

**IDENTIFIKASI RADIKAL BEBAS DAN SIFAT  
KELISTRIKAN (KONDUKTIVITAS, RESISTIVITAS, DAN  
KONSTANTA DIELEKTRIK) ORGAN LIMPA DARI  
MENCIT (*Mus musculus*) YANG TERPAPAR PENGHARUM  
RUANGAN SEMPROT**

**SKRIPSI**

oleh:

**REZEQI NUR BAETI  
155090301111010**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2019**



**IDENTIFIKASI RADIKAL BEBAS DAN SIFAT  
KELISTRIKAN (KONDUKTIVITAS, RESISTIVITAS, DAN  
KONSTANTA DIELEKTRIK) ORGAN LIMPA DARI  
MENCIT (*Mus musculus*) YANG TERPAPAR PENGHARUM  
RUANGAN SEMPROT**

**SKRIPSI**

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

oleh:

**REZEQI NUR BAETI  
155090301111010**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2019**



**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

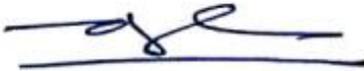
**Identifikasi Radikal Bebas dan Sifat Kelistrikan (Konduktivitas, Resistivitas, dan Konstanta Dielektrik) Organ Limpa dari Mencit (*Mus musculus*) yang Terpapar Pengharum Ruangan Semprot**

Oleh:

**REZEQI NUR BAETI**  
**155090301111010**

**Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji pada tanggal... 1-8 JUN 2010 dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dalam bidang fisika**

**Pembimbing I**



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

**Pembimbing II**



**Firdy Yuana, S.Si, M.Si**  
**NIP. 198003292005022007**

**Mengetahui,**

**Ketua Jurusan Fisika**  
**Fisika FMIPA UB**



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



## LEMBAR PERNYATAAN

**Saya yang bertanda tangan di bawah ini :**

**Nama** : Rezeqi Nur Baeti  
**NIM** : 155090301111010  
**Jurusan** : FISIKA  
**Penulis Skripsi berjudul** :

**Identifikasi Radikal Bebas dan Sifat Kelistrikan (Konduktivitas, Resistivitas, dan Konstanta Dielektrik) Organ Limpa dari Mencit (*Mus musculus*) yang Terpapar Pengharum Ruangan Semprot**

Dengan ini menyatakan bahwa :

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

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

**Malang,  
Yang menyatakan.**

**(Rezeqi Nur Baeti)  
NIM. 155090301111010**



# IDENTIFIKASI RADIKAL BEBAS DAN SIFAT KELISTRIKAN (KONDUKTIVITAS, RESISTIVITAS, DAN KONSTANTA DIELEKTRIK) ORGAN LIMPA DARI MENCIT (*Mus musculus*) YANG TERPAPAR PENGHARUM RUANGAN SEMPROT

## ABSTRAK

Salah satu polusi udara saat ini disebabkan karena penggunaan pengharum ruangan. Di dalam pengharum ruangan terdapat bahan aktif *phthalates* dan formaldehid. Bahan aktif berbahaya tersebut dapat membentuk radikal bebas yang mengganggu kinerja organ di dalam tubuh terkhusus organ limpa. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi efek kerusakan organ limpa yang ditimbulkan karena adanya paparan pengharum ruangan semprot dengan kandungan 95% non parfum yang berkorelasi dengan sifat kelistrikan (resistivitas, konduktivitas, dan konstanta dielektrik) organ limpa. Metode yang digunakan dalam identifikasi radikal bebas *Electrin Spin Resonance*. Pengukuran konstanta dielektrik, konduktivitas, dan resistivitas menggunakan dua metode yaitu metode aktif dan pasif. Metode pasif menggunakan 2 plat sejajar, sementara metode aktif menggunakan LCR meter dan didukung pula dengan uji MDA. Didapatkan kesimpulan bahwa radikal bebas yang terbentuk di dalam tubuh akibat bahan aktif formaldehid dan *phthalates* adalah  $O_2^-$ . Diketahui pula nilai konstanta dielektrik dan nilai resistivitasnya semakin turun seiring dengan bertambahnya konsentrasi pengharum ruangan semprot tipe-x dan kerusakan sel dan didukung dengan tingginya kadar MDA dalam limpa. Nilai resistivitas dan konduktivitas berbanding terbalik.

Kata kunci : *Formaldehid, phthalates, radikal bebas, konstanta dielektrik, konduktivitas, limpa*



# IDENTIFICATION OF FREE RADICALS AND ELECTRICAL PROPERTIES (CONDUCTIVITY, RESISTIVITY AND CONSTANCE OF THE DIELECTRICITY) THE ORGAN OF THE LIMPA FROM MENCIT (*Mus musculus*) WHICH HAS SPRAYED THE EXPECTED ROOMS

## ABSTRACT

The use of air freshener by households is one of the thing that causing air pollution. In the deodorant there are chemicals that are harmful to the body, the active ingredients are phthalates and formaldehyde. These dangerous active ingredients can form free radicals that disrupt the performance of the body organs, especially the spleen organs. The aim of this study was to identify the effects of spleen damage caused by exposure to spray deodorant with a 95% non-perfume content correlated with electrical properties including (resistivity, conductivity and dielectric constant) in the spleen organ. The use of method to identify free radicals is Electron Spin Resonance. Measurement of dielectric constant, conductivity and resistivity uses two methods, named active and passive methods. The passive method uses 2 parallel plates, while the active method uses the LCR meter and is also supported by the MDA test. The conclusion is the free radicals formed in the body due to the active ingredients of formaldehyde and phthalates contained in the X-type refreshing air spray drink are  $O_2^-$  (superoxide anion). It is also known that the value of the dielectric constant and its resistivity value decrease as the concentration of air freshener and cell damage increase and are supported by high levels of MDA in the spleen. The resistivity and conductivity values are inversely proportional.

Keywords: *formaldehyde, phthalates, free radicals, dielectric constant, conductivity, spleen*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, kuasa serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Identifikasi Radikal Bebas dan Sifat Kelistrikan (Konduktivitas, Resistivitas, dan Konstanta Dielektrik) Organ Limpa Mencit (*Mus musculus*) yang Terpapar Pengharum Ruangan Semprot” dapat diselesaikan.

Penyusunan skripsi ini dilaksanakan sebagai salah satu syarat menempuh jenjang perkuliahan S1 di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya. Penelitian ini tidak lepas dari bantuan dan masukan dari orang-orang yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini, oleh karena itu saya sebagai penulis mengucapkan terima kasih atas bimbingan dan bantuan yang diberikan oleh :

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada hamba-Nya.
2. Bapak Suwarso dan Ibu Siti Umayah selaku kedua orang tua penulis yang telah memberikan dukungan secara moril maupun materi dan selalu mendoakan.
3. Prof. Dr.rer.nat Muhammad Nurhuda selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Brawijaya.
4. Drs. Unggul P. Juswono, M.Sc selaku Dosen Pembimbing I yang bersedia meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, arahan, dan masukan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Firdy Yuana, S.Si, M.Si selaku Dosen Pembimbing II yang bersedia meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, arahan, dan masukan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Teman-teman seperjuangan dalam bimbingan Wulan, Shynta, Binti, Puput, Fefit, Nadia, Faida, Alfiana yang telah berjuang bersama dari awal hingga penyusunan laporan selesai.
7. Teman-teman saya semenjak mahasiswa baru yaitu Tri Andini Wati, Monika Rusdiana Dewi dan Nurmala Kusdiana yang menemani saya semenjak maba hingga sekarang serta selalu memberi support kepada saya ketika semangat saya sudah mulai turun.

8. Gus Hut Neri Mukhlas Adi Putra selaku adik penulis yang telah memberikan doa, semangat masukan dan inspirasi ketika penulis dalam keadaan susah dan senang.
9. Ka Varanoe dan Ka Dewi sebagai kakak-kakak terbaik saya yang berasal dari Indonesia Timur, kakak yang selalu mendukung saya ketika saya sudah mulai lelah menyelesaikan skripsi ini.
10. Malika Alzaena salah satu sahabat saya semenjak SMP yang menjadi tempat saya berkeluh kesah ketika saya sudah benar-benar lelah dalam mengerjakan skripsi.
11. Anggit Kurnia Filaili salah satu sahabat saya semenjak SMA yang menjadi tempat saya berkeluh kesah ketika saya sudah ingin menyerah dalam pengerjaan skripsi.
12. Achmad Guntur Pratama sebagai sepupu seumuran, orang selalu tau ketika saya sedang jenuh dalam pengerjaan skripsi.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Sehingga saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan oleh penulis demi perbaikan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat khususnya bagi penulis dan pembaca.

Malang, 2019

Penulis

**DAFTAR ISI**

<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....</b>	<b>v</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I.....</b>	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan.....	5
1.5 Manfaat.....	6
<b>BAB II.....</b>	<b>7</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1 Mencit ( <i>Mus musculus</i> ) .....	7
2.2 Organ Limpa .....	10
2.2.1 Struktur Limpa .....	11
2.3 Pengharum Ruangan Semprot Tipe-X.....	12
2.4 Radikal Bebas.....	13
2.5 ESR (Electron Spin Resonance).....	14
2.6 Kelistrikan Tubuh.....	17
2.6.1 Resistivitas dan Konduktivitas .....	18
2.6.2 Konstanta Dielektrik.....	20
<b>BAB III.....</b>	<b>21</b>
<b>METODOLOGI .....</b>	<b>21</b>
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	21
3.2 Alat dan Bahan.....	21



3.3 Tahapan Penelitian .....	21
3.4 Cara Kerja .....	22
3.4.1 Aklimatisasi Hewan Uji.....	22
3.4.2 Perlakuan Hewan Uji.....	22
3.4.3 Kerangka Penelitian.....	23
3.4.5 Pengamatan Kandungan Radikal Bebas dengan ESR .....	25
3.4.6 Pengamatan Sifat Kelistrikan (Resistivitas, Konduktivitas, Konstanta Dielektrik) .....	25
3.4.7 Pengamatan Preparat Mikroskopis Organ Limpa Mencit.....	28
3.5 Analisis Data.....	28
3.5.1 ESR.....	28
3.5.2 Resistivitas dan Konduktivitas .....	30
3.5.3 Konstanta Dielektrik.....	30
3.5.4 Uji Kerusakan Mikroskopis.....	32
<b>BAB IV .....</b>	<b>33</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>33</b>
4.1 Kerusakan Organ Limpa Mencit dengan Uji Mikroskopis.....	33
4.2 Kalibrasi ESR ( <i>Electron Spin Resonance</i> ) dengan DPPH.....	36
4.2.1 Identifikasi Radikal Bebas Organ Limpa dari Mencit yang Terpapar Pengharum Ruang Semprot.....	38
4.2.2 Mekanisme Terbentuknya Radikal Bebas Anion Superoksida .....	40
4.3 Identifikasi Nilai Konstanta Dielektrik terhadap Kerusakan Organ Limpa dari Mencit .....	42
4.4 Identifikasi Nilai Konduktivitas dan Resistivitas terhadap Kerusakan Organ Limpa dari Mencit.....	44
4.5 Uji MDA Limpa.....	47
4.6 Pembahasan Kerusakan Organ Limpa Mencit dengan Uji Mikroskopis.....	48
4.7 Pembahasan Identifikasi Nilai Konstanta Dielektrik terhadap Kerusakan Organ Limpa dari Mencit.....	50



4.8 Pembahasan Identifikasi Nilai Konduktivitas dan Resistivitas terhadap Kerusakan Organ Limpa dari Mencit ..... 52

**BAB V..... 54**

**PENUTUP..... 54**

5.1 Kesimpulan..... 54

5.2 Saran..... 54

**DAFTAR PUSTAKA..... 56**

**LAMPIRAN..... 60**

Lampiran 1. Data dan Perhitungan Konsentrasi Pengharum Ruang ..... 60

Lampiran 2. ESR Limpa dari mencit yang terpapar Pengharum Ruang Semprot ..... 62

Lampiran 3. Kelistrikan Pasif..... 65

Lampiran 4. Kelistrikan Aktif ..... 67

Lampiran 5. Data dan perhitungan kerusakan mikroskopis ..... 71

Lampiran 6. Tabel hasil perhitungan faktor-g limpa..... 72

Lampiran 7. Gambar alat dan bahan..... 84

Lampiran 8. Hasil uji MDA limpa ..... 85

Lampiran 9. Kode Etik ..... 86

Lampiran 10. Sertifikat bebas plagiasi ..... 87



**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 Mencit (*Mus Musculus*)..... 7

Gambar 2.2 Organ limpa dalam tubuh ..... 10

Gambar 2.3 Perbedaan anatomi organ limpa manusia dan mencit... 11

Gambar 2.4 Struktur kimia formaldehid..... 13

Gambar 2.5 ESR (*Electron Spin Resonance*) ..... 14

Gambar 2.6 Garis spektral pada efek Zeeman normal..... 17

Gambar 3.1 Diagram alir penelitian ..... 23

Gambar 3.2 Diagram alir pembuatan preparat..... 24

Gambar 3.3 Rangkaian alat pengukuran resistivitas..... 25

Gambar 3.4 Pengamatan sifat kelistrikan (resistivitas dan konduktivitas) dengan multimeter digital..... 26

Gambar 3.5 Diagram alir pengamatan konstanta dielektrik menggunakan multimeter ..... 27

Gambar 3.6 Pengamatan konstanta dielektrik dengan LCR meter ... 28

Gambar 3.7 Rangkaian ESR..... 29

Gambar 3.9 Rangkaian kapasitansi meter. .... 31

Gambar 4.1 Gambaran mikroskopis organ limpa mencit kelompok kontrol dengan perbesaran 1000 kali..... 34

Gambar 4.2 Gambaran mikroskopis organ limpa mencit kelompok perlakuan 5x semprot dengan perbesaran 1000 kali.. 34

Gambar 4.3 Grafik hubungan banyak semprot terhadap sel nekrosis ..... 35



Gambar 4.4 Grafik hubungan banyak semprot terhadap sel limfosit .....	36
Gambar 4.4 Kurva <i>Lissajous</i> dari kalibrasi DPPH.....	37
Gambar 4.5 Grafik cekungan kurva resonansi ESR.....	37
Gambar 4.6 Gambar ESR organ limpa dengan perlakuan kontrol. ...	39
Gambar 4.7 Gambar ESR organ limpa dengan perlakuan 5x semprot. ....	39
Gambar 4.8 Proses terbentuknya radikal bebas anion superoksida. ....	41
Gambar 4.9 Grafik hubungan antara konstanta dielektrik dengan banyak semprotan menggunakan metode pasif.....	42
Gambar 4.10 Grafik hubungan antara konstanta dielektrik dengan banyak semprotan menggunakan metode aktif. ....	43
Gambar 4.11 Grafik hubungan antara konduktivitas dengan banyak semprot dan kerusakan sel metode pasif.....	44
Gambar 4.12 Grafik hubungan antara resistivitas dengan banyak semprot dan kerusakan sel metode pasif. ....	45
Gambar 4.13 Grafik hubungan antara konduktivitas dengan banyak semprot dan kerusakan sel metode aktif. ....	46
Gambar 4.14 Grafik hubungan antara resistivitas dengan banyak semprot dan kerusakan sel metode aktif. ....	46
Gambar 4.15 Grafik hubungan uji MDA limpa dengan kerusakan sel. ....	48
Gambar 4.18 Proses pengkutuban bahan dielektrik yang dipengaruhi medan listrik dr luar .....	51



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai-nilai Fisiologi Hewan Mencit.....	8
Tabel 2.2 Nilai faktor g.....	16
Tabel 2.3 Nilai resistansi jaringan tubuh.....	19
Tabel 3.1 Pengelompokan Perlakuan pada Mencit.....	22
Tabel 4.1 Hasil pengukuran kalibrasi DPPH.....	37
Tabel 4.2 Jenis radikal bebas hasil penelitian.....	40



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pencemaran atau polusi udara merupakan proses masuknya suatu zat, energi dan komponen lain ke dalam udara yang disebabkan karena kegiatan manusia sehingga kualitas udara menurun hingga ke titik tertentu. Sumber pencemaran dalam setiap usaha atau kegiatan lain seperti rumah tangga akan mengeluarkan bahan yang dapat mencemari udara dan menyebabkan udara menjadi tidak berfungsi dengan baik (Peraturan Pemerintah no 41, 1999).

Untuk masa sekarang sekitar 90% waktu yang dimiliki seseorang akan dihabiskan di dalam ruangan baik di rumah ataupun di tempat kerja. Oleh karena itu, perlu diperhatikan baik dari segi kesehatan ataupun keselamatan dari sisi bangunannya. Dalam beberapa tahun terakhir terdapat penelitian-penelitian ilmiah yang telah menunjukkan bahwa udara di dalam ruangan juga sama berbahayanya dengan di luar ruangan. Hal tersebut dikarenakan, minimnya informasi dalam praktik operasional suatu gedung misalnya saja dalam suatu gedung tersebut telah disediakan jendela yang telah sesuai dengan peraturan pembangunan gedung namun orang-orang di dalam gedung tersebut tidak pernah membuka jendela dengan berbagai alasan seperti, perubahan iklim, berdebu, asap kendaraan, dan lain-lain. Oleh karena itu orang akan mencari sesuatu yang praktis seperti pemasangan AC dan penggunaan pengharum ruangan yang dianggap dapat menyegarkan udara di dalam ruangan. Penggunaan AC dan pengharum ruangan ini juga bukan hanya di dalam ruangan tetapi juga di dalam kendaraan seperti mobil, toilet, dan sebagainya (Perera, Jayasinghe, Perera, & Rajapaksa, 2012).

Di dalam ruangan seperti contohnya rumah tangga menjadi penyumbang polusi yang cukup besar. Polusi udara yang disebabkan oleh rumah tangga salah satunya karena penggunaan pengharum ruangan. Secara tidak langsung polusi udara dalam rumah tangga ini dapat menyebabkan gangguan kesehatan antara lain gangguan pada paru dan tidak menutup kemungkinan akan berakibat juga pada organ lain. (Danasantoso, 2003).



Penggunaan pengharum ruangan memang memberikan sensasi bau wangi dan segar seperti bau buah dan bunga yang dapat menghilangkan bau yang tidak sedap di dalam ruangan. Namun tanpa kita sadari di dalam pengharum ruangan tersebut justru terdapat bahan kimia yang sangat berbahaya untuk tubuh. Di dalam pengharum ruangan terdapat bahan kimia yang berbahaya. Bahan pertama adalah *phthalates* yang merupakan bahan kimia berbahaya yang dapat menyebabkan kelainan hormonal, cacat lahir, dan masalah reproduksi. Saat ini tercatat ada lima jenis *phthalates* yang ditemukan dalam produk pengharum ruangan yakni *di-ethyl phthalate (DEP)*, *di-n-butyl phthalate (DEP)*, *di-n-butyl phthalate (DBP)*, *di-isobutyl phthalate (DIPB)*, *di-methyl phthalate (DMP)*, dan *di-isohexyl phthalate (DIHP)* (Perera et al., 2012).

Selain bahan *phthalates* ini terdapat juga bahan yang sama berbahayanya yaitu formaldehid. Formaldehid bersifat radikal bebas karena dapat mempengaruhi ekspresi gen, produksi steroid hormon, gangguan sel leydig, penurunan fungsi sertoli, dan dapat mengurangi ekspresi reseptor pada sel-sel sistem reproduksi (Muhammad and Noor, 2013).

Selain dua bahan di atas terdapat senyawa yang mudah menguap (VOC) yang dapat membahayakan tubuh dan juga membuat lapisan ozon semakin menipis karena merusak atmosfer bumi (Perera et al., 2012). Berbagai macam zat kimia yang terkandung di dalam pengharum ruangan yang mudah menguap antara lain adalah etanol, naftelena, fenol, xilena, dan solvent yang bersifat sebagai pelarut parfum (Yuningtyaswari & Haryani, 2015). Senyawa yang mudah menguap (VOC) juga memiliki potensi berbahaya bagi tubuh antara lain iritasi sensorik, mengganggu sistem pernapasan dan disfungsi paru-paru, kerusakan sistem saraf pusat, perubahan tingkat hormon, dan lain sebagainya (Kim, Hong, Bong, & Cho, 2015).

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pengharum ruangan dapat memicu aktivitas sistem imun yang mengakibatkan timbulnya reaksi inflamasi lokal pada jaringan. Pada penelitian tentang efek paparan pengharum ruangan cair dan gel terhadap histologi mukosa hidung *rattus norvegicus* ini terdapat dua jenis iritasi yang ditimbulkan zat kimia yang terkandung di dalam pengharum ruangan tersebut. Iritasi yang ditimbulkan khususnya pada mukosa nasal. Iritasi pertama adalah iritasi primer, dimana paparan zat kimianya berpengaruh pada jaringan melalui kontak secara langsung. Zat kimianya akan berinteraksi langsung dengan

epitel dan menyebabkan inflamasi. Kedua adalah iritasi sekunder, dimana efek yang ditimbulkan seperti meningkatnya respon sistemik, timbul ketergantungan, dan pusing (Yuningtyaswari & Haryani, 2015).

Bahan yang terkandung di dalam pengharum ruangan ini dapat menimbulkan respon negatif baik secara psikologis maupun fisiologis. Adapun efek yang ditimbulkan seperti gangguan pernapasan, respon alergi dan berbagai gejala tidak spesifik seperti pusing, iritasi hidung, mata, dan lain sebagainya. Dari hasil penelitian tersebut akan besar kemungkinan jika partikel-partikel yang mengandung zat kimia berbahaya tersebut akan sampai di paru-paru. Dalam paru - paru akan terjadi pertukaran oksigen yang kemudian dibawa oleh darah melewati seluruh tubuh. Ketika sampai di hati akan terjadi proses detoksifikasi lalu darah disaring kembali di ginjal dan limpa. Dari proses tersebut secara tidak langsung efek dari zat kimia berbahaya di dalam pengharum ruangan juga dapat beresiko terhadap organ-organ lain terkhusus organ limpa (Muhammad and Noor, 2013).

Di dalam organ tubuh terdapat sel tertentu yang berfungsi untuk menangkal benda-benda asing seperti virus dan bakteri. Sel-sel tersebut berpusat di dalam kelenjar limfe, limpa, hati, dan sumsum tulang belakang. Sel-sel ini memiliki kemampuan untuk tumbuh dan berikatan dengan limfosit dan organ pembentuk darah (Mebius & Kraal, 2005). Sel-sel ini memiliki tugas sebagai pelindung tubuh dari bahaya infeksi. Salah satu sel tersebut adalah limpa yang merupakan kelenjar berwarna ungu yang terletak pada sebelah kiri abdomen di daerah hipogastrium kiri bawah iga kesembilan, sepuluh, dan sebelas. Limpa tersusun atas jaringan struktur jaringan ikat (Mebius & Kraal, 2005).

Fungsi limpa adalah membentuk sel darah merah atau mengganti sel darah merah yang sudah tua. Limpa juga menghasilkan limfosit dan bertugas untuk menghancurkan sel darah putih dan trombosit. Selain itu limpa juga berperan sebagai perlindungan terhadap penyakit atau antibodi. Jika seseorang mengalami kerusakan limpa hal tersebut tidak akan berpengaruh besar hanya saja orang tersebut nantinya akan mudah terserang penyakit karena sudah tidak ada antibodi di dalam tubuh (Pearce, 2009).

Di dalam tubuh suatu bahan biologis yang memiliki sifat kelistrikan berarti termasuk ke dalam biolistrik. Biolistrik memiliki karakteristik yang dapat dikaitkan dengan adanya sifat fisika-kimia

jaringan, kondisi jaringan, serta analisis kandungan dalam jaringan. Dari karakteristik-karakteristik dalam biolistrik tersebut dapat digunakan sebagai penentu nilai kemurnian dan kualitas suatu bahan atau kerusakan pada suatu jaringan tertentu (Rahmatie, Sulistya, & Santoso, 2016).

Membran sel di dalam tubuh bersifat kapasitor yang berarti dapat menghantarkan listrik. Membran sel tersebar di dalam jaringan biologis dan tersusun atas molekul-molekul lipid yang berlapis ganda dan terdiri atas dua komponen yaitu hidrofobik dan hidrofilik. Karena membran sel memiliki fungsi sebagai pembatas antara bagian luar dan dalam sel yang terdiri dari ion-ion garam seperti NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub>, dan sebagainya yang membuat membran sel bersifat kapasitor (Rahmatie et al., 2016). Berdasarkan penelitian (Fauzah, 2014) yang dilakukan pada daging sapi yang merupakan salah satu bahan biologis yang memiliki sifat kelistrikan. Beberapa sifat kelistrikan dari bahan biologis daging sapi tersebut antara lain resistansi, induktansi, kapasitansi, dan konstanta dielektrik. Dari hasil penelitian tersebut jika kelistrikan dapat diukur pada daging sapi maka pada tubuh manusia juga seharusnya dapat diukur kelistrikannya terutama untuk resistivitas, konduktivitas, dan konstanta dielektriknya. Namun pengukuran kelistrikan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain bahan, kondisi lingkungan, perlakuan, dan frekuensi yang diberikan (Fauzah, 2014).

Dielektrik adalah bahan yang mempunyai daya hantar yang sangat kecil bahkan bisa dikatakan tidak ada. Bahan dielektrik dikatakan sebagai isolator yang cukup baik, hal tersebut dikarenakan bahan dielektrik tidak mempunyai elektron yang bebas bergerak di seluruh bahan. Dielektrik ini dapat menghasilkan medan listrik tambahan yang berlawanan arah dengan medan listrik di luar sel. Sementara kapasitansi adalah kemampuan dari sebuah kapasitor untuk menyimpan energi listrik. Kapasitansi dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain luas penampang dan jarak pemisah antar plat, selain itu dipengaruhi juga oleh sifat dan kondisi fisik bahan dielektrik. Dengan berubahnya frekuensi yang diberikan mengakibatkan nilai kapasitansi juga akan berubah. Besarnya frekuensi yang diberikan berakibat pada banyak gelombang yang ditransmisikan (Fauzah, 2014).

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian kali ini adalah bagaimana pengaruh pemberian pengharum ruangan semprot otomatis dengan kandungan parfum 0.6% terhadap kerusakan organ limpa pada mencit dan bagaimana keterkaitan kerusakan tersebut dengan sifat kelistrikan yang meliputi resistivitas, konduktivitas, dan konstanta dielektrik pada organ limpa.

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian kali ini terdapat batasan masalah yaitu mencit yang digunakan dalam penelitian usia 2-3 bulan dan berjenis kelamin jantan. Digunakan mencit usia 2-3 bulan karena pada usia tersebut mencit sudah termasuk dewasa dan berkelamin jantan karena sistem imun pada mencit jantan cenderung tidak dipengaruhi oleh hormon reproduksi. Kadar hormon estrogen pada mencit jantan relatif lebih rendah dibandingkan dengan mencit betina yang berefek pada *imunostimulasi* sehingga dapat mengurangi efek stress pada mencit. Pengharum ruangan yang digunakan adalah pengharum ruangan semprot tipe-x dengan kandungan parfum 0.6% dan digunakan pengharum ruangan yang otomatis. Pengukuran kelistrikan yang meliputi resistivitas, konduktivitas, dan konstanta dielektrik yang berkorelasi dengan kerusakan organ terkhusus organ limpa. Kondisi awal organ limpa pada mencit diabaikan dan mengabaikan daya regenerasi sel-sel organ limpa yang berbeda pada tiap mencit.

## 1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi efek kerusakan organ limpa yang ditimbulkan karena adanya paparan pengharum ruangan semprot otomatis yang berkorelasi dengan sifat kelistrikan yang meliputi resistivitas, konduktivitas, dan dielektrik pada organ limpa.

## 1.5 Manfaat

Setelah dilakukan penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai efek penggunaan pengharum ruangan semprot otomatis tipe-x terhadap sifat kelistrikan yang meliputi resistivitas, konduktivitas, dan konstanta dielektrik pada organ limpa mencit yang mana hal tersebut akan berkorelasi dengan kerusakan organ tersebut. Hal ini nantinya dapat dijadikan sebagai acuan informasi untuk masyarakat luas agar lebih bijak dalam penggunaan

pengharum ruangan semprot otomatis. Organ limpa ini berperan sangat penting dalam tubuh karena fungsi utamanya adalah sebagai sistem kekebalan tubuh. Apabila sistem kekebalan dalam tubuh terganggu maka seseorang akan mudah terserang penyakit.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Mencit (*Mus musculus*)

Mencit atau dalam bahasa latin *Mus musculus* termasuk ke dalam kelompok hewan mamalia redonsia (pengerat) yang masuk dalam famili muridae. Hewan ini berbentuk seperti tikus kecil seperti pada Gambar 2.1. Di alam bebas, mencit yang sering dijumpai berwarna hitam-keabuan sementara mencit yang digunakan sebagai hewan uji yang berwarna putih (Adil, 2005). Mencit sebagai hewan uji sering digunakan dalam penelitian biologi, biomedis dan reproduksi. Mencit sering digunakan sebagai hewan uji karena berbagai hal antara lain, karena cepat berkembangbiak, ukuran tubuhnya yang relatif kecil jika dibandingkan dengan hewan uji lain, mudah dipelihara dalam jumlah banyak, karakter anatomi dan fisiologisnya (Tabel 2.1) mudah diamati, memiliki aktivitas reproduksi yang panjang yakni 2-14 bulan, variasi genetiknya cukup besar, dan memiliki DNA yang hampir sama dengan manusia.



**Gambar 2.1** Mencit (*Mus Musculus*).

Klasifikasi ilmiah dari mencit (*Mus musculus*) :

*Kingdom* : Animalia

*Filum* : Chordata

*Subfilum* : Vertebrata

*Kelas* : Mamalia

*Ordo* : Rodentia

*Famili* : Muridae

*Genus* : Mus

*Spesies* : *Mus musculus* L (Akbar, 2010).

**Tabel 2.1** Nilai-nilai Fisiologi Hewan Mencit.

Kriteria	Jumlah
Berat Badan dewasa jantan	20 - 40 gr
Berat lahir	0,5 - 1,5 gr
Luas permukaan badan	20 g : 36 cm <sup>2</sup>
Jangka waktu hidup	1,5 - 3 th
Konsumsi makanan	15 gr/100 gr/hari
Konsumsi air	15 ml/100 gr/hari
Waktu transit pencemaran	8 - 14 jam
Siklus birahi	4 -5 hari
Lama kebuntingan	19 - 21 hari

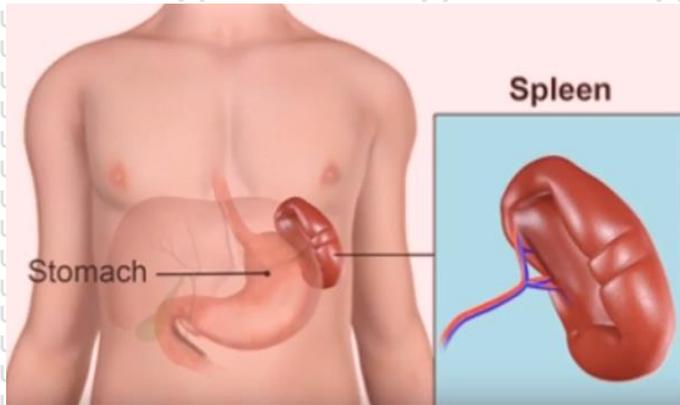
Jumlah kelahiran	10 - 12 ekor
Produksi anak	8/Minggu
Temperatur tubuh	36,5 - 38o C
Laju denyut jantung	325 - 780/menit
Volume darah	76 - 8- ml/kg
Tekanan darah	113 - 147 / 81 - 106 mm Hg
Eritrosit	7 - 12,5x10 <sup>6</sup> /mm <sup>3</sup>
Hematokrit	39 - 49 %
Hemoglobin	10,2 - 16,6 mg/100 ml
Leukosit	6 - 15x10 <sup>3</sup> /mm <sup>3</sup>
Neutrofil	10 - 40 %
Limfosit	55- 95 %
Eosinofil	0 - 4 %
Monosit	0,1 - 3,5 %
Basofil	0 - 0,3%
Trombosit	160 - 410x10 <sup>3</sup> /mm <sup>3</sup>
Protein serum	3,5 - 7,2 g/100 ml
Kolesterol	26 - 82 mg/100 ml
Glukosa Serum	62 - 175 mg/100 ml
Nitrogen dalam darah	17 - 28 mg/100ml

(Harkness, 1983).

## 2.2 Organ Limpa

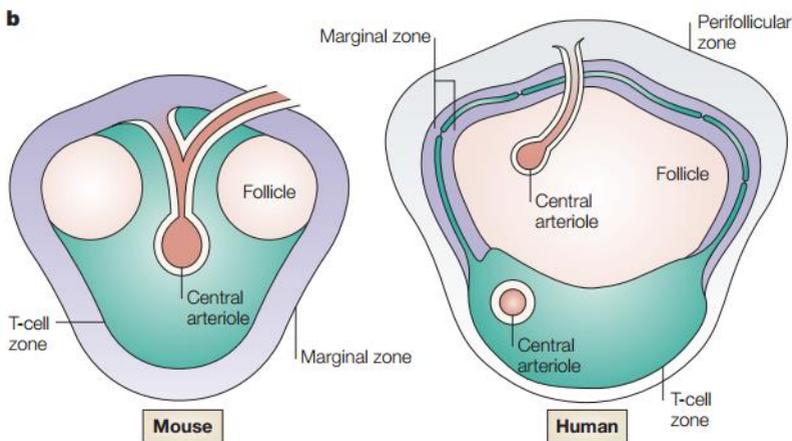
Limpa adalah sebuah kelenjar tanpa saluran yang memiliki hubungan erat dengan sistem sirkulasi yang berfungsi sebagai penghancur sel darah merah tua dan berwarna ungu yang terletak di sebelah kiri abdomen di daerah *hypogastrium* kiri di bawah iga

kesembilan, sepuluh dan sebelas seperti pada Gambar 2.2. Limpa berdekatan pada fundus dan permukaan luarnya menyentuh diafragma. Limpa menyentuh ginjal kiri, kelokan kolon di kiri atas, dan ekor pankreas. Limpa masuk kedalam salah satu organ sistem limfoid, selain timus, tonsil dan kelenjar.



**Gambar 2.2** Organ limpa dalam tubuh (Anonim, 2018).

Limpa terdiri dari kumpulan sel limfoid terbesar dalam tubuh. Di dalam limpa terdapat banyak sel fagositik yang berperan penting sebagai alat pertahanan terhadap mikroorganisme yang masuk ke dalam tubuh. Karena banyaknya sel fagositik tersebut limpa termasuk salah satu organ yang berperan sebagai sistem imun atau kekebalan tubuh. Limpa sebagai sistem imun sehingga memiliki kemampuan untuk menyaring darah (Junqueira, Arneiro, & Kelley, 1995). Selain sebagai sistem imun, limpa juga berperan sebagai pemenuh kebutuhan limfosit khususnya di dalam proliferasi dan diferensiasi limfosit T (Junqueira, Arneiro, & Kelley, 2007). Anatomi organ limpa antara manusia dan mencit (Gambar 2.3) tidak berbeda jauh, hal inilah yang menjadi alasan mendasar mengapa digunakan hewan uji mencit.



**Gambar 2.3** Perbedaan anatomi organ limpa manusia dan mencit (Mebius & Kraal, 2005).

### 2.2.1 Struktur Limpa

Secara anatomi, limpa berbentuk pipih, berwarna merah keunguan karena menyimpan banyak darah, lunak, mudah ruptur, permukaannya licin, dan terletak di abdomen kiri atas. Limpa terbungkus oleh kapsula yang terdiri dari lapisan jaringan penyokong yang tebal dan lapisan otot halus. Limpa terdiri atas dua bagian yaitu pulpa merah dan pulpa putih. Pulpa-pulpa pada limpa menempati ruang antara trabekula hingga pembungkus limpa. Di dalam limpa banyak mengandung limfosit dan banyak akan suplai makrofag yang memonitor darah. Struktur limpa terdiri dari serat, sel *reticular meshwork*, kapsul fibrosa, dan trabekula yang didalamnya terdapat *myofibroblast* (Junqueira et al., 1995).

Bagian – bagian limpa :

#### a. Pulpa Merah

Pulpa merah terletak diantara sinusoid dan terdiri atas *korda bilroth*. Di dalam pulpa merah terdapat banyak sel plasma, makrofag, trombosit, granulosit, dan limfosit. Pada pulpa merah trombosit, dan eritrosit yang sudah tua, rusak atau abnormal akan dihancurkan. Eritrosit akan dihancurkan oleh sel fagositik dan zat besi yang berasal dari hemoglobin yang tersimpan di dalam sel. Zat besi

berfungsi sebagai pembentukan hemoglobin baru sebagai pengganti hemoglobin yang rusak (Leeson, Leeson, & Paparo, 1996).

#### b. Pulpa Putih

Pulpa putih terdiri dari jaringan limfoid yang menyelubungi arteri sentralis dan nodulus limfatikus. Di dalam arteri sentralis banyak terdapat limfosit T, sementara di dalam nodulus limfatikus terdapat banyak limfosit B. limfosit T dan limfosit B berperan sebagai sistem imunitas di dalam tubuh (Junqueira et al., 1995).

### 2.3 Pengharum Ruangan Semprot Tipe-X

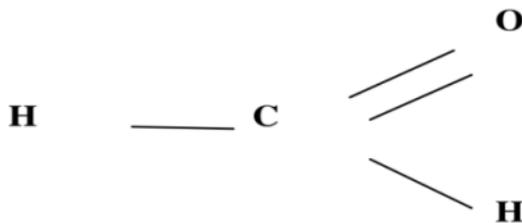
Di dalam pengharum ruangan terdapat bahan kimia yang berbahaya. Pada penelitian kali ini digunakan pengharum ruangan otomatis tipe-x. Dengan adanya keterangan tersebut diduga 94% kandungannya terdiri atas *phthalates* dan *formaldehid* yang merupakan dua zat kimia yang sangat berbahaya bagi tubuh. *Phthalates* yang merupakan bahan kimia berbahaya yang dapat menyebabkan kelainan hormonal, cacat lahir, dan masalah reproduksi. Saat ini tercatat ada lima jenis *phthalates* yang ditemukan dalam produk airfrashener yakni *di-ethyl phthalate (DEP)*, *di-n-butyl phthalate (DEP)*, *di-n-butyl phthalate (DBP)*, *di-isobutyl phthalate (DIPB)*, *di-methyl phthalate (DMP)*, dan *di-isohexyl phthalate (DIHP)*.

Selain bahan *phthalates* ini terdapat juga bahan yang sama berbahayanya yaitu formaldehid. Formaldehid bersifat radikal bebas karena dapat mempengaruhi ekspresi gen, produksi steroid hormon, gangguan sel leydig, penurunan fungsi sertoli, dan dapat mengurangi ekspresi reseptor pada sel-sel sistem reproduksi (Muhammad and Noor, 2013). Selain dua bahan di atas terdapat senyawa yang mudah menguap (VOC) yang dapat membahayakan tubuh dan juga membuat lapisan ozon semakin menipis karena merusak atmosfer bumi (Perera et al., 2012).

Berbagai macam zat kimia yang terkandung di dalam pengharum ruangan yang mudah menguap antara lain adalah etanol, naftelena, fenol, xilena, dan solvent yang bersifat sebagai pelarut parfum (Yuningtyaswari & Haryani, 2015). Senyawa yang mudah menguap (VOC) juga memiliki potensi berbahaya bagi tubuh antara lain iritasi sensorik, mengganggu sistem pernapasan dan disfungsi paru-paru, kerusakan sistem saraf pusat, perubahan tingkat hormon, dan lain sebagainya (Kim et al., 2015).

## 2.4 Radikal Bebas

Radikal bebas adalah atom atau molekul yang memiliki elektron tidak berpasangan pada orbital terluarnya dan bersifat sangat reaktif. Radikal bebas mengakibatkan reaksi berantai apabila terjadi di dalam tubuh akan menimbulkan kerusakan-kerusakan secara terus menerus (Wahdiningsih, 2011). Radikal bebas terjadi dari proses kimia yang sangat kompleks di dalam tubuh (Fauziah, Juswono, & Herwiningsih, 2012). Pada penelitian ini digunakan pengharum ruangan semprot yang di dalamnya terdapat kandungan formaldehid yang struktur kimianya seperti pada Gambar 2.4. Formaldehid bersifat radikal bebas karena dapat mempengaruhi ekspresi gen, produksi steroid hormon, gangguan sel leydig, penurunan fungsi sertoli, dan dapat mengurangi ekspresi reseptor pada sel-sel sistem reproduksi (Muhammad and Noor, 2013).

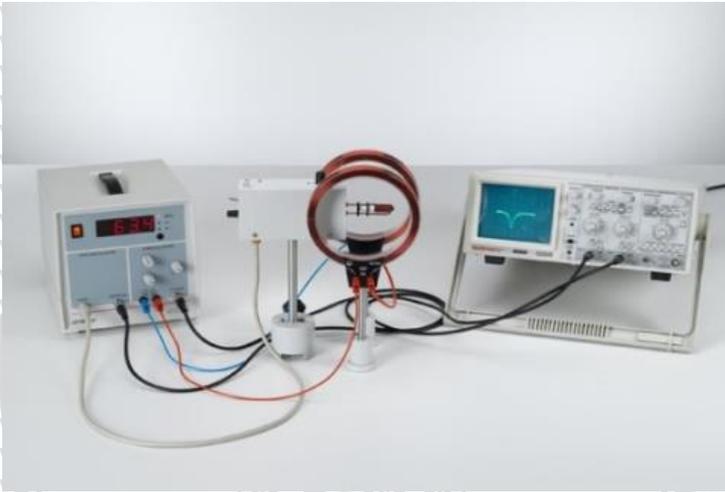


**Gambar 2.4** Struktur kimia formaldehid (Anonim, 2018).

Formaldehid memiliki sifat yang sangat reaktif, dikarenakan formaldehid memiliki gugus karbonil yang sangat reaktif, dan dengan mudah bereaksi dengan gugus nukleofilik. Formaldehid dapat mengakibatkan hilangnya aktivitas spesifik, sehingga enzimatis dalam tubuh tidak berfungsi dengan baik. Pengaruh negatif yang ditimbulkan oleh formaldehid dalam jangka pendek antara lain terjadinya iritasi saluran pernafasan, saluran pencernaan, pusing dan mual, sedangkan akibat jangka panjangnya antara lain terjadinya kerusakan pada tingkat sel dan jaringan hati (Paparan, Formalin, Terhadap, Hepar, & Rattus, 2010).

## 2.5 ESR (Electron Spin Resonance)

ESR (*Electron Spin Resonance*) seperti pada Gambar 2.5 adalah salah satu metode penelitian untuk molekul yang tidak stabil. Molekul dikatakan tidak stabil karena memiliki satu atau lebih elektron yang tidak berpasangan. Metode ESR ini memanfaatkan medan magnet yang diakibatkan karena elektron beresonansi dengan gelombang elektromagnetik (Fauziah et al., 2012)..



**Gambar 2.5** ESR (*Electron Spin Resonance*) (Anonim, 2018).

Prinsip dasarnya, ESR adalah hubungan antara momentum sudut elektron spin dengan momen magnet (Fauziah et al., 2012). Prinsip kerja dari ESR yakni menentukan molekul yang tidak stabil lalu diamati medan magnet saat elektron dari molekul tidak stabil tersebut mengalami resonansi dengan gelombang elektromagnetik (Utomo, Retnowati, & Juswono, 2013). ESR dapat mengukur medan magnet hingga mencapai 0,55-3,2mT (Djamil Mitra dan Rahmondia Nanda Setiadi, 2006). Sebenarnya ada berbagai macam metode selain ESR yang dapat digunakan dan pemilihan penggunaan metode tersebut tergantung beberapa faktor antara lain resolusi, kuat medan, homogenitas, variasi dalam waktu, sensitivitas dan keakuratan (Djamil Mitra dan Rahmondia Nanda Setiadi, 2006).

Nilai ESR dapat dijelaskan dalam persamaan 2.1 :

$$\mu = g\beta s \quad (2.1)$$

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

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

Faktor lande menjelaskan adanya hubungan antara interaksi spin-orbit dan elektron paramagnet dengan inti atom yang berada di sekitarnya. Nilai  $g$  didapatkan ketika terjadi resonansi magnetik yaitu sampel berinteraksi dengan radiasi elektromagnetik sebesar  $hf$  dan nilainya sebanding dengan transisi energi antara 2 tingkatan spin dan dapat dituliskan dalam persamaan 2.2.

$$g = \frac{hf}{B\mu_B} \quad (2.2)$$

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

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

$B$  = medan magnet eksternal (T)

Sementara untuk medan magnet untuk ESR dapat menggunakan persamaan 2.3.

$$B = \mu_0 \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{n}{r} I \quad (2.3)$$

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

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

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

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

(Fauziah et al., 2012)

Jenis radikal bebas dapat diketahui dari besarnya faktor g yang terhitung dan dapat dilihat pada Tabel 2.2

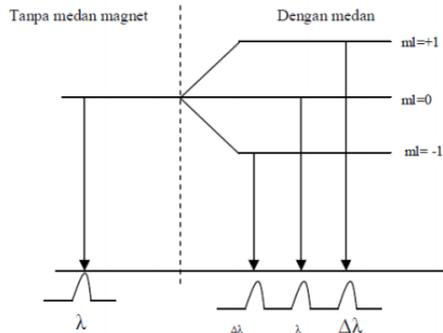
**Tabel 2.2** Nilai faktor g.

<b>Nama Radikal Bebas</b>	<b>Nilai Faktor g</b>
O	2.0356
$O_2^-$	1.501
$Fe_2^+$	1.7
$MnO_2$	1.8367
FeS	1.86
Hidroperoxida	1.9896
$CO_2^-$	1.9921 - 2.0007
Cu	1.997
$SO_4^-$	1.9976
Hidroxy	2.00047
Alkoxy	2.0016 - 2.00197
Helium	2.002
Methanol	2.00205
Alkyl	2.00206
Free Radikal	2.00232
Hydrogen	2.00232
Methyl	2.00255 - 2.00286
DPPH	2.0036
$SO_3^-$	2.0037
Ethyl	2.0044
C	2.00505 - 2.00548
Peroxy	2.0155 - 2.0265
CuOx	2.098
$CuGeO_3$	2.154
$YBa_2Cu_3O_7$	2.24
Cu-HA	2.289
Hg	4.0 - 4.5



(Farihatin, 2014)

Suatu cahaya yang dipancarkan oleh tabung elektron gas hidrogen yang dikenai tegangan tinggi dan medan magnetik dari luar akan menghasilkan garis spektral yang terpecah. Terpecahnya garis spektral akibat medan magnet eksternal itulah yang disebut dengan efek Zeeman. Jarak perpecahan garis spektral pada efek Zeeman normal akan terbagi menjadi tiga garis spektral dengan frekuensi yang berbeda yaitu  $(U + \Delta u)$ ,  $(U)$ , dan  $(U - \Delta u)$  (Setyawarno, 2013). Garis spektral pada efek Zeeman normal dapat dilihat pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Garis spektral pada efek Zeeman normal (Setyawarno, 2013).

## 2.6 Kelistrikan Tubuh

Di dalam tubuh suatu bahan biologis yang memiliki sifat kelistrikan berarti termasuk ke dalam biolistrik. Biolistrik memiliki karakteristik yang dapat dikaitkan dengan adanya sifat fisika-kimia jaringan, kondisi jaringan, serta analisis kandungan dalam jaringan. Dari karakteristik-karakteristik dalam biolistrik tersebut dapat digunakan sebagai penentu nilai kemurnian dan kualitas suatu bahan atau kerusakan pada suatu jaringan tertentu (Rahmatie et al., 2016).

Membran sel di dalam tubuh bersifat kapasitor yang berarti dapat menghantarkan listrik. Membran sel tersebar di dalam jaringan biologis dan tersusun atas molekul-molekul lipid yang berlapis ganda dan terdiri atas dua komponen yaitu hidrofobik dan hidrofilik.

Membran sel memiliki fungsi sebagai pembatas antara bagian luar dan dalam sel yang terdiri dari ion-ion garam seperti NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub>, dan sebagainya yang membuat membran sel bersifat kapasitor (Rahmatie et al., 2016).

Berdasarkan penelitian (Fauzah, 2014) yang dilakukan pada daging sapi yang merupakan salah satu bahan biologis yang memiliki sifat kelistrikan. Beberapa sifat kelistrikan dari bahan biologis daging sapi tersebut antara lain resistansi, induktansi, kapasitansi, dan konstanta dielektrik. Dari hasil penelitian tersebut jika kelistrikan dapat diukur pada daging sapi maka pada tubuh manusia juga seharusnya dapat diukur kelistrikannya terutama untuk resistivitas, konduktivitas, dan konstanta dielektriknya. Namun pengukuran kelistrikan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain bahan, kondisi lingkungan, perlakuan, dan frekuensi yang diberikan (Fauzah, 2014).

### 2.6.1 Resistivitas dan Konduktivitas

Resistivitas adalah kemampuan suatu bahan dalam menahan arus listrik yang masuk. Tubuh manusia merupakan konduktor listrik yang baik. Nilai resistansi pada setiap tubuh manusia berbeda-beda. Berdasarkan kemampuan penahannya tubuh manusia dibagi menjadi tiga bagian yang meliputi :

1. Resistansi rendah : serabut saraf, membran mukosa, dan otot
2. Resistansi sedang : kulit kering, jaringan lemak, dan tendon
3. Resistansi tinggi : tulang

(Safitri Juwita, Meqorry Yusuf, 2014)

Besarnya nilai resistansi jaringan tubuh dapat ditunjukkan dalam Tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Nilai resistansi jaringan tubuh.

Jaringan	Nilai Resistansi (ohm/cm <sup>2</sup> )
Membran mukosa	100
Lengan volar, paha bagian dalam	300 - 10.000
Kulit Kering	5000
Kulit basah :	
a. Di kamar mandi	1200 - 1500



b. Berkeringat	2500
c. Telapak kaki	100.000 - 200.000

(Safitri Juwita, Meqorry Yusfi, 2014)

Resistivitas dapat dicari dengan persamaan 2.4 :

$$\rho = \frac{A}{l} R \quad (2.4)$$

Dimana :  $\rho$  = Resistivitas ( $\Omega$ )

A = luas penampang ( $m^2$ )

l = panjang (m)

(Safitri Juwita, Meqorry Yusfi, 2014)

Konduktivitas listrik adalah kemampuan suatu bahan dalam menghantarkan arus listrik sebagai hasil dari perpindahan elektron antar partikel (Safitri Juwita, Meqorry Yusfi, 2014). Konduktivitas di dalam cairan dipengaruhi oleh adanya ion-ion yang terlarut. Ion-ion yang terlarut akan berpengaruh pada sifat pengantaran yang disebut dengan elektrolit. Konduktivitas elektrolit dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain konsentrasi ion, mobilitas ion, status oksidasi, dan temperatur cairan. Konduktivitas juga merupakan kebalikan dari resistivitas (Anggit, 2009). Analisis untuk konduktivitas dapat dilihat dalam persamaan 2.5.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2.5)$$

### 2.6.2 Konstanta Dielektrik

Dielektrik adalah bahan yang mempunyai daya hantar yang sangat kecil bahkan bisa dikatakan tidak ada. Bahan dielektrik dikatakan sebagai isolator yang cukup baik, hal tersebut dikarenakan bahan dielektrik tidak mempunyai elektron yang bebas bergerak di seluruh bahan. Dielektrik dapat menghasilkan medan listrik tambahan yang berlawanan arah dengan medan listrik di luar sel. Sementara kapasitansi adalah kemampuan dari sebuah kapasitor untuk menyimpan energi listrik. Kapasitansi dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain luas penampang dan jarak pemisah antar

plat, selain itu dipengaruhi juga oleh sifat dan kondisi fisik bahan dielektrik. Besarnya frekuensi yang diberikan berakibat pada banyak gelombang yang ditransmisikan (Fauzah, 2014). Nilai konstanta dielektrik bisa didapatkan dengan persamaan 2.6 :

$$\epsilon_r = \frac{C \cdot d}{A \cdot \epsilon_0} \quad (2.6)$$

Dimana :  $\epsilon_r$  = Kontanta Dielektrik

$C$  = Kapasitansi rata-rata (F)

$d$  = jarak antar plat (m)

$\epsilon_0$  = Permittivitas ruang hampa ( $8,85 \times 10^{-12}$ )

$A$  = Luas penampang ( $m^2$ )



## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan pada bulan November 2018 sampai bulan Januari 2019 yang bertempat di Laboratorium Fisika Lanjutan Jurusan Fisika Universitas Brawijaya Malang dan Laboratorium Fisiologi Hewan dan Laboratorium Hewan Coba Fakultas SAINTEK Universitas Islam Negeri Malang.

### 3.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian kali ini alat yang digunakan meliputi timbangan digital, seperangkat alat bedah, rangkaian alat ESR, kumparan solenoid, kapasitansi meter, mikroskop binokuler, masker, sarung tangan lateks, kandang mencit, *chamber*, *slide glass*, tabung apendof, papan bedah hewan, dan cawan petri. Bahan yang digunakan terdiri dari mencit jantan usia 2 – 3 bulan, pengharum ruangan semprot otomatis tipe-x, sekam kayu, alkohol, dan formalin.

### 3.3 Tahapan Penelitian

Subjek dalam penelitian ini terbagi atas 6 kelompok, kelompok – kelompok tersebut adalah kelompok control (KK), kelompok perlakuan pengharum ruangan *spray* tipe-x yang disemprot 1 kali, 3 kali, 4 kali, dan 5 kali, masing – masing kelompok diberi perlakuan yang berbeda. Tiap kelompok terdiri dari 5 mencit.

Setelah mencit mencapai waktu beradaptasinya, semua kelompok diamati dan diukur sesuai variabel obyek yang diteliti. Pemberian perlakuan semprot dipaparkan secara langsung untuk setiap kelompoknya selama 20 menit. Pemberian perlakuan untuk masing-masing kelompok berlangsung selama 30 hari. Setelah perlakuan selesai mencit dibedah, organ limpa diambil untuk diteliti radikal bebasnya dengan uji ESR dan sifat dielektrik dari organ tersebut dengan menggunakan kapasitansi meter. Perbedaan hasil yang didapatkan dalam perlakuan merupakan nilai variabel yang dicari. Adanya perbedaan hasil tersebut dikarenakan adanya perbedaan perlakuan yang diterima oleh mencit pada masing – masing kelompoknya.

### 3.4 Cara Kerja

#### 3.4.1 Aklimatisasi Hewan Uji

Mencit dilakukan aklimatisasi atau pengadaptasian terlebih dahulu terhadap lingkungan barunya selama 7 hari. Jumlah mencit yang digunakan sebanyak 30 ekor yang berusia 2 – 3 bulan dan berjenis kelamin jantan. Perlakuan yang diberikan terbagi menjadi 6 kelompok termasuk kelompok kontrol, dan kelompok perlakuan semprot. Setiap kelompok perlakuan digunakan 5 mencit.

#### 3.4.2 Perlakuan Hewan Uji

Perlakuan terhadap hewan uji dilakukan dengan penyemprotan pengharum ruangan tipe-x terhadap mencit. Kelompok perlakuan disemprot dengan pengharum ruangan tipe-x sebanyak 5 kelompok, dengan masing – masing perlakuan diberi semprotan yang berbeda yaitu kelompok 1 diberi 1 kali semprot, kelompok 2 diberi 2 kali semprot, kelompok 3 diberi 3 kali semprot, sampai kelompok 5. Penyemprotan ini dilakukan untuk mengetahui efek terparah yang terjadi pada organ limpa mencit. Penyemprotan dilakukan di dalam *chamber* yang tertutup. Penyemprotan dilakukan selama 20 menit. Setelah 20 menit tutup *chamber* dibuka. Tabel pengelompokan perlakuan terhadap mencit tertera seperti pada Tabel 3.1.

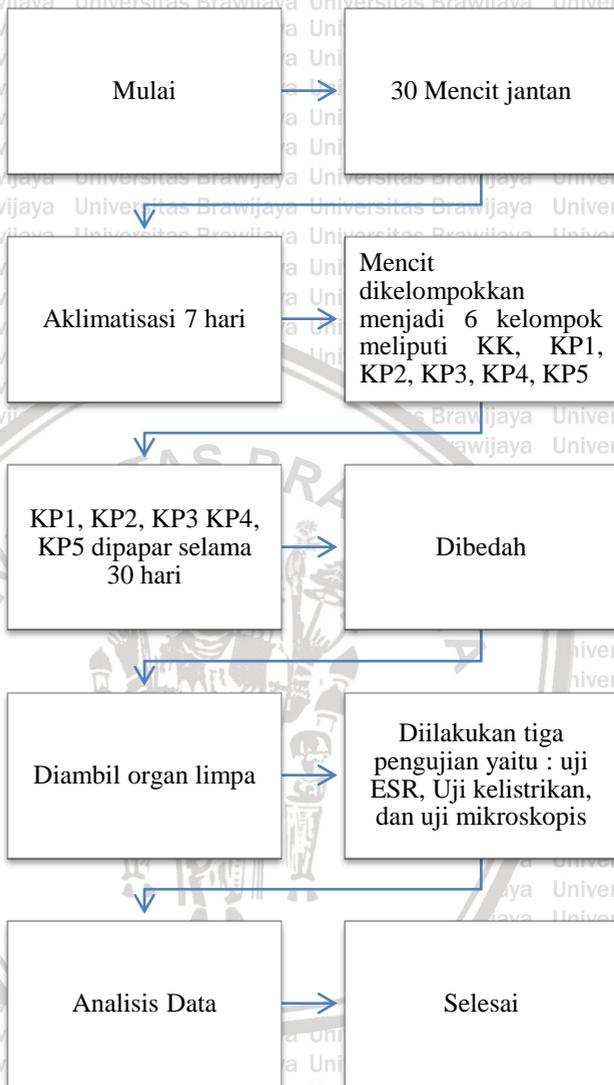
**Tabel 3.1** Pengelompokan Perlakuan pada Mencit.

Kelompok Perlakuan	Paparan	Keterangan
Kelompok Kontrol (KK)	Paparan 0	Tanpa diberikan penyemprotan
Kelompok perlakuan semprot	Paparan 1	penyemprotan 1 kali
	Paparan 2	penyemprotan 2 kali
	Paparan 3	penyemprotan 3 kali
	Paparan 4	penyemprotan 4 kali
	Paparan 5	penyemprotan 5 kali

#### 3.4.3 Kerangka Penelitian

Alur dalam penelitian kali ini seperti ditunjukkan pada Gambar

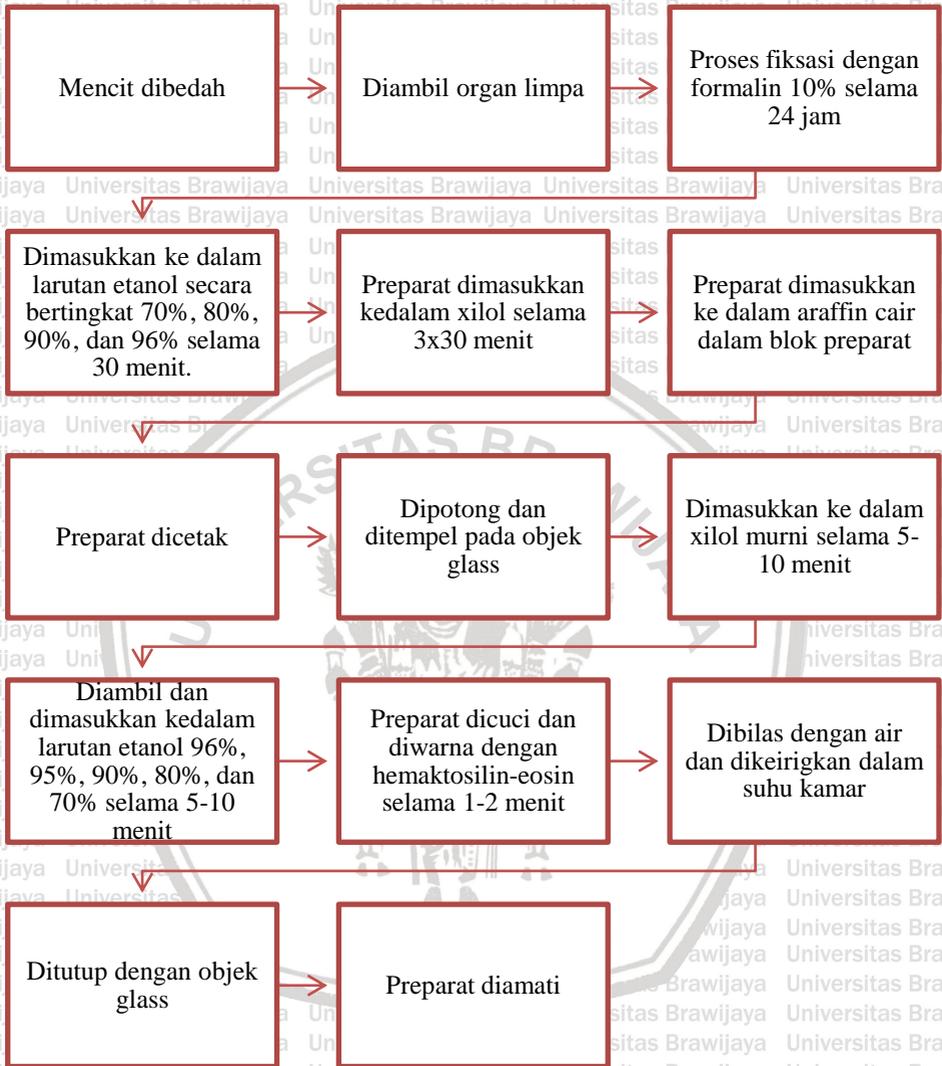
3.1.



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian.

### 3.4.4 Pembuatan Preparat

Alur pembuatan preparat seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Diagram alir pembuatan preparat.

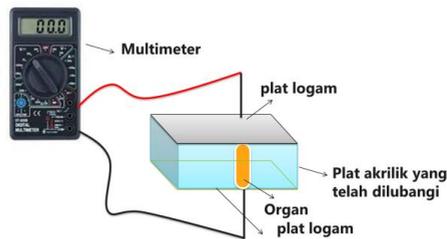
### 3.4.5 Pengamatan Kandungan Radikal Bebas dengan ESR

Radikal bebas diamati menggunakan ESR. Sebelum pengamatan dilakukan ESR dikalibrasi terlebih dahulu menggunakan kalibrator radikal bebas DPPH. Kalibrasi dilakukan dengan tujuan agar data yang diperoleh akurat. Setelah dilakukan kalibrasi,

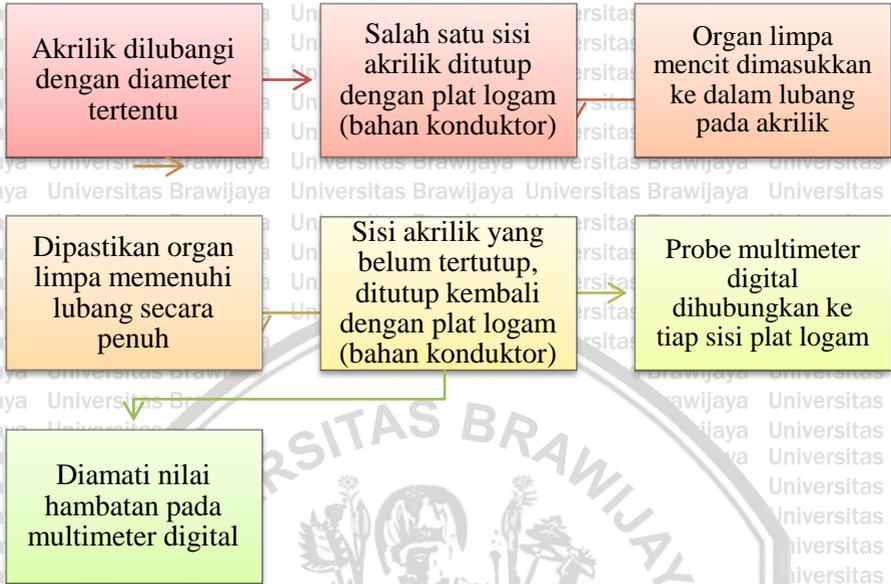
dilanjutkan dengan pengamatan organ limpa mencit. Pengamatan dilakukan dengan cara organ limpa dimasukkan ke dalam tabung durham. Pengamatan dilakukan dengan dimasukkannya tabung durham ke dalam kumparan radio frekuensi (RF) yang dipasang pada unit ESR, kemudian rangkaian ESR diberi arus. Arus pada ESR menyebabkan terbentuknya medan magnet diantara dua kumparan Helmholtz. Medan magnet yang terbentuk akan memecah elektron tidak berpasangan hingga tingkat spin. Nilai frekuensi diatur sehingga pada osiloskop akan ditampilkan kurva *Lissajous* menyerupai “V”. Hasil dari kurva *Lissajous* dapat digunakan untuk mengetahui adanya radikal bebas pada organ limpa mencit dengan nilai frekuensi tertentu. Selain nilai frekuensi, nilai arus juga diperoleh saat pengamatan. Berdasarkan nilai frekuensi dan nilai arus yang didapat maka dapat dicari faktor g yang menunjukkan jenis radikal bebasnya.

### 3.4.6 Pengamatan Sifat Kelistrikan (Resistivitas, Konduktivitas, Konstanta Dielektrik)

Pengukuran resistivitas dan konduktivitas pada organ limpa mencit menggunakan multimeter digital dengan prinsip kerja kapasitor plat sejajar seperti pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.



**Gambar 3.3** Rangkaian alat pengukuran resistivitas.

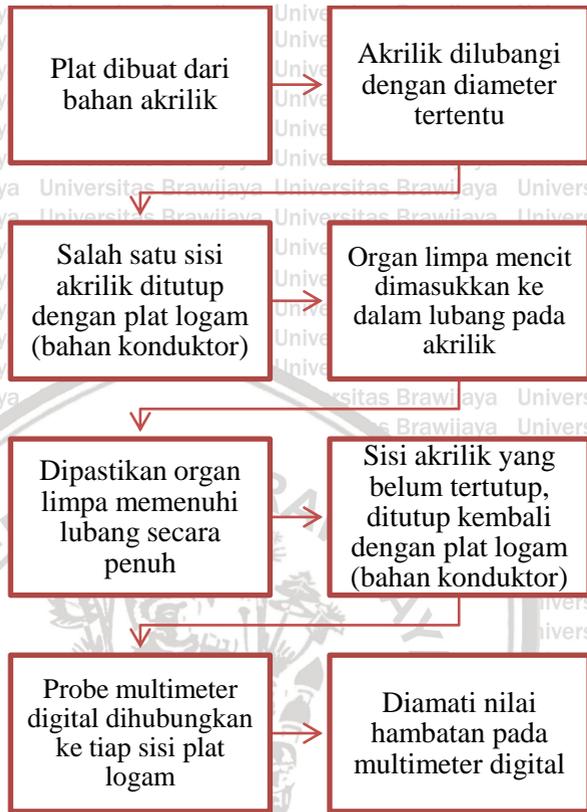


**Gambar 3.4** Pengamatan sifat kelistrikan (resistivitas dan konduktivitas) dengan multimeter digital.

Pengamatan konstanta dielektrik organ limpa dari menciit dilakukan dengan dua alat yaitu multimeter dan LCR meter.

- **Multimeter**

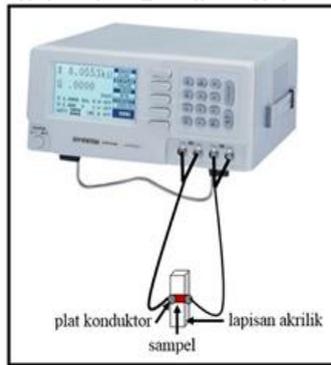
Pada metode pasif kurang lebih hampir sama seperti pengukuran resistivitas yaitu menggunakan prinsip kerja kapasitor plat sejajar. Diagram alir metode pasif seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5** Diagram alir pengamatan konstanta dielektrik dengan menggunakan multimeter.

- LCR Meter

Pada metode aktif menggunakan rangkaian RLC dimana nilai hambatan (R) dan induktansi (L) diketahui sementara nilai kapasitornya diganti menggunakan kapasitor bahan yang akan diuji yaitu organ limpa dari menciit. Rangkaian alat untuk pengamatan konstanta dielektrik metode aktif seperti pada Gambar 3.6.



**Gambar 3.6** Pengamatan konstanta dielektrik dengan LCR meter.

### 3.4.7 Pengamatan Preparat Mikroskopis Organ Limpa Mencit

Pengamatan kerusakan organ limpa mencit dapat dilakukan dengan mengamati preparat yang telah dibuat dengan mikroskop. Pengamatan mikroskopis dengan mikroskop menggunakan perbesaran 100x untuk mendapatkan gambaran mikroskopis limpa. Pengamatan dilakukan dengan mengambil 5 lapang pandang dengan lokasi yang berbeda pada tiap irisan organ limpa dari setiap perlakuan. Setelah didapatkan data gambar mikroskopis, maka dapat dilakukan perhitungan pada organ limpa. Setelah diketahui seluruh kerusakan dari preparat maka dapat diketahui presentase kerusakan yang terjadi.

## 3.5 Analisis Data

### 3.5.1 ESR

Data yang diperoleh dari pengamatan ESR (Gambar 3.7) yaitu nilai arus dan frekuensi seperti pada persamaan 3.1. Nilai faktor  $g$  dapat dihitung dengan persamaan 3.2.

$$B = \mu_0 \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{n}{r} I \quad (3.1)$$

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

$n$  = 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)

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

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

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

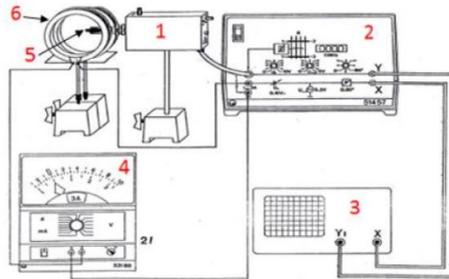
$B =$  medan magnet eksternal (T)

$f =$  frekuensi resonansi (Hz)

(Fauziah et al., 2012)

Persamaan diatas digunakan untuk menghitung faktor  $g$  eksperimen, sedangkan untuk memperoleh faktor  $g^*$  yang sesungguhnya dapat digunakan persamaan 3.3.

$$g^* = g \text{ eksperimen} \times \text{faktor kalibrasi} \quad (3.3)$$



Keterangan :

1. Unit ESR
2. Pengendali ESR
3. Osiloskop
4. Multimeter
5. Kumparan Radio Frekuensi
6. Kumparan Helmholtz

**Gambar 3.7** Rangkaian ESR.

### 3.5.2 Resistivitas dan Konduktivitas

Pengukuran resistivitas dan konduktivitas pada organ limpa menciit menggunakan multimeter digital dengan prinsip kerja kapasitor plat sejajar seperti pada Gambar 3.3. Resistivitas dapat dicari dengan persamaan 3.4.

$$\rho = \frac{A}{l} R \quad (3.4)$$

Dimana :  $\rho$  = Resistivitas ( $\Omega$ )

$A$  = luas penampang ( $m^2$ )

$l$  = lebar lubang ( $m$ )

Sementara nilai konduktivitas merupakan kebalikan dari resistivitas. Analisis data nilai konduktivitas dapat dicari dengan persamaan 3.5.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (3.5)$$

(Safitri Juwita, Meqorry Yusfi, 2014)

### 3.5.3 Konstanta Dielektrik

Dalam penelitian ini untuk pengukuran konstanta dielektrik digunakan dua alat yaitu multimeter dan LCR meter.

#### 1. Multimeter

Metode pasif untuk pengukuran konstanta dielektrik prinsipnya hampir sama seperti pengukuran resistivitas dan konduktivitas seperti pada Gambar 3.8. Hasil pengukuran yang didapatkan berupa nilai kapasitansi dari masing-masing perlakuan yang kemudian di rata-rata. Setelah didapatkan nilai rata-rata kapasitansi maka dapat dihitung nilai konstanta dielektriknya. Analisis data untuk metode pasif dapat dicari dengan persamaan 3.6.

$$\epsilon_r = \frac{C \cdot d}{A \cdot \epsilon_0} \quad (3.6)$$

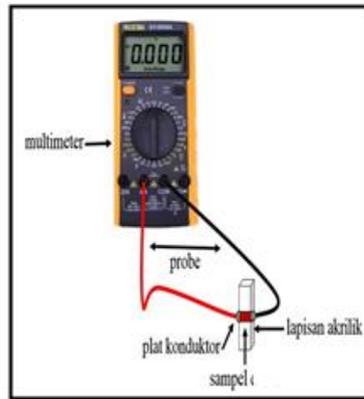
Dimana :  $\epsilon_r$  = Kontanta Dielektrik

$C$  = Kapasitansi rata-rata (F)

$d$  = jarak antar plat (m)

$\epsilon_0$  = Permittivitas ruang hampa ( $8,85 \times 10^{-2}$ )

$A$  = Luas penampang (m<sup>2</sup>)



**Gambar 3.8** Rangkaian kapasitansi meter.

## 2. LCR Meter

Pada metode aktif menggunakan rangkaian RLC seperti pada Gambar 3.6 dimana nilai resistansi (R) dan induktansi (L) diketahui sementara nilai kapasitornya diganti menggunakan kapasitor bahan yang akan diuji yaitu organ limpa dari mencit. Pada metode aktif hasil pengukuran yang didapatkan berupa nilai impedansi seperti pada persamaan 3.7 dari rangkaian RLC tersebut. Setelah didapatkan nilai impedansinya maka akan terjadi resonansi frekuensi, dari resonansi tersebut dapat dihitung nilai kapasitansi organ dengan persamaan 3.8 sebagai berikut :

$$Z = \sqrt{(X_C - X_L)^2 + X_R^2} \quad (3.7)$$

Dimana :  $Z$  = impedansi ( $\Omega$ )

$X_C$  = reaktansi kapasitif

$X_L$  = reaktansi induktif

$X_R$  = reaktansi resistansi

Pada impedansi bagian  $X_C$  dan  $X_L$  bernilai imajiner sementara

$X_R$  memiliki nilai pasti.

$$C = 4\pi^2 f^2 L \quad (3.8)$$

Dimana : C = kapasitansi organ (F)

f = frekuensi resonansi (Hz)

L = nilai induktansi (H)

(Fauzah, 2014)

### 3.5.4 Uji Kerusakan Mikroskopis

Setelah didapatkan gambar mikroskopis pada semua perlakuan maka dapat diketahui presentase kerusakan organnya. Persentase kerusakan organ dapat dihitung dengan persamaan 3.9 :

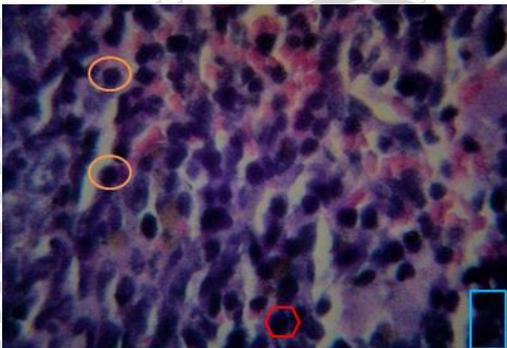
$$\text{Persentase kerusakan} = \frac{\text{jumlah sel yang rusak}}{\text{jumlah sel keseluruhan}} \times 100\% \quad (3.9)$$



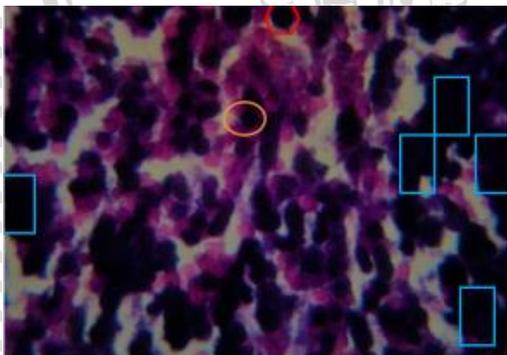
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Kerusakan Organ Limpa Mencit dengan Uji Mikroskopis

Pada organ limpa data yang dihitung adalah banyaknya sel nekrosis, sel limfosit dan sel normal. Pengamatan dan pengolahan data untuk mengetahui jenis sel yang diamati menggunakan aplikasi *image raster*. Hasil pengamatan mikroskopis organ limpa ditunjukkan seperti pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



**Gambar 4.1** Gambaran mikroskopis organ limpa mencit kelompok kontrol dengan perbesaran 1000 kali.



**Keterangan Gambar :**

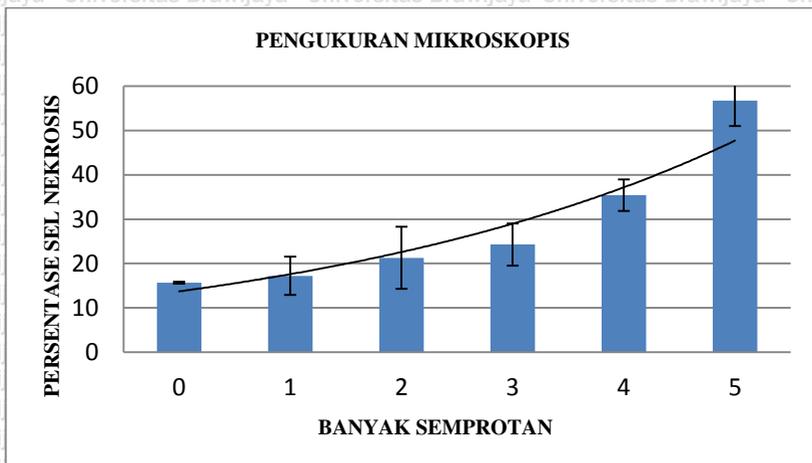
 : Sel Nekrosis

 : Sel Limfosit

 : Sel Normal

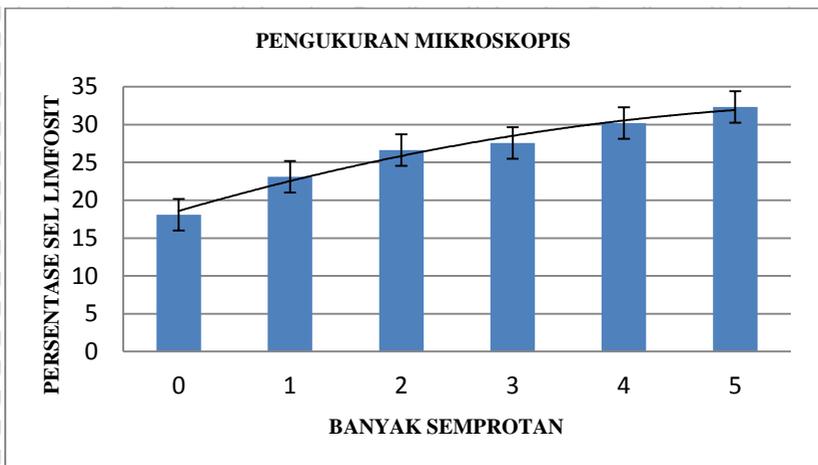
**Gambar 4.2** Gambaran mikroskopis organ limpa mencit kelompok perlakuan 5x semprot dengan perbesaran 1000 kali.

Grafik Hubungan antara sel nekrosis dan sel limfosit terhadap banyaknya semprotan dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



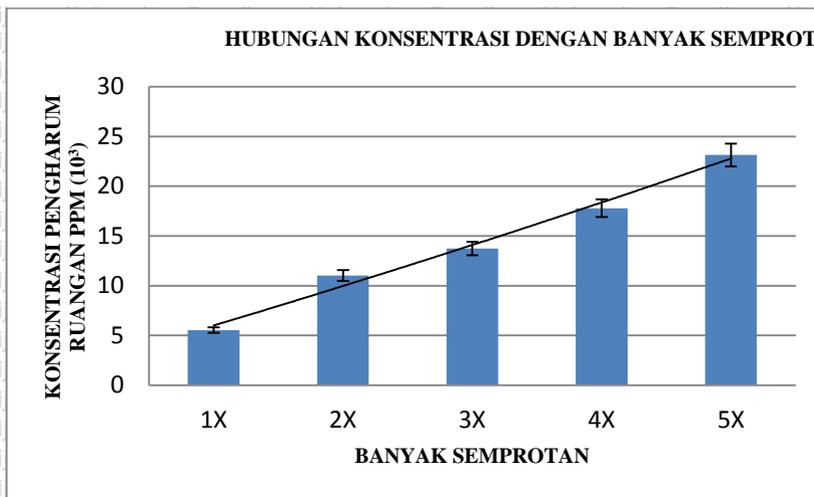
Gambar 4.3 Grafik hubungan banyak semprot terhadap sel nekrosis.

Gambar 4.3 menjelaskan grafik hubungan antara banyaknya semprotan terhadap sel nekrosis. Grafik tersebut memiliki persamaan garis  $y = 2.2729x^2 - 8.83944x + 23.341$  dengan nilai regresi  $R^2 = 0.9776$ . Pada grafik diatas menunjukkan bahwa semakin banyak semprotan maka kerusakan sel atau jumlah sel nekrosis semakin meningkat dengan besar kerusakan sebesar 56.76% pada perlakuan 5x semprot. Berdasarkan grafik tersebut berarti terbukti bahwa bahan aktif formaldehid dan *phthalates* yang terkandung di dalam pengharum ruangan semprot mengakibatkan kerusakan dalam tubuh terutama organ limpa.



**Gambar 4.4** Grafik hubungan banyak semprot terhadap sel limfosit.

Gambar 4.4 menunjukkan grafik hubungan antara banyak semprotan dengan jumlah sel limfosit. Grafik tersebut memiliki persamaan garis  $y = -0.3211x^2 + 4.9162x + 13.991$  dengan besar nilai regresi  $R^2 = 0.9822$ . Pada grafik tersebut dapat dilihat semakin banyaknya semprotan nilai limfosit juga meningkat dengan nilai persentase sel limfosit pada 5x semprot sebesar 32.33%, hal tersebut dikarenakan sel limfosit berhubungan juga dengan peningkatan kerusakan sel. Semakin sel mengalami kerusakan maka akan terjadi peningkatan aktivitas sistem imun karena banyaknya benda asing yang masuk ke dalam tubuh, sehingga ketika sel semakin rusak produksi sel limfosit juga akan meningkat seiring dengan semakin banyaknya semprotan.

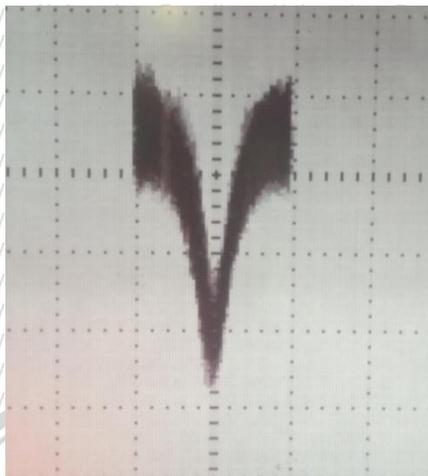


**Gambar 4.5** Grafik hubungan banyaknya semprotan dengan konsentrasi dosis semprotan (PPM).

Pada Gambar 4.5 dapat diketahui bahwa banyaknya semprotan mempengaruhi konsentrasi dosis semprotan (PPM). Grafik tersebut memiliki persamaan garis  $y = 75.969x^2 + 3740.6x + 2191.7$  dengan regresi  $R^2 = 0.9894$ . Adanya peningkatan antara konsentrasi dosis semprotan dengan banyaknya semprotan berpengaruh pada tingkat kerusakan pada organ limpa.

#### 4.2 Kalibrasi ESR (*Electron Spin Resonance*) dengan DPPH

ESR sebelum digunakan harus dikalibrasi terlebih dahulu. Kalibrasi alat bertujuan untuk mengukur keakuratan dan ketepatan alat sebelum digunakan sebagai alat uji. Bahan DPPH digunakan sebagai kalibrasi alat ESR dikarenakan sifat DPPH yang stabil sehingga DPPH dipilih sebagai bahan untuk kalibrasi ESR. Kalibrasi DPPH akan dihasilkan kurva *Lissajous* berbentuk 'V' pada osiloskop seperti pada Gambar 4.6.

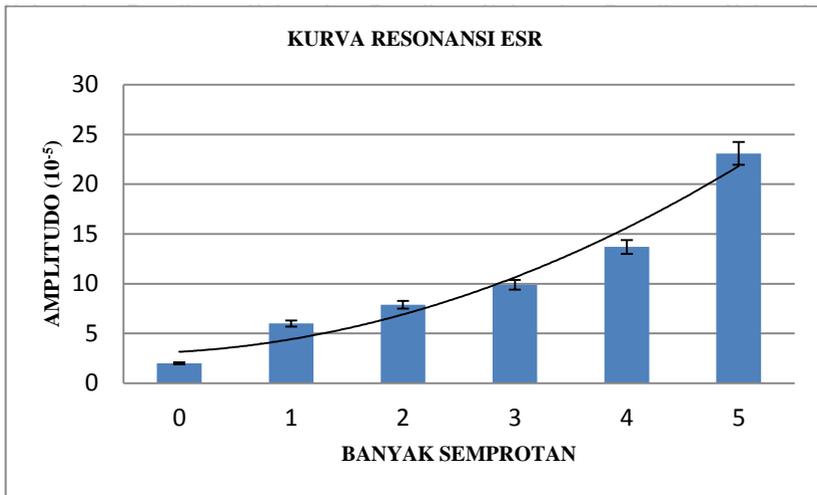


**Gambar 4.6** Kurva *Lissajous* dari kalibrasi DPPH.

**Tabel 4.1** Hasil pengukuran kalibrasi DPPH.

F (MHz)	Arus (A)	Faktor-g eksperimen	Faktor-g literatur	Faktor kalibrasi
23.5	0.197	2.015681005	2.0036	0.9940065

Berdasarkan Tabel 4.1 diatas didapatkan nilai faktor-g DPPH menurut literatur sebesar 2.0036 (Farihatin, 2014) dan nilai faktor-g hasil pengukuran didapatkan nilai sebesar 2.015681005 dengan faktor kalibrasi sebesar 0.9940065. Nilai faktor kalibrasi menunjukkan keakuratan suatu alat dengan nilai sebesar 0.9940065 itu berarti mendekati angka 1 yang berarti ESR tersebut dinyatakan akurat sebagai alat ukur. Setelah diketahui nilai faktor-g eksperimen dan faktor kalibrasinya maka bisa didapatkan nilai faktor-g sesungguhnya dengan cara mengalikan faktor-g eksperimen dan faktor kalibrasinya.



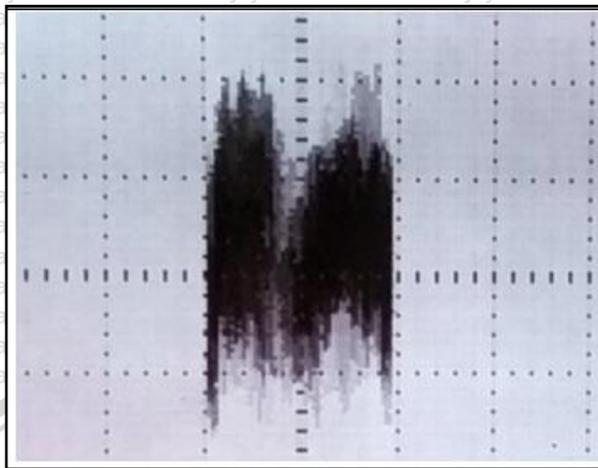
**Gambar 4.7** Grafik cekungan kurva resonansi ESR.

Gambar 4.7 merupakan grafik cekungan kurva resonansi pada ESR. Grafik pada Gambar 4.7 memiliki persamaan garis  $y = 6x10^{-6}x^2 - 6x10^{-6}x + 3x10^{-5}$  dengan nilai regresi  $R^2 = 0.9579$ . Berdasarkan grafik diatas menunjukkan semakin banyaknya semprotan cekungan pada kurva *Lissajous* berbentuk ‘V’ akan semakin tajam. Semakin tajamnya kurva *Lissajous* berkorelasi dengan banyaknya jumlah radikal bebas yang disebabkan oleh banyaknya semprotan.

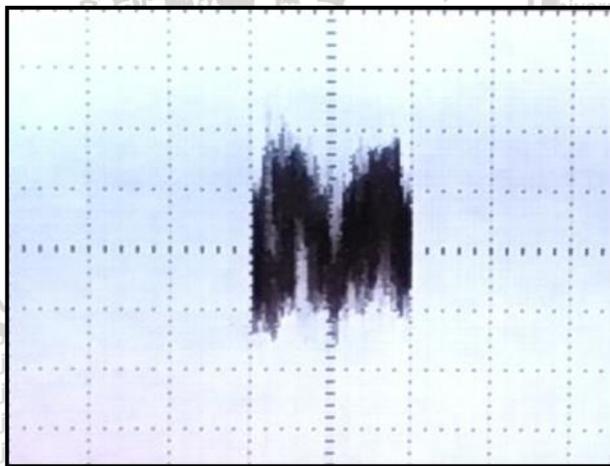
#### 4.2.1 Identifikasi Radikal Bebas Organ Limpa dari Mencit yang Terpapar Pengharum Ruang Semprot

Adanya radikal bebas di dalam suatu organ ditunjukkan dengan terbentuknya kurva *Lissajous* pada osiloskop dan jika organ tersebut tidak mengandung radikal bebas maka tidak akan membentuk kurva *Lissajous*. Organ yang tidak mengandung radikal bebas dan mengandung radikal bebas akan ditunjukkan pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.





**Gambar 4.8** Gambar ESR pada perlakuan kontrol.



**Gambar 4.9** Gambar ESR organ limpa dengan perlakuan 5x semprot.

Tabel 4.2 Jenis radikal bebas hasil penelitian.

Arus (A)	Frekuensi (MHZ)	Faktor g-ekperimen	Faktor g-literatur	Jenis Radikal Bebas
0.199	17.6	1.508109056	1.501	$O_2^-$
0.199	17.7	1.516677857	1.501	$O_2^-$
0.199	17.6	1.508109056	1.501	$O_2^-$
0.199	17.7	1.516677857	1.501	$O_2^-$
0.199	17.6	1.508109056	1.501	$O_2^-$
0.197	17.4	1.506108219	1.501	$O_2^-$

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa adanya kandungan radikal bebas di dalam organ limpa akibat dari paparan pengharum ruangan semprot. Jenis radikal bebas yang terkandung di dalam limpa adalah  $O_2^-$  (anion superoksida). Nilai arus dan frekuensi yang didapat lalu diolah sehingga didapatkan nilai faktor g-ekperimen dan kemudian dibandingkan dengan faktor g-literatur sehingga dapat diidentifikasi jenis kandungan radikal bebasnya seperti yang tertera pada Tabel 4.2.

#### 4.2.2 Mekanisme Terbentuknya Radikal Bebas Anion Superoksida

Radikal bebas adalah suatu atom yang tidak memiliki pasangan elektron sehingga sifatnya yang sangat reaktif. Radikal bebas akan bereaksi dengan sangat cepat dengan cara mengambil elektron yang berada disekitarnya dan hal tersebut akan berpengaruh pada kerusakan jaringan normal. Radikal bebas dalam batas yang normal dapat digunakan dalam beberapa proses antara lain transportasi elektron. Radikal bebas dalam kadar normal dapat membantu limfosit dan leukosit untuk menghancurkan benda asing yang masuk ke dalam tubuh sehingga bersifat anti bodi. Radikal bebas dalam jumlah yang berlebihan akan menyebabkan stres oksidatif. Stres oksidatif dapat menyebabkan terjadinya proses biokimiawi sehingga merusak jaringan (nekrosis). Proses stres oksidatif diakibatkan karena adanya *reactive oxygen species* (ROS). *Reactive Oxygen Species* (ROS) adalah radikal bebas yang berupa pengoksida turunan oksigen dengan elektron tidak berpasangan dan bersifat sangat reaktif (Reni, 2018).

Pada dasarnya tubuh dapat menghasilkan jenis radikal bebas  $O_2^-$  seperti pada hasil perhitungan ESR. Radikal bebas  $O_2^-$  didalam tubuh dapat terjadi karena proses pembentukan radikal bebas ini terjadi di dalam mitokondria pada saat proses metabolisme oksidatif dimana saat proses metabolisme tersebut terjadi kebocoran elektron sehingga terbentuklah radikal bebas  $O_2^-$  tersebut. Jenis radikal bebas jenis ini berasal dari reduksi  $O_2$ . Dalam tubuh saat kondisi normal reduksi  $O_2$  menjadi  $H_2O$  dan jika dikatalis menggunakan enzim sitokrom oksidase memerlukan empat buah elektron dari 10% total konsumsi dalam mitokondria yang hasil reaksinya akan menghasilkan ROS (Wahyu, Ratu, Rymond, & Marlinda, 2005).

Radikal bebas yang ditunjukkan oleh pengukuran ESR adalah anion superoksida yang memiliki sifat pengoksidasi dalam transfer elektron. Radikal anion superoksida menjadi salah satu jenis radikal bebas yang sering diteliti karena dapat bereaksi dengan berbagai substrat biologis. Radikal anion superoksida dapat terbentuk jika molekul  $O_2$  menerima satu elektron. Proses terbentuknya radikal bebas anion superoksida dapat dilihat pada Gambar 4.10.



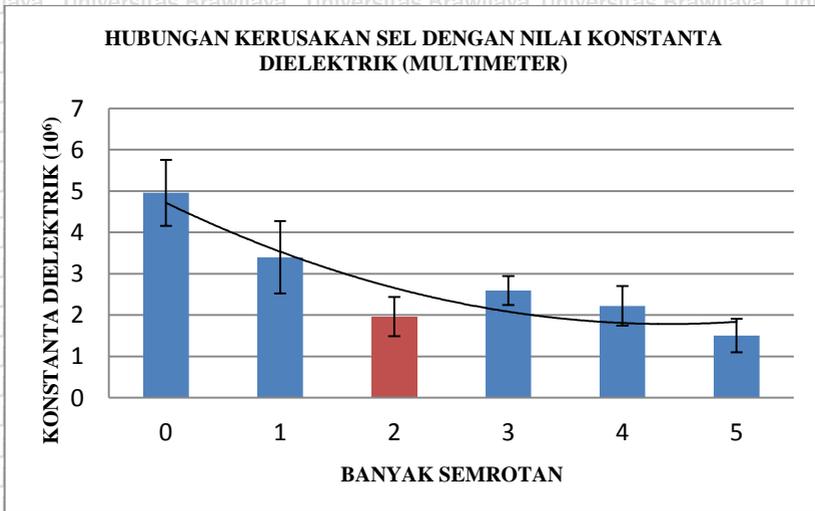
**Gambar 4.10** Proses terbentuknya radikal bebas anion superoksida.

Reaksi  $O_2^-$  sangatlah terbatas karena adanya dismutasi spontan dalam pH fisiologik yang akhirnya membentuk H dan  $O_2^-$ . Terbatasnya reaktivitas  $O_2^-$  menyebabkan radikal bebas ini dapat bereaksi dengan substrat dalam jarak yang jauh dari tempat asalnya dan itulah sebabnya radikal bebas ini cukup berbahaya (Reni, 2018). Radikal anion superoksida akan semakin berbahaya jika bersamaan dengan hydrogen peroksida karena dapat menghasilkan radikal hidroksil dan mengganggu sistem pertahanan sehingga tubuh tidak lagi bekerja dengan baik dalam sistem perlindungan (Wahyu et al., 2005).

### 4.3 Identifikasi Nilai Konstanta Dielektrik terhadap Kerusakan Organ Limpa dari Mencit

Pengambilan data untuk konstanta dielektrik menggunakan alat kapasitansi meter dan data yang diperoleh adalah nilai kapasitansi (C). Konstanta dielektrik adalah sifat kelistrikan pada suatu jaringan

biologis yang dipengaruhi medan listrik dari luar (Firdaus, S, & Sucipto, 2000). Pada metode pasif organ limpa yang digunakan sebagai bahan dielektrik dipengaruhi oleh medan listrik pada plat kapasitor dan akan bersifat insulator yang artinya muatan pada organ limpa akan diam dan tidak bebas bergerak akibat adanya pengaruh medan listrik dari luar. Pada metode aktif nilai resistansi, induktansi, dan kapasitansi juga dipengaruhi oleh frekuensi yang dirubah-ubah dari frekuensi 100 hingga 2000 Hz.

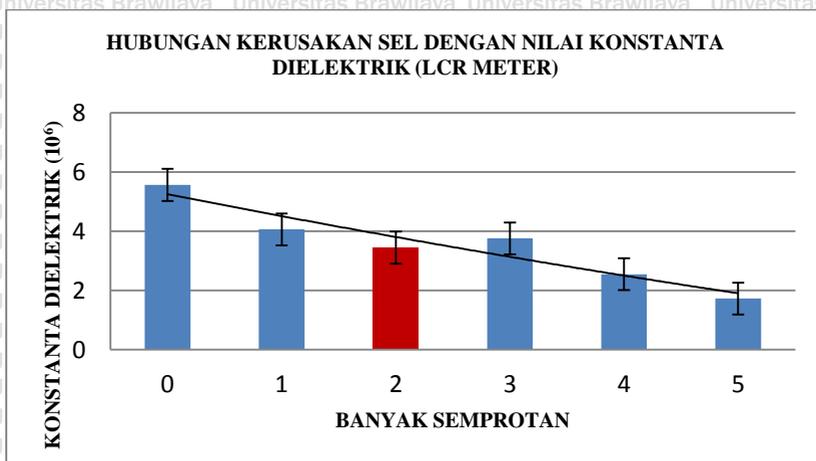


**Gambar 4.11** Grafik hubungan antara konstanta dielektrik dengan banyak semprotan menggunakan multimeter.

Pada Gambar 4.11 merupakan grafik hubungan nilai konstanta dielektrik terhadap kerusakan sel yang diakibatkan oleh banyaknya semprotan. Grafik tersebut memiliki persamaan garis  $y = 151139x^2 - 2 \times 10^6x + 6 \times 10^6$  dengan besar nilai regresi  $R^2 = 0.8573$ . Berdasarkan grafik diatas dapat dinyatakan bahwa semakin banyak semprotan organ limpa akan semakin rusak maka sifat konstanta dielektriknya semakin turun. Pada perlakuan 5 kali semprot nilai konstanta dielektriknya sangat rendah yaitu sebesar 1.5 juta jika dibandingkan dengan nilai kontrol yang sebesar 4.5 juta perbandingan tersebut cukup jauh. Berdasarkan grafik dan hasil yang didapatkan maka nilai konstanta dielektrik berbanding terbalik dengan grafik mikroskopis kerusakan sel, karena pada kerusakan sel semakin banyak semprotan



sel yang rusak akan semakin tinggi namun pada konstanta dielektrik nilainya akan semakin turun karena semakin rusak suatu jaringan maka sifat kelistrikannya akan semakin kecil.

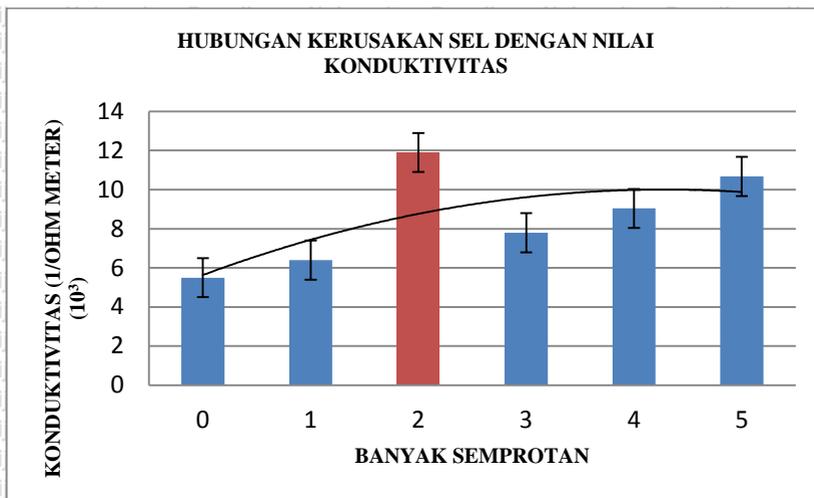


**Gambar 4.12** Grafik hubungan antara konstanta dielektrik dengan banyak semprotan menggunakan LCR meter.

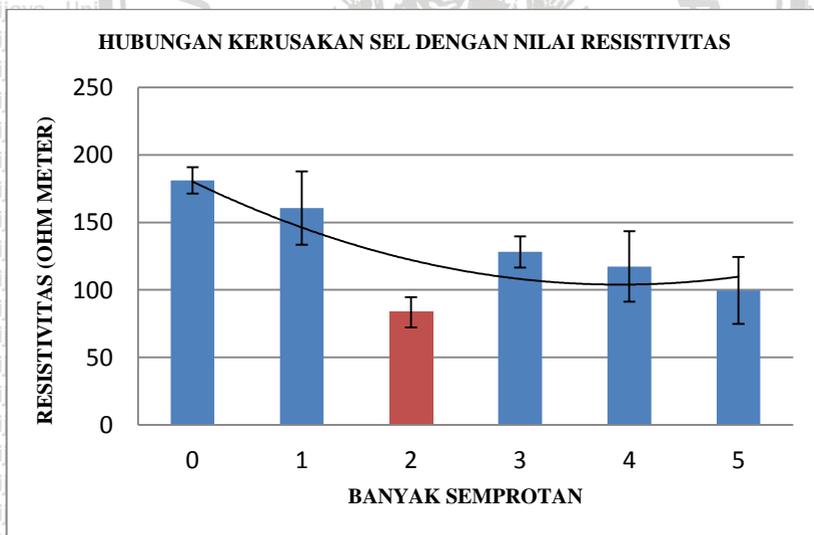
Gambar 4.12 adalah grafik hubungan nilai konstanta dielektrik terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh banyaknya semprotan. Grafik tersebut memiliki persamaan garis  $y = 18004x^2 - 795162x + 6x10^6$  dengan besar nilai regresi  $R^2 = 0.9026$ . Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 menunjukkan adanya konsistensi secara pola grafik dimana antara pengukuran metode pasif dan metode aktif didapatkan nilai konstanta dielektrik yang sama-sama turun. Nilai konstanta dielektrik dengan menggunakan metode aktif pada perlakuan kontrol kurang lebih sebesar 5.5 juta sementara pada perlakuan 5x semprot sebesar 1.7 juta, antara metode pasif dan metode aktif didapatkan selisih nilai yang tidak terlalu jauh (Rosita & Widodo, 2000).

#### 4.4 Identifikasi Nilai Konduktivitas dan Resistivitas terhadap Kerusakan Organ Limpa dari Mencit

Konduktivitas adalah kemampuan suatu bahan dalam menghantarkan arus listrik. Nilai konduktivitas berbanding terbalik dengan nilai resistivitas. Pengambilan data untuk konduktivitas menggunakan alat multimeter yang diatur pada ohmmeter sehingga didapatkan nilai resistansi (R).

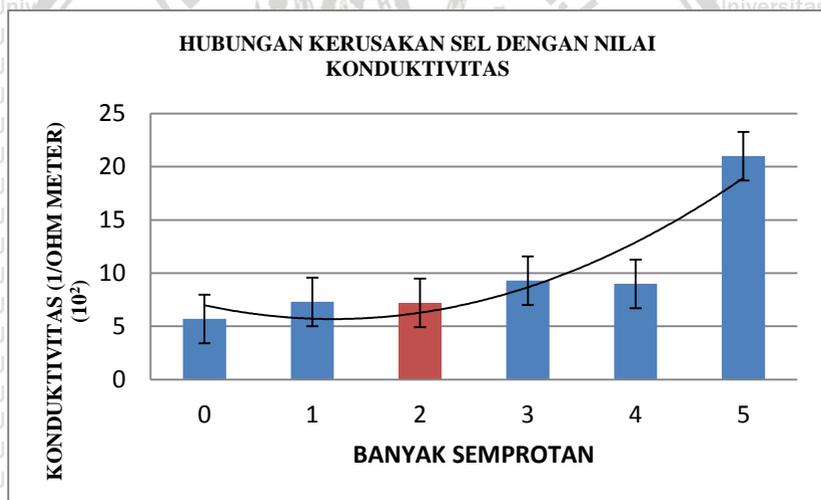


Gambar 4.13 Grafik hubungan antara konduktivitas dengan banyak semprot dan kerusakan sel menggunakan multimeter.

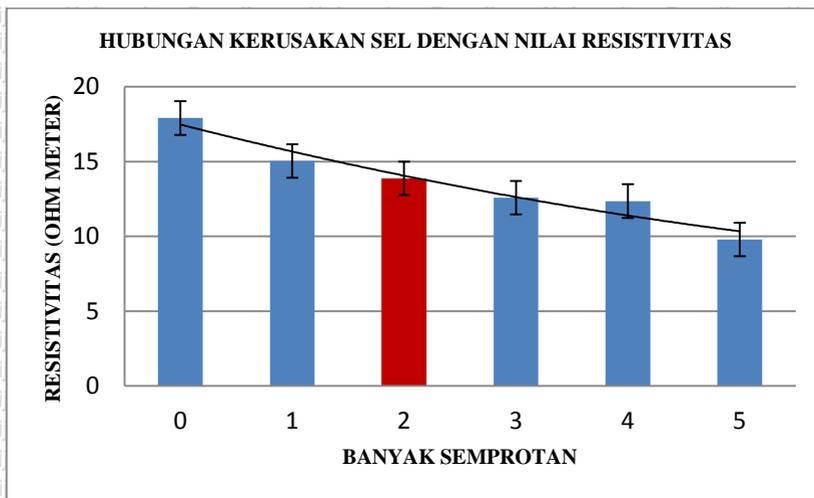


Gambar 4.14 Grafik hubungan antara resistivitas dengan banyak semprot dan kerusakan sel menggunakan multimeter.

Berdasarkan Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 merupakan grafik konduktivitas dan resistivitas dengan alat multimeter. Pada grafik konduktivitas memiliki persamaan garis  $y = 0.0002x^2 + 0.0026x + 0.0034$  dengan besar nilai regresi  $R^2 = 0.4787$ , sementara itu grafik resistivitas memiliki persamaan garis  $y = 4.9841x^2 - 48.981x + 224.26$  dengan besar nilai regresi  $R^2 = 0.648$ . Nilai konduktivitas dan resistivitas berbanding terbalik dimana ketika suatu jaringan semakin rusak maka arus yang masuk akan semakin besar. Ketika suatu jaringan tidak mampu menahan arus listrik yang masuk maka ion-ion di dalam tubuh terus menerus lepas sehingga muncul kerusakan pada sel dan terjadi peningkatan konsentrasi metabolit ion, karena hal-hal tersebutlah maka akan terjadi peningkatan nilai konduktivitas listrik. Ketika semakin tinggi nilai konduktivitasnya maka nilai resistivitas semakin turun karena antara konduktivitas dan resistivitas berbanding terbalik.



**Gambar 4.15** Grafik hubungan antara konduktivitas dengan banyak semprot dan kerusakan sel menggunakan LCR meter.



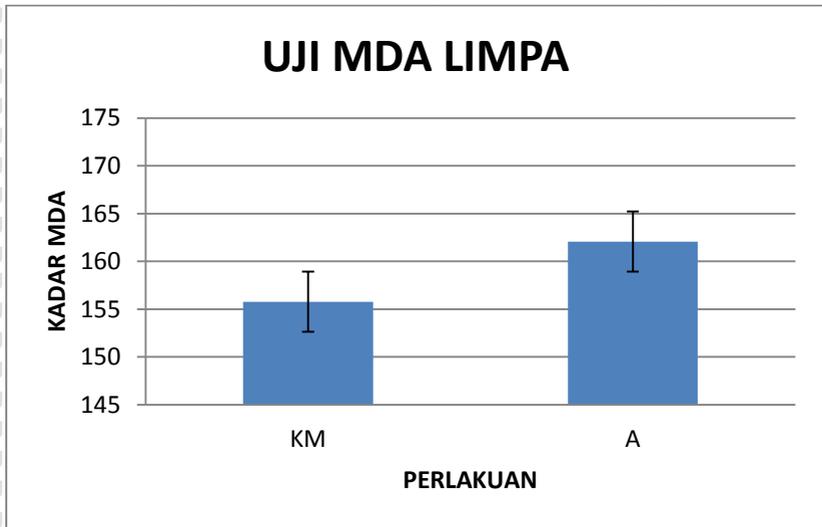
**Gambar 4.16** Grafik hubungan antara resistivitas dengan banyak semprot dan kerusakan sel menggunakan LCR meter.

Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 merupakan grafik konduktivitas dan resistivitas dengan alat LCR meter. Pada grafik konduktivitas memiliki persamaan garis  $y = 0.0097x^2 - 0.0429x + 0.1041$  dengan besar nilai regresi  $R^2 = 0.8375$ , sementara itu grafik resistivitas memiliki persamaan garis  $y = 0.0943x - 2.0865x + 19.465$  dengan besar nilai regresi  $R^2 = 0.9508$ . Nilai konduktivitas dan resistivitas pada metode aktif memiliki pola yang sama seperti halnya metode pasif, tetapi hasil yang didapatkan berbeda sangat jauh. Pada metode pasif nilai konduktivitas berkisar diangka 0.003 hing 0.007  $\text{Ohm}^{-1}$ , sementara pada metode aktif berkisar antara 0.05 hingga 0.25  $\text{Ohm}^{-1}$ . Pada resistivitas juga berbanding sangat jauh dimana metode pasif pada range ratusan sementara metode aktif pada range puluhan.

#### 4.5 Uji MDA Limpa

Organ limpa yang sudah diambil lalu dicuci menggunakan larutan PbS lalu setelah itu dipotong dengan berat 1 gram. Pengukuran kadar MDA pada sampel menggunakan uji asam tiobarbiturat dalam kondisi asam sehingga dapat digunakan sebagai reagen untuk mendeteksi adanya oksidasi lipid pada sistem biologis.

Asam tiobarbiturat akan bereaksi dengan aldehid yang kemudian membentuk pigmen yang berwarna merah, lalu pigmen tersebut akan dibaca menggunakan spektrofotometer. Uji MDA pada limpa digunakan untuk mengetahui kadar MDA yang mana kadar MDA ini berbanding lurus dengan kadar radikal bebas yang berada di dalam limpa.



**Gambar 4.17** Grafik hubungan uji MDA limpa dengan kerusakan sel.

Gambar 4.17 menunjukkan hasil pengujian antara perlakuan kontrol dan 5x semprot sebagai perbandingan hasil uji. Grafik diatas menunjukka bahwa antara perlakuan kontrol dengan perlakuan 5 kali semprot nilai MDA lebih tinggi perlakuan 5 kali semprot. Hal ini dikarenakan pada perlakuan 5 kali semprot jumlah radikal bebasnya lebih banyak dan hal tersebut telah dibuktikan dari hasil pengujian ESR. Semakin tinggi nilai MDA maka nilai kerusakannya semakin besar dan hal tersebut juga berbanding lurus dengan data mikroskopis yang ada.

#### 4.6 Pembahasan Kerusakan Organ Limpa Mencit dengan Uji Mikroskopis

Sel nekrosis merupakan salah satu pola dasar dalam kematian sel. Sel yang mengalami proses nekrosis tidak dapat kembali ke bentuk semula atau bersifat *irreversible* dan titik akhir sel nekrosis



adalah kematian sel (Msg, Maulida, Ilyas, & Hutahaean, 2010). Nekrosis dapat terjadi ketika ada banyak toksik atau racun di dalam tubuh sehingga terjadi pembengkakan sel dan terjadi kerusakan organ, setelah sel mengalami nekrosis maka proses selanjutnya adalah sel menjadi lisis atau pecah. Pada organ limpa terdapat pulpa merah dan pulpa putih dimana di dalam pulpa putih terdapat limfosit. Limfosit berperan penting dalam sistem kekebalan tubuh. Limfosit mampu memproduksi suatu bahan yang digunakan untuk melawan molekul-molekul asing. Didalam limpa banyak terdapat sel limfosit karena fungsi limpa sebagai sistem imun di dalam tubuh (Junqueira et al., 1995).

Berdasarkan hasil pengamatan mikroskopis organ limpa mencit yang ditimbulkan oleh pengharum ruangan semprot yang mengandung formaldehid dan *phthalates* terbukti menyebabkan kerusakan organ limpa mencit. Paparan pengharum ruangan menyebabkan sel-sel pada organ limpa mengalami kerusakan atau nekrosis. Sel nekrosis ditandai dengan bentuk sel yang tidak beraturan berbentuk lonjong dan berwarna lebih gelap dari sel-sel lainnya. Sel normal susunan selnya lebih terlihat lebih teratur dan rapat serta berbentuk bulat. Selain sel nekrosis dan sel normal terdapat juga sel limfosit. Sel limfosit berukuran lebih besar dari sel normal dan sel-sel disekitarnya. Seiring dengan timbulnya sel nekrosis limpa juga memproduksi sel limfosit namun banyak tidaknya sel limfosit tidak terlalu dipengaruhi oleh sel nekrosis karena jika tidak ada sel nekrosis pun limpa akan tetap memproduksi sel limfosit. Jumlah sel limfosit yang berlebihan juga dapat mempengaruhi keseimbangan tubuh bahkan dapat menyebabkan beberapa penyakit lainnya. Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 merupakan gambaran kerusakan pada organ limpa mencit yang terpapar pengharum ruangan semprot yang terdapat bahan aktif formaldehid dan *phthalates*.

Gambar 4.1 merupakan gambar mikroskopis organ limpa mencit tanpa perlakuan atau kontrol dengan perbesaran 1000 kali. Pada pengamatan sel kontrol jumlah sel normal lebih banyak dibandingkan dengan sel nekrosis. Sel normal susunan selnya terlihat lebih teratur dan rapat serta berbentuk bulat. Adanya sel nekrosis pada perlakuan kontrol mengindikasikan adanya kerusakan sel, namun kerusakan sel tersebut bukan dikarenakan adanya suatu perlakuan terhadap hewan coba melainkan karena faktor eksternal seperti faktor lingkungan yang meliputi kondisi kandang, faktor

makanan dan keadaan kesehatan mencit diawal dimana dalam penelitian ini kondisi awal mencit diabaikan karena kondisi awal setiap mencit yang tidak diketahui. Selain sel nekrosis dan sel normal terdapat juga sel limfosit. Sel limfosit berukuran lebih besar dari sel normal dan sel-sel disekitarnya. Sel ini berperan sebagai sistem imun yang akan melawan benda-benda asing yang masuk ke dalam tubuh. Adanya sel limfosit ini dikarenakan adanya sel nekrosis di dalam organ limpa, namun secara normal sel limfosit akan tetap ada karena perannya yang sebagai sistem imun.

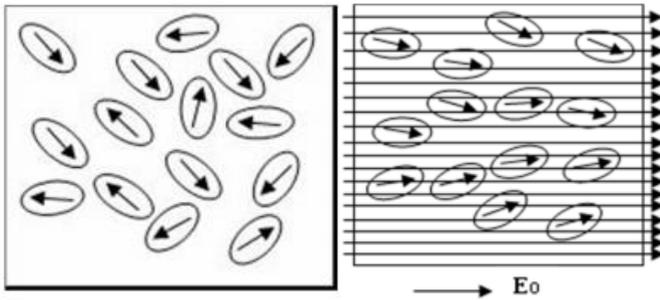
Pada Gambar 4.2 menunjukkan perlakuan 5x semprot dan dapat dilihat pada perlakuan 5x semprot sebagian besar sel mengalami kerusakan dan terjadi proliferasi limfosit. Proliferasi limfosit adalah suatu keadaan dimana terjadi aktivasi respon imun tubuh, di dalam proliferasi limfosit terjadi peningkatan jumlah limfosit. Akibat dari proliferasi limfosit ini limpa menjadi bengkak dan melunak. Karena adanya paparan bahan aktif formaldehid dan *phthalates* yang cukup banyak mengakibatkan susunan sel menjadi tidak teratur dan sel-selnya menjadi gumpal sehingga sulit untuk diamati antara sel sehat dan sel nekrosisnya, akan tetapi jika diamati lebih teliti jumlah sel nekrosis lebih banyak jika dibandingkan dengan sel normal.

Dilihat dari keterkaitan antara Gambar 4.3 yang merupakan grafik sel nekrosis dengan Gambar 4.4 yang merupakan gambaran mikroskopis pada perlakuan 5x semprot menunjukkan adanya kesinambungan atau berbanding lurus, yang artinya semakin banyak mencit diberikan paparan pengharum ruangan maka kerusakan sel juga akan meningkat cukup drastis. Hal ini membuktikan bahwa kandungan di dalam pengharum ruangan memang mengandung bahan yang cukup berbahaya jika terhirup terlalu sering dan terlalu banyak ketika masuk ke dalam tubuh. Ketika suatu sel semakin rusak maka nilai resistivitasnya akan semakin menurun hal tersebut disebabkan oleh semakin hilangnya daya penghambat pada suatu sel.

#### **4.7 Pembahasan Identifikasi Nilai Konstanta Dielektrik terhadap Kerusakan Organ Limpa dari Mencit**

Organ limpa tersusun dari sel dan jaringan yang memiliki sifat kelistrikan. Dalam Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 terdapat penurunan nilai konstanta dielektrik, hal tersebut dikarenakan karena adanya peningkatan konsentrasi pengharum ruangan semprot terhadap jumlah momen dipol di dalam limpa. Konstanta dielektrik

dapat dipengaruhi banyak faktor antara lain jumlah sel normal, medan listrik dari luar dan momen dipol. Keadaan sehat suatu limpa ditandai dengan banyaknya sel normal, sehingga ketika limpa dimasukkan ke dalam plat konduktor yang memiliki muatan, kemampuan limpa dalam polarisasi semakin besar. Polarisasi adalah proses pengkutuban yang akan ditunjukkan pada Gambar 4.18. Bahan dielektrik akan mengalami polarisasi ion karena adanya pengaruh medan listrik dari luar, ketika proses polarisasi ini terjadi maka akan dihasilkan momen dipol (Fauzah, 2014). Momen dipol merupakan muatan berlawanan yang dipisahkan jarak sejauh  $d$ . Momen dipol akan mempengaruhi besarnya nilai polarisasi yang terjadi. Momen dipol yang berada di dalam bahan dielektrik yang diberi pengaruh medan listrik dari luar akan mengalami polarisasi dengan cara menyearahkan diri.



**Gambar 4.18** Proses pengkutuban bahan dielektrik yang dipengaruhi medan listrik dr luar.

Hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan nilai konstanta dielektrik baik pada metode pasif maupun metode aktif dengan seiringnya banyak kerusakan. Semakin tinggi momen dipol menunjukkan semakin banyaknya jumlah atom yang terdapat di dalam jaringan biologis. Jumlah atom yang terdapat di dalam jaringan biologis menunjukkan banyaknya sel sehat. Karena jumlah momen dipol yang semakin tinggi maka nilai konstanta dielektrik akan semakin tinggi. Oleh karena itu pada penelitian ini semakin banyak semprotan menunjukkan semakin banyak kerusakan sel, hal tersebut berbanding terbalik dengan nilai konstanta dielektriknya dimana semakin rusak sel nilai konstanta dielektriknya akan semakin turun.

#### 4.8 Pembahasan Identifikasi Nilai Konduktivitas dan Resistivitas terhadap Kerusakan Organ Limpa dari Mencit

Konduktivitas adalah kemampuan suatu bahan dalam menghantarkan listrik. Suatu beda potensial jika ditempatkan pada ujung bahan konduktor maka muatannya akan bergerak dan berpindah sehingga dihasilkan arus listrik. Konduktivitas listrik dapat didefinisikan juga sebagai ratio dari rapat arus  $J$  terhadap kuat medan listrik  $E$ . Kebalikan dari konduktivitas adalah resistivitas yaitu kemampuan suatu dalam menahan listrik yang masuk ke dalam sel (Yustinus & Sudaryanto, 2013).

Membran sel memiliki sifat seperti kapasitor, sehingga ketika ada rangkaian ekivalen yang menggambarkan sel dalam jaringan memiliki nilai  $R$  resistansi dan  $C$  kapasitansi. Besarnya nilai konduktivitas suatu bahan biologis berbeda-beda tergantung pada sifat membran dan banyaknya ion yang terkandung di dalam bahan biologis (Rahmatie et al., 2016). Pada penelitian ini nilai konduktivitas mengalami kenaikan hal tersebut dikarenakan adanya pengaruh frekuensi. Frekuensi yang semakin tinggi menyebabkan adanya pengaruh reaktansi kapasitansi membran yang berkaitan dengan nilai konstanta dielektrik. Pengaruh reaktansi kapasitansi yang dipengaruhi frekuensi menyebabkan tingginya mobilitas ion-ion pada jaringan. Konduktivitas yang diartikan sebagai kemampuan suatu bahan dalam mengantarkan listrik ketika jaringan semakin rusak maka arus listrik yang terhantarkan akan semakin besar dan daya hambat listrik semakin kecil.

Pada penelitian ini secara pola grafik antara metode pasif dan aktif memiliki kesamaan, namun didapatkan nilai yang berbeda cukup jauh, hal tersebut dikarenakan sumber arus yang digunakan juga berbeda dimana pada metode pasif sumber arus yang digunakan adalah baterai yang berarti arus DC sementara pada metode aktif digunakan arus AC. Arus AC yang berarti arus bolak-balik menyebabkan arus yang lewat akan semakin besar jika dibandingkan dengan arus DC itulah salah satu penyebab terjadi perbedaan nilai yang cukup signifikan antara metode aktif dan metode pasif. Selain hal-hal diatas terdapat juga data pada perlakuan  $2x$  semprot dimana data tersebut dihilangkan karena hasil resistansi yang didapatkan sangat kecil. Penyebab adanya perbedaan nilai resistansi yang sangat jauh pada perlakuan  $2x$  semprot adalah kondisi awal mencit yang dari awal memang sudah tidak sehat, hal tersebut

dikarenakan dalam penelitian ini kondisi awal suatu mencit  
diabaikan dan adanya perbedaan kondisi dari setiap mencit.



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kesimpulan bahwa radikal bebas yang terbentuk akibat bahan aktif formaldehid dan *phthalates* yang terkandung di dalam pengharum ruangan semprot tipe-X adalah  $O_2^-$  (anion superoksida). Anion superoksida menyebabkan kerusakan sebesar 56% pada organ limpa. Akibat tingginya kerusakan yang terjadi menyebabkan sifat kelistrikan dan daya tahan arus pada limpa menurun hal tersebut dibuktikan dalam grafik konstanta dielektrik dan resistivitas yang menunjukkan semakin rusak suatu sel maka nilainya semakin turun. Pengukuran resistivitas dengan multimeter nilainya pada kontrol sebesar 181,146 ( $\Omega m$ ) sementara pada perlakuan 5x semprot sebesar 99.63( $\Omega m$ ), sementara pengukuran dengan LCR meter pada kontrol sebesar 17.92 ( $\Omega m$ ) dan pada perlakuan 5x semprot sebesar 9.79 ( $\Omega m$ ), dengan semakin turunnya nilai resistivitas membuat nilai konduktivitas semakin naik. Pada pengukuran konstanta dielektrik dengan LCR meter nilai perlakuan kontrol sebesar 5,5 juta sementara pada perlakuan 5x semprot sebesar 1,7 juta, sementara dengan multimeter nilai pada kontrol sebesar 4.9 juta dan 5x semprot sebesar 1.5 juta. Kerusakan sel menyebabkan arus dari luar yang mengenai sel yang rusak semakin tinggi, hal tersebut dikarenakan daya tahannya yang semakin hilang. Kerusakan sel juga semakin diperkuat dengan adanya uji senyawa MDA yang menyatakan pada perlakuan 5x semprot, nilai MDA yang terdapat didalam limpa cukup tinggi yaitu sebesar 162.1 ng/ml.

### 5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan variasi waktu paparan dan variasi jenis pengharum ruangan semprot serta penambahan uji sitokin IL-1Beta sebagai uji tambahan dalam limpa.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adil, E. (2005). *Pengantar Praktikum Struktur Hewan*. Jakarta.
- Akbar, B. (2010). *Tumbuhan Dengan Senyawa Aktif Yang Berpotensi Sebagai Bahan Antifertilitas*. Jakarta: Adabia Press
- UIN, (1), 1–59. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Anggit, P. (2009). *Perbedaan Kerusakan Otot Jantung Tikus Wistar Akibat Paparan Arus Listrik Secara Langsung Dan Melalui Media Air*. Universitas Diponegoro.
- Danusantoso, H. (2003). *Peran Radikal Bebas Terhadap Beberapa Penyakit Paru*, 22(1), 31–36.
- Farihatin, E. (2014). *Analisis Fisis Komposit Biofilter Berbahan Serbuk Daun Zaitun (*Olea europaea*) Dengan Variasi Pengeringan Untuk Menangkap Radikal Bebas*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Fauzah, M. (2014). Pengaruh Lama Penyimpanan Terhadap Nilai Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Daging Sapi dengan Metode Dielektrik pada Frekuensi Rendah. *Physics Student Journal*, 2(1), 5–8.
- Fauziah, F. F., Juswono, U. P., & Herwiningsih, S. (2012). Pengaruh Pemberian Buah Manggis, Buah Sirsak dan Kunyit Terhadap Kandungan Radikal Bebas pada Daging Sapi yang Diradiasi dengan Sinar Gamma. *Physics Student Journal*, 24–31.
- Firdaus, N., S, W. C., & Suctpto. (2000). Studi Pengaruh campuran Lemak Babi Terhadap Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Lemak Sapi dengan Metode Dielektrik, (1), 7–10.
- Harkness, J. E. (1983). *The Biology and Medicine of rabbits and rodent*. Philadelphia: Lea and Febriger.
- Junqueira, L., Arneiro, J., & Kelley, R. . (1995). *Basic Histology*. London: Prentice Hall International inc.
- Junqueira, L., Arneiro, J., & Kelley, R. (2007). *Histologi Dasar*. Jakarta: EGC.



Keilmuan, K., Teoretik, F., & Tinggi, E. (2006). Pengukuran Medan Magnet Lemah Menggunakan Sensor Magnetik Fluxgate dengan Satu Koil Pick-Up, *38*(2), 99–115.

Kim, S., Hong, S.-H., Bong, C.-K., & Cho, M.-H. (2015). Characterization of air freshener emission: the potential health effects. *The Journal of Toxicological Sciences*, *40*(5), 535–550. <https://doi.org/10.2131/jts.40.535>

Leeson, T., Leeson, C., & Paparo, A. (1996). *Buku Ajar Histologi*. Jakarta: EGC.

Mebius, R. E., & Kraal, G. (2005). Structure And Function Of The Spleen, *5*(August), 606–616. <https://doi.org/10.1038/nri1669>

Msg, M. G., Maulida, A., Ilyas, S., & Hutahaean, S. (2010). Pengaruh Pemberian Vitamin C dan E Terhadap gambaran Histologi Hepar Mencit (*Mus musculus L*) Yang Dipajakan.

Muhammad, K., & Noor, Z. (n.d.). Pengaruh Pendedahan Pengharum Ruangan Gel dan Spray terhadap Diameter Tubulus Seminiferus dan Konsentrasi Sperma pada Tikus (*Rattus norvegicus*) Comparison the Effect of Exposure Gel and Spray Air Freshener on Diameter of Seminiferous Tubules and Concent, 28–36.

Paparan, E., Formalin, F., Terhadap, Y., Hepar, P., & Rattus, T. (2010). The Effect Of Formaldehyde Exposure And Yogurt Supplementation On Profile And Character Of Hepar Tissue Protein Of Rats (*Rattus norvegicus*), *10*(1), 132–137.

Pearce, E. C. (2009). *Anatomi dan Fisiologi untuk Paramedis*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

Peraturan pemerintah no.41. (1999). *Pengendalian Pencemaran Udara*. Jakarta.

Perera, T. M., Jayasinghe, C., Perera, S. A. S., & Rajapaksa, S. W. (2012). Indoor Air quality and human activities in buildings, 1–7. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2124.2961>

Rahmatie, R., Sulistya, A. P. C., & Santoso, D. R. (2016). Analisis



Nilai Impedansi Listrik pada Daging Ikan Nila yang Disimpan dalam Lemari Es, 6(02), 117–124.  
<https://doi.org/10.13057/ijap.v6i02.1780>

Reni, Y. E. (2018). *Pengantar Radikal Bebas Dan Antioksidan* (1st ed.). Sleman: CV Budi Utama.

Rosita, F. N., & Widodo, C. S. (2000). Kajian Pengaruh Campuran Lemak Babi Terhadap Konstanta Dielektrik Lemak Ayam menggunakan Metode Dielektrik. 2–5.

Safitri Juwita, Meqorry Yusfi, A. (2014). Rancang Bangun Alat Ukur Resistivitas Pada Lapisan Tipis Menggunakan Metode 4 Probe Berbasis ATmega 8535 Dengan Tampilan LCD Karakter 2X 16. 3(2), 65–73.

Setyawarno, D. (2013). Pengaruh Medan Magnetik Eksternal Pada Tabung Gas Hidrogen Terhadap Spektrum Emisi Pada Efek Zeeman, 13, 190–197.

Utomo, A. R., Retnowati, R., & Juswono, U. P. (2013). Pengaruh konsentrasi minyak kenanga. *Kimia Student Journal*, 5(2), 1–5.

Wahdiningsih, S. (2011). Aktivitas Penangkap Radikal Bebas Dari Batang Pakis ( *Alsophila glauca* J . Sm ). *Skripsi*, 16(3), 153–156.

Wahyu, W., Ratu, S., Rymond, R., & Marlinda, S. (2005). Penapisan Aktivitas Superoksida Dismutase pada Berbagai Tanaman.

Yuningtyaswari, & Haryani, A. (2015). Pengaruh Paparan Pengharum Ruangan Cair dan Gel terhadap Gambaran Histologi Pulmo pada Tikus Putih ( *Rattus norvegicus* ) The Comparison of the Effect of Liquid and Gel Air Freshener Exposure on Histology of Pulmo in White Rat ( *Rattus norvegicus* ), 15, 84–90.

Yustinus, P., & Sudaryanto. (2013). Pengaruh Porogen Terhadap Struktur Dan Konduktivitas Hidrosiapatit, (April 2012).

