

Wara Dyah Pita Rengga
Nanik Wijayati
Widya Hary Cahyati
Nur Dina Amalina
Natalia Desy Putringtyas

Potensi Minyak Atsiri SERAI & PINUS Sebagai Antinyamuk



Wara Dyah Pita Rengga, et al.

Potensi Minyak Atsiri SERAI dan PINUS sebagai Antinyamuk

ISBN 978-602-6627-65-0



FA TINDO
MAKE U EASY

POTENSI MINYAK **ATSIRI**
SERAI DAN PINUS
SEBAGAI
ANTINYAMUK

Potensi Minyak Atsiri Serai dan Pinus sebagai Antinyamuk

- Wara Dyah Pita Rengga
 - Nanik Wijayati
 - Widya Hary Cahyati
 - Nur Dina Amalina
- Natalia Desy Putriningtyas

Potensi Minyak Atsiri Serai dan Pinus sebagai Antinyamuk

Wara Dyah Pita Rengga
Nanik Wijayati
Widya Hary Cahyati
Nur Dina Amalina
Natalia Desy Putriningtyas

Tata Letak: Thomas Sugeng Hariyoto

Cetakan I, 2020



Penerbit Fastindo
Jl. Prof. Sudarto LPPU II 12 A,
Tembalang, Semarang
Telp. (024) 764 805 90
Email: fstindo@gmail.com

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan menggunakan system penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penerbit.

ISBN 978-602-6627-65-0

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kami ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberi karunia, rahmat dan petunjuk untuk menyelesaikan buku “Potensi Minyak Atsiri Serai dan Pinus sebagai Antinyamuk”. Buku ini dapat digunakan bagi mahasiswa Farmasi, Ilmu Kesehatan Masyarakat, Kimia dan Teknik Kimia. Mahasiswa dapat menemukan dalam matakuliah Parasitologi, Teknologi Formulasi Sediaan Topikal, Pengendalian Vektor, Kimia Organik, dan Bioinsektisida. Buku ini bermanfaat untuk mencari alternatif selain serai yang memiliki potensi sebagai antinyamuk. Minyak atsiri pinus memiliki keunggulan daya bunuh nyamuk lebih baik daripada murni minyak serai, yang diketahui dari beberapa komponen di dalam paduan minyak atsiri tersebut. Hal ini digunakan untuk menambah wawasan masyarakat dan pembaca tentang pentingnya pengetahuan bahan alam Indonesia di perkembangan bioinsektisida modern sehingga mendorong adanya penelitian pengembangan penggunaan bahan alam yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan dunia industri.

Mahasiswa harus mengetahui potensi minyak atsiri yang alami dari pohon serai dan pinus karena sangatlah penting untuk dapat diolah dan dimanfaatkan menjadi produk yang bernilai tinggi. Buku ini memuat materi tentang kemampuan antinyamuk dari bahan alami Indonesia sebagai antinyamuk, kandungan komponen dalam minyak serai dan pinus, formulasi efektif antinyamuk, nyamuk *Aedes aegypti* dan cairan antinyamuk. Materi ini sangat bermanfaat untuk mahasiswa karena merupakan dasar pengetahuan Kimia Organik sampai pada matakuliah Pilihan Bioinsektisida. Jurusan Farmasi dan Ilmu Kesehatan Masyarakat juga dapat memanfaatkan buku ini yang mendukung sediaan-formulasi dan nyamuk beserta cairan antinyamuk dari bahan alam berorientasi pada sumber daya alam Indonesia dan manfaatnya sebagai antinyamuk.

Akhir kata dengan segala kerendahan hati penulis, bila ada kritik dan saran dari pembaca akan kami terima dengan senang hati. Tak lupa penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan baik berupa moril maupun materil agar terwujudnya buku ini. Semoga apa yang telah kami terima dari semua pihak, mudah-mudahan mendapat imbalan dari Allah SWT dan menjadi amal baik bagi kita semua, Amin.

Semarang, 1 September 2020

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	viii
BAB 1 ANTI SERANGGA VERSUS NYAMUK?	1
1.1 Bedakah bukan antinyamuk dan antinyamuk?	2
1.2 Mengapa menggunakan Anti serangga?.....	3
1.3 Apa yang Terkandung di dalam Anti Serangga?	3
1.4 Jenis Anti serangga	7
1.5 Dosis yang Dianjurkan untuk Anak-anak ?	8
1.6 Durasi Anti Serangga yang Menggunakan DEET	9
1.7 Cara fisik tanpa menggunakan bahan kimia atau alam.....	9
1.8 Cara kerja Anti serangga	10
1.9 Efektivitas Anti serangga yang umum	10
1.10 Konsentrasi kandungan zat aktif yang efektif.....	10
1.11 Aplikasi Anti serangga?.....	11
1.12 Anti serangga “bebas bahan kimia”?.....	11
1.13 Apakah Serangga dapat Terusir secara alami?	16
1.13.1 Serai dan serai wangi.....	16
1.13.2 Ampas kopi.....	17
1.13.3 Bawang putih.....	18
1.14 Bagaimana menolak nyamuk dengan fisika dan kimia? ...	19
1.14.1 Kelambu atau kasa nyamuk	19
1.14.2 Penyemprotan asap/pengasapan.....	21
1.14.3 Gelombang Ultrasonik.....	22
1.14.4 UltraViolet-LED.....	24
1.14.5 Kumparan.....	26

1.14.6 Antinyamuk cair elektrik	27
1.14.7 Krim atau losion sebagai Antinyamuk.....	28
1.14.8 <i>Diffuser</i> Anti serangga	30
1.14.9 Pakaian Antinyamuk.....	31
1.14.10 Lilin Antinyamuk Alami	32
1.14.11 <i>Aerosol</i> semprot sebagai anti dan pembunuh Nyamuk.....	33
BAB 2 BAHAN ALAM UNTUK ANTINYAMUK	39
2.1 Serai Wangi (<i>Cymbopogon nardus</i> L.).....	40
2.2 Lemon eucalyptus (<i>Corymbia citriodora</i>)	41
2.3 Cengkeh (<i>Syzygium aromaticum</i>)	42
2.4 Peppermint (<i>Mentha piperita</i>)	43
2.5 Kemangi (<i>Ocimum citriodorum</i>).....	44
2.6 Mimba (<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.)	45
2.7 Pinus (<i>Pinus longifolia</i>)	46
BAB 3 POTENSI MINYAK PINUS	49
3.1 Minyak pinus.....	49
3.2 Alfa Pinena.....	50
3.3 Terpena.....	52
3.4 Reaksi Hidrasi Senyawa α -Pinena.....	53
3.5 Terpeneol	63
3.6 Sintesis terpeneol	64
BAB 4 POTENSI MINYAK SERAI SEBAGAI ANTINYAMUK.....	73
4.1 Minyak serai.....	73
4.2 Metode isolasi minyak serai	76
4.3 Isolasi sitronelal menggunakan gelombang mikro.....	76
4.4 Destilasi fraksinasi <i>sitronelal</i>	77
4.5 Hasil isolasi minyak serai wangi	79
4.6 Reaksi hidrogenasi <i>sitronelal</i>	81
4.7 Reaksi oksidasi <i>sitronelal</i>	83

4.8 Pemanfaatan Tanaman Serai sebagai antinyamuk.....	84
4.9 Manfaat minyak serai.....	91
4.10. Efek samping dan interaksi minyak atsiri <i>citronella</i>	96
BAB 5 FORMULASI ANTINYAMUK	101
5.1. Formulasi Antinyamuk Alami	102
5.2. Macam-macam formulasi sediaan antinyamuk	103
5.2.1 Formulasi konvensional.....	103
5.2.2 Formulasi Modern	105
5.3 Polimer Mikrokapsul	106
5.4 <i>Solid lipid micro</i> dan nanopartikel.....	113
5.5 Emulsi.....	115
5.6 Mikroemulsi	116
5.7 Nanoemulsi.....	117
5.8 Mikroenkapsulasi.....	118
5.9 Liposom	119
5.10 Sediaan untuk Pelepasan kontrol	121
5.11 Gel antinyamuk	121
5.12 Cairan antinyamuk untuk Semprot.....	124
BAB 6 PROSES PRODUKSI ANTINYAMUK.....	131
6.1 Bahan baku	132
6.2 Bahan aktif dan bahan lembam	133
6.3 Proses produksi	136
6.4 Kontrol kualitas	140
BAB 7 NYAMUK <i>Aedes aegypti</i>	143
7.1 Pendahuluan	143
7.2 Distribusi dan bioekologi nyamuk <i>Aedes aegypti</i>	145
7.3 Siklus Hidup	147
7.3.1 Telur.....	148
7.3.2 Larva	151
7.3.3 Pupa	155

7.3.4 Nyamuk dewasa	157
7.4 Anatomi Bagian dari Tubuh Nyamuk Dewasa.....	160
7.4.1 Kepala.....	160
7.4.2 Dada	162
7.4.3 Perut	163
7.5 Pola Aktivitas Nyamuk <i>Aedes aegypti</i>	164
7.6 Perilaku Makan	164
7.7 Perilaku istirahat.....	165
7.8 Jarak terbang.....	166
7.9 Lama hidup.....	166
BAB 8 APLIKASI ANTINYAMUK.....	169
8.1 Pendahuluan	169
8.2 Formulasi Insektisida.....	169
8.2.1 Formulasi Padat	170
8.2.2 Formulasi Cair.....	171
8.3 Penyimpan Nyamuk dalam Kandang	172
8.4 Pengujian Aktivitas Gel Antinyamuk.....	173
8.5 Pengujian Aktivitas Semprot Antinyamuk Cair.....	173
8.6 Penelitian tentang antinyamuk cair.....	175
8.6.1 Uji Efektivitas Rendaman Daun Singkong (<i>Manihot utilissima</i>).....	175
8.6.2 Uji Efektivitas Rendaman Daun Singkong (<i>Manihot utilissima</i>).....	184
GLOSARIUM.....	193
INDEX	199

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Poster Waspada Demam Berdarah.....	4
Gambar 1. 2 Struktur kimia bahan aktif Anti serangga	5
Gambar 1. 3 Daun Kemangi.....	14
Gambar 1. 4 Tanaman atsiri pengusir nyamuk.....	17
Gambar 1. 5 Serbuk Kopi (Ampas).....	18
Gambar 1. 6 Bawang putih	18
Gambar 1. 7 Kelambu di dalam ruangan	20
Gambar 1. 8 Kelambu tanaman dalam kebun	20
Gambar 1. 9 Penyemprotan untuk mematikan/mengusir nyamuk...	21
Gambar 1. 10 Ultrasonik untuk nyamuk	24
Gambar 1. 11 Perangkap dan pembasmi nyamuk UV LED	26
Gambar 1. 12 Kumparan obat nyamuk bentuk spiral.....	27
Gambar 1. 13 Antinyamuk sintetis fasa cair diuapkan dengan listrik	28
Gambar 1. 14 Lotion antinyamuk untuk bayi di Indonesia	30
Gambar 1. 15 Nebula diffuser dari minyak atsiri.....	31
Gambar 1. 16 Lilin paraffin aroma minyak serai wangi	32
Gambar 1. 17 Produk antinyamuk.....	34
Gambar 2. 1 Minyak serai citronella	40
Gambar 2. 2 Minyak atsiri lemon Eucalyptus.....	41
Gambar 2. 3 Minyak cengkeh dari bunga cengkeh.....	42
Gambar 2. 4 Minyak peppermint sebagai campuran antinyamuk.....	43
Gambar 2. 5 Minyak kemangi untuk antinyamuk.....	44
Gambar 2. 6 Minyak mimba sebagai antiyamuk	45
Gambar 2. 7 Minyak pinus untuk antinyamuk.....	46
Gambar 3. 1 Komponen penyusun minyak terpentin.....	49
Gambar 3. 2 Produk dari bahan dasar pinena.....	52
Gambar 3. 3 Kopling kepala dan ekor dari dua unit isoprena	52
Gambar 3. 4 Struktur α -pinena	52
Gambar 3. 5 Mekanisme kestabilan karbokation	53
Gambar 3. 6 Reaksi hidrasi α -Pinena dengan katalis asam	58

Gambar 3. 7 Model interaksi katalis TCA/ZrO ₂ . nH ₂ O	58
Gambar 3. 8 Skema reaksi hidrasi α -pinena dengan katalis asam.....	60
Gambar 3. 9 Mekanisme reaksi interaksi sintesis α -terpineol.....	62
Gambar 3. 10 Struktur α -terpineol; β -terpineol; dan γ -terpineol	64
Gambar 3. 11 Struktur α -terpineol dan isomernya.....	65
Gambar 3. 12 Metode klasik reaksi pembentukan terpineol dari α - pinena	65
Gambar 3. 13 Reaksi pembentukan terpineol dengan katalis asam sulfat.....	66
Gambar 4. 1 Stereoisomer sitronelal.....	75
Gambar 4. 2 Hasil GC-MS minyak serai wangi	81
Gambar 4. 3 Struktur sitronelol	82
Gambar 4. 4 Reaksi Hidrogenasi sitronelal	82
Gambar 5. 1 Proses melepaskan sistem aktif antinyamuk: lemak padat.....	105
Gambar 5. 2 Mikrokapsul polimer	107
Gambar 5. 3 Struktur solid lipid.....	113
Gambar 5. 4 Vesikel dwilapis lipid liposom	120
Gambar 5. 5 Gel antinyamuk	123
Gambar 5. 6 Semprotan antinyamuk.....	125
Gambar 6. 1 Proses pembuatan pestisida cair	133
Gambar 6. 2 Formulasi pestisida serbuk.....	134
Gambar 6. 3 Kaleng aerosol untuk antinyamuk	136
Gambar 6. 4 Proses formulasi dan pencampuran.....	137
Gambar 6. 5 Korsel pengisian cairan antinyamuk.....	138
Gambar 6. 6 Pemasangan katup pada kaleng aerosol antinyamuk.	139
Gambar 6. 7 Proses pengecekan kebocoran pada kaleng aerosol ...	140
Gambar 7. 1 Nyamuk saat hinggap (a) <i>Aedes aegypti</i> (b) <i>Aedes albopictus</i>	144
Gambar 7. 2 Siklus hidup nyamuk <i>Aedes aegypti</i>	148
Gambar 7. 3 Telur nyamuk <i>Aedes aegypti</i>	149
Gambar 7. 4 Larva nyamuk <i>Aedes aegypti</i>	151
Gambar 7. 5 Perkembangan larva	153
Gambar 7. 6 Larva <i>Aedes Aegypti</i> membentuk sudut di bawah permukaan air	154
Gambar 7. 7 Anatomi Pupa dari <i>Aedes aegypti</i>	156

Gambar 7. 8 Dimorfisme seksual pupa <i>Ae. aegypti</i> (a) betina, (b) jantan.....	157
Gambar 7. 9 Nyamuk <i>Aedes aegypti</i> yang sedang menghisap darah.....	158
Gambar 7. 10 Mesonotum nyamuk (a) <i>Aedes aegypti</i> dan (b) <i>Aedes albopictus</i>	159
Gambar 7. 11 Anterior kaki nyamuk (a) <i>Aedes aegypti</i> dan (b) <i>Aedes albopictus</i>	160
Gambar 7. 12 Anatomi nyamuk <i>Ae. Aegypti</i>	162
Gambar 8. 1 Kandang Nyamuk.....	172
Gambar 8. 2 Arm-in-cage Test pada glass Chamber untuk mengukur efektivitas antinyamuk topikal dalam kondisi laboratorium.....	173

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Zat aktif Anti serangga dan kemampuannya	15
Tabel 1. 2 Minyak atsiri yang berpotensi sebagai Anti serangga	16
Tabel 1. 3 Jumlah serangga yang menolak oleh lilin minyak atsiri pada jarak 1 m	32
Tabel 3. 1 Sifat minyak terpenting.....	50
Tabel 3. 2 Sifat fisik α -Pinena hasil isolasi minyak terpenting.....	50
Tabel 3. 3 Reaksi hidrasi α -pinena berdasarkan literatur	57
Tabel 3. 4 Sifat terpineol (Kirk-Othmer,1974).....	64
Tabel 5. 1 Produk antinyamuk yang telah terdaftar di pasaran	104
Tabel 5. 2 Control release system antinyamuk komersial	108
Tabel 5. 3 Sinergisitas efek larvicidal	119
Tabel 5. 4 Formulasi dalam Gel antinyamuk untuk Tangan.....	123
Tabel 5. 5 Formulasi dalam Gel Pengusir Nyamuk.....	124
Tabel 7. 1 Perbedaan Nyamuk <i>Ae. aegypti</i> dan <i>Ae. Albopictus</i>	160
Tabel 8. 1 Perbandingan kemampuan aktivitas antinyamuk pada minyak Atsiri dan Ekstrak tumbuhan.....	174

BAB 1 ANTI SERANGGA VERSUS NYAMUK ?

Tahukah Anda bahwa anti serangga adalah pestisida ? Menurut hukum pestisida, pestisida adalah segala zat atau campuran zat yang dimaksudkan untuk mencegah, menghancurkan, memukul mundur; atau mengurangi hama apa pun. Mengurangi berarti mengurangi efek sesuatu. Orang sering menganggap istilah pestisida hanya merujuk pada sesuatu yang membunuh serangga, tetapi "pestisida" adalah istilah yang luas dan mencakup produk yang tidak membunuh apa pun, seperti anti serangga. Produk yang diberi label anti serangga tidak dirancang untuk menghilangkan hama.

Anti serangga di dalam rumah tangga yang digunakan untuk melindungi tubuh (kulit) dari gigitan serangga salah satunya adalah nyamuk. Sebenarnya kita sudah sering menggunakannya saat kita terganggu akan adanya nyamuk dari suaranya ataupun ketakutan jika terkena penyakit salah satunya demam berdarah. Salah satu cara terbaik untuk mencegah serangga menularkan penyakit dengan cara mencegah serangga untuk mengigit. Oleh karena itu dibutuhkan suatu untuk mengusir atau mencegahnya untuk tidak mendekat atau mengigit. Anti serangga perlu disediakan di rumah.

Sekarang ini, orang lebih mengenalnya sebagai antinyamuk. Produk ini dapat dioleskan pada kulit, pakaian, atau permukaan lain, dalam bentuk gel dengan aroma antinyamuk atau bentuk cairan yang disemprotkan. Banyak jenis antinyamuk yang tersedia secara komersial. Semprotan antinyamuk sangat umum dan mungkin disemprotkan pada pakaian atau kulit. Beberapa semprotan terbaik mengandung *N,N-Diethyl-meta-toluamide* (DEET) konsentrasi tinggi dan efektif selama beberapa jam bahkan ketika berjalan melalui hutan yang dalam di mana ada ribuan nyamuk.

1.1 Bedakah bukan antinyamuk dan antinyamuk?

Kita harus menjadi bagian penting dalam mengelola hama. Perlu dipahami bahwa ada perbedaan antara insektisida anti dan non-anti serta yang harus digunakan untuk memerangi hama. Pemahaman yang jelas tentang hama untuk menentukan jenis perawatan yang akan digunakan dengan sangat efektif, profesional untuk manajemen hama.

Perbedaan utama yang akan ditemukan oleh pengguna antara insektisida anti dan non-anti adalah lamanya waktu yang dibutuhkan produk untuk merobohkan seekor serangga dan apakah serangga tersebut memiliki waktu untuk mentransfer insektisida ke sesama hama atau rekan sarang. Gangguan yang dihasilkan dari jejak semut memberikan kesan bahwa mereka telah ditolak, bahkan bisa jadi formulasi produk membatasi penolakan. Insektisida yang bekerja lebih lambat dikategorikan sebagai produk yang bukan anti serangga dan membutuhkan waktu lebih lama untuk merobohkan serangga. Serangga menyeberang permukaan yang dikenai oleh insektisida dan sampainya serangga kembali ke sarang sebelum memberikan pengaruh sehingga memelihara jejak dan mendorong lebih banyak semut untuk bersentuhan dengan perlakuan yang sama.

Memahami perbedaan antara insektisida anti dan non-anti serta yang harus digunakan untuk mengobati hama adalah bagian penting dari pengelolaan hama. Cara melayani pelanggan dengan sangat efektif, profesional manajemen hama (PMP) harus memiliki pemahaman yang jelas tentang hama pelanggan mereka untuk menentukan jenis perawatan yang akan digunakan. Perbedaan utama yang akan ditemukan pengguna antara insektisida anti dan non-anti adalah lamanya waktu yang dibutuhkan produk untuk merobohkan seekor serangga dan apakah serangga tersebut memiliki waktu untuk mentransfer insektisida ke sesama hama atau rekan sarang. Insektisida *piretroid* bertindak cepat dianggap produk anti karena mereka menciptakan penghalang dan bertindak cepat untuk mencegah serangga sosial seperti semut dari mempertahankan jejak *feromon*.

1.2 Mengapa menggunakan Anti serangga?

Anti serangga digunakan untuk mengusir nyamuk, kutu, lalat, dan serangga menggigit lainnya. Nyamuk dapat menularkan penyakit seperti Zika, Malaria, dan virus *West Nile*. Kutu dapat menularkan penyakit *Lyme*, *Rocky Mountain Spotted Fever*, dan penyakit lainnya. Anti tidak dimaksudkan untuk membunuh serangga, tetapi untuk menjauhkan mereka dari mencegah gigitan dan penyebaran penyakit. Akibat jika sudah terkena demam berdarah karena *Aedes Aigepti* seperti pada poster yang disebarakan oleh dinkes Salatiga pada Gambar 1.1. untuk waspada terhadap Demam Berdarah.

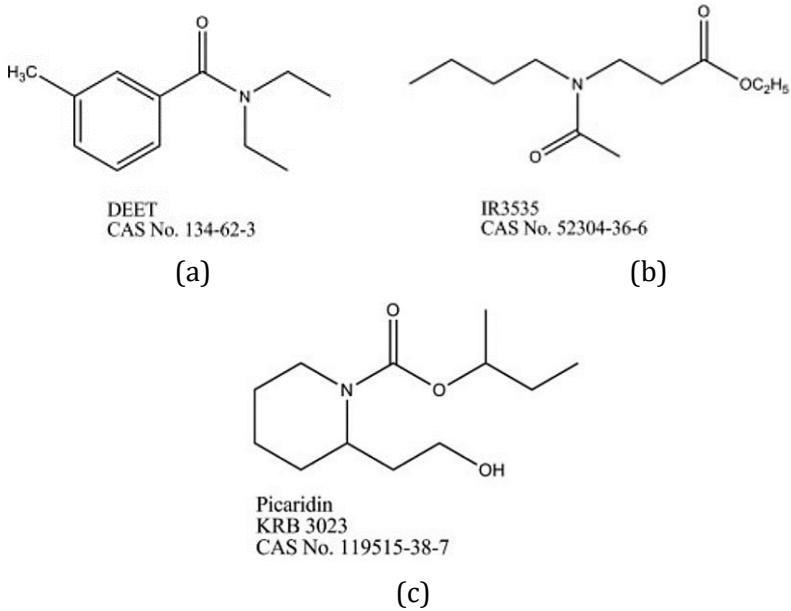
1.3 Apa yang Terkandung di dalam Anti Serangga?

Ada banyak bahan aktif dalam anti serangga yang terdaftar di *Environmental Protection Agency* (EPA). Ketika digunakan sesuai petunjuk, anti serangga yang terdaftar EPA terbukti aman dan efektif, bahkan untuk wanita hamil dan menyusui. Contohnya adalah *Diethyltoluamide* (DEET), *picaridin* (dikenal sebagai KBR 3023 dan *icaridin* di luar AS), minyak serai, minyak lemon *eucalyptus* (OLE). Di antara bahan-bahan lainnya, IR3535 dan minyak serai. Beberapa struktur dari bahan aktif anti serangga disajikan pada Gambar 1.2. (a - c) OLE merupakan bahan ini terkait dengan zat yang ditemukan di alam, maka bahan ini dianggap sebagai biopestisida. Minyak lemon *eucalyptus* juga dapat terdaftar pada produk dengan nama kimianya, *p-menthane-3,8-diol* (PMD). Dan ada satu lagi jenis antinyamuk adalah *2-undecanon*. *Picaridin* (juga dikenal sebagai KBR 3023, *Bayrepel*, dan *icaridin*), OLE juga dikenal sebagai *para-menthane-3-8 diol* (PMD), IR3535, dan *2-undecanone* (*metil nonyl keton*), menurut CDC, bahan-bahan ini mungkin tidak seefektif DEET dalam mengatasi kutu atau serangga lainnya.



Gambar 1.1 Poster Waspada Demam Berdarah
<http://dinkes.salatiga.go.id/?p=1948>

Waktu perlindungan bervariasi untuk contoh antinyamuk seperti DEET. Pemakaian pada kulit akan efektif selama 90 menit hingga 10 jam, tergantung pada jumlah bahan aktif dalam produk dan kondisi kulit. Kisaran konsentrasi DEET mencapai 10% (untuk sekitar dua jam perlindungan) hingga 100% (hingga 10 jam). Perlindungan maksimum dicapai pada formulasi DEET 30%, pada tingkat konsentrasi yang lebih tinggi hanya membuat perlindungan lebih lama. Formula rilis terkontrol, yang mencakup DEET ± 20-30%, memberikan perlindungan hingga 12 jam. Hal itu menjadikan DEET rilis terkontrol menjadi pilihan yang sangat baik bagi orang yang ingin meminimalkan tingkat konsentrasi DEET pada diri mereka sendiri atau anak-anak mereka. Sebagai bonus, DEET rilis terkontrol juga meminimalkan efek DEET pada plastik dan sintetis.



Gambar 1. 2 Struktur kimia bahan aktif Anti serangga (a) DEET, (b) IR 3535m, dan (c) *Picaridin* (KRB 3023)

DEET memiliki berbagai rekomendasi tetapi beberapa orang ragu untuk menggunakannya. Yang mengatakan, DEET telah dipelajari secara lebih luas daripada anti lainnya dan EPA melaporkan bahwa menggunakan DEET seperti yang diinstruksikan tidak menimbulkan masalah kesehatan bagi populasi umum, termasuk anak-anak. Panduan anti serangga Kelompok Kerja Lingkungan juga melaporkan bahwa DEET lebih aman daripada yang diperkirakan banyak orang dan sangat efektif untuk daerah dengan hama pembawa penyakit. Penggunaan pengusir DEET, harus mengikuti pedoman aplikasi yang diberikan bersama produk, terutama ketika menerapkannya pada anak-anak.

Picaridin untuk menolak serangga jenis nyamuk, kutu, lalat. Bahan kimia ini adalah versi sintetis dari anti yang ditemukan pada tanaman lada. Perlindungan maksimal disediakan dalam formulasi dengan 20% *picaridin* untuk versi semprot dapat melindungi sampai 12 jam terhadap nyamuk dan kutu, dan 8 jam

terhadap lalat. Bentuk formulasi berupa lotion akan memberikan perlindungan sampai 14 jam melawan nyamuk dan kutu, dan 8 jam melawan lalat.

Bagaimana *Picaridin* vs. DEET? Karena bahan tersebut merupakan bahan dasar antinyamuk atau serangga yang paling efektif, orang sering bertanya mana yang lebih baik. Kemanjuran DEET dan *picaridin* dianggap sebanding dengan DEET untuk nyamuk dan kutu, dan bekerja lebih baik pada lalat. DEET dan *Picaridin* memiliki bau yang minimal. DEET dapat merusak plastik sedangkan *picaridin* tidak merusak plastik dan sintetis lainnya.

Produk anti serangga yang mengandung *Permethrin* (*Permanone*) direkomendasikan untuk digunakan hanya pada pakaian, sepatu, kelambu, dan peralatan berkemah dan tidak diperkenankan untuk dioleskan atau dikenakan pada kulit. *Permethrin* sangat efektif berfungsi untuk membunuh nyamuk dan kutu. Keunggulannya adalah jika anti pakaian yang diberi *permethrin* maka dapat membunuh kutu, nyamuk, dan *artropoda* lainnya. Apabila pakaian dicuci berulang mana fungsinya masih tetap efektif.

Minyak tumbuhan yang disintesis untuk nyamuk dan beberapa kutu masih dianggap sebagai bahan kimia dan diatur oleh EPA untuk digunakan pada manusia. Minyak lemon *eucalyptus* dapat mengusir nyamuk hingga 6 jam sedangkan IR3535, sintetis yang terbuat dari asam amino alami, dapat bertahan hingga 8 jam

Minyak tumbuhan (nyamuk) alami (tidak disintesis): minyak alami (kedelai, serai, cedar, peppermint, lavender, geranium atau geraniol, dkk.) tidak diatur untuk keamanan atau keefektifan oleh EPA. Umumnya, mereka dianggap kurang efektif dan mereka harus diterapkan kembali jauh lebih sering daripada alternatif kimia. Walaupun demikian tidak harus sepenuhnya DEET diganti secara penuh oleh minyak atsiri, namun dapat mengurangi sisi bahaya dan tetap mempertahankan kemampuan perlindungan secara efektif.

Permethrin digunakan untuk antinyamuk dan kutu. Pakaian antinyamuk dan kutu menggunakan bahan kimia sintetis ini yang

bertindak seperti ekstrak alami dari krisan dan membunuh serangga yang bersentuhan dengannya.

Centers for Disease Control and Prevention (CDC) merekomendasikan penggunaan produk dengan salah satu bahan terdaftar EPA ini. Bahan aktif tersebut dapat diterapkan pada kulit manusia dan beberapa dapat digunakan pada pakaian. Keamanan penggunaan DEET sebaiknya digunakan sesuai petunjuk, meskipun dalam kasus yang jarang terjadi produk DEET dapat menyebabkan iritasi kulit.

Kondisi di Indonesia, bahan aktif yang paling banyak dan sering digunakan untuk anti serangga/nyamuk adalah DEET. Bahan kimia sintetis ini digunakan untuk antinyamuk terutama yang mendekati kulit. Bahan kimia lain yang juga digunakan diantaranya adalah *permethrin*, *picaridin*. Selain itu ada juga bahan yang berasal dari tumbuhan seperti *citronella*, cedar, verbena, *pennyroyal*, geranium, lavender, bawang putih, *pine* (cemara) dll.

1.4 Jenis Anti serangga

Terkadang cukup membingungkan mencari tahu metode mana yang paling efektif dalam mengusir serangga sambil meminimalkan paparan kita sendiri terhadap bahan kimia yang mungkin ingin kita hindari.

Pilihan utama saat memilih obat nyamuk adalah sebagai berikut:

1. Anti serangga yang dioleskan pada kulit sering kali merupakan apa yang kita pikirkan ketika kita ingin menghindari gigitan serangga. Ini adalah yang paling bermanfaat secara luas, karena serangga tetap bersama kita terlepas dari gerakan Anda.
2. Produk *clip-on* yang memiliki bantalan dengan aroma antinyamuk dan kipas atau mekanisme lain yang menyebarkan bau antinyamuk di dekat tubuh.

Ruangan dikenai mekanisme pemanasan untuk menyebarkan bau antinyamuk di area *outdoor*. Contoh mekanisme penyebaran untuk antinyamuk di ruang meliputi lampu lentera, obor, difuser, lilin, dan gulungan.

Anti *spasial stasioner* dan pengaruhnya dipakai hanya untuk penggunaan di luar ruangan, kecuali label secara khusus menyatakan mereka dapat digunakan di dalam ruangan. Pembaca dapat cek di label kemasan untuk memahami batasan apa pun seperti area yang akan dilindungi, efek angin pada penggunaannya. Produk-produk ini harus memiliki data keamanan dan keefektifan, yang dievaluasi sebelum mengizinkannya di pasar.

1.5 Dosis yang Dianjurkan untuk Anak-anak ?

Penggunaan anti serangga dapat dikatakan aman, namun penggunaannya harus memperhatikan syarat dan ketentuan. *American Academy of Pediatrics* (AAP) merekomendasikan keamanan DEET dengan kadar 10-30% untuk anak-anak, tapi tidak direkomendasikan untuk bayi di bawah 2 bulan. Hal ini berbeda dengan minyak *citronella* yang secara umum dianggap aman tetapi tidak direkomendasikan untuk penggunaan pada anak di bawah 2 tahun karena kurangnya bukti ilmiah

Oleh karena itu perlu diperhatikan standar keamanan dalam penggunaan anti serangga terutama untuk anak-anak dengan cara memperhatikan dan mengikuti dan larangan pada label kemasan produknya. Pada kemasan dapat dicek konsentrasi dan jenis bahan aktifnya, jika mengandung DEET maka sebaiknya dipilih produk yang konsentrasi DEET dalam batas aman, yakni 10-30%. Apabila kulit dalam kondisi terluka, teriritasi dan sensitif sebaiknya jangan digunakan dahulu.

Pada anak-anak, anti serangga tidak diperbolehkan untuk dioleskan di area dekat mata, dan dekat mulut, dan jangan mengoleskan pada tangan karena anak-anak memasukkan tangannya ke dalam mulut. Jika berbentuk *spray*, untuk pengaplikasian pada wajah sebaiknya semprotkan dulu pada telapak tangan baru kemudian dioleskan pada muka.

1. Bagaimana untuk bayi usia kurang dari 6 bulan. sebaiknya lebih memilih untuk menghindari penggunaan losion anti serangga tipe oles. Apabila terpaksa bayi menggunakannya

- sebaiknya tidak menggunakan anti serangga yang mengandung bahan aktif DEET.
2. Anak usia 6 bulan–2 tahun, jika penggunaan anti serangga benar-benar dibutuhkan dapat digunakan produk dengan kadar DEET kurang dari 10% dan oleskan hanya satu kali sehari dan sebaiknya tidak dioleskan pada wajah dan tangan dan diberikan pada jumlah yang sedikit saja dalam jangka waktu yang lama.
 3. Anak usia 2–12 tahun, dapat dipilih produk anti serangga dengan kadar DEET kurang dari 10% dan pemakaiannya tidak boleh lebih dari 3x sehari. Kita berupaya sebisa mungkin menghindari penggunaan bahan kimia, misalnya krim untuk bayi dapat diganti dengan minyak zaitun.
 4. Anak usia di atas 12 tahun bisa menggunakan produk dengan kadar DEET kurang dari 30% dan jika dibutuhkan dapat di oleskan kembali.

1.6 Durasi Anti Serangga yang Menggunakan DEET

Kadar DEET 30% memberi perlindungan selama 6 jam yang merupakan waktu maksimal efektif untuk menolak serangga. Jika konsentrasi semakin turun maka waktu perlindungan yang diberikan semakin pendek. Hal ini dapat diaplikasikan pada kadar DEET 15% maka perlindungan selama 5 jam sedangkan untuk kadar 10% dan 5 % maka perlindungan selama 2 jam.

1.7 Cara fisik tanpa menggunakan bahan kimia atau alam

Pemasalahan gigitan nyamuk dapat diatasi dengan cara alternatif memakai kelambu besar yang mudah dibawa ke mana-mana dan mudah penyimpanannya. Kelambu dapat multi fungsi dan nyaman untuk melaksanakan aktifitas yang tidak hanya tidur. Diantaranya kelambu dapat digunakan saat menonton televisi atau bermain. Perlu juga dicatat bahwa nyamuk adalah satu-satunya hama yang dirancang untuk semua anti serangga juga efektif melawan kutu.

1.8 Cara kerja Anti serangga

Sebenarnya nyamuk betina dan kutu tertarik pada manusia atau hewan karena bau kulit (asam laktat) dan karbon dioksida yang dikeluarkan. Media yang digunakan serangga untuk menemukan inang adalah menggunakan panas, gerakan, dan isyarat visual. Anti serangga fungsinya mempengaruhi indera serangga seperti bau dan rasa untuk mencegahnya menemukan inang manusia atau hewan.

Anti serangga tidak membunuh serangga (nyamuk), tetapi membantu mencegah dan mengusir serangga dari menemukan makanannya. Antinyamuk bekerja dengan mengganggu atau memblokir *neuron* dan reseptor penciuman yang terletak di antena nyamuk yang mengandung *chemoreseptor* dan bagian mulut yang mendeteksi 1-octen-3-ol yang ditemukan dalam nafas dan keringat manusia. Pada dasarnya, antinyamuk menyulitkan nyamuk untuk mencium bau kulit manusia.

1.9 Efektivitas Anti serangga yang umum

Lama perlindungan dan kemanjuran anti bisa bervariasi. Mereka harus menjalani tes untuk menunjukkan bahwa mereka efektif sebelum mereka dapat mengklaim mengendalikan nyamuk atau kutu.

1.10 Konsentrasi kandungan zat aktif yang efektif

Anti serangga yang mempunyai konsentrasi lebih tinggi dapat melindungi orang menjadi lebih lama namun, tidak lebih baik dalam menjauhkan serangga. Anti dengan bahan aktif kurang dari 10% hanya dapat menawarkan perlindungan untuk periode waktu yang singkat yaitu 1-2 jam. Ketahanan waktu juga mempertimbangkan keringat, kontak air, dan penggosokan dari area yang diberikan dapat mempengaruhi berapa lama anti serangga itu efektif. Anti serangga harus tahan air.

Produk merekomendasikan DEET, dengan konsentrasi 20% atau lebih. Produk dengan DEET lebih dari 50% tidak menawarkan perlindungan ekstra. Pertimbangkan menggunakan berbagai metode untuk mencegah gigitan dapat dilakukan dengan

menutupi kulit yang terpapar dengan pakaian atau mengubah lingkungan menjadi berkurang serangannya.

1.11 Aplikasi Anti serangga?

Aplikasi anti serangga yang paling umum digunakan adalah *spray-on*, tetapi anti serangga juga dapat diaplikasikan dalam bentuk rol, lentera dan lilin. Pemakaian dapat juga melalui semprotan, tisu, atau losion. Produsen harus dapat menemukan anti serangga yang terbaik untuk konsumen.

Beberapa produk anti serangga yang diarahkan untuk nyamuk secara alami diintegrasikan ke dalam gelang atau klip. Aplikasi ini mengandalkan minyak nabati yang tidak disintesis untuk menolak nyamuk. Meskipun ini lebih nyaman daripada minyak yang dioleskan kulit, ini dapat membuat area tubuh Anda jauh dari rentan terhadap gigitan.

1.12 Anti serangga “bebas bahan kimia”?

Anti serangga berfungsi untuk menghindarkan adanya kontak antara manusia dan serangga (nyamuk), namun demikian bahan kimia (bahan aktif) yang digunakan tidak selamanya aman untuk digunakan tubuh terutama untuk anak-anak. Tidak ada anti serangga yang "bebas bahan kimia," karena semuanya terbuat dari bahan kimia, bahkan air dan udara. Terkait kondisi ini, perlu digali potensi bahan alami sebagai bahan antinyamuk yang dapat digunakan sebagai pilihan lain untuk pengganti atau penggunaan sementara jika ada masalah dengan anti serangga sintetik. Beberapa anti serangga dibuat dengan hanya minyak nabati alami, yang belum dievaluasi oleh EPA untuk efektivitas.

Pestisida berbasis minyak atsiri dan konstituennya telah terbukti efektif melawan banyak hama serangga yang tersimpan. Ini telah dirumuskan dan diterapkan berbagai sebagai senyawa yang tidak disukai serangga. Minyak atsiri adalah minyak alami dengan metabolit sekunder yang kompleks. Ciri dari minyak atsiri yang nyata adalah bau yang kuat, volatilitas, dan umumnya memiliki densitas yang lebih rendah daripada air. Dikarenakan sifat volatilitasnya maka minyak atsiri tidak tahan lama saat

berada di lingkungan. Minyak atsiri 'secara umum diakui aman' oleh *United States Food and Drug Administration* (FDA).

Bahan kimia sintetis organik terkonsentrasi produk dengan efek *knock-down* yang tinggi pada organisme hama. Bahan kimia dapat diproduksi dalam jumlah besar dan relatif murah dan mereka dengan cepat menggantikan yang lain. Seperti diketahui penggunaan *organoklorin* persisten seperti DDT dan toksik akut senyawa *organo-fosfor* telah menyebabkan efek berbahaya pada lingkungan dan manusia. Sebagai tanggapan upaya itu dibuat untuk memperkuat pendekatan manajemen hama terpadu di mana kontrol kimia, jika diperlukan, harus dilakukan dikombinasikan dengan metode lain seperti sanitasi tanaman, tahan varietas dan kontrol biologis. Selain itu, perhatian juga diarahkan menuju pengembangan bahan kimia alternatif.

Aktivitas insektisida didapat dari ekstrak akar *Vetiveria zizanioides* (L.). Minyak atsiri *Eucalyptus* memiliki sebuah spectrum luas pada aktivitas biologis termasuk antimikroba, pembasmi fungisida, insektisida/ serangga, herbisida, *acaricidal*, dan *nematicidal*. Minyak atsiri dari serai (*Cymbopogon flexuosus*), *eucalyptus* (*Eucalyptus globules*), *rosemary* (*Rosmarinus officinalis*), akar wangi (*Vetiveria zizanioides*), cengkeh (*Eugenia caryophyllus*) dan *thyme* (*Thymus vulgaris*) dikenal sifat pengendalian hama. Berbeda dengan *peppermint* (*Mentha piperita*) yang berfungsi mengusir semut, lalat, kutu dan ngengat. Tanaman permen (*Menthaspicata*) dan basil (*Ocimum basilicum*) juga efektif dalam menangkal lalat. Apalagi minyak atsiri dari *Artemesia vulgaris*, *Melaleuca leucodendron*, *Pelargonium roseum*, *Lavandula*. Pengusir nyamuk, lebah, dan serangga terbang lainnya yang paling konstituen aktif telah diidentifikasi sebagai *nepetalactone*. Ini mengusir nyamuk sepuluh kali lebih banyak daripada DEET. Minyak atsiri rimpang *Zingiber* (*Zingiberaceae*) dan *Piper cubebaberries* (*Piperaceae*) dipamerkan sebagai insektisida.

Minyak atsiri nabati adalah campuran yang kompleks terutama *terpenoid*, terutama *Monoterpen* (C₁₀) dan *sesquiterpenes* (C₁₅), dan berbagai fenol aromatik, oksida, eter, alkohol, ester,

aldehida dan keton itu mempunyai aroma dan bau khas. Adanya monoterpen yang mudah menguap atau minyak atsiri di tanaman menyediakan strategi pertahanan yang penting bagi tanaman, khususnya terhadap serangga hama herbivora dan jamur patogen. *Terpenoid* yang mudah menguap ini juga mempunyai peran dalam interaksi tanaman-tanaman dan berfungsi sebagai penarik serangga untuk penyerbukan.

Tanaman aromatik dan minyak atsirinya telah digunakan sebagai pemberi rasa dan wangi, dan dimanfaatkan sebagai bumbu atau rempah-rempah, dalam obat-obatan, sebagai agen antimikroba atau insektisida. Minyak atsiri secara alternatif efektif untuk pestisida sintetis tanpa menghasilkan efek buruk pada lingkungan. Minyak atsiri mudah diekstraksi, ramah lingkungan menjadi *biodegradable* dan mudah dikatabolisme di lingkungan, memiliki toksisitas rendah peran penting sebagai pengusir serangga atau hama dan sebagai agen pestisida. Secara umum, metabolit sekunder pada tanaman termasuk fenolat, tanin, dan bahkan *monoterpene*. Aktivitas pestisida minyak *eucalyptus* telah disebabkan oleh komponen seperti 1,8-*cineole*, *citronellal*, *citronellol*, *citronellyl acetate*, *p-cymene*, *eucamalol*, *limonene*, *linalool*, α -*pinene*, *Y-terpinene*, α -*terpineol*, *alloocimene*, dan *aromadendrene*. Komponen minyak atsiri kayu putih bertindak secara sinergis menghadirkan keseluruhan aktivitas pestisida. Minyak kayu putih dapat langsung bertindak sebagai pengusir serangga alami yang memberikan perlindungan terhadap nyamuk dan arthropoda lainnya berbahaya.

Minyak atsiri yang berasal dari kayu putih dan serai juga memiliki telah ditemukan efektif sebagai anti serangga, *Citriodiol* tersedia berbasis minyak bagian dari minyak atsiri *Eucalyptus* yang secara signifikan mengurangi jumlah gigitan kutu pada manusia dan menyimpulkan itu itu dapat digunakan untuk mengurangi infeksi yang ditularkan melalui kutu.

Kemangi (*Ocimum basilicum*) (Gambar 1.3) berpotensi sebagai pestisida, minyak atsirinya beracun dan berfungsi anti penghambatan pertumbuhan banyak serangga. *Linalool* adalah *terpenoid* yang ditemukan di kemangi yang bertanggung jawab

atas efek racun pada hama. Di antara *monoterpenoid* yang diuji, *terpinen4-ol*, *1,8-cineol*, *verbenone* dan *camphor* adalah yang paling banyak aktif . Keton pada umumnya lebih aktif daripada alkohol dan keduanya lebih aktif daripada hidrokarbon.



Gambar 1. 3 Daun Kemangi

<http://alimustikasari.com/manfaat-daun-kemangi-untuk-kesehatan-dan-kecantikan/>

Beberapa jenis anti serangga dengan keunggulan zat aktifnya dapat memberikan pengaruh pada serangga dengan pemberian konsentrasi dan durasi tertentu dapat dilihat pada Tabel 1.1 mengenai perbandingan anti serangga pada kemampuannya terhadap serangga.

Anti berbahan sintetis dikenal mahal, untungnya, minyak atsiri adalah bagian dari solusi membuat antinyamuk alami dan anti serangga menggunakan minyak atsiri serai dan hanya beberapa bahan lain yang ditunjukkan pada Tabel 1.2 mengenai kemampuan minyak atsiri yang berpotensi menolak nyamuk atau serangga lain yang dalam hal ini untuk nyamuk dan kutu.

Indonesia merupakan negara tropis dan terdapat berbagai jenis tumbuhan yang belum banyak dimanfaatkan, misal sebagai antinyamuk dan sangat diharapkan menjadi pilihan masyarakat

karena bahan tersebut banyak terdapat disekitar pemukiman serta aman digunakan dalam jangka panjang sebab tanpa ada efek negatif. Penggunaan pestisida nabati banyak memberikan keuntungan ramah lingkungan, tidak memberikan dampak buruk pada kesehatan dan bahan dasar ada di sekitar pemukiman.

Tabel 1. 1 Zat aktif anti serangga dan kemampuannya

Zat aktif	Jenis	Serangga yang dikenai	Durasi
anti serangga pada kulit			
<i>Picaridin</i>	Zat aktif disintetis dari Disintesis dari pohon merica	Nyamuk, kutu, lalat	maks 14 jam
DEET	Zat kimia	nyamuk, kutu, lalat	Maks.12 jam
IR3535	Minyak tumbuhan hasil sintesis	nyamuk	4-8 jam
Minyak lemon <i>eucalyptus</i>	Disintesis dari tanaman yang mengandung minyak tersebut	nyamuk	Sampai dengan 6 jam
Minyak nabati (kedelai, serai, serai wangi, dll)	Minyak tumbuhan alami	nyamuk	Diperkirakan sd 2 jam
antinyamuk pada pakaian			
<i>Permethrin</i>	Bahan tanaman krisan hasil sintesis	Nyamuk, kutu	Mencapai 68 kali pencucian
Minyak nabati diintegrasikan ke dalam gelang atau penjepit	Minyak dari tumbuhan alami	Beberapa nyamuk	2 hari
Bahan antinyamuk melalui udara			

Zat aktif	Jenis	Serangga yang dikenai	Durasi
<i>Allethrin</i>	Bahan tanaman krisan hasil sintesis	nyamuk	bertahan 4 jam
Lilin serai wangi	Minyak dari tumbuhan alami	nyamuk	Selama lilin menyala

Tabel 1. 2 Minyak atsiri yang berpotensi sebagai Anti serangga

Nyamuk	Kutu
<i>Citronella</i>	<i>Cedarwood</i>
<i>peppermint</i>	Serai wangi
Lemon	Jeruk
<i>eucalyptus</i>	<i>Eucalyptus</i>
cengkeh	Pinus
serai	Serai
Lavender	Lavender
<i>Geranium</i>	

1.13 Apakah Serangga dapat Terusir secara alami?

Banyak orang yang tertarik mencoba untuk mengusir nyamuk secara alami, karena cara ini dianggap lebih aman dan murah ketimbang membeli atau menggunakan obat antinyamuk yang mengandung bahan kimia yang dapat ditemukan di pasaran. Setidaknya ada tiga bahan alami yang orang Indonesia sering gunakan untuk menghilangkan nyamuk secara alami di rumah yaitu serai atau serai wangi, kopi, bawang putih.

1.13.1 Serai dan serai wangi

Tanaman dengan aroma wangi ini yang memiliki banyak kegunaan positif bagi manusia. Di Indonesia, serai (*Cymbopogon citratus*) seringkali dimanfaatkan sebagai bumbu dapur atau penyedap rasa alami untuk menjadikan hidangan semakin sedap disajikan dalam Gambar 1.4 (a).

Selain itu, serai wangi (*Cymbopogon nardus*) juga merupakan salah satu aroma favorit banyak orang, karena aroma wangi serai (Gambar 1.4 (b)) diketahui dapat memancarkan aroma segar dan menenangkan ketika diekstraksi ke berbagai produk komersial seperti minyak atsiri, parfum, aromaterapi dan lilin. Apakah betul nyamuk membenci bau serai? Ketika serai diekstraksi mengandung minyak alami atau *Citronella* yang berasal dari serai memiliki bau pekat dapat mengusir nyamuk selama kurang lebih 2,5 jam. Lebih dari itu, serai untuk mengusir nyamuk juga secara ilmiah mampu mengurangi 40% populasi nyamuk di suatu tempat.



Gambar 1. 4 Tanaman atsiri pengusir nyamuk
(a) Serai dan (b) serai wangi

1.13.2 Ampas kopi

Ternyata banyak orang tidak menyangka bahwa ampas kopi yang dibakar dapat mengusir nyamuk secara alami di rumah. Ampas kopi seringkali digunakan sebagai bahan alami yang digunakan untuk mengusir hama serangga di rumah seperti kecoa dan semut. Banyak serangga yang tidak menyukai bau kopi yang kuat salah satunya nyamuk. Ampas kopi (Gambar 1.5) memiliki aroma yang sangat kuat, dan bahkan lebih kuat ketika dibakar. Banyak orang yang percaya jika aroma kuat dari ampas kopi yang dibakar dapat secara alami mengusir nyamuk. Membakar ampas kopi sehingga mengeluarkan asap merupakan suatu usaha untuk memblokir nyamuk untuk melacak manusia dari emisi karbon dioksida (CO_2). Senyawa CO_2 yang dihembuskan melalui hidung, seringkali digunakan oleh nyamuk sebagai sinyal untuk menggigit manusia.



Gambar 1. 5 Serbuk Kopi (Ampas)

1.13.3 Bawang putih

Cara mengusir nyamuk secara alami berbasis bawang putih menjadi semakin populer karena ternyata bau bawang putih yang kuat diketahui mengandung *sulfur* alami yang beracun ketika nyamuk menelan atau menciumnya. Oleh karenanya, tak jarang banyak orang mencoba untuk menggosokkan potongan bawang putih ke tubuh atau mengonsumsi bawang putih dalam jumlah banyak agar membuat tubuh mereka menjadi tidak menarik untuk nyamuk menggigit.

Ada cara lain yang dapat dilakukan dengan memanfaatkan bawang putih (Gambar 1.6) tanpa perlu dimakan atau dioleskan pada badan, misalnya seperti membuat semprotan antinyamuk dengan bahan dasar bawang putih. Semprotan antinyamuk berbahan dasar bawang putih ini untuk membunuh larva serta menghentikan telur nyamuk menetas di tempat nyamuk berkembang biak yang biasanya ditemukan di sekitar rumah.



Gambar 1. 6 Bawang putih

1.14 Bagaimana menolak nyamuk dengan fisika dan kimia?

Ada metode fisika dan kimia untuk mengusir dan mengendalikan nyamuk. Berbagai tindakan prevensi telah dilakukan untuk mengurangi insidensi penyakit yang diperantarai nyamuk tersebut mulai dari pemberantasan larva nyamuk, hingga menghindari gigitan nyamuk. Cara Fisika pada 1.14.1. sampai 1.14.4 adalah penggunaan kelambu saat tidur, pengasapan, penggunaan gelombang ultrasonik dan sinar ultra violet dikombinasi dengan lampu LED. menggunakan antinyamuk, menyemprot obat nyamuk berinsektisida, memasang kasa nyamuk di jendela atau ventilasi.

Siapa pun yang bekerja atau bermain di daerah yang dipenuhi nyamuk akan merasa bahwa antinyamuk sangat membantu. Antinyamuk diformulasikan dalam bentuk kimia untuk digunakan pada kulit yang terpapar. Beberapa bentuk pemberian antinyamuk yang menggunakan bahan kimia adalah kumparan, *aerosol semprot*, krim dan losion, diffuser nebula antinyamuk, pakaian antinyamuk, lilin antinyamuk berbahan alami dan semprotan cairan antinyamuk serta dalam bentuk aerosol semprot. Antinyamuk yang digunakan mengandung bahan-bahan seperti yang sudah disebutkan pada sub bab mengenai isi obat Antinyamuk yaitu *diethyl phthalate*, *diethyl carbate*; *N, N-Diethyl-3-Methylbenzamide* (DEET), *metofluthrin*, minyak lemon-*eucalyptus*, *picaridin* dan *ethyl hexanediol*.

1.14.1 Kelambu atau kasa nyamuk

Kelambu atau kasa nyamuk dianggap sebagai perlindungan fisika yang lebih baik dari nyamuk daripada kumparan dan bahan anti lainnya yang menyebabkan bahaya kesehatan. Tidur di bawah kelambu dapat menjamin perlindungan dari nyamuk. Saat ini, beberapa kelambu telah diberi *Deltamethrin* 25% dan kelambu ini (Gambar 1.7) dianggap lebih aman.

Tekstil pelindung nyamuk diklasifikasikan sebagai jaring infus insektisida, tirai, bahan tekstil rumah, seragam militer dll dan digunakan sebagai penghalang pelindung terhadap gigitan

nyamuk dewasa. Dari semua metode perlindungan gigitan nyamuk, metode berbasis tekstil mengasumsikan signifikansi karena tekstil melindungi kulit manusia dari cuaca buruk serta bertindak sebagai penghalang bagi mikroorganisme berbahaya yang berada di udara. Tekstil antinyamuk adalah salah satu kemajuan bidang tekstil, dengan menyediakan fitur yang sangat dibutuhkan untuk mengusir nyamuk ataupun kecoa, terutama di daerah tropis dapat juga di taman dan kebun (Gambar 1.8).



Gambar 1. 7 Kelambu di dalam ruangan yang menjaga dari serangga

<https://id.aliexpress.com/item/32896946713.html>



Gambar 1. 8 Kelambu tanaman dalam kebun

<https://id.aliexpress.com/i/32850452331.html>

1.14.2 Penyemprotan asap/pengasapan

Penyemprotan asap dikenal sebagai penyemprotan residu dalam ruangan atau pengasapan. Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), metode saat ini untuk mencegah gigitan nyamuk adalah penyemprotan residu pestisida (Gambar 1.9) dalam ruangan, jaring insektisida di rumah atau luar rumah pada waktu vektor lebih suka menggigit.

Penyemprotan dilakukan untuk mengendalikan populasi nyamuk. Hasil penyemprotan menunjukkan bahwa banyak nyamuk dewasa yang terbunuh dan pergi dari sekitar area penyemprotan, namun larva masih hidup dalam air.

Gas untuk pengasapan nyamuk adalah insektisida yang dibuat dari zat *pyrethroid* sintesis. Zat kimia ini adalah bahan yang umum ditemui dalam semprotan pembunuh nyamuk, namun dapat membunuh serangga lainnya seperti lebah dan kupu-kupu. Gas tidak membahayakan manusia atau hewan peliharaan. Kandungan insektisida dalam gas tersebut sangat minimum sehingga hanya mampu membunuh serangga sekecil nyamuk. Akan tetapi, kalau dihirup dalam jumlah yang berlebihan, gas ini bisa menimbulkan beberapa efek samping pada manusia.



Gambar 1. 9 Penyemprotan untuk mematikan/mengusir nyamuk
<https://www.klikdokter.com/info-sehat>

1.14.3 Gelombang Ultrasonik

Pengendalian menggunakan teknologi ramah lingkungan yang mampu mempengaruhi nyamuk adalah gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik merupakan langkah yang strategis karena selain efek gelombang yang merusak jaringan tubuh serangga juga lebih ramah terhadap lingkungan. Hal ini terbukti dari beberapa penelitian yang pernah dilakukan menggunakan gelombang ultrasonik, seperti untuk mengatasi hama kumbang, belalang.

Tipe gelombang ultrasonik yang digunakan adalah gelombang longitudinal. Gelombang longitudinal adalah gelombang yang memiliki arah getar sejajar dengan arah rambatnya. Sensor ultrasonik merupakan salah satu sensor yang menghasilkan besaran analog. Salah satu jenis sensor yang sering digunakan adalah *Parallax Ultrasound*. Keluaran dari sensor ini berupa besaran digital. Komponen yang terdapat pada sensor jenis ini sebuah pembangkit gelombang ultrasound beserta *transmitter*, pengubah besaran fisik menjadi sinyal-sinyal elektrik. Untuk mengolah sinyal dari sensor diperlukan sebuah mikrokontroler yang mewakili suatu figur sistem yang dikemas hanya dengan sebuah chip/rangkaian terpadu, yang kemudian berkembang hingga penggunaan memori dan *processor* beserta elemen pendukungnya seperti register.

Nyamuk sebagai golongan insekta, mampu mendengarkan suara di atas ambang rata-rata pendengaran manusia, yakni lebih dari 20 kHz. Dengan pancaran gelombang ultrasonik yang berada pada kisaran 30-100 kHz, akan membuat fungsi antenna pada nyamuk yang berfungsi sebagai satu-satunya indra penerima rangsang menjadi terganggu. Ketika gelombang ultrasonik dipancarkan, indera nyamuk akan mengenali suara yang ditimbulkan oleh gelombang tersebut sebagai ancaman, sehingga jika nyamuk berada terus menerus dalam pusaran gelombang tersebut, mereka akan tidak nyaman dan akhirnya mati.

Metode mekanis seperti *Electric Mosquito* yang bekerja dengan menggunakan sinar ultraviolet untuk memikat nyamuk. Nyamuk akan menghindar dari manusia dan akan menuju arah

sinar UV, kemudian nyamuk akan mati setelah kontak muatan listrik dengan dosis mematikan.

Berdasarkan penelitian, sebanyak hampir 75% nyamuk *Aedes aegypti* yang mati karena terpapar gelombang ultrasonik dengan frekuensi 30-100 kHz. Waktu pemaparan selama 24 jam dan gelombang ultrasonik ini dapat mencapai 5 meter untuk area jangkauan.

Dampak pada nyamuk sudah menunjukkan ada yang mati dan ada yang menjauh. Apakah hal ini juga berdampak negatif pada manusia? Jawabannya harus dilakukan pengujian biomedis untuk membuktikan. Pengujian ini menggunakan hewan percobaan yang secara filogenik dan fisiologis memiliki kemiripan relatif dengan manusia yaitu monyet jenis *Macaca fascicularis*. Parameter yang diuji adalah perilakunya, hematologi, kimia darah, fungsi jantung, dan metabolismenya. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa tidak ditemukan perbedaan yang signifikan antara monyet yang terkena gelombang ultrasonik dengan monyet yang digunakan sebagai kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa gelombang tersebut tidak berbahaya bagi manusia. Sistem tangkap dari gelombang ultrasonik hanya pada *auditory* (pendengaran) sehingga tidak mengganggu sistem tubuh seperti darah atau jantung, sedangkan manusia mempunyai sensitifitas frekuensi suara/bunyi pada rentang 20 Hz s.d. 20 kHz. Berdasarkan hasil tersebut maka gelombang ultrasonik cukup efektif untuk membunuh nyamuk terutama *Aedes aegypti* yang bisa menyebabkan penyakit demam berdarah, dan gelombang ini tidak akan memberikan efek yang buruk terhadap kesehatan manusia.

Ultrasonik mempunyai sisi kelemahan untuk menolak nyamuk betina. Karena setelah kawin sekali, nyamuk betina tidak akan kawin dengan jantan lagi dan mereka menghindari keberadaan jantan. Betina mendeteksi keberadaan jantan dengan merasakan ultrasonografi yang dihasilkan jantan. Oleh karena itu, generator ultrasonik meniru gelombang suara yang dihasilkan oleh pemukulan sayap nyamuk jantan dan ini akan mengusir nyamuk betina. Namun, teori ini masih kontroversi karena

melihat dari kemampuan pendengaran nyamuk betina relatif lemah. Hal ini berbeda dengan sistem pendengaran nyamuk jantan yang relatif kuat dengan banyak reseptor suara dan getaran pada antena plumose. Kemungkinan besar nyamuk jantan lebih peka mendeteksi getaran di lingkungan serta suara nyamuk betina. Dengan demikian, gelombang ultrasonik (Gambar 1.10) dianggap tidak efektif dalam mengusir nyamuk.



Gambar 1. 10 Ultrasonik untuk nyamuk

<https://www.globalsources.com/Electronic-mosquito/mosquito-repellent-1172430042p.htm#1172430042>

1.14.4 UltraViolet-LED

Apakah Anda tahu bahwa sinar UV dari lampu *Light-Emitting Diode* (LED) dapat membasmi nyamuk? dengan lebih aman dan tidak menimbulkan risiko kesehatan? Perangkat nyamuk dengan UV LED dapat menangkap lebih banyak nyamuk. Ini dikarenakan, UV LED dilengkapi dengan lapisan yang menghasilkan karbon dioksida melalui proses katalitik, yang mirip dengan suhu manusia yang disukai oleh nyamuk. Selain itu, teknologi ini juga memiliki kombinasi cahaya khusus yang diatur dalam jangkauan visual maksimal yang sangat efektif menangkap nyamuk. Cahaya UV juga memiliki panjang gelombang yang lebih pendek dibandingkan dengan cahaya kasat mata, sehingga efisien dalam membunuh bakteri dan mencegah mikroorganisme untuk berkembangbiak serta mencemarkan air. Pemanfaatan sinar UV yang digemari nyamuk, serta teknologi motor penggerak kipas yang mampu menarik nyamuk masuk ke dalam perangkap.

Dengan teknologi ini, nyamuk akan dimusnahkan dengan menggunakan udara panas yang dihasilkan. Alat ini mempunyai kemampuan menarik nyamuk sampai empat kali lebih banyak dan kuat dibandingkan dengan perangkap serangga tradisional.

Kombinasi UV dan penambahan teknologi LED (Gambar 1.11) memberikan keunggulan (i) efisiensi energi yang lebih tinggi; (ii) masa pakai baterai lebih lama; (iii) biaya yang lebih rendah per unit waktu perangkap; (iv) opsi untuk panjang gelombang tertentu yang menargetkan spesies *arthropoda* yang berbeda; dan (v) efisiensi perangkap yang lebih besar. Warna LED yang bermacam-macam diteliti untuk dapat menentukan warna yang efektif menangkap nyamuk. Lampu LED yang memancarkan cahaya biru (470 nm) atau hijau (520 nm) secara konsisten menangkap sejumlah besar nyamuk *Anopheles*. Keunggulan LED warna hijau dibanding lampu pijar lain ternyata dapat menangkap spesies lalat juga, namun kelemahannya adalah ada senyawa produk hasil fotokimia yang CO₂ yang terjadi sepanjang lampu tersebut menyala. Jumlah CO₂ yang dihasilkan belum dikonfirmasi apakah cukup banyak dan berbahaya. Keunggulannya adalah hampir 90% nyamuk betina berhasil dijebak.

Ada modifikasi yang dilakukan dalam penelitian yaitu dengan menggunakan cahaya/sinar yaitu dengan menjebak nyamuk dengan sistem optik dengan efisiensi tinggi dan silau rendah yang aman bagi manusia. Sistem dilengkapi dengan dioda pemancar cahaya ultraviolet (UV-LED), optik dengan bentuk bebas reflektor, dan proses fotokatalis. Reflektor dapat menyebabkan cahaya ke bawah untuk melindungi mata pengguna dan memperluas jangkauan perangkap nyamuk pada 225 µm². Hasil menunjukkan bahwa nyamuk yang tertangkap meningkat sekitar 450% melalui sistem yang diusulkan dibandingkan dengan perangkap konvensional. Selain itu, sistem yang diusulkan terbukti 45% lebih ditingkatkan dalam menjebak kemampuan setelah lapisan fotokatalis (*titanium* dioksida) diterapkan pada reflektornya.



Gambar 1. 11 Perangkat dan pembasmi nyamuk berteknologi UV LED

<https://www.aliexpress.com/item/4000405455609.html>

1.14.5 Kumpanan

Bahan aktif utama dari kumpanan nyamuk adalah *Pyrethrins*, terhitung sekitar 0,3-0,4% dari massa kumpanan. Ketika koil nyamuk dibakar, pestisida menguap dengan asap yang kemudian dapat mencegah nyamuk memasuki ruangan. Namun, banyak orang yang tidak suka bau kumpanan nyamuk ketika mereka dibakar karena orang merasa bahwa kumpanan itu berbahaya bagi kesehatan. Jika manusia menghirup bahan kimia dari kumpanan menyebabkan sakit kepala, mual dan pusing dan infeksi saluran pernapasan dan sakit kepala. Modifikasi sudah dilakukan untuk memperbaiki bau dari kumpanan yaitu dengan ditambahkan wangi bunga-bunga, contohnya dengan bau bunga lavender pada Gambar 1.12.

Bahaya obat nyamuk bakar dapat disebabkan oleh asap kumpanan yang menghasilkan polutan. Bahkan, polutan dari asap obat nyamuk bakar ini dapat lebih berbahaya dibandingkan asap kendaraan bermotor. Cara mengatasinya,

biasakanlah mengganti seprei dan sarung bantal serta guling maksimal sebulan sekali.



Gambar 1. 12 Kumpulan obat nyamuk bentuk spiral aroma lavender

1.14.6 Antinyamuk cair elektrik

Likuidator dikenal sebagai obat nyamuk yang efisien. Saat ini, *likuidator* pengusir nyamuk juga banyak digunakan di seluruh dunia. *Likuidator* antinyamuk mengandung wangi walaupun tidak menghasilkan asap atau uap yang dihasilkan dari antinyamuk elektrik (Gambar 1.13) terbukti mengandung bahan aktif *d-allethrin*. Senyawa inilah yang dikhawatirkan sebagai pemicu beberapa macam gangguan pernapasan, seperti batuk-batuk dan asma. Pada dasarnya, *d-allethrin* merupakan bahan organik yang digunakan sebagai katalisator proses pembakaran bahan insektisida lainnya, seperti *dichlorovynil dimethyl phosfat* (DDVP), *propoxur* (karbamat), dan *diethyltoluamide*. Residu dari pembakaran dari zat-zat ini dapat menempel di kulit. Jika penggunaannya berlarut-larut, maka hal ini dapat memicu timbulnya iritasi dan ruam kemerahan pada kulit.



Gambar 1. 13 Antinyamuk sintetis fasa cair diuapkendengan listrik

<https://www.kompasiana.com/newgodokindonesia/59a7c1303953c01eb30448c4/amankah-menggunakan-obat-nyamuk-elektrik?page=all>

1.14.7 Krim atau losion sebagai antinyamuk

Antinyamuk bentuk krim dioleskan langsung ke kulit dan digosok untuk menciptakan penghalang antinyamuk. Losion obat nyamuk menyebabkan kulit kering dan iritasi. Pada antinyamuk ini terdapat kandungan bahan aktif DEET, *permethrin*, dan *picaridin* yang biasa terdapat pada obat pembasmi serangga. Jika antinyamuk ini terlalu sering dipakai maka dalam waktu yang lama dimungkinkan timbul alergi dan iritasi. Bahkan, dapat menimbulkan kanker kulit. Oleh karena itu, diperlukan kehati-hatian dalam menggunakannya. Antinyamuk krim sebaiknya memiliki kadar DEET minimal. Sebaiknya obat nyamuk dipakai

atau dioleskan sebelum tidur, saat terbangun biasakan untuk membilas bagian-bagian tubuh yang diolesi.

Di Indonesia, losion antinyamuk yang beredar mengandung DEET 10-15% dan diklaim pada kemasan dapat bertahan selama 6-8 jam. Suatu losion antinyamuk dapat dikatakan efektif apabila daya proteksinya paling sedikit 90% dan mempunyai kemampuan bertahan selama 6 jam.

Kulit yang sudah diolesi losion antinyamuk terkadang akan terasa pahit. Selain zat aktif berbahan kimia, sebenarnya ada aneka tanaman yang dapat untuk mengusir nyamuk seperti *citronella* (serai), aras (cedar), lavender, dan jeruk. Tanaman tersebut memiliki bau khas yang tidak disukai oleh nyamuk sehingga bisa dijadikan pengganti bahan kimia. Jika memungkinkan, dapat dipilih losion yang mengandung bahan alami paling banyak dan sedikit menggunakan bahan kimia aktif.

Produk antinyamuk yang cara pemakaiannya dioleskan pada kulit harus diperhatikan kualitasnya dan benar-benar baik. Jangan hanya terpaku pada harga murah sehingga melalaikan segi keamanan dan kenyamanan. Oleh karena itu, pilihlah produk yang nyaman dan tidak membuat kulit menjadi kering. Sebaiknya losion antinyamuk mudah menyerap di kulit dan tidak lengket. Akan lebih bagus lagi jika mengandung bahan yang dapat menjaga kelembapan dan kelembutan kulit. Pastikan juga produk yang digunakan tidak menyebabkan iritasi. Perhatikan petunjuk dalam kemasan. Produk krim dan losion antinyamuk untuk anak-anak maupun dewasa sangat berbeda pemakaiannya dan hati-hati jika digunakan untuk bayi seperti pada Gambar 1.14.

Formulasi produk anti serangga yang digunakan untuk mencegah gigitan serangga dipasaran saat ini adalah bentuk minyak, krim, dan losion. Losion dengan keunggulan minyak serai lebih efektif untuk jenis nyamuk *Culex* sp. dibandingkan dengan *Aedes* sp. Namun demikian, potensi losion minyak serai lebih lemah dari DEET 12,5%. Produk serai wangi dengan penambahan vanillin dapat memperpanjang waktu perlindungan dan cukup efektif dibandingkan produk DEET.



Gambar 1. 14 Lotion antinyamuk untuk bayi yang beredar di Indonesia

<https://www.selera.id/lotion-anti-nyamuk-untuk-bayi-terbaik/>

1.14.8 Diffuser Anti serangga

Cara membakar wewangian sintetis sebagai *diffuser* disajikan pada ini dapat berpotensi berbahaya dalam pernafasan dan mengiritasi kulit. Ada banyak cara untuk menggunakan minyak atsiri untuk anti serangga. Di dalam ruangan, *diffuser* akan mengisi udara dengan aroma Gambar 1.15. Beberapa tetes minyak atsiri dalam mangkuk air panas, atau penghangat minyak.

Penggunaan *diffuser* dipilih dan bukan lilin dikarenakan lilin menimbulkan adanya api yang terbuka, berdampak bahaya bagi anak-anak, hewan, dan lingkungan. Selain itu, api terbuka dapat sangat berbahaya walaupun sudah menggunakan minyak atsiri. Ada alternatif lain yang lebih efektif daripada lilin serai? Pengganti lilin serai adalah menggunakan *diffuser* dan dapat digunakan untuk lingkungan di luar rumah jauh lebih aman daripada lilin.

Penentuan minyak atsiri yang efektif dapat dikomparasikan antara beberapa minyak atsiri, yaitu minyak *thyme*, *geraniol*, minyak *peppermint*, minyak cedar, lavender, nilam, dan cengkeh yang dinyalakan selama 60-180 menit. Namun, minyak atsiri ini hilang dengan cepat dan seringkali membutuhkan fiksatif (minyak yang lebih berat) untuk membantu mereka tetap efektif untuk periode waktu yang lebih lama. Penggunaan *diffuser* di luar. Ini memberikan kabut perlindungan yang bagus untuk area kecil. Kombinasi minyak nilam, cengkeh, dan serai merupakan salah satu pilihan tepat.



Gambar 1. 15 Nebula diffuser dari minyak atsiri sebagai antinyamuk dengan aromaterapi

<https://amoreparisusa.com/products/nebula-diffuser-100ml>

1.14.9 Pakaian antinyamuk

Bahan antinyamuk alami yang dimasukkan ke serat pakaian antinyamuk yang dirancang khusus dengan serat yang rapat. Pakaian ini berfungsi untuk mencegah gigitan nyamuk dan obat nyamuk alami dan tahan lama berada di pakaian.

Produk yang mengandung *Permethrin* (*Permanone*) direkomendasikan hanya untuk pakaian, sepatu, kelambu, dan peralatan berkemah, dan tidak boleh dikenakan di kulit. *Permethrin* memang membunuh nyamuk dan kutu sangat efektif. Anti pakaian yang sudah diberi *permethrin* dapat membunuh kutu, nyamuk, dan *arthropoda* lainnya. Kemampuan menolak tetap efektif bahkan setelah pencucian berulang. Pakaian yang dirawat dengan *permethrin* harus aman ketika petunjuk label diikuti. Produk *permethrin* tidak boleh dioleskan ke kulit. Produk *Permethrin* yang disemprotkan pada pakaian umumnya dapat diperkirakan hingga 6 jam setelah aplikasi.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan minyak atsiri dilakukan pada tiga jenis kain yaitu 100% katun, 100% polyester dan campuran (katun 48% dan poliester 52%), Sodium Alginate digunakan sebagai agen mikroenkapsulasi. Kain yang diolah dengan minyak kayu putih dan natrium alginat dengan metode mikroenkapsulasi dapat melindungi manusia dari gigitan nyamuk dan penyakit mematikan. Aman, ramah lingkungan, tidak beracun, tidak alergi pada kulit, dapat terurai secara hayati dan murah.

Dari kain-kain ini, pakaian jadi, tirai rumah, kelambu juga bisa dibuat.

1.14.10 Lilin antinyamuk Alami

Serangga penggigit yang diberikan oleh uap geraniol, linalool, dan lilin serai wangi (Gambar 1.16) di luar ruangan. Pada jarak 1,0 m dengan menggunakan parameter kontrol adalah paraffin (lilin). Uap lilin dari minyak atsiri tersebut digunakan untuk menolak dua jenis serangga yaitu nyamuk betina dan lalat pasir. Hasilnya disajikan pada Tabel 1.3. yang menunjukkan bahwa uap geraniol lebih disukai daripada linalool dan serai wangi untuk kedua serangga. Namun nyamuk lebih mudah terperangkap daripada lalat. Dengan meningkatkan jarak lilin dengan serangga menjadi 2 m dan 3 m, aktivitas tolakan menjadi turun secara signifikan.

Tabel 1. 3 Jumlah serangga yang menolak oleh lilin minyak atsiri pada jarak 1 m

Serangga	geraniol	linalool	Serai wangi (5%)
Nyamuk betina	81,5%	64,9%	35,4%
Lalat pasir	69,8%	48,5%	15,4%



Gambar 1. 16 Lilin paraffin aroma minyak serai wangi
<https://www.verywellhealth.com/citronella-what-you-should-know-about-it-88777>

1.14.11 Aerosol semprot sebagai anti dan pembunuh Nyamuk

Semprotan aerosol menggunakan sistem pengeluaran yang menciptakan kabut aerosol dari partikel cair. Bentuknya berupa kaleng atau botol berisi cairan di bawah tekanan yang dimaksudkan untuk dikirim ke target serangga (nyamuk). Cairan di bawah tekanan keluar sebagai kabut. Tekanan di dalam wadah tetap konstan karena muatan dikirim oleh cairan penguapan ke propelan gas. Di luar kaleng, tetesan propelan menguap dengan cepat, meninggalkan partikel halus atau tetesan yang dibutuhkan dalam hal ini insektisida mengambang di udara.

Insektisida aerosol lebih mudah digunakan dan juga bekerja lebih cepat karena tidak perlu menunggu serangga mendekat seperti cara pengiriman insektisida berumpun. Insektisida mengapung di sekitar seperti gas yang mengisi volume/ruang sehingga mencapai dan mendarat di segala hal termasuk serangga target, yang dapat bersembunyi di ruang yang sempit sekalipun. Insektisida aerosol tersedia dalam wadah yang dirancang untuk mencegah limbah. Beberapa insektisida aerosol datang dalam desain pengiriman dosis terukur, biasanya dalam kisaran 3.000 semprotan. Setiap semprotan diukur untuk menghasilkan jumlah insektisida yang tepat yang diperlukan untuk bekerja secara efektif. Aspek baik lainnya dari insektisida aerosol adalah jumlah yang digunakan sangat kecil dibandingkan dengan bentuk aplikasi insektisida lainnya. Ini karena insektisida berbentuk hampir seperti gas (kabut). Jumlah yang sangat rendah yang terlibat memastikan dosis mematikan bagi manusia sehingga sangat aman bagi manusia.

Salah satu tantangan yang paling umum dalam penggunaan insektisida aerosol adalah karena insektisida dikirim dalam campuran gas propelan dan kabut insektisida, kedua bentuk ini dengan mudah masuk ke sistem pernapasan, mata orang yang menggunakannya, di beberapa Contoh yang menyebabkan reaksi respon imunologi yang merugikan juga, bersin dll. Tantangan lain adalah bahwa efektivitas insektisida tergantung pada beberapa kondisi dan salah satu kondisi tersebut adalah dosis aplikasi. Dengan aerosol, sangat sulit untuk menentukan jumlah yang tepat

untuk disebarakan pada waktu tertentu karena jumlah ini sangat bergantung pada volume ruang tempat insektisida bekerja dan kerentanan organisme target. Semua ini berpengaruh pada kemanjuran insektisida. Kaleng aerosol terukur telah membantu mengatasi tantangan penentuan jumlah dosis pengiriman, dan kedua pembuatan insektisida aerosol dari campuran beberapa jenis insektisida termasuk sinergi dimaksudkan untuk mengatasi tantangan kerentanan.

Pengusir nyamuk bentuk aerosol dengan beberapa merek disajikan pada Gambar 1.17. (www.baygon.co.id) salah satunya adalah Merek Baygon untuk aerosol semprot (a) mempunyai komposisi bahan Aktif Sipermetrin 0.100%, Imiprotrin 0.031%, Praletrin 0.030%, Bahantambahan 99.839%. Baygon antinyamuk, lalat dan kecoa diformulasikan untuk membunuh serangga terbang dan merayap secara cepat dan efektif. Bahwa dengan sekali tekan (b) sudah mengandung zat aktif yang disebut transfluthrin sampai 25%. Transfluthrin sebagian besar merupakan piretroid sintesis yang berfungsi sebagai zat neurotoksin. Ini dapat bertindak sebagai radikal bebas dalam tubuh karena senyawa yang memiliki satu elektron bebas yang membuatnya reaktif. Pemaparan antinyamuk yang mengandung sekitar 20-25% transfluthrin pada mencit meningkatkan kerusakan sel paru menjadi 24%, pada hati menjadi 27%, pada darah menjadi 69%, dan ginjal hingga 55%.



(a)

(b)

Gambar 1. 17 Produk antinyamuk

(a) Aerosol semprot untuk membunuh Nyamuk (b) satu sentuhan yang mematikan

Referensi

- Abad, M.J., Ansuategui, M, Bermejo, P. (2007). Active antifungal substances from natural sources. *ARKIVOC* (vii), 116-145.
- Abdelgaleil, S.A., Mohamed, M.I., Badawy, M.E, El-Arami, S.A. (2009). Fumigant and contact toxicities of monoterpenes to *Sitophilus oryzae*(L.) and *Tribolium castaneum* (Herbst) and their inhibitory effects on acetylcholinesterase activity. *Journal of Chemical Ecology*. 35:518-525.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils-a review. *Food and Chemical Toxicology*. 46: 446-475.
- Batish, D.R, Singh, H.P., Setia, N., Kaur, S., Kohli, R.K. (2006). Chemical composition and phytotoxicity of volatile essential oils from intact and fallen leaves of *Eucalyptus citriodora*. *Z. Naturforsch. C.*, 61: 465-471
- Chaubey, M.K. (2007). Insecticidal activity of *Trachyspermum ammi* (Umbelliferae), *Anethum graveolens* (Umbelliferae), and *Nigella sativa* (Ranunculaceae) against stored-product beetle *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae). *African Journal of Agricultural Research*. 2:596-600.
- Chaubey, M.K. (2008). Fumigant toxicity of essential oils from some common spices against pulse beetle *Callosobruchus chinensis* (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Oleo Science*. 57:171-179.
- Chaubey, M.K. (2012). Responses of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) against essential oils and pure compounds. *HerbaPolonica*, 58 (3): 33-45.
- Don-Perdo, K.M. (1996). Investigation of single and joint fumigant insecticidal action of citrus peel oil components. *Journal of Pest Science*. 46:79-84.
- Dorman, H.J.D, Deans, S.G.. (2000). Antimicrobial agents from plants: anti-bacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*. 88: 308-316.
- Isman, M.B., Machial, C.M. (2006). Pesticides based on plant essential oils: from traditional practice to commercialization. In: Rai, M., Carpinella, M. C. (Eds.), *Naturally Occurring Bioactive Compounds. Advances in Phytomedicine*, 3, 29-44.

- Koshier, E.L., Sedy, K.A. (2001). Effect of plant volatiles on the feeding and oviposition of *Thrips tabaci*. In: Marullo, Kound, L. Eds. *Thrips and Tospoviruses*, CSIRO, Australia, 185-187.
- Kongkaew, C., Sakunrag, Chaiyakunapruk, N., and Tawatsin, A. (2011) Effectiveness of citronella preparations in preventing mosquito bites: systematic review of controlled laboratory experimental studies. *Tropical Medicine and International Health*. 16(7), 802-810.
- Langenheim, J.H.. (1994). Higher plant terpenoids: A phyto-centric overview of their ecological roles. *Journal of Chemical Ecology*. 20: 1223-1280.
- Li H, Madden J.L., Potts B.M. (1996). Variation in volatile leaf oils of the Tasmanian *Eucalyptus* species II. Subgenus *Symphomyrtus*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 24: 547-569.
- Misni, N., Nor, Z.M. & Ahmad, R (2017) Repellent effect of microencapsulated essential oil in lotion formulation against mosquito bites. *Journal of Vector Borne Diseases*, 54, 44-53.
- Muller, G.C. Junnila, A., Kravchenko, V.D., Revay, E.E., Butler, J., Orlova, O.B., Weiss, R.W., and Schlein, Y. (2008) *Journal of the American Mosquito Control Association*, 24(1),154-160.
- Mwanga, E.P., Ngowo, H.S., Mapua, S.A., Mmbando, A.S., Kaindoa, E.W., Kifungo, K. and Okumu, F.O (2019) Evaluation of an ultraviolet LED trap for catching *Anopheles* and *Culex* mosquitoes in south-eastern Tanzania, *Parasites Vectors*, 12:418, 1-12.
- Nerio, L.S, Olivero-Verbel, J, Stashenko, E. (2010). Repellent activity of essential oils: a review. *Bioresource Technology*. 101:372-378.
- Pawar, V.C, Thaker, V.S. (2006). In vitro efficacy of 75 essential oils against *Aspergillus niger*. *Mycoses*, 49: 316-323.
- Rice, P.J., Coats, J.R. (1994). Insecticidal properties of several monoterpenoids to the housefly (Diptera: Muscidae), red flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae) and southern corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Economic Entomology*. 87:1172-1179.
- Shaaya, E, Kostjukovski, M, Eilberg, J, Sukprakarn, C. (1997). Plant oils as fumigants and contact insecticides for the control of stored-product insects. *Journal of Stored Products Research*. 33:7-15.

- Singh, H.P., Batish, D.R, Kohli, R.K. (2003). Allelopathic interactions and allelochemicals: New possibilities for sustainable weed management. *Critical Reviews in Plant Sciences* 22: 239–311.
- Sithisut, D, Fields, P.G, Chandrapathya, A (2011). Contact toxicity, feeding reduction and repellency of essential oils from three plants from the ginger family (Zingiberaceae) and their major components against *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum*. *Journal of Stored Products Research*, 104:1445-54.
- Sithisut, D, Fields, P.G, Chandrapathya A. (2011). Contact toxicity, feeding reduction and repellency of essential oils from three plants from the ginger family (Zingiberaceae) and their major components against *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum*. *Journal of Stored Products Research*.104:1445-54.
- Theis, N., Lerda, M. (2003). The evolution of function in plant secondary metabolites. *Int. J. Plant Sci.*, 164 (3 Suppl.), S93–S102.
- Application and Assessment of Performance of Natural Mosquito Repellent on Fabric Prof. Ashwin Thakkar¹ Prof. Dharmendra Bihola² Ms. Nidhi Bokade
- Tholl, D.. (2006). Terpene synthases and the regulation, diversity and biological roles of terpene metabolism. *Current Opinion in Plant Biology*, 9: 297–304.
- Tjokropranoto, R., Rosnaeni, Setiawan, M., Cahyono, A.E. (2014). Comparative Repellency Duration Of Citronella Oil Lotion (*Cymbopogon nardus L.*) Between *Culex Sp.* With *Aedes Sp.* As Lymphatic Filariasis Vector. *Indonesian Journal of Pharmaceutic*. 25(1), 39–43.
- Tripath, A.K, Prajapati, V, Khanuja, S.P.S, Kumar, S. (2003) Effect of d-limonene on three stored-product beetles. *Journal of Economic Entomology*. 96:990-995.
- Tripathi, A.K, Upadhyay, S, Bhuiyan, M, Bhattacharya, P.R.. (2009). A review on prospects of essential oils as biopesticides in insect pest management. *Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy*. 1:52-63.
- Trivedi, A., Rai, P. and Kumar, J. (2018) Formulation of low smoke herbal mosquito repellent sticks by using different essential oils. *The Pharma Innovation Journal*, 7(4): 173-175

- Tseng, S.H., Juan, D. , Hsiao, W.C. , Yi Chian Chen , Cheng-Han Chan , Hsin-Yi Ma and Hsiao-Yi Lee, Crystals 2019. Bird-Wing Optical-Reflector Design with Photocatalyst for Low-Glare Mosquito Trapping System with Light-Emitting Diodes, Crystals 9, 139
- Utama, S.N. Perancangan Sistem Pengusir Nyamuk Menggunakan Sensor Ultrasonik dengan Panel Surya sebagai Sumber Energi. Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA) 2017, Iv-1 sd IV-6.
- Zygodlo, J.A, Grosso, N.R. (1995). Comparative study of the antifungal activity of essential oils from aromatic plants growing wild in the central region of Argentina. Flavour and Fragrance Journal. 10, 113-118.
- Naseem. S, Malik, M.F. and Munir, T. (2016) Mosquito management: A review. Journal of Entomology and Zoology Studies 2016; 4(5): 73-79.

BAB 2

BAHAN ALAM UNTUK ANTINYAMUK

Banyak produk nabati yang banyak digunakan untuk sifat Anti serangga yang mengendalikan nyamuk dan memberi perlindungan dari gigitan nyamuk. Peminatan terhadap produk nabati telah dihidupkan kembali karena pengembangan resistensi, resistansi silang, dan kemungkinan bahaya toksisitas yang terkait dengan insektisida sintetik. Fitokimia yang diperoleh dari keanekaragaman spesies tanaman yang besar merupakan sumber penting untuk bahan kimia yang aman dan dapat terbiodegradasi, yang dapat dimanfaatkan untuk mengusir nyamuk dan aktivitas insektisidanya dan diuji terhadap toksisitas mamalia. Sejumlah besar produk tanaman telah dilaporkan memiliki nyamuk larvisidal dan/atau menolak aktivitas terhadap nyamuk dewasa. Perlindungan terhadap gigitan nyamuk oleh tanaman serai, *peppermint*, lemon *Eucalyptus*, *Citronella* dan lemon *eucalyptus* menyediakan bahan aktif anti komersial yang dijual. *Pinus longifolia* umumnya dikenal sebagai *Pine*, menghasilkan minyak yang secara tradisional digunakan untuk perlindungan dari gigitan nyamuk. Ini juga digunakan sebagai obat herbal di beberapa daerah pedesaan di India. Selain itu, resin Pinus telah digunakan sebagai media pemasangan untuk pengawetan serangga.

Manusia mencoba mencari alternatif lain bahwa antinyamuk sintesis dapat digantikan dengan bahan alam yang cenderung ada di sekitar kita, mudah didapat, diproses dan mempunyai kemampuan untuk menghindari kulit yang terpapar dari gigitan nyamuk. Beberapa penelitian sudah dilakukan dan untuk yang cocok dengan daerah Indonesia disajikan dalam beberapa tanaman yang menunjukkan kekhasan bahan alam Indonesia.

2.1 Serai Wangi (*Cymbopogon nardus* L.)

Citronella adalah antinyamuk yang terkenal yang ada di tanaman Serai Wangi. Dalam dosis dengan perbandingan dosis, serai pada awalnya sama efektifnya dengan DEET. Namun mempunyai keterbatasan karena sifat minyak serai yang menguap dengan cepat. Hal ini berarti hanya minyak serai akan efektif untuk waktu yang singkat. Konsentrasi tinggi serai dapat menyebabkan iritasi kulit.

Penelitian telah menunjukkan bahwa aplikasi topikal 100% serai dapat memberikan perlindungan lengkap terhadap tiga jenis nyamuk hingga 120 menit dalam pengaturan laboratorium. Jika orang yang bepergian ke daerah di mana nyamuk membawa penyakit sebaiknya menggunakan Anti sintesis yang lebih efektif daripada serai. Aplikasi terhadap minyak serai wangi (Gambar 2.1) dapat didapat saat membeli lilin serai atau minyak atsiri.

Penelitian dengan sasaran nyamuk *Against culex* dengan menggunakan *citronella* memberikan waktu perlindungan 287 ± 45 menit dengan 5 kali pengulangan jika dibandingkan dengan DEET selama 731 ± 98 menit. Perlindungan terhadap nyamuk *Culex* lebih lama daripada *Aedes A.* dengan perlindungan hanya $40 \pm 7,9$ menit dibandingkan $195 \pm 14,5$ menit untuk DEET.



Gambar 2. 1 Minyak serai citronella
www.made-in-china.com/

2.2 Lemon eucalyptus (*Corymbia citriodora*)

Minyak atsiri lemon *eucalyptus* mengandung 85% citronelal. Minyak ini sudah populer di industri pembersih dan kosmetik karena aromanya yang segar. Temuan di lapangan dan laboratorium menunjukkan bahwa minyak lemon *eucalyptus* dapat secara efektif melindungi terhadap beberapa spesies nyamuk pembawa malaria serta nyamuk demam kuning. Sebuah studi mengenai formula yang mengandung sekitar kurang lebih 35% minyak lemon *eucalyptus* memberikan setidaknya 95% perlindungan dari nyamuk selama 3 jam. Namun, jika dibandingkan dengan DEET, waktu perlindungan yang dimiliki oleh minyak lemon *eucalyptus* (Gambar 2.2) lebih pendek daripada DEET karena ia menguap lebih cepat.

Beberapa Anti serangga yang berbeda di pasar nasional dengan menggunakan studi kelompok dengan 11 dari 12 Anti non-DEET memiliki waktu perlindungan rata-rata dari *Aedes aegypti* kurang dari 23 menit, sedangkan formula topikal DEET memberikan waktu perlindungan rata-rata mulai dari 88 menit (4,75% DEET) hingga 301 menit (23,8% DEET). Anti lemon *eucalyptus* memiliki waktu perlindungan rata-rata 120 menit, yang membuatnya paling efektif dari semua Anti non-DEET yang diuji dalam penelitian ini dan lebih efektif daripada produk DEET konsentrasi rendah (6,65% dan lebih rendah); Namun, konsentrasi lemon *eucalyptus* atau PMD tidak dinyatakan dalam penelitian ini.



Gambar 2. 2 Minyak atsiri lemon Eucalyptus
<https://www.health.com/home/oil-of-lemon-eucalyptus-extract-natural-mosquito-repellent>

2.3 Cengkeh (*Syzygium aromaticum*)

Beberapa orang sudah mengetahui tentang cengkeh dengan baik. Penggunaan cengkeh di samping kayu manis sering digunakan dalam bidang pangan yaitu dalam memanggang atau sebagai tambahan aromatik untuk minuman dengan lemon dan gula. Namun, cengkeh juga dapat membantu mencegah gigitan nyamuk yang mengganggu.

Sebuah studi tahun 2013, para peneliti mencampurkan minyak atsiri cengkeh dengan minyak zaitun dan kelapa, yang kemudian dioleskan pada kulit. Campuran minyak cengkeh dapat memberikan perlindungan dari nyamuk kurang dari 131 jam. Penelitian lain menunjukkan bahwa komponen cengkeh yang disebut *metil eugenol* dapat menjadi beracun karsinogen, tetapi klaim ini memerlukan penelitian lebih lanjut. Hasil waktu perlindungan dan persentase menggigit minyak atsiri dalam minyak zaitun terhadap *Ae. aegypti* dan *Cx. quinquefasciatus* memiliki efisiensi terbaik masing-masing di mana waktu perlindungan masing-masing adalah $(76,50 \pm 3,00)$ dan $(165,00 \pm 103,92)$. Minyak cengkeh (Gambar 2.3) memiliki potensi tinggi untuk mengendalikan dua spesies nyamuk vektor. Oleh karena itu, kontribusi ini dapat pengurangan aplikasi bahan kimia pada antinyamuk, yang pada gilirannya meningkatkan peluang produk alami untuk mengendalikan penyakit yang ditularkan melalui vektor.



Gambar 2. 3 Minyak cengkeh dari bunga cengkeh
<https://uncategory.com/clove-oil/>

2.4 Peppermint (*Mentha piperita*)

Minyak *peppermint* dapat ditemukan dalam berbagai bentuk. Beberapa contoh termasuk minyak atsiri, bentuk yang sangat pekat yang dapat digunakan untuk aromaterapi atau diencerkan dan diterapkan pada kulit. Minyak *peppermint* (Gambar 2.4) yang lebih encer yang dapat digunakan untuk menambah rasa peppermint pada makanan. Kandungan mentolnya dapat menginduksi sensasi dingin. Mentol juga dikenal untuk membantu meredakan sakit kepala, tegang dan nyeri otot.

Menggunakan peppermint bisa menjadi cara alami lain untuk mengusir nyamuk. Para penulis menyimpulkan bahwa minyak atsiri *peppermint* konsentrasi tinggi cukup efektif, tetapi mereka tidak dapat menemukan penelitian tentang konsentrasi yang lebih rendah. Satu studi yang diterbitkan dalam *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* menemukan bahwa mengoleskan minyak *peppermint* hanya pada satu lengan peserta, melindungi kedua lengannya dari gigitan nyamuk hingga 150 menit. Beberapa orang bahkan mengklaim bahwa minyak *peppermint* juga membantu mengusir hama non-serangga seperti laba-laba dan tikus. Efek *repellency* tertinggi diidentifikasi dari ekstrak *Ligusticum sinense*, diikuti oleh serai, pinus, *Dalbergia sissoo*, *peppermint* dan minyak *Rhizophora mucronata* dengan waktu perlindungan lengkap mulai dari 9,1 hingga 11,5 jam, karena tidak ditemukan bahwa minyak *peppermint* digunakan murni dalam antinyamuk.



Gambar 2. 4 Minyak peppermint sebagai campuran antinyamuk
<https://www.lorannoils.com/peppermint-oil-natural-bug-repellent-r0292>

2.5 Kemangi (*Ocimum citriodorum*)

Kemangi adalah sejenis tanaman perdu dengan ciri khasnya pada aroma daunnya. Aroma wangi ini cukup menyengat saat daun dipatahkan. Meskipun wangi, namun daun ini memiliki rasa yang agak pahit. Tapi jangan salah, manfaat daun kemangi untuk kesehatan dan kecantikan sangat luar biasa. Kandungan sitral maupun minyak atsiri dalam daun kemangi ini cukup tinggi.

Beberapa studi mengujian ekstrak daun kemangi sebagai antinyamuk dibuktikan dalam studi lapangan ditemukan bahwa hanya tanaman pot kemangi yang memberikan perlindungan hampir 40% terhadap jenis nyamuk yang dapat membawa malaria. Penelitian laboratorium, juga mengindikasikan bahwa minyak atsiri kemangi (Gambar 2.5) memberikan perlindungan 100% selama lebih dari 6 jam terhadap nyamuk.

Aroma yang khas dari antinyamuk dari minyak kemangi maka pembuatan sebagai *lotion* dianggap lebih praktis, mudah aplikasinya, mudah dioleskan, mudah dituang. Keefektifan ini digunakan untuk menguji minyak atsiri tersebut terhadap nyamuk *Aedes aegypti*. Kenaikan konsentrasi minyak kemangi (15%V/V, 25%V/V, 35%V/V dalam etanol 95%) mempengaruhi aktivitas Antian yang berbeda bermakna dengan waktu perlindungan berturut-turut adalah 3522, 4611, dan 5435 detik artinya ada peningkatan terhadap perlindungan manusia.



Gambar 2. 5 Minyak kemangi untuk antinyamuk
<https://canyonranchinstitute.org/basil-oil-uses/>

2.6 Mimba (*Azadirachta indica* A. Juss.)

Minyak mimba adalah pestisida alami yang ditemukan dalam biji dari pohon mimba. Warnanya kuning ke cokelat dan memiliki rasa pahit dan bau seperti bawang putih. Meskipun tidak terdengar sangat menarik, minyak biji mimba bisa sangat bermanfaat dengan menyediakan pestisida alami yang mengendalikan hama dan penyakit.

Dalam sebuah penelitian kecil pada 2015 pada enam sukarelawan pria, para peneliti menguji minyak mimba untuk membandingkan sifat-sifat antinyamuknya dengan sifat-sifat pengusir nyamuk DEET. Konsentrasi 20% minyak mimba memberikan perlindungan 70% selama 3 jam antara senja dan fajar. DEET menyediakan tingkat perlindungan yang serupa, tetapi berlangsung selama sekitar 8 jam.

Dalam studi lapangan yang berlangsung di Guinea-Bissau, antinyamuk minyak daun nimba (Gambar 2.6) memberikan 76% perlindungan terhadap nyamuk selama 2 jam. Perlindungan yang diperoleh dari minyak mimba dan minyak *chinaberry* hampir serupa (lebih dari 70%), namun, waktu perlindungan lengkap untuk mimba adalah 3 jam, sementara itu minyak *chinaberry* adalah satu jam.



Gambar 2. 6 Minyak mimba sebagai antiyamuk
<https://draxe.com/beauty/neem-oil/>

2.7 Pinus (*Pinus longifolia*)

Alpha-Terpinene memiliki aktivitas antinyamuk yang kuat dengan tingkat perlindungan 97% pada konsentrasi 0,05% pengobatan topikal. Selain itu, *carvacrol* dan *timol* menunjukkan tingkat *repellency* yang setara. Suatu larutan tipe semprot yang mengandung 2% *alfa-terpinene* diuji aktivitas Antinya terhadap *Cx. pipiens*. Larutan ini menunjukkan aktivitas pengusir yang lebih kuat daripada pengusir N, N-*dietil-m-metilbenzamida* (deet) yang saat ini digunakan.

Aktivitas Anti dari minyak pinus (Gambar 2.7) dan serai keduanya memberikan perlindungan 100% selama 11 jam terhadap *An. culicifacies*. Hal yang berbeda pada *Cx. Quinquefasciatus*, waktu perlindungan yang diberikan minyak pinus adalah 97,4% dan minyak serai memberikan perlindungan 98,5% dengan waktu perlindungan rata-rata sama yaitu 9 jam.



Gambar 2. 7 Minyak pinus untuk antinyamuk
<https://articles.mercola.com/herbal-oils/pine-oil.aspx>

Referensi

- Abiy, E., Gebre-Michael, T., Balkew, M. and Medhin, G. (2015) Repellent efficacy of DEET, MyggA, neem (*Azadirachta indica*) oil and chinaberry (*Melia azedarach*) oil against *Anopheles arabiensis*, the principal malaria vector in Ethiopia. *Malaria Journal*. 14, 187.
- Ansari M.A., Mittal P.K, Razdan R.K. & Sreehari U. (2005), Larvicidal and mosquito repellent activities of Pine (*Pinus longifolia*, Family: Pinaceae) oil. *Journal of Vector Borne Diseases*. 42, 95–99.
- Asadollahi, A., Khoobdel, M., Zahraei-Ramazani, A., Azarmi, S., and Mosawi. S.H. (2019) Effectiveness of plant-based repellents against different *Anopheles* species: a systematic review. *Malaria Journal*, 18: 436.
- Christina M. Bell & Alton S. Rarestad (1987) Efficacy of pine oil as repellent to wildlife. *Journal of Chemical Ecology*. 13. 1409–1417.
- Fradin, M.S., dan Day, J.F. (2002) Comparative efficacy of insect repellents against mosquito bites. *The New England Journal of Medicine*, 347:13-18.
- Murrukmiyadi, M., dan Fajarini, D.A. (2015). Repellent Activity Test of Essential Oil of Basil Leaves (*Ocimum basilicum* (L.) f. *citratum back*) Against *Aedes aegypti* Lotion and Physical Characteristics Tests of The Lotion. *Traditional medicine journal* 20(2), 91-97.
- Sritabutra, D., and Soonwera, M. (2013) Repellent activity of herbal essential oils against *Aedes aegypti* (Linn.) and *Culex quinquefasciatus* (Say.). *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 3(4): 271–276.
- Tjahjani, S. Efficacy of Several Essential Oils as *Culex* and *Aedes* Repellents . *Proceeding ASEAN Congress of Tropical Medicine and Parasitology 2008*;3:33-7.

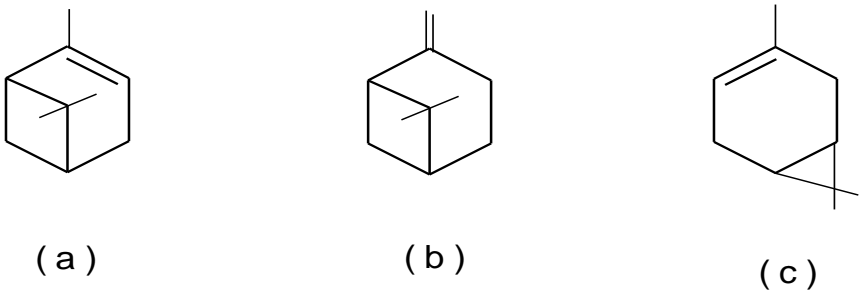
BAB 3

POTENSI MINYAK PINUS

3.1 Minyak pinus

Minyak pinus atau minyak terpentin merupakan cairan yang berwarna (jernih) dan berbau khas (Wijayati *et al*, 2013). Minyak terpentin sering disebut dengan *spirit of turpentin*, berupa cairan yang tidak mudah menguap, berasal dari penyulingan getah jenis pohon yang tergolong dalam getah pinus. Pohon pinus (famili *Pinaceae*) yang dibudidayakan di Indonesia sebagian besar adalah jenis pinus *merkusii Jungh et de Vr*. Pohon ini merupakan tumbuhan asli Indonesia, dan tumbuh di daerah Aceh, Sumatera Utara dan Pulau Jawa (Sastrohamidjojo, 2002).

Kandungan utama dari minyak terpentin mentah adalah monoterpen hidrokarbon seperti (a) α -pinena, (b) β -pinena dan (c) 3-karena. Komponen penyusun minyak terpentin ditunjukkan pada Gambar 3.1. dan sifatnya disajikan pada Tabel 3.1.



Gambar 3. 1 Komponen penyusun minyak terpentin
(a) α -pinena, (b) β -pinena dan (c) 3-karena.

Tabel 3. 1 Sifat minyak terpentin

Sifat	Nilai
Berat jenis pada 25 °C	: 0,848 – 0,865 g/cm ³
Indeks bias pada 20 °C	: 1,464 – 1,478
Putaran optik	: + 30° ± 34°
Kelarutan	: tidak larut dalam air

Semula minyak terpentin hanya digunakan sebagai pelarut cat sehingga harganya rendah, ternyata dari terpentin ini bila diproses lebih lanjut bisa menghasilkan komponen alpha pinena dan beta pinena yang bernilai ekonomis tinggi dan menjadi bahan baku industri parfum, kapur barus dan desinfektan.

Minyak terpentin dapat digunakan dalam berbagai macam bidang industri, seperti :

- Kegunaan paling penting minyak terpentin, sebagai bahan baku industri kimia dan farmasi seperti sintesis kamfer, terpineol, dan terpenil asetat.
- Minyak terpentin digunakan sebagai minyak dalam industri cat dan pernis.
- Kegunaan lain, yaitu dalam industri perekat dan pelarut lilin.

3.2 Alfa Pinena

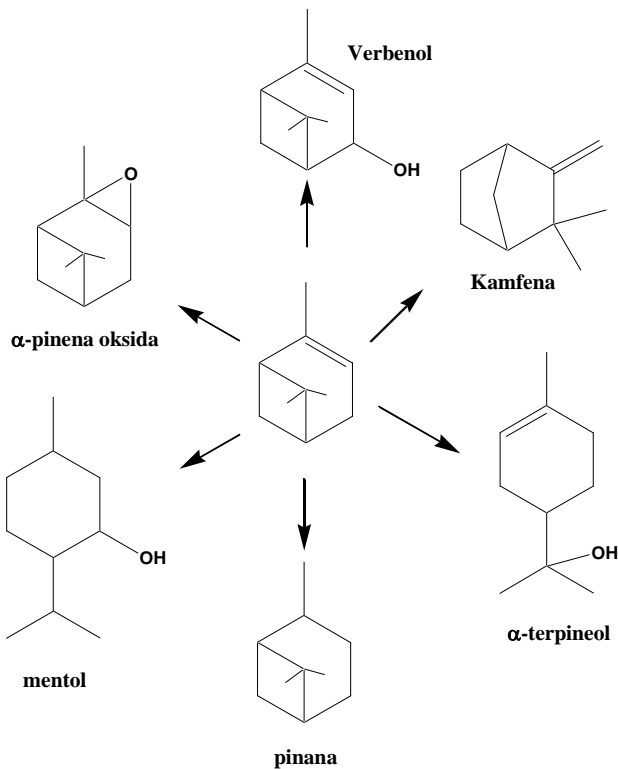
Rumus Molekul C₁₀H₁₆ dengan nama lain (1S)-(-)-alfa-Pinena. Hasil penentuan sifat fisik sampel α -pinena hasil isolasi dengan distilasi fraksinasi vakum pada suhu kamar datanya disajikan pada Tabel 3.2

Tabel 3. 2 Sifat fisik α -Pinena hasil isolasi minyak terpentin

Jenis	Sifat
Wujud	Cairan
Warna	Jernih kekuningan
Indek bias (20°C)	1,4652
Berat jenis	0,860 g/cm ³

Alfa-Pinena merupakan senyawa monoterpena bisiklis yang merupakan cincin beranggota empat. Adanya gugus metil sebagai gugus pendorong elektron dan cincin beranggota empat pada α -pinena ini menyebabkan ikatan rangkap dua karbon-karbonnya (gugus alkena) mudah diadisi oleh reagen elektrofilik. Sifat inilah yang menyebabkan α -pinena dimungkinkan sangat reaktif dengan oksidator.

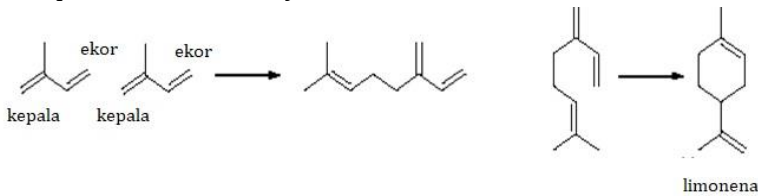
α -Pinena merupakan suatu senyawa yang digunakan untuk sintesis senyawa parfum, resin, obat atau lainnya. Kegunaan lain dari α -Pinena adalah sebagai bahan dasar sintesis mentol (Nicolau and Sorensen, 1996); pinana (Tan and Lin, 2000); verbenol (Lindmark, 2003), kamfena (Severino, 1993), α -pinena oksida (Neuenschwander U., 2010), dan α -terpineol (Avila *et al.*, 2010). Transformasi α -pinena menjadi senyawa turunannya disajikan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Produk dari bahan dasar pinena

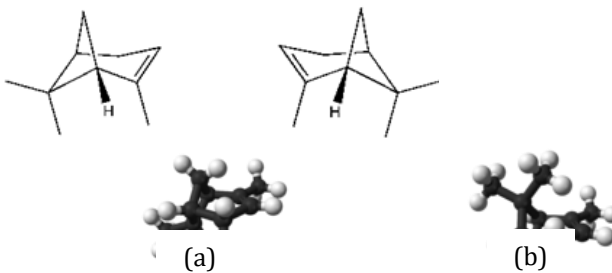
3.3 Terpena

Nama-nama yang biasa digunakan adalah terpena (hidrokarbon dan terpenoid (terpena teroksigenasi). Komponen *isoprenoid* banyak terdapat dalam metabolit sekunder yaitu senyawa yang dihasilkan dari tumbuhan dan mikroba, yang tidak esensial untuk pertumbuhan mikroorganisme. Linmark (2003) menyatakan bahwa unit terkecil dari terpena adalah isoprena (2-metilbutadiena) antar unit isoprena dapat bergabung antara kepala dan ekor membentuk monoterpena, seskuiterpena, diterpena dan seterusnya Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Kopling kepala dan ekor dari dua unit isoprena membentuk limonena

Struktur α -pinena disajikan pada Gambar 3.4 sebagai campuran rasemik (R)- dan (S)- α -pinena. Menurut data MSDS, pengukuran rotasi optik pada panjang gelombang 589 nm dan suhu 20°C, senyawa (R)-(+)- α -pinena adalah +42° sedangkan (S)(-)- α -pinena adalah -50,7°. Berdasarkan data tersebut dimungkinkan senyawa hasil isolasi dari minyak terpenin berupa campuran rasemik dominan berada dalam posisi (R)-(+)- α -pinena.



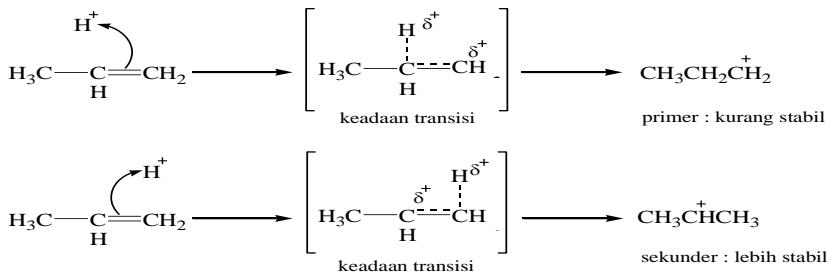
Gambar 3. 4 Struktur α -pinena

A: (R)-(+)- α -pinena dan B: (S)-(-)- α -pinena

3.4 Reaksi Hidrasi Senyawa α -Pinena

Senyawa alkena mengandung hidrogen lebih sedikit daripada senyawa alkana sehingga dapat menjalani reaksi adisi. Reaksi adisi pada alkena dapat berlangsung menurut aturan Markovnikov. Apabila suatu alkena asimetris diadisi oleh hidrogen halida, maka kemungkinan akan didapatkan dua produk yang berbeda dan dari dua produk tersebut, satu produk akan dihasilkan lebih melimpah dari produk yang lainnya.

Penalaran aturan Markovnikov berdasarkan pada urutan kestabilan karbokation yang urutan kestabilannya adalah tersier > sekunder > primer. Reaksi adisi suatu alkena asimetris akan berlangsung melewati karbokation yang lebih stabil. Hal ini disebabkan karena karbokation yang lebih stabil, mempunyai energi keadaan transisi yang lebih rendah dan laju pembentukan lebih cepat sehingga lebih mudah terbentuk dan lebih mudah bereaksi, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5 (Fessenden dan Fessenden, 1999).



Gambar 3. 5 Mekanisme kestabilan karbokation

Alfa-pinena mengandung ikatan rangkap dua karbon-karbon ($C=C$) dalam strukturnya merupakan senyawa dasar yang dapat diturunkan menjadi senyawa kimia lain atau yang sering disebut sebagai isomerisasi. Perubahan struktur molekul pada peristiwa isomerisasi dapat terjadi dengan berbagai cara, antara lain: pemindahan gugus alkil, pergeseran ikatan tunggal, dan

pergeseran ikatan rangkap. Reaksi isomerisasi dapat terjadi dengan bantuan suatu katalis tertentu.

Ernawati (2009) melakukan isomerisasi α -pinena menjadi senyawa turunannya dengan katalis asam sulfat dalam pelarut aseton, diklorometana. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah produk isomerisasi β -pinena, limonena, kamfena, terpinolena Δ -4-karena, isolimonena, dan α -terpinolena dengan kadar yang berbeda-beda pada tiap-tiap senyawa.

Hidrasi senyawa alkena dalam dunia sintesis organik telah banyak dilakukan. Zhang *et al.* (2002) telah melakukan hidrasi sikloheksena dengan katalis asam padat dan zeolit. Zeolit ZSM-5 dapat digunakan sebagai katalis pada reaksi hidrasi sikloheksena menjadi sikloheksanol dengan selektivitas lebih dari 99%. Zeolit ZSM-5 telah lebih dulu digunakan untuk hidrasi 1-butenena menjadi sec-butanol (Mahajani *et al.*, 2001).

Hidrasi alkena dengan menggunakan katalis asam merupakan metode yang sangat penting untuk sintesis alkohol, yang digunakan dalam industri farmasi dan *flavor*. Hidrasi α -pinena dengan katalis asam dapat membentuk campuran monoterpenoid (alkohol dan hidrokarbon). Alfa-terpineol, 4-terpineol dan terpineol hidrat merupakan senyawa hasil transformasi dari senyawa α -pinena (Avila *et al.*, 2010).

Alfa-pinena bereaksi dalam suasana asam dapat mengalami penataan ulang cincin membentuk senyawa hidrokarbon terpenik seperti bornana dan fenchona (kamfena, fenkena dan bornilena) atau dapat mengalami pembukaan cincin membentuk p-mentana (limonena, terpinolena dan α dan δ - terpinena). Jika reaksi hidrasi dengan katalis asam dilakukan dengan adanya air, maka alkohol yang terbentuk seperti α -terpineol dan borneol. Katalis asam yang dapat digunakan adalah asam sulfat, asam oksalat, asam kloroasetat dan asam fosfomolibdat. Asam yang larut dalam air dan pelarut organik dapat digunakan sebagai katalis pada reaksi hidrasi α -pinena dan air sebagai donor hidroksil untuk menghasilkan senyawa α -terpineol.

Sintesis α -terpineol melalui reaksi hidrasi α -pinena dengan adanya beberapa katalis telah dipelajari oleh beberapa peneliti.

Vital *et al.* (2001) menggunakan katalis asam padat seperti zeolit USY. Hasil reaksi hidrasi α -pinena menunjukkan konversi 100% dengan selektivitas α -terpineol antara 50-70% dengan waktu reaksi 150 jam. Robles-Dutenhefner *et al.* (2001) menggunakan asam fosfat (HPW12040) sebagai katalis dan mencampurkan asam asetat dan air untuk hidrasi α -pinena. Konversi 90% telah teramati dalam reaksi homogen ini, dengan selektivitas 30 % untuk α -terpineol. Roman-Aguirre *et al.* (2005) menggunakan asam kloroasetat untuk hidrasi α -pinena dan memperoleh α -terpineol dengan selektivitas 70% dengan konversi 80% setelah 4 jam. Mochida *et al.* (2007) menggunakan katalis zeolit FAU dengan Si/Al 30 memperoleh terpineol dengan selektivitas 42% pada konversi 100%. Tabel 3.3 menyajikan reaksi hidrasi yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti.

Alfa-pinena dengan adanya katalis asam, akan diserang oleh proton untuk membentuk karbokation, yang selanjutnya, dapat terjadi penataan ulang dan pembukaan cincin empat karbon. Semua karbokation dapat kehilangan proton dan semua hidrokarbon monosiklik dan bisiklik dengan adanya nukleofil akan menghasilkan alkohol monosiklik dan bisiklik seperti yang disajikan pada Gambar 3.6.

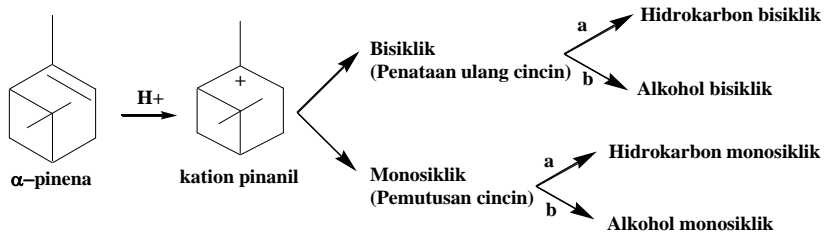
Banyak peneliti telah membuktikan bahwa alkena jika direaksikan dengan air menggunakan katalis asam, dapat membentuk alkohol. Zhang *et al.* (2002), melakukan reaksi hidrasi sikloheksena dengan katalis asam padat seperti resin penukar ion dan bermacam-macam zeolit. Zeolit ZSM-5 dengan $\text{SiO}_2/\text{AlO}_3$ (30-50) dapat menghasilkan sikloheksanol dengan selektivitas lebih dari 99% .

Roman-Aguirre *et al.* (2005), melakukan reaksi sintesis terpineol dari α -pinena dengan menggunakan katalis asam homogen seperti asam klorida, asam asetat, asam oksalat dan asam kloroasetat. Selektivitas terpineol adalah 70% dengan konversi 99%. Air digunakan sebagai donor hidroksil pada reaksi hidrasi α -pinena. Senyawa organoklorin tidak ditemukan pada produk jika menggunakan asam klorida sebagai katalis. Hal ini

menunjukkan bahwa intermediet karbokation terbentuk setelah protonasi alkena tidak mudah bereaksi dengan anion klorin.

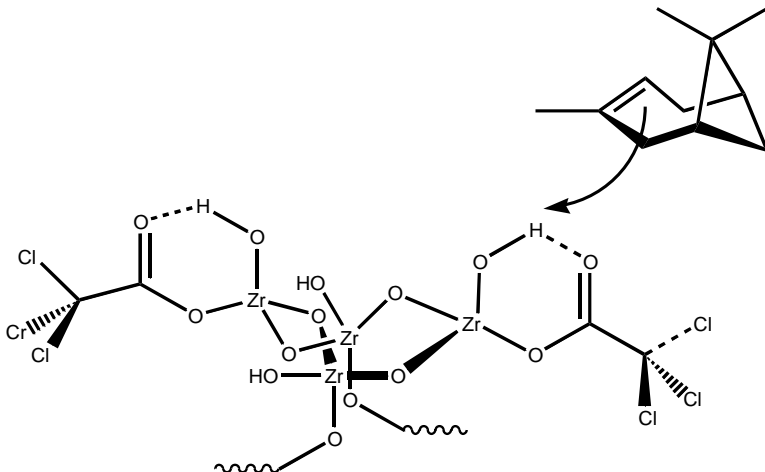
Tabel 3. 3 Reaksi hidrasi α -pinena berdasarkan literatur

Reagents	Konversi α -pinena (%)	Selektivitas terpineol (%)	Referensi
α -Pinena, zeolit beta, 1,3,5-tri-isopropilbenzena, aseton, N ₂ , 5 jam, 56°C	75	48	Van der Waal <i>et al.</i> , 1996
Minyak terpentin, Katalis faujasit dealuminasi	70	44	Arias <i>et al.</i> , 2000
α - Pinena/zeolit beta: 2,1, aseton/air=1:1, 50°C	50	58	Vital <i>et al.</i> , 2000
α - Pinena/zeolit USY: 2,1, aseton/air=1:1, 50°C	100	55	Vital <i>et al.</i> , 2001
α - Pinena, asam asetat, air, HPW ₁₂ O ₄₀ , 3 jam, 25°C	90	30	Robles- Dutenhefner <i>et al.</i> , 2001
Minyak pine sulfat, asam sulfat, aseton	-	67	Pakdel <i>et al.</i> , 2001
α -Pinena, HPMo-USY/PDMS), asam suksinat, aseton, 50°C, 100 jam	80	65	Castanheiro <i>et al.</i> , 2003
α -Pinena, HPMo /AcPVA, aseton:air=1:1, 50°C, 100 jam	95	65	Castanheiro <i>et al.</i> , 2005
α - Pinena, asam kloroasetat, air, 4 jam, 70°C	99	70	Roman-Aguirre <i>et al.</i> , 2005
α - Pinena, zeolit FAU Si/Al, 1,4 dioksan, 1,3,5-tri-isopropilbenzena, air, 4 jam, 70°C	100	42	Mochida <i>et al.</i> , 2007
α - Pinena, air, HPW ₁₂ O ₄₀ , HAc, 300 menit, 80°C	90	30	Avila <i>et al.</i> , 2008
α - Pinena, air, TCA/ZrO ₂ .nH ₂ O, isopropil alkohol, 300 menit, 80°C	57	57	Avila <i>et al.</i> , 2010



Gambar 3. 6 Reaksi hidrasi α -Pinena dengan katalis asam
Keterangan: a) tanpa air; b) dengan air

Avila *et al.* (2010) melakukan reaksi hidrasi dengan katalis asam padat. Katalis dibuat dengan impregnasi TCA dengan berbagai pengemban seperti silika, titania dan zirkonia (TCA/SiO_2 , TCA/TiO_2 dan $TCA/ZrO_2 \cdot nH_2O$). Katalis TCA/TiO_2 mengkonversi α -pinena menjadi hidrokarbon, sedangkan dengan katalis $TCA/ZrO_2 \cdot nH_2O$ dapat menghasilkan α -terpineol dengan selektivitas 57% dengan konversi 57%. Gambar 3.7 menunjukkan impregnasi TCA ke pengemban zirkonia dan penyerangan α -pinena dengan gugus hidroksil yang terhidrat oleh zirkonia.



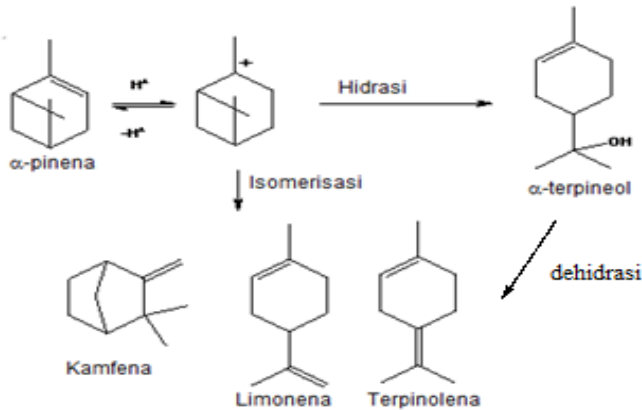
Gambar 3. 7 Model interaksi katalis $TCA/ZrO_2 \cdot nH_2O$ dengan α -pinena (Avila *et al.*, 2010)

Katalis homogen paling banyak digunakan karena lebih murah dibandingkan dengan katalis padat. Avila *et al.* (2008) menggunakan asam heteropoli, asam politungstat (HPW12040) sebagai katalis dan campuran asam asetat dan air sebagai pelarut untuk hidrasi limonena, β -pinena, α -pinena, memperoleh terpineol dengan selektivitas mendekati 30%, dengan konversi α -pinena 90% setelah reaksi berlangsung selama 3 jam pada 25°C. Pakdel *et al.* (2001) menggunakan asam sulfat sebagai katalis dengan adanya aseton untuk memperoleh terpineol dari minyak pine sulfat kotor. Hasil penelitian Pakdel menunjukkan 67% selektivitas ke terpineol meskipun konversi tidak dilaporkan. Roman-Aguirre *et al.* (2005), melakukan reaksi sintesis terpineol dari α -pinena dengan menggunakan katalis asam homogen seperti asam klorida, asam asetat, asam oksalat dan asam kloroasetat.

Reaksi hidrasi dengan asam klorida menghasilkan terpineol dengan selektivitas 9,9% (konversi 100%). Air digunakan sebagai donor hidroksil pada reaksi hidrasi. Senyawa organoklorin tidak ditemukan pada produk seperti pada kasus jika menggunakan asam klorida sebagai katalis. Hal ini menunjukkan bahwa intermediet karbokation terbentuk setelah protonasi alkena tidak mudah untuk bereaksi dengan anion klorin.

Pada penelitian ini, TCA merupakan katalis yang paling efektif untuk memproduksi alkohol dengan selektivitas terpineol (87,56%) dengan konversi 88,21% dibandingkan MCA dan SA. Reaksi hidrasi α -pinena dengan katalis asam kloroasetat telah dilakukan oleh Roman-Aguirre *et al.* (2005), menghasilkan α -terpineol dengan selektivitas 70%. Hasil yang lebih baik jika menggunakan katalis TCA karena keasaman yang kuat, kelarutan yang sempurna dan afinitas dengan fase cair dan organik selama reaksi. Hal ini menyebabkan kemudahan katalis ini dalam pembentukan proton untuk membentuk karbokation, dan membantu transfer OH- ke fase organik. Meskipun keasaman SA lebih kuat dari TCA, akan tetapi SA hanya larut dalam fase air dan tidak dapat larut dalam fase organik, sehingga reaksi hanya terjadi dalam fase air.

Alkena yang memiliki jumlah atom karbon lebih dari empat dapat mengalami transformasi tidak hanya menjadi alkohol tetapi juga menjadi isomer dari alkena tersebut jika alkena direaksikan dengan air dengan peranan katalis asam (Gambar 3.8). α -pinena bereaksi dalam suasana asam menghasilkan hidrokarbon terpenik dan dapat membentuk senyawa seperti bornana dan fenkone (kamfena, fenkone dan bornilena), atau dengan pembukaan keempat cincin karbon, membentuk p-mentana (limonena, terpinolena dan α - dan γ -terpinolena). Jika reaksi hidrasi berlangsung dengan adanya air dan katalis asam, produk α -terpineol akan terbentuk (Pakdel *et al.*, 2001; Robles *et al.*, 2001; Roman Aguirre, *et al.*, 2005; Avila *et al.*, 2008).



Gambar 3. 8 Skema reaksi hidrasi α -pinena dengan katalis asam

Hasil yang diperoleh dengan katalis TCA menarik untuk diaplikasikan ke industri, terutama karena tidak adanya senyawa klorin, pemisahan dan pemurnian katalis ini dari media reaksi lebih mudah jika dibandingkan dengan katalis SA. Pemisahan katalis SA dari produk reaksi cukup sulit dan menjadi masalah lingkungan (Roman Aguirre, *et al.*, 2005).

Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Van der Waal *et al.*, (1996). Reaksi hidrasi α -pinena menggunakan zeolit H-beta dilakukan dengan penambahan air dan tanpa air.

Reaksi tanpa menggunakan air sebagai reaktan, menghasilkan senyawa α -terpineol dengan selektivitas rendah yaitu sebesar 4,93% dengan konversi 75%, sedangkan reaksi dengan penambahan air memperoleh selektivitas terpineol yang lebih tinggi yaitu sebesar 42,76% dengan konversi (75%). Reaksi α -pinena dengan menggunakan katalis zeolit Y tanpa air dilakukan selama 16 jam, tidak menghasilkan senyawa terpineol (konversi <5%).

Aktivitas katalis akan bertambah dengan penambahan rasio Si/Al, sehingga katalis bersifat semakin hidrofobik. Situs asam yang kuat akan mengadsorpsi air dan molekul pelarut polar. Jika sifat hidrofob meningkat pada permukaan internal zeolit, maka afinitas ke molekul non polar α -pinena juga semakin meningkat (Mochida *et al.*, 2007). Jika Si/Al rendah, permukaan katalis semakin hidrofob maka adsorpsi air dan pelarut polar akan menjadi penghalang dari difusi α -pinena ke dalam sistem pori zeolit. α -pinena harus teradsorpsi pada situs asam, supaya reaksi terkatalis asam bisa terjadi dengan adanya air.

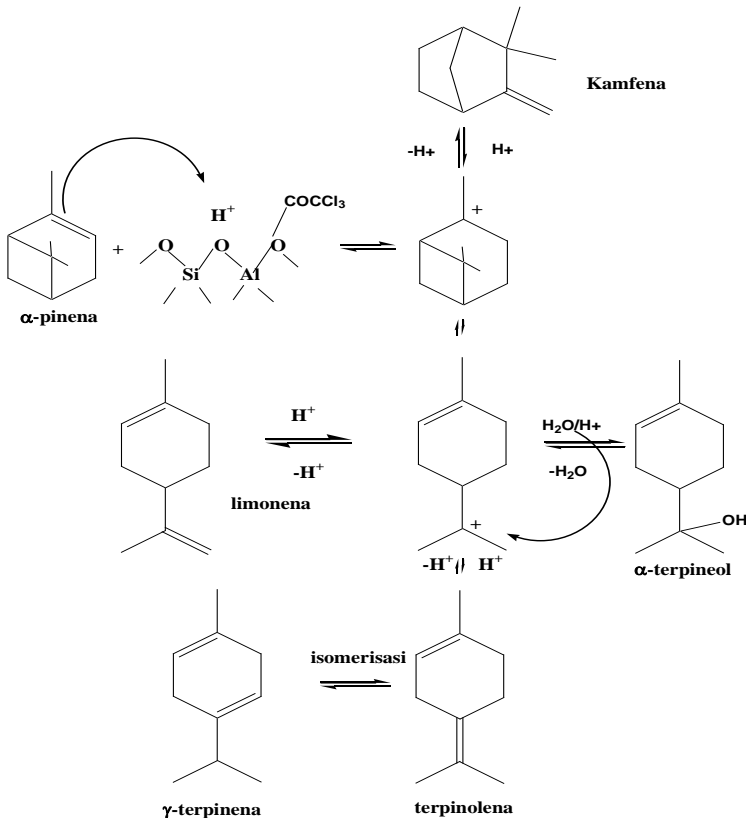
Mochida *et al.* (2007), melakukan reaksi hidrasi α -pinena dengan berbagai tipe zeolit (MFI, BEA, MOR dan FAU). Aktivitas katalitik meningkat dengan bertambahnya rasio molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, kecuali MFI. Aktivitas yang kecil dari MFI disebabkan ukuran mikropori dibandingkan dengan ukuran molekul α -pinena (diperkirakan 0,62 x 0,59 x 0,53 nm). Adanya air yang meruah pada situs asam, dimungkinkan akan menghalangi interaksi antara α -pinena dengan katalis, sehingga katalis dengan kandungan Al rendah, maka air bersaing dengan α -pinena untuk teradsorpsi pada situs asam.

Pengembangan TCA ke dalam ZHY bertujuan untuk meningkatkan aktivitas dari katalis. Berdasarkan hasil karakterisasi katalis dengan NH_3 -TPD dan Py-IR, pengembangan TCA pada katalis ZHY meningkatkan rasio Si/Al menyebabkan aktivitas katalis TCA/ZHY lebih besar dibandingkan dengan ZHY. Reaksi hidrasi α -pinena dengan katalis TCA/ZHY dapat dapat berlangsung pada temperatur kamar dengan selektivitas terpineol 40,96% dan tanpa menggunakan pelarut isopropil alkohol dengan

selektivitas terpineol 44,60%. Reaksi hidrasi dengan katalis ZHY tidak dapat berlangsung pada temperatur kamar dan tanpa menggunakan isopropil alkohol.

Avila *et al.* (2010) menggunakan katalis dengan impregnasi TCA pada beberapa pengemban seperti silika, titania dan zirkonia (TCA/SiO₂, TCA/TiO₂, and TCA/ZrO₂·nH₂O). Katalis TCA/TiO₂ mengkonversi α -pinena menjadi hidrokarbon yang lain, sedangkan katalis TCA/ZrO₂·nH₂O aktif dan selektif untuk menghasilkan alkohol, dengan konversi 57% dan selektivitas α -terpineol 57%.

Mekanisme reaksi katalitik terjadi pada inti aktif katalis ZHY dan TCA/ZHY yang berada di permukaan bagian dalam pori katalis. Mekanisme reaksi interaksi sintesis α -terpineol dari α -pinena dengan katalis TCA/ZHY disajikan pada Gambar 3.9



Gambar 3. 9 Mekanisme reaksi interaksi sintesis α -terpineol dari

α -pinena dengan katalis TCA/ZHY

Sebelum adanya interaksi antara α -pinena dengan inti aktif katalis, pergerakan α -pinena untuk mencapai inti aktif dalam pori tersebut mengalami tahapan difusi. Tahapan difusi yang terjadi adalah dimulai dari difusi eksternal ketika α -pinena mengalir mengenai butiran partikel katalis kemudian difusi internal yaitu ketika α -pinena menuju ke dalam pori. Tahapan difusi ini terjadi akibat adanya tumbukan molekul reaktan (*bulk diffusion*) atau tumbukan molekul reaktan dengan dinding pori (*Knudsen diffusion*). Setelah α -pinena berada di dalam pori, terjadi adsorpsi pada permukaan katalis untuk berikatan dengan inti aktif. Adsorpsi antara molekul reaktan dan inti aktif katalis hampir selalu berupa adsorpsi kimia (*chemisorption*). Katalis TCA/ZHY yang memiliki proton (H^+) di permukaan katalis, mengadsorpsi α -pinena dan menghasilkan ion karbonium (kation pinanil), selanjutnya bereaksi dengan air membentuk α -terpineol. Produk samping adalah senyawa hasil isomerisasi α -pinena, seperti limonena, kamfena, dan terpinolena. Setelah reaksi hidrasi terjadi, molekul produk dilepas dari permukaan katalis.

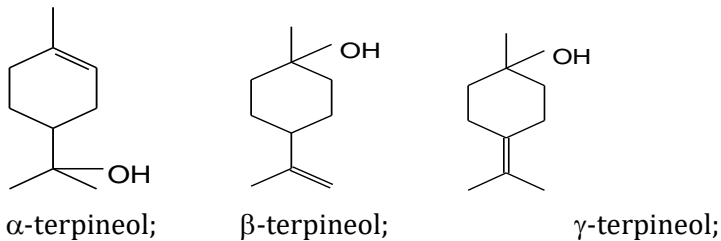
3.5 Terpeneol

Terpeneol merupakan senyawa alkohol yang volatil dari golongan terpenoid dengan toksisitas rendah. Terpeneol digunakan secara luas dalam industri parfum. Terpeneol adalah konstituen kimia penting minyak atsiri dari beberapa tanaman yang digunakan secara luas dalam pengobatan tradisional dan aromaterapi (Moreira, *et al.*, 2001).

Terpeneol di alam terdapat dalam tiga bentuk isomer seperti pada Gambar 3.10, yaitu α -terpeneol yaitu p-menth-1-en-8-ol, β -terpeneol yaitu p-menth-8-en-1-ol, dan γ -terpeneol yaitu p-menth-4 (8)-en-1-ol. p-menth-1-en-8-ol p-menth-8-en-1-ol p-menth-4 (8)-en-1-ol

Terpeneol adalah parfum sintesis pertama yang dibuat secara komersil. Baunya yang menyenangkan dan kestabilannya membuat terpeneol banyak dipergunakan. Terpeneol dapat dipergunakan dalam sabun, deterjen, dan berbagai formula

parfum. Senyawa terpineol ($C_{10}H_{18}O$) merupakan senyawa monoterpena monosiklis. Nama lain dari senyawa (+) α -terpineol adalah (R)-p-menth-1-en-8-ol; (R)-2-(4 metil-3-sikloheksenil) isopropanol; atau terpena alkohol. Sifat fisik dari (+) α -terpineol berwujud cair, warna jernih, bau lilac, berat jenis $20^{\circ}C$ 0,94 (g/cm^3), indeks bias $+ 84 \pm 10^{\circ}$ dan sedikit larut dalam air. Menurut Kirk-Othmer sifat terpineol dapat disajikan pada Tabel 3.4.



Gambar 3. 10 Struktur α -terpineol; β -terpineol; dan γ -terpineol (Kirk-Othmer,1974)

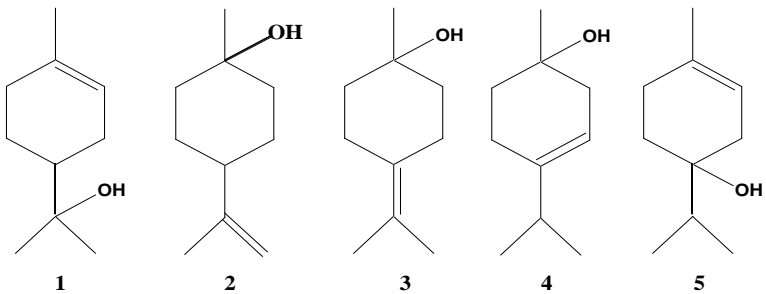
Tabel 3. 4 Sifat terpineol (Kirk-Othmer,1974)

Sifat fisik terpineol	Keterangan
Titik nyala	38 - $40^{\circ}C$
Titik didih pada 1 atm	214 - $224^{\circ}C$
Titik didih pada 25 mmHg	115 - $116^{\circ}C$
Berat jenis $20^{\circ}C$	0,936 - 0,941
Indeks bias $20^{\circ}C$	1,4825 - 1,4850
Kelarutan	Larut dalam alkohol dan
Warna	air
	Jernih

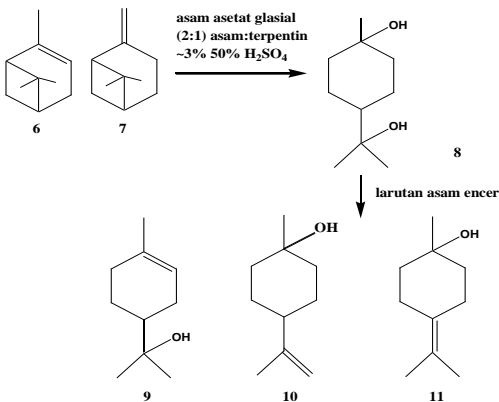
3.6 Sintesis terpineol

Terpineol yang ada biasanya merupakan campuran terpena alkohol (Gambar 3.11) dengan isomer α -terpineol (1) adalah senyawa yang dominan: β -terpineol (2), γ -terpineol (3), terpinen-1-ol (4), and terpinen-4-ol (5). Aroma tergantung dari komposisi relatif dari campuran isomer yang dapat diisolasi dari campuran.

Komposisi α -terpineol dan isomernya tergantung dari komponen terbesar pada sumber bahan alam. Aroma biasanya antara aroma *lilac* sampai aroma pine yang digunakan dalam bahan pembersih. Terpeneol dapat mempunyai karakter sitrus dan digunakan dalam minyak jeruk sampai 10 % berat destilat (Lindmark, 2003). Alfa terpeneol, ada dalam bentuk isomer (4R)(+) adalah yang berhubungan dengan bunga, dan (4S)(-), adalah bahan semacam ter. Alfa terpeneol telah diisolasi dari 150 minyak atsiri yang pada umumnya dalam jumlah kecil (kecuali minyak pine kuning, kandungannya sampai 70%).

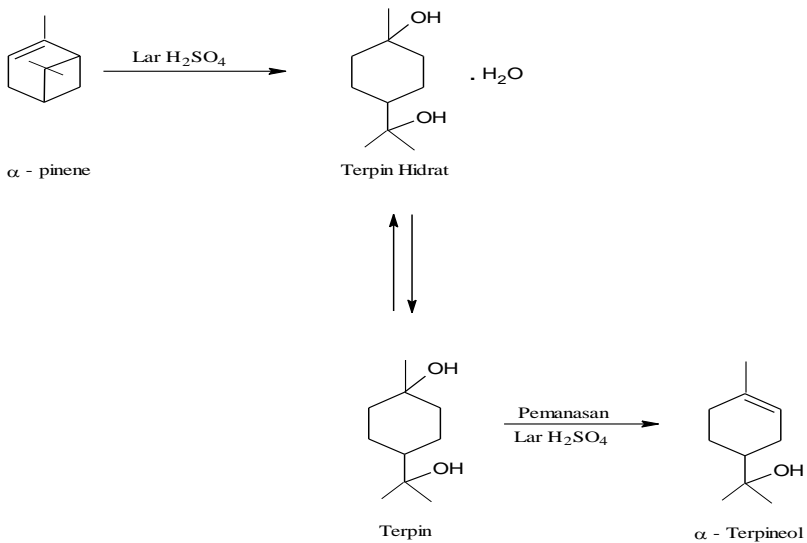


Gambar 3. 11 Struktur α -terpineol dan isomernya (Chibiryayev *et al.*, 2010)



Gambar 3. 12 Metode klasik untuk reaksi pembentukan terpeneol dari α -pinena

Sintesis terpeneol dimulai pada akhir abad 19. Pada waktu itu, campuran σ dan β -pinena yang diisolasi dari minyak terpenin dan kemudian ditransformasikan ke terpeneol melalui dua tahap reaksi (Gambar 3.12). Tahap yang pertama adalah reaksi dalam asam kuat dengan pemanasan suhu rendah menghasilkan 1,8 terpineol (8). Setelah isolasi diol, pada tahap kedua dehidrasi ke terpeneol dalam larutan asam. Produk murni α -terpeneol adalah kristal warna putih dengan titik leleh 35°C dan mendidih pada $218\text{-}219^{\circ}\text{C}$. Secara komersial, terpeneol adalah campuran isomer yang tidak berwarna dan berbentuk cairan. Campuran ini sedikit larut dalam air dan kelarutannya pada perbandingan 1:8 dalam 50% campuran alkohol (Ross, 2005; Santos and Morgado, 2005). Mekanisme reaksi pembentukan terpeneol dengan katalis asam sulfat disajikan pada Gambar 3.13



Gambar 3. 13 Reaksi pembentukan terpeneol dengan katalis asam sulfat (Marina, 2000).

Manfaat terpeneol ternyata tidak terbatas sebagai senyawa *flavor* dan *fragrance*, tetapi juga dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan senyawa lain. Terpeneol dapat digunakan untuk

mensintesis terpinil asetat (Liau and Liu, 2010), 1,8-sineol dan 1,4-sineol (Lana *et al.*, 2006).

Reaksi sintesis α -terpineol (48%) telah dilakukan oleh van der Waal *et al.* (1996), dengan menggunakan zeolit beta. Terpineol (44%) telah dihasilkan oleh Arias *et al.* (2000), melalui reaksi hidrasi minyak terpentin dengan menggunakan katalis faujasit dealuminasi. Pakdel *et al.* (2001), membuat terpineol dengan bahan dasar minyak pine sulfat dengan katalis asam sulfat dalam pelarut aseton. Terpineol (58%) dihasilkan dari reaksi α -pinena dengan katalis zeolit beta. Terpineol (55%) diperoleh dari reaksi hidrasi α -pinena dengan katalis Zeolit USY dalam pelarut aseton. Roman-Aguirre *et al.* (2005), melakukan hidrasi α -pinena dengan katalis kloroasetat menghasilkan senyawa terpineol dengan selektivitas 70%. Terpineol (65%) yang dihasilkan dari reaksi hidrasi α -pinena dengan HPMo-USY/PDMS dengan konversi 80%. Yadav *et al.* (2009) telah melakukan hidrasi α -pinena menjadi terpineol (65%) menggunakan zeolit-beta penukar ion. Avila *et al.* (2010) juga telah menghidrasi α -pinena menjadi terpineol (selektivitas 57%, konversi 57%) dengan katalis asam padat TCA/ZrO₂.nH₂O.

Sintesis terpineol dengan berbagai kondisi telah dipatenkan oleh beberapa peneliti. Robert (1922), telah membuat terpineol dari terpin hidrat dengan asam posfat dan sulfat. Pada proses ini selalu menghasilkan campuran senyawa terpineol dan terpinolena. Carlisle (1936), melakukan pemurnian dari terpineol kotor menjadi terpineol murni. Terpineol dibuat secara komersial dari minyak pine, terpentin atau minyak yang mengandung terpineol dengan asam sulfat encer sampai α -pinena atau alfa terpineol dihidrasi untuk membentuk kristal terpin hidrat. Larutan terpin hidrat kemudian didestilasi untuk menghasilkan terpineol. Donald (1936), memproduksi terpineol dari α -pinena dengan asam kuat atau asam format anhidrat dengan adanya katalis asam sulfat. Walter (1937), memproduksi terpineol dengan cara dehidrasi terpin hidrat. Joseph (1947), memproduksi terpena alkohol dari terpentin dengan asam sulfat, asam posfat, asam bensen sulfonat, asam toluena sulfonat, asam metil sulfurat atau

asam etil sulfurat sebagai katalis. Sereno (1950), membuat terpineol melalui dehidrasi parsial dari terpen hidrat dengan yield yang tinggi tanpa terbentuk terpena hidrokarbon. Richard (1959), membuat minyak pine sintetik atau alfa terpineol dari pinena tanpa mengisolasi intermediet terpen hidrat yang dihasilkan dalam proses pembuatan terpineol.

Alfa-pinena bereaksi dengan air dengan katalis asam dapat menghasilkan senyawa terpineol. Reaksi dilakukan dalam kelebihan air dengan α -pinena sebagai reagen pembatas. α -pinena hampir tidak larut dalam air pada kondisi reaksi, sehingga α -pinena membentuk fase organik yang terpisah dalam reaktor. Reaksi terjadi dengan adanya katalis heterogen yang dikelilingi oleh air. Dengan adanya hal tersebut, diperlukan pelarut isopropil alkohol untuk menurunkan tegangan permukaan dari kedua fase tersebut. Produk reaksi α -terpineol, merupakan senyawa non polar dan dapat diekstraksi dengan pelarut non polar.

Selektivitas α -terpineol yang dihasilkan melalui reaksi hidrasi α -pinena dengan menggunakan katalis homogen lebih tinggi dibandingkan jika menggunakan katalis heterogen. Hal ini disebabkan reaksi hidrasi dengan menggunakan katalis homogen, antara reaktan dan katalis berada dalam satu fase, sedangkan dengan menggunakan katalis heterogen berada dalam fase yang berbeda. Meskipun secara operasional katalis homogen lebih mudah dan menghasilkan produk dengan selektivitas tinggi, namun jarang digunakan dalam dunia industri. Katalis heterogen lebih ramah lingkungan dan dapat digunakan kembali sebagai katalis. Sintesis α -terpineol melalui reaksi hidrasi α -pinena dengan menggunakan katalis heterogen tergantung dari selektivitas ukuran dan bentuk katalis, yaitu selektivitas reaktan, selektivitas keadaan transisi dan selektivitas produk.

Pada tumbuhan, pinena menunjukkan aktivitas sebagai fungisida dan telah digunakan selama berabad-abad untuk menghasilkan rasa dan aroma. Beberapa kegiatan biologis yang terkait dengan pinene termasuk digunakan sebagai insektisida alami. Pinena dan terpena bisiklik dapat ditemukan dalam minyak esensial dari pohon konifer (pinus), rosemary, lavender. Senyawa

ini mungkin menunjukkan perbedaan toksisitas dan aktivitas biologis. α -pinene dan β -pinene adalah salah satu monoterpena yang paling banyak terdapat di kelompok tumbuhan dan merupakan konstituen utama dari berbagai minyak atsiri. Dimana, monoterpenes dapat mengganggu fungsi perilaku dasar serangga, beberapa toksisitas akut sedangkan yang lain adalah penolak, antifeedants, atau mengganggu pertumbuhan, perkembangan atau reproduksi, mengganggu fisiologis dan proses biokimia (Ibrahim, 2001).

Referensi

- Arias D, Guillen Y., Carmen M., Lopez and Francisco J.M. (2000), Turpentine oil hydration using dealuminated faujasite as catalysts, *Reaction Kinetics and Catalysis Letters*. 69(2), 305-309.
- Avila M.C., Nora A.C., Norberto H. F., Esther N.P., and Martha I.P. (2008) Hydration and acetylation of limonene supported heteropolyacids. *Journal of the Chilean Chemical Society* 53(1),1460-1462.
- Avila, M. C., Nora A. C., Castellon E. R., and Lopez A. J. (2010), Study of solid acid catalysis for the hydration of α -pinene. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 322(1-2),:106-112.
- Carlisle H., B., 1936, Process of Distilling Terpeneol, US Patent No 052,743.
- Castanheiro J.E., A.M. Ramos, I. Fonseca, and J. Vital (2003), The acid-catalysed reaction of α -pinene over molybdophosphoric acid immobilized in dense polymeric membranes, *Catalysis Today*, 82, 187-193.
- Castanheiro J.E., I.M. Foseseca, A.M. Ramos, R. Oliveira, and J.Vital, 2005, Hydration of α -pinene over molybdophosphoric acid immobilized in hydrophobically modified PVA membranes, *Catalysis Today*, 104, 296-304.
- Chibiryaev AM., Yermakova A., and Kozhevnikov IV. (2010) Chemical and phase equilibria calculation of α -pinene hydration in CO₂-expanded liquid, *Journal of Supercritical Fluids*, 51, 295-305.
- Donald H., 1936, Method for the production of terpeneol from pinene, US Patent No. 1,021.
- Ibrahim, M.A., Kainulainen, P., Aflatuni, A., Tiilikkala, K., and Holopainen, J.K. (2001). Insecticidal, repellent,

- antimicrobial activity and phytotoxicity of essential oils: with special reference to limonene and its suitability for control of insect pests. *Agricultural and Food Science* 10: 243-259
- Joseph N.B. (1947) Preparation of terpene alcohols, US Patent No. 553,674.
- Lana, E.J.L. Kelly A. da Silva R., Ivan V. Kozhevnikov, and Elena V. G. (2006) Synthesis of 1,8-cineole and 1,4-cineole by isomerization of α -terpineol catalyzed by heteropoly acid, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. 259,(1-2),99-102.
- Liauw, E. T. and Liu, K. J. (2010) Synthesis of terpinyl acetate by lipase catalyzed esterification in supercritical carbon dioxide. *Bioresource Technology*. 101,3320-3324.
- Lindmark, M.H. (2003) Biotransformation of Turpentine Constituents: Oxygenation and Esterification. Doctoral Thesis, Sweden: Sweden University.
- Mochida T., Ryuichiro O., Naoto H., Yuichi K., and Toshio O. (2007) Hydration of α -pinene over hydrophobic zeolites in 1,4-dioxane-water and in water. *Microporous and Mesoporous Materials*. 101,176-183.
- Moreira, M.R., Cruz, G.M.P., Lopes, M.S., Albuquerque, A.A.C. and Cardoso, J.H. L. (2001) Effects of terpineol on the compound action potential of the rat sciatic nerve. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 34,1337-1340.
- Neuenschwander U. (2010) Mechanism of the Aerobic Oxidation of α -Pinene (in German), *ChemSusChem* 3(1), 75-84.
- Nicolaou, K. C. and Sorenson E. J. (1996) *Menthol. Classics in Total Synthesis*, VCH Publishers: 343-379.
- Pakdel, H., Sharron, S., and Roy, C. (2001) α -Terpineol from Hydration of Crude Sulfate Turpentine Oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49(9), 4337-4341.
- Ramachandran, P. V. (2002) Pinane-based versatile "allyl boranes", *Aldrichim Acta*, 35(1), 23.
- Richard H, 1959 Production of alpha terpineol, US Patent No. 724,275.
- Robert M., 1922, Process for the preparation of terpineol, US Patent No. 429,249.
- Robles-Dutenhefner P.A., da Silva, K.A, Siddiqui, M.R.H, Kozhevnikov, I.V., Gusevkaya, E.V. (2001) Hydration and acetoxylation of monoterpenes catalyzed by heteropoly

- acid, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. 175 (1-2),33-42.
- Roman-Aguirre. M., De la Torre-Sáenz, Wilber A.F., Robau-Sánchez A., and Elguézabal A.A., 2005, Synthesis of terpineol from α -pinene by homogeneous acid catalysis. *Catalysis Today*, 107-108, 310-314.
- Ross R. W. (2005), *Physical Transformations for Greener Chemical Processes*, Thesis, Georgia Institute of Technology.
- Sereno G., 1950, Process for the preparation of terpineol, US Patent No. 760,119.
- Severino, A., and Vital J., (1993) Isomerization of α -pinene over titania: kinetics and catalyst optimization, *Studies in Surface Science and Catalysis*. 78, 685.
- van der Waal, J.C., van Bekkum H., and Vital J.M., (1996), The Hydration and isomerization of α -pinene over zeolite beta. A new coupling reaction between α -pinene and ketones, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. 105, 185-192.
- Vital J., A.M. Ramos, I.F., Silva, H. Valente., J.E., and Castanheiro, (2000), Hydration of α -pinene over zeolites and activated carbons dispersed in polymeric membranes. *Catalysis Today*, 56, 167-172.
- Vital J., A.M. Ramos, I.F., Silva, H. Valente., J.E., and Castanheiro, 2001, The effect of α -terpineol on the hydration of α -pinene over zeolites dispersed in polymeric membranes, *Catalysis Today*. 67, 217-223.
- Walter C.M., 1937, Manufacture of terpineol from terpin hydrate, US Patent No. 61,941.
- Wijayati, N.; Handayani, T.; Supartono. (2017) *Asian Journal of Chemistry*. 29, 1705-1708.
- Yadav, M. K. Patil, M. V. and Jasra, R. V. (2009) Acetoxylation and hydration of limonene and α -pinene using cation-exchanged zeolite beta. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. 297(2), 101-109.
- Zhang, H. S. Mahajani M., Sharma M.M., and Sridhar, T. (2002) Hydration of cyclohexene with solid acid catalysts, References and further reading may be available for this article. To view references and further reading you must purchase this article. *Chemical Engineering Science*. 57, 315-322.

Zheng Y, Li, X, and Dutta, P.K. (2012) Exploitation of Unique Properties of Zeolites in the Development of Gas Sensors, *Sensors*, 12, 5170-5194.

BAB 4

POTENSI MINYAK SERAI SEBAGAI ANTINYAMUK

Indonesia adalah negeri tropis yang kaya sumber daya alam. Kekayaannya yang menonjol itu telah dikenal dunia sejak lama. Selama berabad-abad, salah satu yang menarik dunia barat untuk datang adalah rempah-rempah. Sampai hari ini Indonesia masih memainkan peran penting dalam perdagangan rempah-rempah, termasuk minyak atsiri yang dihasilkannya beserta turunan-turunannya. Minyak atsiri dan turunan-turunannya adalah bagian utama dalam dunia flavour dan fragrance. Industri flavour dan fragrance adalah bidang industri yang cukup besar. Minyak serai wangi adalah salah satu minyak atsiri yang penting. Senyawa-senyawa penyusun minyak atsiri dan turunannya dipergunakan secara luas dalam industri farmasi dan makanan. Indonesia termasuk produsen terbesar minyak serai wangi dunia.

4.1 Minyak serai

Minyak serai wangi adalah minyak atsiri yang diperoleh dari penyulingan uap daun tanaman serai wangi. Secara botani, serai wangi merupakan tanaman *stolonifera*, terdiri dari dua tipe yang dapat dibedakan berdasarkan morfologis dan fisiologis. Kedua tipe tanaman serai wangi itu adalah: *Cymbopogon nardus Rendle, lenabatu (Andropogon nardus ceylon de Jong)* dan *Cymbopogon winterianus Jowitt, mahapengiri (Andropogon nardus Java de Jong)*. Mahapengiri dapat dikenal dari bentuk daunnya yang biasanya lebih pendek dan lebih lebar daripada *lenabatu*. Penyulingan serai wangi tipe mahapengiri menghasilkan rendemen minyak lebih tinggi daripada *lenabatu*. Selain itu minyak dari mahapengiri bermutu lebih baik (kadar *geraniol* dan *sitronelal* lebih tinggi). Namun demikian mahapengiri membutuhkan tanah yang lebih subur, curah hujan lebih banyak dan budidaya yang lebih ketat dibandingkan tanaman tipe

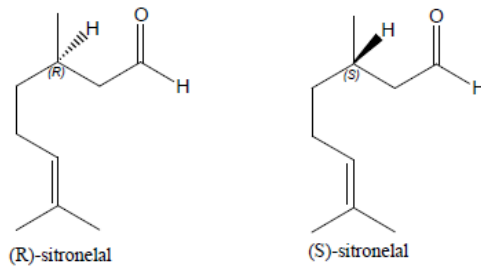
lenabatu. Terdapat dua tipe minyak serai wangi (minyak *sitronela*) di dunia, yaitu: Tipe Sri Lanka, berasal dari distilasi uap daun dari spesies *Cymbopogon nardus*. Minyak tipe ini berwujud cair, berwarna kuning pucat sampai coklat dengan bau segar, seperti rumput dan agak seperti kamfer.

Minyak Sri Lanka kurang bernilai ekonomis dibanding minyak tipe Jawa dan digunakan hanya sebagai pewangi sabun, bubuk pencuci dan produk keperluan rumah tangga lainnya. Tipe Jawa, diperoleh dari distilasi uap daun *Cymbopogon winterianus* Jowitt atau mahapengiri. Minyak tipe ini berwarna kuning pucat sampai coklat pucat mempunyai bau yang manis, seperti bunga mawar dengan sentuhan aroma citrus yang kuat dari *sitronelal*. Minyak tipe Jawa dapat mengandung total senyawa yang dapat diasetilasi mencapai 97% dan sampai 45% senyawa karbonil, tergantung pada waktu memanen. Sekarang ini, produser utama minyak tipe Jawa adalah Taiwan, China dan Jawa. Minyak serai tipe Jawa mempunyai sebelas komponen di dalamnya, yaitu: α -*pinena*, *limonen*, *linalool*, *sitronelal*, *sitronelol*, *geraniol*, *sitronelil asetat*, β -*kariofilen*, *geranil asetat*, γ -*kadinen* dan *elemol*. Komponen yang utama adalah *sitronelal*, *sitronelol* dan *geraniol*. *Sitronelal*, *sitronelol* dan *geraniol* termasuk golongan *monoterpenoid* yaitu gabungan dari dua kerangka *isoprena*.

Salah satu minyak atsiri Indonesia adalah berasal dari serai wangi (*Cymbopogon winterianus*) yang diperoleh melalui teknik penyulingan. Minyak atsiri ini dibuat dari daun dan batang dengan komponen utama hasil isolasi berupa *sitronelal*, *sitronelol* dan *geraniol*. *Sitronelal* merupakan senyawa yang memiliki rumus molekul $C_{10}H_{20}O$ (*3,7-dimetil-6 okten-1-ol*). *Sitronelal* memiliki massa relatif 154,25 dapat direduksi menggunakan *sitronelol*. Windholz dkk. (1983) menyebutkan bahwa *sitronelal* mempunyai rumus molekul $C_{10}H_{18}O$ dan massa molekul 154,24. *Sitronelal* adalah konstituen utama minyak serai wangi dan dijumpai pula pada minyak atsiri lain, seperti minyak lemon, *lemon grass* dan melissa. *Sitronelal* berwujud cair, mempunyai titik didih $47^{\circ}C$ pada tekanan 1 mmHg, larut dalam alkohol, sangat sedikit larut dalam air. Kegunaan *sitronelal* adalah sebagai Anti serangga dan

pewangi sabun. Dalam reaksi siklisasi dan suasana asam, sitronelal dapat menghasilkan isopulegol dan saat polimerisasi menggunakan basa juga menghasilkan *isopulegol*.

Morrison (1986) menyebutkan bahwa *sitronelal* merupakan senyawa aldehida tak jenuh dan mempunyai satu atom karbon asimetris (atom karbon kiral) yaitu pada C nomor tiga, sehingga mempunyai dua bentuk stereoisomer atau sepasang enantiomer, (R)-*sitronelal* dan (S)-*sitronelal* (Gambar 4.1).



Gambar 4. 1 Stereoisomer sitronelal

Sitronelal murni berbentuk cairan tidak berwarna dengan bau yang menyegarkan, mengingatkan pada bau balsam mint. Sitronelal dipergunakan secara terbatas sebagai pewangi sabun dan deterjen. Kegunaan utamanya adalah untuk produksi *isopulegol*, *sitronelol* dan *hidroksisitronelal*.

Cymbopogon citratus (*lemongrass*, serai, serai) dibudidayakan untuk digunakan sebagai essential oil. Kegunaan utama dari minyak serai ini yaitu dalam bidang kosmetik. Selain itu, minyak serai digunakan sebagai pengusir serangga (seperti lalat dan nyamuk) dan menghambat pertumbuhan jamur. Kegunaan lainnya yaitu mengurangi sakit kepala, *indigestion*, nyeri tubuh, dan rematik. Minyak serai diketahui merupakan inhibitor yang efisien dari enzim *beta-glukuronidase*, yang ditemukan pada hewan, tumbuhan, dan bakteri. Enzim ini mengkatalisasi hidrolisis *beta-glucuronides* yang dihasilkan dalam tubuh, seperti benzo[-alfa] *pirena glukuronida* dan *glukuronida* pada tumbuhan seperti *glisirhizin*.

4.2 Metode isolasi minyak serai

Ketiga komponen utama minyak serai wangi dapat diisolasi dengan cara fisika yaitu dengan distilasi fraksinasi pengurangan tekanan dan cara kimia. Secara kimia, *sitronelal* dapat dipisahkan dengan menggunakan *natrium bisulfit*. Isolasi secara fisika yaitu dengan distilasi pengurangan tekanan menghasilkan total *sitronelal* sebanyak 35%, sedangkan pemisahan dengan natrium bisulfit memberikan hasil 18,4%. Dari segi kemurnian, pemisahan dengan bisulfit menghasilkan *sitronelal* dengan kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan dengan pemisahan secara fisika.

Minyak suling uap *Cymbopogon citratus* dianalisis dengan Gas *Chromatographic-Mass Spectrometry* (GC-MS) dan *sitral* ditemukan sebagai unsur utama. Minyak menunjukkan penghambatan signifikan aktivitas *beta-glukururididase* dan juga menunjukkan aktivitas terhadap beberapa manusia, tanaman dan patogen hewan yang diuji. Konsentrasi penghambatan minimum tidak dapat ditentukan karena kurangnya beberapa bahan kimia.

4.3 Isolasi *sitronelal* dengan menggunakan gelombang mikro

Alat utama yang digunakan untuk isolasi alat ekstraktor gelombang mikro berupa microwave SHARP yang telah dimodifikasi dilengkapi dengan labu alas bulat. Gelombang mikro merupakan radiasi elektromagnetik dengan frekuensi antara 300 MHz hingga mencapai 300 GHz. Kisaran tersebut merupakan batas yang diperbolehkan guna memposisikan gelombang mikro dalam spektrum elektromagnetik, yaitu antara spektrum RF dan IR. Energi radiasi gelombang elektromagnetik berbanding terbalik dengan panjang gelombang. Pada frekuensi tersebut energi photon gelombang mikro antara $1,2 \times 10^{-6}$ eV dan $1,2 \times 10^{-3}$ eV. Pemanasan gelombang mikro terdiri dari hubungan konversi energi yaitu energi listrik menjadi energi elektromagnetik, energi elektromagnetik menjadi kinetik dan energi kinetik menjadi panas.

Daun dan batang serai wangi dibersihkan, dirajang dan dikeringkan dalam oven yang bersuhu 50°C hingga kering dan beratnya konstan. Daun dan batang yang telah kering dihaluskan

dengan menggunakan blender kemudian disaring menggunakan saringan ukuran 100 mesh sehingga dihasilkan serbuk serai wangi. Sebanyak 25 g serbuk serai wangi dimasukkan ke dalam ekstraktor gelombang mikro dengan ditambahkan 150 mL pelarut metanol. Ekstraksi dilakukan dengan daya 40 watt dan waktu ekstraksi selama 5, 10, 15, 20, 25 menit. Setelah waktu ekstraksi berakhir larutan yang telah tercampur disaring dan filtrat yang dihasilkan dipanaskan pada suhu 50°C selama 1 jam. Setelah 1 jam angkat larutan kemudian dinginkan hingga suhu 10°C. Tambahkan etanol dengan jumlah volume dua kali volume filtrat kemudian diaduk. Larutan disimpan dalam refrigerator selama 30 menit dan disaring. Endapan yang diperoleh dikeringkan. Lakukan prosedur di atas menggunakan pelarut n-heksana.

4.4 Destilasi fraksinasi *sitronelal*

Sitronelal diperoleh dari destilasi fraksinasi pengurangan tekanan dengan volume minyak serai wangi sebesar 300 mL. Destilat destilat dipisahkan anantara satu dengan yang lainnya berdasarkan perbedaan titik didih kemudian fraksi *sitronelal* diidentifikasi menggunakan GC-MS.

Daun *C. citratus* segar dicincang dan didistilasi uap. Minyaknya dilarutkan dalam Et₂O, dikeringkan dengan MgSO₄ anhidrat, disaring dan pelarutnya dihilangkan dalam vakum. Minyak kuning beraroma lemon diperoleh. Analisis Gas Chromatographic–Mass Spectrometric (GC–MS) dilakukan dengan kromatograf gas HP 5890 dan spektrometer massa JMS HX-110 (Jeol, Japan). Digunakan kolom kapiler SPB 1 dengan diameter internal 0.25 mm dan panjang 30.0 m. Suhu injeksi dipertahankan pada 270°C. Suhu oven dipertahankan pada 70°C selama 1 menit dan dinaikkan hingga 260°C dengan laju 8°C/min. Suhu interfase diatur pada 250°C. Helium digunakan sebagai gas pembawa dengan laju aliran 2.0 mL/min. Suhu sumber ion untuk spektrometer massa yaitu 250°C. Aktivitas *beta-Glucuronidase* diukur dengan *p-nitrofenil beta-D-glukuronida* sebagai substrate dengan modifikasi tertentu. Campuran enzim mengandung 50 mL *p-nitrofenilglukuronida*, 190 mL *buffer* asetat, 5 mL enzim dan 5

mL inhibitor. Campuran uji diinkubasi pada suhu 37°C selama 40 min, reaksi dihentikan dengan penambahan 50 mL 0,2 M Na₂CO₃, dan absorbansi diukur yaitu sebesar 405 nm. *Glucosaccharo-lactone* (1:4) digunakan sebagai inhibitor standard sebagai kontrol positif. Aktivitas inhibitor (%) dihitung dengan rumus: $[(E-S)/E \times 100]$, di mana "E" adalah aktivitas enzim tanpa material uji dan "S" aktivitas enzim dengan material uji. Minyak yang diuji diencerkan dalam 1.0 mL DMSO steril sebagai larutan stok. Agar dekstroza *Sabouraud* dilarutkan dalam 500 mL air suling dan diuapkan. Media disebar 4.0 mL ke dalam tabung-tabung *screw cap*, yang kemudian diautoklaf pada suhu 121°C selama 15 min. Tabung-tabung didinginkan hingga 50°C dan media non-padat "diracuni" dengan 66.6 mL larutan stok. Tabung diletakkan miring untuk memadatkan media pada suhu kamar. Setelah diinkubasi selama 9 hari, didapat suatu pertumbuhan linear. Evaluasi sifat antibakterial dilakukan dengan protokol difusi lubang agar di mana lubang dibuat dengan *metallic borer* steril. Sample uji (2 mg/mL DMSO) ditambahkan ke lubang itu. Lubang lain diberi DMSO dan *tetrasiklin* sebagai, berturut-turut, kontrol negatif dan positif. Plat diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam dan zona inhibisi diukur dalam milimeter.

Telah dilakukan penelitian terhadap kandungan minyak beberapa spesies daun serai dan diyakini bahwa faktor lingkungan memengaruhi komposisi minyaknya. Analisis yang dilakukan membuktikan adanya *sitral a*, *sitral b*, *nerol*, *sitronelol*, *geraniol* dan *terpinolena* sebagai penyusun utama. Ketika minyak diuji dengan *glukuronidase*, aktivitasnya menunjukkan lebih dari 90%. Minyak diuji terhadap berbagai jenis fungi dan bakteri. Pengujian antifungal menunjukkan minyak ini inefektif terhadap *C. albicans* dan *F. monili* dan efektif terhadap jenis lainnya yang diuji. Pengujian antibakterial dengan enam jenis bakteri menunjukkan *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* tidak terpengaruh sama sekali dan menunjukkan aktivitas yang cukup baik terhadap bakteri lainnya yang diuji.

Minyak esensial menunjukkan efek penghambatan pada semua spesies bakteri yang diuji, termasuk *S. mutans* dan *L.*

acidophilus. Minyak atsiri dari *C. citratus* (10X MIC) mengurangi jumlah sel yang layak dari *lactobacilli* dan *streptococci* biofilm ($p < 0,05$). Minyak atsiri menghambat adhesi *biofilm* polimikroba terkait karies pada email gigi ($p < 0,01$). Sitral secara signifikan mengurangi jumlah sel biofilm *streptococcus* yang layak ($p < 0,001$). Minyak atsiri menunjukkan sitotoksitas yang rendah terhadap keratinosit manusia. Berdasarkan temuan ini, penelitian ini dapat berkontribusi pada pengembangan formulasi baru untuk produk seperti obat kumur, terhadap biofilm gigi.

4.5 Hasil isolasi minyak serai wangi

Komponen minyak esensial yang ditemukan dalam *C. citratus* memiliki sifat farmakokinetik yang serupa, termasuk penyerapan, distribusi, metabolisme, dan ekskresi. Mereka dengan cepat diserap setelah pemberian oral, paru, dan dermal.

Komponen penyusun minyak serai yaitu *sitronelal*, *sitronelol* dan *geraniol* dapat diubah menjadi turunan-turunannya yang digunakan secara luas dalam industri parfum. Minyak serai dapat ditingkatkan nilai ekonominya dengan cara mengisolasi komponen utamanya yaitu *sitronelal*, *sitronelol* dan *geraniol* dan mengkonversi komponen utamanya yaitu *sitronelal* menjadi turunannya.

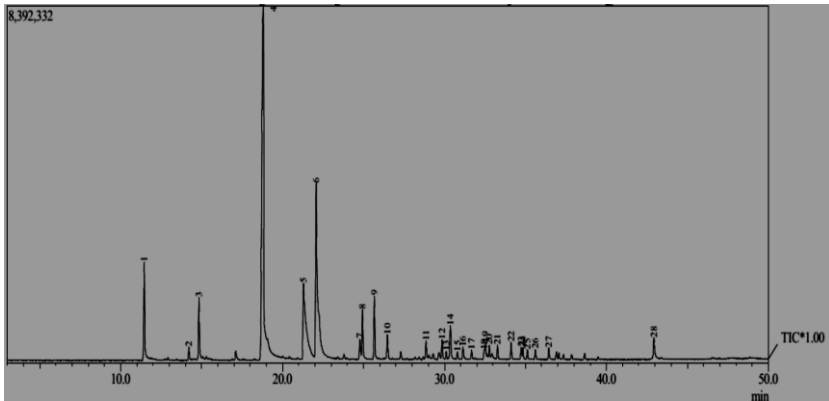
Salah satu penelitian yang telah dilakukan oleh Harianingih (2017) mengidentifikasi komponen ekstrak minyak serai wangi menggunakan evaporasi berpelarut *metanol* dan analisa GC-MS diperoleh kadar *sitronelal* sebesar 36,11%, *sitronelol* 10,28% dan *geraniol* sebesar 20,07%. Isolasi senyawa *sitronelal* dari minyak serai wangi juga dapat dilakukan menggunakan destilasi fraksinasi bertingkat pengurangan tekanan. Hasil destilasi ditampung ke dalam beberapa fraksi dengan mengamati perubahan suhu. Setelah itu dilakukan pengukuran indek bias dan massa jenis destilat. Senyawa *sitronelal* sendiri termasuk senyawa yang mudah menguap dan berwarna kekuningan. *Sitronelal* bersifat sedikit larut dalam air dan dapat larut dalam alkohol dan ester.

Pengembangan produk alami dan inovasi yang lebih aman untuk memenuhi penerimaan konsumen sebagai alternatif pengawet makanan sintetis. Banyak teknik pengawet baru dan aplikasi dari asal alami dan sintetis terus berkembang biak di industri makanan dan kimia. Secara khusus, beberapa minyak atsiri asal tanaman merupakan pengawet makanan yang kuat dan karenanya merupakan alternatif yang menarik untuk pengawet sintetis.

Pada penelitian Harianingsih 2018, proses isolasi *sitronelal* menggunakan gelombang mikro. Tujuannya memperoleh *sitronelal* dengan prosentase lebih tinggi daripada penelitian terdahulu dimana isolasi *sitronelal* digunakan proses evaporasi dan destilasi fraksinasi bertingkat pengurangan tekanan. Ekstraksi itu sendiri merupakan metode pemisahan suatu komponen *solute* dari campurannya dengan menggunakan sejumlah massa pelarut. Proses ekstraksi dipilih terutama jika umpan yang dipisahkan terdiri dari komponen-komponen yang mempunyai titik didih yang berdekatan, sensitif terhadap panas dan merupakan campuran azeotrop. Sedangkan faktor-faktor yang mempengaruhi proses ekstraksi menurut Mandal (2007) antara lain jenis pelarut, temperatur, rasio bahan baku dan pelarut, ukuran partikel. Pemilihan pelarut juga mempertimbangkan kriteria antara lain selektivitas, kestabilan kimia dan panas, kecocokan dengan solut, viskositas, recovery pelarut, tidak mudah terbakar, tidak beracun, murah dan mudah diperoleh.

Ekstraksi yang digunakan pada penelitian Harianingsih 2018 merupakan ekstraksi menggunakan bantuan gelombang mikro. Gelombang mikro merupakan radiasi elektromagnetik dengan frekuensi antara 300 MHz hingga mencapai 300 GHz. Kisaran tersebut merupakan batas yang diperbolehkan guna memposisikan gelombang mikro dalam spektrum elektromagnetik, yaitu antara spektrum RF dan IR. Energi radiasi gelombang elektromagnetik berbanding terbalik dengan panjang gelombang. Pada frekuensi tersebut energi photon gelombang mikro antara $1,2 \times 10^{-6}$ eV dan $1,2 \times 10^{-3}$ eV. Pemanasan

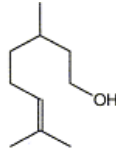
gelombang mikro terdiri dari hubungan konversi energi yaitu energi listrik menjadi energi elektromagnetik, energi elektromagnetik menjadi kinetik dan energi kinetik menjadi panas. Minyak serai wangi mempunyai indeks bias 1,38 dan massa jenis 0,91 g/mL. Hasil analisis GC-MS dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Hasil GC-MS minyak serai wangi

4.6 Reaksi hidrogenasi *sitronelal*

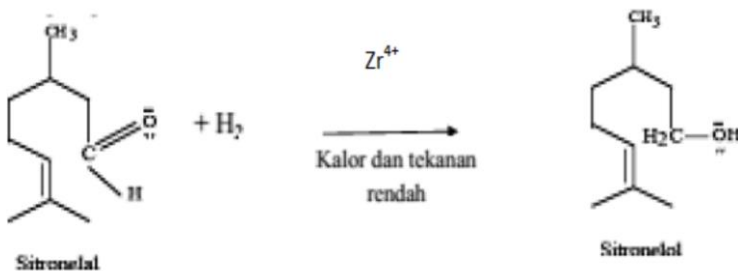
Menurut Agustian (2007), *sitronelal* merupakan dapat ditransformasi menjadi *sitronelol*, *isopulegol*, *mentol* dan *ester* lainnya yang mempunyai bau wangi yang khas. Aroma dari *sitronelol* sangat diminati di dalam industri parfum dan kosmetik daripada *sitronelal*. Penggunaan lain dari *sitronelal* adalah untuk pembuatan hidroksi *sitronelol*, dimana hidroksi *sitronelal* ini merupakan salah satu senyawa sintetik yang paling penting dalam wewangian. Wangi khas yang diperoleh dari *sitronelol* antara lain bau khas bunga lili dan mawar yang banyak orang menyebut sebagai *king of parfum* (rajanya wewangian). Struktur dari *sitronelol* dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Struktur sitronelol

Sitronelol mempunyai nama IUPAC 3,7 dimetil 6 oktenol, dengan massa molekul 156,27 g/mol, densitas 0,855 g/cm³ dan titik didih 225°C. *Sitronelol* dikenal sebagai bahan yang sangat mahal dalam dunia perdagangan untuk itu dilakukan proses transformasi dari *sitronelal* menjadi *sitronelol*, dimana dalam penelitian ini digunakan hidrogenasi katalis Zr⁴⁺-Zeolit beta. Hidrogenasi katalitik dapat digunakan karena sitronelal merupakan gugus karbonil. Proses ini memerlukan panas dan tekanan. Keton akan berubah menjadi alkohol sekunder dan aldehida akan berubah menjadi alkohol primer jika mengalami proses hidrogenasi katalitik.

Proses hidrogenasi katalitik dilakukan dengan menggunakan perbandingan N₂:H₂ = 1: 4. *Sitronelal* hasil destilasi fraksional yang telah dianalisis menggunakan GC MS dimasukkan ke dalam labu leher tiga kemudian ditambahkan katalis Zr⁴⁺-Zeolit beta, dimasukkan pula magnetic stirrer dipanaskan pada suhu 120°C selama 60 menit. Campuran diletakkan pada *microtube* dan ditambahkan N₂ dan H₂ selama 4 jam. Larutan didiamkan selama 2 jam hingga terpisah antara padatan Zr⁴⁺-Zeolit beta dengan *sitronelol*, kemudian dianalisis menggunakan GC MS. Reaksi hidrogenasi katalitik *sitronelal* disajikan pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Reaksi Hidrogenasi sitronelal

4.7 Reaksi oksidasi *sitronelal*

Sitronelal sebagai salah satu komponen utama minyak serai wangi merupakan senyawa yang sangat mudah bereaksi karena adanya ikatan rangkap dan tergolong senyawa aldehyd. Rohmawati (2011) melakukan reaksi hidroksilasi *sitronelal* dengan oksidator KMnO_4 dalam kondisi basa (pH 12) pada temperatur 0-3°C selama 1,5 jam baik dalam pelarut air maupun pelarut metanol menghasilkan *7-hidroksi-3,7-dimetil-6-oksooktanal*. Senyawa *7-hidroksi-3,7-dimetil-6-oksooktanal* yang diperoleh sebagai hasil hidroksilasi *sitronelal* dengan KMnO_4 .

Bila reaksi dijalankan pada temperatur tinggi dan adanya *kalium permanganat* pekat, umumnya dalam media asam, maka alkena akan terputus menjadi diasam atau asam karboksilat dan keton melalui oksidasi *intermediet diol*. Pengertian keadaan oksidasi temperatur tinggi dan pekat adalah konsentrasi kalium permanganat mempunyai kisaran dari > 0,63 M hingga 10 M, dan temperatur berkisar pada temperatur kamar hingga lebih tinggi dari 100°C. Marlina, dkk (2004) telah melakukan oksidasi ikatan rangkap pada minyak dengan pereaksi KMnO_4 dalam suasana basa pada temperatur 25°C, mencapai nilai maksimum pada saat konsentrasi oksidator yang digunakan 15%. Indonesia sebagai salah satu negara penghasil minyak atsiri khususnya minyak serai wangi belum memanfaatkan potensi tersebut untuk menghasilkan produk turunan minyak atsiri. *Sitronelal* dapat digunakan sebagai obat semprot pembasmi hama karena senyawa *sitronelal* mempunyai sifat racun dehidrasi bagi serangga.

Berbagai macam pengoksidasi yang digunakan dalam reaksi senyawa karbon, misalnya OsO_4 diikuti dengan Na_2SO_3 , asam *peroksi benzoat*, kalium permanganat basa, kalium permanganat panas, O_3 diikuti oleh H_2O_2 , O_3 diikuti Zn, HNO_3 , pereaksi *Fehling*, pereaksi *Tolluens*.

Marlina (2011), menyebutkan bahwa *kalium permanganat* dalam suasana basa dapat menghasilkan reaksi *cis-hidroksilasi* dari suatu alkena. Ikatan rangkap dapat dioksidasi dengan KMnO_4

dapat membentuk senyawa *diol*. Oksidasi *sitronelal* dilakukan dalam kondisi basa. Senyawa *sitronelal* sebanyak 6 mL dimasukkan dalam labu alas bulat leher tiga 100 mL yang sudah dilengkapi termometer, pendingin bola, dan *stirrer*, kemudian ditambah metanol sebanyak 6 mL. Campuran diaduk selama 15 menit. Larutan KMnO_4 0,5 M ditambah sebanyak 3 mL tetes demi tetes. Sebanyak 1-2 mL NaOH 0,5 M dimasukkan ke dalam campuran tetes demi tetes, dan pH di ukur dengan indikator universal, tambah CTAB (0,05 g dalam 10 mL aseton). Selama reaksi berlangsung temperatur dijaga sesuai dengan kondisi yang diinginkan yaitu temperatur dingin ($3-5^\circ\text{C}$) dan temperatur ruang ($25-27^\circ\text{C}$). Terjadinya reaksi oksidasi sitronelal pada penelitian ini ditandai dengan terbentuknya endapan coklat MnO_2 . Reaksi dilakukan selama 30 menit dan 60 menit. Hasil reaksi didiamkan beberapa saat sehingga terpisah antara fase organik dan fase air. Lapisan organik dipisahkan, lapisan air diekstraksi dengan 2×5 mL CH_2Cl_2 . Hasil oksidasi (fasa organik) dianalisis dengan GC dan FT-IR. Reagensia KMnO_4 ini dikatakan sebagai reagen yang umum digunakan untuk mengoksidasi ikatan rangkap tapi pada umumnya semua jenis ikatan yang mudah teroksidasi akan menunjukkan hasil positif, termasuk aldehida, namun aldehida dapat teroksidasi lanjut jika oksidasi terjadi dalam suasana asam. Terjadinya proses oksidasi ditandai dengan terbentuknya MnO_2 berupa endapan coklat kehitaman.

4.8 Pemanfaatan Tanaman Serai sebagai antinyamuk

Salah satu manfaat minyak serai yang sangat terkenal adalah sebagai kandungan alami dalam losion antinyamuk di pasaran. Apa yang sebenarnya terkandung dalam minyak serai, sehingga dipercaya dapat mengusir dan mencegah gigitan nyamuk? Pada dasarnya, lotion antinyamuk maupun versi semprotan *aerosolnya* yang mengandung DEET bekerja dengan cara memblokir sensor penciuman nyamuk. Namun sudah bukan rahasia lagi bahwa bahan kimia tersebut memiliki efek beracun bagi tubuh manusia. Teorinya, manfaat minyak serai serupa dengan DEET dalam menghambat sensor penciuman nyamuk.

Minyak serai bekerja menutupi aroma yang menarik bagi serangga yaitu karbondioksida dan asam laktat pada tubuh manusia. Minyak serai difavoritkan sebagai alternatif yang lebih aman dari obat nyamuk generik, karena mengandung bahan aktif alami yang dapat melawan efek radikal bebas sehingga tidak membahayakan tubuh kita.

Minyak serai dapat melawan nyamuk *Aedes aegypti*, yang merupakan nyamuk penyebab demam *dengue*. Sayangnya, tanpa penggunaan yang tepat, minyak serai nyatanya tak begitu efektif dalam mengusir nyamuk. Sanggahan ini dilaporkan oleh sebuah penelitian yang diterbitkan dalam *Journal of Insect Science*, dilansir dari *Science Magazine*. Penelitian ini menguji keefektivitasan 11 jenis produk pengusir nyamuk (gelang, *lotion*, *spray*, lilin aromaterapi) pada nyamuk *Aedes aegypti* — yang membawa virus Zika, demam kuning, demam berdarah, dan penyakit lainnya. Tim meminta partisipan untuk duduk di salah satu ujung terowongan yang disituasikan sebagai teras rumah sebagai “umpan”, sementara para ilmuwan mengukur berapa banyak nyamuk bergerak ke arah sasaran, tergantung pada jenis Antinyamuk yang digunakan. Hasilnya, hampir sebagian besar produk pengusir nyamuk ini tidak memenuhi klaim pada label mereka. Pada jarak 1 meter, *lotion* DEET dan semprotan nyamuk yang mengandung lemon *eucalyptus* mengurangi daya tarik nyamuk hanya sebesar 60%. Sisa produk lainnya, termasuk lilin aromaterapi yang mengandung minyak serai memiliki efek pengusir yang lemah, bahkan tidak lebih baik daripada tidak pakai perlindungan sama sekali. Satu-satunya produk antinyamuk yang bekerja efektif hanya kipas klip yang mengandung insektisida *metoflutrin*.

Penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD) merupakan penyakit endemis yang banyak ditemui di Indonesia setiap tahunnya. Penyakit ini disebabkan oleh gigitan nyamuk *Aedes aegypti* L. dengan membawa virus dengue pada tiap gigitan. Demam Berdarah Dengue (DBD) merupakan salah satu masalah kesehatan bagi masyarakat yang cenderung meningkat jumlah penderitanya dan semakin luas daerah penyebarannya, sejalan

dengan meningkatnya mobilitas dan kepadatan penduduk. Upaya pencegahan sangat diperlukan untuk mencegah penyebaran nyamuk *Aedes aegypti* L. yang merupakan faktor utama penyebab DBD.

Dengue adalah penyakit menular yang ditularkan melalui vektor terpenting di dunia. Diperkirakan lebih dari 50 juta infeksi terjadi dan setengah juta orang dirawat di rumah sakit karena demam berdarah demam berdarah setiap tahun. Infeksi ini disebabkan oleh salah satu dari empat *serotipe* virus dengue: DENV1, DENV-2, DENV-3, atau DENV-4. Nyamuk *Aedes* adalah vektor utama penularan demam berdarah. Strategi pengendalian nyamuk terintegrasi yang berhasil mencakup beberapa taktik, seperti menghapus situs perkembangbiakan nyamuk dan menggunakan insektisida kimiawi sintetis (*piretroid, organofosfat, dll.*) untuk mengontrol penyebaran bentuk dewasa atau larva *Aedes aegypti*.

Budiasih (2011) menyatakan bahwa nyamuk umumnya banyak bersarang di lingkungan yang lembab, dingin dan gelap, untuk itu perlu adanya pencegahan secara dini mulai dari diri sendiri hingga lingkungan sekitar seperti pengaturan sirkulasi udara dan pencahayaan yang baik, mengurangi potensi tempat-tempat gelap sebagai sarang nyamuk, menghilangkan genangan air yang bisa jadi tempat berkembang biak dan pemanfaatan tanaman-tanaman yang ada di sekitar kita sebagai larvasida alami yang mampu mengusir nyamuk demam berdarah.

Masyarakat di Indonesia cenderung terbiasa menggunakan obat antinyamuk berbahan kimia yang beredar di pasaran sebagai salah satu cara untuk mengusir dan mencegah berkembangnya nyamuk *Aedes aegypti*. Obat antinyamuk berbahan kimia umumnya mengandung zat fumigan, DEET, *Piretroid, propoksur*, dan lain-lain. Kandungan tersebut sangat berbahaya karena dapat menimbulkan efek toksik baik lokal maupun sistemik terhadap manusia. Efek lokal pada umumnya melalui pajanan dermal, sedangkan efek sistemik melalui pajanan oral dan inhalasi. Penggunaan obat nyamuk dengan bahan kimia tidak hanya

merugikan bagi kesehatan manusia, akan tetapi juga dapat menyebabkan resistensi terhadap nyamuk itu sendiri.

Sementara bahan kimia sintetis telah berhasil mengendalikan populasi nyamuk *Aedes*, nyamuk peningkatan yang luar biasa dalam penggunaannya telah menyebabkan resistensi insektisida pada vektor nyamuk dan merugikan efek pada organisme non-target, termasuk manusia. Pengurangan dampak negatif penggunaan bahan-bahan kimia tersebut dapat diatasi dengan memanfaatkan bahan-bahan alami yang ada di sekitar kita, seperti tanaman.

Oleh karena itu pengembangan insektisida yang aman dan ramah lingkungan menjadi penting bagi kesehatan masyarakat. Di dalam Arah, minyak atsiri tanaman (EO) telah terbukti menjadi alternatif potensial untuk sintetis insektisida terhadap vektor nyamuk. Insektisida nabati dianggap ramah lingkungan aman dan tidak memiliki atau sedikit efek pada organisme non-target, selain tersedia secara lokal di banyak bagian dunia yang terkena penyakit yang ditularkan oleh nyamuk. Selanjutnya, EOs mengandung campuran komponen aktif bekerja pada serangga di lokasi target yang berbeda atau dengan mode aksi yang berbeda dan dengan demikian dapat mengurangi resistensi pada populasi nyamuk.

Pemanfaatan tanaman untuk mengusir nyamuk ini lebih dikenal dengan istilah insektisida nabati. Insektisida nabati atau alami menggunakan bahan dasar tumbuhan sehingga bersifat mudah terurai (*biodegradable*) di alam, tidak mencemari lingkungan dan relatif aman bagi manusia dan ternak peliharaan, karena residu (sisa-sisa zat) mudah hilang. Admadi H (2009) juga menambahkan bahwa beberapa tanaman dan bagian-bagian tertentu seperti daun, bunga, biji, batang, rimpang atau umbi memiliki kandungan insektisida alami. Semua bahan yang digunakan berasal dari tumbuhan maka dapat dipastikan bahwa senyawa insektisidanya tidak akan memberikan efek samping yang negatif bagi penggunaannya bila digunakan secara benar.

Permasalahan yang demikian dapat diatasi dengan memanfaatkan beberapa tanaman teridentifikasi memiliki

kandungan yang mampu membantu mengusir dan mencegah penyebaran nyamuk demam berdarah. Tanaman-tanaman tersebut antara lain: daun mint, umbi lengkuas, sambiloto, babadotan, daun alpukat, daun salam, pucuk merah, dan daun zodia. Jenis tanaman insektisida tersebut dapat dibuat ekstraknya yang akan digunakan sebagai pengganti bahan zat kimia untuk obat antinyamuk elektrik. Tanaman-tanaman tersebut dikenal mengandung senyawa aktif seperti *flavonoid*, *saponin*, *tanin*, *alkaloid*, dan *terpenoid* yang dapat digunakan sebagai insektisida alami untuk membunuh nyamuk *Aedes aegypti*.

Sastrohamidjojo (2004) menjelaskan bahwa daun *mint* memiliki kandungan senyawa *menthol* dan *menthone* yang dapat berfungsi untuk membunuh serangga dengan cara menghambat proses sintesis protein. Lengkuas mengandung senyawa *terpenoid*, *alkaloid*, *tanin*, *saponin*, *flavonoid*, dan *fenol* yang dapat bersifat bakterisidal dan fungsidal sehingga dapat dinyatakan sebagai bioinsektisida. Adekunle & Ayodele (2014) menyatakan bahwa daun sambiloto mengandung senyawa *flavonoid*, *terpenoid*. Kardinan (2001) menyatakan pula jika di babadotan memiliki kandungan senyawa *alkaloid*, *flavonoid*, *kumarin*, *saponin*, *polifenol*, dan minyak atsiri. Charyadie, Adi, dan Sari (2014) mengungkapkan bahwa ekstrak daun alpukat mengandung senyawa aktif seperti *alkaloid*, *flavonoid*, *saponin*, dan *tanin*. Murtini & Widodo(2006) menyatakan daun salam (*Syzygium polyanthum*) memiliki kandungan minyak atsiri 0.05% (*sitral*, *eugenol*), *flavonoid*, *tanin*, dan *metachavicol*. Haryati, Saleh, & Erwin (2015) menyatakan kandungan dalam ekstrak total daun pucuk merah adalah *alkaloid*, *triterpenoid*, *steroid*, *saponin*, *fenolik*, dan *flavonoid*. Kardinan (2004) menjelaskan bahwa daun Zodia mengandung senyawa aktif *linalool* (46%) dan α -*pinena* (13,26%). Boesri dkk (2015) menambahkan bahwa daun zodia memiliki bahan aktif dominan *evodiamine*, sedangkan lengkuas dengan bahan aktif dominan *flavonoid*.

Kandungan pada ekstrak tanaman yang digunakan sebagian besar adalah *flavonoid*, *saponin*, *tanin*, *alkaloid*, dan *linalool*. Senyawa *flavonoid* diyakini mampu merusak sel bakteri dengan

cara membentuk senyawa kompleks dengan protein ekstraseluler dan terlarut sehingga senyawa intraseluler akan keluar menuju ekstraseluler. *Flavonoid* diabsorpsi kemudian akan mengalami peningkatan fungsi biologis, diantaranya sintesis protein, diferensiasi dan proliferasi sel, serta angiogenesis. Apabila *flavonoid* dikonsumsi secara berlebihan, akan menyebabkan mutagen dan menghambat enzim-enzim tertentu dalam kerja metabolisme hormon serta metabolisme energi. Tentunya hal ini juga berpengaruh pada serangga, dimana flavonoid akan merusak permeabilitas dinding sel dan menghambat kerja enzim sehingga mempengaruhi proses metabolisme pada serangga. Hollingworth (dalam Utami, Syaufina, & Haneda, 2010) menjelaskan dalam golongan flavonoid terdapat senyawa *rotenon* yang berfungsi sebagai toksik pada respirasi sel, dengan cara menghambat transfer elektron dalam *NADH-koenzim ubiquinon reductase* (komplek I) dari sistem transpor electron di dalam mitokondria.

Tanin memiliki sasaran terhadap polipeptida dinding sel yang menyebabkan kerusakan dinding sel, dan mampu pula menggumpalkan protein. Yunita, Suprapti, dan Hidayat (2009) menambahkan jika *tanin* memiliki rasa pahit sehingga menghambat serangga untuk memakannya. Ini terjadi karena *tanin* bereaksi dengan protein membentuk kopolimer mantap yang tidak larut dalam air sehingga protein lebih sukar dicapai oleh cairan pencernaan hewan. *Tanin* dapat menurunkan aktivitas enzim pencernaan (*protease* dan *amilase*) dan mengganggu aktivitas protein usus, sehingga akan mengalami gangguan nutrisi.

Saponin dapat merusak mukosa kulit jika terabsorpsi dan akan mengakibatkan hemolisis sel darah sehingga pernapasan menjadi terhambat dan dapat mengakibatkan kematian. Pengaruh lain yang ditimbulkan oleh *saponin* terhadap serangga yakni berupa gangguan fisik bagian luar (kutikula). Lapisan lilin yang melindungi tubuh serangga dan akan hilang akibat *saponin* dan menyebabkan kematian karena kehilangan banyak cairan tubuh. *Saponin* juga menyebabkan aktivitas enzim pencernaan dan penyerapan menurun serta mengganggu proses metabolisme tubuh.

Alkaloid bersifat racun mampu menghambat kerja pada sistem saraf dan merusak membran sel. Golongan ini umumnya akan menghambat enzim *asetilkolinesterase*, sehingga *asetilkolin* akan tertimbun pada sinapsis. Efek yang ditimbulkan akan menghambat proses transmisi saraf. Efek lain yang ditimbulkan adalah proses inhibitor sintesis kitin dan kerja hormon yang terhambat. Zat toksik relatif lebih mudah untuk menembus kutikula dan selanjutnya masuk ke dalam tubuh serangga, karena umumnya tubuh serangga berukuran kecil sehingga luas permukaan luar tubuh yang terpapar relatif lebih besar (terhadap volume). Kandungan zat-zat inilah yang menyebabkan tanaman-tanaman secara tidak langsung berpotensi sebagai insektisida alami yang dapat mengganggu bahkan membunuh perkembangan nyamuk *Aedes aegypti* L.

Menurut Nurdjannah (2004), senyawa *linalool* yang terkandung pada daun *zodia* bersifat racun kontak menyebabkan peningkatan aktifitas saraf sensorik pada serangga. Jika kandungannya lebih besar dapat menyebabkan stimulasi saraf motor sehingga mengakibatkan kejang dan kelumpuhan pada serangga. *Linalool* merupakan racun kontak yang dapat meningkatkan aktivitas saraf sensorik pada serangga, tepatnya menyebabkan stimulasi saraf motor yang mengakibatkan kejang dan kelumpuhan.

Berdasarkan hasil penelitian Aseptianova tahun 2017, menunjukkan bahwa ekstrak tanaman berpengaruh nyata terhadap mortalitas nyamuk *Aedes aegypti* L, dan nyamuk yang diujicobakan mengalami kematian dengan tingkat mortalitas yang berbeda untuk setiap ekstrak. Hal ini tentunya dipengaruhi oleh kandungan senyawa yang berbeda pada setiap ekstrak. Ekstrak daun salam yang diketahui mampu membunuh semua nyamuk yang diuji cobakan memiliki tingkat mortalitas yang tinggi, karena dalam 5 menit semua nyamuk telah mati. Setelah ekstrak daun salam, ada ekstrak daun alpukat yang juga demikian. Kandungan pada ekstrak daun alpukat mampu membunuh semua nyamuk yang diujicobakan dalam 5 menit. Ekstrak lengkuas jika dilihat dari hasil penelitian, lebih baik dibanding ekstrak *mint*, meskipun

lengkuas dan daun *mint* sama-sama membunuh nyamuk dalam waktu 10 menit. Lengkuas mampu membunuh nyamuk lebih banyak dibanding daun *mint* dalam waktu 5 menit. Ekstrak daun babadotan mampu membunuh nyamuk dalam waktu 20 menit, sedangkan ekstrak zodia mampu membunuh nyamuk dalam waktu 30 menit (perhitungan menit ke- 25 dan menit ke-30). Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan urutan ekstrak tanaman dengan kemampuan insektisida paling tinggi sampai dengan rendah adalah: 1) salam, 2) alpukat, 3) lengkuas, 4) mint, 5) babadotan, 6) zodia, dan 7) pucuk merah.

Kematian nyamuk diawali dengan kejang-kejang dan kelumpuhan, setelah beberapa menit kemudian, nyamuk dapat dikatakan mati karena sudah tidak ada lagi pergerakan. Hal ini membuktikan adanya kandungan senyawa aktif pada ekstrak yang digunakan, sehingga menyebabkan gangguan metabolisme pada nyamuk. Gangguan metabolisme ini dapat disebabkan melalui proses pernapasan yang kurang sempurna ataupun hormon yang kurang bekerja dengan baik. Gangguan juga terdapat pada sistem saraf nyamuk yang menyebabkan nyamuk menjadi lemas dan tidak dapat bergerak secara aktif.

4.9 Manfaat minyak serai

Citronella essential oil (minyak esensial atau minyak atsiri serai wangi) telah digunakan selama berabad-abad di Cina, Indonesia dan Sri Lanka untuk mengurangi ruam, inflamasi, infeksi, rasa sakit dan kondisi kesehatan lainnya. *Citronella oil* memiliki konsentrasi tinggi antioksidan dan fitokimia yang berasal dari batang dan daun serai wangi (*Cymbopogon nardus*). Minyak ini banyak digunakan sebagai minyak wangi alami, Anti serangga, serta menjadi bagian dalam produk kecantikan dan rumah tangga.

Menurut puluhan studi klinis, *citronella oil* (minyak serai wangi) murni memiliki sifat antiseptik, antimikroba dan antijamur. Penggunaan paling populer *citronella* adalah sebagai bagian dalam produk anti serangga karena secara alami mampu mengusir nyamuk dan serangga lain. U.S. *Environmental*

Protection Agency menganggap *citronella* sebagai biopestisida yang efektif melawan merangga namun bukan merupakan substansi beracun. Karena efektif melawan infeksi, bakteri dan jamur, citronella oil juga bisa digunakan untuk membersihkan permukaan perabot dan memurnikan udara.

JMP Indonesia mengumpulkan beberapa informasi mengenai manfaat dari citronella oil berdasarkan beberapa penelitian yang sudah ada. Menurut berbagai penelitian, berikut adalah manfaat *citronella oil* (minyak serai wangi) :

- Mengusir serangga secara alami
- Melawan kerusakan akibat radikal bebas
- Melawan bakteri dan jamur
- Mengurangi peradangan
- Mempromosikan relaksasi
- Melawan infeksi pernafasan
- Mendukung pencernaan/kesehatan usus
- Meredakan nyeri otot
- Membantu mengontrol perilaku hewan peliharaan

Terdapat lebih dari 30 spesies *Cymbopogon* tumbuh liar di seluruh dunia dan digunakan dalam masakan dan obat tradisional terutama di banyak negara Asia. Terdapat dua jenis utama citronella yang digunakan untuk membuat minyak serai murni: jenis *Java* dan jenis *Ceylon*. Dalam hal aroma, manfaat dan kegunaan, citronella oil terkait dengan *lemongrass essential oil* dan beberapa *citrus oil*.

Citrorella Ceylon diperoleh dari tumbuhan *Cymbopogon nardus Rendle* dan memiliki bahan-bahan aktif berikut: *geraniol* (18 persen hingga 20 persen), *limonene* (9 persen hingga 11 persen), *methyl isoeugenol* (7 persen hingga 11 persen), *citronellol* (6 persen hingga 8 persen) dan *citronellal* (5 persen hingga 15 persen). *Citronella Ceylon* memiliki aroma yang mirip dengan buah jeruk (*citrus fruit*) dan *cinnamon* (kayu manis).

Sementara itu, *citronella* jenis *Java* berasal dari spesies yang disebut *Cymbopogon winterianus Jowitt*. Bahan aktif *citronella Java* meliputi: *citronellal* (32%- 45%), *geraniol* (11%- 13%), *geranyl*

acetate (3%- 8%) dan *limonene* (1%- 4%). Diantara keduanya, jenis *Java* dianggap lebih kuat, dan karena itu biasanya lebih mahal. *Citronella* jenis *Java* memiliki warna lebih gelap dan aroma segar yang mirip dengan lemon dan *lemon essential oil*.

Dari semua bahan aktif *citronella*, tiga yang paling banyak diteliti dan dihargai adalah *citronellol*, *citronellal* dan *geraniol*.

Kedua jenis *citronella oil* memiliki kegunaan yang luas, termasuk mengurangi stres, sifat antibakteri atau antiseptik, dan meremajakan kulit. *Citronella essential oil* merupakan salah satu minyak aromaterapi yang paling umum digunakan. Selain itu, *citronella* juga digunakan sebagai aditif makanan dan pengawet makanan.

Penggunaan *Citronella Essential Oil*

1. Pengusir serangga alami

Citronella telah terdaftar sebagai Anti serangga di Amerika Serikat sejak tahun 1948. *Citronella* bahkan mampu mengusir nyamuk *Aedes aegypti*, yang menyebarkan demam berdarah.

Menurut beberapa penelitian, *citronella oil* dioleskan setiap 30-60 menit untuk mempertahankan efektivitasnya sebagai pengusir serangga. *Citronella oil* juga dapat dikombinasikan dengan beberapa tetes minyak kelapa dan dioleskan ke tubuh seperti *lotion*. Cara lain, larutkan beberapa tetes *citronella oil* dalam botol semprot berisi air dan digunakan untuk menyemprot kulit atau pakaian. Menerapkan *citronella oil* langsung ke tubuh dianggap lebih efektif untuk memerangi serangga dibanding dalam bentuk lilin aromaterapi.

2. Anti-inflamasi dan pereda nyeri

Karena sifat antioksidan dan kemampuan untuk meningkatkan aliran darah, *citronella* sering digunakan sebagai pengobatan *arthritis* alami, khususnya untuk mengurangi nyeri yang terkait dengan masalah ortopedi seperti *osteoarthritis* dan *rheumatoid arthritis*.

2-3 tetes *citronella oil* dikombinasi dengan *carrier oil* seperti minyak kelapa dan dipijatkan ke sendi dan otot yang bengkak, atau berendam dalam air *citronella* hangat untuk mengurangi pembengkakan dan nyeri.

3. Mengurangi stres

Citronella oil (minyak serai wangi) bermanfaat menenangkan pikiran dan berkontribusi mengurangi stres serta membuat tidur menjadi lebih nyenyak. Minyak serai ini bisa mendifusi di rumah, dipijatkan ke kulit atau menyemprotkannya ke sprei tempat tidur.

4. Membantu pencernaan

Citronella mendukung organ pencernaan dengan mengurangi peradangan dan membantu detoksifikasi hati, perut dan usus. Senyawa tertentu dalam *citronella* mencegah pertumbuhan bakteri dalam saluran pencernaan dan mempercepat penyembuhan penyakit serta luka. Minyak ini juga mampu membunuh organisme (parasit atau cacing) dalam usus kecil dan besar.

Citronella oil dapat ditelan dalam jumlah kecil untuk memberi perlindungan terhadap *leaky gut syndrome* (sindrom usus bocor), penyakit autoimun, infeksi pada usus, saluran kencing, kandung kemih, saluran pencernaan, prostat, dan ginjal.

5. Melancarkan detoksifikasi

Memiliki sifat sebagai agen *diaphoretic* (merangsang keringat) dan agen *diuretic* (merangsang berkemih), *citronella* dapat membantu upaya mengeluarkan racun dari tubuh. *Citronella essential oil* murni dapat diminum satu sampai dua tetes dengan madu dan lemon serta air hangat dapat meningkatkan peluruhan kelebihan lemak, sodium, asam urat dan racun.

6. Pengharum alami

Citronella memiliki aroma bersih dan segar, mirip aroma lemon atau *lemongrass*, oleh karena itu dapat digunakan sebagai bahan yang umum ditemukan dalam sabun, lilin, dupa, parfum dan kosmetik. *Citronella oil* dapat menghilangkan bau di rumah, pencuci piring, kulkas dan mesin cuci dengan mendifusikan atau menyemprotkan yang telah dilarutkan dengan air.

7. Melemaskan otot

Citronella oil (minyak serai wangi) membantu meningkatkan aliran darah sehingga menurunkan kejang otot, nyeri, kram dan pembengkakan. *Citronella oil* dipijatkan yang telah dicampur dengan carrier oil ke otot yang sakit atau ke daerah perut untuk meredakan kram PMS.

8. Pembersih dapur

Citronella oil (minyak serai wangi) terbukti memiliki sifat antijamur dan sifat antibakteri kuat sehingga membantu membersihkan dapur, kamar mandi atau permukaan rumah tangga tanpa perlu bahan kimia. Senyawa dalam minyak ini, termasuk methyl *isoeugenol*, efektif mengurangi patogen dari makanan dan bahkan bakteri berbahaya.

9. Perawatan kulit alami

Selain mencegah gigitan serangga, penelitian menunjukkan *citronella oil* juga bisa membantu menyembuhkan dermatitis, mengobati eksim, memperlambat penuaan kulit, menyembuhkan bekas gigitan serangga dan mengobati infeksi jamur pada kulit.

Minyak ini juga mampu mempercepat penyembuhan luka, dan mungkin bermanfaat menanggulangi jerawat, menyingkirkan kutil, mengobati bisul dan menyembuhkan bintik-bintik pada kulit terkait usia. Menggunakan *citronella oil* juga dapat membuat kulit tampak muda dan halus dan bahkan mengurangi kerusakan akibat paparan sinar matahari.

Sedikit *citronella oil* dikombinasikan dengan minyak kelapa dan pijatkan ke wajah, atau tambahkan 1-2 tetes pada air mandi atau air pencuci wajah. Sebagai obat rumah untuk jerawat satu tetes *citronella essential oil* murni, dioleskan pada jerawat tiga kali sehari dengan menggunakan kapas steril.

10. Menenangkan hewan peliharaan

Citronella oil (minyak serai wangi) efektif menenangkan anjing yang selalu menggonggong. Selain itu, menyemprotkan *citronella* pada furnitur atau spreng akan membuatnya bebas dari bakteri, hama dan bau.

Citronella oil ditambahkan beberapa tetes ke botol semprot bersama dengan air, kocok, dan semprotkan ke seluruh rumah dan barang-barang rumah tangga.

11. Sampo dan kondisioner alami

Salah satu penggunaan paling populer *citronella oil* (minyak serai wangi) adalah sebagai pembersih sekaligus kondisioner rambut. Minyak ini dapat membantu menghilangkan kelebihan minyak pada rambut sekaligus memerangi ketombe dan membuat rambut bersinar. Banyak orang juga merasa *citronella oil* menambah volume pada rambut, mencegah kusut dan membantu melindungi warna rambut dari kerusakan akibat matahari.

Citronella oil ditambahkan beberapa tetes ke sampo atau kondisioner, atau buat resep buatan sendiri menggunakan cleansing oil seperti minyak kelapa, yang juga bermanfaat bagi rambut.

4.10. Efek samping dan interaksi minyak atsiri *citronella*

U.S. *Environmental Protection Agency* menyatakan *citronella oil* memiliki sangat sedikit toksisitas saat digunakan sebagai obat antinyamuk yang dioleskan pada kulit. U.S. *Food & Drug Administration* juga menganggap *citronella oil* secara umum aman saat digunakan secara topikal. Bahkan, hampir tidak terdapat

laporan efek samping serius selama periode 60 tahun penggunaannya legal *citronella oil*.

Citronella oil sudah terbukti sangat aman bahkan untuk anak-anak dan kebanyakan orang dengan kulit sensitif. Meski begitu, tetap disarankan menggunakan *citronella oil* (minyak serai wangi) dalam jumlah kecil untuk memastikan kita tidak mengalami reaksi alergi seperti kemerahan, bengkak atau gatal-gatal.

Referensi

- Abimanyu, H., M. Hanafi, & Aiman, S., (2000), Studi Awal Pemisahan Komponen Minyak Serai Wangi dengan Distilasi Fraksinasi Vakum Packing Column, Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, Universitas Diponegoro.
- Adzani, S.A.A., (2012), Karakterisasi dan Uji Aktivitas Katalis Ni/Zeolit Hasil Preparasi pada Reaksi Hidrogenasi Perengkahan Katalitik Asam Oleat, Skripsi, Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Agustian, E., A. Sulaswatty, Tasrif, J.A. Laksmon, & B. Adilina, (2007), Pemisahan Sitronelal dari Minyak Serai Wangi Menggunakan Unit Fraksinasi Skala Bench, Jurnal Teknologi Industri Pertanian. 17(2), 49-53.
- Rifqi, A., Siadi, K. dan Sudarmin (2014) Isolasi sitronelal dari minyak serai dan oksidasinya dengan $KMnO_4$ dalam suasana basa. Indonesian Journal of Chemistry. 3(3), 198-202
- Aseptianova, Wijayanti, T.F., Nuraini, N. (2017), Efektifitas pemanfaatan tanaman sebagai insektisida elektrik untuk mengendalikan nyamuk penular penyakit DBD. Bioeksperimen. 3(2), 10-19.
- Bauer, K., Garbe D., Surburg H., (1997), Common Fragrance and Flavor Materials, Preparation, Properties and Uses, Third Edition, Wiley-VCH, Weinheim.
- Chaudhary, A., Nagaich, U., Gulati, N., Sharma, V.K., Khosa, V.K., (2012), Enhancement of solubilization and bioavailability of poorly soluble drugs by physical and chemical modifications: A recent review. Journal of Advanced Pharmacy Education & Research 2 (1) 32-67.

- Ekpenyong, C.E., Akpan, E.E., Nyoh, A. (2015), Ethnopharmacology, Phytochemistry, and Biological Activities of *Cymbopogon Citratus* (DC.) Stapf Extracts, Chinese Journal of Natural Medicines.13(5),321-37.
- Ekpenyong, C.E., Akpan, E.E. (2017) Use of *Cymbopogon Citratus* Essential Oil in Food Preservation: Recent Advances and Future Perspectives, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 57(12),2541-2559.
- Ferdayanti, M. Sastrohamidjojo, H, and Riyanto (2014). Pemekatan Sitronelal Dalam Minyak Serai Wangi (*Cymbopogon Nardus* L.) Dengan Fraksinasi Distilasi dan Identifikasi Menggunakan KG-SM, Indonesian Journal of Chemical Research, 2(1), 28-34.
- Fessenden, (1986), Kimia Organik Jilid 2 Edisi 3. Terjemahan A.H. Pudjaatmaka. Jakarta : Penerbit Erlangga
- Gomarjaya, H., Khomeini, A., Sanjaya., A.S. (2015) Pengaruh Jenis Pelarut Terhadap Rendemen Minyak Serai Wangi (*Cymbopogon winterianus*), EKUILIBRIUM 14(2), 57-61
- Guenther, E., (1990), Minyak Atsiri, Penerjemah S. Ketaren dan R. Mulyono J., Jilid IV A, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Harianingsih (2018) Optimasi Proses Sintesis Sitronelal Dari Serai Wangi (*Cymbopogon winterianus*) dengan Bantuan Gelombang Mikro Menggunakan Pelarut Metanol dan N-Heksan. Eksergi, 15(1), 1-4.
- Harianingsih., R., Wulandari., C., Harliyanto, CN., Andiani., 2017, Identifikasi GC-MS Ekstrak Minyak Atsiri dari Serai Wangi (*Cymbopogon winterianus*) Menggunakan Pelarut Metanol, Jurnal TECHNO (Jurnal fakultas Teknik)18(1), 23-27.
- Manh, H.D. Hue, D.T., Hieu, N.T.T., Tuyen, D.T.T., Tuyet, O.T. (2020), The Mosquito Larvicidal Activity of Essential Oils From *Cymbopogon* and *Eucalyptus* Species in Vietnam. Avicenna Journal of Medical Biotechnology. 11(2),128.
- Mandal, V., Mohan, Y., Hemalatha, S. (2007) Microwave Assisted Extraction-An Innovative and Promissing Extraction Tool for Medicinal Plant Research, Pharmacognosy Reviews, 1(1):11-18
- Saleem, M., Afza, N., Anwar, M.A., Hai, S.M.A., Ali, M.S., Shujaat, S., Ur-rahman, A. (2003) Chemistry and Biological Significance of Essential Oils of *Cymbopogon Citratus* From Pakistan. Natural Product Research. 17(3),159-163.

- Mutaqin, A., Sayekti, E., Destiarti, L. (2013), Identifikasi Hasil Reaksi Adisi Nukleofilik Sianida pada Gugus Karbonil Sitronelal Menggunakan Pereaksi Kalium Sianida. JKK, 2(1), 38-41.
- Pine, 1988, Organic Chemistry, Fourth Ed., McGraw-Hill, New York.
- Wulandari, R. dan Harianingsih (2018), transformasi sitronelal dari destilasi Fraksinasi Serai wangi menjadi Sitronelol menggunakan Katalis Zr^{4+} -Zeolit Beta, Inovasi Teknik Kimia 3(2), 23-26
- Moradi, S., Fazlali, A., Hamed, H. (2018), Microwave-Assisted Hydro-Distillation of Essential Oil From Rosemary: Comparison With Traditional Distillation. Avicenna Journal of Medical Biotechnology.10(1):22-28.
- Sastrohamidjojo, H., 1981, A Study of Some Indonesian Essential Oils, Dissertation, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Wijesekera, R.O.B., 1973, The Chemical Composition and Analysis of Citronella Oil, Journal of the National Science Council of Srilanka. 1, 67-81.

BAB 5

FORMULASI ANTINYAMUK

Penggunaan antinyamuk kimia telah menyebabkan banyak kerugian bagi pengguna dan menimbulkan efek merugikan bagi lingkungan. Penggunaan antinyamuk berbasis bahan alam seperti di paparkan sebelumnya termasuk salah satu strategi yang lebih aman untuk pengendalian nyamuk dan serangga. Penggunaan bahan alam yang aktif tidak dapat dengan mudah diaplikasikan dan bekerja secara efektif. Bab ini memberikan informasi tentang berbagai jenis formulasi sediaan antinyamuk berbasis produk bahan alam untuk mengendalikan nyamuk. Sediaan antinyamuk merupakan sediaan kesehatan rumah tangga yang digunakan untuk mencegah serangan nyamuk. Beberapa macam sediaan sudah dikembangkan untuk mendapatkan kemampuan antinyamuk yang berbeda. Jenis sediaan yang paling banyak beredar di pasaran adalah losion, pengharum ruangan, semprot, dan obat nyamuk bakar.

Pengendalian serangga dilingkungan rumah dan lingkungan terbuka seperti pantai, hutan dan rawa adalah menggunakan formulasi Anti serangga yang mungkin mengandung zat aktif yang alami dan sintetik. Namun meningkatnya masalah resistensi nyamuk dan residu insektisida bersama dengan kontaminasi ekosfer akibat penggunaan insektisida kimia sintetis yang tidak rasional, memerlukan penggantian dengan insektisida yang ramah dan *biodegradabel*. Kategori insektisida terbaru memiliki karakteristik yaitu, nonfitotoksik, memiliki target spesifik, tidak atau memiliki toksisitas yang rendah pada manusia, tersedia dalam jumlah melimpah, dan lebih *cost effective*.

Bioinsektisida atau insektisida alami yang berasal dari alam terbukti secara biologis membantu mengurangi populasi hama seperti nyamuk. Bioinsektisida termasuk ekstrak tanaman,

minyak atsiri, dan senyawa metabolit sekunder memiliki kerja selaras dengan antiinsektisida kimiawi. Namun penggunaan secara langsung masih menimbulkan beberapa masalah keefektifan, sehingga pada bagian ini akan di bahas lebih detail mengenai formulasi sediaan anti insektisida dalam hal ini antinyamuk yang efektif dan efisien.

5.1. Formulasi Antinyamuk Alami

Sangat sedikit antinyamuk baik kimia maupun alami yang dapat di aplikasikan langsung secara teknis. Sebagian dari bahan alami tersebut merupakan bahan berbahaya, lengket, berminyak bergetah, maupun dalam bentuk padat yang tidak larut dalam air sehingga memiliki tingkat kesulitan dalam penggunaan secara langsung. Sebagai contoh, minyak atsiri serai, minyak atsiri jeruk, dan minyak atsiri pinus sangat mudah menguap karena adanya gugus oksigen-monoterpena. Oleh karena itu, diperlukan suatu formulasi khusus dimana bahan-bahan potensial tersebut menjadi mudah digunakan.

Proses pencampuran bahan antinyamuk dengan bahan tambahan dalam sediaan seperti pembasah, penstabil, *deflokulator*, dll untuk menghasilkan dan memberikan sifat yang diinginkan disebut dengan formulasi. Tujuan lain formulasi adalah untuk meningkatkan efektivitas bahan aktif.

Keuntungan antinyamuk alami dibandingkan sintesis

- Antinyamuk alami bersifat biodegradable dan tidak meninggalkan residu berbahaya
- Lebih ramah lingkungan
- Antinyamuk alami bersifat non-fitotoksik dengan selektivitas yang lebih besar dan tertarget
- Antinyamuk alami memiliki serangkain konstituen yang memiki aksi sebagai antinyamuk, sehingga memungkinkan relative lebih sedikit menimbulkan resistensi.
- Keberadaan antinyamuk alami yang melimpah di alam lebih mudah untuk di peroleh.
- Lebih murah karena tidak diperlukan bahan-bahan mahal untuk sintesis.

5.2. Macam-macam formulasi sediaan antinyamuk

Formulasi sediaan antinyamuk ada 2 jenis formula yaitu konvensional dan modern.

5.2.1 Formulasi konvensional

Produk yang dipasarkan sebagai formulasi *spray* tersedia dalam dua jenis perangkat: satu dalam bentuk pompa yang digerakkan oleh tekanan dan yang lainnya, dalam bentuk perangkat gas propelan yang kita sebut sebagai aerosol. Sediaan semprot cocok untuk aplikasi antinyamuk di area tubuh yang luas kecuali di wajah karena risiko inspirasi dari tetesan produk. Sehingga, sediaan semproy pertama-tama harus diterapkan pada tangan dan diterapkan kembali ke wajah namun menghindari bagian mata, lubang hidung, mulut dan telinga karena sensitivitas pada bagian tersebut. Losion dalam bentuk larutan dan emulsi topikal cair juga cocok untuk mengaplikasikan Antinyamuk di daerah bagian tubuh yang luas. Sementara untuk penggunaan di lingkungan yang terbatas, sediaan krim dan gel antinyamuk, yang memiliki tekstur lebih kental, lebih cocok untuk diterapkan di bagian-bagian tertentu seperti lengan, tangan, leher, dan wajah. Selain itu sifat sediaan krim atau gel memiliki bioadesi yang lebih baik, dapat menghindari pengeringan kulit. Saat ini, sediaan antinyamuk yang beredar dipasaran memiliki kecenderungan juga mengandung sifat blok sinar matahari untuk menangkal sinar UV.

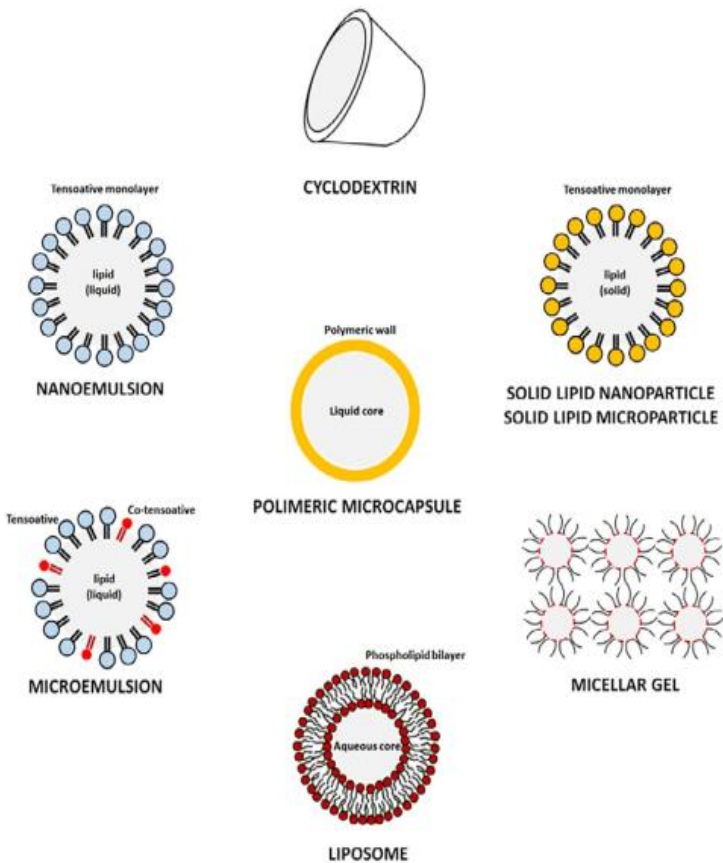
Sekarang ini terdapat kecenderungan untuk menggunakan antinyamuk dari bahan alami untuk pengembangan produk-produk antinyamuk. Produk antinyamuk *the repel essential insect repellent* adalah antinyamuk alami yang dipasarkan dalam bentuk pompa semprot dan mengandung minyak lemon *eucalyptus* dengan durasi waktu sampai 6 jam. *Buzz away insect repellent* adalah botol pompa semprot yang mengandung minyak atsiri serai dengan aksi sebagai antinyamuk. Informasi untuk beberapa produk yang tersedia di pasar dan terdaftar dijelaskan dalam Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Produk antinyamuk yang telah terdaftar di pasaran

Bahan aktif	Produsen nama dagang	Konsentrasi, Indikasi	Lama durasi
DEET	Cutter Max 100 Mosquito Repellent/Spectrum, A Div Of United Industries Corp.	<i>Spray pump</i> 98.11%. Dianjurkan untuk orang dewasa, wanita hamil dan untuk anak-anak jika diaplikasikan pada tangan orang dewasa dan kemudian meletakkannya pada anak.	10 jam
	Banana Boat Bite Block Insect Repellent And Sunblock For Kids/ Sun Pharmaceuticals Corp	Losion 10%. Direkomendasi untuk anak usia lebih dari 6 bulan dan untuk usia kurang dari 6 bulan dengan dibawah pengawasan dokter	Tidak dijelaskan
Citronella/ Rosemary	Nano Repellent/Nano Vectors Technology S.A	Semprotkan pompa dan krim. Mengandung minyak atsiri pada konsentrasi 10% yang dienkapsulasi dalam partikel nano lipid	2 jam
	Bug Block Sunscreen and Insect Repellent (SPF)/W.F. Young Ince	Losion konsentrasi 4,2%. Direkomendasikan untuk orang dewasa, wanita hamil dan anak-anak usia 10 tahun, di bawah 10 tahun jika diterapkan pada tangan orang dewasa dan lalu letakkan di atas anak. Gunakan pada anak di bawah usia 6 bulan diikuti oleh saran medis	1 jam
Citronella oil	Buzz Away Insect Repellent/Quantum Inc.	Pump spray 5%. Direkomendasikan untuk dewasa, wanita hamil dan anak-anak	2.5 jam
	Natrapel Sun/Tender Corp	Losion konsentrasi 4,2%. Direkomendasikan untuk orang dewasa, wanita hamil dan anak-anak usia 10 tahun, di bawah 10 tahun jika diterapkan pada tangan orang dewasa dan lalu letakkan di atas anak. Gunakan pada anak di bawah usia 6 bulan diikuti oleh saran medis	1 jam

5.2.2 Formulasi Modern

Formulasi baru untuk Anti serangga didasarkan pada sistem pelepasan terkontrol seperti mikropolimer, nanokapsul, mikro padat lipid dan nanopartikel, nanoemulsi/mikroemulsi, liposom, *micellar* hidrogel, dan *siklodekstrin*. Formulasi baru terdiri dari bahan-bahan seperti polimer atau lipid. Beberapa dari bahan-bahan ini mampu menahan pelepasan zat-zat antinyamuk yang memberikan aksi jangka panjang.



Gambar 5. 1 Proses melepaskan sistem aktif antinyamuk: lemak padat

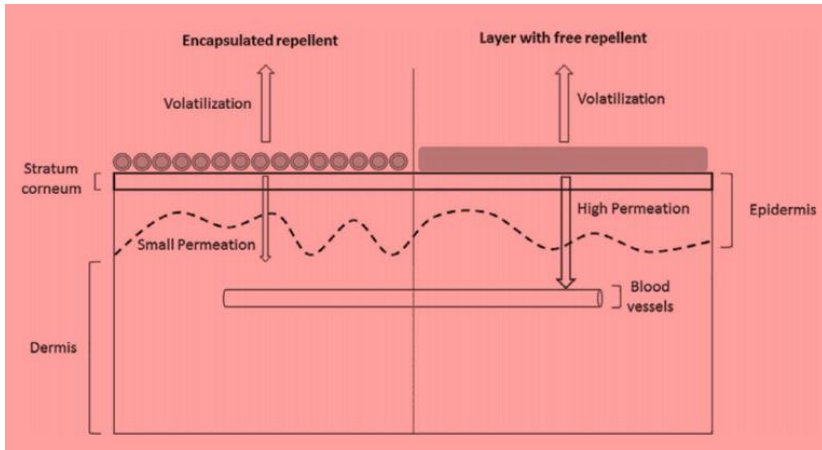
Nanoparticles (inti tersusun dari bahan lipid padat dan dibungkus oleh monolayer surfaktan), nanoemulsi dan

mikroemulsi (inti terdiri dari bahan lipid cair yang dibungkus oleh surfaktan monolayer), polimer mikro atau nanokapsul (inti dapat berupa bahan cair yang dibungkus oleh dinding polimer), liposom (inti berair yang terlibat oleh lapisan ganda *fosfolipid*), micellar *nanostructured* gel (misel yang dibentuk oleh surfaktan polimer dengan micellar groupins gel pembentukan struktur) dan siklodekstrin (kompleks inklusi) yang disajikan pada Gambar 5.1.

5.3 Polimer Mikrokapsul

Mikrokapsul (MCs) seperti yang dilihat pada Gambar 5.2 terdiri dari polimer alami atau sintetis. Ketika digunakan pada kulit, formulasi yang mengandung *controlled release system* (CRS) ini perlahan akan melepaskan zat aktif ke lingkungan dengan volatilisasi tinggi yang dapat meningkatkan durasi aksi agen antinyamuk, disamping mengurangi paparan aktif ke kulit sehingga menyebabkan permeasi kulit berubah. Formulasi antinyamuk harus memiliki mekanisme aksi secara topikal dengan retensi aktif di lapisan kulit superfisial, seperti stratum kornea, pada tempat aplikasi menunjukkan aktivitas antinyamuk.

Formulasi konvensional berbentuk *spray* mengandung agen antinyamuk yang mampu meresap dikulit mencapai dermis, di mana ia dapat diserap ke dalam aliran darah sehingga menimbulkan efek samping. Bahkan, enkapsulasi agen antinyamuk dalam bentuk di MCs dapat melindungi dari aktif akibat agresi dari lingkungan seperti cahaya, panas berlebih, oksigen dan kelembaban berlebihan yang dapat menurunkan aktivitas antinyamuk sintetis maupun natural. Mekanisme pelepasan MCs antinyamuk dapat terjadi melalui proses difusi dan penguapan bahan aktif dari matriks mikro dan nanokapsul yang diikuti dengan kerusakan struktur pembawa MCs setelah di aplikasi pada kulit.



Gambar 5. 2 Mikrokapsul polimer

Mikrokapsul polimer memungkinkan bagian permukaan yang lebih besar untuk bersentuhan dengan udara sehingga mengurangi kontak dengan kulit. Dengan demikian, pelepasan perlahan-lahan dari agen antinyamuk akibat volatilisasi lebih disukai dan permukaan kontak kulit berkurang. Formulasi bentuk cair akan membentuk film yang menutupi kulit dan dapat menembus kulit, seperti agen antinyamuk dalam bentuk bebas yang dapat mencapai dermis untuk terjadinya proses penyerapan darah.

Mikrokapsul polimer memiliki rongga yang mampu menyimpan zat yang mudah menguap seperti agen antinyamuk. Dinding mikrokapsul polimer tahan terhadap Anti difusi sehingga menyebabkan *release* obat yang lambat dan kerja berkepanjangan. Enkapsulasi dalam mikrokapsul polimer dapat mengurangi permeasi aktif, meningkatkan keamanan formulasi antinyamuk. Mikrokapsul membentuk sistem *shell* antinyamuk pada kulit dengan laju pelepasan lambat dan durasi yang lama sehingga mengurangi permeasi kulit. Tabel 5.2 berisi mikro polimerik utama dan nanokapsul untuk enkapsulasi Anti serangga. Bahan yang digunakan dalam produksi tersebut adalah polimer (sintesis dan alami) dan lipid yang memiliki biaya rendah, toksisitas rendah, biokompatibel, dan biodegradable.

Tabel 5. 2 Control release system antinyamuk komersial

<i>Control release system</i>	Bahan enkapsulasi	Senyawa aktif	Metode pembuatan
Polimer mikrokapsul dan nanopartikel			
Polimer mikrokapsul	Alginat	Eucalyptus oil	Kompleks coacervation
Polimer mikrokapsul	Alginat	DEPA	Teknik emulsi secara gelation
Polimer mikrokapsul	Chitosan	Limonene essential oil	Coacervation
Polimer mikrokapsul	Polyurethane	DEET	<i>Interfacial polimerization</i>
Nanopartikel	Sucralose, Ammonium glycyrrhizinate and soybeanphosphatidylcholine	Permethrin	Mikroemulsi dan liofilisasi
Solid lipid micro/nanopartikel dan lipospheres			
SLM	Spermaceti dan Polawax	DEET	Presipitasi
SLN	Polycaprolactone, sorbitan Monostearate and capric/caprylic triglyceride	Permenthin	Self-assemblying
Lipospheres	hydrogenated vegetable oil and lecithin soya	DEPA dan DEET	Emulsifikasi yang diikuti dengan pendinginan

<i>Control release system</i>	Bahan enkapsulasi	Senyawa aktif	Metode pembuatan
Nanoemulsi/Mikroemulsi			
Nanoemulsi	Tween 80 dan Span 80	Citronella oil	Kavitasi hidrodinamik
Mikroemulsi	Chremophor RH40, Texapon N70, Propilenglykol	p-Menthane-3,8-diol	Tenary phase diagram
Liposom			
Liposom	Phospolipid	DEET	-
Nanostruktur Hidrogel			
Micellar gel	Pluronic F127	DEET	High-speed homogenizer
Polimerik misel			
Polimerik misel (Nano-DEPA)	PEG 400, Soya lesitin dan tween 20	DEPA	Polimerisasi yang diikuti dengan metode emulsifikasi

Minyak kayu putih dalam bentuk sediaan mikrokapsul (MCs) alginate yang terkompleks dengan kalsium klorida sebagai agen kompleks. Diperoleh hasil bahwa pengaruh konsentrasi alginat, jumlah kalsium klorida, dan waktu homogenisasi terbukti memengaruhi ukuran mikrokapsul. Ukuran MCs meningkat dengan meningkatnya jumlah alginat dalam formulasi dan mengurangi jumlah zat pengompleks, sehingga mengurangi volume rongga dan meningkatkan elastisitas MCs. Penemuan ini menunjukan bahwa parameter ini dapat digunakan untuk mengubah permeabilitas MCs untuk meningkatkan waktu rilis/pelepasan agen antinyamuk.

Diethyl phenyl acetamide (DEPA) merupakan obat anti serangga yang terperangkap dalam polimer kalsium alginat hidrofilik yang dapat terurai secara hayati, sehingga meningkatkan efektivitas. Untuk enkapsulasi, teknik emulsi dilakukan dengan metode gelasi ionik. Berbagai uji karakterisasi dari mikrokapsul alginat yang mengandung DEPA yang terbentuk telah dilakukan. Persentase penjeratan DEPA yang diukur dalam sampel enkapsulasi adalah sekitar 70%. Berdasarkan studi rilis/pelepasan lambat DEPA dari biopolimer enkapsulasi (alginat) dalam alkohol isopropil juga dilakukan, yang menunjukkan pelepasan terus menerus dari komponen hingga jam ke lima.

Penelitian lain melakukan formulasi minyak esensial serai dalam bentuk mikrokapsul kitosan. Kecepatan rilis dan volatilisasai berkaitan dengan jumlah kitosan dan suhu. Kecepatan rilis minyak atsiri berkurang dengan meningkatnya jumlah polimer karena pembentukan dinding yang lebih tebal. Selain itu minyak esensial *Zanthoxylum Limonella* dalam gelatin (MCs) dengan metode konservasi untuk aplikasi sebagai agen pengusir nyamuk. Memiliki dinding mikrokapsul yang lebih kaku akibat *crossed-link* dengan *glutaraldehyde*. MCs diproduksi untuk mengontrol pelepasan aktif yang lama. Pengaruh kandungan minyak atsiri, kerapatan ikatan-silang dan konsentrasi polimer yang dienkapsulasi dalam pembentukan MCs menunjukkan

bahwa semua faktor ini mempengaruhi kecepatan keluar agen antinyamuk.

Minyak esensial serai dikemas dalam mikrokapsul (MC) gelatin. Dinding luar MCs dipertahankan dengan formaldehida untuk memungkinkan pembentukan ikatan silang yang dapat memperkeras dinding serta mengurangi rasio penguapan minyak esensial. Formulasi mikroenkapsulasi menjadi bentuk sediaan utama yang digunakan sebagai model pelepasan *in vitro* dan studi permeasi kulit menggunakan sel difusi dan membran alami. MCs meningkatkan efektivitas kerja bahan aktif, terbukti dapat mengurangi hingga 70% bahan aktif dan memiliki efektifitas yang sama dengan 100% bahan aktif. Disamping itu rasio pelepasan minyak esensial serai secara volatilisasi menunjukkan pelepasan diperpanjang hingga 10 jam. Struktur mikrokapsul memungkinkan sebagian besar permukaannya tetap kontak dengan udara sehingga dapat mengurangi kontak dengan kulit. Berdasarkan hal ini menyebabkan metode penguapan/volatilisasi untuk melepaskan agen antinyamuk lebih disukai dan menurunkan permeasi kulit.

Formulasi enkapsulasi minyak *Zanthoxylum Limonella* (MRZ) dengan aksi anti serangga dalam mikrokapsul polimer (MCs) berbasis alginat yang dilapisi gelatin dengan metode pengemulsi ganda dan penguapan pelarut. Dipelajari bagaimana variabel yang terkait dengan volume fase internal alginat, volume fase luar gelatin dan konsentrasi surfaktan mempengaruhi sifat MCs. MCs berhasil diformulasikan dan memiliki permukaan halus bentuk bola.

Minyak serai berhasil diformulasikan dalam *polyurethane* mikrokapsul dengan pelepasan terkontrol. Dalam studi ini, mekanisme fungsional nanopartikel titanium oksida pada permukaan mikrokapsul bertujuan untuk pelepasan terkontrol minyak esensial serai akibat radiasi matahari. Sinar matahari bertindak sebagai penggerak pelepasan agen antinyamuk tanpa intervensi manusia.

Nanopartikel titanium oksida diformulasikan dalam ukuran 10 nm dengan struktur mesopori. Metode polimerisasi antarmuka

digunakan untuk enkapsulasi nanopartikel titanium oksida dan minyak atsiri serai dalam mikrokapsul poliuretan. Hasil tes *repellency* menunjukkan bahwa paparan radiasi ultraviolet menginduksi pelepasan terkontrol mikrokapsul yang dimodifikasi dengan nanopartikel titanium oksida.

MCs *Polyhexamethylene biguanide* (PHMB) dan *Bovine serum albumin* (BSA) digunakan untuk enkapsulasi Picaridin (*Icaridin*). PHMB polimer memberikan sifat antimikroba ke mikrokapsul yang mengandung agen antinyamuk pada bagian intinya. Mikrokapsul menunjukkan aktivitas bakterisidal terhadap berbagai patogen dan dapat dimasukkan ke dalam formulasi atau diaplikasikan pada permukaan jaringan sebagai antimikroba ataupun antinyamuk.

Enkapsulasi minyak esensial *Alpinia galangal*, *Citrus grandis*, *Citrus aurantifolia* dan DEET dalam mikrokapsul polimer. Mikrokapsul polimer diproduksi dengan metode presipitasi antarmuka dengan *carboxymethylcellulose* (CMC) dan mengandung inti di mana bahan aktif berada. Mikrokapsul digunakan untuk mengurangi volatilisasi dan memperpanjang aksi antinyamuk. Mikrokapsul diformulasi dalam bentuk losion dan diaplikasikan secara topikal.

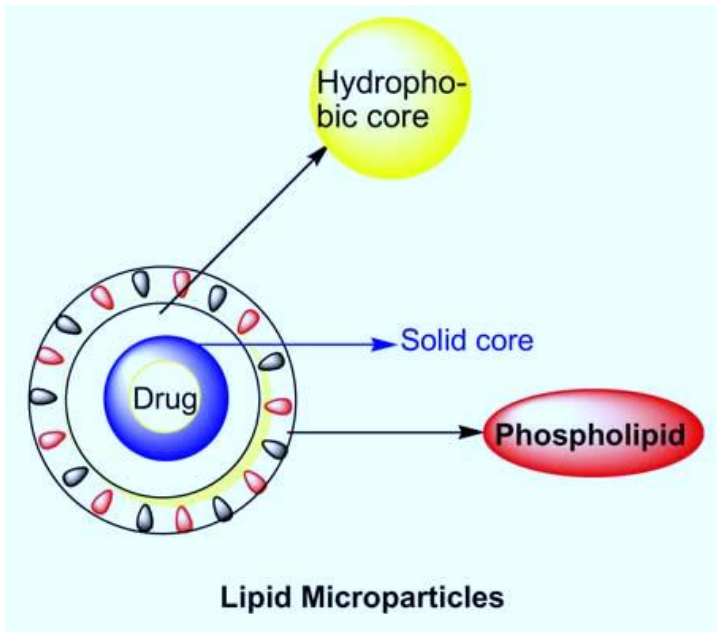
DEET digunakan sebagai kontrol positif. Aktivitas antinyamuk terhadap *Culex quinquefasciatus* menunjukkan bahwa durasi kerja mikroenkapsulasi minyak esensial tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan mikroenkapsulasi DEET 20%.

Semua formulasi mikroenkapsulasi yang mengandung minyak atsiri atau DEET memiliki efektivitas antinyamuk sebesar 98% berlangsung hingga 4 jam. Namun, formulasi mikroenkapsulasi minyak esensial memiliki efektivitas antinyamuk sebesar 100% selama 2 jam. Kontrol formulasi yaitu sediaan paten beredar dipasaran, dalam hal ini menggunakan KAPS®, MozAway®, dan BioZ Natural® yang mengandung minyak citronella memiliki efektivitas Antinyamuk sebesar 100% selama 1 jam. Temuan ini menunjukkan bahwa mikroenkapsulasi meningkatkan efektivitas Antinyamuk dengan bahan aktif minyak

esensial, sehingga formulasi ini potensial dikembangkan kedepannya.

5.4 *Solid lipid micro dan nanopartikel*

Solid lipid nanoparticle (SLN) (Gambar 5.3.) adalah generasi baru emulsi lipid yang berukuran submikron dimana lipid cair (minyak) telah digantikan oleh lemak padat. SLN menawarkan sifat unik seperti ukuran partikel yang relatif kecil, luas area permukaan yang besar, tingkat penyerapan obat yang tinggi serta berpotensi sebagai pembawa atau sediaan yang dapat meningkatkan kinerja obat-obatan dan bahan *nutraceutical* lainnya. SLN merupakan sistem pembawa alternatif untuk pembawa koloid lainnya (emulsi, liposom dan polimer mikrodan nanopartikel) yang dapat digunakan untuk meningkatkan ketersediaan hayati dari obat dengan kelarutan yang rendah.



Gambar 5. 3 Struktur solid lipid

SLM dan SLN berbeda dari sistem pembawa lipid lainnya yang dibentuk oleh matriks lipid padat. SLM dan SLN adalah sistem alternatif pembawa liposom dan nanoemulsi yang memiliki beberapa keunggulan: pelepasan aktif lambat di kulit, metode pembuatan yang sederhana dengan menggunakan lipid biokompatibel, biokompatibilitas kulit yang sangat baik. Demikian pula pada mikrokapsul polimer, SLM dan SLN membentuk reservoir Antinyamuk pada kulit untuk mengontrol pelepasan bahan aktif dengan lambat melalui penguapan. Partikel ini dapat memperpanjang pelepasan Antinyamuk dengan menghambat permeasi kulit.

Enkapsulasi 6-20% DEET dalam SLM dibandingkan dalam minyak sayur terhidrogenasi yang masing-masing menggunakan lesitin dengan teknik presipitasi. SLM mengandung DEET dikembangkan dengan tujuan agar memiliki efektivitas lama terhadap *Aedes aegypti* dan *Anopheles stephensi*. Studi permeasi kulit in vivo dilakukan pada kelinci terhadap DEET 10% dalam formula SLM. Kontrol formula menggunakan DEET 10% dalam larutan etanol. Percobaan permeasi menunjukkan bahwa bioavailabilitas DEET 10% dalam larutan etanol adalah 45%, namun SLM mampu mengurangi ketersediaan hayati darah hingga 16% sehingga membuat produk yang dikembangkan lebih aman. Disisi lain DEET 10% dalam SLN yang menggunakan matriks lipid asam *stearate* dan *tween 80* sebagai stabilizer. Produksi SLN dibuat dalam tekanan tinggi. SLN memiliki ukuran nanometrik di bawah 500 nm, efisiensi enkapsulasi tinggi dan stabilitas yang sangat baik.

Enkapsulasi DEET sebesar 15% dalam SLM menggunakan Spermaceti® dan Polawax® yang bertujuan untuk pengurangan permeasi dan peningkatan aktivitas Antinyamuk. Metode enkapsulasi yang digunakan adalah *coacervation* sederhana. Mikroenkapsulasi DEET ditandai dengan karbon 14 (C-14) untuk studi permeasi kulit dan waktu volatilisasi. Formulasi kontrol yang digunakan adalah larutan etanol dengan DEET-C14 15%. Mikroenkapsulasi DEET membuat formulasi lebih aman dengan mengurangi permeasi kulit sebanyak 35% dibandingkan dengan

formulasi kontrol. mikroenkapsulasi DEET dan kontrol menunjukkan radioaktivitas yang setara di kulit setelah 24 jam, hal ini menunjukkan bahwa penguapan mikropartikel DEET setara dengan formulasi kontrol yang larutan etanol. Tingkat penguapan agen Antinyamuk adalah faktor penting untuk melihat efektivitas terhadap nyamuk. Formulasi mikroenkapsulasi menjadi lebih aman karena permeasi kulit berkurang.

Enkapsulasi DEET dalam SLN dengan lipid berupa asam stearat dengan metode ultrasonifikasi. DEET dienkapsulasi pada konsentrasi 10%. Formulasi kontrol berupa emulsi biasa. Studi permease dilakukan untuk penilaian keamanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa SLN memiliki ukuran 302 nm dengan indeks polydispersity rendah. Studi permeasi menunjukkan bahwa SLN mengurangi permeasi dan meningkatkan keamanan agen Antinyamuk dibandingkan dengan formula kontrol.

Enkapsulasi DEET pada konsentrasi 15% dalam bentuk SLM diperoleh dengan metode presipitasi antarmuka. Menunjukkan bahwa mikroenkapsulasi DEET mengurangi permeasi hingga 30% dibandingkan dengan kontrol formula. Selain itu, enkapsulasi meningkatkan waktu penguapan menjadi 48 jam lebih Panjang di bandingkan kontrol yang hanya 15 jam penguapan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa enkapsulasi memiliki banyak dampak positif yaitu melalui berkurangnya permeasi kulit dan meningkatnya waktu penguapan agen antinyamuk.

5.5 Emulsi

Agen antinyamuk sintetis dan alami memiliki sifat berminyak dan sedikit larut dalam air dalam konsentrasi aktifnya. Kebanyakan antinyamuk akan aktif dalam konsentrasi di atas 10%. Dengan demikian, mereka membutuhkan *carrier* yang dapat diterima secara fisiologis untuk pemberian melalui kulit. Sebagian besar formulasi klasik di pasar dalam bentuk *lotion* dan larutan.

Larutan *spray* mengandung alkohol dan propilen glikol dalam jumlah besar untuk melarutkan agen antinyamuk. Namun, ketika dioleskan ke kulit dapat menyebabkan iritasi dan kulit kering. Selain itu, alkohol dapat mempercepat penguapan sehingga permeasi kulit menjadi besar dan tidak diinginkan. Disisi

lain *lotion* adalah emulsi klasik yang mengandung tetesan dalam ukuran nanometrik tidak stabil sehingga memerlukan pengocokan sebelum digunakan. Masalah formulasi klasik nanoemulsi telah dikembangkan dalam pembuatan formulasi antinyamuk berstruktur nano. Nanoemulsi telah digunakan untuk dispersi lipofilik aktif air dalam bentuk tetesan nanometrik. Terbukti memiliki stabilitas yang lebih tinggi di bandingkan emulsi klasik. Keuntungan lainnya, nanoemulsi hadir dengan viskositas rendah dan bisa mudah menyebar di kulit, dengan penampilan sensorik dan estetika yang sangat baik, tanpa meninggalkan warna pada kulit.

5.6 Mikroemulsi

Mikroemulsi adalah disperse yang secara *isotropic* terdiri dari dua campuran yang tidak dapat bercampur, memiliki ukuran tetesan kurang dari 0,1 μm , dan secara termodinamik bersifat stabil dan transparan. Mikroemulsi membentuk misel fase tunggal dari tiga komponen, yaitu minyak atau padatan yang larut dalam pelarut organik, air dan surfaktan/cosurfaktan. Dimana fase non-air yang mengandung bahan aktif terlarut didalam fase air sebagai pembawa karena adanya surfaktan yang membantu menurunkan tegangan antar muka kedua cairan tersebut. Dalam pembuatan mikroemulsi melibatkan penambahan dua jenis surfaktan yaitu surfaktan larut air (anionik dengan nilai Hidrofil Lipofil Balance (HLB) tinggi) dan surfaktan tidak larut air (ionic dengan nilai HLB rendah) serta co-surfaktan seperti butanol, hexanol, dll.

Dibandingkan dengan emulsi minyak dalam air (o/w), mikroemulsi dapat mengandung total surfaktan hingga 10-30%. Sebagai contoh, minyak kayu serai memiliki potensi kuat sebagai antinyamuk namun sifat minyaknya sangat cepat menguap. Dengan memformulasikan minyak serai dalam bentuk mikroemulsi berupa sistem agregat surfaktan dapat mengurangi volatilitas senyawa dan meningkatkan efektivitasnya.

Nanoemulsi yang mengandung minyak serai, minyak kemangi berbulu, dan minyak akar wangi disiapkan melalui metode homogenisasi bertekanan tinggi dan Montanov 82. Tujuan

dari formulasi ini adalah untuk mendapatkan nanoemulsion yang stabil dengan minyak esensial yang didesain dengan pelepasan diperpanjang untuk antinyamuk *Aedes aegypti*. Formulasi dievaluasi dalam hal ukuran tetesan, stabilitas, rilis studi dan studi efikasi vivo terhadap nyamuk. Nanoemulsion yang paling optimal memiliki ukuran 153,2 nm dengan tutup dan distribusi ukuran monomodal, potensial zeta negatif (-51,3 mV) serta stabilitas yang sangat baik. Formulasi menunjukkan pelepasan *limonene* yang diperpanjang dan uji in vivo studi efikasi menunjukkan bahwa formulasi optimal (kombinasi minyak) menunjukkan 4,7 jam durasi efek antinyamuk terhadap *Aedes aegypti*.

5.7 Nanoemulsi

Nanoemulsi adalah dispersi minyak dalam air dari fase minyak dan air dalam kombinasi dengan surfaktan dengan ukuran tetesan antara 100 hingga 600 nm. Sediaan nanoemulsi memiliki stabilitas secara termodinamik dan kinetik. Sebagai contoh, nanoemulsi minyak *citronella*, minyak kemangi, minyak akar wangi dengan ukuran tetesan rata-rata berkisar antara 150-220 nm menunjukkan aktivitas antinyamuk yang lebih tahan lama terhadap *Aedes aegypti*.

Nanoemulsi dengan bahan dasar minyak kayu putih dan ekstrak air tanaman *Pogamia glabra* dan *Jatropha curcas* telah dikembangkan menjadi sediaan antinyamuk *long action* dan *targeted*.

Keuntungan:

- Mikroemulsi dan nanoemulsi merupakan sediaan berbasis air
- Mengurangi penggunaan pelarut organik yang bersifat toksik
- Mudah diaplikasikan
- Ukuran partikel nanoemulsi sangat rendah menyebabkan luas permukaan lebih besar dan kontak dengan nyamuk lebih intens, sehingga menyebabkan efektifitasnya meningkat.

Kekurangan:

- Konsentrasi surfaktan yang digunakan tinggi

Nanoemulsi dari minyak andiroba menggunakan surfaktan Kolliphor ELP dan inversi fasa dengan metode emulsifikasi suhu (PIT). Formulasi dikembangkan dari minyak andiroba, yang menunjukkan aktivitas Anti serangga. Nanoemulsi di formulasi selanjutnya dilakukan dikarakterisasi berdasarkan studi sitotoksitas pada sel normal (*fibroblast* dan garis keturunan NIH/3T3), genotoksitas dan hematotoksitas. Nanoemulsi berukuran 142,5 nm dengan indeks polidispersi rendah (0,272) dan stabilitas yang baik di suhu ruang. Minyak andiroba dalam formulasi berstruktur nano bersifat sitotoksik pada konsentrasi tinggi. Namun, dalam bentuk nanoemulsi dapat mengurangi tingkat toksisitasnya. Minyak *Andiroba* dan nanoemulsion-nya tidak bersifat genotoksik dan hematotoksik. Meskipun tes biologis dan toksikologis minyak andiroba dan nanoemulsion merupakan studi awal, namun dapat di tarik kesimpulan bahwa penggunaan minyak dalam struktur nano dibidang farmasi dan kosmetik cukup menjanjikan.

5.8 Mikroenkapsulasi

Minyak mimba dan minyak karanja terbukti sebagai antinyamuk yang efektif. Salah satu pengembangan kombinasi kedua minyak tersebut dengan memformulasikan dalam bentuk enkapsulasi. Enkapsulasi minyak mimba dan karanja dilakukan dengan teknik polimerisasi antarmuka dimana *beads* kalsium alginate digabungkan dengan minyak secara individu dan dalam kombinasi. *Beads* yang terbentuk dikeringkan pada suhu 45°C selama 2 hari dan digunakan untuk melakukan uji bioefektifitas terhadap larva *Aedes aegypti*.

Tabel 5.3 menunjukkan sinergisitas efek larvicidal kombinasi kedua minyak tersebut. Kematian larva *Aedes aegypti* terlihat lebih banyak pada pemberian kombinasi, dibandingkan pemberian tunggal. Menariknya, nilai LC50 juga ditemukan lebih rendah pada kombinasi. Disamping itu analisa dengan FTIR

menunjukkan bahwa bahan aktif stabil dalam *beads* kalsium alginate. Formula ini juga memiliki masa simpan lebih dari 6 bulan dan sangat potensial untuk dikomersialkan.

Tabel 5. 3 Sinergisitas efek larvicidal

No	Jumlah beads kalsium alginate (mg)	% kematian dalam 48 jam		Kombinasi M+K
		Konsentrasi minyak mimba (M)	Konsentrasi minyak karanja (K)	
1	100	10,00	20,00	43,33
2	150	13,33	43,33	53,33
3	200	16,66	46,67	66,67
4	250	20,00	53,33	73,33
5	300	23,33	73,33	86,67
6	Kontrol	0	0	0

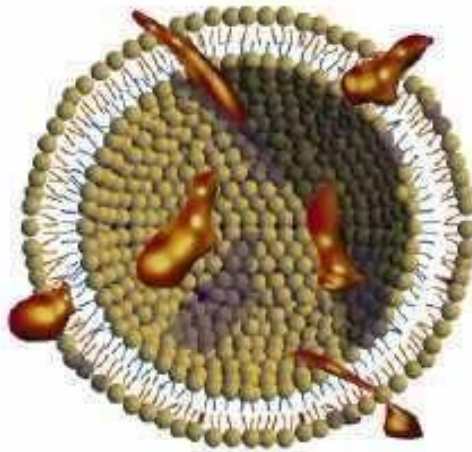
$LC_{50} M = 5.1 \text{ mg/L}$, $LC_{50} K = 4.0 \text{ mg/L}$, $LC_{50} M+K = 3.1 \text{ mg/L}$.

5.9 Liposom

Liposom merupakan partikel berbentuk vesikel yang dindingnya tersusun atas molekul lipid (konstituen utamanya adalah fosfolipid) lapis ganda yang membungkus kompartemen cairan didalamnya. Fosfolipid merupakan molekul yang memiliki kepala dan ekor. Bagian kepala merupakan bagian yang bersifat hidrofilik atau menarik air. Sedangkan bagian ekor merupakan bagian yang menolak air karena terbuat dari hidrokarbon. Saat membran fosfolipid terdispersi ke dalam media cair, mereka dapat menyusun ulang dirinya sendiri menjadi partikel kecil bentuk bulat yang didalamnya terdapat *droplet* cairan dengan membran lapis ganda atau lapis tunggal. Inilah yang disebut sebagai liposom. Vesikel yang terbentuk pun memiliki ukuran yang beragam.

Liposom dapat dibuat dari bahan alami yang berupa turunan alami fosfolipid yang dicampur dengan rantai lemak (misalkan fosfatidilkolin) dengan cara didispersikan. Karena terbuat dari bahan alami, sehingga membran yang terbentuk menyerupai lipid membran sel dan bersifat biokompatibel (biodegradasi, nontoksik, dan tidak memicu respon imun). Dalam fungsinya sebagai pengantar obat, selain meningkatkan efektivitas

kerja obat dan biokompatibel, liposom juga melindungi jaringan yang sehat dari pengaruh obat toksik. Kelebihan inilah yang membuat liposom menjadi pilihan yang aman dan efektif dalam pemanfaatannya di dunia medis. Struktur liposom digambarkan secara skematis pada Gambar 5.4.



Gambar 5. 4 Vesikel dwilapis liposom

Liposom adalah struktur vesikular yang dibentuk oleh inti air hidrofilik dan bilayer fosfolipid lipofilik. Karena komposisi tersebut membuat liposom bersifat biokompatibel dan sangat baik untuk pemberian obat melalui kulit. Liposom, mampu mengabsorpsi obat hidrofilik dan lipofilik ke dalam matriks kompartemen. Ketika diberikan ke kulit, mereka membentuk suatu sistem penyimpanan yang dilepaskan perlahan.

Liposom sangat ideal untuk enkapsulasi agen antinyamuk yang memiliki keuntungan-keuntungan berikut: pengurangan laju penguapan, pelepasan yang berkepanjangan, peningkatan durasi waktu aksi, pengurangan permeasi kulit dan toksisitas. *Sawyer* mengkomersilkan DEET yang dienkapsulasi dalam sediaan liposom dengan nama dagang ULTRA 30™. Produk ini mengandung liposom DEET 30% dengan *sensory* dan estetika yang sangat baik. Durasi aksi lebih dari 10 jam dan juga memiliki

bau yang mild. Karena keuntungan enkapsulasi tersebut di atas DEET dalam liposom menjadikan produk ini menjadi lebih aman untuk digunakan pada manusia.

5.10 Sediaan untuk Pelepasan kontrol

Teknologi ini dapat mengontrol pelepasan bahan aktif yang dipicu atau dikendalikan oleh suatu sistem tertentu untuk menargetkan efek jangka panjang terhadap nyamuk. Empat kategori utama dari pelepasan bahan terkontrol yaitu: *coated mosquito granul*, sistem matrik mengandung partikel yang terperangkap secara fisik, sistem polimer yang mengandung partikel terikat secara kovalen, dan membrane polimer yang menampung bahan antinyamuk seperti mikroenkapsulasi. Teknik mikroenkapsulasi telah menjadi trend dalam beberapa tahun terkahir. Teknik ini menggunakan prinsip polimerisasi antarmuka. Polimerisasi antarmuka terjadi pada antarmuka komponen aktif yang akan dienkapsulasi. Oleh karena itu laju pelepasan antinyamuk dapat dikendalikan oleh proses difusi.

5.11 Gel antinyamuk

Hidrogel berbasis Pluronic F127 adalah misel berstruktur nanogel, yang telah digunakan sebagai carrier Antinyamuk. Pluronic F127 adalah suatu surfaktan polimer yang mampu membentuk misel gel untuk menggabungkan bagian aktif lipofilik dari agen antinyamuk sintesis dan alami. Polimer tersebut telah digunakan untuk meningkatkan durasi waktu aksi agen antinyamuk karena polimer tersebut membentuk film pada kulit, yang menghambat penguapan zat aktif. Selain itu, karena pelepasan agen antinyamuk diperpanjang, laju absorpsi kulit berkurang dibandingkan dengan formulasi klasik dalam bentuk DEET 10% membentuk gel dengan polimer Pluronic F127 15%. Uji permeasi kulit *ex vivo* dilakukan pada kulit telinga babi untuk evaluasi keamanan bentuk sediaan gel polimer. Dalam pengujian kontrol formulasi digunakan 10% DEET dalam larutan etanol.

Studi permeasi menunjukkan bahwa formulasi yang dikembangkan meningkatkan waktu retensi hingga 60% pada kulit sedangkan kontrol formula hanya memiliki waktu retensi

40%. Disisi lain, gel misel memberikan permeasi hanya 1,66% dari Dosis DEET, fenomena ini dianggap sebagai formulasi yang lebih aman daripada kontrol formula dimana meningkatkan permease hingga 39,4% DEET. Jadi, Gel Pluronic F127 dapat dianggap sebagai pembawa carrier yang menjanjikan untuk penghantaran DEET melalui peningkatan waktu retensi kulit dan mengurangi permeasi kulit secara signifikan.

Sebanyak 30% gel nano-struktur F127 Pluronic mengandung 12,5% IR3535 (Ethyl butylacetylaminopropionate) (EB) untuk digunakan sebagai antinyamuk pada anak di atas usia 6 bulan. Studi sitotoksisitas dan permeasi kulit dilakukan untuk mengevaluasi keamanan. Kontrol formula yang digunakan dalam studi permeasi adalah formula referensi yang tersedia secara komersial dalam bentuk losion antinyamuk yang mengandung 12,5% EB. Gel Pluronic F127 yang mengandung 12,5% EB memiliki ukuran tetesan 204 nm dan studi reologi menunjukkan bahwa formulasi tersebut mengandung gel dengan karakteristik ketika dioleskan pada kulit akan berbentuk film kental homogen yang mampu secara perlahan melepaskan agen antinyamuk. Namun pada kontrol formula tidak menunjukkan fenomena tersebut. Studi sitotoksisitas telah menunjukkan bahwa gel memiliki efek sitotoksisitas dan dapat digunakan dengan aman. Studi permeasi menunjukkan bahwa kontrol formula meningkatkan permeasi kulit. Namun, sediaan dalam bentuk gel meningkatkan waktu retensi dan mencegah permease kulit. Hasilnya menunjukkan bahwa gel berstruktur nano mengandung 12,5% EB memiliki profil studi sitotoksisitas dan permeasi yang aman, sehingga dapat disimpulkan sebagai formula antinyamuk yang menjanjikan.

Selain gel yang di aplikasikan langsung pada kulit terdapat bentuk sediaan antinyamuk berbentuk gel untuk ruangan yang mempunyai bentuk seperti Gambar 5.5. Prinsip aktivitas sediaan tersebut dengan mengandalkan *volatilisasi* atau penguapan senyawa aktif baik berupa minyak *essential* maupun senyawa kimia.



Gambar 5. 5 Gel antinyamuk

Hal yang berbeda dengan gel antinyamuk semi alami yang terbuat dari minyak atsiri dengan formulasi yang sudah dibuat dan diujikan aktivitasnya. Pembuatan gel antinyamuk menggunakan sejumlah ekstrak serta minyak atsiri yang tersedia, dengan mencampurkan konstituen pada Tabel 5.4. Total bahan aktif dalam gel adalah 16% (V/V%). Air suling ditambahkan ke dalam campuran sampai volume akhir 400,00 ml dan semua bahan dasar dicampur menggunakan pengaduk mekanis selama satu jam. Terakhir, campuran dituang ke dalam wadah plastik dan gel dibiarkan mengeras.

Tabel 5. 4 Formulasi dalam Gel antinyamuk untuk Tangan (Ranasinghe, et al., 2016)

Elemen	Jumlah
Minyak atsiri serai	10 mL
Minyak atsiri kayu putih	10 mL
Minyak atsiri tulsi	3 mL
Minyak atsiri cengkeh	7 mL
Minyak atsiri kulit jeruk manis	6 mL
Minyak atsiri kunyit	4 mL
Ekstrak Nika	12 mL
Ekstrak neem	12 mL
Heksana	6 mL
Etanol	5 mL
Carbapol	5 g
Propilen glikol	20 mL
Methyl paraban	0,5 mL
Tween 80	6,0 mL

Trietanolamina	pH menjadi 7
Air sulingan	293,5 mL

5.12 Cairan antinyamuk untuk Semprot

Persiapan pembuatan antinyamuk jenis semprotan dapat dilakukan dengan menggunakan sejumlah ekstrak dan minyak atsiri yang tersedia. Cairan dibuat dengan mencampurkan konstituen pada Tabel 5.5. Hal ini berbeda dengan formulasi di gel bahwa tidak ada 4 bahan berikut yang tidak ditemukan saat membuat cairan semprot yaitu carbapol. Propilen glikol, methyl paraben dan trietanoamin

Total bahan aktif dalam semprotan adalah 16% (V/V %). Air suling ditambahkan ke dalam campuran sampai volume akhir 400,00 mL dan semua bahan penyusunnya dicampur menggunakan pengaduk magnet selama satu jam. Akhirnya campuran itu dituang ke dalam botol.

Tabel 5. 5 Formulasi dalam Gel Pengusir Nyamuk
(Ranasinghe et al., 2016)

Elemen	Jumlah
Minyak atsiri serai	10.00 mL
Minyak atsiri kayu putih	10.00mL
Minyak atsiri tulsi	3.00 mL
Minyak atsiri cengkeh	7.00 mL
Minyak atsiri kulit jeruk manis	6.00 mL
Minyak atsiri kunyit	4,00 mL
Ekstrak Nika	12,00 mL
Ekstrak neem	12,00 mL
Heksana	6,00 mL
Etanol	100,00 mL
Tween 80	30 mL
Air sulingan	200 mL

Pompa semprot antinyamuk merupakan alat yang digunakan untuk memecah suatu cairan, suspensi atau cairan menjadi butiran kecil (*droplets*) sehingga digunakan untuk memberantas nyamuk. Alat ini sangat cocok digunakan untuk membunuh virus atau bakteri. Sediaan antinyamuk paling banyak diformulasikan dalam bentuk semprotan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.6., hal ini disebabkan keuntungan sediaan *spray* yg cepat

menyebar, sehingga mampu meningkatkan *volatilisasi* bahan aktif dan cukup mudah untuk diaplikasikan.



Gambar 5. 6 Semprotan antinyamuk

Referensi

- Abagli, A.Z., Alavo, T.B.C., Avlessi, F., Moudachirou, M., (2012). Potential of the Bush Mint, *Hyptis suaveolens* essential oil for personal protection against mosquito biting. *Journal of the American Mosquito Control Association*. 28, 15–19.
- Agrawal, N., Maddikeri, G.L., Pandit, A.B. (2017). Sustained release formulations of citronella oil nanoemulsion using cavitation techniques. *Ultrasonics Sonochemistry*. 36, 367–374.
- Akhtar, Y., Pages, E., Stevens, A., Bradbury, R., Da Camara, C.A.G., Isman, M.B. (2012). Effect of chemical complexity of essential oils on feeding deterrence in larvae of the cabbage looper. *Physiological Entomology*. 37, 81–91.
- Anjali, C.H., Khan, S., Margulis-Goshen, K., Magdassi, S., Mukherjee, A., Chandrasekaran, N. (2010). Formulation of water-dispersible nanopermethrin for larvicidal applications. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 73, 1932–1936.
- Appel, K.E., Gundert-Remy, U., Fischer, H., Faulde, M., Mross, K.G., Letzel, S., Rossbach, B. (2008). Risk assessment of Bundeswehr (German Federal Armed Forces) permethrin-

- impregnated battle dress uniforms (BDU). *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 211, 88–104.
- Ashitani, T., Garboui, S.S., Schubert, F., Vongsombath, C., Liblikas, I., Pålsson, K., BorgKarlson, A.K. (2015) Activity studies of sesquiterpene oxides and sulfides from the plant *Hyptis suaveolens* (Lamiaceae) and its repellency on *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae). *Experimental and Applied Acarology* 67, 595–606.
- Balaji, A.P.B., Mishra, P., Suresh Kumar, R.S., Mukherjee, A., Chandrasekaran, N. (2015). Nanoformulation of poly(ethylene glycol) polymerized organic insect repellent by PIT emulsification method and its application for Japanese encephalitis vector control. *Colloids Surfaces B Biointerfaces* 128, 370–378.
- Balaji, A.P.B., Ashu, A., Manigandan, S., Sastry, T.P., Mukherjee, A., Chandrasekaran, N. (2017). Polymeric nanoencapsulation of insect repellent: evaluation of its bioefficacy on *Culex quinquefasciatus* mosquito population and effective impregnation onto cotton fabrics for insect repellent clothing Polymeric nanoencapsulation of insect repellent. *Journal of King Saud University*. 29, 517–527.
- Banerjee, S., Chattopadhyay, P., Ghosh, A., Goyary, D., Karmakar, S., Veer, V., 2013. Influence of process variables on essential oil microcapsule properties by carbohydrate polymer-protein blends. *Carbohydr. Polym.* 93, 691–697.
- Bar H, Bhui K, Sahoo D et al (2009) Green synthesis of silver nanoparticles using seed extract of *Jatropha curcas*. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 348, 212–216
- Barnard, D.R., (1999). Repellency of essential oils to mosquitoes (Diptera: Culicidae). *Journal of Medical Entomology*. 36, 625–629.
- Barradas, T.N., Lopes, L.M.A., Ricci, E., De Holanda, E., Silva, K.G., Mansur, C.R.E. (2013) Development and characterization of micellar systems for application as insect repellents. *International Journal of Pharmaceutics*. 454, 633–640.
- Beestman GB (2003) Controlled release in crop protection: past experience and future potential. *Chem crop Prot prog & prosp Sci Reg* 272-279. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, Weinheim

- Bouchernal K, Brianeon S, Perrier, E., Fessi, H. (2004) Nano-emulsion formulation using spontaneous emulsification, solvent oil and surfactant optimization. *International Journal of Pharmacology*. 280, 41–25
- Broschard, T.H., Bohlmann, A.M., Konietzny, S., Schauer, and U.M.D., Dekant, W. (2013). Biotransformation and toxicokinetics of the insect repellent IR3535® in male and female human subjects after dermal exposure. *Toxicology Letters*. 218, 246–252.
- Cal, K. and Centkowska, K. (2008) Use of cyclodextrins in topical formulations: Practical aspects. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 68, 467–478
- Casida, J.E., 1980. Pyrethrum flowers and pyrethroid insecticides. *Environ. Health Perspect*. 34, 189-202.
- Castillo, R.M., Stashenko, E., Duque, J.E. (2017). Insecticidal and repellent activity of several plant-derived essential oils against *Aedes aegypti*. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 33, 25–35.
- Champakaew, D., Junkum, A., Chaithong, U., Jitpakdi, A., Riyong, D., Sanghong, R., Intirach, J., Muangmoon, R., Chansang, A., Tuetun, B., and Pitasawat, B., 2015. *Angelica sinensis* (Umbelliferae) with proven repellent properties against *Aedes aegypti*, the primary dengue fever vector in Thailand. *Parasitology Research*. 114, 2187–2198.
- Chang, C.P. and Dobashi, T., (2003). Preparation of alginate complex capsules containing eucalyptus essential oil and its controlled release. *Colloids Surfaces B Biointerfaces* 32, 257–262.
- Chittiteeranon, P., Soontaros, S., and Pongsawasdi, P. (2007). Preparation and characterization of inclusion complexes containing fixolide, a synthetic musk fragrance and cyclodextrins. *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*. 57, 69–73.
- Cilek, J.E., Petersen, J.L., and Hallmon, C.E. (2004) Comparative efficacy of IR3535 and deet as repellents against adult *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus*. *Journal of the American Mosquito Control Association*. 20, 299–304.
- Cleton, N., Koopmans, M., Reimerink, J., Godeke, G.J., and Reusken, C. (2012) Come fly with me: Review of clinically important arboviruses for global travelers. *Journal of Clinical Virology*. 55(3), 191-203.

- Combemale, P., Deruaz, D., Villanova, D., Guillaumont, P.H., 1992. Les insectifuges ou repellents. *Ann Dermatol Venereol.* 119, 411–434.
- Conti, B., Benelli, G., Flamini, G., Cioni, P.L., Profeti, R., Ceccarini, L., Macchia, M., Canale, A. (2012) Larvicidal and repellent activity of *Hyptis suaveolens* (Lamiaceae) essential oil against the mosquito *Aedes albopictus* Skuse (Diptera: Culicidae). *Parasitology Research.* 110, 2013–2021.
- de Campos, V.E.B., Ricci-Júnior, E., Mansur, C.R.E. (2012) Nanoemulsions as delivery systems for lipophilic drugs. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology.* 12, 2881–2890.
- Debboun, M., Frances, S. P., Strickman, D., (2014). *Insect repellents handbook.* Boca Raton, FL, CRC Press.
- Degennaro, M. (2015). The mysterious multi-modal repellency of DEET. *Fly (Austin)*, 9(1):45-51.
- Diaz, J.H. (2016) Chemical and plant-based insect repellents: Efficacy, safety, and toxicity. *Wilderness & Environmental Medicine.* 27(1), 153-163.
- Domb, A.J., Marlinsky, A., Maniar, M., Teomim, L. (1995) Insect repellent formulations of N,N-diethyl-m-toluamide (DEET) in a liposphere system: efficacy and skin uptake. *Journal of the American Mosquito Control Association.* 11, 29–34.
- Drapeau, J., Verdier, M., Touraud, D., Kröckel, U., Geier, M., Rose, A., Kunz, W., 2009. Effective insect repellent formulation in both surfactantless and classical microemulsions with a long-lasting protection for human beings. *Chemistry & Biodiversity.* 6, 934–947.
- Dua, V.K., Pandey, A.C., and Dash, A.P. (2010) Adulticidal activity of essential oil of *Lantana camara* leaves against mosquitoes. *Indian Journal of Medical Research.* 131, 434–439.
- Fernández-Pérez, M. (2007) Controlled release systems to prevent the agro-environmental pollution derived from pesticide use. *Journal of Environmental Science and Health, Part B,* 42:857–862
- Knowles, A. (2008) Recent developments of safer formulations of agrochemicals. *Environmentalist* 28(1), 35– 44, 0251-1088
- Koul, O., and Walia, S. (2009) Comparing impacts of plant extracts and pure allelochemicals and implications for pest control. *CAB Reviews Perspectives in Agriculture Veterinary Science Nutrition and Natural Resources* 4:1–30

- Koul, O., Walia, S., Dhaliwal, G.S. (2008) Essential oil as green pesticides: potential and constraints. *Biopesticides International* 4(1):63–84
- Mittal, K. (Ed.), Shah, D. (Ed.). (2003). *Adsorption and Aggregation of Surfactants in Solution*. Boca Raton: CRC Press
- Nuchuchua, O., Sakulku, U., Uawongyart, N., Puttipipatkachorn, S., Soottitantawat, A., and Ruktanonchai, U. (2009) In vitro characterization and mosquito (*Aedes aegypti*) repellent activity of essential-oils-loaded nanoemulsions. *American Association of Pharmaceutical Scientists Pharm Sci Tech* 10(4): 1234–1242
- Pant, M., Dubey, S., Raza S.K. and Patanjali, P.K. (2012) Encapsulation of neem and karanja oil mixture for synergistic as well as larvicidal activity for mosquito control. *Journal of Scientific and Industrial Research*. 71, 348–352
- Rajashekhar, Y., Bakthavatsalam, N., and Shivanandappa, T. (2012) Botanicals as grain protectants. *Psyche*. 646740, 1-13
- Rajkumar, S., and Jebanesan, A. (2008) Bioactivity of flavonoid compounds from *Poncirus trifoliata* L. (family: Rutaceae) against the dengue vector, *Aedes aegypti* L. *Parasitology Research*.104(1):19-25
- Singla, M., and Patanjali, P.K. (2013) Phase behaviour of neem oil based microemulsion formulations. *Industrial Crops and Products*. 44, 421–426
- Tadros TF (1995) *Surfactants in agrochemicals*. Marcel Dekker, New York
- Yang FL, Li XG, Zhu F, and Lei CL (2009) Structural characterization of nanoparticles loaded with garlic essential oil and their insecticidal activity against *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(21),10156–10162.

BAB 6

PROSES PRODUKSI ANTINYAMUK

Antinyamuk adalah zat yang dirancang untuk membuat permukaan tidak menyenangkan atau tidak menarik bagi nyamuk. Mereka biasanya mengandung bahan aktif yang mengusir nyamuk serta bahan-bahan sekunder, yang membantu pengiriman dan daya tarik kosmetik. Antinyamuk ini tersedia dalam berbagai bentuk yaitu krim hingga *lotion* hingga minyak, tetapi paling sering dijual sebagai produk *aerosol*. Sebagai teknologi anti serangga harus lebih canggih, dengan menggunakan senyawa yang ditemukan dan diisolasi untuk memungkinkan formulasi antinyamuk baru yang lebih efisien.

Bahan aktif pertama yang benar-benar efektif digunakan dalam antinyamuk adalah minyak serai. Bahan ini adalah ekstrak herbal yang berasal dari tanaman serai. Sementara *citronella* telah digunakan selama berabad-abad untuk tujuan pengobatan, keunggulannya hanya ditemukan secara tidak sengaja pada tahun 1901, ketika digunakan sebagai pewangi rambut. Karena minyak serai adalah bahan yang harum, diperkirakan bahwa terpena kimia yang dikandungnya bertanggung jawab atas aktivitas Antinya. Minyak serai memang mengusir nyamuk, tetapi memiliki karakteristik tertentu yang membatasi efektivitasnya. Misalnya, ia sangat mudah menguap dan menguap terlalu cepat dari permukaan yang digunakan. Juga, sejumlah besar diperlukan untuk menjadi efektif.

Pada tahun 1955, para ilmuwan menyintesis DEET (*n-n-diethylnetatoluamide*), yang saat ini merupakan bahan aktif yang paling banyak digunakan untuk antinyamuk. Setelah ditemukan, produsen Anti mengembangkan berbagai bentuk untuk memberikan DEET, seperti krim, *lotion*, dan *aerosol*.

Keberadaan tanaman serai perlu dipadupadankan dengan senyawa lain yang lebih reaktif sebagai antinyamuk yaitu dengan

minyak pinus. Secara simulasi memberikan hasil *molecular docking* yang cukup baik. Senyawa milik minyak serai mempunyai kemiripan dengan DEET terlihat dari kekuatan interaksinya, dimana untuk nilai interaksi semakin negatif maka ikatan akan semakin kuat.

6.1 Bahan baku

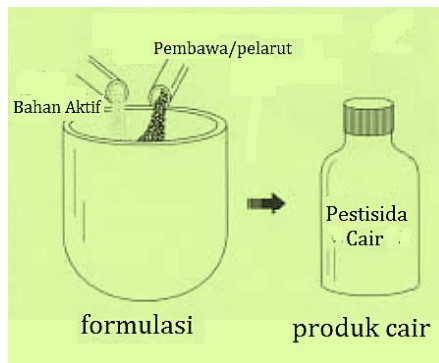
Bahan aktif dalam pengusir nyamuk terutama bertanggung jawab atas kegunaannya. Jika antinyamuk dinilai berharga, maka antinyamuk harus memenuhi kriteria tertentu. Pertama, itu harus secara efektif mencegah serangan di daerah yang dirawat selama berjam-jam dan pada berbagai jenis permukaan. Kedua, ia harus bekerja di bawah berbagai kondisi lingkungan yang berbeda. Selanjutnya, itu tidak boleh beracun atau menyebabkan iritasi ketika diterapkan pada kulit manusia atau hewan. Selain itu, harus dapat diterima secara kosmetik, memiliki bau, rasa, dan suasana yang menyenangkan. Itu juga harus *harmless* untuk pakaian. Akhirnya, anti serangga harus memiliki biaya yang relatif rendah dan efektif terhadap serangga jenis umum lainnya, seperti lalat dan kutu.

Sementara itu ribuan senyawa telah dipelajari untuk digunakan sebagai anti serangga, DEET (*n,n*-diethyl-*m*-toluamide) telah digunakan lebih dari yang lain. DEET adalah senyawa yang dihasilkan dari reaksi asam *m*-toluat dengan *thionil klorida* diikuti oleh reaksi dengan *diethyl amina*. Bahan ini diisolasi dan dimurnikan sebelum dipasok ke produsen antinyamuk. Bahan anti lainnya yang digunakan termasuk minyak serai, *dimethyl phthalate*, lavender, minyak *lemon grass*, dan minyak *peppermint*. Sering kali telah ditemukan bahwa campuran dari berbagai senyawa anti sering memberikan efektivitas yang lebih besar daripada satu senyawa saja. Bahan aktif yang terkandung dalam antinyamuk umumnya merupakan 5-30% dari total berat produk akhir.

6.2 Bahan aktif dan bahan lembam

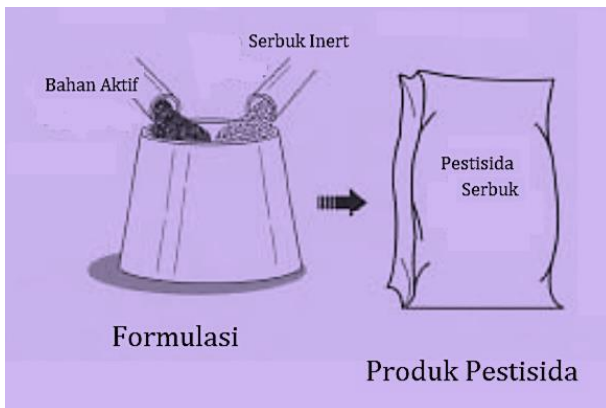
Pestisida terdiri dari bahan aktif ditambah dengan bahan lembam. Bahan aktif berfungsi untuk membunuh/menolak hama, sedangkan bahan lembam berfungsi untuk memfasilitasi penyemprotan dan pelapisan tanaman target. Baik bahan aktif maupun bahan lembam saling berkontribusi keunggulan satu sama lain sehingga lain sehingga kontribusi tidak diberikan oleh bahan aktif itu sendiri.

Bahan aktif pernah diekstrak dari bahan alami (jika menggunakan minyak atsiri) sebagai bahan aktif sebagian besar disintesis di laboratorium. Kebanyakan pestisida mengandung unsur-unsur lain, jenis dan jumlah yang tergantung pada pestisida yang diinginkan. *Klorin*, oksigen, sulfur, fosfor, nitrogen, dan adalah yang paling umum. Pestisida cair (Gambar 6.1) secara tradisional menggunakan minyak tanah atau distilat minyak bumi lainnya sebagai pembawa, meskipun air baru-baru ini mulai menggantikan minyak tanah. Pengemulsi juga ditambahkan untuk mendistribusikan bahan aktif secara merata di seluruh pelarut. Pestisida serbuk (Gambar 6.2) biasanya mengandung bahan nabati sebagai pengisi seperti kulit kacang tanah atau tongkol jagung, tanah liat seperti *diatomit* atau *attapulgit*, atau mineral bubuk seperti bedak atau kalsium karbonat sebagai dasarnya. Hal ini difungsikan supaya bahan pengisi sebagai menempalnya pestisida.



Gambar 6. 1 Proses pembuatan pestisida cair
<http://www.madehow.com/Volume-1/Pesticide.html>

Bahan aktif dalam pengusir nyamuk terutama bertanggung jawab sesuai dengan fungsinya. Bahan aktif tidak boleh beracun atau menyebabkan iritasi ketika diterapkan pada kulit manusia atau hewan. Selain itu, harus dapat diterima secara kosmetik, memiliki bau, rasa, dan rasa yang menyenangkan. Akhirnya, produk pestisida yang akan dibuat harus ia harus memiliki biaya yang relatif rendah dan efektif terhadap serangga jenis umum lainnya, seperti lalat, kutu, kecoa, dan *anthropoda* lainnya.



Gambar 6. 2 Formulasi pestisida serbuk
<http://www.madehow.com/Volume-1/Pesticide.html>

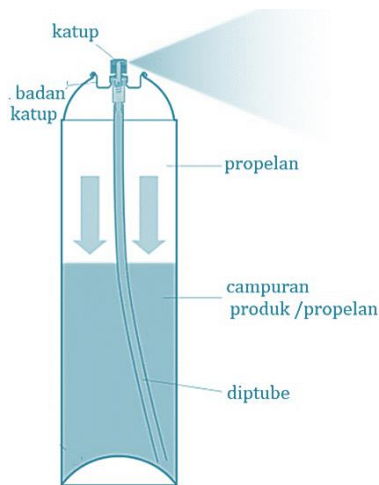
Beberapa senyawa telah dipelajari untuk digunakan sebagai Anti serangga, dan DEET (*n,n*-diethyl-*m*-toluamide) telah unggul dari yang lain. DEET adalah senyawa yang dihasilkan dari reaksi asam *m*-toluat dengan *thionyl chlorida* diikuti oleh reaksi dengan *diethyl amina*. Bahan ini kemudian dimurnikan kemudian dipak sebelum dipasok ke produsen antinyamuk. Bahan pestisida lain yang digunakan termasuk minyak serai, *dimethyl phthalate*, lavender, minyak *lemon grass*, dan minyak *peppermint*. Telah ditemukan bahwa campuran dari berbagai senyawa anti sering memberikan efektivitas yang lebih besar daripada satu senyawa saja. Bahan aktif yang terkandung dalam antinyamuk umumnya merupakan 5-30% dari produk akhir.

Bahan-bahan lembam yang ada dalam antinyamuk tergantung pada bentuk produk yang akan diambil. Saat ini, antinyamuk komersial dalam bentuk sebagai *aerosol*, *lotion*, dan minyak. Antinyamuk bentuk *lotion* atau krim yang komersial pada dasarnya adalah krim kulit yang telah ditambahkan DEET pada tingkat tertentu. Kandungan yang ada dalam krim kulit terdiri dari air, surfaktan, alkohol lemak, pewangi, dan pendukung lainnya. Akhirnya produk antinyamuk diterapkan pada kulit, yang memiliki manfaat ganda yaitu sebagai mengusir nyamuk dan melembabkan kulit. Produk-produk *lotion* ini umumnya kurang efektif daripada bentuk *aerosol*.

Aerosol semprot, paling umum untuk antinyamuk. Beberapa jenis bahan yang terkandung di dalamnya adalah bahan pelarut, dan bahan lainnya. Pestisida membutuhkan pelarut, yang biasanya alkohol seperti *etanol propanol*, yang tanggung jawab utama mengencerkan bahan aktif ke konsentrasi yang sesuai. Hal ini juga membantu menjaga semua bahan baku dicampur, memastikan bahwa produk tetap efektif bahkan setelah penyimpanan jangka panjang. Propelan adalah senyawa volatil yang menciptakan tekanan yang menyebabkan sisa produk dipaksa keluar dari wadah. Umumnya propelan yang digunakan meliputi gas hidrokarbon cair seperti *propana*, *butana*, atau *isobutana*, *hidrofluorokarbon*, dan *dimetil eter*. Bahan-bahan lain seperti wewangian dan pendukung ditambahkan ke antinyamuk *aerosol* untuk membuatnya lebih menarik secara kosmetik. Senyawa lain ditambahkan untuk mencegah korosi dan menjaga stabilitas *aerosol*.

Komponen kemasan merupakan bagian dari antinyamuk bentuk *aerosol*. Kaleng biasanya merupakan wadah logam yang terbuat dari pelat baja timah. Lapisan timah mencegah baja bereaksi dengan bahan yang digunakan dalam formulasi. Katup adalah komponen pengemasan utama lainnya yang memiliki tugas ganda yaitu menyegel konten bertekanan di kaleng dan mengontrol pengeluaran konten ini. Katup memiliki tiga bagian: (1) diptube, yang mengumpalkan produk dari kaleng ke badan katup; (2) badan katup, yang mencampur produk dan propelan;

dan (3) tombol aktuator, yang ketika ditekan, memungkinkan produk untuk dilepaskan seperti pada Gambar 6.3



Gambar 6. 3 Kaleng aerosol untuk antinyamuk
https://en.wikipedia.org/wiki/Aerosol_paint

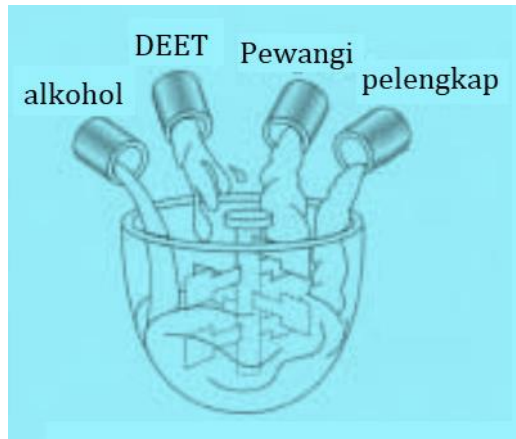
6.3 Proses produksi

Secara garis besar produksi antinyamuk dapat dipecah menjadi dua langkah. Pertama adalah sistem *batch* kapasitas besar dan formulasi, kemudian tahap ke-2 adalah *batch* pengisian ke dalam kemasan terutama dalam bentuk *aerosol*. Di dalam *batch* yang pertama, pembuatan pestisida melibatkan kegiatan sebagai berikut bahan aktif disintesis di pabrik kimia, kemudian diformulasikan di tempat yang sama atau dikirim ke perumus (formulator) dan disiapkan pestisida bentuk cair atau bubuk. Bentuk-bentuk antinyamuk lain seperti krim dan *lotion* diproduksi dengan cara yang sama, kecuali pada proses pengisiannya karena memang kurang terlibat.

Pestisida diproduksi dalam skala laboratorium. Jika sintesis sudah berhasil seperti produk yang diharapkan maka dilanjutkan dengan membuat skala *pilot plan* yang lebih besar dari skala laboratorium. Selanjutnya produksi pestisida diterapkan pada skala *batch* atau kontinyu yang dapat menjamin kapasitas lebih besar sekitar ribuan kilogram per siklus. Sintesis pestisida adalah

prosedur kimia kompleks yang membutuhkan ahli kimia terlatih dan laboratorium besar yang canggih. Prosedur dasarnya adalah mencampur dan mengubah senyawa-senyawa lain menjadi pestisida. Ini dapat melibatkan salah satu dari sejumlah pereaksi dan katalis spesifik dan seringkali harus terjadi dalam kondisi reaksi yang terkendali yaitu dalam konsentrasi, suhu dan tekanan tertentu. Setelah disintesis, bahan aktif tersebut dikemas dan dikirim ke formulator. Insektisida cair dapat dikirim dalam truk tangki atau drum 200 liter. Pengangkutan bahan aktif mengikuti semua peraturan untuk pengangkutan bahan berbahaya.

Seorang formulator menerima bahan aktif, menimbang dengan jumlah yang tepat, mencampurkannya dengan bahan pembawa jika pestisida cair atau dengan serbuk *inert*.



Gambar 6. 4 Proses formulasi dan pencampuran
<http://www.madehow.com/Volume-3/Mosquito-Repellent.html>

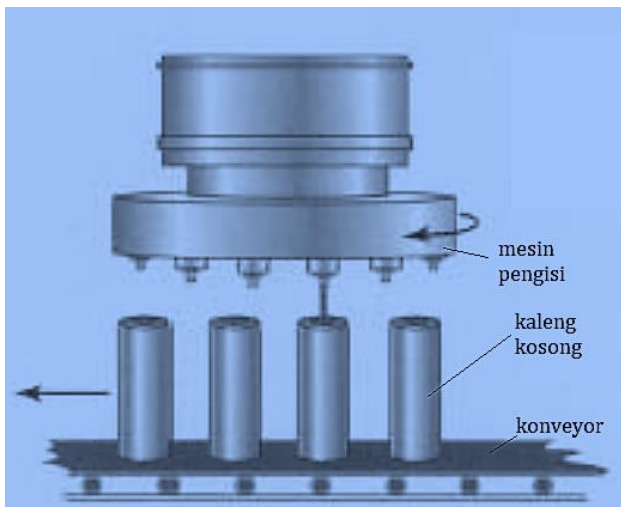
Di area formulasi, bahan baku dicampur bersama dalam tangki *stainless steel* besar. Pestisida bentuk *aerosol*, dilakukan dengan cara alkohol dipompa ke dalam tangki, dan bahan lainnya, termasuk DEET, pewangi, dan pelengkap, dituangkan secara manual dan dibiarkan bercampur seperti pada Gambar 6.4. Semua bahan kecuali propelan ditambahkan pada fase produksi ini. Karena beberapa bahan dalam proses ini mudah terbakar, tindakan pencegahan khusus dilakukan untuk mencegah ledakan,

seperti menggunakan *outlet* listrik tahan api dan dinding tahan ledakan.

Ketika *batch* selesai, sampel dikirim ke laboratorium kontrol kualitas dan diuji untuk memastikan memenuhi standar yang ditetapkan untuk produk. Setelah melewati tes ini dipompa ke jalur pengisian untuk membuat produk jadi.

Bagian pengisian adalah serangkaian mesin yang dihubungkan oleh sistem konveyor yang menggabungkan semua komponen untuk membuat produk antinyamuk. Mesin pertama dalam sistem mengumpulkan kaleng kosong ke jalur konveyor. Mesin ini memiliki corong pengisian yang disebut *hopper* yang berukuran besar yang diisi dengan cairan antinyamuk pada kaleng kosong yang berdiri tegak.

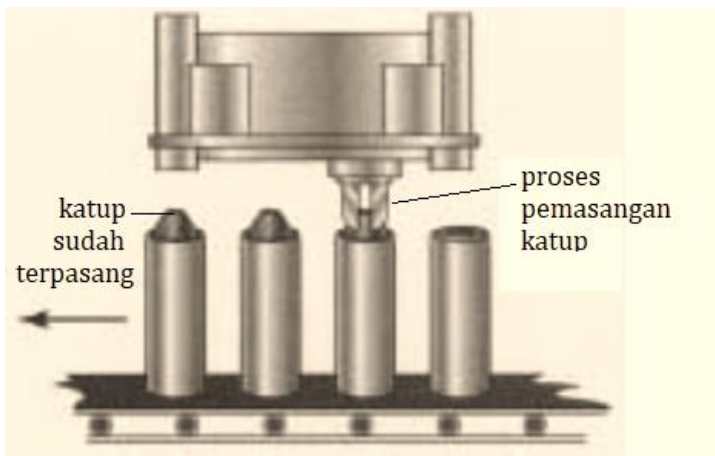
Kaleng logam kemudian secara otomatis dipindahkan di sepanjang sabuk konveyor dan dibersihkan dengan semburan udara bertekanan untuk menghilangkan debu dan kotoran seperti pada Gambar 6.5. Selanjutnya kaleng pindah ke Korsel pengisi. Korsel pengisi terdiri dari serangkaian kepala pengisian piston yang dikalibrasi untuk menghasilkan jumlah produk yang tepat ke dalam kaleng. Saat kaleng bergerak dari garis pengisian, maka kaleng terisi dengan produk.



Gambar 6. 5 Korsel pengisian cairan antinyamuk ke dalam kaleng

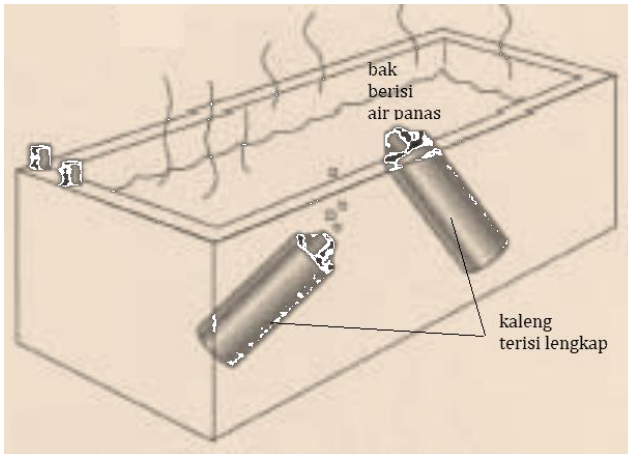
<http://www.madehow.com/Volume-3/Mosquito-Repellent.html>

Langkah selanjutnya dalam proses pengisian melibatkan menaburkan kaleng dengan katup, menambahkan propelan, dan memberi tekanan pada kaleng. Katup dipasang oleh mesin pemasang katup. Katup juga dimasukkan ke dalam hopper dan kemudian disortir dan disejajarkan dengan benar. Saat kaleng lewat kemudian katup dipasang. Katup-katup ini kemudian ditempelkan dengan kuat ke kaleng. Teknik pengisian dilakukan dengan cara menyuntikkan propelan melalui katup pada tekanan tinggi atau disuntikkan ke kaleng sebelum katup dikerutkan dapat dilihat pada Gambar 6.6.



Gambar 6. 6 Pemasangan katup pada kaleng aerosol antinyamuk
<http://www.madehow.com/Volume-3/Mosquito-Repellent.html>

Setelah kaleng ditutup dan diisi, kaleng dipindahkan ke tangki panas, bak panjang yang diisi dengan air panas. Di sini kaleng diperiksa untuk menghindari gelembung yang mengindikasikan kebocoran propelan yang ditunjukkan pada Gambar 6.7. Suhu air yang tinggi juga meningkatkan tekanan internal kaleng, yang dimaksudkan untuk menyebabkan titik-titik lemah di kaleng untuk gagal. Ini adalah langkah kontrol kualitas yang penting yang mencegah kaleng yang rusak dijual ke publik.



Gambar 6. 7 Proses pengecekan kebocoran pada kaleng aerosol
<http://www.madehow.com/Volume-3/Mosquito-Repellent.html>

Saat kaleng keluar dari *waterbath*, kaleng dikeringkan dengan jet udara bertekanan tinggi. Komponen lain kemudian ditambahkan, seperti tombol penggerak dan overcap. Label atau pencetakan yang dibutuhkan juga ditambahkan.

Kaleng yang sudah lengkap kemudian dipindahkan ke area pengepakan dimana kaleng dimasukkan ke dalam kotak, biasanya selusin kaleng sekaligus. Kotak-kotak ini kemudian ditumpuk di atas palet dan diangkut dengan truk besar ke distributor. Lini produksi *aerosol* berkecepatan tinggi seperti yang dijelaskan dapat bergerak dengan kecepatan sekitar 200 kaleng per menit atau lebih.

6.4 Kontrol kualitas

Kontrol kualitas adalah langkah penting dalam produksi antinyamuk. Pengujian dilakukan di berbagai proses pembuatan untuk memastikan bahwa produk menjadi konsisten dari proses, tetap efektif dalam jangka waktu yang lama, dan aman untuk digunakan.

Sebelum produksi dimulai, semua yang masuk diperiksa untuk memastikan bahan baku memenuhi spesifikasi yang ditetapkan sebelumnya. Pengujian seperti pH, berat jenis, dan

kadar air biasanya dilakukan. Selain itu, kaleng diperiksa untuk penyok, korosi, dan kelemahan lainnya. Selama pembuatan, sampel-sampel dari produk setengah jadi atau jadi dari antinyamuk diambil di titik-titik yang berbeda di sepanjang garis pengisian, dan karakteristik atau produk diuji. Beberapa parameter yang dipantau meliputi tingkat bahan aktif, tekanan, laju semprotan, dan pola semprotan. Pengujian lain dilakukan untuk memastikan bahwa kaleng dievakuasi dengan benar. Juga, studi stabilitas jangka panjang dapat dilakukan untuk membuktikan bahwa kaleng tidak menunjukkan tanda-tanda korosi yang tidak semestinya.

Penggunaan antinyamuk yang tersedia bukan tanpa kekurangannya sampai pada distributor dan konsumen. Produk yang menggunakan DEET atau minyak serai sebagai bahan aktif utama telah dilaporkan menyebabkan ruam pada beberapa orang. Bahkan ada kasus di mana anak-anak yang menggunakan produk DEET menyebabkan sakit. Untuk alasan ini, penelitian telah difokuskan pada menemukan jenis Anti dan metode baru untuk meningkatkan keselamatan yang ada saat ini. Satu kemajuan terbaru dalam teknologi anti adalah penggunaan bahan kimia untuk "merangkum" DEET. Diperkirakan bentuk produk ini akan melindungi pengguna dari efek berbahaya DEET sambil tetap mempertahankan aktivitas antinya. Investigasi lebih lanjut harus diselesaikan sebelum ini diverifikasi.

Referensi

- Carson, Rachel. *Silent Spring*. Houghton Mifflin Company, 1962.
- Gibbons, Ann. (1990). "Overkilling the Insect Enemy." *Science*, 621.
- Holmes, Bob. (1992) "The Joy Ride Is Over." *U.S. News and World Report*. September 14, 1992, 73-74.
- Holmes, Hannah. (1996) "The Battle of the Bug." *Backpacker*, 68-72.
- Knowlton, J. and S. Pearce. *Handbook of Cosmetic Science and Technology*. Elsevier Science Publications, 1993.
- Lee, Sally, *Pesticides*. Franklin Watts, 1991.

- Ranasinghe, M.S.N, Arambewela L., Samarasinghe, S. (2016) Development of Herbal Mosquito Repellent Formulations. International Journal of Collaborative Research on Internal Medicine & Public Health Vol. 8(6), 341-379
- Reganold, John, P., Papendick, R.I. and James, Parr. F. (1990)"Sustainable Agriculture."Scientific American, 112-120.
- Richmond, S. (1990). Making Sure It's Organic. Changing Times. 102.
- Romanowski, P. and R. Schueller. (1996) "Aerosols for Apprentices."Cosmetics & Toiletries, 35-40.
- Satchell, Michael. (1991)"A Vicious 'Circle of Poison.'"U.S. News and World Report. 31-32.
- Ware, George W. Pesticides: Theory and Application. W.H. Freeman, 1983.

BAB 7

NYAMUK *Aedes aegypti*

7.1 Pendahuluan

Nyamuk *Aedes aegypti* merupakan salah satu jenis nyamuk yang dapat mempengaruhi derajat kesehatan masyarakat, karena nyamuk *Ae. aegypti* ini dapat merupakan vektor atau pembawa virus *dengue* yang merupakan penyebab penyakit Demam Berdarah *Dengue* (DBD). Selain menjadi vektor penyakit DBD, nyamuk *Ae. Aegypti* juga merupakan pembawa virus demam kuning (*yellow fever*), chikungunya, dan demam Zika (penyakit yang disebabkan oleh virus Zika).

Penyebaran nyamuk jenis ini sangat luas, dimana terdapat hampir di seluruh tropis di dunia. Sebagai pembawa virus *dengue*, *Ae. Aegypti* (Gambar 7.1. (a)) merupakan nyamuk pembawa utama (*primary vector*), yang artinya bahwa penularan virus *dengue* paling banyak ditularkan oleh nyamuk *Ae. aegypti*, sedangkan vektor lainnya yaitu nyamuk *Aedes albopictus* (Gambar 7.1 (b)) lebih jarang sebagai penular DBD disebabkan karena kebiasaan mencari makan dan habitatnya. Kedua spesies nyamuk *Aedes* inilah yang menciptakan siklus persebaran *dengue*, baik di desa maupun di kota. Seperti kita ketahui bersama bahwa penyakit demam berdarah ini sangat berbahaya, karena perjalanan penyakitnya sangat cepat dan dapat menimbulkan kematian. Mengingat keganasan penyakit demam berdarah, maka diharapkan masyarakat mampu mengenali dan mengetahui cara-cara mengendalikan nyamuk jenis ini, sehingga dapat membantu mengurangi persebaran penyakit demam berdarah.



(a)

(b)

Gambar 7. 1 Nyamuk saat hinggap (a) *Aedes aegypti* (b) *Aedes albopictus*

Sumber: HMKM FK Unud, 2017

Secara taksonomi, klasifikasi *Ae. aegypti* dapat digambarkan sebagai berikut :

Kingdom : *Animalia*
Filum : *Arthropoda*
Kelas : *Insekta*
Ordo : *Diptera*
Famili : *Culicidae*
Sub family : *Culicinae*
Genus : *Aedes*
Spesies : *Aedes aegypti*

Bila dilihat dari taksonominya, maka dapat diketahui bahwa *Ae. aegypti* memperlihatkan spektrum pola sisik yang bersambungan di sepanjang penyebarannya, mulai dari bentuk yang paling pucat sampai ke bentuk yang gelap, dan dikaitkan dengan perbedaan perilakunya. Untuk mengendalikan penularan penyakit oleh nyamuk *Ae. aegypti* di masyarakat, sangat penting untuk memahami bionomika populasi nyamuk *Ae. aegypti* di wilayah setempat sebagai dasar untuk mengendalikan nyamuk tersebut.

7.2 Distribusi dan bioekologi nyamuk *Aedes aegypti*

Nyamuk *Ae. aegypti* merupakan vektor utama DBD di Asia Tenggara, sedangkan nyamuk *Ae. albopictus* merupakan vektor sekunder. Keberadaan kedua nyamuk tersebut penting untuk mempertahankan keberadaan virus *dengue*. Secara geografis, nyamuk *Aedes* memang banyak ditemukan di wilayah Asia Tenggara.

Nyamuk *Ae. aegypti* merupakan spesies nyamuk khas di daerah tropis, namun juga banyak ditemukan di daerah subtropis. Nyamuk *Aedes* ini banyak ditemukan pada wilayah antara garis lintang 35°U dan 35°S. Distribusi nyamuk ini dibatasi oleh ketinggian, dimana pada tempat dengan ketinggian lebih dari 1.000 m, sangat jarang ditemukan nyamuk *Aedes* ini, meskipun pada sebuah penelitian pernah ditemukan nyamuk *Aedes* pada ketinggian 2.121 m di India dan 2.200m di Kolombia, namun kasus ini sangat langka.

Nyamuk *Ae. aegypti* tersebar luas di wilayah tropis dan subtropics, terutama di Asia Tenggara. Nyamuk *Ae. aegypti* banyak ditemukan terutama di sebagian besar wilayah perkotaan. Namun beberapa terakhir ini penyebaran nyamuk *Ae. aegypti* juga mulai banyak ditemukan di daerah pedesaan. Hal ini dapat dikaitkan dengan adanya pembangunan sistem persediaan air pedesaan dan perbaikan sistem transportasi.

Untuk wilayah yang agak kering, misalnya di India, *Ae. aegypti* merupakan vektor perkotaan, namun populasinya secara khas berfluktuasi sesuai dengan keberadaan air hujan atau ke kebiasaan penyimpanan air masyarakat. Namun di negara-negara lain di Asia Tenggara yang mempunyai curah hujan lebih dari 200 cm per tahun, populasi *Ae. aegypti* akan lebih stabil, serta lebih banyak ditemukan di daerah perkotaan, pinggiran kota, bahkan di daerah pedesaan. Keberadaan nyamuk *Ae. aegypti* sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air, sehingga tidak mengherankan bila di Indonesia, Myanmar, dan Thailand, populasi nyamuk *Ae. aegypti* sangat tinggi. Hal ini disebabkan karena di negara-negara tersebut masyarakat banyak menyimpan air secara tradisional,

misalnya di bak-bak penampungan air yang terbuka atau tidak tertutup rapat, sehingga dapat menjadi tempat perindukan nyamuk *Ae. aegypti*. Namun sekarang ini banyak penduduk terutama di daerah perkotaan menyimpan air dalam tandon tertutup atau menggunakan saluran perpipaan, sehingga hal ini menyebabkan kepadatan nyamuk di daerah perkotaan lebih rendah daripada kepadatan nyamuk di daerah pinggiran kota.

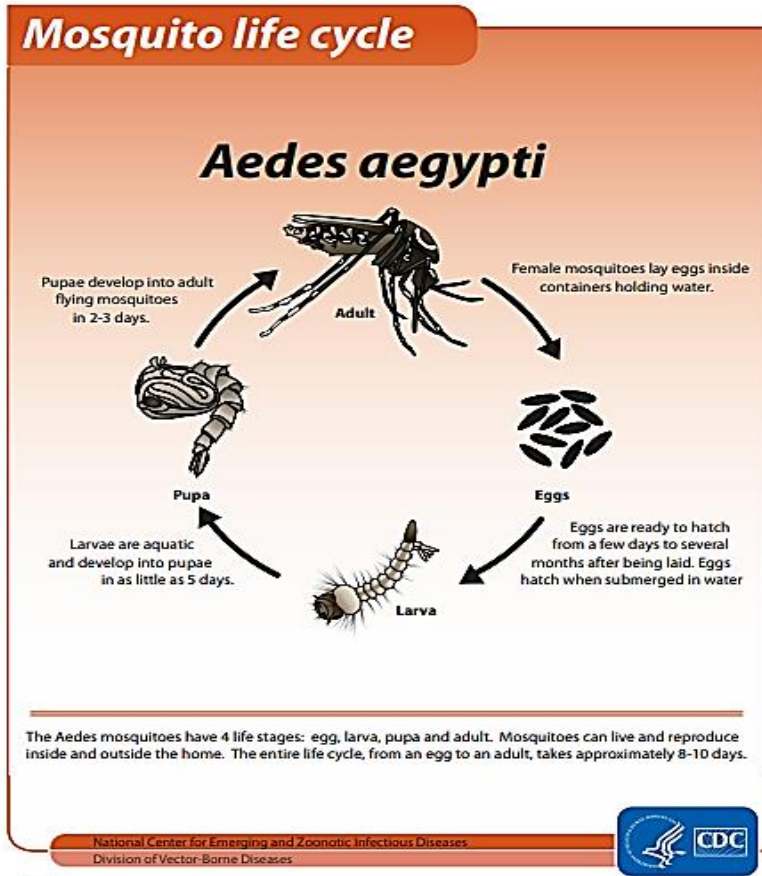
Urbanisasi, yang merupakan perpindahan penduduk dari desa ke kota menyebabkan terciptanya daerah-daerah padat penduduk, sehingga cenderung menambah jumlah habitat yang sesuai untuk *Ae. aegypti*. Padatnya penduduk sangat disukai oleh nyamuk *Ae. aegypti* karena dengan banyaknya orang akan menambah sumber darah yang dibutuhkan bagi nyamuk untuk mematangkan telurnya. Selain itu di beberapa daerah yang banyak sekali tumbuhan, makan akan lebih banyak ditemukan baik nyamuk *Ae. aegypti* maupun nyamuk *Ae. albopictus*, karena tumbuhan merupakan tempat istirahat bagi nyamuk tersebut. Meskipun begitu, di banyak wilayah nyamuk *Ae. aegypti* tetap merupakan species yang dominan, tergantung pada ketersediaan air dan tempat beristirahat, tipe habitat larva, serta tingkat urbanisasi yang ada. Berdasarkan hasil penelitian di Singapura, indeks taksiran tertinggi untuk populasi *Ae. aegypti* ternyata berada di rumah yang kumuh, rumah toko (ruko), dan di rumah susun dengan banyak kamar. Di sisi lain, untuk populasi *Ae. albopictus* tidak berkaitan dengan tipe perumahan, namun lebih banyak ditemukan di ruang terbuka dengan banyak pepohonan.

Nyamuk *Aedes aegypti* betina merupakan vektor penyakit DBD yang paling efektif dan utama. Hal ini disebabkan karena nyamuk *Ae. aegypti* lebih senang tinggal berdekatan dengan manusia (di sekitar perumahan penduduk) dan lebih senang mengisap darah manusia daripada darah hewan (*antropofilik*). Selain nyamuk *Aedes aegypti* dan nyamuk, ada pula nyamuk *Aedes polynesiensis* dan *Aedes scutellaris*, namun kedua spesies nyamuk tersebut kurang efektif dalam perannya sebagai vektor penyakit DBD.

Ketinggian merupakan salah satu faktor yang penting dalam menentukan kepadatan nyamuk. Hal ini perlu diketahui, sehingga kita dapat memperkirakan dan membatasi penyebaran nyamuk *Ae. aegypti*. Penelitian di India menyebutkan bahwa nyamuk *Ae. aegypti* dapat ditemukan pada ketinggian yang antara nol meter sampai dengan 1000 meter di atas permukaan laut. Meskipun begitu, daerah dengan ketinggian yang rendah (kurang dari 500 meter) berisiko memiliki kepadatan populasi nyamuk *Aedes* tingkat sedang sampai berat. Sementara daerah dataran tinggi, misalnya di daerah pegunungan (di atas 500 meter) maka akan berisiko memiliki populasi nyamuk dengan tingkat yang rendah. Di negara-negara Asia Tenggara, daerah dengan ketinggian 1000 sampai 1500 meter di atas permukaan laut tampaknya merupakan batas bagi penyebaran nyamuk *Ae. aegypti*. Namun di bagian belahan dunia yang lain, nyamuk *Aedes* ini dapat ditemukan di wilayah dengan ketinggian yang jauh lebih tinggi, misalnya di Kolombia, nyamuk *Aedes* pernah ditemukan pada wilayah dengan ketinggian sampai mencapai 2200 meter.

7.3 Siklus Hidup

Nyamuk *Ae. aegypti* merupakan serangga *holometabolous*, yaitu serangga yang mempunyai siklus hidup (Gambar 7.2) melalui metamorfosis lengkap. Dikatakan metamorfosis sempurna apabila siklus hidup serangga dimulai dari telur, larva, pupa, dan fase dewasa (imago). Rentang hidup nyamuk *Ae. aegypti* dewasa dapat berkisar antara dua minggu sampai dengan satu bulan tergantung pada kondisi lingkungan, misalnya iklim, suhu, ketersediaan makanan, dan sebagainya. Siklus hidup nyamuk *Ae. aegypti* juga dapat diselesaikan dalam waktu yang mempunyai rentang lumayan panjang, yaitu antara satu setengah minggu sampai dengan tiga minggu.



Gambar 7. 2 Siklus hidup nyamuk *Aedes aegypti*
Sumber: Depkes RI, 2004

7.3.1 Telur

Dalam sekali bertelur, nyamuk *Ae. aegypti* betina mampu menghasilkan 80-100 butir telur. Pada saat dikeluarkan, telur *Ae. aegypti* berwarna putih, namun dalam waktu yang tidak terlalu lama, kira-kira 30 menit, maka telur tersebut akan berubah menjadi hitam. Bentuk telur nyamuk *Ae. aegypti* adalah lonjong, berukuran kecil, dengan panjang sekitar 6,6 mm dan berat 0,0113 mg. Telur nyamuk *Ae. aegypti* mempunyai torpedo, dan ujung telurnya meruncing. Saat diletakkan, telur nyamuk mula-mula berwarna putih, lalu akan berubah menjadi abu-abu hanya dalam

waktu 15 menit dan akan berubah menjadi hitam setelah 40 menit diletakkan. Apabila dilihat di bawah mikroskop, pada dinding luar (*exochorion*) telur nyamuk *Ae. aegypti*, akan tampak adanya garis-garis membentuk gambaran seperti sarang lebah.



Gambar 7.3 Telur nyamuk *Aedes aegypti*

Sumber: Depkes RI, 2004

Ketika bertelur, nyamuk *Ae. aegypti* akan meletakkan telurnya satu persatu (Gambar 7.3) dan menempelkannya pada wadah perindukan. Nyamuk *Ae. aegypti* lebih menyukai wadah yang tergenang air bersih seperti tempat penampungan air, ruas bambu, lubang pohon, ban bekas, dan vas bunga untuk meletakkan telurnya. Telur akan diletakkan satu demi satu sedikit di atas permukaan air, atau sedikit di bawah permukaan air dalam jarak lebih kurang 1-2,5 m. Telur *Ae. aegypti* akan dapat bertahan dalam waktu yang cukup lama dalam kondisi kering, yaitu hingga 6 bulan, dalam suhu 2-4°C. Bila telur tergenang air dalam kurun waktu 1-2 hari, maka telur tersebut akan segera menetas, terutama pada lingkungan dengan kelembaban yang cukup rendah. Telur yang diletakkan di dalam air akan menetas dalam waktu 1-3 hari bila suhunya mencapai 30°C, tetapi pada suhu 16°C maka telur akan membutuhkan waktu 7 hari untuk menetas. Telur nyamuk *Ae. aegypti* biasanya diletakkan pada kontainer yang berisi air bersih. Meskipun begitu, tidak semua telur akan dapat menetas dalam waktu yang bersamaan.

Pada kondisi yang normal, telur *Ae. aegypti* yang terendam di dalam air akan menetas sebanyak 80% pada hari pertama dan

95% pada hari kedua. Berdasarkan jenis kelaminnya, nyamuk jantan akan menetas lebih cepat dibanding nyamuk betina, serta akan lebih cepat menjadi dewasa daripada nyamuk betina. Banyak faktor yang dapat mempengaruhi daya tetas telur, antara lain suhu, pH air perindukkan, cahaya, serta kelembaban lingkungan. Namun faktor yang paling penting adalah sifat fertilitas dari telur itu sendiri.

Nyamuk *Ae. aegypti* merupakan salah satu jenis nyamuk *culicines*. Sebagai nyamuk *culicines*, maka nyamuk *Ae. aegypti* akan meletakkan telur pada permukaan air bersih secara individual. Nyamuk *Ae. aegypti* betina akan menghisap darah untuk mematangkan telurnya. Setelah mengisap darah, maka nyamuk *Ae. aegypti* betina akan bertelur dan menghasilkan rata-rata 100 sampai 200 telur per fase. Selama hidupnya, nyamuk *Ae. aegypti* betina bisa bertelur hingga mencapai lima fase bertelur. Jumlah telur yang dihasilkan tergantung pada banyaknya darah yang berhasil dihisapnya. Ketika telur terendam air, maka telur akan segera menetas menjadi larva dalam kurun waktu satu sampai dua hari setelah diletakkan.

Telur nyamuk *Ae. aegypti* akan diletakkan satu persatu pada permukaan yang basah tepat di atas batas permukaan air. Sebagian besar nyamuk *Ae. aegypti* betina akan meletakkan telurnya di beberapa sarang dalam satu kali siklus *gonotropik*. Perkembangan embrio biasanya akan selesai dalam waktu 48 jam di lingkungan yang optimal, yaitu pada situasi yang hangat dan lembab. Begitu proses embrionasi selesai, maka telur akan menjalani masa pengeringan yang lama (lebih dari satu tahun).

Pada situasi iklim yang hangat, maka telur akan dapat berkembang dalam waktu yang relatif cepat, yaitu sekitar dua hari, sedangkan apabila telur berada di daerah beriklim dingin, dapat akan memakan waktu yang lebih lama, yaitu hingga seminggu.

Telur nyamuk *Ae. aegypti* yang sudah diletakkan, akan dapat bertahan dalam waktu yang cukup lama, bahkan bisa mencapai satu tahun. Namun begitu terkena air, maka telur tersebut akan

segera menetas. Inilah salah satu hal yang menyebabkan pengendalian nyamuk *Ae. aegypti* sangat sulit.

7.3.2 Larva

Larva nyamuk pada umumnya terdiri atas kepala, *toraks*, dan *abdomen*. Ciri-ciri khusus larva *Ae. Aegypti* (Gambar 7.4) sebagai berikut:

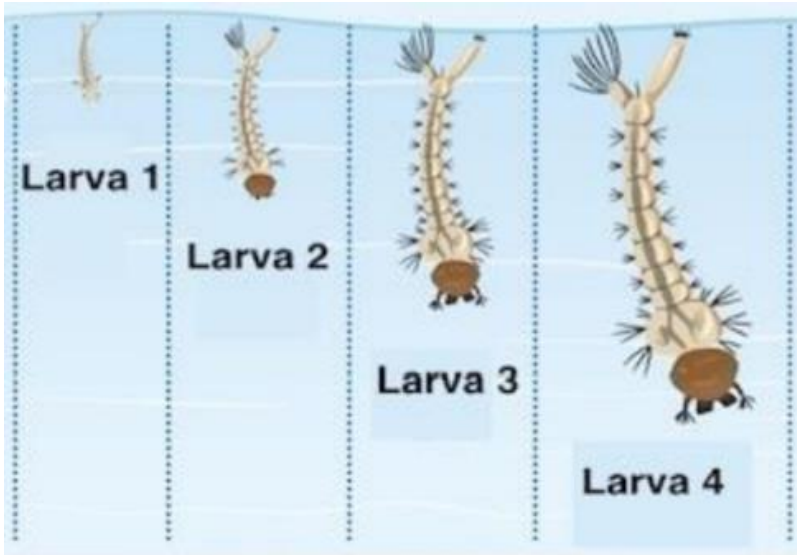
- a) Adanya corong udara (*siphon*) pada segmen terakhir.
- b) Pada segmen-segmen abdomen tidak dijumpai adanya rambut-rambut berbentuk kipas (*palmate hairs*).
- c) Pada corong udara terdapat pekten.
- d) Sepasang rambut serta jumbai pada corong udara (*siphon*).
- e) Pada setiap sisi *abdomen* segmen kedelapan ada *comb scale* sebanyak 8 – 21 12 atau berjejer 1 – 3.
- f) Bentuk individu dari *comb scale* seperti duri.
- g) Pada sisi *thoraks* terdapat duri yang panjang dengan bentuk kurva dan adanya sepasang rambut di kepala.



Gambar 7. 4 Larva nyamuk *Aedes aegypti*
Sumber: Depkes RI, 2004

Ciri khas yang biasanya digunakan dalam identifikasi larva *Ae. aegypti* adalah adanya *comb scale* berduri lateral. Bentuk individu dari *comb scale* seperti duri. Lubang anus dikelilingi empat tonjolan peraba yang lemas, yaitu insang anal. Mungkin fungsinya hanya menyerap air dan bukan untuk bernafas (Nurdini, 2012).

Dalam siklus hidupnya, telur nyamuk *Ae. aegypti* akan menetas dan berkembang menjadi larva. Larva akan tumbuh menjadi beberapa fase/instar (Gambar 7.5), yaitu larva instar I, II, III, dan IV secara berturut-turut menjadi lebih besar seiring pertumbuhannya, dan menunjukkan perubahan kulit atau "ganti kulit". Ciri-ciri larva instar I adalah memiliki tubuh yang sangat kecil, dengan panjang 1-2 mm. Tubuhnya transparan, dengan duri-duri pada dada yang belum begitu jelas terlihat, serta siphon belum menghitam. Pada larva instar II, akan terdapat ciri-ciri tubuh lebih besar dengan panjang 2,5 - 3,9 mm, duri pada dada masih belum begitu jelas, serta siphon yang telah menghitam. Pada larva instar III, maka akan mempunyai ciri-ciri antara lain duri-duri dada mulai jelas dan corong pernapasan berwarna coklat kehitaman dengan panjang 4-5 mm, sedangkan pada larva instar IV akan mempunyai panjang tubuh 5- 7 mm, serta tubuh yang telah lengkap, yang terdiri dari kepala, dada, dan perut. Pada bagian kepala terdapat antena dan mata, sedangkan pada bagian perut terdapat rambut-rambut lateral, serta pada segmen kedelapan pada bagian perut terdapat siphon dan insang.



Gambar 7. 5 Perkembangan larva melibatkan empat tahap berbeda

<http://www.africairs.net/wp-content/uploads/2019/08/Larvae->

Larva nyamuk *Ae. aegypti* biasa akan bergerak-gerak lincah dan aktif, serta sangat sensitif terhadap rangsangan getar dan cahaya. Larva nyamuk *Ae. aegypti* akan segera menyelam ke permukaan air dalam beberapa detik saat terjadi rangsangan. Larva akan memperlihatkan gerakan-gerakan naik ke permukaan air, lalu turun ke dasar wadah secara berulang. Hal ini dilakukan karena larva harus mengambil makanan di dasar wadah. Oleh karena itu, larva *Ae. aegypti* disebut pemakan makanan di dasar (*bottom feeder*). Makanan larva dapat berupa alga, protozoa, bakteri, dan spora jamur. Pada saat larva mengambil oksigen dari udara, maka larva akan menempatkan corong udara (*siphon*) pada permukaan air, sehingga posisi badan larva akan membentuk sudut dengan permukaan air. (Gambar 7.6) Pada waktu istirahat, larva *Aedes aegypti* membentuk sudut terhadap permukaan air (WHO, 1997).



Gambar 7. 6 Larva *Aedes Aegypti* membentuk sudut di bawah permukaan air

https://www.tpomag.com/editorial/2012/06/where_have_all_the_solids_gone

Secara keseluruhan terdapat empat tahapan dalam perkembangan larva yang disebut instar. Perkembangan dari instar satu ke instar empat biasanya akan memerlukan waktu sekitar lima hari. Larva akan mengalami empat tahapan perkembangan. Lamanya perkembangan larva cukup bervariasi, bergantung pada suhu, ketersediaan makanan, dan kepadatan larva pada sarang. Pada kondisi yang optimum, waktu yang dibutuhkan mulai dari penetasan sampai dengan kemunculan nyamuk dewasa akan berlangsung sekurang-kurangnya selama 7 hari, termasuk masa dua hari untuk menjadi pupa. Namun apabila nyamuk bertelur pada wilayah dengan suhu rendah, maka mungkin akan membutuhkan waktu yang lebih lama, yaitu sampai beberapa minggu untuk sampai menjadi nyamuk dewasa. Setelah mencapai instar keempat, maka larva akan berubah menjadi pupa, di mana larva memasuki masa puasa (tidak makan).

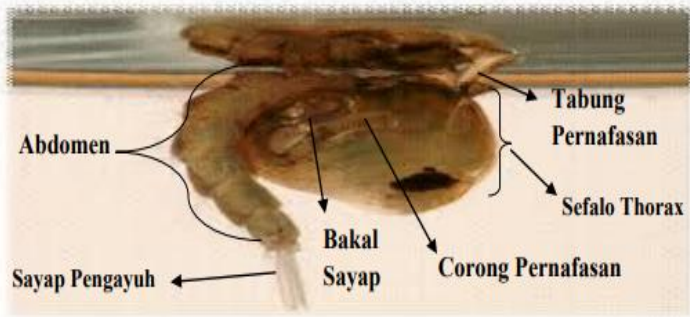
Larva jantan akan berkembang lebih cepat daripada betina, sehingga lebih cepat perkembangannya dari larva hingga berubah menjadi menjadi kepompong. Perlu diingat, bahwa jika pada suhu dingin, maka larva nyamuk *Ae. aegypti* akan dapat bertahan

selama berbulan-bulan selama pasokan air memadai. Jadi, salah satu cara untuk mengendalikan populasi nyamuk *Ae. aegypti* adalah dengan memastikan tidak ada pasokan air untuk perkembangan larva di sekitar rumah kita.

7.3.3 Pupa

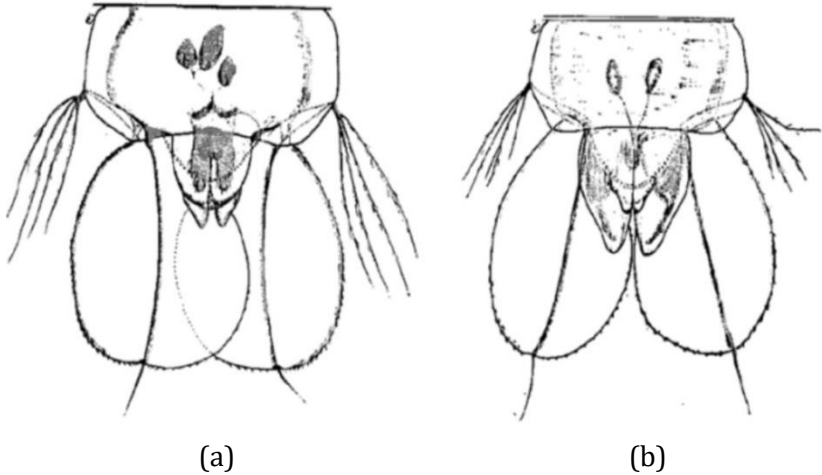
Setelah larva memasuki fase instar IV, maka selanjutnya akan berubah menjadi pupa (Gambar 7.7.) yang berbentuk bulat gemuk menyerupai tanda koma. Tubuh pupa terdiri dari *cephalo thoraks* dan abdomen. Pupa akan mempunyai corong pernafasan yang digunakan untuk bernafas pada *thoraks*. Pada pupa *Ae. aegypti* terdapat kantong udara yang terletak diantara bakal sayap nyamuk dewasa dan juga terdapat sepasang sayap pengayuh yang saling menutupi, sehingga memungkinkan pupa untuk menyelam cepat dan mengadakan serangkaian jungkiran sebagai reaksi terhadap rangsangan yang diterima.

Pupa merupakan satu-satunya tahapan dalam perkembangan nyamuk *Ae. aegypti* yang tidak memerlukan makanan. Meskipun begitu, pupa nyamuk tetap dapat bergerak sangat aktif dan dapat berenang dengan mudah saat terganggu atau terkena rangsangan. Dalam bernafas, pupa akan menggunakan tabung pernapasan yang terdapat pada bagian ujung kepala. Pupa *Ae. aegypti* akan menjadi dewasa dalam waktu 2-3 hari setelah selongsong pupa sobek dikarenakan gelembung udara yang terjadi karena gerakan aktif pupa. Pada saat istirahat, posisi pupa akan sejajar dengan bidang permukaan air. Suhu yang optimal untuk perkembangan pupa adalah 27–32°C.



Gambar 7. 7 Anatomi Pupa dari *Aedes aegypti*
Sumber: Depkes RI, 2004

Pada ujung perut terdapat sepasang dayung atau dayung yang digunakan untuk berenang, yang pada betina (Gambar 7.8,(a)) lebih lebar dan tumpang tindih, tetapi pada jantan (Gambar 7.8, (b) sempit dan terpisah (Vargas, 1968). Perbedaan morfologi lain antara pupa betina dan jantan adalah ukuran keseluruhannya, dengan betina biasanya lebih besar dari pupa jantan. Karena kisaran ukuran tubuh antara pupa betina dan jantan sangat tumpang tindih dan dapat dipengaruhi oleh biotik dan abiotik, termasuk faktor lingkungan seperti makanan, suhu, kondisi pemeliharaan, kepadatan berlebih, dianggap perlu untuk memilih karakteristik dimorfik seksual tambahan seperti perbedaan dayung untuk menentukan jenis kelamin pupa (Vargas, 1968).



Gambar 7. 8 Dimorfisme seksual pupa *Ae. aegypti* (a) betina, (b) jantan (Vargas, 1968)”

Pada saat pupa akan berubah menjadi nyamuk dewasa, maka pupa akan naik ke atas permukaan air. Lalu kulit pupa akan muncul retakan-retakan pada bagian belakang permukaan pupa, kemudian nyamuk dewasa akan keluar dari cangkang pupa. Sebagian besar pupa jantan akan menetas terlebih dahulu daripada pupa betina.

Larva instar keempat akan memasuki tahap pupa. Setelah menjadi pupa, maka akan dapat berpindah-pindah tempat dan menanggapi rangsangan yang dia terima. Pupa tidak memerlukan makan. Tahap pupa biasanya akan berlangsung sekitar dua hari, dan selanjutnya akan berkembang dan menetas menjadi nyamuk.

7.3.4 Nyamuk dewasa

Perkembangan nyamuk dari telur hingga menjadi nyamuk dewasa membutuhkan waktu sekurang-kurangnya tujuh hingga delapan hari. Namun apabila kondisi lingkungan kurang mendukung, maka proses perkembangan nyamuk tersebut akan memakan proses yang lebih lama. Kondisi lingkungan yang

dimaksud antara lain ketersediaan air, makanan, populasi larva dalam satu kontainer air, dan sebagainya.

Nyamuk *Ae. aegypti* dewasa muncul dengan cara menelan udara untuk memperluas ukuran perutnya. Dengan begitu, kepompong terbuka dan selanjutnya muncul kepala nyamuk sebelum terbang ke udara. Setelah itu, nyamuk *Ae. aegypti* dewasa akan kawin, dan nyamuk betina yang sudah dibuahi akan segera mengisap darah dalam waktu 24-36 jam (Gambar 7.9). Darah ini sebagai sumber protein yang esensial untuk mematangkan telur. Secara umum dapat dilihat bagaimana nyamuk menghisap darah manusia.

<https://www.youtube.com/watch?v=rD8SmacBUcU>
How Mosquitoes Use Six Needles to Suck Your Blood

Para peneliti kemudian membangun model untuk menentukan faktor mana yang memengaruhi preferensi nyamuk. Mereka yang tinggal di daerah dengan musim kemarau panjang dan intens cenderung lebih menyukai manusia. Ada juga efek urbanisasi yang lebih kecil: nyamuk di kota cenderung lebih menyukai manusia. Hal ini sering terjadi saat datang musim kemarau yang panjang menjadi masalah bagi *A. aegypti*, karena nyamuk tersebut bergantung pada genangan air untuk membesarkan anaknya. Nyamuk yang hidup ribuan tahun yang lalu mungkin telah tertarik ke tempat-tempat ini dan dengan demikian berevolusi untuk menggigit manusia.



Gambar 7. 9 Nyamuk *Aedes aegypti* yang sedang menghisap darah
Sumber: Depkes RI, 2004

Secara makroskopis, nyamuk *Ae. aegypti* terlihat hampir sama seperti nyamuk *Ae. albopictus*. Namun bila diamati secara seksama menggunakan kaca pembesar, maka akan terlihat perbedaan letak morfologis pada punggung (*mesonotum*), *meseplimeron*, dan kaki *anterior*.

Pada Gambar 7.10 dapat dilihat bahwa pada bagian mesonotum antara nyamuk *Ae. aegypti* dan nyamuk *Ae. albopictus* mempunyai perbedaan, dimana pada mesonotum nyamuk *Ae. aegypti* mempunyai gambaran punggung berbentuk garis seperti lyre dengan dua garis lengkung dan dua garis lurus putih, sedangkan pada punggung *Ae. albopictus* hanya mempunyai satu strip putih pada bagian mesonotum. Seiring bertambahnya usia, tanda berbentuk kecap di dada dapat hilang, tetapi sisik putih khas pada pedisel, clypeus, dan ujung palpum, dan pola sisik putih pada sternit abdomen (pelat ventral pada setiap segmen abdomen) III- V, biasanya tetap. Karakteristik ini untuk identifikasi *Ae. aegypti* betina dengan struktur morfologi yang rusak dan membedakannya dari *Ae. albopictus* betina (Savage dan Smith, 1995).

Sementara itu perbedaan lainnya terletak pada bagian anterior kaki, (Gambar 7.11) dimana pada nyamuk *Ae. aegypti* pada bagian femur kaki tengah terdapat strip putih memanjang, sedangkan pada nyamuk *Ae. albopictus* tanpa strip putih memanjang. Selengkapnya perbedaan antara 2 jenis nyamuk *Aedes* dapat dilihat pada Tabel 7.1.



Gambar 7. 10 Mesonotum nyamuk (a) *Aedes aegypti* dan (b) *Aedes albopictus*.

Sumber: Depkes RI, 2004



Gambar 7. 11 Anterior kaki nyamuk (a) *Aedes aegypti* dan (b) *Aedes albopictus*
 Sumber: Depkes RI, 2004

Tabel 7. 1 Perbedaan Nyamuk *Ae. aegypti* dan *Ae. albopictus*

No	<i>Ae. aegypti</i>	<i>Ae. albopictus</i>
1	menyukai tinggal di dalam rumah	menyukai tinggal di luar rumah, misalnya di kebun, taman
2	bersifat antropofilik (menyukai darah manusia)	bersifat zoofilik dan antropofilik (menyukai darah hewan & manusia)
3	jarak terbang 30-50 meter	jarak terbang 400-600 meter
4	Pada punggung mempunyai garis berbentuk seperti <i>lyre</i> , dengan dua garis lengkung dan dua garis lurus putih	Pada punggung hanya mempunyai satu garis berbentuk lurus putih
5	Pada bagian mesepimeron, terdapat dua tambahan strip putih yang terpisah	Pada bagian mesepimeron, membentuk tambalan putih berbentuk V
6	Anterior pada bagian femur kaki tengah terdapat strip putih memanjang	Anterior pada bagian femur kaki tengah tidak terdapat strip putih memanjang

7.4 Anatomi Bagian dari Tubuh Nyamuk Dewasa

Selanjutnya nyamuk dewasa *Ae. aegypti* dengan anatominya dapat ditunjukkan pada Gambar 7.12 yang terdiri atas tiga bagian, yaitu kepala, dada, dan perut.

7.4.1 Kepala

Pada bagian kepala terdapat sepasang mata majemuk dan antena berbulu. Antena. Setiap antena *Ae. aegypti* muncul dari pedisel bulat, memiliki 13 segmen flagela dan scape yang sangat

kecil. Antena jantan lebih panjang ($0,57 \pm 0,03$ mm) dibandingkan betina ($0,52 \pm 0,07$ mm). Rambut antena yang lebat dan berbulu pada jantan sedangkan pada betina lebih kecil dan kurang lebat (Nelson, 1986; Bar dan Andrew, 2013b).

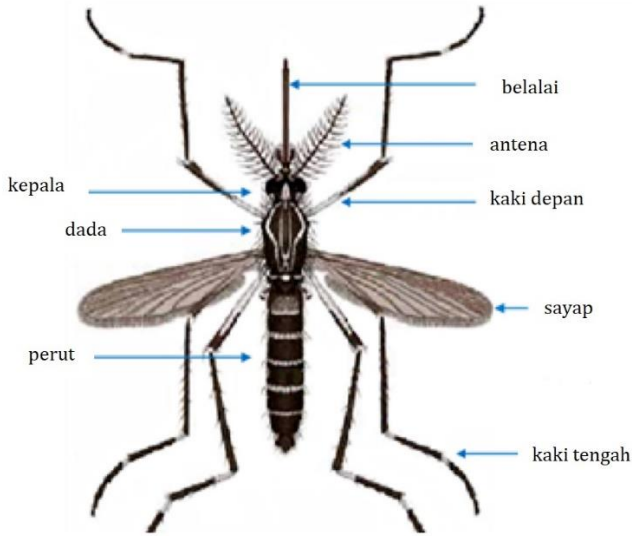
Belalai *Ae. Aegypti* yang biasanya disebut dengan proboscis, pada nyamuk betina berfungsi untuk menghisap darah. Namun, hanya pada struktur belalai betina yang dapat beradaptasi untuk penetrasi kulit atau penusuk-pengisap dan bersifat anthropofilik (menyukai manusia). Hal ini berbeda dengan belalai pada nyamuk jantan sifatnya lebih lemah, tidak mampu menembus kulit manusia. Belalai pada nyamuk jantan berfungsi untuk menghisap sari bunga., meskipun dapat bertahan hidup di alam dengan menghisap jus tanaman. Belalai nyamuk jantan lebih panjang ($0,76 \pm 0,04$ mm) dibandingkan pada nyamuk betina ($0,66 \pm 0,03$ mm) (Bar dan Andrew, 2013b). Belalai jantan beradaptasi untuk memakan nektar dan jus tanaman yang kaya karbohidrat.

Pada bagian kepala juga terdapat palpus maksilaris yang terdiri dari 4 ruas yang berujung hitam, dengan sisik berwarna putih keperakan. Palpus maksilaris pada nyamuk *Ae. aegypti* tidak tampak tanda-tanda pembesaran, dan ukuran palpus maksilaris ini lebih pendek daripada belalai. Palpus rahang atas memiliki lima pita sisik putih dan lebih panjang ($0,77 \pm 0,06$ mm) dan lebih berkembang pada jantan dibandingkan pada betina ($0,53 \pm 0,06$ mm) (Bar dan Andrew, 2013b).

Pada *Ae. aegypti* jantan dan betina, bagian punggung kepala berbentuk bulat dan cembung lateral dengan puncak bersisik datar berwarna putih keperakan. Clypeus betina memiliki dua titik putih keperakan, sedangkan jantan tidak memiliki titik. Betina memiliki kapsul kepala yang lebih besar ($0,55 \pm 0,09$ mm) dibandingkan jantan ($0,53 \pm 0,06$ mm) (Bar dan Andrew, 2013). Kepala memiliki beberapa struktur yang penting bagi kemampuan nyamuk untuk makan serta bertindak sebagai vektor penyakit manusia.

Di kepala nyamuk juga terdapat antena *Ae. aegypti* yang muncul dari pedisel bulat dan memiliki 13 segmen flagella-scape yang sangat kecil. Antena jantan lebih panjang ($0,57 \pm 0,03$ mm)

dibandingkan betina ($0,52 \pm 0,07$ mm). Rambut antena yang lebat dan berbulu pada jantan sedangkan pada betina lebih kecil dan kurang lebat (Nelson, 1986; Bar dan Andrew, 2013b).



Gambar 7. 12 Anatomi nyamuk *Ae. Aegypti*
Rueda, L. (2004).

7.4.2 Dada

Pada bagian dada, nyamuk *Ae. aegypti* terlihat agak membongkok dan terdapat scutelum yang berbentuk tiga lobus. Bagian dada ini lebih kaku, dan ditutupi oleh scutum pada punggung (dorsal), yang berwarna gelap keabu-abuan, serta ditandai dengan adanya 16 bentukan menyerupai huruf "Y", dimana ditengahnya terdapat sepasang garis membujur berwarna putih keperakan. Pada bagian dada ini juga terdapat dua macam sayap, yang mana pada bagian mesotorak terdapat sepasang sayap kuat dan pada bagian metatorak terdapat sepasang sayap pengimbang (halter). Pada sayap terdapat pula saluran trachea longitudinal yang terdiri dari chitin yang sering disebut venasi. Venasi pada nyamuk *Ae. aegypti* terdiri dari vena costa, vena subcosta, dan vena longitudinal. Pada bagian dada ini juga

terdapat tiga pasang kaki yang masing-masing terdiri dari coxae, trochanter, femur, tibia, dan lima tarsus yang berakhir sebagai cakar. Pada pembatas antara prothorax dan mesothorax, diantara mesothorax dengan metathorax terdapat stigma yang merupakan alat pernafasan nyamuk.

7.4.3 Perut

Pada bagian perut nyamuk *Ae. aegypti* mempunyai bentuk yang panjang dan ramping. Namun apabila dalam kondisi nyamuk gravid (kenyang), maka perut akan mengembang. Perut nyamuk *Ae. aegypti* terdiri dari sepuluh ruas, dimana ruas terakhir merupakan alat kelamin nyamuk. Pada nyamuk *Ae. aegypti* betina, alat kelamin disebut cerci, sedangkan pada nyamuk jantan alat kelaminnya disebut sebagai hypopigidium. Bagian dorsal perut *Ae. aegypti* berwarna hitam bergaris-garis putih, sedang pada bagian ventral serta lateral berwarna hitam dengan bintik-bintik putih keperakan.

Nyamuk *Ae. aegypti* dewasa berukuran kecil dengan warna dasar hitam. Bagian dada, perut, dan kaki terdapat bercak-bercak putih yang dapat dilihat dengan mata telanjang (pengamatan tanpa bantuan alat). Setelah keluar dari selongsong pupa, lalu nyamuk dewasa yang baru keluar ini akan beristirahat dalam waktu singkat. Hal ini dilakukan untuk mengeringkan sayap dan badan, sebagai persiapan sebelum terbang. Nyamuk jantan akan menetas terlebih dahulu, sekitar satu hari lebih cepat daripada nyamuk betina. Nyamuk jantan akan menetap di dekat tempat perindukan, sedangkan nyamuk *Ae. aegypti* betina dewasa terbang lebih jauh untuk mencari makanan, yaitu darah. Nyamuk jantan yang terbang di sekitar perindukan akan mencari cairan buah-buahan dan bunga sebagai makanannya. Setelah berkopulasi, nyamuk betina menghisap darah lagi untuk mematangkan telurnya, lalu tiga hari kemudian akan bertelur sebanyak kurang lebih 100 butir dalam sekali bertelur. Nyamuk betina lalu akan menghisap darah lagi untuk persiapan bertelur lagi. Nyamuk *Ae. aegypti* dapat hidup dengan baik pada suhu yang optimal yaitu 24–39°C dan akan mati bila berada pada suhu krang dari atau

sama dengan 6°C dalam waktu 24 jam. Nyamuk dapat hidup pada suhu 7–9°C, namun perkembangbiakannya akan terhambat. Rata-rata lama hidup nyamuk *Ae. aegypti* betina adalah 10 hari.

7.5 Pola Aktivitas Nyamuk *Aedes aegypti*

Nyamuk *Ae. aegypti* bersifat diurnal, yakni aktif pada pagi hingga siang hari. Penularan penyakit dilakukan oleh nyamuk *Ae. aegypti* betina, karena hanya nyamuk *Ae. aegypti* betinalah yang mengisap darah manusia. Darah yang dihisap oleh nyamuk *Ae. aegypti* betina ini berguna sebagai asupan protein, antara lain prostaglandin, yang diperlukannya untuk bertelur an mematangkan telurnya. Nyamuk jantan tidak membutuhkan darah, dan untuk bertahan hidup nyamuk *Ae. aegypti* jantan dapat memperoleh sumber energi dari nektar bunga ataupun tumbuhan. Hal inilah yang menyebabkan penularan penyakit hanya dilakukan oleh nyamuk betina, karena hanya nyamuk betina yang mengisap darah.

7.6 Perilaku Makan

Nyamuk *Ae. aegypti* merupakan nyamuk yang sangat antropofilik, walaupun sebenarnya ia juga bisa makan dari hewan berdarah panas lainnya. Sebagai hewan yang diurnal, nyamuk *Ae. aegypti* betina memiliki dua periode aktivitas menggigit, yaitu pertama di pagi hari selama beberapa jam setelah matahari terbit, serta pada sore hari selama beberapa jam sebelum gelap. Puncak aktivitas menggigit yang sebenarnya dapat bervariasi, tergantung pada beberapa faktor, diantaranya adalah lokasi dan musim. Jika masa makannya terganggu, maka nyamuk *Ae. aegypti* betina dapat menggigit lebih dari satu orang untuk mencukupi kebutuhan darahnya. Perilaku ini semakin memperbesar efisiensi penyebaran epidemi penyakit. Dengan demikian, bukan hal yang aneh jika beberapa anggota keluarga yang tinggal di suatu tempat tinggal yang sama akan mempunyai awitan penyakit yang sama dalam 24 jam. Hal ini memperlihatkan bahwa mereka terinfeksi nyamuk infeksi yang sama. Nyamuk *Ae. aegypti* biasanya tidak menggigit di malam hari, namun apabila kamar yang ditempati

manusia juga terang, maka nyamuk *Ae. aegypti* juga dapat menggigit manusia. Nyamuk *Ae. aegypti* betina memiliki kebiasaan menghisap darah pada pagi dan sore hari yaitu antara pukul 08.00 hingga 12.00 dan 15.00 hingga 17.00, meskipun tidak menutup kemungkinan mereka juga menghisap darah di luar jam tersebut. Nyamuk ini lebih banyak menggigit di dalam rumah daripada di luar rumah. Jenis darah yang disukai oleh nyamuk ini ialah darah manusia, karena nyamuk *Ae. aegypti* betina ini termasuk jenis antropofilik.

Waktu nyamuk mulai mengisap darah sampai telur dikeluarkan, dapat bervariasi, yaitu antara 3-4 hari, dimana jangka waktu tersebut disebut dengan satu siklus gonotropik (*gonotropic cycle*). Nyamuk betina ini mempunyai kebiasaan mengisap darah berulang kali (*multiple bites*) dalam satu siklus gonotropik yang bertujuan untuk memenuhi lambungnya dengan darah. Namun nyamuk betina ini bersifat antropofilik, yaitu lebih menyukai darah manusia dibandingkan darah hewan.

Siklus gonotropik ada beberapa macam, yaitu:

- 1) Gonotropik concordance, yaitu waktu nyamuk mulai mengisap darah yang pertama kali sampai bertelur.
- 2) Gonotropik discordance, yaitu waktu nyamuk mulai mengisap darah untuk yang pertama kali, kemudian darah dicerna dahulu, lalu nyamuk menghisap darah lagi berkali-kali sampai bertelur.
- 3) Gonotropik association, yaitu nyamuk menghisap darah namun tidak bertelur, sampai dengan musim hujan dimana terdapat genangan air untuk tempat bertelur, dan selama itu nyamuk tidak menghisap darah lagi.
- 4) Gonotropik dissociation, yaitu nyamuk tetap menghisap darah selama musim kering, namun tidak bertelur dan hanya akan bertelur setelah musim hujan datang.

7.7 Perilaku istirahat

Setelah kenyang mengisap darah, nyamuk betina perlu beristirahat sekitar 2-3 hari untuk mematangkan telur. *Ae. aegypti*. Tempat yang paling disukai nyamuk untuk beristirahat

adalah di tempat yang gelap, lembap, dan tersembunyi di dalam rumah atau bangunan, termasuk di kamar tidur, kamar mandi, kamar kecil, maupun di dapur. Nyamuk ini jarang ditemukan di luar rumah, di tumbuhan, atau di tempat terlindung lainnya. Di dalam ruangan, permukaan istirahat yang mereka sukai adalah di bawah furnitur, benda yang tergantung seperti baju dan korden, serta di dinding. Nyamuk betina biasanya beristirahat di tempat-tempat dengan vegetasi yang padat, lubang-lubang pohon, kandang hewan, atau bebatuan selama 2 sampai 4 hari hingga telur berkembang secara utuh (matang). Setelah itu nyamuk betina akan terbang dari tempat peristirahatannya pada sore atau malam hari untuk mencari tempat untuk meletakkan telur. Setelah selesai bertelur, maka nyamuk *Ae. aegypti* betina menghisap darah lagi untuk mengulang siklus bertelurnya.

7.8 Jarak terbang

Jarak terbang nyamuk *Ae. aegypti* sekitar 40 meter dari tempat perindukannya. Penyebaran nyamuk *Ae. aegypti* betina dewasa dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya ketersediaan tempat bertelur dan ketersediaan darah. Namun jarak terbangnya terbatas sampai dengan 100 meter dari lokasi kemunculan. Akan tetapi, pada penelitian terbaru di Puerto Rico menunjukkan bahwa nyamuk *Ae. aegypti* ini dapat menyebar sampai lebih dari 400 meter, terutama untuk mencari tempat bertelur. Transportasi pasif juga dapat terjadi, misalnya melalui telur dan larva yang berada dalam penampung dan nada yang memindahkan penampungan air tersebut.

7.9 Lama hidup

Nyamuk *Ae. aegypti* dewasa memiliki lama hidup rata-rata hanya delapan hari. Namun selama musim hujan, masa bertahan hidup nyamuk *Ae. aegypti* dapat lebih panjang, sehingga risiko penyebaran virus juga semakin besar. Dengan demikian, masih diperlukan lebih banyak penelitian untuk mengkaji survival alami *Ae. aegypti* dalam berbagai kondisi lingkungan, sehingga dapat sebagai acuan dalam pengendalian populasi nyamuk *Ae. aegypti*.

Referensi

- Borror, D.J., Tripelhorn, C.A., Johnson, N.F. (1989). An Introduction to The Study Of Insects. USA: Saunders College Publishing.
- Cania, E., & Setyaningrum, E. (2013). Uji Efektifitas Larvasida Daun Legundi (*Vitex trifolia*) terhadap Larva *Aedes aegypti*. Medical Jornal Lampung University, 2(4),52-60.
- CDC. (2013) Prevention of Dengue and the *Aedes aegypti* Mosquito (Leaflet). National Center for Emerging and Zoonotic Infectious Diseases Division of VectorBorne Diseases. Puerto Rico, North America.
- CDC. (2014). Gambar Siklus Hidup Nyamuk *Aedes aegypti*. http://www.cdc.gov/Dengue/entomologyEcology/m_lifecycle.
- Departemen Kesehatan RI, 2004, Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1197/Menkes/SK/X/2004, tentang Standar Pelayanan Farmasi di Rumah Sakit, Jakarta.
- Farias, D.F. (2010). Water Extract of Brazilian Leguminous Seeds as Rich Sources of Larvicidal Compound Against *Aedes aegypti*. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 82(3),585-594.
- Ghosh, A., Chowdhury, N., and Chandra, G. (2012) Plant Extracts as Potential Mosquito Larvacides. Indian Journal of Medical Research, 135(5),581-598.
- HMKM FK Unud, (2019). Berkenalan dengan Si Nyamuk Penyebab DBD
- Komariah., .P.S., and Malaka, T. (2012) Pengendalian Vektor. Jurnal Kesehatan Bina Husada. 6(1),34-37.
- Rahayu, D.F., and Ustiawan, A. (2013). Identifikasi *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus*. BALAB, 9(1),7-10.
- Rosa, E., Siti Salmah., Dahelmi., and Syamsuardi. (2015) Detection of Trransovarial Dengue Virus with RT-PCR in *Aedes albopictus* (Skuse) Larvae Inhibiting Phytothelmata in Endemic DHF Areas in West Sumatra, Indonesia. American Journal of Infectious Diseases and Microbiology, 3(1),14-17.
- Sayono. Qoniatur, S., and Mifbakhuddin (2011) Pertumbuhan Larva *Aedes aegypti* Pada Air Tercemar. Jurnal Kesehatan Masyarakat Indonesia. 7(1), 15-22.

- Upik, K., Singgih H.S., and E. Agustina 2010. Habitat Jentik *Aedes aegypti* (Diptera Culicidae) pada Air Terpolusi di Laboratorium. *Jurnal Kesehatan*, 2(1).
- Savage, H.M. and Smith, G.C (1995), *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti* en las Américas: Implicaciones para la transmisión de arbovirus e identificación de hembras adultas dañadas” [*Aedes albopictus* and *Aedes aegypti* in the Americas: Implications for the transmission of arboviruses and identification of damaged adult females], *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana*, 118, 473-487.
- Vargas, V.M. (1968), Sexual dimorphism of larvae and pupae of *Ae. Aegypti* (Linn.), *Mosquito News*, 28, 374-379.
- Rueda, L. (2004), Pictorial keys for the identification of mosquitoes (Diptera: Culicidae) associated with dengue virus transmission”, in *ZOOTAXA 589*, Magnolia Press, Auckland, 60.

BAB 8

APLIKASI ANTINYAMUK

8.1 Pendahuluan

Cairan antinyamuk adalah suatu bahan kimia yang berfungsi untuk mengusir nyamuk atau bahkan digunakan untuk membunuh nyamuk. Cairan antinyamuk ini merupakan salah satu dari golongan insektisida yang oleh masyarakat umum telah digunakan luas untuk menanggulangi permasalahan yang disebabkan oleh populasi nyamuk. Dengan menggunakan cairan antinyamuk ini, maka diharapkan populasi nyamuk dapat dikendalikan. Kandungan bahan aktif yang ada pada insektisida yang tersebar luas di masyarakat ada beberapa jenis, namun ada beberapa zat aktif yang mendominasi, diantaranya adalah dari golongan *piretroid* (41,38%), *organofosfat* (13,79%), dan *karbamat* (10,34%). Menurut *World Health Organization* (WHO), bahan-bahan aktif yang terkandung dalam insektisida dapat dikelompokkan dalam beberapa golongan, diantaranya golongan U (tidak menimbulkan bahaya akut apabila digunakan dalam dosis normal), golongan III (kandungan bahan aktif cukup berbahaya), golongan II (kandungan bahan aktif berbahaya), hingga golongan Ib (kandungan bahan aktif sangat berbahaya).

Dari sekian banyak insektisida yang ditemukan di masyarakat, sebanyak 12% dari keseluruhan insektisida tersebut mempunyai kandungan *triazofos* (organofosfat), *metamidofos* (organofosfat), *karbofuran* (karbamat), dan *beta siflutrin* (ptieroid).

8.2 Formulasi Insektisida

Bahan aktif merupakan bahan atau zat atau senyawa yang terkandung dalam insektisida yang berperan penting dan bekerja aktif terhadap hama atau organisme sasaran. Apabila insektisida

dibuat di pabrik, maka biasanya bahan aktif tersebut tidak dibuat secara murni (100%), melainkan dibuat dengan mencampurkan bahan-bahan lainnya. produk insektisida yang dihasilkan oleh pabrik disebut dengan formulasi, karena merupakan campuran fisik antara bahan aktif dan bahan tambahan. Formulasi ini akan menentukan cara kerja insektisida, termasuk bentuk, komposisi, dosis, frekuensi, serta jasad sasaran dari insektisida tersebut. Sebelum digunakan, formulasi tersebut harus dinilai keefektifannya, sehingga bila digunakan di masyarakat akan dapat digunakan secara efektif. Selain dinilai tingkat efektivitasnya, formulasi tersebut juga harus dinilai tingkat keamanannya, karena aspek keamanan sangat penting diperiksa sebelum diedarkan di masyarakat. Berbagai macam formulasi insektisida yang beredar di masyarakat ada beberapa macam, diantaranya sebagai berikut

8.2.1 Formulasi Padat

Wettable Powder (WP), merupakan formulasi insektisida dalam bentuk tepung. Sediaan tepung ini mempunyai ukuran partikel yang sangat kecil, yaitu beberapa micron. Kadar bahan aktif yang terkandung dalam sediaan WP ini relatif tinggi, yaitu sekitar 50-80%. Cara pengaplikasian formulasi WP ini adalah dengan mencampurnya dengan air, sehingga akan membentuk suspensi. Suspensi ini kemudian disemprotkan ke organisme sasaran.

Soluble Powder (SP), adalah salah satu formulasi insektisida dalam bentuk tepung. Perbedaan SP dengan WP adalah jika SP dicampurkan dengan air, maka akan membentuk larutan homogen. Penggunaan SP yang sudah menjadi larutan homogen adalah dengan cara disemprotkan pada organisme sasaran.

Butiran, merupakan sediaan insektisida yang siap pakai. Konsentrasi bahan aktif dalam sediaan butiran cukup rendah, yaitu sekitar 2%. Ukuran butiran ini cukup bervariasi, yaitu antara 0,7-1 mm, tergantung kebutuhan. Pengaplikasian insektisida jenis ini sangat praktis, yaitu cukup menaburkan di sekitar organisme sasaran.

Water Dispersible Granule (WG atau WDG), merupakan salah satu bentuk formulasi insektisida dalam sediaan butiran. Butiran WDG ini terlebih dahulu harus diencerkan dengan air. Setelah tercampur sempurna, baru diaplikasikan dengan cara disemprotkan pada organisme sasaran.

Soluble Granule (SG), merupakan formulasi insektisida yang mirip dengan WDG, yaitu berbentuk butiran dan harus diencerkan dengan air terlebih dahulu, baru digunakan dengan cara disemprotkan ke organisme sasaran. Perbedaan WDG dan SG adalah pada saat SG dicampurkan dengan air, maka SG dapat membentuk larutan sempurna.

Tepung hembus, merupakan salah satu bentuk formulasi insektisida sediaan siap pakai dalam bentuk tepung, yang mempunyai ukuran partikel sekitar 10^{-3} mikron. Konsentrasi bahan aktif yang terkandung dalam tepung hembus relatif rendah, yaitu sekitar 2%. Cara mengaplikasikan insektisida dalam sediaan tepung hembus adalah dengan cara menghembuskan (*dusting*).

8.2.2 Formulasi Cair

Emulsifiable Concentrate atau *Emulsible Concentrate* (EC), merupakan salah satu sediaan insektisida yang berbentuk pekat (konsentrat) cair. Konsentrasi bahan aktif yang terkandung dalam insektisida EC cukup tinggi. Jika sediaan insektisida EC ini dicampurkan dengan air, maka akan membentuk emulsi, yaitu butiran benda cair yang melayang dalam media cair lainnya. Formulasi insektisida WP dan EC merupakan formulasi klasik yang paling banyak digunakan oleh masyarakat luas saat ini.

Water Soluble Concentrate (WCS), merupakan formulasi insektisida yang hampir mirip dengan EC. Cara penggunaan WCS adalah dengan dicampurkan dengan air. Perbedaan WCS dan EC adalah jika dicampurkan dengan air, EC akan membentuk emulsi, sedangkan WCS dapat membentuk larutan homogen. Cara mengaplikasikan formulasi WCS ini adalah dengan cara disemprotkan ke organisme sasaran.

Aqueous Solution (AS), merupakan formulasi insektisida dalam bentuk pekatan yang bisa dilarutkan dalam air. Umumnya

insektisida bentuk AS ini memiliki kelarutan tinggi di dalam air. Penggunaan formulasi AS adalah dengan cara disemprotkan pada organisme sasaran.

Soluble Liquid (SL), merupakan jenis insektisida dalam bentuk pekatan cair. Pekatan cair ini apabila dilarutkan dalam air akan membentuk larutan. Penggunaan insektisida jenis ini adalah dengan cara disemprotkan pada organisme sasaran.

Ultra Low Volume (ULV), merupakan formulasi insektisida yang penggunaannya dengan cara disemprotkan dengan volume ultra rendah. Formulasi ini mempunyai volume semprot antara 1 - 5 liter/hektar. Formulasi ULV umumnya berbasis minyak dan butiran semprot yang sangat halus, karena untuk penyemprotan dengan volume ultra rendah.

8.3 Penyimpanan Nyamuk dalam Kandang

Nyamuk yang digunakan dalam percobaan ini ditangkap menggunakan jaring saat menggigit manusia antara jam 7 malam sampai jam 10 malam. Nyamuk dibiarkan kelaparan selama 24 jam dan 20 ekor nyamuk ditempatkan di dalam kandang ($45 \times 15 \times 30$ cm) yang ditunjukkan pada Gambar 8.1. Waktu pengujian antara jam 7 malam dan 10 malam karena nyamuk biasanya menggigit pada malam hari. Nyamuk perilaku pencarian inang diuji sebelum percobaan.



Gambar 8. 1 Kandang Nyamuk
(Ranasinghe et al., 2016)

8.4 Pengujian Aktivitas Gel Antinyamuk

Pengujian dilakukan dengan meletakkan tangan yang sudah dicuci dengan sabun tanpa pewangi dan alkohol sampai kering sebelumnya di dalam kandang. Tangan relawan dilindungi oleh sarung tangan lateks yang tidak dapat digunakan untuk objek gigitan nyamuk seperti pada Gambar 8.2. Lengan relawan yang telah digosok dengan larutan uji sebanyak 1 mL pada area lengan bawah di antara pergelangan tangan dan siku. Nyamuk betina yang lapar dikurung di kandang uji dilepaskan pada glass chamber. Jumlah nyamuk yang menggigit lengan dicatat setiap menit selama 5 menit. Uji nyamuk selanjutnya diberi selang waktu 15 menit sampai satu jam dan prosedur di atas diikuti untuk setiap formulasi baik ekstrak dan minyak atsiri lainnya. Setiap pengujian diulang 3 s.d 5 kali untuk mendapatkan nilai rata-rata aktivitas pengusir nyamuk.



Gambar 8. 2 arm-in-cage Test (tangan dalam kandang) pada *glass Chamber* untuk mengukur efektivitas antinyamuk topikal dalam kondisi laboratorium.
(Colucci and Müller et al., 2018)

8.5 Pengujian Aktivitas Semprot Antinyamuk Cair

Uji coba lapangan *outdoor* dan *indoor* dilakukan selama dua hari dari jam 5 pagi sampai 11 pagi (6 jam) dengan mengoleskan gel antinyamuk dan semprotan antinyamuk secara terpisah pada kaki relawan. Gel dan semprotannya menunjukkan

100% antinyamuk untuk uji coba lapangan *outdoor* dan *indoor* yang dilakukan selama enam jam setiap hari selama dua hari.

Tidak ada iritasi kulit atau ruam yang diamati pada lengan relawan uji dengan ekstrak, minyak atsiri dan dua formulasi pengusir nyamuk. Namun, sensasi panas teramati pada lengan relawan uji dengan minyak esensial Cengkeh. Oleh karena itu, sedikit sensasi panas yang diamati pada lengan relawan uji dengan dua formulasi antinyamuk juga mungkin disebabkan oleh minyak atsiri Cengkeh, sehingga perlu dilakukan mengurangi minyak atsiri Cengkeh ke tingkat di mana tidak ada sensasi panas.

Minyak atsiri tumbuhan menunjukkan aktivitas pengusir nyamuk yang lebih tinggi dibandingkan dengan ekstrak tumbuhan. Ketika 10% (V/V%) ekstrak dan minyak atsiri dibandingkan, aktivitas antinyamuk terjadi dalam urutan pada Tabel 5.6. Ketika ekstrak 20% (V/V%) dan minyak esensial dibandingkan, aktivitas pengusir nyamuk ditemukan dalam urutan berikut: Minyak atsiri kunyit (100%)> ekstrak Nika dan ekstrak Neem (97,94%). Gel pengusir nyamuk dan semprotan pengusir nyamuk yang masing-masing mengandung 16% (V / V%) total bahan aktif, menunjukkan 100% pengusiran nyamuk untuk uji coba lapangan di luar dan di dalam ruangan yang dilakukan selama enam jam setiap hari selama dua hari.

Tabel 8. 1 Perbandingan kemampuan aktivitas antinyamuk pada minyak Atsiri dan Ekstrak tumbuhan
(Ranasinghe et al., 2016)

Jenis zat aktif	Presentase aktivitas antinyamuk
Minyak atsiri serai wangi	100%
minyak atsiri kayu putih	100%
Minyak atsiri Tulsi	97,94%
Minyak atsiri cengkeh	95,81%
Minyak atsiri Jeruk Manis	93,75%
Minyak atsiri kunyit	89,56%
Ekstrak Nika	85,44%
Ekstrak neem	81,25%

8.6 Penelitian tentang antinyamuk cair

Penelitian ini berkisar pada pembuatan antinyamuk dalam fasa cair (secara elektrik, maupun semprot) . Penggunaan bahan alami untuk mengurangi penggunaan yang berbahaya dari DEET. Diantara bahan alam yang dipakai menggunakan ekstrak tumbuhan yaitu daun singkong,

8.6.1 Uji Efektivitas Rendaman Daun Singkong (*Manihot utilissima*)

**“Uji Efektivitas Rendaman Daun Singkong (*Manihot utilissima*) sebagai Insektisida terhadap Nyamuk *Aedes aegypti* dengan Metode Elektrik Cair”
oleh Faya Azjka Iftita”.**

Pengendalian nyamuk *Aedes aegypti* secara kimiawi sekarang ini masih merupakan pengendalian nyamuk paling populer, baik di masyarakat, maupun pada program pengendalian DBD oleh pemerintah. Seperti kita ketahui, bahwa penggunaan insektisida kimia dalam pengendalian vektor DBD bagaikan pisau bermata dua, yang artinya bisa menguntungkan di satu sisi, namun di sisi lainnya bisa merugikan. Penggunaan insektisida harus tepat sasaran, tepat dosis, tepat waktu, dan memperhatikan cakupannya, sehingga upaya pengendalian vektor akan efektif, dan dapat menekan kemungkinan timbulnya dampak negatif dari insektisida terhadap lingkungan atau organisme yang bukan sasaran. Penggunaan insektisida dalam jangka waktu yang lama akan berisiko menyebabkan resistensi pada vektor.

Insektisida yang digunakan untuk pengendalian penyakit DB/DBD harus digunakan secara cermat dan bijak. Daun Singkong merupakan salah satu jenis sayuran yang memiliki kandungan flavonoid, triterpenoid, saponin, serta tannin yang lebih tinggi daripada sayuran lainnya. Berdasarkan penelitian, daun singkong juga mengandung sianida, dimana sianida merupakan zat aktif yang dapat menyebabkan kerusakan

spirakel. Dengan rusaknya spirakel, maka serangga tidak bisa bernafas, dan akan berakhir dengan kematian. Flavonoid merupakan senyawa yang berfungsi sebagai pertahanan tumbuhan, namun bagi serangga dapat bersifat menghambat proses makan dan bersifat toksis bagi serangga. Flavonoid akan menyebabkan vasokonstriksi yang berlebihan, akibatnya permeabilitas rongga badan pada nyamuk *Ae. aegypti* menjadi rusak, serta hemolimfe tidak dapat terdistribusi secara sempurna.

Pada penelitian ini dipilih metode elektrik, dengan pertimbangan metode ini tidak menimbulkan asap dan debu, serta dengan cepat dapat dinetralisir oleh lingkungan dibandingkan dengan metode semprot. Sampel pada penelitian ini menggunakan sampel nyamuk *Ae.aegypti* betina yang berumur 3-5 hari yang kenyang larutan gula. Banyaknya sampel yang digunakan dalam tiap perlakuan adalah 20 ekor nyamuk. Pemaparan dilakukan selama 20 menit di dalam *glass chamber* berukuran 70x70x70 cm.

Peneliti menggunakan alat elektrik cair yang mempunyai kelebihan bebas asap dan tidak berbau menyengat. Penelitian pengendalian vektor ini bertujuan untuk mengurangi atau menekan populasi vektor nyamuk *Ae. aegypti* sampai batas serendah-rendahnya, sehingga diharapkan tidak signifikan lagi dalam menularkan penyakit, terutama DBD. Selain itu, pengendalian vektor ini juga bertujuan menghindarkan kontak antara vektor nyamuk dengan dan manusia. Pengendalian vektor dibagi menjadi 2 golongan, yaitu pengendalian alami dan buatan. Adapun bentuk kegiatan pengendalian vektor dapat dibagi menjadi dua, yaitu dapat berupa pengendalian lingkungan dan pengendalian kimiawi. Pengendalian lingkungan dapat dilakukan dengan cara melakukan modifikasi lingkungan atau dapat juga dengan melakukan usaha perbaikan lingkungan. Pengendalian kimia merupakan suatu cara pengendalian vektor dengan memakai bahan kimia. Tujuan pengendalian vektor secara kimia adalah untuk membunuh serangga. Bahan kimia yang digunakan untuk membunuh serangga disebut insektisida.

Selain berfungsi untuk membunuh serangga, ada juga insektisida yang berfungsi sebagai pengusir atau Anti serangga, yang sering disebut sebagai repellent.

Berdasarkan penelitian, daun singkong mengandung senyawa glukosida sianogenik, yang tersebar hampir di seluruh jaringan tanaman, yang terdiri dari linamarin dan lotaustralin. Dengan merendam daun singkong, maka linamarin akan bereaksi dengan air (terhidrolisis). Senyawa bioaktif yang terkandung pada tanaman dapat dimanfaatkan sebagai insektisida, seperti halnya insektisida sintetik. Perbedaan antara insektisida alami/nabati dan insektisida sintetik adalah bahan aktif pada insektisida nabati disintesa oleh tumbuhan, dimana jenisnya dapat lebih dari satu macam (berupa campuran beberapa zat aktif).

Flavonoid merupakan zat aktif yang berpotensi untuk mengganggu metabolisme energi di dalam mitokondria pada serangga, yaitu dengan menghambat sistem pengangkutan elektron. Dengan terhambatnya sistem pengangkutan elektron, maka akan menghalangi produksi ATP, dan dapat menyebabkan penurunan pemakaian oksigen oleh mitokondria. Dengan menurunnya pemakaian oksigen akan menghambat rantai respirasi, sehingga dapat menghambat fosforilasi oksidatif, serta memutuskan rangkaian antara rantai respirasi dengan fosforilasi oksidatif. Hal inilah yang menyebabkan *flavonoid* dapat berfungsi sebagai inhibitor pernapasan pada nyamuk. Bahan aktif asam sianida (*Alkaloid dioscorine*) mempunyai efek insektisida melalui mekanisme sebagai *anticholinesterase*, yang artinya memiliki mekanisme kerja dari senyawa organophospat dan karbamat sebagai insektisida.

Jenis penelitian ini adalah eksperimen dengan rancangan uji acak terkendali (*randomized controlled trial*), dimana kelompok perlakuan dibagi menjadi kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Kelompok kontrol ada dua jenis, yaitu kontrol positif dan kontrol negatif. Nyamuk yang digunakan sebagai sampel adalah nyamuk *Ae. aegypti* yang berumur 2-5 hari, diambil dengan menggunakan aspirator dari kandang

pengembangbiakan nyamuk ke *paper cup*. Nyamuk yang sudah berada dalam *paper cup* diberi kapas basah rendaman gula 10%. Untuk proses pembuatan rendaman daun singkong adalah dengan menimbang daun singkong dengan perbandingan berat untuk mendapatkan konsentrasi sesuai perlakuan. Lalu daun singkong dihaluskan (diblender), kemudian direndam.

Sebelum dilakukan pengujian, *glass chamber* dibersihkan terlebih dahulu supaya terhindar dari kontaminasi insektisida lain. Obat nyamuk uap cair elektrik dipanaskan di dalam *draft room* selama 4 jam, lalu dipindahkan ke dalam *glass chamber*. Pengujian dilakukan selama 3 menit. Sebanyak 20 ekor nyamuk *Ae. aegypti* betina dilepaskan ke dalam *glass chamber* pengujian. Setelah terpapar selama 20 menit, nyamuk dipindahkan ke dalam *paper cup*, untuk kemudian dipelihara/diholding selama 24 jam. Kelompok kontrol (baik itu kontrol positif maupun kontrol negatif) juga diperlakukan dengan cara yang sama. Kontrol negatif dipaparkan dengan akuades, sedangkan kontrol positif dipaparkan dengan transflutrin (obat nyamuk cair elektrik yang tersedia di pasaran). Lalu jumlah nyamuk pingsan/mati dihitung/dicatat untuk menentukan presentase kematian. Setiap perlakuan diamati pada enam interval waktu, yaitu pada jam ke-2, jam ke-4, jam ke-8, jam ke-16, dan jam ke-24. Setiap konsentrasi rendaman daun singkong dilakukan 4 kali pengulangan. Jumlah nyamuk yang mati dihitung, dan hasil pengamatan dicatat pada formulir pengamatan. Nilai LT_{50} dan LC_{50} dihitung dengan menggunakan analisis probit.

Berdasarkan hasil penelitian dapat dibuat grafik garis namun tidak beraturan dan cenderung mengalami penurunan pada konsentrasi 63,03%. Peningkatan konsentrasi tidak sebanding dengan peningkatan kematian nyamuk yang terjadi. Hasil uji normalitas data kematian nyamuk menunjukkan bahwa data berdistribusi normal, karena nilai signifikansi untuk kematian nyamuk adalah 0,644 (nilai signifikansi > 0,05, sehingga H_0 diterima). Dengan demikian dapat dikatakan bahwa data kematian sampel nyamuk pada uji pendahuluan

merupakan data yang berdistribusi normal. Hasil uji homogenitas menunjukkan bahwa nilai signifikansi berdasarkan rata-rata adalah 0,182 ($p > 0,05$) sehingga H_0 diterima, yang berarti data memiliki varians data yang sama (homogen). Dengan demikian dapat diketahui bahwa data memenuhi syarat untuk pengujian Anova.

Berdasarkan hasil uji Anova dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan rata-rata kematian larva pada berbagai serial konsentrasi berbeda secara signifikan, dimana diperoleh nilai $p = 0,011$ ($p < 0,05$), sehingga H_0 ditolak, yang artinya bahwa terdapat perbedaan rata-rata kematian nyamuk dari tingkatan konsentrasi yang berbeda. Kelima tingkatan konsentrasi yang diuji memiliki efektivitas yang berbeda dalam membunuh nyamuk *Ae. aegypti*.

Untuk mengetahui konsentrasi yang paling efektif, selanjutnya data pengamatan uji lanjutan ini dianalisis dengan Tukey, serta dianalisis menggunakan regresi probit untuk mendapatkan *Lethal Concentration* (LC_{50}) dan LC_{90} . Berdasarkan hasil analisis menggunakan Tukey diperoleh nilai signifikansi dan *mean difference*. Dengan menggunakan metode Tukey dapat diketahui konsentrasi mana saja yang berbeda secara statistik, yaitu apabila nilai signifikansinya kurang dari 0,05 ($p < 0,05$). Tanda bintang pada kolom *mean difference* menunjukkan bahwa rata-rata kematian antara 2 konsentrasi berbeda secara statistik, sehingga dapat disimpulkan bahwa konsentrasi 18,43% mempunyai perbedaan rata-rata kematian dibandingkan dengan konsentrasi 39,32 ($p = 0,09$) dan bila dibandingkan dengan konsentrasi 124,60% ($p = 0,037$). Kematian pada konsentrasi 39,32% tidak berbeda secara signifikan dibandingkan dengan kematian pada konsentrasi 124,60% ($p = 0,941$). Rata-rata kematian tertinggi pada konsentrasi 39,32%.

Berdasarkan penelitian dapat diketahui bahwa *Lethal Concentration* 50 (LT_{50}) dari pengujian rendaman daun singkong terhadap nyamuk *Ae. aegypti* berada pada nilai 47,82. Artinya, nyamuk *Ae. aegypti* akan mati 50% apabila diberikan

rendaman daun singkong sebesar 47,82%. *Lethal Time 50* (LT_{50}) dari pengujian rendaman daun singkong terhadap kematian nyamuk *Ae. aegypti* berada pada nilai 23.441. Artinya, nyamuk *Ae. aegypti* akan mati sebanyak 50% setelah terpapar 23 jam.

Kematian nyamuk *Ae. aegypti* yang terjadi diakibatkan karena keracunan saat terpapar ekstrak daun singkong yang dipanaskan menggunakan alat pemanas. Pada saat ekstrak daun singkong dipanaskan, maka alat pemanas tersebut akan mengeluarkan asap yang mengandung metabolit sekunder berupa HCN. Bahan aktif asam sianida (*Alkaloid dioscorine*) yang terkandung dalam ekstrak daun singkong memiliki efek insektisida melalui mekanisme sebagai anticholinesterase. Anticholinesterase ini dapat menyebabkan enzim cholinesterase mengalami fosforilasi, dan menjadi tidak aktif. Apabila enzim cholinesterase tidak aktif, maka dapat menyebabkan terhambatnya proses degradasi asetilkolin. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya akumulasi asetilkolin di celah sinap. Selanjutnya akan terjadi peningkatan transmisi rangsang yang dapat menyebabkan otot pernafasan akan mengalami kontraksi secara terus-menerus. Kontraksi otot pernafasan yang terjadi secara terus-menerus dapat menyebabkan kejang otot pernafasan, dan akhirnya dapat menyebabkan kematian nyamuk.

Selain HCN, daun singkong juga memiliki kandungan bahan aktif lain, salah satunya flavonoid. Flavonoid ini dapat berfungsi sebagai racun pernapasan atau inhibitor pernapasan pada serangga, sehingga saat nyamuk *Ae. aegypti* melakukan pernapasan, flavonoid akan masuk bersama udara (O_2) melalui alat pernapasannya. Setelah masuk ke dalam tubuh serangga, flavonoid akan menghambat system kerja pernapasan di dalam tubuh nyamuk.

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diketahui bahwa jumlah kematian nyamuk tidak sebanding dengan peningkatan konsentrasi yang diberikan pada penelitian lanjutan. Tingkatan konsentrasi 18,43; 31,30; 39,32; 63,03; dan 124,60% b/v

memberikan rata-rata kematian nyamuk secara berturut-turut 26,25%(LC20); 36.25%(LC40); 46.25%(LC50); 41.25%(LC70); dan 42.5%(LC90). Jumlah nyamuk yang mati tidak sesuai dengan pengujian nilai probit, dan cenderung mengalami penurunan pada konsentrasi 63,03% dan 124,60%. Konsentrasi yang memberikan rata-rata kematian nyamuk tertinggi terjadi pada konsentrasi 39,32% b/v, lebih tinggi dibandingkan dua konsentrasi tertinggi lainnya. Perbedaan berat jenis pada konsentrasi yang tinggi menyebabkan HCN yang menguap lebih sedikit dibandingkan pada konsentrasi lainnya yang lebih kecil, sehingga peningkatan konsentrasi rendaman daun singkong yang dipaparkan pada uji lanjutan tidak sebanding dengan peningkatan kematian nyamuk.

Konsentrasi bahan aktif insektisida dikatakan efektif apabila dengan konsentrasi minimal namun mampu memberikan efek kematian dalam waktu pengamatan selama 24 jam berkisar antara 90 -100%. Pada penelitian ini, pengujian lanjutan sebanyak lima variasi konsentrasi ekstrak daun singkong, dimana peneliti tidak dapat mencapai kematian pada nyamuk di atas 90%. Konsentrasi tertinggi sebesar 124,32% b/v hanya mampu menyebabkan kematian terhadap nyamuk rata-rata sebanyak 8 ekor, sedangkan konsentrasi 39,32% b/v mampu menyebabkan kematian rata-rata 9 ekor. Pada penelitian ini, konsentrasi yang terbaik pada saat pengujian lanjutan adalah konsentrasi 39,32%, yaitu konsentrasi minimal yang memiliki kemampuan untuk menyebabkan kematian pada nyamuk setara dengan konsentrasi yang tertinggi.

Berdasarkan hasil penelitian Kurniawan mengenai larutan umbi gadung sebagai insektisida terhadap nyamuk *Culex sp* dengan metode elektrik, diperoleh hasil bahwa 15% larutan umbi gadung mampu menyebabkan kematian 100% nyamuk *Culex sp*. Bahan aktif yang digunakan adalah sianida yang terkandung pada umbi gadung. Faktor yang mempengaruhi kematian nyamuk salah satunya adalah umur nyamuk. Nyamuk yang digunakan dalam penelitian Kurniawan

ini adalah nyamuk *Culex sp* jantan dan betina yang berumur 12-15 hari, sedangkan pada penelitian Faya menggunakan nyamuk *Ae. aegypti* betina berumur 3-5 hari. Pada umur di atas 5 hari, ketahanan tubuh nyamuk akan menurun, sehingga dapat mengakibatkan risiko kematian juga semakin tinggi. Faktor kedua adalah lamanya paparan. Pemaparan larutan umbi gadung pada penelitian Kurniawan dilakukan selama 24 jam, sedangkan yang penelitian Faya, nyamuk dipaparkan hanya selama 20 menit saja. Waktu kontak yang terlalu lama akan meningkatkan lamanya interaksi antara senyawa kimia dengan nyamuk sasaran, sehingga akan meningkatkan jumlah nyamuk yang mati. Faktor ketiga yang mempengaruhi kematian nyamuk adalah lokasi asal tumbuhan. Daun singkong yang digunakan dalam penelitian Faya dipetik dari Kota Salatiga. Kadar sianida daun singkong pada tanah yang subur cenderung lebih rendah dibandingkan kadar sianida yang terkandung dalam daun singkong yang tumbuh pada jenis tanah yang kering. Faktor keempat adalah bagian yang digunakan. Bagian dipilih untuk digunakan adalah bagian daun, karena mengandung asam sianida lebih besar dibandingkan umbi. Namun pengolahan daun singkong untuk menurunkan (melepaskan) kandungan sianida memerlukan waktu lebih cepat dibandingkan dengan umbi.

Berdasarkan hasil penelitian, rendaman daun singkong memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai insektisida alami alternatif dalam mengendalikan vektor penyakit DBD. Keunggulan dari tumbuhan singkong ini adalah mudah ditanam di berbagai kondisi tanah dan cuaca. Aplikasi rendaman daun singkong sebagai insektisida pada skala besar masih perlu pengkajian lebih lanjut, meskipun tidak menutup kemungkinan dalam pemanfaatannya sebagai insektisida alami. Hal ini dikarenakan kandungan sianida yang terlalu besar dapat mengakibatkan gangguan kesehatan pada manusia. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai kadar sianida yang aman bagi tubuh manusia, terutama ketika terhirup. Berdasarkan hasil penelitian Sandy dapat diketahui bahwa

semakin tinggi konsentrasi ekstrak etanol daun kemangi (*Ocimum basilicum*) yang diberikan, maka efektivitas insektisida terhadap nyamuk *Ae. aegypti* juga akan semakin meninggi, karena jumlah nyamuk *Ae. aegypti* yang mati akan semakin banyak. Semakin tinggi konsentrasi ekstrak daun kemangi, maka akan semakin banyak bahan aktif HCN yang terkandung di dalam ekstrak. Semakin banyak HCN yang terhirup oleh nyamuk, maka dapat meningkatkan kemungkinan kematian yang lebih besar.

Dalam penelitian Sandy ini dapat disimpulkan bahwa tingkat konsentrasi berbanding lurus dengan kematian nyamuk. Hal ini sesuai dengan penelitian Faya, yaitu semakin tinggi konsentrasi ekstrak daun singkong yang dipaparkan kepada nyamuk, maka semakin besar pula kematian nyamuk yang terjadi. Pada kontrol positif yang menggunakan bahan aktif transflutrin dapat membuat nyamuk *Aedes aegypti* mati 100% dalam waktu 24 jam, sedangkan konsentrasi daun singkong baru bisa menimbulkan efek pingsan pada nyamuk *Ae. aegypti* pada menit ke-60, sedangkan kontrol positif sudah bisa menimbulkan efek pingsan pada nyamuk *Ae. aegypti* mulai menit ke 10. Hal ini menunjukkan bahwa daun singkong tidak memiliki kemampuan *knock-down effect* seperti halnya kontrol positif. Sedangkan pada kontrol negatif tidak ditemukan adanya kematian pada nyamuk *Ae. aegypti* setelah *holding* selama 24 jam. Kontrol negatif menggunakan akuades yang juga digunakan dalam ekstraksi daun singkong. Hasil kontrol negatif menunjukkan bahwa nyamuk *Ae. aegypti* yang digunakan dalam kondisi yang baik pada saat pengujian. Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa insektisida sintetis terbukti lebih ampuh dalam segi kecepatan untuk membunuh vektor. Namun di sisi lain, insektisida sintetis juga memiliki efek lain, misalnya risiko resistensi terhadap vektor dan juga efek terhadap kesehatan manusia. Insektisida sintetis mempunyai kelebihan lain, yaitu lebih tahan lama ketika dipanaskan selama 8 jam, sedangkan insektisida nabati seperti

rendaman daun singkong masih belum diketahui, karena peneliti hanya melakukan pemanasan selama 4 jam saja.

8.6.2 Uji Efektivitas Rendaman Daun Singkong (*Manihot utilissima*)

**“Potensi Ekstrak Daun Kamboja Sebagai Insektisida
Terhadap Nyamuk *Aedes aegypti*”
oleh Ika Wahyu Utami, Widya Hary Cahyati.**

Nyamuk *Ae. aegypti* telah resisten terhadap temephos (abate) dan malathion, termasuk di Kuala Lumpur, Malaysia. Berdasarkan data, kedua insektisida organofosfat tersebut sudah digunakan secara luas dan bertahun-tahun di Malaysia, sejak 1973. Selain di Malaysia, temephos (abate) dan malathion juga digunakan di Indonesia untuk menghentikan penyebaran penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD), misalnya di Yogyakarta dan beberapa kota lainnya di pulau Jawa sejak tahun 1974. Berdasarkan hasil kajian menunjukkan bahwa sebagian besar vektor DBD di Jawa Tengah dan di Daerah Istimewa Yogyakarta, yaitu nyamuk *Ae. aegypti* telah resisten terhadap insektisida malathion 0,8%, bendiocarb 0,1%, lambdasihalotrin 0,05%, permethrin 0,75%, deltamethrin 0,05%, dan ethofenproks 0,5%. Meskipun begitu, masih ada beberapa daerah yang dinyatakan masih peka/susceptible terhadap insektisida cypermethrin 0,05% dan sebagian bendiocarb 0,1%. Oleh karena itu, perlu dipertimbangkan pelaksanaan rotasi penggunaan insektisida untuk pengasapan, terutama penggunaan malathion 0,8%, karena insektisida ini telah lama digunakan.

Beragam upaya telah dilakukan untuk mencegah penyakit tersebut, salah satunya dengan cara mengendalikan populasi nyamuk, ataupun dengan memberikan perlindungan supaya manusia tidak digigit nyamuk. Cara-cara yang dilakukan antara lain dengan memasang kawat kasa pada

ventilasi atau jendela rumah, memasang kelambu pada tempat tidur, menggunakan obat nyamuk baik itu oles, semprot, bakar, maupun elektrik. Dalam memilih perlindungan terhadap gigitan nyamuk tersebut, ada beberapa pertimbangan, misalnya faktor penderita, lingkungan tempat tinggal penderita, faktor lingkungan fisik dan biologis, jenis agen biologis untuk pemberantasan vektor, maupun metode pemberantasan vektor yang sesuai, serta biaya.

Berdasarkan berbagai alasan tersebut, maka perlu upaya mencari insektisida alami sebagai alternatif lain dari penggunaan insektisida sintetik dalam pengendalian vektor penyakit, salah satunya adalah dengan menggunakan insektisida yang berasal dari tumbuhan (insektisida botanik). Pertimbangan yang harus diperhatikan salah satunya adalah biaya yang tinggi dari penggunaan insektisida kimiawi, serta kemungkinan munculnya resistensi dari berbagai macam spesies nyamuk yang menjadi vektor penyakit.

Salah satu tanaman yang dapat menjadi alternatif untuk pembuatan insektisida alami adalah daun kamboja. Tanaman ini sudah dikenal umum di masyarakat Indonesia, biasanya ditanam di pekarangan atau di area pemakaman. Nama latin dari tanaman Kamboja ini adalah *Plumeria acuminata*. Tanaman kamboja mudah dicari, serta sangat mudah untuk diproses menjadi obat. Tanaman kamboja merupakan tanaman pohon, dan mempunyai tinggi batang 1,5-6 m. Batang pohon biasanya bengkok dan mengandung banyak getah. Tanaman kamboja berasal Amerika, dan biasanya ditanam sebagai tanaman hias di pekarangan dan taman, namun di Indonesia sering dijumpai di daerah pekuburan atau sebagai tumbuh secara liar. Tanaman ini tumbuh subur di daerah dataran rendah 1-700 m di atas permukaan laut. Tanaman kamboja ini mengandung senyawa agoniadin, plumierid, asam plumerat, lipeol, dan asam serotinat. Plumierid merupakan suatu zat pahit beracun. Tumbuhan ini mengandung fulvoplumierin, yaitu zat aktif yang dapat mencegah pertumbuhan bakteri. Selain itu, tanaman ini mengandung minyak atsiri, antara lain

geraniol, farsenol, sitronelol, fenetilalkohol, dan linalool. Zat-zat tersebut diketahui mempunyai potensi sebagai insektisida untuk nyamuk, meskipun masih perlu penelitian lebih lanjut mengenai efek insektisidanya. Getah tanaman ini mempunyai kandungan kimia damar dan asam plumeria $C_{10}H_{10}O_5$ (Oxymethyl dioxykaneelzuur), sedangkan kulitnya mengandung zat pahit beracun. Akar dan daun kamboja mengandung senyawa saponin, flavonoid, dan polifenol. Selain itu, pada daunnya juga mengandung alkaloid.

Pada penelitian ini menggunakan desain penelitian *post test only with control group design*, yaitu suatu pengukuran yang terdiri dari 2 kelompok sampel yakni kelompok kontrol dan kelompok eksperimen. Intervensi hanya diberikan kepada kelompok eksperimen. Pada awal percobaan, kondisi kelompok kontrol maupun kelompok eksperimen disamakan, lalu akhir intervensi diberikan pada kelompok eksperimen, lalu pada akhir percobaan dilakukan perbandingan pada kedua kelompok tersebut.

Intervensi yang dilakukan adalah dengan memberikan ekstrak daun kamboja pada kelompok eksperimen, sedangkan pada kelompok kontrol negatif diberi perlakuan menggunakan air sumur, dan pada kelompok kontrol positif diberi perlakuan menggunakan obat nyamuk berbahan aktif transflutrin (yang tersedia di pasaran. Pengukuran pada ketiga kelompok sampel dilakukan 24 jam setelah perlakuan dengan menghitung jumlah nyamuk yang mati. Pada penelitian ini dipilih metode obat nyamuk elektrik karena mempunyai beberapa kelebihan dibanding obat nyamuk jenis lainnya, yaitu lebih praktis, tidak meninggalkan abu, dan tidak menyebabkan asap yang berbau menyengat.

Pada penelitian ini menggunakan sampel 20 ekor nyamuk *Ae. aegypti* untuk tiap kelompok, dengan 4 kali pengulangan. Sampel dibagi menjadi 8 kelompok, yaitu 2 kelompok sampel untuk kontrol, dan 6 kelompok sebagai sampel eksperimen, yang akan diberikan berbagai konsentrasi perlakuan. Jumlah nyamuk *Ae. aegypti* yang dibutuhkan adalah

640 ekor. Alat untuk pembuatan ekstrak daun kamboja adalah blender, erlenmeyer, labu takar, kain penyaring, gelas ukur, dan termometer. Bahan untuk pembuatan ekstrak adalah daun kamboja \pm 3 kg, aquades sebagai bahan pelarut dan pengencer, pisau, dan baki. Alat untuk perlakuan adalah hygrometer, papercup, glass chamber, aspirator, karet, kapas, tempat obat nyamuk elektrik cair, stopwatch, lembar observasi, alat tulis, sabun pembersih, lap, kardus holding, pelepah pisang, dan handuk basah. Bahan untuk perlakuan adalah nyamuk *Ae. aegypti*, aquades, dan air gula.

Percobaan diawali dengan melakukan persiapan nyamuk yaitu memasukkan 20 nyamuk sampel ke dalam papercup. Penelitian ini membutuhkan 32 papercup. Lalu menyiapkan ekstrak daun kamboja yang sudah diencerkan dengan aquades dengan konsentrasi 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 %, dan 30 %. Cara pengujian dilakukan dengan memanaskan obat nyamuk elektrik cair selama \pm 4 jam, lalu masukkan ke dalam glass chamber selama 3 menit. Obat nyamuk dikeluarkan, lalu 20 nyamuk uji dimasukkan ke dalam glass chamber untuk diamati dan dicatat jumlah nyamuk yang *knockdown* pada lembar observasi sesuai periode waktu yang telah ditentukan. Setelah pengamatan selama 20 menit, semua nyamuk dipindahkan dengan aspirator ke dalam paper cup yang sudah diberi air gula, lalu dimasukkan tempat holding di kardus yang telah diberi pelepah pisang dan ditutup handuk basah. Holding dilakukan selama 24 jam. Pengujian selanjutnya dilakukan dengan konsentrasi yang berbeda. Namun sebelum pengujian, *glass chamber* dibersihkan dahulu dengan menggunakan sabun pembersih, kemudian dilap dan dikeringkan, serta dicatat temperatur dan kelembaban ruangan.

Data yang diperoleh lalu dianalisis secara statistik menggunakan uji probit, uji normalitas data (menggunakan Saphiro Wilk), uji homogenitas varians (menggunakan uji levene), uji Kruskal Wallis, dan dilanjutkan dengan analisis Post Hoc untuk mengetahui perbedaan antar kelompok.

Penelitian ini dilakukan untuk menguji ekstrak daun kamboja dengan konsentrasi 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 %, dan 30 % dengan replikasi 4 kali pada setiap konsentrasi, serta kontrol dengan menggunakan air (kontrol negatif) serta obat nyamuk berbahan aktif transflutrin (kontrol positif). Hasil pengamatan kematian nyamuk *Ae. aegypti* pada penelitian diamati setelah 24 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kematian nyamuk *Ae. aegypti* terdapat pada semua kelompok perlakuan, kecuali kontrol negatif. Hal ini membuktikan bahwa kematian nyamuk *Ae. aegypti* pada kelompok perlakuan disebabkan karena efek ekstrak daun kamboja dalam bentuk elektrik cair, dan bukan karena faktor lingkungan (suhu, kelembaban, dll).

Kematian nyamuk *Ae. aegypti* disebabkan karena adanya kontak dengan obat nyamuk elektrik ekstrak daun kamboja yang mengandung zat saponin. Apabila saponin kontak dengan permukaan kulit nyamuk, maka akan merusak mukosa kulit dan terabsorpsi, sehingga akan terjadi hemolisis darah. Hal ini akan menyebabkan terhambatnya enzim pernafasan dan akhirnya dapat mengakibatkan kematian. Flavonoid yang terkandung dalam ekstrak daun kamboja dapat mengganggu respirasi dan menurunkan fungsi oksigen, sehingga menyebabkan segala gangguan syaraf dan gangguan spirakel, yang akhirnya dapat menyebabkan kematian. Alkaloid yang merupakan anticholinesterase juga terdapat pada ekstrak daun kamboja. Alkaloid ini berfungsi menghambat kerja enzim cholinesterase yang mempengaruhi transmisi impuls syaraf. Senyawa atau zat aktif yang bersifat toksik atau racun, walaupun dalam konsentrasi rendah, apabila masuk ke dalam tubuh nyamuk, dapat menyebabkan kematian pada nyamuk. Dinding tubuh merupakan bagian tubuh serangga yang dapat menyerap zat toksik dalam jumlah besar. Zat toksik akan relatif lebih mudah menembus kutikula, dan selanjutnya akan masuk ke dalam tubuh serangga. Karena serangga pada umumnya berukuran kecil, maka luas permukaan luar tubuh yang terpapar relatif lebih besar (terhadap volume) dibandingkan

mamalia. Selain itu, kutikula pada nyamuk bersifat hidrofob dan lipofilik, sehingga senyawa bioaktif yang bersifat non polar akan mudah menembus kutikula.

Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa kenaikan konsentrasi ekstrak daun kamboja akan diikuti juga dengan kenaikan jumlah kematian nyamuk. Ekstrak daun kamboja konsentrasi 30% mampu menyebabkan kematian nyamuk 97,5 %. Analisis Post Hoc menunjukkan bahwa rata-rata jumlah kematian nyamuk *Ae. aegypti* berbeda secara signifikan. Konsentrasi 15% dan konsentrasi 20%, konsentrasi 20% dan konsentrasi 30%, konsentrasi 30% dan obat nyamuk berbahan aktif transflutrin.

Berdasarkan hasil pengamatan, nyamuk *Ae. aegypti* yang telah diberi perlakuan ekstrak daun kamboja dengan metode elektrik cair akan mengalami perubahan tingkah laku, dimana gerakan yang sebelumnya aktif akan menjadi lamban, sulit bergerak, dan kemudian mati. Nyamuk *Ae. aegypti* dikatakan knockdown apabila jatuh, menggelepar dalam keadaan telentang, dengan pergerakan semakin lambat. Nyamuk *Ae. aegypti* dikatakan mati apabila tidak ada pergerakan apapun setelah adanya pengusikan.

Jumlah kandungan zat aktif pada ekstrak daun kamboja pada penelitian ini tidak diteliti, sehingga secara kuantitatif tidak diketahui secara pasti. Namun keberadaan zat aktif tersebut dapat berperan penting dalam mekanisme insektisida ekstrak daun kamboja. Perbedaan konsentrasi ekstrak yang digunakan akan mempengaruhi jumlah zat aktif, sehingga dapat menyebabkan adanya perbedaan daya bunuh pada masing-masing konsentrasi. Pada penelitian ini, kematian nyamuk *Ae. aegypti* diakibatkan karena nyamuk keracunan zat aktif yang terkandung dalam ekstrak daun kamboja pada saat alat elektrik cair dipanaskan menggunakan alat pemanas. Pada saat elektrik cair ekstrak daun kamboja dipanaskan, maka obat nyamuk elektrik cair tersebut akan mengeluarkan kandungan metabolit sekunder berupa flavonoid, yang merupakan racun pernapasan atau inhibitor pernapasan, sehingga saat nyamuk

Ae. aegypti melakukan inspirasi, flavonoid akan masuk bersama udara (O₂) melalui alat pernapasannya. Setelah flavonoid masuk ke tubuh nyamuk, maka akan menghambat sistem kerja pernapasan di dalam tubuh nyamuk *Ae. aegypti*. Senyawa flavonoid inilah yang nantinya akan dapat digunakan untuk membunuh nyamuk *Ae. aegypti*. Flavonoid ini berfungsi sebagai anticholinesterase. Anticholinesterase menyebabkan enzim cholinesterase mengalami fosforilasi dan menjadi tidak aktif, sehingga akan menyebabkan terjadi hambatan proses degradasi asetilkolin dan dapat menyebabkan akumulasi asetilkolin di celah sinaps. Selanjutnya akan terjadi peningkatan transmisi rangsang yang dapat menyebabkan otot pernapasan mengalami kontraksi secara terus-menerus. Hal ini akan menyebabkan terjadinya kejang otot pernapasan dan menyebabkan kematian nyamuk. Flavonoid juga dapat menyebabkan kerusakan spirakel, sehingga serangga tidak bisa bernafas dan akhirnya akan mati. Senyawa flavonoid merupakan senyawa fenol sebagai antimikroba, antivirus, antijamur, dan bekerja aktif terhadap serangga.

Berdasarkan hasil pengamatan pada penelitian ini, diketahui bahwa perbedaan konsentrasi menyebabkan perbedaan jumlah zat aktif pada masing-masing konsentrasi ekstrak daun kamboja, sehingga menyebabkan adanya perbedaan daya bunuh terhadap nyamuk *Ae. aegypti* pada saat elektrik di nyalakan. Dengan konsentrasi yang semakin rendah, maka akan menyebabkan zat aktif yang terdapat di dalamnya juga semakin berkurang, sehingga akan berakibat semakin rendah efektivitasnya dalam membunuh nyamuk.

Referensi

- Dahniar, A.R., (2011). Pengaruh Asap Obat Nyamuk terhadap Kesehatan dan Struktur Histologi Sistem Pernapasan. *Jurnal Kedokteran Syiah Kuala*. 11(1), 52-59.
- Farooque, M.D., Ashraf, M.A., Shambhawe, S., & Mazumder R., (2012). Review On *Plumeria acuminata*. *International*

- Journal of Research in Pharmacy and Chemistry, 2(2), 467-469.
- Handito, S., Setyaningrum, E., Tundjung, T, and Handayani. (2014) The Effectiveness Test Of Clove Leave Extracts (*Syzygium aromaticum*) as Material of Elektrik Liquid Vaporizer Against *Ae. Aegypti*. Jurnal Ilmiah : Biologi Eksperimen dan Keanekaragaman Hayati, 2(2), 91-96.
- Harfriani, H. (2012). Efektivitas Larvasida Ekstrak Daun Sirsak dalam Membunuh Jentik Nyamuk. Jurnal Kesehatan Masyarakat, 7(2), 164-169.
- Iftita, F.A., 2016. Uji Efektivitas Rendaman Daun Singkong (*Manihot utilissima*) sebagai Insektisida Terhadap Nyamuk *Aedes aegypti* dengan Metode Elektrik Cair. Jurnal Kesehatan Masyarakat, 4(2), 20-28.
- Kovendan, K., Murugan, K., Shantakumar, S.P., & Vincent, S. (2012). Evaluation of Larvicidal and Pupicidal Activity of *Morinda citrifolia* L. (Noni) (Family: Rubiaceae) against Three Mosquito Vectors. Asian Pacific Journal of Tropical Disease, 2 (Sup.1): 1-5.
- Kovendan, K., Murugan, K., Shanthakumar, S.P., Vincent, S., and Hwang, J.S., (2012). Larvacidal Activity of *Morinda citrifolia* L. (Noni) (Family: Rubiaceae) Leaf Extract against *Anopheles stephensi*, *Culex quinquefasciatus*, and *Aedes aegypti*. Parasitology Research, 111(4), 1481—1490.
- Kurniawan, I.B., Sudjari., and Soemardini. (2012) Uji Potensi Larutan Umbi Gadung (*Dioscorea hispida dennst*) sebagai insektisida nyamuk *Culex* sp. Dewasa dengan Metode Elektrik. Universitas Brawijaya, 1-6.
- Nikmah, F., Sulistyani, and Hestningsih, R. (2016). Potensi Ekstrak Bunga Kluwih (*Artocarpus altilis* Linn) sebagai Insektisida terhadap Kematian Nyamuk *Aedes aegypti* Linn dengan Metode Elektrik Cair. Jurnal Kesehatan Masyarakat, 4(1), 380-389
- Nisa, K., Firdaus, O., Ahmadi., and Hairani. (2015). Uji Efektivitas Ekstrak Biji dan Daun Mengkudu (*Morinda citrifolia* L.) sebagai Larvasida *Aedes* sp. SEL, 2(2), 43-48.
- Nugroho, A.D. (2011). Kematian Larva *Aedes aegypti* Setelah Pemberian Abate Dibandingkan dengan Pemberian Serbuk Serai. KEMAS Jurnal Kesehatan Masyarakat, 7(1), 91-96.

- Phal, D., Rajan, N., Deobhankar, K, Vitonde, S., and Ghatpande, N., (2012). Laboratory Evaluation of Herbal Mosquito Coils against *Aedes aegypti* Mosquito. *Bulletin of Environmental, Pharmacology and Life Sciences*, 1(10),16-20.
- Qinahyu, W.D., and Cahyati, W.H., (2016). Uji Kemampuan Antinyamuk Alami Elektrik Mat Serbuk Bunga Sukun (*Artocarpus altilis*) di Masyarakat. *Jurnal Care*, 4(3), 9-14.
- Ranasinghe, M.S.N, Arambewela L., Samarasinghe, S. (2016) Development of Herbal Mosquito Repellent Formulations. *International Journal of Collaborative Research on Internal Medicine & Public Health*. 8(6), 341-379.
- Safitri, I.A., & Cahyati, W.H. (2018). Daya Bunuh Ekstrak Daun Mengkudu (*Morinda Citrifolia* L.) Dalam Bentuk Antinyamuk Cair Elektrik Terhadap Kematian Nyamuk *Aedes Aegypti*. *Jurnal Care*, 6(1), 1-14
- Sari, L.A., & Cahyati, W.H., 2015. Efektivitas Ekstrak Buah Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.) dalam Bentuk Granul terhadap Kematian Larva Nyamuk *Aedes aegypti*. *Jurnal Visikes*, 14(1),.1-9
- Sunaryo., Ikawati, B., Rahmawati., and Widiastuti, D. (2014). Status Resistensi Vektor Demam Berdarah Dengue (*Aedes aegypti*) terhadap Malathion 0,8% dan Permethrin 0,25% di Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Ekologi Kesehatan*, 13(2), 146-152.
- Supriyo, E., Abidin, Z., Nugraheni., and Wahyuni, S., (2011). Produksi Formulasi Insektisida Cair Bentuk Emulsifier Concentrate yang Efektif Guna Membasmi Nyamuk *Aedes Aegypti* Dalam Usaha Mencegah Penyakit Demam Berdarah. *Metana, Media Komunikasi rekayasa Proses dan Teknologi Tepat Guna*, Ed. Khusus 2011.
- Utami, I.W., & Cahyati, W.H. (2017). Potensi Ekstrak Daun Kamboja Sebagai Insektisida Terhadap Nyamuk *Aedes aegypti*. *Higeia*, 1(1), 22-28.
- Wahyono, T.Y.M., and Oktarinda, M.W., (2016). Penggunaan Obat Nyamuk dan Pencegahan Demam Berdarah di DKI Jakarta dan Depok. *Jurnal Epidemiologi Kesehatan Indonesia*

GLOSARIUM

A

Absorbansi. Ukuran terhadap kemampuan suatu larutan menyerap cahaya atau sinar dalam panjang gelombang tertentu.

Adsorpsi. Suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida (cairan maupun gas) terikat kepada suatu padatan dan akhirnya membentuk suatu film (lapisan tipis) pada permukaan padatan tersebut.

Aerosol. Sistem koloid dari partikel padat atau cair yang terdispersi dalam gas

Anatomi. Ilmu yang mempelajari tentang struktur tubuh manusia.

Angiogenesis. Proses pembentukan pembuluh darah

Anion. Ion dengan muatan negatif

Atom. Susunan terkecil dalam suatu partikel atau material

Atsiri. Kelompok besar dari bagian minyak nabati dengan wujudnya yang kental dan mudah menguap sehingga menimbulkan aroma yang khas.

B

Biodegradable. Semua material yang dapat hancur atau terurai oleh organisme hidup lainnya dan berasal dari tumbuhan atau hewan.

Bulk. Ukuran dalam bentuk satuan material keseluruhan.

C

Chemoreseptor. Proses fisiologis dimana organisme menanggapi rangsangan kimiawi.

D

DEET. N-Diethyl-3-Methylbenzamide.

Destilasi. Metode yang dipakai untuk memisahkan bahan kimia berdasarkan perbedaan kecepatan dan kemudahan menguap serta volatilitas bahan.

Diferensiasi sel. Proses tumbuh dan berkembangnya sel ke arah fungsi khusus yang tidak dimiliki oleh sel asal.

Difusi. Pencampuran molekul ke molekul lainnya secara berangsur akibat sifat kinetiknya

Dispersi. Penguraian cahaya polikromatik (putih) menjadi cahaya-cahaya monokromatik

Diurnal. Berhubungan dengan siang hari.

E

Ekstrak. Sediaan pekat yang diperoleh dengan mengekstraksi zat aktif dari simplisia nabati atau simplisia hewani menggunakan pelarut yang sesuai

Emulsi. Campuran dari dua cairan yang biasanya tidak bergabung, seperti minyak dan air.

Enkapsulasi. Proses atau teknik untuk menyalut inti yang berupa suatu senyawa aktif baik itu padat, cair, gas ataupun sel dengan suatu bahan pelindung tertentu yang dapat mengurangi kerusakan senyawa aktif tersebut.

Elektromagnetik. Gaya yang diakibatkan oleh medan *elektromagnetik* terhadap partikel-partikel yang bermuatan listrik

Emisi. Sebagai pancaran, misalnya: pancaran sinar, elektron atau ion.

F

Feromon. Zat kimia yang berfungsi untuk merangsang dan memiliki daya pikat seksual pada jantan maupun betina.

Filogenik. Studi tentang hubungan antara kelompok- kelompok yang berbeda dari organisme perkembangan evolusi.

Formulasi. Perumusan.

Fumigan. Bahan yang digunakan dalam proses fumigasi.

Fungisida. Pestisida yang secara spesifik membunuh atau menghambat cendawan penyebab penyakit.

G

Gel. Zat padat yang lunak dan kenyal seperti jelly tetapi pada rentang suhu tertentu dapat berperilaku seperti fluida (mengalir).

Genotoksik. Bentuk limbah medis yang berbahaya dan bersifat karsinogenik, teratogenik atau mutagenik.

H

Hama. Organisme pengganggu tanaman yang menimbulkan kerusakan secara fisik.

Hematotoksik. Beracun bagi hematologi/ darah/ sistem pembentukan sel darah.

Herbisida. Bersifat racun terhadap gulma atau tumbuhan pengganggu juga terhadap tanaman yang dibudidayakan.

Herbivora. Hewan pemakan tumbuhan.

Hidroksilasi. Proses kimia yang memasukkan gugus hidroksil (-OH) ke dalam senyawa organik.

Hidrofobik. Koloid yang fase terdispersinya tidak menarik medium pendispersi (air).

Hidrokarbon. Senyawa yang memiliki ikatan rantai karbon dan atom hidrogen.

I

Inhibitor. Suatu zat kimia yang dapat menghambat atau memperlambat suatu reaksi kimia.

Inkubasi. Proses memelihara kultur bakteri dalam suhu tertentu selama jangka waktu tertentu untuk memantau pertumbuhan bakteri.

Insektisida. Bahan- bahan kimia bersifat racun yang dipakai untuk membunuh serangga.

Isomer. Molekul- molekul dengan rumus kimia yang sama dan sering dengan jenis ikatan yang sama tetapi memiliki susunan atom yang berbeda.

K

Katalis. Material yang berfungsi sebagai perantara antar reaktan dalam suatu reaksi kimia dan mempercepat terjadinya reaksi.

Karsinogen. Zat atau bahan yang dapat menyebabkan pertumbuhan sel kanker.

Kelambu. Tirai tipis, tembus pandang dengan jaring- jaring yang dapat menahan berbagai serangga menggigit atau mengganggu orang yang menggunakannya.

Keton. Gugus fungsi yang dikarakterisasikan oleh sebuah gugus fungsi karbonil ($O=C$) yang terhubung dengan dua atom karbon atau senyawa kimia yang mengandung gugus karbonil.

Kutikula. Bagian terluar dari jaringan epidermis.

Kutu. Serangga yang tidak bersayap dan berukuran kecil serta dapat menyebabkan dermatitis (merah, gatal dan bengkak).

Koloid. Partikel dengan sifat kekentalannya di antara larutan dan suspense.

L

Lalat. Jenis serangga dari ordo *Diptera*, mempunyai sepasang sayap berbentuk membran.

Larva. Bentuk muda (*juvenile*) hewan yang perkembangannya melalui metamorfosis.

Larvasida. Golongan dari pestisida yang dapat membunuh serangga yang belum dewasa (larva).

Lenabatu. Tanaman serai wangi tipe Srilanka.

Liposom. Struktur vesicular yang dibentuk oleh inti air hidrofilik dan bilayer fosfolipid lipofilik.

Lotion. Sediaan kosmetika golongan emolien (pelembut) yang mengandung air lebih banyak.

M

Micellar nanostructured gel. Misel yang dibentuk oleh surfaktan polimer dengan micellar groupin gel pembentukan struktur.

Mikroemulsi. Dispersi yang secara isotropik terdiri dari dua campuran yang tidak dapat bercampur, memiliki ukuran tetesan kurang dari $0,1 \mu\text{m}$ dan secara termodinamik bersifat stabil dan transparan.

Magnetic Stirrer. Alat pengaduk yang bergerak dengan memanfaatkan sifat magnetik.

N

Neuron. Satuan kerja utama dari sistem saraf yang berfungsi menghantarkan impuls listrik yang terbentuk akibat adanya suatu stimulus

Nanopartikel. Inti partikel yang tersusun dari bahan lipid padat dan dibungkus oleh monolayer surfaktan.

Nanoemulsi. Dispersi minyak dalam air dari fase minyak dan air dalam kombinasi dengan surfaktan dengan ukuran tetesan antara 100 hingga 600 nm. Inti yang terdiri dari bahan lipid cair yang dibungkus oleh surfaktan monolayer.

Nanokapsul. Inti dapat berupa bahan cair yang dibungkus oleh dinding polimer.

Nanoteknologi. Ilmu atau kajian tentang material dalam rentang ukuran 1-100 nanometer.

Nutraceutical. Substansi pada bahan makanan yang memiliki fungsi kesehatan.

O

Organofosfat. Zat kimia sintesis yang terkandung pada pestisida untuk membunuh hama (serangga, jamur atau gulma).

Organoklorin. Kelompok senyawa organik yang mengandung setidaknya satu atom klorin yang terikat secara kovalen sehingga berpengaruh pada sifat kimia molekul tersebut.

P

Patogen. Organisme mikroskopis yang menyebabkan efek negatif pada kesehatan atau penyakit ketika memasuki sistem tubuh.

Piretroid. Insektisida kimia.

Proliferasi. Fase sel saat mengalami pengulangan siklus sel tanpa hambatan.

R

Ruam. Perubahan pada kulit berupa noda kemerahan, bintil atau luka lepuh akibat iritasi atau peradangan dan terkadang menimbulkan rasa gatal atau seperti terbakar.

S

Spektrometer. Alat yang digunakan untuk mengukur spektrum cahaya.

Spektrum. Sebuah rentang keadaan yang dikelompokkan bersama dan dipelajari.

Spray. Teknik yang dilakukan dengan cara menyemprotkan bahan cair.

Surfaktan. Senyawa yang menurunkan tegangan permukaan antara dua zat.

Stabilizer. Kemampuan suatu senyawa untuk menjaga atau menstabilkan kondisi baik viskositas, maupun densitas dalam suatu campuran.

T

Topikal. Pengolesan produk pada permukaan kulit.

Transmitter. Salah satu elemen dari sistem pengendali proses.

U

Ultrasonik. Gelombang suara atau getaran dengan frekuensi diatas 20 kHz.

Ultrasonografi. Prosedur pencitraan menggunakan teknologi suara berfrekuensi tinggi untuk memproduksi suatu gambar.

Ultraviolet. Gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 100-400 nm.

V

Vektor. Organisme hidup yang dapat menularkan penyakit antara manusia atau dari hewan ke manusia.

Volatil. Keteruapan atau kecenderungan suatu zat untuk menguap.

INDEX

absorbansi.....	78	emulsi	103, 108, 110, 113, 115, 116, 171
adsorpsi.....	61, 63	enkapsulasi	106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 114, 115, 121
aerosolvi, 19, 33, 34, 103, 131, 135, 136, 137, 139, 140		feromon.....	2
angiogenesis.....	89	filogenik	23
anion.....	56, 59	formulasiviii, iii, vi, 2, 4, 5, 79, 101, 102, 103, 106, 107, 110, 112, 114, 115, 116, 117, 118, 121, 122, 123, 124, 131, 135, 136, 137, 170, 171, 172, 173, 174	
atom.....	60, 75, 195, 196, 197	fumigan	86
atsiriviii, iii, v, viii, 6, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 30, 31, 32, 40, 41, 42, 43, 44, 63, 65, 69, 73, 74, 79, 80, 83, 87, 88, 91, 96, 102, 103, 104, 110, 112, 123, 124, 133, 173, 174, 185		fungisida	12, 68
biodegradable	13, 87, 102, 107	gel	1, 103, 106, 109, 121, 122, 123, 124, 173, 196
bulk	63	genotoksik.....	118
chemoreseptor	10	hama	1, 2, 5, 9, 11, 12, 13, 14, 17, 22, 43, 45, 83, 96, 101, 133, 169, 197
DEETi, 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 19, 28, 29, 40, 41, 45, 47, 84, 85, 86, 104, 108, 109, 112, 114, 115, 120, 121, 122, 128, 131, 132, 134, 135, 137, 141, 175, 193		hematotoksik.....	118
destilasi	77, 79, 80, 82, 99	herbisida.....	12
difusi	61, 63, 78, 106, 107, 111, 121	herbivora.....	13
dispersi.....	116, 117	hidrofobik	61
diurnal	164	hidrokarbon	14, 49, 52, 54, 55, 58, 60, 62, 68, 119, 135
ekstrak	7, 12, 43, 44, 79, 88, 90, 91, 101, 117, 123, 124, 131, 173, 174, 175, 180, 181, 183, 186, 187, 188, 189, 190	hidroksilasi.....	83
elektromagnetik	76, 80, 194, 198	inhibitor	75, 78, 90, 177, 180, 189
emisi	17	insektisida	2, 12, 13, 19, 21, 27, 33, 39, 68, 85, 86, 87, 88, 90, 91, 97, 101, 169, 170, 171, 172, 175, 176, 177, 178,

180, 181, 182, 183, 184, 185, 189, 191	nanopartikeliii, 105, 108, 111, 112, 113
isomer60, 63, 64, 65, 66	neuron10
karsinogen..... 42	nutraceutical..... 113
katalisv, vi, 54, 55, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 66, 67, 68, 82, 137, 201	organofosfat.....86, 169, 184
kelambu..6, 9, 19, 31, 32, 185	organoklorin12, 55, 59
keton..... 3, 13, 83	patogen..... 13, 76, 95, 112
koloid.....113, 193	permukaan..... 193
kutikula 89, 90, 188	piretroid.....2, 34, 86, 169
kutu3, 5, 6, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 31, 132, 134	proliferasi.....89
lalat3, 5, 6, 12, 15, 25, 32, 34, 75, 132, 134	ruam 27, 91, 141, 174
larvavi, 18, 19, 21, 86, 118, 146, 147, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 158, 166, 179, 196	sifat194, 196
larvasida..... 86	spektrometer77
lenabatu..... 73	spektrum 76, 80, 144, 197
liposomvi, 105, 106, 113, 114, 119, 120, 121	spray8, 11, 85, 103, 104, 106, 115, 125
logam..... 197	stabilizer 114
lotion6, 30, 36, 44, 84, 85, 93, 115, 116, 131, 135, 136	surfaktan105, 111, 116, 117, 118, 121, 135, 196, 197
magnetic stirrer 82	topikalvii, 40, 41, 46, 96, 103, 106, 112, 173
micellar.....105, 106, 126, 196	transmitter.....22
mikroemulsi105, 106, 116	ultrasonik 19, 22, 23
	ultrasonografi.....23
	ultraviolet.....22, 25, 36, 112
	vektor21, 42, 86, 87, 143, 145, 146, 161, 175, 176, 182, 183, 184, 185
	volatil63, 135

Biodata Penulis



Prof. Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T. dengan bidang Ilmu Teknik Kimia, memperoleh gelar S.T. dari Universitas Diponegoro, M.T. & Dr. dari Universitas Indonesia. Setelah lulus Sarjana langsung bekerja di PT. Mega Rubber Factory sebagai *Supervisor Process*. Saat ini bekerja sebagai tenaga edukasi PNS untuk Jurusan Teknik Kimia FT Universitas Negeri Semarang Matakuliah yang diampu: Kimia Organik, Teknologi Teknologi Pengolahan Bahan Alam, Neraca Massa, Teknologi Polimer, dan Biofertilizer & bioinsektisida. Memperoleh dua Paten *granted*. Dosen Berprestasi I (2011) & *Academic Leader* Berprestasi III (2017) di tingkat UNNES, menjadi Pemakalah Seminar Internasional di Perancis, Korea Selatan, Spanyol, Inggris, Vietnam, Malaysia, Jepang, Taiwan, China, dan Australia.



Dr. Nanik Wijayati, M. Si. dengan bidang Ilmu Kimia, memperoleh gelar Dr. dan M.Si. dari Universitas Gadjah Mada. Setelah lulus Magister langsung bekerja sebagai dosen di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang pada tahun 1996-sekarang. Matakuliah yang diampu adalah Kimia Organik, Biokimia dan Elusidasi struktur. Fokus penelitian adalah transformasi senyawa alfa pinena hasil isolasi dari minyak terpenin dengan menggunakan katalis homogen dan heterogen. Sebagai *Academic Leader* Berprestasi I (2017) di tingkat UNNES. Pernah menjadi Pemakalah Seminar Internasional di negara Perancis, Inggris, Korea Selatan, Jepang, Taiwan, China, Vietnam, Thailand, Singapura, Malaysia, dan Australia.



Dr. Widya Hary Cahyati, SKM, M.Kes(Epid) dengan bidang Ilmu Kesehatan Masyarakat, Peminatan Epidemiologi dan Biostatistika, memperoleh gelar S.K.M. dan M.Kes(Epid) dari Universitas Diponegoro, dan Dr. dari Universitas Gadjah Mada. Saat ini bekerja sebagai tenaga edukasi PNS di Jurusan Ilmu kesehatan Masyarakat, FIK Universitas Negeri Semarang. Matakuliah yang diampu adalah *Vector Control*, Entomologi Kesehatan, Epidemiologi, dan Biostatistika. Sebagai Dosen Berprestasi II (2019) di tingkat UNNES. Pernah menjadi Pemakalah Seminar Internasional di negara Thailand.



Apt. Nur Dina Amalina, S.Farm., M.Sc. dengan bidang Farmasi, memperoleh gelar M.Sc dari Universitas Gadjah Mada. Setelah lulus pendidikan Master langsung bekerja sebagai *staff researcher* di *Cancer Chemoprevention Research Center* (CCRC) UGM pada tahun 2015-2018. Saat ini bekerja sebagai tenaga edukasi PNS di prodi Farmasi Universitas Negeri Semarang. Mata kuliah yang diampu: Farmasetika, Farmasi Fisika, Teknologi Farmasi, Bioteknologi dan Mikrobiologi. Aktif dalam organisasi *research* di bidang *stem cell* dan *cancer* dengan fokus penelitian pengembangan senyawa herbal dan formulasinya sebagai agen kemoterapi alami. Pernah menjadi pemakalah seminar Internasional di Jepang, Korea Selatan, Malaysia, dan Singapore.



Natalia Desy Putriningtyas, S.Gz., M.Gizi dengan bidang Ilmu Gizi, Peminatan Biomedik, memperoleh gelar S.Gz dan M.Gizi dari Universitas Diponegoro. Saat ini bekerja sebagai tenaga edukasi PNS di Program Studi Gizi Jurusan Ilmu Kesehatan Masyarakat, Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Semarang. Matakuliah yang diampu adalah Metabolisme Zat Gizi Mikro dan Biokimia Gizi.
