

repository.ub.ac.id

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

SKRIPSI

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

Oleh:

DEDY SETYAWAN
145090300111002

PROGRAM STUDI : S1 FISIKA



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

UNIVERSITAS
BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

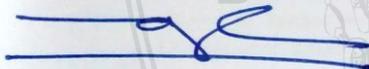
**IDENTIFIKASI RADIKAL BEBAS DAN SIFAT DIELEKTRIK
ORGAN HATI DARI MENCIT (*Mus Musculus*) YANG
TERPAPAR OBAT NYAMUK *ONE PUSH AEROSOL***

Oleh:

DEDY SETYAWAN
145090300111002

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal 15 JUN 2018
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Fisika

Pembimbing I



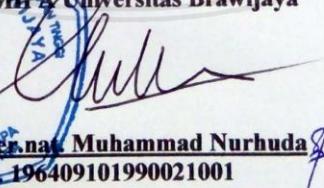
Drs. Unggul P. Juswono, M.Sc.
NIP. 196501111990021002

Pembimbing II



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

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya



Prof. Drs. Retno Muhammad Nurhuda
NIP. 196409101990021001

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dedy Setyawan
NIM : 145090300111002
Jurusan : Fisika
Penulis Skripsi Berjudul :

Identifikasi Radikal Bebas Dan Sifat Dielektrik Organ Hati Dari Mencit (*Mus Musculus*) Yang Terpapar Obat Nyamuk *One Push Aerosol*

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam Skripsi ini.
2. Apabila di kemudian 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, 25 Juni 2018

Yang menyatakan,



(Dedy Setyawan)
NIM. 145090300111002

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



repository.ub.ac.id

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

ABSTRAK

Salah satu jenis insektisida yang banyak digunakan dalam keperluan rumah tangga adalah obat nyamuk jenis *one push aerosol*. Penggunaan insektisida jenis ini secara berkelanjutan dapat memicu timbulnya radikal bebas dalam tubuh yang lambat laun akan menyebabkan terjadinya stres oksidatif. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi radikal bebas dengan ESR dengan menggunakan sampel berupa organ hati dari mencit yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol* tipe-A dan tipe-B dengan masing-masing kandungan bahan aktif transflutrin 21,3% dan 25%. Selain itu, dilakukan pengukuran nilai konstanta dielektrik dengan menggunakan data kapasitansi organ yang didapat dari pengukuran menggunakan kapasitansi meter. Selain itu, derajat stres oksidatif dapat diketahui dari nilai kadar MDA (malondialdehida) dari sampel. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan dua jenis radikal, yaitu adalah O_2^- (anion superoksida) dan 1O_2 (oksigen singlet). Semakin tinggi tingkat kerusakan yang terjadi, maka akan menurunkan nilai konstanta dielektrik. Selain itu, tingginya tingkat kerusakan juga ditandai dengan peningkatan kadar MDA.

Kata kunci: obat nyamuk, *one push aerosol*, konstanta dielektrik, radikal bebas, kadar MDA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



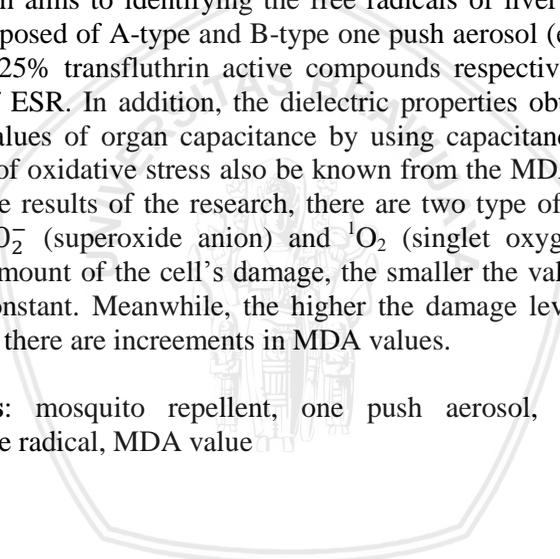
repository.ub.ac.id

IDENTIFICATION OF FREE RADICALS AND DIELECTRIC PROPERTIES OF LIVER ORGAN OF MICE (*Mus musculus*) EXPOSED BY ONE PUSH AEROSOL MOSQUITO REPELLENT

ABSTRACT

A commonly used type of insecticide is one push aerosol mosquito repellent. The using of this insecticide continually can trigger the forming of free radicals which leads to oxidative stress. This research aims to identifying the free radicals of liver organ of mice that exposed of A-type and B-type one push aerosol (each with 21,3% and 25% transfluthrin active compounds respectively) with the using of ESR. In addition, the dielectric properties obtained by using the values of organ capacitance by using capacitance meter. The degree of oxidative stress also be known from the MDA values. Based on the results of the research, there are two type of radicals, which are O_2^- (superoxide anion) and 1O_2 (singlet oxygen). The higher the amount of the cell's damage, the smaller the value of the dielectric constant. Meanwhile, the higher the damage level of the liver's cells, there are increments in MDA values.

Key words: mosquito repellent, one push aerosol, dielectric constant, free radical, MDA value



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan karunia dan berkatnya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Tugas Akhir beserta laporannya dengan judul “Identifikasi Radikal Bebas dan Sifat Dielektrik Organ Hati dari Mencit (*Mus musculus*) Yang Terpapar Obat Nyamuk One Push Aerosol”. Pelaksanaan Tugas Akhir dan penulisan laporan Tugas Akhir ini merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di bidang Fisika.

Dalam pengerjaan Tugas Akhir dan penulisan laporan Tugas Akhir ini, penulis mendapatkan banyak bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan yang baik ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

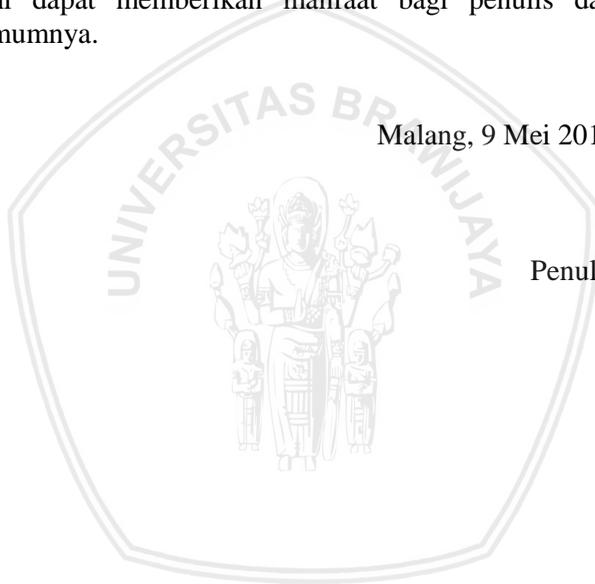
1. Kedua orang tua dan keluarga, yaitu Ayahanda Susiwawoko, Ibunda Yuni Purwanti, serta adik-adik tercinta Bagus Septyan dan Anggun Ayu Madalena yang selalu mendukung dan memotivasi setiap langkah penulis dan memberikan dukungan dalam bentuk doa maupun materil.
2. Bapak Prof. Dr. rer.nat. Muhammad Nurhuda selaku ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Brawijaya atas izin dan kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk melaksanakan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Drs. Unggul P. Juswono, M.Sc. selaku dosen pembimbing I dan Bapak Dr. Eng. Didik R. Santoso, M.Si. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan, bimbingan, nasihat, serta ilmu selama pelaksanaan dan penulisan laporan Tugas Akhir.
4. Teman-teman seperjuangan Skripsi Kelompok Mencit, yaitu Diah Utami, Shella Putri Saraswati, Siti Nur Imamah, dan Windi Lestari serta teman-teman seperjuangan Skripsi lainnya, yaitu Selin Lusiana, Yuliana Safitri, Putri Devita KD, dan Hany Putri Y. Selain itu, terimakasih juga untuk para sahabat-sahabat terbaik penulis yaitu Nur Millaty Abadiyah, Zara Aydy Putri B, Adiststi Qania P, dan Anggi Kristanto yang telah memberi dukungan dan bantuan.

5. Keluarga besar Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya baik dari kalangan dosen, staff dan karyawan, maupun mahasiswa (khususnya angkatan 2014) atas dukungan dan kerjasamanya.
6. Serta semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu memberi bimbingan, arahan, dan motivasi dari awal hingga terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu–persatu.

Akhir kata, penulis memohon maaf atas segala kekurangan, baik dalam pelaksanaan ataupun penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Semoga apa yang penulis tuliskan dalam laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca pada umumnya.

Malang, 9 Mei 2018

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
1.1 Latar Belakang.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
1.2 Rumusan Masalah	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
1.3 Batasan Masalah.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
1.4 Tujuan Penelitian.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
1.5 Manfaat Penelitian.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
2.1 Polusi Udara	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
2.2 Aerosol	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
2.3 Pestisida dan Insektisida.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
DEFINED.	
2.3.1 Penggunaan Pestisida dan Insektisida dalam Rumah Tangga	Error! Bookmark not defined.
2.3.2 Bahaya Insektisida Bagi Manusia.....	Error! Bookmark not defined.
2.3.3 Obat Nyamuk	Error! Bookmark not defined.
2.3.4 Transflutrin.....	Error! Bookmark not defined.
2.4 Organ Hati	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
2.4.1 Anatomi dan Fisiologi Hati.....	Error! Bookmark not defined.
2.4.2 Hati yang Terpapar Insektisida.....	Error! Bookmark not defined.
2.5 Radikal Bebas.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

- 2.6 Malondialdehida (MDA) **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- 2.7 Electron Spin Resonance (ESR) ... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- 2.7.1 Faktor Lande (g) **Error! Bookmark not defined.**
- 2.7.2 Efek Zeeman **Error! Bookmark not defined.**
- 2.8 Biolistrik **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- 2.8.1 Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik **Error! Bookmark not defined.**
- 2.8.2 Pengukuran Biolistrik dengan Metode Dielektrik **Error! Bookmark not defined.**
- 2.8.3 Kapasitansi Meter **Error! Bookmark not defined.**
- 2.9 Mencit **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- BAB III METODOLOGI PENELITIAN ... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- 3.2 Alat dan Bahan **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- 3.3 Tahapan Penelitian **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- 3.4 Pelaksanaan Penelitian. **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- 3.4.1 Pengadaptasian Hewan Uji Coba **Error! Bookmark not defined.**
- 3.4.2 Perlakuan Terhadap Hewan Uji Coba **Error! Bookmark not defined.**
- 3.4.3 Persiapan Alat **Error! Bookmark not defined.**
- 3.4.4 Pengukuran Sampel dengan ESR dan Kapasitansimeter **Error! Bookmark not defined.**
- 3.4.5 Pengujian Kadar MDA pada Sampel Hati **Error! Bookmark not defined.**
- 3.5 Analisa Data **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN ... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- 4.1 Hasil Penelitian **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- 4.1.1 Hasil Kalibrasi ESR (Electron Spin Resonance) dengan DPPH (Diphenyl picrylhydrazyl) **Error! Bookmark not defined.**
- 4.1.2 Identifikasi Jenis Radikal Bebas pada Sampel Hati dari Mencit **Error! Bookmark not defined.**

4.1.3 Perhitungan Konsentrasi Semprotan Obat Nyamuk One Push Aerosol..... **Error! Bookmark not defined.**

4.2 Pembahasan.....**ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

4.2.1 Pembentukan Radikal Bebas Akibat dan Reactive Oxygen Species (ROS) Akibat Bahan Aktif Transflutrin **Error! Bookmark not defined.**

4.2.2 Pengaruh Bahan Aktif Transflutrin terhadap Kerusakan Organ Hati Mencit **Error! Bookmark not defined.**

4.2.3 Pengaruh Tingkat Kerusakan Organ Hati Terhadap Nilai Konstanta Dielektrik **Error! Bookmark not defined.**

4.2.4 Hubungan Antara Tingkat Kerusakan Sel dengan Peningkatan Kadar MDA pada Hati serta Kaitannya dengan Penurunan Nilai Konstanta Dielektrik**Error! Bookmark not defined.**

BAB V PENUTUP ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

5.1 Kesimpulan.....**ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

5.2 Saran.....**ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

DAFTAR PUSTAKA.... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.



DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1 Aerosol Spray **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.2 Struktur molekul transflutrin **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.3 Organ hati **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.4 Anatomi hati **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.5 Keterkaitan hati dengan sistem organ **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.6 Strukur molekul MDA.. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.7 Kapasitor Dielektrik..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.8 Proses polarisasi pada bahan dielektrik akibat adanya pengaruh medan listrik eksternal **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.9 Mencit (*Mus musculus*) **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.1 Diagram alir penelitian . **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.1 Kurva resonansi hasil kalibrasi ESR dengan menggunakan DPPH **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.2 (a) Kurva resonansi dari sampel yang mengandung radikal bebas di dalamnya; (b) Kurva resonansi dari sampel kelompok kontrol (tidak ditemukan radikal bebas di dalamnya)..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.3 Hubungan antara jumlah semprotan obat nyamuk one push aerosol tipe-A dan tipe-B dengan konsentrasinya (dalam ppm). **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.4 Grafik hubungan antara konsentrasi semprotan obat nyamuk one push aerosol dan nilai konstanta dielektrik. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.5 Hubungan antara sampel dengan nilai konstanta dielektrik dan kandungan MDAny. **Error! Bookmark not defined.**



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis-jenis ukuran inti aerosol**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.1 Hasil identifikasi radikal bebas pada sampel..... **Error! Bookmark not defined.**





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Alat dan Bahan..... **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 2 Perhitungan massa obat nyamuk tipe-A **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 3 Perhitungan massa obat nyamuk tipe-B **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 4 Data perhitungan volume chamber .**Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 5 Data perhitungan massa udara**Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 6 Data konsentrasi obat nyamuk Tipe-A dan Tipe-B. **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 7 Data kapasitansi **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 8 Data perhitungan konstanta dielektrik sampel kontrol **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 9 Data perhitungan konstanta dielektrik B1 **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 10 Data perhitungan konstanta dielektrik B2 **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 11 Data perhitungan konstanta dielektrik B3 **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 12 Perhitungan data dielektrik B4.....**Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 13 Data perhitungan konstanta dielektrik B5 **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 14 Data perhitungan konstanta dielektrik A1 **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 15 Data perhitungan konstanta dielektrik A2..... **Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 16 Data perhitungan konstanta dielektrik A3..... **Error! Bookmark not defined.**

Lampiran 17 Data perhitungan konstanta dielektrik A4 **Error! Bookmark not defined.**

Lampiran 18 Data perhitungan konstanta dielektrik A5 **Error! Bookmark not defined.**

Lampiran 19 Kode etik penelitian **Error! Bookmark not defined.**

Lampiran 20 Hasil uji kadar MDA..... **Error! Bookmark not defined.**

Lampiran 21 Sertifikat Bebas Plagiasi **Error! Bookmark not defined.**

Lampiran 22 Tabel klasifikasi radikal bebas..... **Error! Bookmark not defined.**





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Falahudin, dkk (2015), Indonesia memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi, baik jenis flora dan fauna. Golongan fauna yang paling mendominasi di bumi (termasuk Indonesia) adalah serangga. Menurut Bappenas (1993) dalam Shahabuddin, dkk (2005), jumlah keanekaragaman serangga di Indonesia adalah 250.000 jenis atau sekitar 15% dari jumlah jenis biota utama yang diketahui di Indonesia. Jenis serangga yang banyak dijumpai di Indonesia, salah satunya adalah nyamuk. Nyamuk seringkali mengganggu kehidupan manusia karena dapat menyebarkan berbagai macam penyakit, yaitu penyakit Malaria, Demam Berdarah Dengue, dan Filariasis (Gama, dkk, 2010). Bahkan, penyakit yang ditimbulkan nyamuk seringkali menimbulkan epidemi yang berlangsung dengan spektrum yang luas dan cepat (Lailatul, dkk, 2010).

Menurut Gama, dkk (2010), manusia memiliki kecenderungan menggunakan jenis insektisida atau obat pembasmi nyamuk yang dijual bebas. Padahal, usaha pemberantasan nyamuk seperti itu, tidak memiliki efek preventif dan hanya bersifat sesaat. Selain itu, insektisida yang saat ini banyak digunakan oleh masyarakat ternyata menyebabkan dampak negatif baik terhadap lingkungan maupun manusia karena mengandung senyawa-senyawa kimia berbahaya (Lailatul, dkk, 2010).

Salah satu jenis insektisida yang banyak beredar di pasaran adalah obat nyamuk *one push aerosol* (obat nyamuk semprot). Insektisida dengan jenis semprot dianggap sangat praktis dan bekerja lebih cepat dalam membasmi serangga apabila dibandingkan jenis insektisida lainnya. Menurut Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan (1990), bentuk aerosol ternyata berbahaya bagi kesehatan. Hal ini dikarenakan partikel-partikel kimia yang dikeluarkan oleh produk dengan bentuk aerosol sangat halus dan mampu bertahan di udara dalam ruangan selama beberapa jam. Residu atau partikel ini dapat menyebabkan terjadinya gangguan pernapasan dan pencemaran lingkungan. Menurut Sujatno (2012), produk anti nyamuk mengandung senyawa kimia yang memiliki

daya racun dan dapat berdampak buruk terhadap manusia. Senyawa kimia (bahan aktif) pada insektisida dapat digolongkan berdasarkan toksisitasnya, yaitu sipermetrin, imiprotrin, transflutrin, paraletrin, sifenotrin, d-alletrin, permetrin, sifutrin, d-fenotrin, metoflutrin, dan DEET (Becker, 2010).

Menurut Yap, dkk (2000), senyawa kimia pada obat nyamuk dapat menimbulkan sensasi terbakar pada kulit, iritasi mata, dan bahkan dapat memicu terjadinya ensefopati pada anak-anak. Selain itu, salah satu senyawa kimia yang biasa digunakan sebagai insektisida dan pengusir nyamuk, yaitu transflutrin (tergolong ke dalam piretroid) ternyata juga berdampak buruk pada manusia (Shringi, dkk, 2015). Menurut Sujatno (2012), transflutrin yang tergolong ke dalam piretroid ini dapat berperan sebagai hormon disruptor yang berpotensi mengganggu sistem hormonal tubuh dan respon seluler. Ingesti transflutrin (piretroid) pada manusia juga dapat menyebabkan sensasi terbakar, gatal, paresthesia, iritasi kulit, iritasi mukosa, iritasi sistem pernapasan, pusing, mual, sakit pada epigastrik, muntah, anorexia, lesu, kejang otot, salivasi, hidung meler, dan konvulsi. Selain itu, partikel yang dihasilkan oleh aerosol dapat mengendap di hidung, mulut, kerongkongan, pangkal tenggorokan, bagian bawah jalur udara pada paru-paru hingga peredaran darah, dan hati (Biswas, 2009).

Hati merupakan organ internal paling besar dan beragam fungsinya. Menurut Guyton dan Hall (1997), hati berfungsi untuk metabolisme karbohidrat, metabolisme lemak, metabolisme protein, dan tempat penyimpanan vitamin. Hati juga dapat menyaring darah dari zat-zat kecil yang tidak lagi dibutuhkan tubuh, seperti sel-sel darah merah yang berdegenerasi dan zat-zat asing. Selain itu, hati juga mampu mendegradasi berbagai macam racun dalam tubuh (Fried dan Hademenos, 2006). Oleh karena berfungsi sebagai penawar racun, maka hati menjadi sasaran utama toksik yang ada di dalam tubuh. Menurut Noer (2003), senyawa kimia yang masuk ke dalam tubuh atau infeksi yang terjadi, dapat menyebabkan kerusakan atau gangguan pada hati.

Menurut Halliwell dan Gutteridge (2007), hati dapat menjadi sasaran peningkatan konsentrasi radikal bebas. Peningkatan radikal bebas dapat menstimulasi terjadinya proses peroksidasi lipid dan mengakibatkan stres oksidatif. Salah satu parameter yang dapat digunakan untuk mengukur derajat stres oksidatif adalah malondialdehida (MDA) (Valko et al., 2006). Menurut Dagli et al.

(2004), semakin tinggi kadar radikal bebas, maka semakin tinggi kadar malondialdehid (MDA) di dalam tubuh.

Biolistrik adalah karakteristik kelistrikan dalam suatu sel atau jaringan pada makhluk hidup yang dihasilkan oleh berbagai macam peristiwa pada makhluk hidup (proses biologis) yang dipengaruhi oleh senyawa metabolisme yang ada pada makhluk hidup dan pertukaran ion yang terjadi di dalamnya. Kemurnian bahan dan karakteristik biolistrik suatu bahan dapat dideteksi menggunakan suatu metode berbasis listrik, yaitu metode dielektrik (Hidayat, 2013).

Berdasarkan penjelasan di atas, maka dapat diketahui macam-macam senyawa kimia atau bahan aktif yang terkandung di dalam obat nyamuk semprot serta bahaya yang ditimbulkannya. Selain itu, juga dapat diketahui peran hati yang sangat penting dan kompleks bagi tubuh. Sifat dielektrik organ pun dapat diteliti dengan menggunakan metode dielektrik. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi radikal bebas yang terkandung pada organ hati dari mencit (*Mus musculus*) yang terpapar oleh obat nyamuk semprot. Derajat stres oksidatif yang disebabkan oleh peningkatan radikal bebas juga dapat diketahui dengan pengujian kadar malondialdehida (MDA) di dalam organ hati. Selain itu, juga perlu dilakukan pengujian sifat dielektrik organ hati dari mencit (*Mus musculus*) untuk mengetahui sifat kelistrikan dari organ hati mencit (*Mus musculus*) yang sehat dan organ hati dari mencit (*Mus musculus*) yang terpapar oleh obat nyamuk semprot.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah dipaparkan, maka didapatkan rumusan masalah untuk penelitian ini meliputi apa saja radikal bebas yang teridentifikasi dari organ hati dari mencit (*Mus musculus*) yang terpapar oleh obat nyamuk semprot tipe-A dan tipe-B, bagaimana perbandingan kadar MDA pada organ hati mencit (*Mus musculus*) yang sehat dan organ hati mencit (*Mus musculus*) yang terpapar obat nyamuk semprot tipe-A dan tipe-B, serta bagaimana perbandingan sifat kelistrikan organ hati mencit (*Mus musculus*) yang sehat dan organ hati dari mencit (*Mus musculus*) yang terpapar oleh obat nyamuk semprot tipe-A dan tipe-B.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu, mencit (*Mus musculus*) yang digunakan berkelamin jantan dengan berat 23-30 gram dengan usia 2-3 bulan, obat nyamuk yang digunakan adalah obat nyamuk semprot dengan tipe-A dan tipe-B dengan bahan aktif transflutrin 21,3% dan 25%, pengujian MDA dilakukan dengan menggunakan sampel berupa jaringan, identifikasi radikal bebas menggunakan alat ESR (tanpa menghitung konsentrasi radikal bebas), dan uji sifat kelistrikan dilakukan dengan menggunakan *capacitance meter*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi macam-macam radikal bebas yang terdapat pada organ hati dari mencit (*Mus musculus*) yang terpapar oleh obat nyamuk semprot tipe-A dan tipe-B, menganalisis kadar MDA dari organ hati mencit (*Mus musculus*) yang sehat dan organ hati mencit (*Mus musculus*) yang terpapar obat nyamuk semprot tipe-A dan tipe-B, serta menganalisis sifat kelistrikan organ hati mencit (*Mus musculus*) yang sehat dan organ hati dari mencit (*Mus musculus*) yang terpapar oleh obat nyamuk semprot tipe-A dan tipe-B.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan rujukan kepada masyarakat tentang macam-macam radikal bebas yang terkandung pada obat nyamuk semprot dengan tipe-A dan tipe-B, memberikan informasi tentang radikal bebas yang terdapat pada organ hati dari mencit (*Mus musculus*) yang terpapar oleh obat nyamuk semprot tipe-A dan tipe-B, serta memberikan pengetahuan tentang perbandingan kadar MDA serta sifat kelistrikan organ hati mencit (*Mus musculus*) yang sehat dan organ hati dari mencit (*Mus musculus*) yang terpapar oleh obat nyamuk semprot tipe-A dan tipe-B.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polusi Udara

Pencemaran udara merupakan perubahan susunan udara dari susunan keadaan normal yang dapat menyebabkan gangguan pada kehidupan manusia, hewan, serta tumbuhan. Secara umum, penyebab pencemaran udara ada dua macam, yaitu secara alami (faktor internal) serta disebabkan oleh ulah manusia (faktor eksternal). Faktor internal meliputi debu yang beterbangan akibat adanya tiupan angin, abu atau debu yang dikeluarkan dari letusan gunung beserta gas-gas vulkanik, dan proses pembusukan sampah organik. Faktor eksternal meliputi debu atau serbuk dari kegiatan industri, hasil dari pembakaran bahan bakar fosil, dan pemakaian zat-zat kimia dalam bentuk aerosol (Sugiarti, 2009).

Menurut WHO (1997), polusi udara terdiri dari berbagai jenis partikel dan gas serta dapat dihasilkan oleh berbagai sumber. Polusi udara dapat terjadi di luar maupun di dalam ruangan. Polusi udara yang sangat berbahaya adalah polusi udara di dalam ruangan karena sumbernya yang berdekatan dengan manusia secara langsung. Polutan udara dapat masuk ke tubuh manusia melalui inhalasi (melalui sistem pernapasan). Polutan ini dapat mengakibatkan gangguan pada paru-paru dan saluran pernapasan. Selain itu, bahan pencemar ini juga dapat masuk ke dalam peredaran darah sehingga dapat menimbulkan efek buruk pada organ dan sistem tubuh lainnya (Budiyono, 2001). Efek buruk atau dampak yang ditimbulkan pencemaran udara ini sangat merugikan manusia yang berada dalam daur pencemaran tersebut. Berbagai jenis penyakit yang dapat ditimbulkan pada manusia dari pencemaran udara adalah infeksi saluran pernapasan atas, rusaknya paru-paru, hipertensi, penyakit jantung, kanker, dan lain sebagainya (Sugiarti, 2009).

2.2 Aerosol

Menurut Hamdi (2013), aerosol merupakan kumpulan dari partikel-partikel padat yang mengalami suspensi dalam medium gas dalam periode waktu yang cukup lama sehingga memungkinkan untuk diamati serta diukur. Pada umumnya, partikel aerosol berukuran 0,001-100 mikrometer sehingga kasat mata. Oleh karena itu, banyak

yang tidak menyadari bahwa aerosol dengan ukuran yang sangat halus (nano aerosol) ternyata banyak terdapat di dalam ruangan, terutama ruangan tertutup. Pembentukan aerosol terbagi menjadi dua cara, yaitu secara buatan dan alami (berasal dari aktivitas makhluk hidup).

Apabila ditinjau dari segi ukuran, aerosol dibagi menjadi inti aitken, inti besar, dan inti raksasa seperti pada Tabel 2.1. Akan tetapi, klasifikasi terhadap ukuran ini sebenarnya sangat bergantung pada tujuannya (Kumar et al., 2010). Misalnya, untuk tujuan kedokteran atau toksikologi, aerosol dapat diklasifikasikan menjadi *ultrafine* (dengan ukuran <100 nm), *fine* (dengan ukuran <1000 nm), serta *coarse* (dengan ukuran >1000 nm). Namun demikian, pembatasan klasifikasi sangat bergantung pada tujuan dan penggunaannya (Hamdi, 2013).

Tabel 2.1 Jenis-jenis ukuran inti aerosol

Inti Aerosol	Ukuran (diameter)	Sumber
Inti aitken	< 0,001 – 0,1 mikrometer	Pembakaran dan konversi gas-partikel
Inti besar	0,1 – 1,0 mikrometer	Hasil dari pembakaran, penggumpalan inti aitken, spora halus, serta garam
Inti raksasa	> 1 mikrometer	Hasil dari proses industri, spora kasar, dan garam

Menurut Sumardjo (2008), aerosol adalah sistem koloid yang medium pendispersinya adalah gas atau udara. Apabila fase terdispersinya padat disebut aerosol padat dan apabila fase terdispersinya cair disebut aerosol cair. Asap (*smoke*) yang merupakan butir-butir karbon halus dalam udara, uap amonium klorida, dan debu dalam udara adalah aerosol padat. Awan dan kabut (*fog*) yaitu titik-titik air dalam udara merupakan aerosol cair. Gabungan smoke dan fog disebut smog.



Gambar 2.1 *Aerosol Spray*

Menurut Spurny (2000), aerosol dapat memiliki aplikasi dan efek yang menguntungkan dan merugikan. Aerosol yang memiliki efek menguntungkan dapat digunakan untuk sintesis bubuk dan partikel berskala nano serta dalam bidang medis (produksi aerosol untuk diagnosis dan terapi). Selain itu, beberapa industri juga telah membuat preparat atau sediaan kosmetik dan insektisida dalam bentuk aerosol seperti pada Gambar 2.1, yang meliputi parfum semprot, deodoran semprot, aerosol berbagai cat semprot, dan obat semprot anti serangga (Sumardjo, 2008). Aerosol yang menghasilkan efek yang negatif dapat terjadi saat partikel dan bubuk berskala nano yang disintesis aerosol terhirup manusia. Selain berdampak buruk bagi kesehatan manusia, aerosol ini juga berdampak buruk pada proses-proses atmosferik (seperti perubahan iklim, penipisan ozon, pembentukan awan, dan lain sebagainya).

Menurut Lestari (2007), faktor-faktor yang dapat mempengaruhi tingkat keparahan kontaminan kimia di udara jika terhirup oleh manusia, antara lain adalah:

1. Ukuran partikel (untuk partikulat)
2. Kelarutan/*solubility* (kemampuan untuk terlarut dalam cairan pada jaringan)
3. Reaktivitas (kemampuan untuk bereaksi dengan komponen jaringan)
4. Konsentrasi dan lamanya paparan
5. Mekanisme pertahanan pada sistem pernapasan
6. Status imunologis

7. Kandungan air dari jaringan

Untuk aerosol, ukuran partikel merupakan faktor utama penentu sampai sejauh mana partikel itu dapat mencapai saluran pernapasan. Saat kita menarik napas, partikel-partikel yang menyusun aerosol akan terkumpul di sepanjang saluran pernapasan. Tempat pengumpulan partikel akan mempengaruhi tingkat keparahan kerusakan jaringan, besar absorpsi toksikan ke dalam sirkulasi sistemik, dan mempengaruhi kemampuan paru-paru untuk mengeluarkan partikel itu. Semakin kecil ukuran partikel, maka semakin jauh jangkauannya di dalam saluran pernapasan (Widyastuti, 2002). Partikel yang dihasilkan oleh aerosol berukuran PM10 (*fine particle*) dapat mengendap di hidung, mulut, kerongkongan, pangkal tenggorokan, bagian bawah jalur udara pada paru-paru, hingga peredaran darah. Ketika partikel aerosol mengendap di sistem pernapasan maka akan berdampak kuat pada kesehatan seperti sulit bernapas dan lain-lain (Biswas, 2009).

Aerosol yang berukuran 5-30 mikrometer dapat mengalami pengendapan, terutama di saluran pernapasan bagian atas seperti hidung dan tenggorokan. Jarak atau kedalaman penetrasi akan bertambah seiring penurunan ukuran aerosol. Aerosol yang berukuran 1-5 mikrometer sebagian besar akan terkumpul pada saluran sistem pernapasan bagian bawah seperti trakea, bronkus, serta bronkiolus. Endapan partikel tersebut kemudian akan dibersihkan melalui mekanisme pembersihan mukosiliar. Partikel yang dibersihkan dengan cara ini kemudian akan ditelan dan diabsorpsi dari saluran gastrointestinal. Aerosol ukuran 1 mikrometer ke bawah dapat mencapai alveolus. Setelah sampai di alveolus, aerosol kemudian akan diserap (diabsorpsi) ke dalam sistem peredaran darah atau dibersihkan oleh sel-sel imun (makrofag) dengan cara menelan partikel tersebut (Widyastuti, 2002).

2.3 Pestisida dan Insektisida

Menurut Raini (2009), pestisida adalah zat yang biasanya digunakan untuk memikat, menolak, mengendalikan, ataupun membasmi organisme pengganggu (hama). Beberapa jenis organisme pengganggu atau hama antara lain adalah serangga, tikus, gulma, burung, mamalia, ikan, atau mikrobia pengganggu. Selama

ini, pestisida lebih diidentikkan dengan bidang pertanian. Akan tetapi, pestisida ternyata juga digunakan dalam ruang lingkup rumah tangga. Pestisida yang digunakan di dalam ruang lingkup rumah tangga, umumnya ditujukan untuk mengusir berbagai jenis serangga, misalnya kecoa, semut, nyamuk, dan binatang kecil lainnya (Ganong, 2003).

Salah satu golongan dari pestisida yang digunakan untuk membasmi serangga disebut dengan insektisida. Serangga yang dibasmi biasanya merupakan serangga yang menjadi vektor penyakit seperti onkosersiasis, demam kuning, riketsia, filariasis, malaria, meningitis, pes, dan tifus (Raini, 2009).

2.3.1 Penggunaan Pestisida dan Insektisida dalam Rumah Tangga

Dalam lingkungan rumah tangga, jenis pestisida yang paling sering digunakan adalah anti nyamuk. Beberapa jenis sediaan anti nyamuk yaitu bakar, semprot, elektrik, dan oles (Ganong, 2003). Semakin bertambahnya pengendalian serangga dengan menggunakan bahan kimia insektisida dari tahun ke tahun disebabkan karena insektisida mudah digunakan, mudah didapatkan, dan hasilnya langsung bisa terlihat. Produk-produk insektisida yang digunakan dalam rumah tangga memiliki berbagai macam bentuk dan cara penggunaan seperti aerosol, *mat*, *repellent*, bakar, dan lain sebagainya (WHO, 2005). Menurut Raini (2009), insektisida yang digunakan dalam rumah tangga digolongkan berdasarkan cara penggunaannya, yaitu:

1. Insektisida semprot dalam bentuk gas (aerosol) dan manual tanpa aerosol. Penggunaan insektisida ini dilakukan dengan cara penyemprotan insektisida pada ruangan atau tempat yang mempunyai hama berupa serangga. Insektisida semprot dalam bentuk aerosol yang memiliki kemasan telah siap pakai biasanya mengandung butana atau propana sebagai *propellant*. Umumnya, kadar insektisida pada kemasan aerosol lebih tinggi jika dibandingkan dengan insektisida non aerosol. Residu insektisida semprot akan tertinggal di permukaan yang terkena semprotan. Bahan yang biasanya digunakan untuk insektisida jenis ini adalah propoksur, gel silika, resmetrin, atau piretrin.

2. *Fogger*/pengasapan. Insektisida jenis ini menggunakan kemasan tabung beraerosol dengan melepaskan kabut jenuh pada ruangan yang tertutup. Sebelum dilakukan *fogging*, perlu dilakukan pemindahan makanan, *furniture*, tanaman yang ada di dalam ruangan, dan hewan peliharaan. Dalam proses pengasapan, insektisida yang digunakan tidak menimbulkan residu sehingga hanya akan mengusir hama serangga tanpa membunuhnya. Bahan insektisida yang digunakan biasanya adalah piretroid.
3. Insektisida elektrik yang memiliki bentuk berupa padatan keping (mat) dan cairan. Insektisida jenis ini menggunakan aliran listrik untuk menimbulkan panas sehingga bahan insektisida yang ada di dalam mat atau cairan akan menguap. Uap atau gas yang dihasilkan oleh proses tersebut dapat membunuh hama berupa serangga. Bahan insektisida yang digunakan adalah propoksur dan piretroid.
4. Insektisida bakar yang berbentuk bulatan seperti koil. Cara penggunaan insektisida jenis ini adalah dengan cara dibakar pada ujung koilnya. Asap yang dihasilkan dari proses tersebut, dapat melumpuhkan bahkan membunuh nyamuk. Bahan yang digunakan adalah piretroid.
5. Insektisida *lotion/repellent*. Insektisida jenis ini digunakan untuk menghindari gangguan atau gigitan nyamuk. Bahan yang digunakan adalah DEET atau dimetilftalat.
6. Cairan insektisida yang tersedia dalam bentuk konsentrat. Insektisida jenis ini perlu dicampur dengan air atau pelarut siap pakai jika akan digunakan. Bahan yang biasanya digunakan adalah propoksur atau piretroid.
7. Serbuk yang digunakan dalam bentuk kering dan tidak dicampur dengan air. Serbuk ini biasanya ditaburkan pada celah atau lubang tempat serangga bersarang. Tingkat efektivitas jenis insektisida ini akan berkurang jika kelembaban lingkungan tinggi. Hal ini dikarenakan adanya penggumpalan yang terjadi. Bahan yang digunakan adalah asam borat atau propoksur.
8. Umpan dan perangkap berumpan yang penggunaannya biasanya dicampur dengan makanan. Bahan yang digunakan adalah propoksur dan asam borat.
9. Kepingan kertas yang dilapisi dengan racun pada salah satu sisinya dan lem perekat agar menempel pada sisi yang lain. Bahan yang digunakan adalah propoksur.

10. Fumigan dengan bentuk padatan bulat atau pipih. Fumigan biasanya ditempelkan pada lemari pakaian atau buku untuk membasmi kutu pada pakaian, ngengat, kutu buku, dan lain sebagainya. Bahan yang digunakan adalah naftalen atau PDB.

2.3.2 Bahaya Insektisida Bagi Manusia

Menurut Shinta, dkk (2008), penggunaan insektisida masyarakat sangat tinggi. Bahkan, di Jakarta penggunaan insektisida rumah tangga sudah mencapai 80%. Penggunaan insektisida memang dapat memberikan keuntungan. Akan tetapi, penggunaan insektisida dengan dosis dan cara yang tidak tepat dapat mengakibatkan dampak buruk terhadap kesehatan dan lingkungan (WHO, 2005; Raini, dkk, 2003). Hal ini karena pestisida (termasuk insektisida) adalah bagian dari zat toksik (Hayes, 2001). Menurut Baron (1991), semua insektisida bersifat toksik. Perbedaannya hanya terletak pada derajat toksisitasnya.

Pajanan atau paparan terhadap insektisida secara berlebihan dalam jangka panjang dapat berdampak buruk bagi kesehatan. Pada umumnya, pajanan terhadap insektisida yang digunakan dalam ruang lingkup rumah tangga terjadi melalui inhalasi dan dermal. Pajanan secara inhalasi (melalui pernapasan) terjadi pada insektisida elektrik, koil, dan semprot (baik aerosol maupun manual). Pajanan dermal (melalui penyerapan atau absorpsi oleh kulit atau mata) terjadi pada insektisida semprot manual, aerosol, serta oles. Beberapa jenis insektisida memiliki efek toksik baik yang bersifat lokal maupun sistemik jika bersentuhan dengan tubuh. Efek lokal umumnya terjadi melalui pajanan dermal sedangkan efek sistemik melalui pajanan oral dan inhalasi (Lu, 1995).

Dalam rumah tangga, bahaya dari insektisida didukung oleh faktor-faktor seperti penggunaan secara terus-menerus (dalam waktu yang lama bahkan seumur hidup) dalam ruangan tertutup yang memungkinkan terjadinya akumulasi. Terjadinya akumulasi bergantung pada rute atau jalan masuknya pajanan (paparan) insektisida, formulasi insektisida, dan sikap atau perilaku pengguna insektisida. Toksisitas kronis insektisida biasanya akan muncul jika pajanannya lama. Keracunan kronis akibat insektisida rumah tangga diduga sebagai pemicu timbulnya kanker (Raini, 2009).

Menurut Lu (1995), insektisida adalah kelompok pestisida yang terbesar dengan beberapa sub kelompok kimia berbeda, yaitu:

1. Organoklorin yang termasuk *chlorinated hydrocarbon* tergolong insektisida yang relatif stabil dan kurang reaktif secara kimiawi. Hal tersebut ditandai dengan penguraian dampak residunya yang lama di lingkungan. Salah satu jenis insektisida organoklorin yang terkenal adalah DDT. Kelompok organoklorin bersifat racun terhadap susunan syaraf, baik pada serangga maupun mamalia. Keracunan yang ditimbulkan dapat bersifat akut dan kronis. Bahkan pada percobaan menggunakan mencit, terbukti insektisida golongan ini terbukti menginduksi hepatoma (Raini, 2009). Organoklorin mempunyai waktu paruh yang panjang. Oleh karena itu, meskipun pemakaiannya telah dihentikan, insektisida ini masih akan tetap bertahan di lingkungan sampai beberapa tahun kemudian. Penggunaan insektisida ini, dilarang penggunaannya untuk keperluan rumah tangga sejak 1996.
2. Organofosfat adalah ester asam tiofosfat atau asam fosfat. Insektisida ini memiliki waktu paruh yang bervariasi yang bergantung pada pH-nya. Pada pH netral, kisaran waktu paruhnya adalah beberapa jam untuk diklorvos hingga beberapa minggu untuk paration. Pada nilai pH sedikit asam, waktu paruhnya akan meningkat beberapa kali. Organofosfat umumnya bersifat paling toksik terhadap binatang bertulang belakang, seperti burung, cicak, ikan, dan mamalia dengan mekanisme blokade pada penyaluran impuls saraf dengan cara mengikat enzim asetilkolinesterase. Akibatnya, akan terjadi penumpukan asetilkolin yang meningkatkan aktivitas saraf. Gejalanya mulai dari sakit kepala hingga kejang-kejang otot dan kelumpuhan (Levine, 1991). Menurut Deptan (2007), penggunaan organofosfat jenis diklorvos dan klorfirifos telah dilarang di Indonesia sejak 2007.
3. Karbamat adalah ester dari asam N-metilkarbamat. Karbamat bekerja dengan cara menghambat asetilkolinesterase seperti insektisida organofosfat. Akan tetapi, pengaruh karbamat terhadap enzim asetilkolinesterase tidak berlangsung lama karena prosesnya yang cepat dan reversibel sehingga gejala yang timbul pun tidak akan bertahan lama (cepat kembali normal). Insektisida kelompok karbamat mampu bertahan dalam tubuh antara 1 sampai 24 jam sehingga cepat diekskresikan (Lu,

- 1995). Insektisida karbamat yang masih digunakan dalam ruang lingkup rumah tangga adalah dari jenis propoksur. Waktu paruh propoksur sekitar 4 jam sehingga dapat cepat hilang namun tetap berbahaya jika terjadi akumulasi (Baron, 1991).
4. Piretroid merupakan jenis insektisida dengan penggunaan paling banyak untuk insektisida rumah tangga, terutama insektisida koil atau bakar dan semprot. Piretroid bisa didapatkan baik secara alami dari bunga *Chrysanthemum cinerariaefolium* (lebih cepat terurai oleh sinar matahari, panas, dan lembab) maupun secara sintesis dari sintesa piretrin (lebih lambat terurai). Efisiensi piretroid sintesis dapat ditingkatkan dengan cara dikombinasikan dengan bahan kimia lain (misalnya *piperonyl butoxide* yang bekerja sebagai penghambat enzim mikrosomal oksidase pada serangga). Pada serangga, piretroid adalah racun saraf yang bekerja dengan cara menghalangi *sodium channels* pada serabut saraf sehingga mencegah transmisi pada impuls saraf (Deptan, 2007). Toksisitas piretroid pada manusia tergolong rendah karena piretroid tidak dapat terabsorpsi dengan baik oleh kulit. Walaupun demikian, piretroid dapat menyebabkan alergi pada orang dengan kulit yang sensitif. Piretroid jenis sipermetrin, d-alletrin, permetrin, dan transflutrin banyak digunakan untuk insektisida rumah tangga baik dalam bentuk semprot manual (tanpa aerosol), aerosol (dengan gas pendorong), elektrik, maupun koil atau bakar. Berdasarkan hasil peninjauan terhadap insektisida yang dilakukan oleh USEPA (United State of Enviromental Protection Agency), dampak resiko pada manusia dan lingkungan dapat diminimalisir dengan mengikuti petunjuk penggunaan yang tertera pada label (Illinois Department of Public Health Enviromental Health, 2007).
 5. DEET. Insektisida jenis DEET digunakan sebagai insektisida oles atau *lotion (repellent)*. DEET mampu memblokade *receptor olfactory* pada serangga sehingga menyebabkan hilangnya insting atau keinginan serangga untuk menggigit manusia. DEET memiliki karakteristik sukar larut dalam air. Meskipun DEET tidak digolongkan sebagai penyebab kanker pada manusia, sebaiknya DEET tidak digunakan secara berulang setelah 8 jam karena DEET mampu berpenetrasi melalui kulit sehingga berpotensi menimbulkan keracunan.

Sebagai *repellent*, The Center for Disease (CDC) merekomendasikan kadar DEET 30-50% untuk mencegah terjadinya resistensi dari serangga (Fishel, 2008).

6. Fumigan mencakup beberapa jenis padatan, gas, atau cairan yang mudah menguap pada suhu yang rendah dan melepaskan gas yang dapat membasmi hama. Jenis fumigan yang banyak digunakan adalah Paradiklorbenzen (PDB) atau naftalen. PDB biasanya digunakan sebagai penyegar udara dan penghilang bau karena karakteristiknya yang jarang memicu terjadinya keracunan pada manusia. Naftalen (kapur barus) mempunyai bau yang tajam dan dapat menimbulkan iritasi kulit pada orang yang alergi.
7. Asam Borat (yang tersedia dalam bentuk cairan, serbuk, umpan berbentuk pasta, atau gel) digunakan untuk mengontrol rayap, ngengat, kecoa, kutu, semut, dan serangga lainnya. Pestisida ini bekerja dengan cara mempengaruhi metabolisme serangga (bekerja secara perlahan dengan memicu terjadinya dehidrasi dan kemudian merusak sistem imun serangga) serta bersifat abrasif pada eksoskeleton serangga (Fishel, 2017).

2.3.3 Obat Nyamuk

Jumlah penyakit yang disebabkan oleh nyamuk semakin meningkat. Hal ini dikarenakan Indonesia mempunyai iklim tropis dimana daerah yang beriklim tropis merupakan tempat yang cocok untuk perkembangbiakan nyamuk. Gangguan nyamuk/serangga memang sudah menjadi masalah yang serius. Hal ini dibuktikan dengan sekitar 36,6% masyarakat menggunakan insektisida semprot, 14,8% menggunakan insektisida coil/bakar, 15,6% menggunakan insektisida oles/*lotion*, 12% menggunakan insektisida elektrik, dan 12,3% penggunaan insektisida kombinasi antara bakar, semprot, dan oles (Shinta, dkk, 2008). Usaha-usaha yang telah dilakukan masyarakat untuk penanggulangan nyamuk tersebut salah satunya yaitu dengan pemakaian obat anti nyamuk, yang tentunya mengandung beberapa senyawa kimia (Lu, 1995).

Mayoritas masyarakat Indonesia menggunakan obat nyamuk untuk membasmi nyamuk di dalam ruangan. Obat nyamuk memiliki berbagai jenis, diantaranya obat anti nyamuk *liquid*, bakar atau *coil*, *aerosol*, dan *vaporizer (mat, liquid elektrik, lotion)*. Di setiap jenis obat nyamuk tersebut terkandung bahan aktif yang berbeda-beda

tergantung merek dan jenisnya. Cara promosi produk obat nyamuk juga mempengaruhi meningkatnya pemakaian obat nyamuk oleh masyarakat. Iklan yang beredar dikemas secara menarik sehingga timbul anggapan di masyarakat bahwa obat nyamuk tersebut tidak berbahaya sama sekali bagi manusia. Zat aktif dalam obat nyamuk apabila digunakan secara rutin lambat laun dapat mempengaruhi dan menyebabkan kelainan pada organ tubuh manusia. Zat aktif dalam obat nyamuk masuk ke dalam tubuh melalui pernapasan dan kulit, lalu akan beredar bersama darah, masuk ke sel-sel dan organ tubuh (Prastiwi, 2015).

Menurut Amelia, dkk (2015), pemakaian obat anti nyamuk dengan bahan aktif golongan organofosfat seperti Dichorvos atau Dichlorovynil dimethyl phosfat (DDVP) dan karbamat seperti propuxur dapat menimbulkan efek yang berbahaya bagi manusia. Senyawa kimia lain yang terkandung pada obat anti nyamuk antara lain adalah piretroid, transflutrin, dan dellatherine (Ganong, 2003).

2.3.4 Transflutrin

Salah satu kandungan obat anti nyamuk adalah transflutrin. Bahan kimia ini merupakan golongan piretroid yang merupakan bagian dari insektisida organik sintetik (Triharso, 1994). Transflutrin diperkenalkan pada pertengahan tahun 1990 sebagai jenis senyawa piretroid baru yang memiliki tingkat toksisitas rendah dan sangat selektif. Transflutrin didasarkan pada *polyfluorinated benzyl alcohols*. Struktur kimia transflutrin ditunjukkan oleh Gambar 2.2. Tingkat volatilitas transflutrin membuatnya cocok diterapkan pada sistem yang mengevaporasi bahan aktif, seperti *mosquito coils*, sistem *vaporizer* aktif dan pasif, aerosol, penyemprot, atau kertas insektisida (Mrusek et al. 1995).

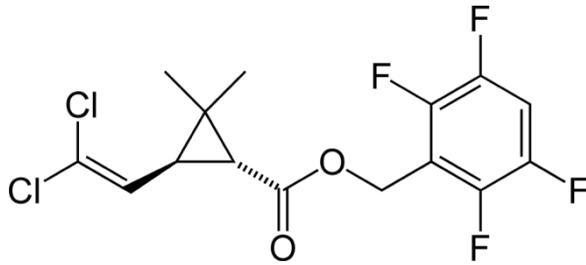
Berdasarkan penelitian yang dilakukan Gammon (2007), piretroid jenis resmetrin dan piretrin yang banyak digunakan untuk membasmi nyamuk vektor *west Nile virus* berpotensi memicu terjadinya kanker pada manusia. Insektisida jenis ini terbukti menimbulkan kanker pada tikus.

Gejala dan tanda keracunan pada piretroid sintetik meliputi iritasi kulit hingga mati rasa, inkoordinasi, tremor, salivasi, muntah, diare, serta iritasi pada indera pendengaran dan perasa. Sedangkan keracunan akibat piretroid yang didapat dari tanaman (piretrum dan

piretrin) ditandai dengan alergi, iritasi kulit, dan asma. Meskipun piretrin bersifat kurang alergik tetapi tetap berpotensi menyebabkan terjadinya iritasi pada orang yang sensitif (Schulze et al, 1997).

Piretroid juga dihubungkan dengan terjadinya gangguan sistem endokrin yang berdampak pada perkembangan seksual dan reproduksi, menimbulkan gangguan pada sistem imun, serta meningkatkan resiko kanker payudara. Piretroid sintetis yang bersifat xenoestrogen diperkirakan dapat meningkatkan jumlah estrogen dalam tubuh (Garey dan Wolff, 1998). Peningkatan kadar estrogen ini akan meningkatkan kemungkinan pembentukan *malignant tumor* dalam payudara (Go, 1999).

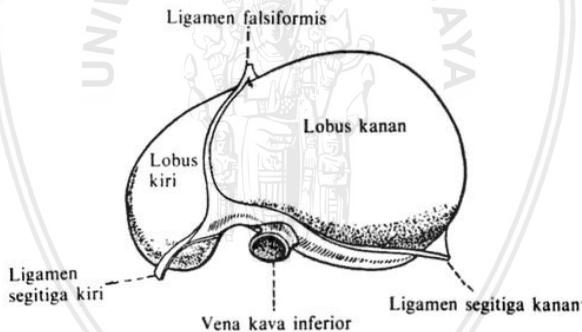
Menurut Indrosancoyo (2008), sebagian besar insektisida rumah tangga saat ini memang berbahan aktif piretroid. Senyawa piretroid sebenarnya memiliki toksisitas akut yang rendah pada manusia. Akan tetapi, apabila tertelan dalam dosis tinggi dapat menyebabkan keracunan dan kematian. Tanda-tanda keracunan bahan aktif piretroid adalah iritasi lokal dan kulit menjadi kering serta iritasi saluran napas bagian atas (seperti rhinitis dan radang kerongkongan). Piretroid juga berpotensi menjadi agen pemicu terjadinya alergi bagi orang yang sensitif apabila terhirup secara berulang sehingga kemudian menyebabkan bersin, batuk, napas pendek, dan sakit di bagian dada pada anak-anak yang mengidap asma dan alergi. Apabila tertelan, maka dapat menimbulkan mual, muntah, dan diare. Sementara itu, jika piretroid tertelan dalam dosis yang tinggi (200–500 ml), maka dapat menyebabkan kerusakan sistem saraf pusat dan mengakibatkan sesak napas serta koma (Wigati dan Susanti, 2012). Dalam jangka pendek, penggunaan insektisida piretroid berpengaruh pada berbagai penyakit alergi dan penyakit kulit, sedangkan dalam jangka panjang dapat mempengaruhi sistem neurotransmitter pada pemakai maupun organisme yang terpapar. Piretroid sintetis dan organofosfat bersifat *genocitik* sehingga mampu menyebabkan terjadinya kelainan pada sperma, aborsi, dan berisiko menyebabkan kanker. Penggunaan piretroid dalam dosis yang tidak tepat dengan jangka waktu yang lama mampu menyebabkan terjadinya kemandulan pada pria (Searles et al, 2010).



Gambar 2.2 Struktur molekul transflutrin

2.4 Organ Hati

Menurut Baradero (2008), hepar adalah kelenjar yang paling besar dalam tubuh manusia dengan berat 1500 gram atau 1,5 kg. Pada Gambar 2.3, dapat dilihat bahwa hepar dibagi menjadi dua lobus, yaitu lobus kiri dan lobus kanan. Ligamen falsiform kemudian membagi lobus kanan menjadi segmen anterior dan posterior serta lobus kiri menjadi segmen lateral dan medial.



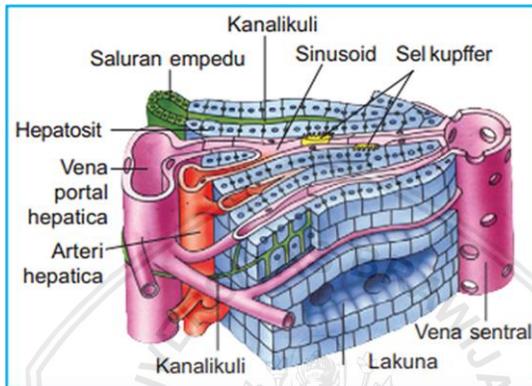
Gambar 2.3 Organ hati (Baradero, 2008).

2.4.1 Anatomi dan Fisiologi Hati

Gambar 2.4 menunjukkan anatomi dari hati. Menurut Baradero (2008), saluran-saluran hepar terdiri dari:

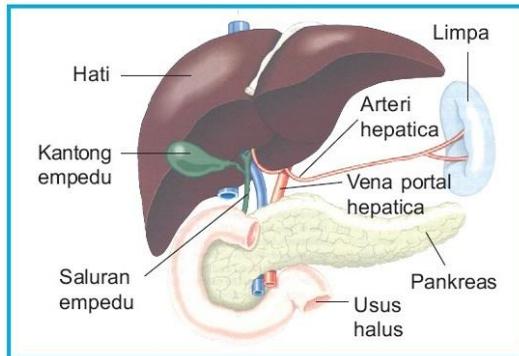
1. Arteria hepaticum adalah salah satu cabang dari arteria seliaka dari aorta. Arteria ini menyuplai darah ke hepar.

2. Vena porta hepatica membawa darah vena dari seluruh traktus gastrointestinal ke hepar. Darah ini mengandung zat-zat makanan yang telah diserap oleh vili usus halus.
3. Vena hepatica membawa darah vena dari hepar ke vena inferior.
4. Saluran-saluran bilier yang juga disebut dengan kanalikuli empedu



Gambar 2.4 Anatomi hati (Toole G dan Toole H, 1999).

Hati memiliki keterkaitan dengan sistem organ lainnya seperti pada Gambar 2.5. Hati terlibat dalam proses pencernaan atau digesti, metabolisme, sintesis nutrien yang dibutuhkan tubuh, dan juga berperan penting untuk detoksifikasi obat dan zat kimia. Hal ini dikarenakan fungsi utama hati adalah untuk menerima serta mengolah zat kimia (nutrien) yang diabsorpsi dari saluran gastrointestinal sebelum disebarkan ke jaringan lain. Setelah itu, darah kaya nutrien akan langsung dialirkan ke hati. Sel-sel hati kemudian menyingkirkan asam amino (blok-blok pembentuk protein), lemak, glukosa, dan toksikan dari darah untuk dapat diproses nantinya. Hati juga merupakan tempat utama terjadinya metabolisme lemak dan hati juga menyimpan glikogen yang dapat diubah menjadi energi jika diperlukan. Selain itu, hati berfungsi untuk menghasilkan empedu, kolesterol, serta protein seperti albumin dan protein pembungkus.



Gambar 2.5 Keterkaitan hati dengan sistem organ (Toole G dan Toole H, 1999).

Hati mendegradasi beragam racun dalam tubuh menjadi zat-zat yang tak berbahaya. Hal itu dilakukan melalui oksidasi, metilasi, hidrosilasi, atau konjugasi dengan bagian-bagian organik, misalnya asam glukuronat. Hati mengekskresikan banyak racun ternetralisasi itu. Hati juga cenderung mengkonsentrasikan racun-racun yang sudah dinetralkan tersebut dalam lobula-lobulanya. Dalam produksi enzimnya, hati juga mungkin mengurangi kadar zat-zat yang berpotensi membahayakan. Serum kolinesterase, yang disintesis dalam hati, membantu menjaga asetilkolin pada kadar yang terkontrol. Berbagai hormon dijaga dalam keadaan tidak aktif oleh sistem-sistem hepatic yang terutama terlibat dalam detoksifikasi. Sistem-sistem tersebut juga mengesterifikasi kolesterol. Karena hati yang terganggu tak dapat menjalankan fungsi-fungsi tersebut, orang-orang dengan kelainan fungsi hati sangat rawan terhadap keracunan obat, toksemia, dan penumpukan hormon (Fried dan Hademenos, 2006).

2.4.2 Hati yang Terpapar Insektisida

Terdapat dua cara perlindungan terhadap hati dari kerusakan yang permanen. Pertama, hati masih dapat berfungsi normal walaupun sebagian besar organ tersebut telah rusak. Kedua, hati memiliki kemampuan untuk beregenerasi dengan mudah dan cepat. Walaupun demikian, bukan berarti bahwa hati tidak dapat mengalami kerusakan yang permanen akibat paparan zat kimia.

repository.ub.ac.id

Kerusakan hati yang disebabkan berbagai jenis substansi kimia (hepatotoksikan) dapat ditandai dengan dua cara, yaitu akumulasi lemak atau kematian sel-sel hati. Akumulasi lemak yang ada dalam hati (steatosis) merupakan penanda umum toksisitas hati yang mungkin disebabkan oleh adanya zat kimia yang toksik (termasuk alkohol). Akan tetapi, asalkan tidak ada sel-sel yang mati, steatosis tidak akan mempengaruhi fungsi hati. Nekrosis hati (kematian sel-sel hati) terjadi akibat paparan terhadap sejumlah zat kimia, antara lain karbon tetraklorida, asam tannat, aflatoksin, dan kloroform. Pada kasus sirosis, sejumlah besar sel hati akan hancur akibat penyalahgunaan alkohol secara kronis, hepatitis viral, atau akibat agen kimia yang dapat menyerang sel-sel hati. Tumor hati (baik yang jinak maupun yang ganas) juga dikaitkan dengan paparan terhadap arsenik, *polychlorinated biphenyl* (PCB), thrium, dan yang paling umum, vinil klorida. Apabila terlalu banyak sel-sel hati (hepatosit) yang mati, maka hati tidak mampu menggantinya. Hal ini kemudian akan menyebabkan terjadinya gagal hati bahkan kematian (Widyastuti, 2002).

2.5 Radikal Bebas

Radikal bebas (*free radical*) yang juga disebut sebagai senyawa oksigen reaktif (*reactive oxygen species* atau ROS) merupakan sebuah molekul atau atom yang mempunyai satu atau lebih elektron yang tidak berpasangan pada orbital terluarnya. Sifat dari radikal bebas adalah tidak stabil, sangat reaktif, dan dapat merebut elektron dari molekul lain agar mendapatkan pasangan elektronnya. Molekul yang kehilangan elektron ini kemudian dapat bersifat reaktif, terutama asam lemak tidak jenuh yang kemudian ditransformasikan menjadi radikal bebas yang sangat reaktif (Nabet, 1996).

Radikal bebas dapat terbentuk melalui dua cara, yaitu secara endogen sebagai respon normal dari rantai peristiwa biokimia dalam tubuh, dalam sel (intrasel), maupun ekstrasel, dan secara eksogen dimana radikal bebas didapat dari polutan lingkungan, asap rokok, obat-obatan, dan radiasi ionisasi atau sinar ultra violet (Supari, 1996; Langseth, 2000). Reaksi yang selanjutnya terjadi adalah peroksidasi lipid membran dan sitosol yang menyebabkan serangkaian reduksi asam lemak sehingga mengakibatkan kerusakan membran dan organel sel (Pazil, 2009).

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Menurut Suryohudoyo (2000), seluruh reaksi radikal bebas dapat dijabarkan menjadi 3 (tiga) tahap, yaitu tahap inisiasi, tahap propagasi, dan tahap terminasi. Tahap inisiasi merupakan tahap awal pembentukan radikal bebas (Winarno, dkk., 2015). Apabila radikal bebas telah terbentuk, maka radikal bebas akan bereaksi dengan oksigen membentuk radikal peroksi yang selanjutnya dapat mengambil hidrogen dari molekul tak jenuh lain yang kemudian dapat menghasilkan peroksida dan radikal bebas baru. Oleh karena itu, mulailah terjadi tahap propagasi (reaksi penyebaran). Reaksi ini akan terjadi secara berulang-ulang dan bersifat sebagai reaksi berantai (Yubaidah, 2009). Setelah itu, radikal-radikal bebas reaktif akan bergabung bersama membentuk ikatan kovalen dan secara efektif mengakhiri proses reaksi rantai dan menghasilkan senyawa yang stabil (Cairns, 2008).

Menurut Pazil (2009), peroksidasi atau otooksidasi lipid bukan hanya dapat menyebabkan kerusakan pada bahan makanan, melainkan juga dapat menyebabkan kerusakan jaringan *in vivo* karena dapat memicu terjadinya kanker, penyakit inflamasi, aterosklerosis, serta penuaan. Efek yang merusak tersebut diakibatkan adanya produksi radikal bebas (ROO*, RO*, dan OH*) saat proses pembentukan peroksida dari asam lemak. Peroksidasi lipid adalah reaksi berantai yang memasok radikal bebas secara terus-menerus sehingga menginisiasi peroksidasi lebih lanjut. Proses yang terjadi dapat digambarkan sebagai berikut:

- a. Inisiasi
$$\text{ROOH} + \text{logam}^{(n)} \rightarrow \text{ROO}^* + \text{Logam}^{(n-1)} + \text{H}^+$$
$$\text{X}^* + \text{RH} \rightarrow \text{R}^* + \text{XH}$$
- b. Propagasi
$$\text{R}^* + \text{O}_2 \rightarrow \text{ROO}^*$$
$$\text{ROO}^* + \text{RH} \rightarrow \text{ROOH} + \text{R}^*$$
- c. Terminasi
$$\text{ROO}^* + \text{ROO}^* \rightarrow \text{ROOR} + \text{O}_2$$
$$\text{ROO}^* + \text{R}^* \rightarrow \text{ROOR}$$
$$\text{R}^* + \text{R}^* \rightarrow \text{RR}$$

2.6 Malondialdehida (MDA)

Tingginya kadar radikal bebas dalam tubuh dapat ditunjukkan oleh tingginya kadar malondialdehid atau MDA (Winarsi, 2007). Malondialdehid merupakan suatu produk akhir peroksidasi lipid yang biasanya digunakan sebagai biomarker biologis peroksidasi lipid dan dapat menggambarkan derajat stres oksidatif (Hendromartono, 2000). Menurut Murray (2003), peroksidasi lipid adalah reaksi berantai yang memasok radikal bebas sehingga terjadi reaksi peroksida berikutnya. Radikal lipid yang terbentuk akan bereaksi dengan oksigen membentuk radikal peroksi-lipid, lipid peroksida, serta malondialdehid (MDA) yang larut dalam air dan dapat dideteksi dalam darah. Sementara itu, menurut Halliwell dan Gutteridge (1999), peroksidasi lipid adalah perusakan oksidatif terhadap asam lemak tak jenuh berantai panjang (*Polyunsaturated Fatty Acid*).



Gambar 2.6 Struktur molekul MDA

Menurut Ayala et al. (2014), struktur lipid hidroperoksida yang bersifat sangat tidak stabil dapat dengan mudah berubah menjadi MDA seperti pada Gambar 2.6, 4-hidroksi-2-nonenal (4-HNE), dan beberapa bentuk aldehid lain. Akan tetapi, produk sekunder utama pada proses peroksidasi lipid adalah MDA. Hal ini dikarenakan MDA bersifat lebih mutagenik dibanding aldehid lainnya. MDA dalam material hayati terdapat dalam bentuk bebas atau membentuk ikatan kompleks dengan unsur lainnya di dalam jaringan (Suryohudoyo, 2000).

2.7 Electron Spin Resonance (ESR)

ESR (Electron Spin Resonance) merupakan salah satu metode analisa spektroskopi atom dan molekul melalui proses resonansi magnetik. Metode ini menampilkan spektrum halus yang merupakan hasil interaksi dari spin inti dengan spin elektron (Murdoko, dkk, 1996). Menurut Rahma (2016), teknik ESR dapat digunakan untuk mengetahui senyawa yang memiliki elektron tak berpasangan seperti radikal bebas organik maupun senyawa radikal bebas anorganik maupun senyawa kompleks anorganik yang memiliki ion logam

transisi. Radikal bebas biasanya memproduksi elektron tak berpasangan sedangkan pada senyawa organik stabil biasanya mempunyai kulit elektron tertutup atau tidak mempunyai elektron tak berpasangan sehingga tidak ada spin elektron yang terukur. ESR mengukur perubahan frekuensi spin elektron keadaan $m_s = +1/2$ dan $m_s = -1/2$ yang bereaksi dengan medan magnet kuat. ESR membutuhkan variasi kuat medan magnet yang besar yang berpengaruh terhadap energi yang dihasilkan oleh spin elektron. Informasi yang akan didapatkan dari ESR adalah faktor g dari radikal bebas (Christensen, 1994).

Menurut Atkins (1999), teknik ESR memanfaatkan medan magnet yang ditimbulkan akibat elektron yang beresonansi dengan radiasi elektromagnetik. Menurut Macomber (1988), kondisi resonansi akan terpenuhi jika

$$E = \Delta E \quad (2.1)$$

dimana $E = h\nu$ merupakan energi gelombang elektromagnetik dan $\Delta E = g\mu_B B_0$ merupakan beda energi diantara kedua spin elektron, dengan g dan B berturut-turut merupakan faktor Lande dan magneton Bohr.

Prinsip kerja dari ESR adalah penyerapan resonansi energi elektromagnetik akibat partikel yang berputar pada medan magnet yang kuat. Pada dasarnya, ESR menerapkan hubungan antara momentum sudut intrinsik elektron spin (s) dengan momen magnet yang ditunjukkan persamaan:

$$\mu = g\beta s \quad (2.2)$$

dengan g merupakan faktor lande (2,0023 J/T) dan β merupakan magneton Bohr dengan nilai $9,274078 \times 10^{-24}$ J/T (Atkins, 1999).

2.7.1 Faktor Lande (g)

Faktor Lande menunjukkan hubungan antara interaksi spin-orbit dan elektron paramagnet dengan inti atom yang ada di sekitarnya. Penentuan nilai g didapatkan pada saat terjadi resonansi magnetik, yaitu ketika sampel berinteraksi dengan radiasi elektromagnetik sebesar hf dan sebanding dengan transisi energi antara 2 tingkatan spin seperti yang dituliskan berikut (Atkins, 1999).

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

dengan: $h =$ konstanta plank ($h = 6,625 \times 10^{-34} \text{ W s}^2$)
 $\mu_B =$ magneton Bohr ($\mu_B = 9,273 \times 10^{-24} \text{ Am}^2$)
 $B =$ medan magnet eksternal (T)

Sementara itu, untuk menentukan medan magnet (B) eksternal pada ESR Leybold Heracus menggunakan persamaan berikut:

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

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

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

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

$I =$ arus yang mengalir pada kumparan Helmholtz

(Miller, 2001)

Menurut Macomber (1988), nilai g ditentukan oleh frekuensi presisi dari elektron yang tidak berpasangan pada suatu molekul. Berdasarkan dari hasil g yang diperoleh, lingkungan atom yang berpengaruh terhadap sistem yang sedang diperiksa dapat dianalisis. Setiap jenis radikal memiliki nilai g yang berbeda-beda (Atkins, 1999).

2.7.2 Efek Zeeman

Dalam penggunaannya, ESR bergantung pada pemisahan Zeeman dari tingkatan energi tunggal di dalam atom. ESR bergantung pada orientasi momen magnetik elektron dan memerlukan sejumlah medan bolak-balik enerjetik yang lebih besar (sekitar 10 GHz) untuk dapat menimbulkan terjadinya resonansi. Efek Zeeman adalah pemisahan tingkatan energi atom akibat adanya pengaruh dari medan magnet eksternal. Pemisahan tersebut terjadi karena interaksi momen magnetik atom μ dengan medan magnet B . Besarnya pergeseran tingkat energi atomik dinyatakan dengan

$$\Delta E = -\mu B \quad (2.5)$$

Pergeseran energi ini tergantung pada orientasi relatif momen magnetik dan medan magnetik (Kalelkar, 2007).

Menurut Lestiana (2011), efek Zeeman dapat menjelaskan tentang struktur atom. Efek Zeeman adalah peristiwa terpecahnya satu garis spektrum dari tingkatan energi tertentu menjadi beberapa komponen (tiga garis spektrum) karena adanya pengaruh medan magnet eksternal (Schwarz dan Trappe, 2006). Efek Zeeman terbentuk akibat degenerasi level energi pada atom karena adanya interaksi dari momen magnetik atom serta medan magnet eksternal. Seberapa kuat interaksi dalam setiap tingkat energi, ditunjukkan dengan momentum angular dari atom, yaitu

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

dengan L dan S merupakan momentum angular orbital dan momentum angular spin. Besarnya J diperoleh dari $(L-S)$ hingga $(L+S)$. Komponen- z dari J kemudian dinamakan bilangan kuantum m_j dan bernilai diskrit pada rentang $-J \leq m_j \leq J$ dengan $2J+1$ sebagai orientasi dari J . Ketika besar medan magnet B sama dengan 0, maka tidak ada energi yang berorientasi pada J . Akan tetapi, ketika diberikan medan magnet B dengan nilai lebih dari 0, maka akan terjadi perbedaan energi yang berorientasi pada J (Schumacher, 2010).

Terdapat dua macam efek Zeeman, yaitu efek Zeeman normal dan efek Zeeman anomali. Efek Zeeman normal merupakan terpecahnya satu garis spektrum menjadi tiga garis spektrum yang sering diamati dengan filter merah sedangkan efek Zeeman anomali merupakan peristiwa terpecahnya satu garis spektrum menjadi lebih dari tiga garis spektrum diamati dengan filter hijau. Secara teoritis, spektrum pada efek Zeeman anomali dengan menggunakan filter hijau akan diperoleh 9 komponen garis (Topper, 2007). Berdasarkan arah medan magnet, efek Zeeman terdiri dari dua macam, yaitu efek Zeeman transvesal dan efek Zeeman longitudinal (PHYWE, 2010). Tambahan pula, dalam penelitian efek Zeeman, nilai magneton Bohr (μ_B) dapat diperoleh dari besarnya spektrum yang terpecah (ΔE) yang berupa spektrum garis yang kemudian dikalkulasikan serta diplotkan dengan medan magnet (B) (Lestiana, 2011).

2.8 Biolistik

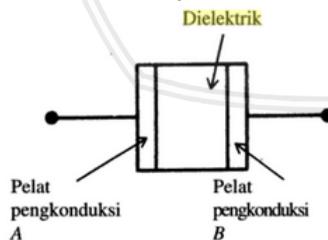
Biolistik adalah karakteristik kelistrikan dalam suatu sel atau jaringan pada makhluk hidup yang diakibatkan oleh adanya berbagai peristiwa pada makhluk hidup yang dipengaruhi oleh senyawa

metabolisme biologis dan pertukaran ion yang terjadi. Karakteristik biolistrik pada sebagian besar bahan biologis dipengaruhi oleh berbagai macam variabel, misalnya frekuensi, kerapatan, kelembaban, berat jenis bahan, temperatur, dimensi dari bahan, faktor loss dielektrik, serta komposisi bahan. Karakteristik biolistrik yang dapat diamati antara lain adalah impedansi, kapasitansi, induktansi, konstanta dielektrik, dan konduktivitas listrik (Hidayat, 2013).

Setiap bahan memiliki sifat listrik yang khas dan besarnya sangat ditentukan oleh kondisi internal bahan tersebut, seperti momen dipol listrik, komposisi bahan kimia, kandungan air, keasamaan, dan sifat internal lainnya (Hermawan, 2005). Bahan yang memiliki sifat kelistrikan dan mampu menyimpan energi listrik disebut dengan bahan dielektrik (Frenske dan Mirsa, 2000).

2.8.1 Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik

Kapasitansi merupakan kemampuan kapasitor dalam menyimpan muatan listrik. Umumnya, nilai kapasitansi sebuah kapasitor ditentukan oleh bahan dielektrik yang digunakan (Young dan Freedman, 2000). Kapasitansi dapat mempertahankan muatan listrik yang disimpannya dan medan listriknya akan tetap ada walaupun sumber telah dilepas (Nahvi dan Edminister, 2004). Berdasarkan kemampuan menyimpan muatan, kapasitor dapat dibedakan menjadi kapasitor dengan kapasitansi tetap dan kapasitor dengan kapasitansi yang dapat diubah-ubah atau biasa juga disebut dengan kapasitor variabel (Cahyono, dkk, 2017).



Gambar 2.7 Kapasitor Dielektrik (Gussow, 2004).

Kapasitansi diukur dengan satuan farad. Pada kapasitor keping sejajar seperti pada Gambar 2.7, nilai kapasitansi bergantung pada luas permukaan keping, jarak antara dua keping, dan bahan dielektrik yang digunakan. Nilai kapasitansi berbanding lurus dengan

luas permukaan keping dan berbanding terbalik dengan jarak antara dua keping sejajar. Persamaannya adalah

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} \quad (2.7)$$

dengan C merupakan kapasitansi (satunya farad atau F), ϵ_0 adalah permitivitas ruang hampa, ϵ_r merupakan permitivitas relatif bahan dielektrik, A merupakan luas permukaan keping sejajar, serta d menandakan jarak antar dua pelat atau keping sejajar (Budiharto dan Rahardi, 2007). Pada kapasitor pelat sejajar sederhana, terdapat kelebihan muatan pada satu pelat dan kekurangan muatan pada pelat yang lain. Apabila kapasitor dihilangkan muatannya, maka akan terjadi ekualisasi muatan-muatan (Nahvi dan Edminister, 2004).

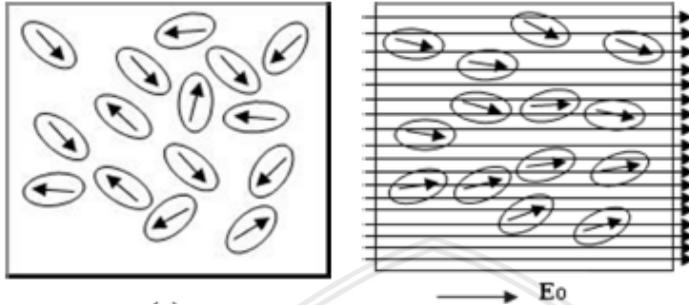
Menurut Smallman dan Bishop (2000), kemampuan material untuk polarisasi dinyatakan sebagai permitivitas ϵ dan permitivitas relatif atau konstanta dielektrik κ yang merupakan rasio antara permitivitas bahan (material) dan permitivitas vakum ϵ_0 . Struktur bahan merupakan ciri perilaku dielektrik yang penting. Respon terhadap frekuensi juga penting untuk aplikasi dielektrik (bergantung pada mekanisme polarisasi).

Menurut Zahrotin dan Endarko (2014), bahan dielektrik merupakan suatu bahan yang memiliki daya hantar arus yang sangat kecil atau bahkan hampir tidak ada. Bahan dielektrik dapat berwujud padat, cair, dan gas. Pada bahan dielektrik, tidak terdapat elektron-elektron konduksi yang bebas bergerak di seluruh bahan oleh adanya pengaruh medan listrik. Sifat inilah yang menjadikan bahan dielektrik sebagai isolator yang baik (Mujib dan Muntini, 2013).

2.8.2 Pengukuran Biolistrik dengan Metode Dielektrik

Metode dielektrik merupakan metode secara langsung menggunakan dua buah plat penghantar di mana terdapat bahan dielektrik di antaranya. Metode dielektrik juga merupakan suatu metode berbasis listrik yang bisa digunakan untuk mendeteksi kemurnian bahan dan karakteristik biolistrik suatu bahan (Hidayat, 2013). Dalam metode dielektrik, banyak variabel yang bisa digunakan untuk menentukan karakteristik suatu bahan, diantaranya adalah kapasitansi, resistensi, konstanta dielektrik, induktansi, dan impedansi (Hidayat, 2015).

Sifat dielektrik merupakan parameter utama yang memberikan informasi tentang interaksi bahan dengan energi elektromagnetik. Selain itu, dari sifat dielektrik dapat pula dipahami perilaku bahan ketika dimasukkan ke medan elektromagnetik (pada Gambar 2.8) pada frekuensi dan suhu tertentu (Spohner, 2012).



Gambar 2.8 Proses polarisasi pada bahan dielektrik akibat adanya pengaruh medan listrik eksternal (Tipler, 1991).

2.8.3 Kapasitansi Meter

Besarnya nilai kapasitansi dari suatu kapasitor, biasanya dapat dilihat langsung pada label kemasannya. Akan tetapi, nilai kapasitansi yang tercantum pada label kemasan kapasitor bukanlah nilai kapasitansi yang sebenarnya tetapi merupakan *range* nilai kapasitansi dengan toleransi tertentu. Selain itu, label pada kemasan kapasitor seringkali sudah terhapus atau kapasitansi yang sebenarnya dari kapasitor sudah tidak sesuai lagi dengan nilai kapasitansi yang tertera pada label di kemasan seiring dengan berjalannya waktu penggunaan kapasitor tersebut.

Perubahan nilai kapasitansi dapat mempengaruhi kinerja dari rangkaian. Oleh karena itu, besarnya nilai kapasitansi sebenarnya dari sebuah kapasitor bukan hanya perlu diketahui melalui label kemasannya saja, melainkan juga harus dilakukan dengan pengukuran secara langsung. Pengukuran langsung nilai kapasitansi dapat dilakukan dengan alat ukur kapasitansi atau kapasitansi meter (*capacitance meter*). Keberadaan kapasitansi meter bagi seorang perancang elektronika sangat penting karena alat ukur tersebut sangat membantu dalam perancangan serta pembuatan suatu rangkaian elektronika yang membutuhkan keakuratan nilai kapasitansi dari kapasitor yang digunakan (Samosir, 2016).

repository.ub.ac.id

Menurut Perangin-angin (2003), prinsip kerja kapasitansi meter didasarkan pada prinsip bahwa komponen elektronika kapasitor dapat digunakan sebagai pendiferensiator, dimana sinyal keluaran yang telah didiferensiasikan sebanding dengan sinyal masukan. Level tegangan ini sebanding dengan kapasitansi dari kapasitor pendiferensial. Selanjutnya, keluaran sinyal akan dirubah ke sinyal digital dengan sebuah ADC (Analog to Digital Converter).

2.9 Mencit

Mencit pada Gambar 2.9 termasuk dalam genus *Mus*, subfamili murinae, famili muridae, dan ordo rodentia. Mencit yang sering dipakai untuk penelitian biomedis adalah *Mus musculus*. Berbeda dengan hewan-hewan lainnya, mencit tidak memiliki kelenjar keringat. Pada umur empat minggu, beratnya dapat mencapai 18-20 gram. Hewan ini memiliki karakter lebih aktif pada malam hari daripada di siang hari. Mencit paling banyak digunakan untuk tujuan penelitian medis (sekitar 60-80%) karena murah dan perkembangbiakannya yang mudah (Kusumawati, 2004).



Gambar 2.9 Mencit (*Mus musculus*)

Mencit dipilih menjadi subjek eksperimental karena relevansinya dengan manusia. Meskipun mencit mempunyai struktur fisik dan anatomi yang berbeda dengan manusia, namun mencit adalah hewan mamalia yang mempunyai beberapa ciri fisiologis dan biokimia yang hampir menyerupai manusia. Selain itu, jarak gestasi

untuk perkembangbiakan mencit juga terbilang singkat (Syahrin, 2006).



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2018 sampai April 2018 bertempat di Laboratorium Fisiologi Hewan dan Laboratorium Hewan Coba Jurusan Biologi Fakultas Sains Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Laboratorium Ilmu Faal Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya, serta *Measurement Circuit System Research Laboratory* dan Laboratorium Fisika Lanjutan Fakultas MIPA Jurusan Fisika Universitas Brawijaya.

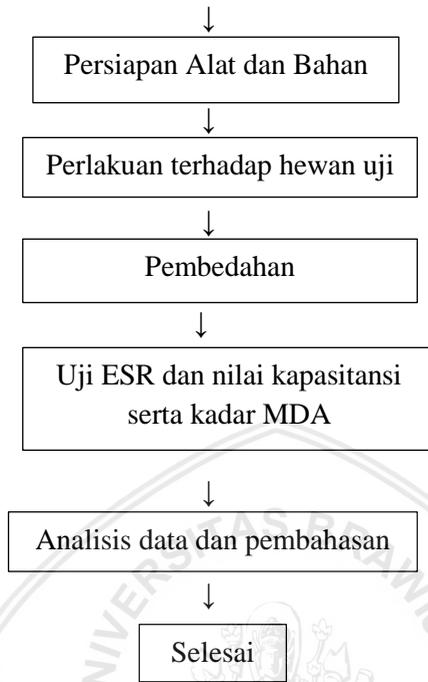
3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *chamber*, timbangan digital, alat bedah, kapasitansi meter, ESR (Electron Spin Resonance). Sedangkan bahan yang digunakan adalah mencit jantan berusia 2-3 bulan sebanyak 77 ekor dengan berat badan 23-30 gram, obat nyamuk semprot *one-push aerosol* tipe-A (bahan aktif transflutrin 21,3%) dan tipe-B (bahan aktif transflutrin 25%), larutan PBS, sekam kayu, dan kalibrator DPPH.

3.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini telah memenuhi kode etik yang dibuktikan dengan keterangan kelaikan etik dengan No. 889-KEP-UB yang dikeluarkan oleh Komisi Etik Penelitian Universitas Brawijaya. Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dimulai dari pengadaptasian hewan coba mencit, kemudian penyemprotan hewan coba dengan obat anti nyamuk semprot (*one push aerosol*) tipe-A dan tipe-B. Tahapan selanjutnya adalah pembedahan hewan coba mencit. Tahapan terakhir dilakukan analisis mengenai kerusakan organ hati mencit melalui identifikasi jenis radikal bebas, pengukuran nilai konstanta dielektrik, serta uji kadar MDA pada sampel. Tahapan-tahapan penelitian dapat digambarkan dalam diagram alur pada Gambar 3.1 berikut ini:

Mulai



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Pengadaptasian Hewan Uji Coba

Mencit yang akan diuji coba diadaptasikan terlebih dahulu dengan lingkungan *chamber*. Jumlah mencit yang digunakan sebanyak 77 ekor yang berusia 2-3 bulan. Perlakuan yang diberikan terdiri dari 2 kelompok besar dan 1 kelompok kontrol. Pembagian kelompok besar berdasarkan jenis obat anti nyamuk *one push aerosol* yaitu obat anti nyamuk tipe-A dan tipe-B. Masing-masing obat anti nyamuk *one push aerosol* terbagi menjadi 5 kelompok perlakuan (A1, A2, A3, A4, A5, B1, B2, B3, B4, dan B5). Pembagian tersebut berdasarkan banyaknya semprotan obat anti nyamuk *one push aerosol* yang diberikan pada mencit selama 20 menit. A1 dan B1 sebanyak 1 kali semprot, A2 dan B2 sebanyak dua kali semprot, A3 dan B3 sebanyak tiga kali semprot, A4 dan B4 sebanyak empat kali semprot, serta A5 dan B5 sebanyak lima kali semprot. Setiap kelompok perlakuan terdiri dari 7 ekor mencit.

3.4.2 Perlakuan Terhadap Hewan Uji Coba

Perlakuan terhadap hewan uji coba dilakukan dengan penyemprotan obat nyamuk *one push aerosol* terhadap mencit. Pemberian obat nyamuk *one push aerosol* dengan 5 variasi banyaknya semprotan untuk masing-masing tipe obat anti nyamuk, yaitu selama 20 menit dengan A1 dan B1 sebanyak 1 kali semprot, A2 dan B2 sebanyak dua kali semprot, A3 dan B3 sebanyak tiga kali semprot, A4 dan B4 sebanyak empat kali semprot, serta A5 dan B5 sebanyak lima kali semprot. Pemberian obat nyamuk *one push aerosol* dimulai dengan cara memasukkan mencit dalam *chamber* dan ditutup. Setelah itu, disemprotkan obat nyamuk *one push aerosol* dengan jumlah yang telah ditentukan. Mencit yang telah diberikan obat nyamuk *one push aerosol* di dalam *chamber* dengan jumlah yang berbeda-beda itu, dibiarkan berada dalam *chamber* tertutup selama 20 menit. Setelah 20 menit, *chamber* tutup *chamber* dibuka dan mencit dibiarkan menghidup udara bebas.

3.4.3 Persiapan Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini, salah satunya adalah Electron Spin Resonance (ESR) sebagai pendeteksi radikal bebas dengan tipe Leybold-Heracus yang bekerja pada frekuensi 13 MHz – 130 MHz dengan arus maksimal 2A. Rangkaian alat ESR yaitu posisi unit ESR berada di antara 2 kumparan Hemholtz yang dipasang secara paralel dan dihubungkan dengan multimeter dan pengendali ESR. Alat pengendali ESR yang berfungsi sebagai pengatur arus dan beda fase dihubungkan dengan osiloskop yang berfungsi sebagai penampil kurva resonansi.

ESR dikalibrasi terlebih dahulu dengan DPPH untuk mengetahui keakuratan pengukurannya. Tabung DPPH dimasukkan pada kumparan RF (frekuensi radio) dan dipasang pada unit ESR. Frekuensi dan beda fase diatur hingga terbentuk kurva yang berhimpit simetris dengan jelas.

Peralatan lainnya yang digunakan adalah kapasitansi meter ALDA dengan nomor seri AVD890G yang dihubungkan dengan pelat sejajar. Nilai yang terdeteksi adalah nilai kapasitansi. Berdasarkan nilai itu, kemudian dapat dihitung nilai konstanta dielektrik bahan.

3.4.4 Pengukuran Sampel dengan ESR dan Kapasitansimeter

Sampel organ hati dibelah menjadi dua bagian. Bagian pertama dimasukkan ke dalam tabung dan kemudian diletakkan pada kumparan RF. Komponen RF beserta tabung kemudian dipasang pada unit ESR. Pengukuran dan pendeteksian radikal bebas pada organ hati dilakukan dengan mengatur nilai frekuensi dan arus sehingga terjadi resonansi dari dua gelombang, yaitu gelombang radio frekuensi dan gelombang deeksitasi akibat adanya medan magnet luar dari kumparan Hemholtz. Frekuensi resonansi (f) yang terjadi akibat adanya medan magnet (B) akan ditampilkan dalam bentuk kurva pada layar osiloskop.

Kapasitansi meter digunakan untuk pengukuran nilai kapasitansi. Pengukuran kapasitansi dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan untuk masing-masing sampel. Luasan permukaan pelat untuk peletakkan sampel serta jarak antar pelat juga dihitung. Data-data ini diperlukan untuk perhitungan nilai konstanta dielektrik.

3.4.5 Pengujian Kadar MDA pada Sampel Hati

Pengujian kadar MDA dilakukan di Laboratorium Ilmu Faal Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya. Sampel diambil dari masing-masing perlakuan, yaitu hati dari mencit kontrol serta hati dari mencit terpapar obat nyamuk one push aerosol tipe-A dan tipe B. Masing-masing sampel diuji dengan tiga kali pengulangan. Malondialdehyde (MDA) merupakan biomarker biologis peroksidasi lemak serta dapat digunakan untuk merepresentasikan derajat stres oksidatif.

Pengukuran kadar MDA dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang eksitasi 515 nm dan emisi 535 nm. Pengambilan sampel berupa jaringan hati dilakukan sebanyak 100 mg yang kemudian dimasukkan ke plastik klip dan diberikan larutan PBS untuk selanjutnya diuji kadar MDA-nya. Sampel berupa jaringan hati dimasukkan ke dalam mortar dingin dan digerus hingga halus dan selanjutnya dilakukan sentrifugasi dan homogenisasi. Setelah homogenisasi, sampel tersebut dipanaskan dan kemudian diukur nilai absorbansinya.

3.5 Analisa Data

Penentuan jenis radikal bebas yang terdapat pada sampel dengan perhitungan dari data frekuensi (f) dan arus (I) yang telah didapat sehingga diperoleh nilai medan magnet dan nilai faktor g . Nilai medan magnet (B) dihitung dengan persamaan:

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

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

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

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

I = arus yang mengalir pada kumparan Hemholtz (A)

Nilai medan magnet (B) kemudian digunakan untuk menghitung nilai faktor g dengan persamaan:

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

dimana: h = konstanta Planck ($h=6,625 \times 10^{-34} \text{Ws}^2$)

f = frekuensi resonansi (Hz)

μ_B = magneton Bohr ($\mu_B = 9,274078 \times 10^{-24} \text{Am}^2$)

B = medan magnet eksternal (T)

Konstanta dielektrik (ϵ') dihitung dengan menggunakan persamaan:

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

Proses analisis data yang dilakukan yaitu plotting grafik hubungan antara konstanta dielektrik sampel organ hati terhadap konsentrasi obat nyamuk one push aerosol yang digunakan.

Analisis data kadar MDA pada sampel dilakukan dengan membuat grafik hubungan antara kadar MDA yang didapat dari sampel dengan nilai konstanta dielektrik yang didapat dari sampel.

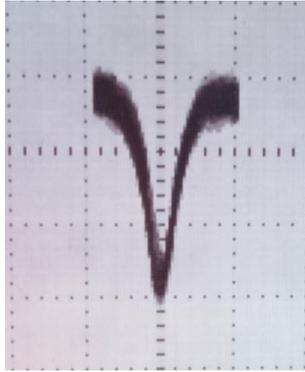
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi jenis radikal bebas dan sifat dielektrik pada organ hati dari mencit yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol* tipe-A dan tipe-B. Berdasarkan penelitian yang dilakukan selama 30 hari dengan pemberian paparan obat nyamuk dengan konsentrasi yang bervariasi, maka dapat diketahui jenis radikal bebas yang menyebabkan kerusakan pada hati mencit. Semakin banyak konsentrasi paparan yang diberikan, maka semakin tinggi tingkat kerusakannya. Semakin bertambahnya tingkat kerusakan pada hati mencit ternyata juga berpengaruh pada nilai konstanta dielektrik dari organ hati mencit sehingga nilai konstanta dielektrik menunjukkan penurunan seiring dengan bertambahnya kerusakan yang terjadi pada organ hati mencit. Tingkat kerusakan pada organ hati dari mencit yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol* juga dapat diketahui dari kadar MDA. Semakin tinggi tingkat kerusakannya, maka semakin tinggi kandungan MDAny.

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

Perangkat ESR yang digunakan dalam penelitian adalah ESR tipe Leybold Heracus. Sebelum digunakan, ESR harus dikalibrasi terlebih dahulu dengan menggunakan DPPH dan jenis koil frekuensi radio tertentu untuk mengetahui keakuratan pengukuran dari ESR dalam penentuan kurva resonansi yang tepat dan simetris. Kalibrasi dengan DPPH akan menghasilkan kurva resonansi yang simetris pada tampilan osiloskop seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Kurva resonansi hasil kalibrasi ESR dengan menggunakan DPPH

Data pengukuran yang diperoleh dari hasil kalibrasi ESR dengan menggunakan DPPH antara lain adalah kuat arus yang berkisar antara 0,197–0,2 A dan frekuensi sebesar 23,5 MHz. Berdasarkan data tersebut, nilai faktor-g yang didapat berturut-turut untuk nilai arus 0,197 A; 0,198 A; 0,199 A; dan 0,2 A adalah 2,01295; 2,0028; 1,9927; dan 1,9828. Sementara itu, nilai faktor-g pada literatur bernilai 2,0036. Oleh karena itu, dalam penentuan nilai faktor-g pada radikal bebas yang terdapat pada sampel, diperlukan nilai faktor kalibrasi yang didapat dari hasil pembagian antara nilai faktor DPPH berdasarkan literatur dan nilai faktor-g DPPH hasil eksperimen. Setelah itu, nilai faktor-g radikal bebas dari sampel yang diuji (g^*) didapat dari hasil perkalian antara nilai faktor-g sampel hasil eksperimen dengan faktor kalibrasi.

Setelah dikalibrasi, ESR siap digunakan untuk mengidentifikasi jenis kandungan radikal bebas yang terdapat pada sampel. Pengujian sampel dilakukan dengan menggunakan jenis koil frekuensi radio yang sama dengan saat kalibrasi. Nilai arus dan frekuensi untuk sampel yang didapat dari hasil eksperimen, kemudian dicatat. Selanjutnya, dilakukan perhitungan nilai faktor-g sampel dan penggolongan jenis radikal bebasnya.

4.1.2 Identifikasi Jenis Radikal Bebas pada Sampel Hati dari Mencit

repository.ub.ac.id

Sampel dalam penelitian ini adalah organ hati dari mencit yang dibagi menjadi 3 kelompok besar. Pengelompokan tersebut dibedakan menjadi kelompok kontrol, kelompok mencit yang dipapar obat nyamuk *one push aerosol* tipe-A dengan kandungan bahan aktif transflutrin sebanyak 21,3%, dan kelompok mencit yang dipapar obat nyamuk *one push aerosol* tipe-B dengan kandungan bahan aktif transflutrin sebanyak 25%. Masing-masing kelompok yang dipapari obat nyamuk *one push aerosol* tipe-A dan tipe-B kemudian dibagi menjadi 5 kelompok perlakuan (A1, A2, A3, A4, dan A5 pada pemaparan obat nyamuk tipe-A serta B1, B2, B3, B4, dan B5 pada pemaparan obat nyamuk tipe-B). Pembagian tersebut berdasarkan banyaknya semprotan obat nyamuk *one push aerosol* yang diberikan pada mencit. Pemaparan obat nyamuk pada kelompok mencit dilakukan selama 30 hari dengan durasi penyemprotan selama 20 menit.



Gambar 4.2 (a) Kurva resonansi dari sampel yang mengandung radikal bebas di dalamnya; (b) Kurva resonansi dari sampel kelompok kontrol (tidak ditemukan radikal bebas di dalamnya).

Berdasarkan hasil penelitian menggunakan ESR seperti pada Gambar 4.2 dan kalkulasi data yang didapat, jenis radikal bebas yang teridentifikasi dari sampel adalah sebagai berikut.

Tabel 4.1 Hasil identifikasi radikal bebas pada sampel

Sampel	I (A)	f (MHz)	Nilai faktor-g	Nilai faktor-g literatur	Jenis radikal bebas
H1	-	-	-	-	-
H2	0,198	18,3	1,560	1,501-1,75	O_2^-
H3	0,198	18,7	1,594	1,501-1,75	O_2^-
H4	0,198	17,9	1,526	1,501-1,75	O_2^-
	0,2	18,2	1,552	1,501-1,75	O_2^-
H5	0,197	17,5	1,492	1,501	1O_2
	0,196	17,9	1,534	1,501-1,75	O_2^-
	0,197	17,8	1,518	1,501-1,75	O_2^-
	0,197	17,6	1,501	1,501	1O_2
V1	0,198	18,4	1,577	1,501-1,75	O_2^-
	0,197	17,5	1,500	1,501	1O_2
	0,197	17,3	1,490	1,501	1O_2
V2	0,197	18,4	1,593	1,501-1,75	O_2^-
	0,198	18,6	1,594	1,501-1,75	O_2^-
	0,198	18,1	1,543	1,501-1,75	O_2^-
V3	0,197	17,3	1,475	1,501	1O_2
	0,197	17,4	1,484	1,501	1O_2
	0,197	17,7	1,517	1,501-1,75	O_2^-
	0,197	17,9	1,534	1,501-1,75	O_2^-
V4	0,197	17,5	1,500	1,501	1O_2
	0,198	18,1	1,543	1,501-1,75	O_2^-
V5	0,197	17,7	1,517	1,501-1,75	O_2^-
	0,197	17,5	1,500	1,501	1O_2
	0,197	17,5	1,500	1,501	1O_2
	0,197	17,7	1,517	1,501-1,75	O_2^-
	0,197	17,6	1,508	1,501-1,75	O_2^-
Kontrol	-	-	-	-	-

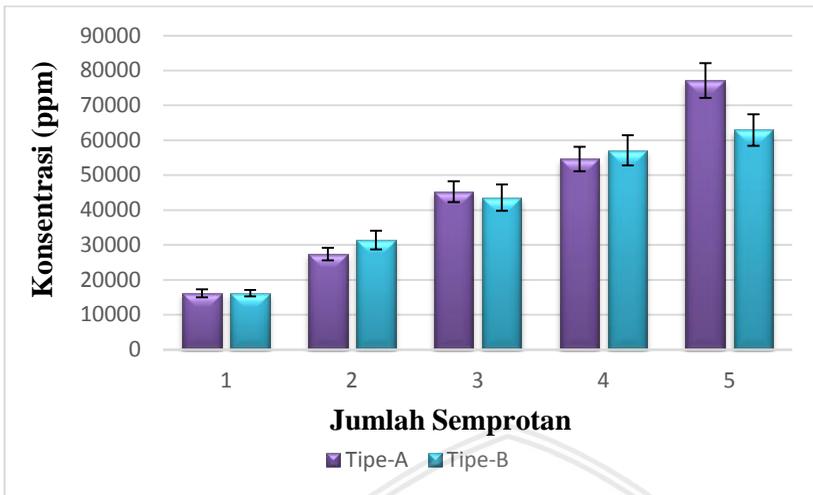
Berdasarkan data tersebut, dapat diketahui bahwa terdapat dua jenis radikal bebas pada sampel organ hati dari mencit yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol* tipe-A dan tipe-B, yaitu O_2^- (anion superoksida) dan 1O_2 (oksigen singlet). Sementara itu, pada kelompok mencit kontrol tidak teridentifikasi jenis radikal apapun. Selain itu, dapat diketahui bahwa peningkatan jumlah semprotan atau

konsentrasi semprotan obat nyamuk *one push aerosol* tipe-A dan tipe-B tidak berpengaruh pada jumlah jenis radikal bebas yang teridentifikasi.

4.1.3 Perhitungan Konsentrasi Semprotan Obat Nyamuk *One Push Aerosol*

Masing-masing kelompok mencit yang dipapari obat nyamuk *one push aerosol* tipe-A dan tipe-B dibagi menjadi 5 kelompok perlakuan (A1, A2, A3, A4, dan A5 pada pemaparan obat nyamuk tipe-A serta B1, B2, B3, B4, dan B5 pada pemaparan obat nyamuk tipe-B). Pembagian tersebut berdasarkan banyaknya semprotan obat nyamuk *one push aerosol* yang diberikan pada mencit. A1 dan B1 masing-masing menerima 1 semprotan, A2 dan B2 masing-masing menerima dua semprotan, A3 dan B3 masing-masing menerima tiga semprotan, A4 dan B4 masing-masing menerima empat semprotan, serta A5 dan B5 masing-masing menerima lima semprotan.

Konsentrasi obat nyamuk *one push aerosol* yang disemprotkan ke dalam *chamber*, dihitung dalam satuan *part per million* (ppm). Konsentrasi obat nyamuk *one push aerosol* merepresentasikan seberapa banyak kandungan obat nyamuk yang disemprotkan ke masing-masing *chamber*. Diagram yang menunjukkan hubungan antara jumlah semprotan dengan konsentrasi obat nyamuk *one push aerosol* untuk masing-masing jumlah semprot dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hubungan antara jumlah semprotan obat nyamuk *one push aerosol* tipe-A dan tipe-B dengan konsentrasinya (dalam ppm).

Berdasarkan diagram pada Gambar 4.3, secara umum dapat diketahui bahwa seiring bertambahnya jumlah semprotan, maka konsentrasi obat nyamuk yang disemprotkan ke dalam *chamber* juga semakin bertambah. Oleh karena itu, konsentrasi obat nyamuk yang diterima kelompok mencit $A5 > A4 > A3 > A2 > A1$ dan $B5 > B4 > B3 > B2 > B1$.

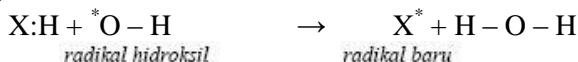
4.2 Pembahasan

4.2.1 Pembentukan Radikal Bebas Akibat dan *Reactive Oxygen Species (ROS)* Akibat Bahan Aktif Transflutrin

Radikal bebas merupakan suatu atom, gugus, atau molekul yang mempunyai satu atau lebih elektron tidak berpasangan pada orbit paling luar. Adanya ‘elektron tidak berpasangan’ ini dapat membuat radikal bebas menjadi sangat aktif secara kimiawi. Radikal bebas dapat bermuatan positif (kation), negatif (anion), maupun tidak bermuatan (Halliwell dan Gutteridge, 1999). Sumber radikal bebas bukan hanya berasal dari proses metabolisme dalam tubuh (internal) melainkan juga dapat berasal dari luar tubuh (eksternal). Radikal bebas yang berasal dari proses internal, mencakup superoksida (O_2^*), hidroksil (OH^*), peroksil (ROO^*), hidrogenperoksida (H_2O_2), singlet oksigen (1O_2), oksida nitrit (NO^*), dan peroksinitrit ($ONOO^*$). Sementara itu, radikal bebas dari luar tubuh dapat berasal dari polusi,

pestisida, asap rokok, obat, radiasi, sinar UV, limbah industri, dan ozon (Jati, 2008).

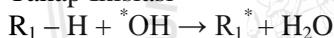
Dalam penelitian ini, terdapat dua jenis radikal bebas yang teridentifikasi, yaitu O_2^- (anion superoksida) dan 1O_2 (oksigen singlet). Radikal bebas memiliki karakteristik berupa reaktivitas (kecenderungan menarik elektron) yang tinggi dan dapat mengubah suatu molekul menjadi radikal. Mekanismenya adalah sebagai berikut:



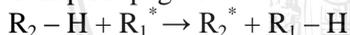
Dalam proses tersebut, dapat diketahui bahwa elektron yang tidak berpasangan pada radikal bebas cenderung untuk membentuk pasangan dengan menarik elektron dari senyawa lain. Hal ini akan memicu timbulnya radikal bebas baru. Apabila nantinya radikal baru ini bertemu dengan molekul stabil lainnya, maka akan membentuk radikal baru lagi sehingga terjadi reaksi rantai.

Menurut Suryohudoyo (2000), terdapat tiga tahap pembentukan radikal bebas, yaitu tahap inisiasi, tahap propagasi, dan tahap terminasi.

a. Tahap Inisiasi



b. Tahap Propagasi



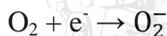
c. Tahap Terminasi



Menurut Yuningtyaswari (2002), radikal bebas dari partikel yang bersifat toksik di dalam tubuh (misalnya yang berasal dari transflutrin) dengan konsentrasi yang tinggi akan berikatan dengan oksigen dan komponen lain di dalam tubuh yang kemudian memicu terbentuknya kelompok oksigen reaktif atau yang dikenal dengan ROS. O_2^- (anion superoksida) dan 1O_2 (oksigen singlet) yang teridentifikasi dalam penelitian ini termasuk jenis senyawa oksigen reaktif.

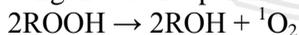
Menurut Suryohudoyo (2000), berdasarkan namanya, senyawa oksigen reaktif berasal dari oksigen (O_2). O_2 termasuk biradikal karena memiliki dua elektron yang tak berpasangan. Oksigen memiliki sifat yang tidak sereaktif radikal hidroksil. Hal ini dikarenakan putaran (spin) elektron yang tak berpasangan pada oksigen. Keduanya terletak pada orbital yang berbeda dan menunjukkan angka kuantum spin (*spin quantum number*) yang sama sehingga kedua elektron tersebut memiliki putaran sejajar (parallel spin). Untuk membentuk ikatan kovalen, diperlukan dua elektron yang harus terletak pada satu orbital dan dengan putaran yang berlawanan (anti parallel). Kendala ini lah yang kemudian menyebabkan oksigen hanya dapat menerima pengalihan satu elektron (*one electron transfer*) dalam masing-masing tahapan. Reduksi oksigen memerlukan pengalihan (transfer) empat elektron. Transfer elektron ini tidak dapat terjadi sekaligus, melainkan terjadi dalam 4 tahapan dengan setiap tahap hanya melibatkan transfer satu elektron. Kendala yang mengharuskan oksigen hanya dapat menerima satu elektron setiap tahap ini lah yang memicu munculnya senyawa oksigen reaktif atau ROS, seperti O_2^- (anion superoksida) dan 1O_2 (oksigen singlet) yang teridentifikasi dalam penelitian ini.

Proses pembentukan anion superoksida secara singkat dapat ditulis sebagai berikut:



Sementara itu, oksigen singlet yang merupakan bentuk oksigen dengan reaktivitas yang jauh lebih tinggi apabila dibandingkan dengan oksigen dengan bentuk "ground state". Oksigen singlet terbentuk dari reaksi yang dikatalis oleh enzim-enzim berikut ini:

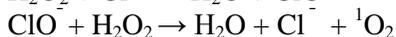
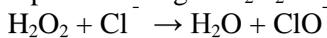
1. Enzim monooksigenase yang menggunakan sitokrom P_{450} dengan substrat peroksida.

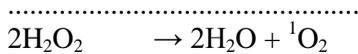


2. Enzim prostaglandin endoperoksida sintetase yang bekerja dalam pembentukan prostaglandin dari asam aradokinat.



3. Enzim mieloperoksidase yang mengatalis reaksi ion hipoklorit dengan H_2O_2 .





(Winarsi, 2007)

4.2.2 Pengaruh Bahan Aktif Transflutrin terhadap Kerusakan Organ Hati Mencit

Transflutrin tergolong ke dalam piretroid (Triharso, 1994). Dalam jangka pendek, penggunaan insektisida piretroid dapat menyebabkan berbagai macam alergi dan penyakit kulit, sedangkan dalam jangka panjang dapat mempengaruhi sistem neurotransmitter pada pemakai maupun organisme yang terpapar. Piretroid sintetik dan organofosfat bersifat *genocitik* sehingga mampu menyebabkan terjadinya kelainan pada sperma, aborsi, dan berisiko menyebabkan kanker. Penggunaan piretroid dalam dosis yang tidak tepat dengan jangka waktu yang lama dan berkelanjutan mampu menyebabkan terjadinya kemandulan pada pria (Searles et al, 2010).

Radikal bebas dari partikel yang bersifat toksik di dalam tubuh yang berasal dari transflutrin akan berikatan dengan oksigen dan komponen lain di dalam tubuh. Salah satu hasilnya adalah kelompok oksigen reaktif (Yuningtyaswari, 2002). Kelompok oksigen reaktif dapat merusak membran sel dan komponen intrasel (asam nukleat, protein, dan lipid). Pemberian radikal bebas dengan konsentrasi tinggi dapat merusak retikulum endoplasma, menurunkan sintesis protein, dan menyebabkan pembengkakan pada hati (Orrrenius, 1993). Selain itu, pemberian radikal bebas dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan nekrosis. Nekrosis merupakan kerusakan berat yang terjadi pada struktur sel hepatosit. Dalam penelitian ini, kerusakan pada organ hati diakibatkan oleh transflutrin yang masuk ke dalam hepatosit sehingga menyebabkan kerusakan pada hati.

Transflutrin yang masuk ke dalam tubuh melalui inhalasi, awalnya akan terakumulasi pada sistem pernapasan bagian bawah, seperti trakea, bronkus, dan bronkiolus. Setelah itu, transflutrin akan mencapai alveolus dan selanjutnya diserap ke dalam sistem peredaran darah yang mengalir ke seluruh tubuh, termasuk ke hati. Transflutrin yang masuk ke dalam tubuh dan terakumulasi dalam jangka waktu yang lama akan memicu munculnya metabolit sekunder yang dapat bertindak sebagai radikal bebas dan akan mengikuti peredaran darah. Metabolit sekunder ini akan memicu

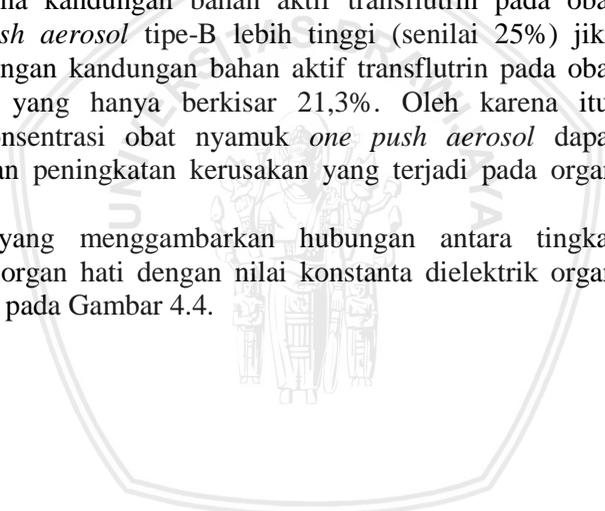
repository.ub.ac.id

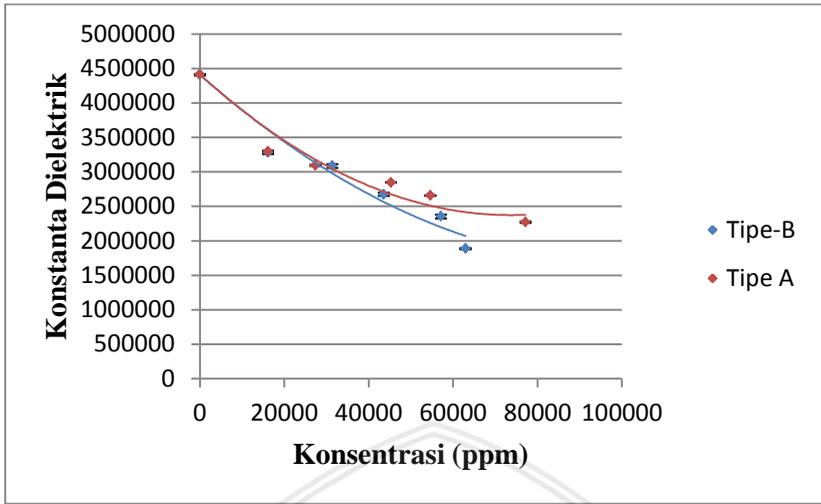
timbulnya senyawa oksigen reaktif yang akan menyebabkan kerusakan lipid pada membran sel sehingga terjadi kerusakan pada sel-sel hati (hepatosit).

4.2.3 Pengaruh Tingkat Kerusakan Organ Hati Terhadap Nilai Konstanta Dielektrik

Tingkat kerusakan organ hati berbanding lurus dengan bertambahnya jumlah semprotan (kenaikan konsentrasi obat nyamuk *one push aerosol*). Semakin tinggi konsentrasi yang dipaparkan pada mencit, maka semakin rusak organ hati dari mencit tersebut. Tingkat kerusakan pada hati dari mencit yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol* tipe-B lebih parah daripada kerusakan pada hati dari mencit yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol* tipe-A. Hal ini disebabkan karena kandungan bahan aktif transflutrin pada obat nyamuk *one push aerosol* tipe-B lebih tinggi (senilai 25%) jika dibandingkan dengan kandungan bahan aktif transflutrin pada obat nyamuk tipe-A yang hanya berkisar 21,3%. Oleh karena itu, penambahan konsentrasi obat nyamuk *one push aerosol* dapat merepresentasikan peningkatan kerusakan yang terjadi pada organ hati.

Grafik yang menggambarkan hubungan antara tingkat kerusakan pada organ hati dengan nilai konstanta dielektrik organ hati dapat dilihat pada Gambar 4.4.





Gambar 4.4 Grafik hubungan antara konsentrasi semprotan obat nyamuk *one push aerosol* dan nilai konstanta dielektrik.

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.4, dapat diketahui grafik kuadratis yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi semprotan obat nyamuk *one push aerosol* dan nilai konstanta dielektrik. Persamaan garis untuk grafik hubungan hubungan antara konsentrasi semprotan obat nyamuk *one push aerosol* tipe-A dan nilai konstanta dielektrik adalah $y = 4 \times 10^{-4}x^2 - 55,323x + 4 \times 10^6$ dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0,937. Sementara itu, persamaan garis untuk grafik hubungan hubungan antara konsentrasi semprotan obat nyamuk *one push aerosol* tipe-B dan nilai konstanta dielektrik adalah $y = 3 \times 10^{-4}x^2 - 54,047x + 4 \times 10^6$ dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0,9504.

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.4, dapat diketahui bahwa semakin tinggi tingkat kerusakan pada hati, maka nilai konstanta dielektriknya semakin menurun. Konstanta dielektrik menggambarkan derajat polarisasi suatu bahan. Derajat polarisasi suatu bahan, ditentukan oleh besarnya momen dipol. Bahan yang cenderung bersifat polar, akan memiliki momen dipol listrik. Akan tetapi, bahan yang cenderung bersifat kurang polar atau non-polar, akan memiliki sedikit momen dipol listrik, bahkan tidak ada. Nilai momen dipol total dari suatu bahan dipengaruhi oleh momen dipol

masing-masing atom penyusun bahan, kuat medan eksternal, dan banyaknya jumlah atom atau jumlah molekul.

Dalam penelitian ini, pemberian obat nyamuk *one push aerosol* yang berdampak pada kerusakan sel pada hati, akan menyebabkan berkurangnya momen dipol (berkurangnya sifat kepolaran dari sampel). Hal ini akan berakibat pada turunnya suseptibilitas pada sampel dan jumlah atom atau molekul yang melakukan polarisasi sehingga memicu penurunan derajat polarisasi sampel. Akhirnya, nilai konstanta dielektrik pada organ yang terpapar (mengalami kerusakan) juga mengalami penurunan. Hubungan antara suseptibilitas dan konstanta dielektrik ditunjukkan oleh persamaan

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon' A}{d} \quad (4.1)$$

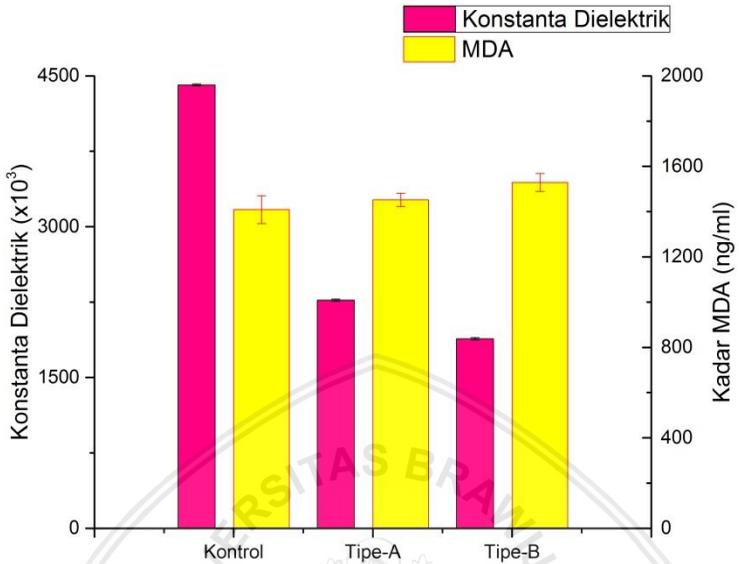
dengan $\epsilon' = 1 + \chi_e$. χ_e merupakan suseptibilitas yang nilainya dipengaruhi oleh jumlah atom atau jumlah molekul yang terlibat dalam polarisasi dan nilai momen dipol.

Berdasarkan Gambar 4.4, dapat disimpulkan bahwa penurunan nilai konstanta dielektrik pada organ hati dari mencit yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol* tipe-B lebih besar jika dibandingkan dengan penurunan nilai konstanta dielektrik pada organ hati dari mencit yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol* tipe-A. Hal ini dikarenakan kandungan bahan aktif transflutrin pada obat nyamuk *one push aerosol* tipe-B lebih besar dari tipe-A sehingga tingkat kerusakan yang disebabkan oleh obat nyamuk *one push aerosol* tipe-B lebih tinggi jika dibandingkan dengan tingkat kerusakan akibat pemaparan terhadap obat nyamuk *one push aerosol* tipe-A.

4.2.4 Hubungan Antara Tingkat Kerusakan Sel dengan Peningkatan Kadar MDA pada Hati serta Kaitannya dengan Penurunan Nilai Konstanta Dielektrik

Grafik berikut ini menjelaskan hubungan atau keterkaitan antara tingkat kerusakan sel, konstanta dielektrik, dan kandungan kadar MDA pada sampel organ hati dari kelompok mencit kontrol,

mencit yang dipapar obat nyamuk one push aerosol tipe-A dan tipe-B.



Gambar 4.5 Hubungan antara sampel dengan nilai konstanta dielektrik dan kandungan MDAny.

Berdasarkan diagram pada Gambar 4.5, dapat dilihat bahwa semakin tinggi kerusakan pada hati, maka kadar MDAny akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan konsentrasi radikal bebas yang ada dalam organel tidak seimbang dengan antioksidan sehingga menimbulkan terjadinya stres oksidatif. Stres oksidatif ini dapat memicu terjadinya peroksidasi lipid sehingga dapat menyebabkan kerusakan sel dan menimbulkan penyakit degeneratif, misalnya penyakit liver (Sen *et al.* 2010). Apabila tidak ada tindakan perlindungan yang dilakukan terhadap organ hati, maka akan sangat memungkinkan terjadinya kerusakan oksidatif yang berkelanjutan. Kadar MDA pada hati dapat dipakai sebagai penanda tingkat kerusakan pada hati. Hal ini dikarenakan MDA merupakan biomarker biologis dari proses peroksidasi lipid yang dapat menggambarkan derajat stres oksidatif. Sementara itu, pada diagram di Gambar 4.5, menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat

kerusakan pada hati (ditandai dengan meningkatnya kadar MDA), maka nilai konstanta dielektriknya akan semakin menurun.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat diketahui bahwa terdapat dua jenis radikal bebas yang teridentifikasi dari sampel organ hati dari mencit yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol* tipe-A dan tipe-B. Jenis radikal yang teridentifikasi tersebut adalah O_2^- (anion superoksida) dan 1O_2 (oksigen singlet). Selain itu, dapat juga diketahui bahwa semakin tinggi konsentrasi paparan obat nyamuk *one push aerosol*, maka tingkat kerusakan pada organ hati juga semakin meningkat. Tingkat kerusakan pada organ hati dari mencit yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol* tipe-B lebih tinggi daripada mencit yang terpapar obat nyamuk *one push aerosol* tipe-A. Hal ini diperkuat dengan semakin tingginya tingkat kerusakan pada sampel organ hati, maka nilai konstanta dielektriknya semakin menurun sedangkan jumlah kadar MDA yang menandakan derajat stres oksidatif mengalami peningkatan.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, konsentrasi radikal bebas pada organisme terpapar sebaiknya perlu dihitung. Selain itu, bisa juga digunakan antioksidan untuk melihat pengaruhnya pada jenis radikal yang teridentifikasi, nilai konstanta dielektrik, kandungan MDA pada organ hati.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)





DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, Yustini Alioes, Sofina Rusdan. 2015. Hubungan Lama Penggunaan Obat Anti Nyamuk Bakar dengan Kadar Kolinesterase Darah pada Masyarakat Kelurahan Jati Rumah Gadang Padang. *Jurnal Kesehatan Andalas* 4(2).
- Atkins, P. W. 1999. *Kimia Fisika*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Ayala, A., Munoz MF., Arguelles S. 2014. Lipid Peroxidation: Production, Metabolism And Signaling Mechanism Of Malondialdehyde And 4-hydroxy-2-nonenal. *Oxid Med Cell Longev* 112: 21-8.
- Badan Perencana Pembangunan Nasional. 1993. *Biodiversity Action Plan for Indonesia*. Jakarta: BAPPENAS.
- Baradero, M. 2008. *Klien Gangguan Hati: Seri Asuhan Keperawatan*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Baron, R.L. 1991. *Handbook of Pesticide Toxicology Volume 3: Carbamate Insecticides*. San Diego: Academic Press, Inc.
- Becker, N. 2010. *Mosquitoes and Their Control*. Heidelberg: Springer.
- Biswas, P. 2009. Measurement and Capture of Fine and Ultrafine Particles from a Pilot-Scale Pulverized Coal Combuster with an Electrostatic Precipitator. *J. Air&Waste Manage. Assoc.*
- Budiyono, A. 2001. Pencemaran Udara: Dampak Pencemaran Udara pada Lingkungan. *Berita Dirgantara* Vol. 2 No. 1.
- Budiharto, W., Saftian Rahardi. 2007. *Teknik Reparasi PC dan Monitor*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.

- repository.ub.ac.id
- Cahyono, B. E., Supriyadi, Muhammad Ainur Rofiq. 2017. Karakteristik Sensor Kapasitif Pelat Sejajar dalam Aplikasinya sebagai Instrumen Pengukur Curah Hujan Berbasis Arduino Uno. *Indonesian Journal of Applied Physics* 7(2).
- Cairns, Donald. 2008. *Intisari Kimia Farmasi*. Jakarta: EGC.
- Christensen, L. 1994. *Experimental Methodology*. London: Allyn and Bacon, Inc.
- Dagli, M. Et all. 2004. Role of Free Radicals and Antioxidants in Nasal Polyps. *The Laryngoscope* 114(7).
- Departemen Pertanian RI. 2007. *Peraturan Menteri Pertanian No: 01/Permentan/OT.140/1/2007 Tentang Daftar Bahan Aktif Insektisida yang Dilarang dan Insektisida Terbatas*.
- Falahudin, I., Delima Engga Mareta, Indah Ayu Puji Rahayu. 2015. Diversitas Serangga Ordo Orthoptera pada Lahan Gambut di Kecamatan Lalan Kabupaten Musi Banyuasin. *Bioilmi Vol. 1 No. 1*
- Fishel, Frederick M. 2008. Synthetic Pyrethroid Pesticides. *Pesticide Toxicity Profile*
- Fishel, Frederick M. 2017. Boric Acid. *Pesticide Toxicity Profile*
- Frenske, K. & D. Mirsa. 2000. Dielectric Materials at Microwave Frequencies. *Appl. Microw. Wireless*.12:92-100.
- Fried, George H., George J. Hademenos. 2006. *Schaum's Outlines: Biologi*. Jakarta: Erlangga.
- Gama, Zulfaida P., Bagyo Yanuwadi, Tri Handayani Kurniati. 2010. Strategi Pemberantasan Nyamuk Aman Lingkungan: Potensi *Bacillus thuringiensis* Isolat Madura sebagai Musuh Alami Nyamuk *Aedes aegypti*. *Jurnal Pembangunan dan Alam Lestari Vol 1 No 1*.
- 

- Gammon, DW. 2007. Public Safety Aspects of Pyrethroid Insecticides Used in West Nile Virus Carrying Mosquito Control. *Pest Manag Sci Jul*;63(7):625-7.
- Ganong, W.F. 2003. *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran*. Edisi 17. Jakarta : EGC Penerbit Buku Kedokteran.
- Garey, J., M. Wolff. 1998. Estrogenic and Antiprogestagenic Activities of Pyrethroid Insecticides. *Biochem Biophys Res Commun* 251 (3): 855-9
- Go, V., et al. 1999. Estrogenic Potential of Certain Pyrethroid Compounds in The MCF-7 Human Breast Carcinoma Cell Line. *Enviromental Health Perspectives*. 107:3.
- Gussow, Milton. 2004. *Dasar-Dasar Teknik Listrik Edisi Ketiga*. Jakarta: Erlangga.
- Guyton, Hall. 1997. *Fisiologi Kedokteran*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Halliwell, B., Gutteridge JMC. 1999. *Free Radical in Biology and Medicine 3rd Edition*. Oxford: Oxford University Press.
- Halliwell B, Gutteridge JMC. 2007. *Free Radicals In Biology And Medicine 4th Edition*. Oxford: Oxford University Press.
- Hamdi, S. 2013. Dampak Aerosol Terhadap Lingkungan Atmosfer. *Berita Dirgantara Vol 14 No 1*.
- Hayes, A. Wallace. 2001. *Principles and Methods of Toxicology. (Edisi Keempat)*. USA: Taylor & Francis Routledge.
- Hendromartono S. 2000. Peran Radikal Bebas Terhadap Komplikasi Vaskuler. *Majalah Penyakit Dalam Udayana* 1:89-92

- repository.ub.ac.id
- Hermawan, B. 2005. Monitoring Kadar Air Tanah Melalui Pengukuran Sifat Dielektrik Pada Lahan Jagung. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia* 7:15-22.
- Hidayat, M. R. 2013. Kajian Karakteristik Biolistrik Kulit Ikan Lele (Clarias Batrachus) Dengan Metode Dielektrik Frekuensi Rendah. *Skripsi*. Tidak diterbitkan.
- Hidayat, H. 2015. Estimasi Kemasakan Buah Pisang Menggunakan Sensor Kapasitansi. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan.
- Illinois Department of Public Health Environmental Health. 2007. *Pyrethroid Insecticides*. Illinois: Department of Public Health
- Indrosancoyo, A.W. 2008. *Formulasi Pestisida Rumah Tangga*. Yogyakarta: Tahija Foundation.
- Jati, S.H. 2008. Efek Antioksidan Ekstrak Etanol 70% Daun Salam (Syzygium polyanthum [Wight.] Walp.) Pada Hati Tikus Putih Jantan Galur Wistar Yang Diinduksi Karbon Tetraklorida (CCl₄). *Skripsi*. Tidak diterbitkan.
- Kalelkar, M. 2007. *The Zeeman Effect*. New Jersey: Rutgers University Press.
- Kumar, P., Alan Robins, Sotiris Vardoulakis, Rex Britter. 2010. A Review Of The Characteristics Of Nanoparticles In The Urban Atmosphere And The Prospects For Developing Regulatory Controls. *Atmospheric Environment* 44: 5035-5052
- Kusumawati, D. 2004. *Bersahabat Dengan Hewan Coba*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Lailatul, L., Asep Kadarohman, Ratnaningsih Eko. 2010. Efektivitas Biolarvasida Ekstrak Etanol Limbah Penyulingan

Minyak Akar Wangi (*Vetiveria zizanoides*) Terhadap Larva Nyamuk *Aedes aegypti*, *Culex* sp., dan *Anopheles sundaicus*. *Jurnal Sains dan Teknologi Kimia Vol 1(1)*: 59-65.

- Langseth, L. 2000. *Antioxidants and Their Effect on Health*. Di dalam: Schmidl M.K. and T.P. Labuza (Eds.). *Essentials of Functional Foods*. Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland.
- Lestari, F. 2007. *Bahaya Kimia: Sampling & Pengukuran Kontaminan Kimia Di Udara*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Lestiana, D. 2011. Pengamatan Efek Zeeman Transversal dan Longitudinal pada Cadmium. *Skripsi*: Tidak diterbitkan.
- Levine, R. 1991. *Handbook of Pesticide Toxicology Volume : Recognized and Possible Effects of Pesticides in Humans*. San Diego: Academic Press, Inc.
- Lu, F. E. 1995. *Toksikologi Dasar*. Jakarta: UI Press.
- Macomber, Roger, S. 1988. *Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy*. New York: Hartcourt Brace Javanovich.
- Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan. 1990. *Kualitas Lingkungan Hidup di Indonesia*. Jakarta: PT Intermedia.
- Miller. 2001. *ESR Spectra*, <http://www.ensta.fr/esr.html>. tanggal akses 26 April 2018.
- Mrusek K et al. 1995. NAK 4455 (Transfluthrin): A Fast-Acting Insecticide For Use In Household And Hygiene

Products, *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer* 48 (1995).

Mujib, S., Muntini, M. 2013. Perancangan Sensor Kelembaban Beras Berbasis Berbasis Kapasitor. *Jurnal Sains Seni Pomits* 1(1): 1-6.

Murdoko, B., Anwar Dhani, Eko Sulisty. 1996. Analisis Ragam Antrasin Melalui Uji Spektrum Halus ESR. *Jurnal Jurusan Fisika No. 21*: 49-5

Murray, RK. 2003. Biokimia. Jakarta: EGC.

Nabet, F.B. 1996. *Zat Gizi Antioksidan Penangkal Senyawa Radikal Pangan Dalam Sistem Biologis*. Di dalam Zakaria, F.R., R. Dewanti, dan S.Yasni (Ed..) : *Prosiding Seminar Senyawa Radikal dan Sistem Pangan: Reaksi Biomolekuler, Dampak terhadap Kesehatan dan Panangkalan*. Kerjasama Pusat Studi Pangan dan Gizi IPB dengan Kedutaan Perancis, Jakarta.

Nahvi, M., Joseph Edminister. 2004. *Rangkaian Listrik*. Jakarta: Erlangga.

Noer, M. S. 2003. *Ilmu Penyakit Dalam Edisi 3 Jilid 1*. Jakarta: Balai Penerbit FK UI.

Pazil, S. N. BT. 2009. Perbandingan Aktivitas Antioksidan Ekstrak Daging Pisang Raja (Musa Aab 'Pisang Raja') Dengan Vitamin A, Vitamin C, Dan Katekin Melalui Penghitungan Bilangan Peroksida. *Skripsi*: Tidak diterbitkan.

Perangin-angin, B. 2003. *Rancangan Kapasitansi Meter Digital*. Medan: USU Library.

PHYWE. 2010. *Zeeman Effect*. Gottingen: PHYWE.

Prastiwi, E. P. 2015. Pengaruh Penggunaan Obat Nyamuk Coil Dan Mat Elektrik Terhadap Sel Darah Mencit (Mus musculus, L.). *Skripsi*: Tidak diterbitkan.

- repository.ub.ac.id
- Rahma, Aulia E. 2016. Pembuatan Biofilter Serbuk Biji Jintan Hitam (*Nigella sativa*) dan Kayu Siwak (*Salvadora persica*) untuk Menangkal Radikal Bebas Asap Rokok. *Skripsi*: Tidak diterbitkan.
- Raini, Maria. 2009. Toksikologi Insektisida Rumah Tangga dan Pencegahan Keracunan. *Media Penelitian dan Pengembang Kesehatan Volume XIX, Suplemen II*.
- Raini, M., Dwiprahasto I., Sukasediati N. 2003. Pengaruh Istirahat Terhadap Buruh Penyemprot Insektisida Organofosfat di Daerah Pacet, Cianjur, Jawa Barat. *Buletin Penelitian Sistem Kesehatan*.
- Samosir, A. S. 2016. Implementasi Alat Ukur Kapasitansi Digital (Digital Capacitance Meter) berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*.
- Schulze, L.D., Ogg C.L., Vitzthum E.F. 1997. Signs and Symptoms of Pesticide Poisoning. *Extension of Historical Material EC97-2505*
- Schumacher, R. T. 2010. *Introduction to Magnetic Resonance: Principles and Applications*. Minnesota: University of Minnesota Press.
- Schwarz, C., Martin-I Trappe. 2006. *Normal Zeeman Effect*. Zagreb: Maynooth University Press.
- Searles, S. N., R McKean, Federico MF, Elizabeth AH, Susan P, Beth AM. 2010. Childhood Brain Tumors, Residential Insecticide Exposure, and Pesticide Metabolism Genes. *Enviromental Health Perspective Vol 118*.

- repository.ub.ac.id
- Sen S, Chakraborty R, Sridhar1 C, Reddy YSR, De B. 2010. Free Radicals, Antioxidants, Diseases And Phytomedicines: Current Status And Future Prospect. *International Journal of Pharmaceutical Science Review and Research* 3(1): 91-100.
- Shahabuddin, Purnama H., Woro AN, Syarifa M. 2005. Penelitian Biodiversitas Serangga di Indonesia: Kumbang Tinja (Coleoptera: Scarabaeidae) dan Peran Ekosistemnya. *Biodiversitas Volume 6 Nomor 2: 141-146*
- Shinta, S., Supratman Sukowati, Asri Fauziah. 2008. *Jurnal Ekologi Kesehatan Vol. & No. 1*
- Shringi, Kiran L., SC Dulara, RK Aseri, Usha Daria. 2015. Uncontrolled Seizures and Unusual Rise in Leucocyte Counts: Transfluthrin, Liquid Mosquito Repellent Suicidal Poisoning. *Indian Journal of Anaesthesia Vol 59 Issue 1.*
- Smallman, R. E., R. J. Bishop. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga.
- Spohner, M. 2012. A Study of the properties of electrical insulation oils and of the components of natural oils. *Acta Polytech: 52(5):100-105.*
- Spurny, K. R. 2000. *Aerosol Chemical Processes In The Environment*. Florida: CRC Press LLC
- Sugiarti. 2009. Gas Pencemar Udara dan Pengaruhnya Bagi Kesehatan Manusia. *Jurnal Chemica Vol. 10 Nomor 1:50-58*
- Sujatno. 2012. *Anti Nyamuk Pestisida di Balik Selimut*. Diakses 13 Juli 2017. http://www.pom.go.id/publik/siker/Desc/produk/antin_yamukpestisida.pdfwww.ylki.or.id/antinyamuk-pestisida-dibalik-selimut.html
- Sumardjo, Damian. 2008. *Pengantar Kimia: Buku Panduan Kuliah Mahasiswa Kedokteran Dan Program Strata I*

Fakultas Bioeksakta. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.

- Supari, F. 1996. *Radikal Bebas dan Patofisiologi Beberapa Penyakit*. Di dalam Zakaria F.R., R. Dewanti, dan S. Yasni (Edt.). Di dalam : *Prosiding Seminar Senyawa Radikal dan Sistem Pangan: Reaksi Biomolekuler, Dampak terhadap Kesehatan dan Penangkalan*. Kerjasama Pusat Studi Pangan dan Gizi IPB dengan Kedutaan Perancis. Jakarta.
- Suryohudoyo, P. 2000. *Kapita Selekta Ilmu Kedokteran Molekuler*. Jakarta: Penerbit CV Sagung Seto.
- Syahrin, A. 2006. *Kesan ekstrak etanol andrographis Paniculata (burm. F.) Neeske atas Tikus betina diabetik aruhan streptozotosin*. Malaysia: Universiti Sains Malaysia.
- Tipler, P. A. 1991. *Fisika Untuk Sains dan Teknik Jilid 2 Edisi Ketiga*. Jakarta: Erlangga.
- Toole, G., Susan Toole. 1999. *Understanding Biology*. Cheltenham: Stanley Thornes (Publishers) Ltd.
- Topper, B. 2007. *The Zeeman Effect*. Lahore: LUMS.
- Triharso. 1994. *Dasar - Dasar Perlindungan Tanaman*. Yogyakarta: Fakultas pertanian UGM.
- Valko, M. 2006. Free Radical, Metal And Antioxidant In Oxidative Stress Induced Cancer. *J.Chem-Biol* 160: 1-40.
- Widyastuti, P. 2002. *Bahaya Bahan Kimia Pada Kesehatan Manusia Dan Lingkungan*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Wigati, R. A., Lulus Susanti. 2012. Hubungan Karakteristik, Pengetahuan, dan Sikap dengan Perilaku Masyarakat dalam Penggunaan Anti Nyamuk di Kelurahan

Kutowinangun. *Buletin Penelitian Kesehatan Vol. 40 No. 3*

- Winarno, F. G., Wida Winarno, Driando Ahnan-Winarno. 2015. *Telomer: Membalik Proses Penuaan*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Winarsi, H. 2007. *Antioksidan Alami & Radikal Bebas: Pembentukan Senyawa Oksigen Reaktif dan Radikal Bebas*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- World Health Organization. 1997. *Health Environment in Sustainable Development*. Geneva: WHO, June 1997.
- World Health Organization. 2005. *Safety of Phyrethroids of Public Health Use*. WHOPEs 2005.
- Yap, H. H., K. Jahangir, J. Zairi. 2000. Field Efficacy Of Four Insect Repellent Products Against Vector Mosquitoes In A Tropical Environment. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 16(3):241-244.
- Young, Hugh D., Roger A Freedman. 2000. *Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga.
- Yubaidah, S. 2009. *Stabilitas Oksidasi Biodiesel Sawit-Jatropa-Castor dan Pengaruhnya terhadap Karakteristik Emisi Gas Buang*. (http://www.lontar.ui.ac.id/opac/themes/libri2/listtipe_koleksi.jsp, diakses 24 April 2018).
- Yuningtyaswari, Ismadi M., Sri Rahajoe. 2002. Pengaruh Asap Berbagai Jenis Rokok Terhadap Peroksidasi Lipid Plasma Tikus Putih (*Rattus norvegicus*, L). *Jurnal Sains Kesehatan* 15(2).
- Zahrotin, E., Endarko. 2014. Rancang Bangun sensor Kapasitif Untuk Level Air. *Jurnal Berkala Fisika* 17(4):129-138.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)