersebut, maka setiap elektron yang berputar menghasilkan medan magnet dengan arah momentum magnetik menjadi searah ( $+ \frac{1}{2}$ ) atau berlawanan arah ( $- \frac{1}{2}$ ) terhadap medan magnet luar. Elektron dapat berpindah dari satu tingkat ke tingkat yang lain apabila elektron itu menyerap atau memancarkan energi. Setelah berinteraksi dengan medan magnet ( $B$ ) maka energi elektron terbagi menjadi tingkat energi yang berbeda. Selisih antar kedua tingkat energi yang berbeda tingkat energi spin dapat dilihat pada Gambar 2.8 (Limiansih, 2013).



**Gambar 2.8** Pembagian Tingkat Energi Spin Ketika Ada Medan Magnet (Limiansih, 2013)

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan selama 3 bulan dari bulan Januari sampai dengan bulan April di Laboratorium Fisiologi Jurusan Biologi Fakultas SAINTEK Universitas Islam Negeri Maulanan Malik Ibrahim Malang dan Laboratorium Fisika Lanjutan Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.

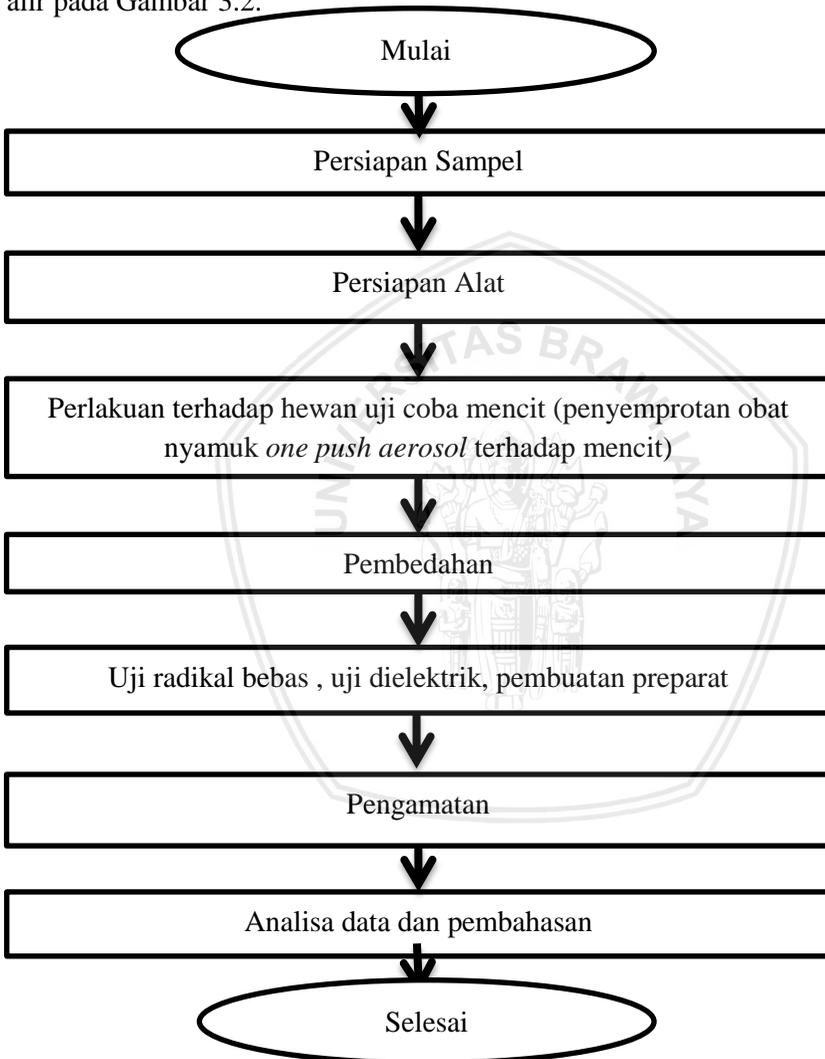
### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa alat yaitu *chamber*, timbangan digital, alat-alat bedah, mikroskop komputer binokuler olympus Cx 31, alat-alat preparasi, kapasitansimeter ALDA AVD890G, dua buah plat, papan akrilik, laptop, sarung tangan latex, masker, slide glass dan satu set alat ESR berupa ESR unit, pengendali ESR, osiloskop, multimeter, solenoid sebagai tempat sampel, dua buah kumparan Helmholtz, dan beberapa kabel penghubung. Bahan yang digunakan yaitu hewan coba mencit (*Mus musculus*) berkelamin jantan yang berusia 2-3 bulan, kalibrator DPPH, 2 jenis obat nyamuk *one push aerosol* (type X (bahan aktif *transfluthrin*25%) dan Y (bahan aktif *transfluthrin*21,3%)), pewarna HE (Hemaktosilin-Eosin), entellan, NaCl 0,9%, aquades, formalin 10% serta *xylo*.

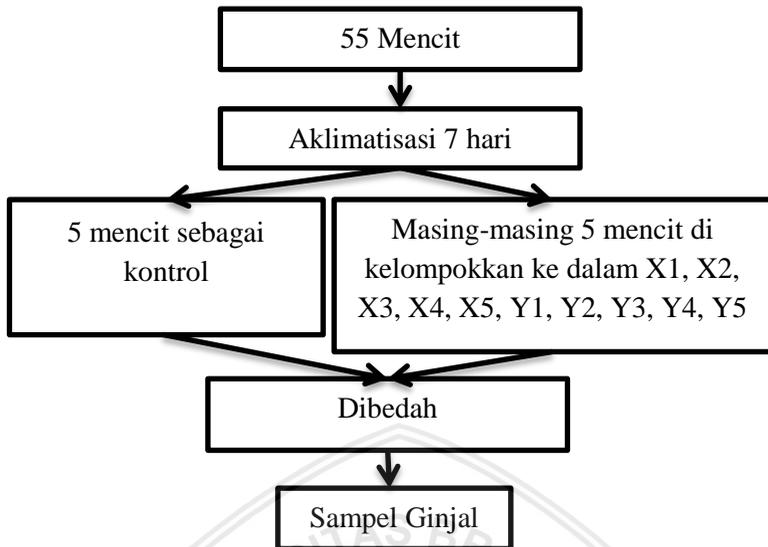
### 3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian secara umum dijelaskan oleh Gambar 3.1. Obat nyamuk *one push aerosol* yang digunakan berbeda merk dagang (*one push aerosol* tipe-X dan tipe-Y). Obat nyamuk *one push aerosol* tipe-X mengandung zat aktif *transfluthrin* 25%, sedangkan obat nyamuk *one push aerosol* tipe-Y mengandung bahan aktif *transfluthrin* 21,3%. Sampel lain yang diperlukan adalah mencit yang berjenis kelamin jantan dengan usia 2-3 bulan. Dalam setiap perlakuannya digunakan 5 ekor mencit. Perlakuan pertama tanpa diberikan semprotan obat nyamuk *one push aerosol* yaitu sebagai kontrol. Perlakuan selanjutnya yaitu diberi semprotan obat nyamuk

*one push aerosol* selama 20 menit untuk semua sampel dengan konsentrasi banyaknya semprotan bervariasi yaitu 1 semprot, 2 semprot, 3 semprot, 4 semprot dan 5 semprot. Masing-masing semprotan dihitung jumlah konsentrasi obat nyamuk dalam satu *chamber*. Perlakuan hewan uji coba disajikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 3.2.



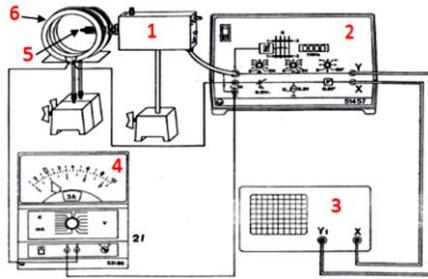
**Gambar 3. 1** Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3. 2** Diagram Alir Perlakuan Uji Coba

### 3.3.1 Uji Radikal Bebas

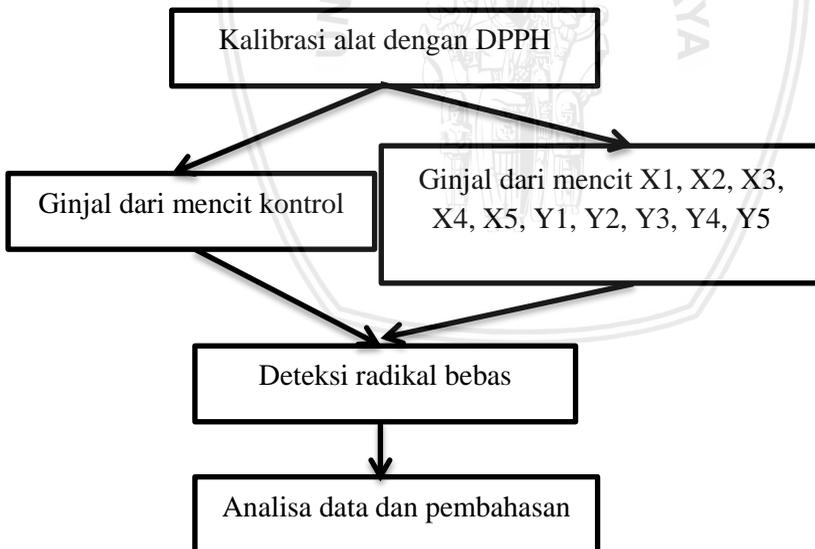
Penelitian ini dilakukan uji radikal bebas menggunakan ESR untuk mengetahui radikal bebas yang terkandung dalam sampel ginjal mencit. Rangkaian alat ESR dapat dilihat pada Gambar 3.3. Kumparan solenoida akan memancarkan radio frekuensi yang energinya akan diserap oleh sampel yang mengandung radikal bebas, sedangkan koil Helmholtz akan memancarkan medan magnet. Sehingga kurva lissajous akan terbentuk ketika terjadi resonansi antara radio frekuensi yang terserap oleh radikal bebas dan medan magnet yang terpancar oleh koil Helmholtz. Setiap sampel yang akan dideteksi radikal bebasnya dimasukkan ke dalam kumparan solenoid atau kumparan HF yang berada diantara sepasang koil Helmholtz. Kemudian, diatur arus yang mengalir dan frekuensi yang sesuai sehingga terjadi resonansi antara dua gelombang yang akan terbentuk kurva lissajous. Setelah kurva lissajous terbentuk maka nilai frekuensi dan arus dicatat agar dapat diketahui nilai faktor- $g$  setiap sampel. Sebelum digunakan, alat ESR harus dikalibrasi terlebih dahulu agar dapat ditentukan keakuratan pengukuran dari alat tersebut. Diagram alir uji radikal bebas dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Keterangan gambar:

1. ESR unit
2. Pengendali ESR
3. Osiloskop
4. Multimeter
5. Solenoid Untuk Tempat Sampel
6. Kumparan Helmholtz

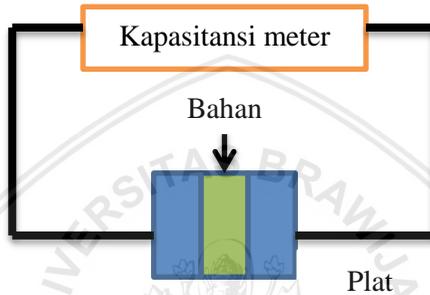
**Gambar 3. 3** Rangkaian Alat ESR Leybold-Heracus



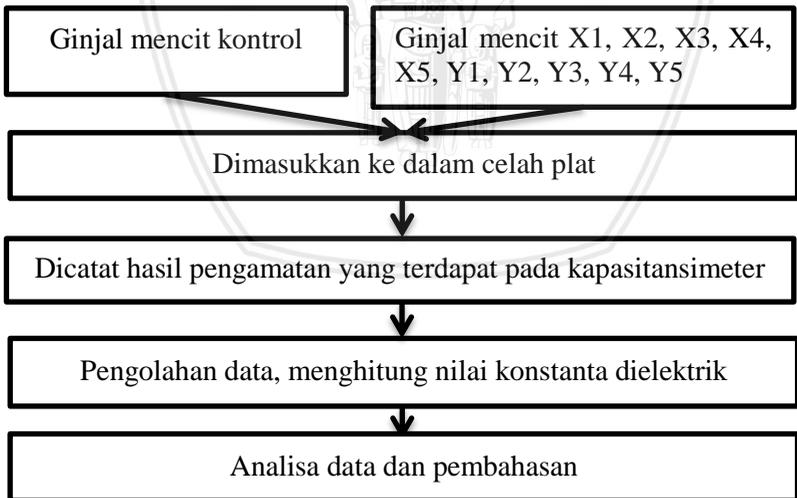
**Gambar 3. 4** Diagram Alir Uji Radikal Bebas

### 3.3.2 Uji Konstanta Dielektrik

Konstanta dielektrik dapat diketahui dengan cara mengukur kapasitansi organ ginjal dengan plat kapasitor sejajar menggunakan kapasitansimeter seperti pada Gambar 3.5. Sampel yang telah siap dimasukkan ke dalam plat tembaga. Plat kapasitor dihubungkan ke penjepit pada konektor kapasitansimeter. Dilakukan pengukuran kapasitansi sebanyak 3 kali pengulangan pada setiap sampel dan dalam 1 perlakuan terdapat 11 sampel. Diagram alir uji dielektrik dijelaskan oleh Gambar 3.6.



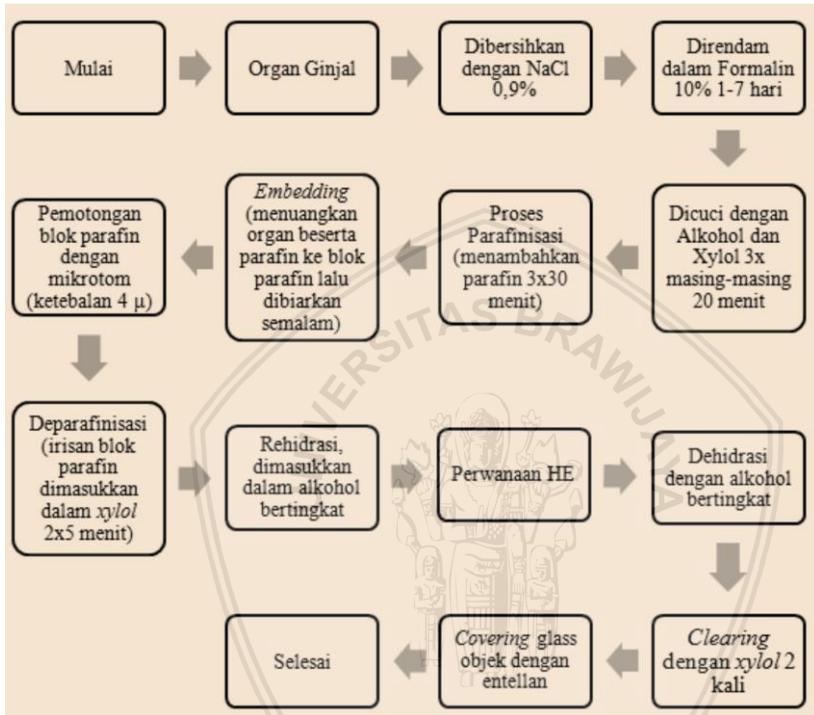
**Gambar 3. 5** Skema Sistem Pengukuran Dielektrik



**Gambar 3. 6** Diagram Alir Uji Dielektrik

### 3.3.3 Pembuatan Preparat Histologi Organ Ginjal

Pada perlakuan hewan uji coba (mencit) terdapat langkah preparasi. Preparasi adalah tahap pembuatan preparat histologi ginjal. Tahapan pembuatan preparat histologi ginjal dapat dilihat pada Gambar 3.7 (Hidayat, 2010).



Gambar 3. 7 Diagram Alir Pembuatan Preparat

## 3.4 Analisa Data

### 3.4.1 Uji Radikal Bebas

Penelitian ini diperoleh data berupa besar arus yang mengalir pada kumparan (I) dan frekuensi (f) pada masing-masing sampel. Arus dan frekuensi yang diperoleh digunakan untuk menghitung besar medan magnet sehingga dapat diperoleh besar nilai faktor-g

untuk diketahui jenis radikal bebas dengan cara membandingkan dengan literatur. Besar medan magnet dapat dihitung dengan persamaan 3.1.

$$B = \mu_0 \left(\frac{4}{5}\right)^2 \frac{n}{r} I \quad (3.1)$$

Dimana :

$$\mu_0 = 1,2566 \times 10^{-6} \text{ T m/A}$$

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

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

$I$  = arus yang mengalir pada kumparan Helmholtz (A)

$B$  = medan magnet eksternal

Setelah diketahui nilai medan magnetnya, kemudian dihitung besar nilai faktor- $g$  melalui persamaan 3.2 (Cristiya, 2013).

$$g = \frac{hf}{\mu_\beta B} \quad (3.2)$$

Dimana :

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

$\mu_\beta$  = magneton Bohr ( $\mu_\beta = 9,273 \times 10^{-24} \text{ J/T}$ )

$B$  = medan magnet eksternal (T)

$f$  = frekuensi resonansi

### 3.4.2 Uji Konstanta Dielektrik

Hasil pengukuran sifat dielektrik ginjal menci yang telah dilakukan perlakuan uji coba diperoleh data nilai kapasitansi. Hasil lima kali pengukuran kapasitansi dapat dihitung rata-rata dari kapasitansinya (C), luas penampang plat kapasitor tembaga (A), jarak antar plat (d) dan besar permitivitas udara yaitu  $\epsilon' = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$  dapat dilakukan perhitungan untuk mencari nilai konstanta dielektrik menggunakan persamaan 3.3 (Novia et al., 2000)

$$\epsilon' = \frac{C \cdot d}{\epsilon_0 \cdot A} \quad (3.3)$$

Dimana :

$\epsilon'$  = konstanta dielektrik

$C$  = kapasitansi rata-rata (F)

$A$  = luas penampang plat kapasitor (m)

$d$  = jarak antar plat (m)

$\epsilon_0$  = permitivitas udara =  $8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$

Analisa data yang dilakukan bertujuan untuk membandingkan sifat dielektrik organ mencit sehat dengan organ mencit yang terpapar berdasarkan nilai konstanta dielektrik.

### 3.4.3 Pengamatan Gambaran Mikroskopis Organ Ginjal

Pengamatan mikroskopis kerusakan organ ginjal dari mencit dengan menghitung persentase kerusakan pada glomerulus dan tubulus ginjal. Kerusakan glomerulus dapat diketahui dengan mengukur pelebaran kapsul bowman yang dihitung dari 8 arah mata angin kemudian dirata-rata dari 5 lapang pandang. Kriteria kondisi glomerulus dijelaskan oleh Tabel 3.1.

**Tabel 3. 1** Kriteria Kondisi Glomerulus (Khoiroh, 2017).

Jarak Glomerulus (µm)	% Kerusakan
≤ 6	0%
6 s.d 12	20%
12 s.d 18	40%
18 s.d 24	60%
24 s.d 30	80%
> 30	100%

Masing-masing preparat organ ginjal dari mencit diambil 5 lapang pandang dan dihitung rata-ratanya. Sedangkan kerusakan pada tubulus dapat dihitung dengan persamaan 3.4 :

$$\% \text{ Kerusakan tubulus} = \frac{\Sigma \text{ tubulus yang menyempit}}{\Sigma \text{ tubulus yang teramati}} \times 100\% \quad (3.4)$$

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Penelitian

#### 4.1.1 Konsentrasi Obat Nyamuk *One Push Aerosol* dalam *Chamber*

Konsentrasi obat nyamuk *one push aerosol* tipe-X dan tipe-Y yang disemprotkan pada hewan coba (mencit) dapat dinyatakan dalam *part per million* (ppm). Ppm adalah satuan konsentrasi yang menyatakan perbandingan bagian dalam satu juta bagian yang lain. Dalam hal ini, konsentrasi obat nyamuk *one push aerosol* dapat diketahui dengan cara membandingkan banyaknya obat nyamuk dalam satu juta udara pada *chamber* bervolume yang digunakan untuk penelitian. Sebelum dilakukan perhitungan konsentrasi obat nyamuk dalam ppm, diukur terlebih dahulu panjang, lebar dan tinggi dari *chamber* sebanyak 5 kali agar diketahui ketelitian pengukuran volume *chamber* yang digunakan dalam penelitian ini. Setelah rata-rata volume *chamber* diketahui, maka massa udara juga dapat dihitung berdasarkan massa jenis udara yang nilainya telah diketahui yaitu sebesar  $1,293 \times 10^{-3}$  gr/cm<sup>3</sup> dikalikan dengan rata-rata volume *chamber*. Kemudian, dengan diketahuinya selisih massa obat nyamuk sebelum dan sesudah penyemprotan yaitu banyaknya massa obat nyamuk yang dipaparkan terhadap mencit maka dapat dihitung konsentrasinya dalam ppm yang dapat dilihat pada persamaan 4.1, sehingga dapat diketahui konsentrasi banyaknya obat nyamuk yang dipaparkan pada setiap semprotan obat nyamuk *one push aerosol* tipe-X dan tipe-Y yang dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

$$\text{Konsentrasi (ppm)} = \frac{\text{massa obat nyamuk}}{\text{massa obat nyamuk} + \text{massa udara}} \times 1000000 \quad (4.1)$$

**Tabel 4. 1** Konsentrasi Obat Nyamuk *One push aerosol* Type-X

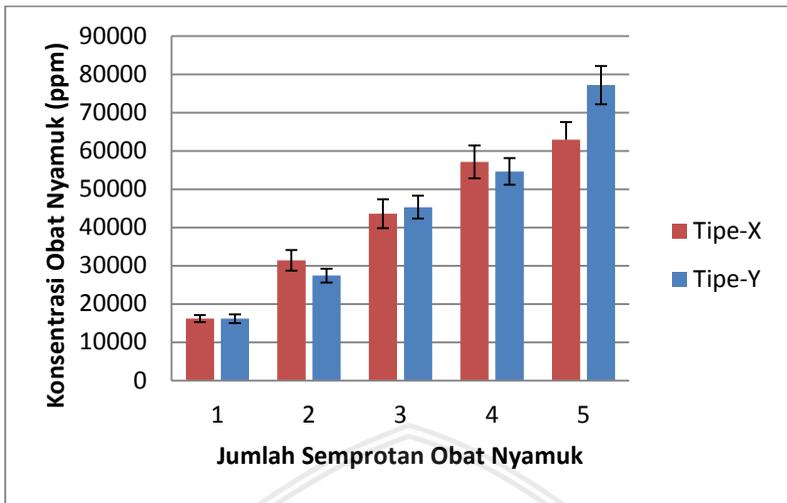
Jumlah Semprotan	Konsentrasi (ppm)
1	16173,69
2	31392,06
3	43575,76
4	57130
5	62939,92

**Tabel 4. 2** Konsentrasi Obat Nyamuk *One push aerosol* Type-Y

Jumlah Semprotan	Konsentrasi (ppm)
1	16173,69
2	27409,67
3	45291,32
4	54617,92
5	77156,21

Setelah mengetahui konsentrasi obat nyamuk pada jumlah semprotan tertentu maka dapat dilihat perbandingan konsentrasi obat nyamuk tipe-X dan tipe Y yang ditunjukkan oleh Gambar 4.1. Berdasarkan Gambar 4.1, menunjukkan bahwa jumlah semprotan obat nyamuk sebanding dengan konsentrasi banyaknya obat nyamuk pada setiap perlakuan. Semakin banyak jumlah semprotan yang diberikan maka semakin besar konsentrasi obat nyamuk yang diterima hewan uji (mencit). Besar konsentrasi obat nyamuk tipe-X dan tipe-Y dalam *chamber* bersifat fluktuatif tetapi hampir sama nilainya.

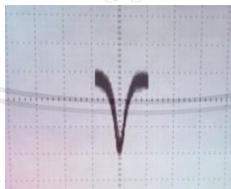
Konsentrasi obat nyamuk merupakan perbandingan massa obat nyamuk dengan massa total (massa obat nyamuk ditambah massa udara) dalam *chamber*. *Chamber* yang digunakan sebagai ruangan uji dalam penelitian ini memiliki rata-rata volume 27,4 cm x 20,44 cm x 9,8 cm. Semakin banyak jumlah semprotan yang diberikan dalam *chamber* maka semakin besar konsentrasi obat nyamuk. Obat nyamuk tipe-X memiliki zat aktif *transfluthrin* 25% dan tipe-Y memiliki zat aktif *transfluthrin* 21,3%. Konsentrasi banyaknya obat nyamuk tipe-X dan tipe-Y yang dipaparkan berbeda pada setiap jumlah semprotan yang sama. Perbedaan konsentrasi obat nyamuk tersebut dapat disebabkan oleh bentuk dan ukuran tabung serta tekanan gas pada tabung.



**Gambar 4. 1** Grafik Perbandingan Konsentrasi Obat Nyamuk *One Push Aerosol* Tipe-X dan Tipe-Y

#### 4.1.2 Kalibrasi Perangkat ESR

Alat ESR (*Electron Spin Resonance*) tipe Leybod Heracus digunakan dalam penelitian ini untuk mendeteksi radikal bebas yang ada pada sampel. Sebelum digunakan, ESR harus dikalibrasi terlebih dahulu menggunakan DPPH (difenil pikrilhidrazil) agar mengetahui keakuratan alat tersebut. Kurva resonansi DPPH pada osiloskop ditunjukkan oleh Gambar 4.2.



**Gambar 4. 2** Kurva Resonansi Kalibrasi dengan DPPH

Hasil pengukuran kalibrasi DPPH dapat dilihat pada Tabel 4.3. Nilai faktor-*g* dari DPPH berdasarkan literatur sebesar 2,0036. Sedangkan nilai faktor-*g* dari DPPH hasil kalibrasi sebesar 2,0129. Nilai faktor-*g* dari DPPH literatur dibandingkan dengan nilai

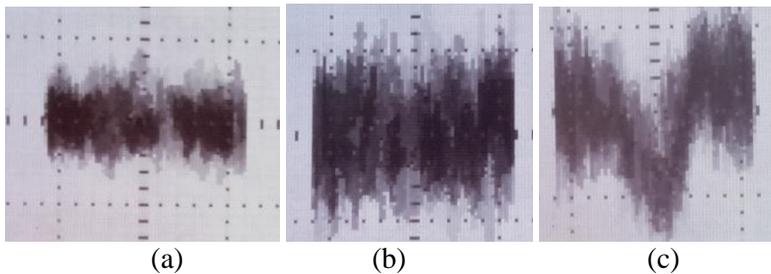
faktor-g dari DPPH eksperimen, maka dapat diperoleh nilai faktor kalibrasi sebesar 0,9953. Nilai faktor kalibrasi yang mendekati nilai 1 menunjukkan bahwa alat ESR tersebut dapat digunakan untuk mendeteksi radikal bebas. Nilai faktor-g radikal bebas yang terdeteksi pada sampel diperoleh dari perkalian nilai faktor kalibrasi dengan nilai faktor-g eksperimen.

**Tabel 4. 3** Hasil Pengukuran Kalibrasi DPPH

f (MHz)	I (A)	Faktor-g Literatur	Faktor-g Eksperimen	Faktor Kalibrasi
23,5	0,197	2,0036	2,0129	0,9953

#### 4.1.3 Jenis Radikal Bebas pada Organ Ginjal dari Mencit yang Terpapar Obat Nyamuk *One Push Aerosol*

Sampel dalam penelitian ini adalah organ ginjal dari mencit, dimana ada 11 kelompok perlakuan. Proses perlakuan hewan uji setelah 7 hari aklimatisasi dan 30 hari perlakuan dilakukan pengambilan sampel organ ginjal melalui pembedahan hewan uji (mencit). Kelompok kontrol yaitu hewan mencit tanpa perlakuan (tidak diberi semprotan obat nyamuk). Sedangkan, kelompok perlakuan yaitu hewan mencit dipapar obat nyamuk *one push aerosol* tipe-X dan tipe-Y. Kemudian, dilakukan deteksi adanya radikal bebas menggunakan ESR pada tabung (tidak diberi sampel), didapati kurva berbentuk datar yaitu tidak terjadi resonansi yang menunjukkan pada tabung tidak ada radikal bebas, dapat dilihat pada Gambar 4.3 (a). Sedangkan, kelompok kontrol untuk semua frekuensi di setiap koil diperoleh hasil berupa kurva datar (tidak terjadi resonansi) yang menunjukkan bahwa tidak ada radikal bebas terdeteksi pada sampel ditunjukkan pada Gambar 4.3 (b). Adapun kondisi kurva pada saat sampel dengan perlakuan (mencit yang diberi paparan obat nyamuk *one push aerosol*) di uji menggunakan ESR didapati kurva lissajous yang berbentuk cekung yang menunjukkan terjadinya resonansi berarti terdapat radikal bebas. Kurva yang terbentuk pada kelompok sampel dengan perlakuan dapat dilihat pada Gambar 4.3 (c).



**Gambar 4. 3** Kurva Lissajous untuk (a) Tabung Penelitian (Belum Diberi Sampel) (b) Kelompok Kontrol dan (c) Kelompok yang Diberi Perlakuan

Selanjutnya dilakukan deteksi adanya radikal bebas menggunakan ESR pada kelompok dengan perlakuan (diberi semprotan obat nyamuk tipe-X dan tipe-Y sebanyak 1, 2, 3, 4 dan 5 semprotan). Setelah dideteksi menggunakan ESR, terbentuk kurva lissajous berbentuk cekung yang artinya ada radikal bebas yang dapat dilihat pada lampiran. Radikal bebas yang terdeteksi ada dua jenis yang ditunjukkan pada Tabel 4.4. Data hasil perhitungan radikal bebas dapat dilihat pada lampiran.

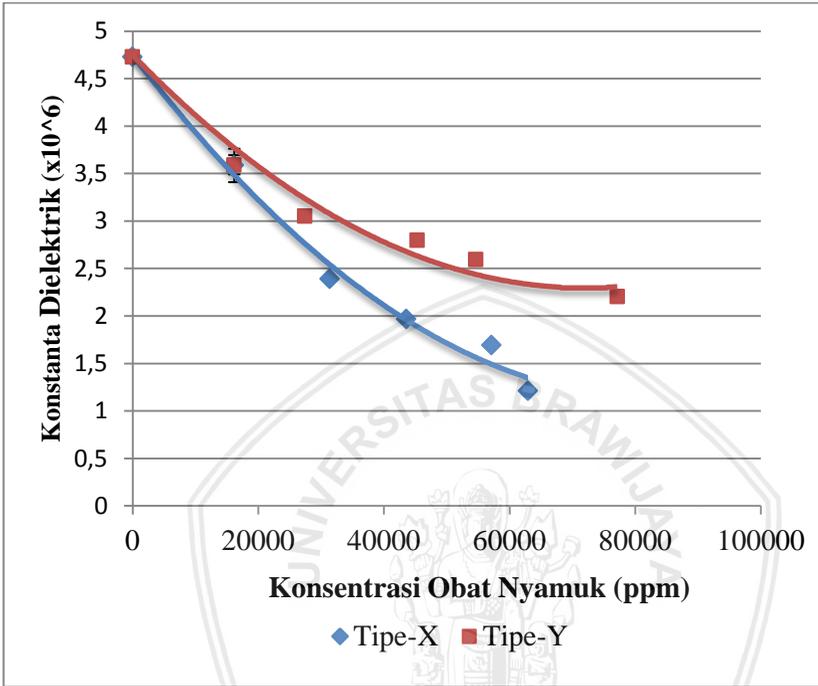
**Tabel 4. 4** Hasil Pengukuran Kelompok yang Diberi Perlakuan

Frekuensi (MHz)	Arus (A)	Faktor-g	Faktor-g Literatur	Jenis Radikal Bebas
17,2	0,197	1,4664	1,501	$^1\text{O}_2$
18,3	0,198	1,5602	1,501-1,75	$\text{O}_2^-$

#### 4.1.4 Konstanta Dielektrik Organ Ginjal dari Mencit

Pengukuran konstanta dielektrik pada organ ginjal untuk mengetahui pengaruh konsentrasi obat nyamuk pada organ ginjal dari hewan uji (mencit). Hasil pengukuran yang telah dilakukan diperoleh nilai kapasitansi untuk menghitung konstanta dielektrik dengan nilai jarak antar plat sebesar 0,2 cm, luas penampang sebesar  $0,1256 \text{ cm}^2$  dan nilai permitivitas udara sebesar  $8,85 \times 10^{-12}$

F/m. Korelasi banyaknya konsentrasi obat nyamuk tipe-X dan tipe-Y pada nilai konstanta dielektrik organ ginjal dari mencit yang terpapar obat nyamuk dapat dilihat pada Gambar 4.4.



**Gambar 4. 4** Grafik Hubungan Konsentrasi Obat Nyamuk Tipe-X dan Tipe-Y Terhadap Nilai Konstanta Dielektrik Organ Ginjal

Keterangan:

$$y(X)=5.10^{-10}x^2-9.10^{-5}x + 4,7515$$

$$R^2 = 0,9893$$

$$y(Y)=5.10^{-10}x^2-7.10^{-5}x + 4,7515$$

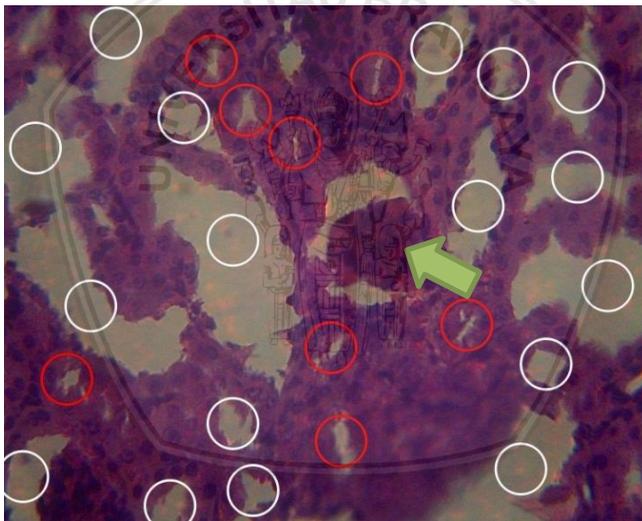
$$R^2 = 0,9678$$

#### 4.1.5 Gambaran Mikroskopis Organ Ginjal dari Mencit

Pengamatan mikroskopis organ ginjal menggunakan mikroskop komputer binokuler olympus Cx 31 dengan pembesaran 400x. Secara gambaran mikroskopis terdapat dua jenis kerusakan yang khas pada organ ginjal yaitu terjadinya pelebaran kapsula

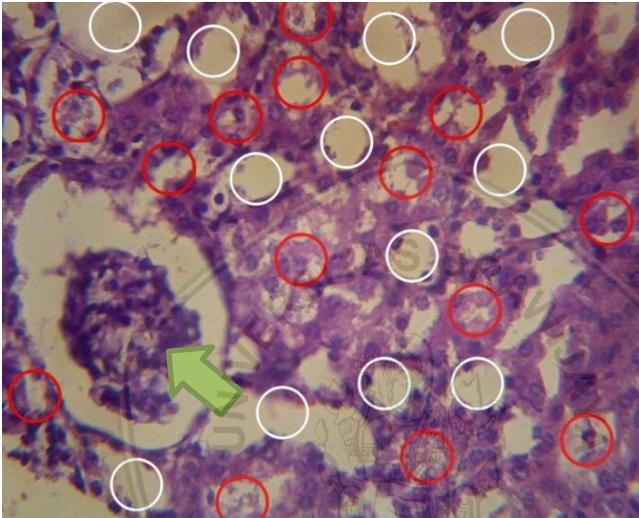
repository.ub.ac.id

bowman sehingga glomerulus mengalami kerusakan dan penyempitan lumen tubulus pada kerusakan tubulus. Prosentase kerusakan dihitung dari rata-rata 5 lapang pandang pengamatan yang berbeda setiap mencitnya. Kerusakan glomerulus dapat diketahui dengan cara menghitung lebar kapsula bowman sebanyak 8 arah mata angin kemudian dihitung rata-ratanya. Sedangkan, kerusakan tubulus dapat diketahui dengan cara menghitung banyaknya sel tubulus yang mengalami penyempitan terhadap total sel tubulus pada lapang pandang. Data hasil perhitungan mengenai gambaran mikroskopis organ ginjal dari mencit terdapat pada lampiran. Pengamatan ini dilakukan dengan cara mengamati perbedaan histologi glomerulus dan tubulus pada mencit kontrol dan mencit pelakuan. Hasil pengamatan organ ginjal dari mencit kelompok kontrol (tidak diberi semprotan obat nyamuk) ditunjukkan oleh Gambar 4.5.



**Gambar 4. 5** Gambar Mikroskopis Organ Ginjal dari Mencit Kelompok Kontrol dengan Perbesaran 400x. Keterangan a. Panah Hijau menunjukkan Glomerulus, b. Lingkaran Merah menunjukkan Penyempitan Tubulus, c. Lingkaran Putih menunjukkan Tubulus Normal

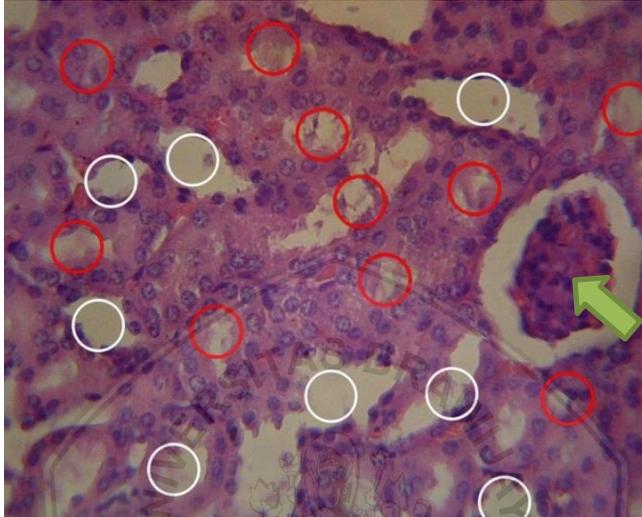
Gambar 4.5 menunjukkan bahwa terjadi sedikit penyempitan lumen tubulus dengan kerusakan rata-rata 3,2% sehingga keadaannya dapat dikatakan normal. Sedangkan, keadaan glomerulus ditandai oleh panah warna hijau dengan rata-rata kerusakan glomerulus 38,3%. Sedangkan, hasil pengamatan secara mikroskopis organ ginjal dari mencit yang diberi semprotan obat nyamuk tipe-X sebanyak 5 semprot ditunjukkan oleh Gambar 4.6.



**Gambar 4. 6** Gambar Mikroskopis Organ Ginjal dari Mencit Kelompok Semprotan Tipe-X dengan Perbesaran 400x. Keterangan a. Panah Hijau menunjukkan Glomerulus, b. Lingkaran Merah menunjukkan Penyempitan Tubulus, c. Lingkaran Putih menunjukkan Tubulus Normal

Gambar 4.6 tersebut menunjukkan terjadinya perubahan pada gambaran histologi organ ginjal. Banyak sel tubulus yang mengalami penyempitan lumen dibandingkan dengan kelompok kontrol dengan rata-rata kerusakan sebesar 65,77%. Sedangkan, glomerulus mengalami kerusakan sebesar 24% yang ditandai dengan besarnya pelebaran kapsula bowman. Hasil pengamatan secara mikroskopis organ ginjal dari mencit yang diberi semprotan obat nyamuk tipe-Y sebanyak 5 semprot ditunjukkan oleh Gambar

4.7. Gambar tersebut menunjukkan banyaknya sel tubulus yang mengalami penyempitan lumen dengan kerusakan sebesar 58,46% dan pelebaran kapsula bowman sehingga glomerulus mengalami kerusakan rata-rata 15,2%.



**Gambar 4. 7** Gambar Mikroskopis Organ Ginjal dari Mencit Kelompok Semprotan Tipe-Y dengan Perbesaran 400x.

Keterangan a. Panah Hijau menunjukkan Glomerulus, b. Lingkaran Merah menunjukkan Penyempitan Tubulus, c. Lingkaran Putih menunjukkan Tubulus Normal

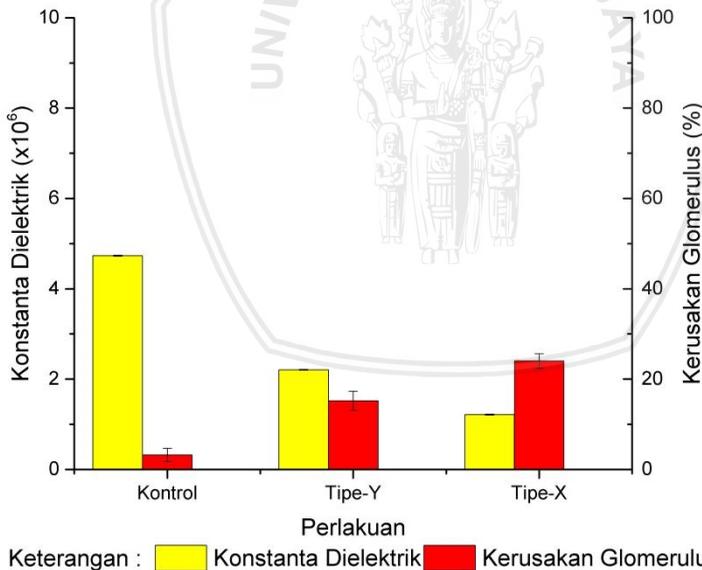
#### **4.1.6 Pengaruh Obat Nyamuk terhadap Konstanta Dielektrik, Pelebaran Glomerulus dan Penyempitan Tubulus**

Organ ginjal dari mencit kontrol (tidak diberi semprotan obat nyamuk) dan mencit perlakuan (diberi 5 semprotan obat nyamuk atau konsentrasinya yang paling banyak) dilakukan dua uji berbeda. Kedua uji yang berbeda ini, yaitu uji dielektrik dan pengamatan secara mikroskopis pada organ ginjal. Dari kedua uji tersebut, dapat diamati pengaruh obat nyamuk tipe-X dan tipe-Y dengan kandungan zat aktif *transfluthrin* masing-masing sebesar 25% dan 21,3% yang ditunjukkan oleh Tabel 4.5.

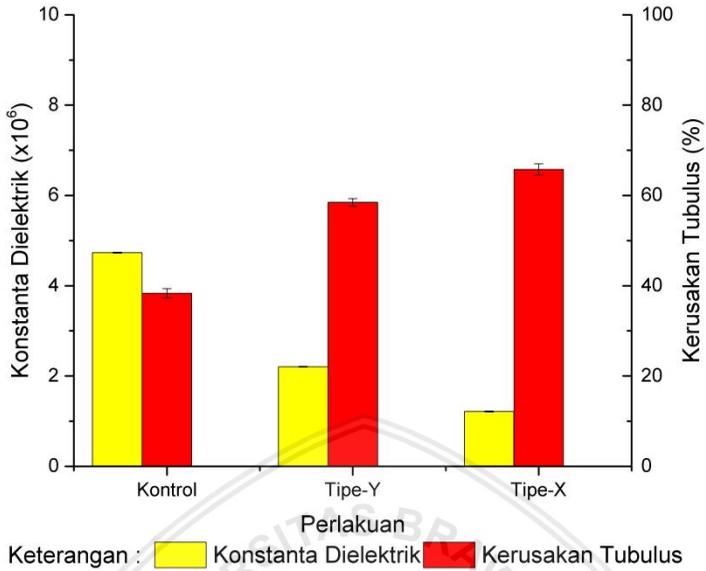
**Tabel 4. 5** Hasil pengukuran Konstanta Dielektrik, Pelebaran Glomerulus dan Penyempitan Tubulus

Perlakuan	Konstanta Dielektrik ( $\times 10^6$ )	Pelebaran Glomerulus (%)	Penyempitan tubulus (%)
Kontrol	4,7	3,2	38,3
Tipe-Y	2,2	15,2	58,5
Tipe-X	1,2	24	65,8

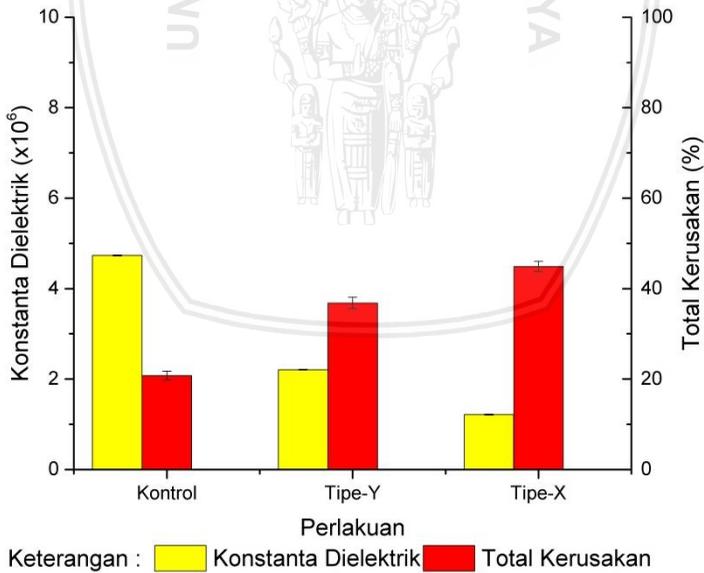
Berdasarkan tabel 4.5, dapat dibuat grafik perbandingan antara kerusakan glomerulus dan kerusakan tubulus dengan nilai konstanta dielektrik. Perbandingan kerusakan glomerulus dengan nilai konstanta dielektrik organ ginjal ditunjukkan oleh Gambar 4.8. Sedangkan, perbandingan kerusakan tubulus dengan konstanta dielektrik organ ginjal ditunjukkan oleh Gambar 4.9. Dari kedua jenis kerusakan yang ada pada organ ginjal maka dapat dihitung kerusakan totalnya yaitu kerusakan glomerulus dan kerusakan tubulus terhadap nilai dielektrik organ ginjal yang ditunjukkan oleh Gambar 4.10.



**Gambar 4. 8** Grafik Perbandingan Kerusakan Glomerulus dengan Nilai Konstanta Dielektrik



**Gambar 4. 9** Grafik Perbandingan Kerusakan Tubulus Dengan Nilai Konstanta Dielektrik

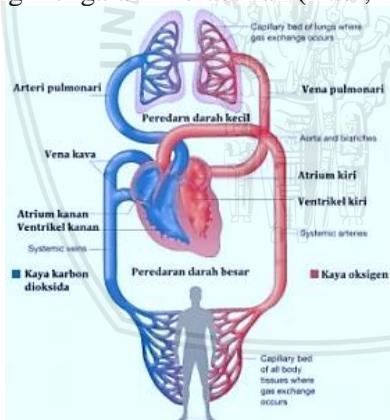


**Gambar 4. 10** Grafik Perbandingan Total Kerusakan dengan Nilai Konstanta Dielektrik

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Mekanisme Rusaknya Jaringan Ginjal oleh *Transfluthrin*

*Transfluthrin* termasuk kedalam jenis insektisida *piteroid*. *Pyrethroid* pada serangga merupakan racun saraf yang cara kerjanya yaitu menghalangi sodium channels pada serabut saraf sehingga mencegah terjadinya transmisi impuls saraf. Insektisida jenis ini sering dikombinasikan dengan *piperonyl butoxide* yang merupakan penghambat enzim mikrosomal oksidase pada serangga, sehingga kombinasi tersebut mengakibatkan kematian serangga (Raini, 2009). Tubuh yang terinfeksi racun golongan *phyrethroid* akan mempengaruhi protein membran sel saraf. Keadaan normal menunjukkan bahwa membran protein akan membuka untuk menghentikan sinyal saraf. Apabila *phyrethroid* berikatan dengan protein maka akan terjadi peristiwa *voltaged-gated sodium channel*. *Pyrethroid* akan mencegah channel untuk menutup secara normal sehingga rangsangan akan terus terjadi secara berkelanjutan. Peristiwa ini akan menyebabkan tremor dan gerakan inkoordinasi pada serangga yang mengalami keracunan (Hadi, 2006).

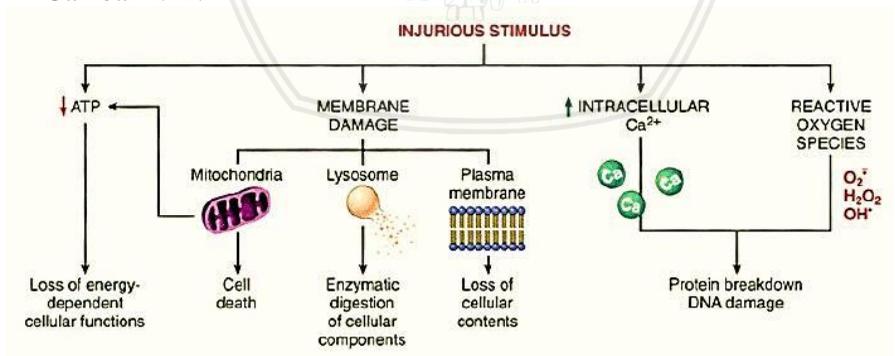


**Gambar 4. 11** Sistem Peredaran Darah pada Manusia (Sumber: [www.dosenpendidikan.com](http://www.dosenpendidikan.com))

*Transfluthrin* masuk ke dalam ginjal manusia melalui sistem peredaran darah. Sistem peredaran darah pada manusia dapat dilihat pada Gambar 4.11. Darah mengandung hemoglobin yang berfungsi untuk mengikat oksigen. Peristiwa terdapat kandungan *transfluthrin*

dalam darah yaitu ketika darah melewati paru-paru. Organ paru-paru merupakan organ pernafasan sebagai tempat pertukaran gas oksigen dan karbondioksida. Apabila dalam paru-paru lebih banyak terdapat zat kimia lain seperti *transfluthrin* maka hemoglobin dalam darah akan cenderung mengikat *transfluthrin* dibandingkan dengan oksigen yang kemudian darah tersebut akan beredar ke seluruh tubuh. Dalam proses sistem peredaran darah tersebut, darah juga akan melewati ginjal untuk melakukan ekskresi yang hasilnya berupa urin.

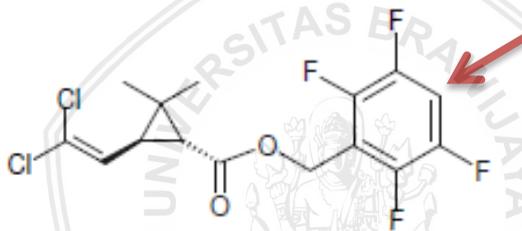
Efek toksik dari bahan kimia aktif dapat menyebabkan mutasi gen, kanker bahkan kematian pada sel. Sel diselubungi oleh suatu membran yang strukturnya terdiri dari lipid dan protein serta komponen lainnya. Sel dapat kehilangan fungsinya, apabila komponen-komponen penting dari sel (seperti protein, DNA dan lipid pada membran) berinteraksi dengan bahan aktif kimia yang bersifat toksik, sekalipun dalam konsentrasi rendah (Endrinaldi, 2010). Fungsi sel dapat mengalami penurunan ketika ATP menurun karena sel membutuhkan energi. Selain itu, penurunan ATP dapat menyebabkan kerusakan bahkan kematian mitokondria. Kerusakan membran sel menyebabkan ion-ion bebas keluar masuk, apabila ion kalsium terlalu banyak di dalam sel maka akan mengganggu homeostatis sel yang akan menyebabkan gangguan pada sel yaitu terjadinya kerusakan mitokondria dan juga pembengkakan pada lisosom hingga pecah yang dapat berakibat pada kematian sel. Kematian sel juga disebabkan oleh adanya ROS. Akibat yang ditimbulkan oleh stimulus berbahaya pada sel dapat dilihat pada Gambar 4.12.



**Gambar 4. 12** Tempat Kerusakan Selular dan Biokimia pada Sel yang Cidera (Mc Gavin and Zachary, 2007)

#### 4.2.2 Radikal Bebas yang Teridentifikasi dalam Organ Ginjal

*Transfluthrin* memiliki satu elektron bebas yang menyebabkan *transfluthrin* bersifat reaktif dapat dilihat pada Gambar 4.13. Radikal bebas yang teridentifikasi dalam organ ginjal dari mencit yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol* tipe-X dan tipe-Y adalah radikal oksigen singlet ( $^1\text{O}_2$ ) dan radikal superoksida ( $\text{O}_2^-$ ). Radikal superoksida merupakan salah satu contoh radikal bebas dari *Reactive Oxygen Spesies* (ROS). Sedangkan oksigen singlet merupakan salah satu non radikal yang dapat merangsang oksidasi atau terbentuknya atom, molekul, atau senyawa yang bersifat radikal. Peningkatan radikal bebas dalam organ ginjal diduga akibat paparan senyawa aktif berupa *transfluthrin* yang terkandung dalam obat nyamuk *one push aerosol* tipe-X dan tipe-Y masing-masing sebesar 25% dan 21,3%.

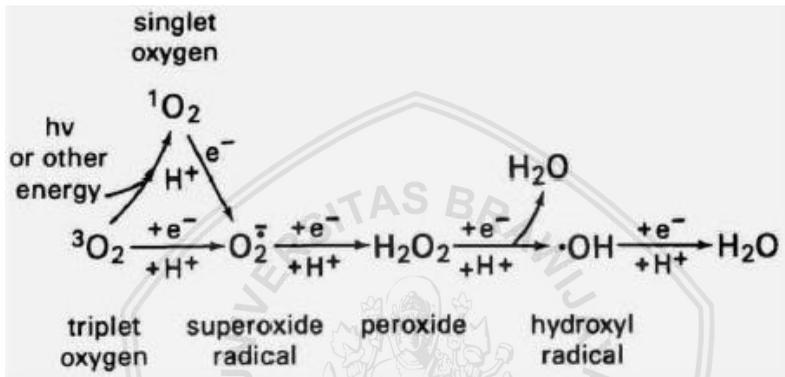


**Gambar 4. 13** Struktur *Transluthrin* (Almahdy dkk, 2014)

Radikal bebas atau oksidan adalah atom atau molekul yang memiliki satu atau lebih elektron tidak berpasangan yang menyebabkan tidak stabil dan bersifat reaktif sehingga cenderung mengikat elektron dari atom atau molekul lain. Secara alami di dalam tubuh terdapat oksidan akibat proses metabolisme yang diredam oleh antioksidan alami yang terdapat juga dalam tubuh manusia. Akan tetapi, oksidan akan tetap dalam tubuh manusia apabila lebih banyak oksidan dibandingkan antioksidannya. Banyaknya radikal bebas tersebut dapat disebabkan karena terakumulasinya bahan kimia dalam tubuh manusia.

Ketidakseimbangan antara jumlah oksidan dengan antioksidan menyebabkan tubuh mengalami stres oksidatif. yang dipicu oleh dua keadaan, yaitu kurangnya antioksidan atau kelebihan

oksidan. Stres oksidatif dapat menyebabkan kerusakan sel sampai kerusakan organ yang mengakibatkan percepatan penuaan dan munculnya berbagai penyakit, termasuk kanker. Radikal bebas oksigen atau *Reactive Oxygen Species* (ROS) terbentuk dari hasil sampingan proses metabolisme seluler aerobik dan produksinya diamplifikasi oleh beberapa kondisi stres. Banyaknya ROS dapat menyebabkan kerusakan sel bahkan kematian sel. Kerusakan tersebut disebabkan karena sifat reaktivitas radikal bebas (Susantiningih, 2015).



**Gambar 4. 14** Sistem Oksigen Aktif

Radikal bebas tidak hanya terbentuk dari produk samping metabolisme tetapi juga dapat berasal dari luar tubuh yang terserap melalui sistem pernafasan, kulit ataupun sistem pencernaan. Radikal bebas dapat menyerang tubuh dan menyebabkan timbulnya penyakit-penyakit pada otak, ginjal, paru-paru, sistem pencernaan, imun, jantung, dan rematik. Sistem oksigen aktif dapat dilihat pada Gambar 4.14 yang menunjukkan bahwa terjadi reaksi pemindahan elektron karena adanya kebocoran elektron yang terjadi dari rantai transport elektron menyebabkan penambahan elektron pada oksigen sehingga terbentuk superoksida ( $\text{O}_2^-$ ) yang bersifat radikal bebas karena memiliki satu elektron yang tidak berpasangan. Kemudian, apabila ada energi dari luar datang maka dapat menyebabkan terlepasnya elektron dari oksigen dan terbentuk oksigen singlet ( $^1\text{O}_2$ ) dimana oksigen kehilangan satu elektronnya sehingga menyebabkan adanya elektron tidak berpasangan (radikal bebas).

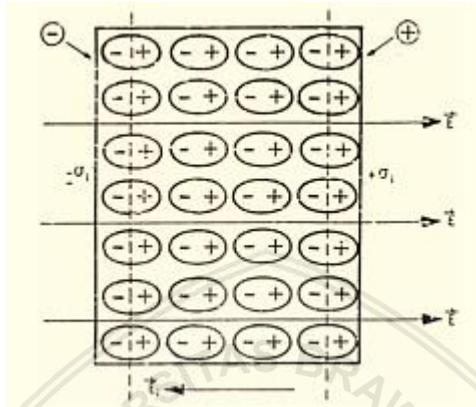
### 4.2.3 Perubahan Sifat Polarisasi Organ Ginjal Berdasarkan Nilai Konstanta Dielektrik

Kerusakan organ ginjal dari mencit yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol* mempengaruhi nilai konstanta dielektrik organ ginjal tersebut. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh informasi bahwa semakin banyak paparan obat nyamuk maka semakin kecil nilai konstanta dielektriknya. Konstanta dielektrik ini menunjukkan perbandingan energi listrik yang tersimpan pada bahan dielektrik, relatif terhadap ruang hampa jika diberi sebuah potensial. Sifat dielektrik menggambarkan kemampuan suatu bahan untuk menyimpan muatan listrik pada beda potensial yang tinggi (Sutrisno dan Gie, 1979). Konstanta dielektrik menunjukkan tingkat kemampuan pengutuban molekul pada bahan. Konstanta dielektrik juga melambangkan rapatnya fluks elektrostatik dalam sebuah bahan bila diberi sebuah potensial listrik. Nilai konstanta dielektrik yang semakin kecil disebabkan oleh energi listrik yang tersimpan pada bahan semakin kecil (Arum, 2000).

Bahan dielektrik tidak mempunyai muatan bebas (elektron bebas) tetapi tersusun dari molekul-molekul yang setiap molekulnya terdiri dari partikel bermuatan positif dan partikel bermuatan negatif. Apabila diletakkan dalam medan listrik, muatan-muatan negatif tidak terlepas dari ikatannya melainkan hanya mengalami pergeseran dari kedudukan setimbangnya, demikian juga muatan positifnya. Ketika bahan dielektrik diletakkan dalam medan listrik maka muatan positifnya akan bergeser ke arah medan listrik sedangkan muatan negatifnya bergeser berlawanan arah dengan medan listrik dapat dilihat pada Gambar 4.15. Dielektrik yang mengalami pergeseran muatan tersebut dikatakan terpolarisasi (Syafriani, 1999).

Suatu bahan dapat bersifat polar dan juga non-polar. Molekul dielektrik bersifat polar ketika dalam keadaan tanpa medan listrik, antara elektron dan inti telah membentuk dipol. Sedangkan, molekul dielektrik non-polar tidak tampak sebagai muatan yang terpisah ketika tidak ada medan listrik yang terjadi antara elektron dan inti. Suatu bahan dielektrik polar maupun non-polar yang diletakkan dalam medan magnet akan mengalami polarisasi. Terdapat muatan-muatan negatif disatu bagian dan muatan positif dibagian lainnya pada permukaan dielektrik apabila terjadi polarisasi.

Muatan-muatan ini bukan muatan bebas akan tetapi muatan-muatan ini masing-masing akan terikat pada molekul yang letaknya berada didekat permukaan dan selebihnya dielektrik bermuatan total nol (Hidayatullah, 1979).



**Gambar 4. 15** Timbulnya Dipol Induksi dalam Bahan Dielektrik (Syafriani, 1999)

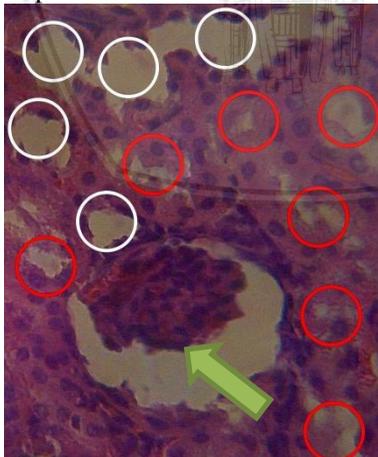
(Kudra dkk dalam Hadyathma, 2010) menerangkan senyawa polar dan non-polar mempengaruhi kapasitansi dan konstanta dielektrik. Senyawa polar berbanding lurus, sedangkan senyawa non-polar berbanding terbalik terhadap nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik. Bahan dengan komposisi kimia senyawa polar semakin tinggi maka nilai kapasitansi akan semakin meningkat. Sehingga, nilai konstanta dielektrik dapat menggambarkan sifat polar atau non-polar suatu bahan. Semakin besar nilai konstanta dielektrik suatu bahan dielektrik maka semakin polar bahan tersebut. Dan sebaliknya, apabila semakin kecil nilai konstanta dielektrik suatu bahan maka semakin non-polar bahan tersebut.

Konstanta dielektrik organ ginjal dari mencit yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol* nilainya semakin kecil seiring dengan besarnya konsentrasi obat nyamuk dalam *chamber* menunjukkan bahwa organ ginjal tersebut semakin bersifat non-polar. Bahan bersifat non-polar diakibatkan dari rendahnya kemampuan polarisasi yang dipengaruhi oleh momen dipol dan banyaknya atom atau molekul dalam bahan. Organ ginjal dari mencit yang terpapar obat

nyamuk *one push aerosol* mengalami kerusakan sel atau bahkan kematian sel sehingga semakin sedikit sel yang hidup menyebabkan organ ginjal mengalami penurunan kemampuan polarisasi. Sehingga, nilai konstanta dielektriknya semakin kecil seiring kecilnya kemampuan polarisasi dari organ ginjal. Penurunan kemampuan polarisasi ginjal menyebabkan proses filtrasi darah pada ginjal tidak berjalan dengan baik karena ion-ion yang pada dasarnya memiliki muatan akan bebas keluar masuk organ ginjal. Apabila hal tersebut diteruskan maka ginjal akan mengalami gagal fungsi.

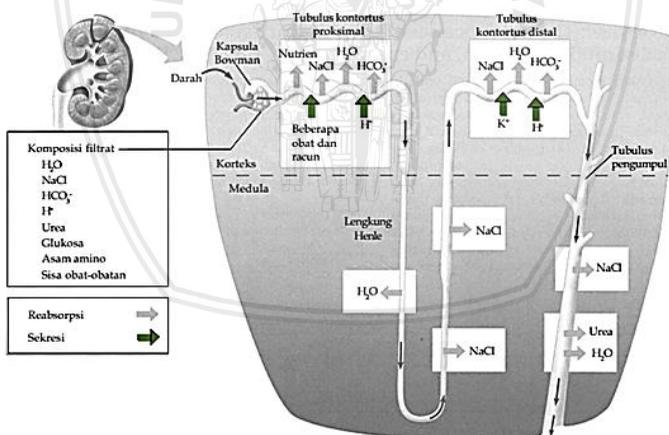
#### 4.2.4 Korelasi Kerusakan Organ Ginjal yang Diamati Secara Mikroskopis dengan Konstanta Dielektrik

Gambaran mikroskopis organ ginjal dari mencit yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol* menunjukkan kerusakan yang khas pada organ ginjal. Gambaran histologi organ ginjal dapat dilihat pada Gambar 4.16, dimana terdapat dua jenis ketidaknormalan yang mengindikasikan adanya kerusakan pada organ ginjal, yaitu pelebaran kapsula bowman yang ditunjukkan oleh panah warna hijau dan penyempitan tubulus yang ditunjukkan oleh lingkaran warna merah, sedangkan lingkaran berwarna putih menunjukkan tubulus yang normal (tidak mengalami penyempitan). Dari penelitian ini, diperoleh perbandingan kerusakan organ ginjal kontrol, tipe-X dan tipe-Y.



**Gambar 4. 16** Gambaran Mikroskopis Organ Ginjal

Organ ginjal kontrol merupakan mencit yang tidak diberi perlakuan, sedangkan organ ginjal tipe-X dan tipe-Y merupakan organ ginjal dari mencit yang masing-masing diberi paparan obat nyamuk *one push aerosol* tipe-X dengan kandungan zat aktif *transfluthrin* sebesar 25% dan tipe-Y dengan kandungan zat aktif *transfluthrin* sebesar 21,3%. Pelebaran kapsula bowman pada organ ginjal tipe-X lebih besar dibandingkan organ ginjal tipe-Y. Sedangkan, pelebaran kapsula bowman organ ginjal tipe-X lebih besar dibandingkan dengan organ ginjal kontrol. Penyempitan tubulus juga berlaku hal yang sama. Sehingga, apabila kerusakannya ditotal maka dapat diketahui bahwa mencit yang terpapar obat nyamuk tipe-X mengalami kerusakan lebih banyak dibanding mencit yang terpapar obat nyamuk tipe-Y. Sedangkan, mencit kontrol mengalami sedikit kerusakan dibanding mencit tipe-X dan tipe-Y. Sehingga, dapat diketahui, bahwa semakin besar zat kimia (*transfluthrin*) yang terkandung dalam obat nyamuk maka semakin besar kerusakan yang terjadi pada organ ginjal tersebut. Hal tersebut juga selaras dengan semakin kecilnya nilai konstanta dielektrik organ ginjal dari mencit yang terpapar obar nyamuk *one push aerosol* yang memiliki kandungan *transfluthrin* lebih banyak yaitu pada tipe-X.



**Gambar 4. 17** Proses Pembentukan Urin (Campbell dkk, 2006)

Organ ginjal berfungsi menyaring darah serta membentuk urin yang mengandung zat sisa dan kelebihan cairan dalam tubuh. Pembentukan urin dapat dilihat pada Gambar 4.17. Kerusakan sel

akan berlanjut dengan berkurangnya fungsi suatu jaringan bahkan fungsi organ. Kerusakan glomerulus menyebabkan terganggunya proses filtrasi, dimana ginjal mengalami penurunan kemampuan untuk menyaring darah atau dikenal dengan gagal ginjal. Apabila kemampuan ginjal dalam menyaring darah berkurang, maka sel darah dan protein yang dibutuhkan oleh tubuh dapat keluar bersama urin. Selain keluar bersama urin, sel darah dan protein dapat tertimbun dalam tubulus karena dapat lolos pada proses filtrasi. Sedangkan, apabila tubulus yang mengalami kerusakan maka dapat menyebabkan terganggunya proses reabsorpsi dan sekresi. Proses reabsorpsi yang terganggu dapat menyebabkan zat-zat penting yang masih sangat dibutuhkan oleh tubuh tidak dapat diserap kembali oleh tubuh, tetapi zat-zat tersebut keluar bersama urin. Sedangkan, apabila proses sekresi yang mengalami gangguan, maka zat-zat yang tidak dibutuhkan oleh tubuh tidak dapat dikeluarkan bersama urin tetapi mengendap dalam tubuh, sehingga akan merusak organ ginjal itu sendiri (Hasnisa, 2015).



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Ginjal termasuk organ yang paling penting di dalam tubuh manusia. Ginjal dapat mengalami kerusakan, salah satunya disebabkan oleh paparan zat kimia berbahaya dari insektisida seperti *transfluthrin* yang memicu terjadinya radikal bebas dalam tubuh. Kerusakan ginjal dapat diketahui dari terjadinya pelebaran kapsula bowman dan penyempitan tubulus serta nilai konstanta dielektriknya. Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa terdapat radikal bebas pada organ ginjal dari mencit yang terpapar zat aktif *transfluthrin* dan peningkatan besarnya kerusakan glomerulus dan tubulus pada organ ginjal tersebut masing-masing mencapai 24% dan 66,77% menyebabkan nilai konstanta dielektriknya semakin kecil yaitu dari  $4,7 \times 10^6$  mengalami penurunan hingga  $1,2 \times 10^6$ . Konstanta dielektrik yang semakin kecil disebabkan oleh ketidakmampuan organ ginjal dalam melakukan polarisasi.

### 5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya, sebaiknya diperhatikan konsentrasi zat aktif *transfluthrin* yang disemprotkan pada setiap dosisnya. Obat nyamuk *one push aerosol* dapat diganti dengan obat nyamuk lain yang memiliki kandungan zat aktif *transfluthrin* yang berbeda.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR PUSTAKA

- Abdollahi, *et all.* 2004. *Pesticides And Oxidative Stress: A Review. Med Sci Monit*, 10(6), hal. RA141-RA147.
- Almahdy, A., Dachriyanus dan Rosa, M. 2014. Uji Efek Teratogen Anti Nyamuk Bakar yang Mengandung Transfluthrin terhadap Fetus Mencit Putih. *Scientia*, 4(2), hal. 46–50.
- Amelia, Alioes, Y. dan Rusdan, S. 2015. Hubungan Lama Penggunaan Obat Anti Nyamuk Bakar dengan Kadar Kolinesterase Darah pada Masyarakat Kelurahan Jati Rumah Gadang Padang. *Kesehatan Andalas*, 4(2), hal. 577–581.
- Andri, W. T. 2007. *Skripsi: Produksi Mencit Putih (Mus Musculus) dengan Substitusi Bawang Putih (Allium Sativum) dalam Ransum.* Bogor: IPB.
- Arum, Z. H. 2000. Studi Pengukuran Nilai Konstanta Dielektrik Oli Berbagai Viskositas Pada Frekuensi 100 Hz – 2000 Hz. *Jurnal Fisika*.
- BPOM. 2009. *Bahaya Keracunan Pestisida di Rumah Tangga.* Jakarta: BPOM.
- Campbell, N.A., dkk. 2006. *Biologi.* Jakarta: Erlangga.
- Cristiya, Y. 2013. Pengaruh Jenis Asam Amino Terhadap Jenis Radikal Bebas Pada Asap Rokok Kretek (Divine Cigarette). *Jurnal Tidak Diterbitkan*, hal. 1–5.
- Dahniar, A. 2011. Pengaruh Asap Obat Nyamuk Terhadap Kesehatan dan Struktur Histologi Sistem Pernafasan. *Jurnal Kedokteran Syiah Kuala*, 11(1), hal. 52–59.
- Endrinaldi. 2010. Logam-logam Berat Pencemar Lingkungan dan Efek Terhadap Manusia. *Studi Literatur*, 4 No. 1, hal. 42–46.
- Fauziah, F. F., Juswono, U. P. dan Herwiningsih, S. 2012. Pengaruh Pemberian Buah Manggis, Buah Sirsak dan Kunyit Terhadap Kandungan Radikal Bebas pada Daging Sapi yang Diradiasi dengan Sinar Gamma. *Physics Student Journal*, hal. 24–31.
- Fillaeli, A. 2012. *Bahaya yang Terkandung di dalam Obat Anti Nyamuk.* Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Hadi, I. K. 2006. *Hama Permukiman Indonesia.* Bogor: IPB.
- Hadyathma, R. I. 2010. *Gambaran Perilaku Para Pekerja Jalan Raya Tentang Penggunaan Antioksidan Dan Tindakan*

- Pencegahan Dalam Menangkal Radikal Bebas Di Kecamatan Medan Amplas Tahun 2010*. Universitas Sumatera Utara.
- Hasnisa. 2015. Pengaruh Paparan Asap Kendaraan Bermotor terhadap Gambaran Histologi Organ Ginjal Mencit (Mus Musculus). *Physics Student Journal* 35(1), hal. 116–121.
- Hayati, R. 2015. Identifikasi Pengaruh Penambahan Ekstrak Buah Duwet (*Syzygium Cumini*) Pada Filter Rokok Terhadap Karakter Magnetik Asap Rokok. *Jurnal Fisika*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Hidayat, M. R., S. Widodo, C. dan Saroja, G. 2014. Kajian Karakteristik Biolistrik Kulit Ikan Lele (*Clarias Batrachus*) dengan Metode Dielektrik Frekuensi Rendah. *Physics Student Journal*, 2(1), hal. pp.11-14.
- Hidayatullah, M. 1979. Pengukuran Konsentrasi Larutan Gula Menggunakan Transduser Kapasitif. *Jurnal Ilmu Fisika (Jif)*, 9(1), hal. 43–56.
- Joharina, A. S. dan Alfiah, S. 2012. Analisis Deskriptif Insektisida Rumah Tangga yang Beredar di Masyarakat. *Jurnal Vektora*, IV(1), hal. 23–32.
- Khaira, K. 2010. *Menangkal Radikal Bebas dengan Anti-Oksidan*. STAIN Batusangkar Sumatera Barat, hal. 184.
- Khoiroh, F. 2017. *Skripsi*: Pengaruh Antioksidan Dari Campuran Ekstrak Bisakon Terhadap Efek Transfluthrin Sebagai Bahan Aktif Obat Nyamuk One Push Aerosol Pada Gambaran Mikroskopis Kerusakan Organ Ginjal Mencit (Mus Musculus). Malang: Universitas Brawijaya.
- Lestiana, D. 2011. *Skripsi*: Pengamatan Efek Zeeman Transversal dan Longitudinal pada Cadmium. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Limiansih, K. 2013. *Skripsi*: Penggunaan Electron Spin Resonance (ESR) untuk Mendeteksi Radikal Bebas. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Mc Gavin MD, Zachary JF. 2007. *Pathologic Basis of Veterinary Disease*. Ed ke4. New York: Mosby Elsevier.
- Mukti, K. 2003. *Percobaan Efek Zeeman*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

- Novia, Widodo, C. S. dan Saroja, G. 2000. *Skripsi: Studi Pengukuran Konstanta Dielektrik Minyak Goreng Curah dengan Menggunakan Metode Dielektrik. Jurnal Fisika.*
- Nurliani, A. 2015. Efek Doksisisiklin Selama Masa Organogenesis pada Struktur Histologi Organ Hati dan Ginjal Fetus Mencit. *Bioscientiae*, 3(1), hal.15-27.
- Raini, M. 2009. Toksikologi Insektisida Rumah Tangga dan Pencegahan Keracunan, *Media Litbangkes*, 19(2), hal. 27– 33.
- Rivandi, J. dan Yonata, A. 2015. Hubungan Diabetes Melitus dengan Kejadian Gagal Ginjal Kronik *Relationship Between Diabetic Nephropathy And Incident With Chronic Kidney Disease. Majority*, 4(9), hal. 27–34.
- Sam, Hisam. *Sistem Peredaran Darah Besar Dan Kecil Pada Manusia Lengkap*. 29 September 2016. [Http://www.dosenpendidikan.com/](http://www.dosenpendidikan.com/).
- Sri Wahdiningsih, D. 2011. Aktivitas Penangkap Radikal Bebas Dari Batang Pakis (*Alsophila glauca J . Sm*). *Skripsi*, 16(3), hal. 153–156.
- Susantiningih, T. 2015. Obesitas dan Stres Oksidatif Obesity and Oxidative Stress. *Juke Unila*, vol 5, no. 9.
- Sutrisno, B. A. 2014. Studi Pengukuran Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik pada Cabe Merah (*Capsicum annum L.*) Giling, *Physics Student Journal*, 2(1), hal. 2–4.
- Sutrisno dan Gie, T. I. 1979. *Fisika Dasar: Listrik, Magnet, dan Termofisika*. Jakarta: Indonesia.
- Syafriani. 1999. *Energi Elektrostatik dari Sistem Muatan dan Dielektrik*. Padang: IKIP
- Syarifah, U., Muthmainnah dan Mulyono, A. 2014. *Analisis Fisis Membran Biofilter Asap Rokok Berbahan Biji Kurma Untuk Menangkap Radikal Bebas*, 7, hal. 40–48.
- Verdiansah. 2016. Pemeriksaan Fungsi Ginjal. *Cermin Dunia Kesehatan*, 43(2), hal. 148–154.
- Werdhasari, A. 2014. Peran Antioksidan Bagi Kesehatan. *Jurnal Biotek Medisiana Indonesia*, Vol.3.2.2014: 59-68.
- Windhartono, Kamal, Z. dan Sasmito, E. 2013. Pengaruh Infusa Wortel (*Daucus carota L.*) Terhadap Histopatologi Ginjal Tikus Jantan Yang Diinduksi Uranium. *Jurnal Kedokteran Yarsi*, 21(1), hal. 33–40.

World Health Organization. 2006. Transfluthrin. *WHO Specifications and Evaluations for Public Health Pesticides*, hal. 1–20.

Young, H. D. 2003. *Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga.

