

Repelensi Minyak Atsiri Terhadap Hama Gudang Bawang *Ephestia cautella* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) di Laboratorium [Repellency of Essential Oils Against of Shallot Stored Insect *Ephestia cautella* (Walker) (Lepidoptera : Pyralidae) Under Laboratory Condition]

Hasyim, A, Setiawati, W, Jayanti, H, dan Krestini, EH

Balai Penelitian Tanaman Sayuran, Jln. Tangkuban Parahu 517, Lembang, Bandung Barat 40391

E-mail : ahsolhasyim@yahoo.co.id

Naskah diterima tanggal 11 September 2014 dan disetujui untuk diterbitkan tanggal 3 Oktober 2014

ABSTRAK. Minyak atsiri yang berasal dari tanaman adalah salah satu bahan yang dapat berfungsi seperti fumigan dan mempunyai prospek untuk digunakan dalam melindungi produk yang disimpan di gudang penyimpanan. Minyak atsiri harus mempunyai kemampuan untuk mengusir serangga hama agar serangga tidak masuk ke dalam umbi bawang merah yang disimpan. Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh minyak atsiri terhadap aktivitas biologi serangga dewasa dan larva hama gudang bawang *Ephestia cautella*. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Balai Penelitian Tanaman Sayuran, Lembang dari bulan Juni sampai dengan Desember 2012 pada temperatur $27 \pm 2^\circ\text{C}$ dan kelembaban 75–80%. Penelitian dilaksanakan dalam empat tahapan kegiatan. Penelitian pertama untuk mengetahui repelensi minyak atsiri terhadap serangga dewasa *E. cautella*, penelitian kedua untuk mengetahui pengaruh minyak atsiri terhadap penghambatan peneluran imago betina *E. cautella*, penelitian ketiga untuk mengetahui repelensi larva *E. cautella* terhadap minyak atsiri, dan penelitian keempat untuk mengetahui pengaruh atsiri terhadap indeks nutrisi larva *E. cautella* instar-3. Rancangan percobaan yang digunakan ialah rancangan acak kelompok terdiri atas enam perlakuan dan diulang empat kali. Metode penelitian yang digunakan ialah metode pencelupan (*dipping methods*). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa minyak eucalyptus memiliki persentase repelensi imago *E. cautella* tertinggi mencapai 46% pada 24 jam setelah aplikasi. Penghambatan peneluran *E. cautella* pada semua perlakuan minyak atsiri menunjukkan persentase lebih dari 75% dan tidak berbeda nyata tetapi minyak atsiri kayu manis memiliki nilai persentase penghambatan peneluran tertinggi mencapai 85,23%. Perlakuan minyak atsiri akar wangi pada pengamatan repelensi larva *E. cautella* menunjukkan persentase tertinggi (50%) dengan kelas repelensi 3. Pengaruh minyak atsiri jeruk purut terhadap indeks nutrisi larva *E. cautella* menunjukkan bahwa minyak atsiri ini dibandingkan dengan minyak atsiri lainnya, mampu menghambat penyerapan nutrisi larva sehingga dapat mengganggu pertumbuhan larva, dengan nilai laju pertumbuhan relatif (RGR) 0,11 mg/mg/hari. Manfaat penelitian ini adalah dapat menambah informasi tentang kemampuan minyak atsiri dari bahan eucalyptus, serai wangi, akar wangi, kayu manis, dan jeruk purut sebagai sumber insektisida alami yang dapat digunakan secara aman, murah, dan ramah lingkungan dalam upaya pengendalian hama gudang bawang merah *E. cautella*.

Katakunci: Repelensi; Minyak atsiri; Hama gudang; Insektisida alami

ABSTRACT. Plant essential oils as are one of the materials that act like a contact-fumigant, offering the prospect for use in stored product protection. Plant essential oils must have the ability to repel the insect pest in order to prevent penetration to shallot stored. Studies were conducted to assess the biological activity of essential oils against adult and larvae of shallot stored insect pest *E. cautella* from June to December 2012 at Laboratory of Indonesian Vegetables Research Institute, under controlled environmental conditions ($27 \pm 2^\circ\text{C}$ and 75–80% RH). Four bioassays were conducted. The first assay was conducted to determine effect of essential oil on repellency of *E. cautella* adult. The second assay was conducted to determine effect of essential oil on oviposition deterrent of adult female, *E. cautella*. The third assay was conducted to determine the effect of essential oil on repellency of instars larvae of *E. cautella* and the four assays was conducted to determine antifedant effect of essential oil against third instars larvae of *E. cautella*. The experiment was arranged in randomized block design with six treatments and four replication. Bioassay was done by leaf residual method. The results showed that the eucalyptus oil has highest reaching repellent percentage of imago *E. cautella* its 46% at 24 hours after application. Oviposition deterrent of *E. cautella* on all treatments showed the percentage of all essential oils more than 75% and not significantly different from the results of statistical tests, where the essential oil of cinnamon has the highest value of percentage of oviposition deterrent reaches 85.23%. Vetiver essential oil treatment on the observation of *E. cautella* larvae repellent showed the highest percentage (50%). Effect of essential oils against *E. cautella* larvae nutritional indices showed that this essential oil compared to other oils, can inhibit the absorption of nutrition larvae, which could interfere the growth of the larvae, with the relative growth rate (RGR) 0.11 mg/mg/day. The benefit of this research is to add information about the ability of essential oil of eucalyptus, citronella, vetiver, cinnamon as a source of natural insecticides that can be used safely, inexpensive and environmentally friendly pest control in an effort to controlled shallot storage/warehouse pest *E. cautella*.

Keywords: Repellency; Essential oil; Stored insect; Natural insecticide

Bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) merupakan salah satu komoditas sayuran unggulan yang sejak lama diusahakan oleh petani secara intensif. Komoditas sayuran ini termasuk ke dalam kelompok rempah tidak

bersubstitusi yang berfungsi sebagai bumbu penyedap makanan serta bahan obat tradisional. Di Indonesia bawang merah banyak diusahakan di dataran rendah dibanding di dataran tinggi, karena pengusahannya

lebih efisien dan kondisi agroklimatnya mendukung untuk pertumbuhan tanaman secara optimal (Suherman & Basuki 1990).

Salah satu hama gudang pada bawang merah adalah *Ephestia cautella* (Walker). Hama ini dikenal sebagai *tropical warehouse moth*. Hama ini merupakan hama utama di daerah tropik dan daerah beriklim panas. Larva *E. cautella* selain menyerang produk bawang juga merusak biji-bijian di gudang seperti kacang panjang, biji buncis, biji tomat, biji mentimun, kurma, biji kakao, bawang putih, bawang merah, dan buah-buahan yang dikeringkan (Dobie *et al.* 1991, Ashworth 1993, Subramanyam & Hagstrum 1993, Khebbeb *et al.* 2008, Shehu *et al.* 2010, Bowditch & Madden 1996, Olonisakin *et al.* 2006). Ngengat berwarna abu-abu dengan panjang tubuh sekitar 6 mm. Bila kedua sayap direntangkan panjangnya mencapai 17 mm, sisi atas sayap depan mempunyai semacam pita. Ngengat betina meletakkan telurnya di permukaan materia (Stratil & Reichmuth 1984). Jumlah telur yang dihasilkan selama hidupnya lebih kurang 340 butir dalam waktu 31–47 hari. Pada suhu 30°C telur akan menetas setelah 3 hari. Larva berwarna coklat agak kotor atau coklat kemerahan dengan bintik-bintik yang berwarna agak gelap. Siklus hidup dari telur hingga ngengat dewasa pada lingkungan ideal (suhu 32,5°C dan kelembaban 70%) memerlukan waktu 29–31 hari. Pupa berwarna putih dengan ukuran panjang 7,5 mm (Burgess & Haskins 1965).

Hasil panen yang disimpan khususnya dalam bentuk umbi dan biji-bijian setiap saat dapat diserang oleh berbagai hama gudang yang dapat merugikan (Faruki & Khan 1993). Kerugian yang ditimbulkan oleh hama pascapanen ini berupa penurunan kualitas dan kuantitas yaitu kerusakan bentuk, aroma, tercampur kotoran, daya tumbuh, dan umbi bawang yang disimpan menjadi *kempes* (Ashworth 1993). Penelitian tentang hama gudang di gudang penyimpanan bawang merah belum banyak dilakukan.

Estimasi kerusakan yang disebabkan oleh hama gudang secara umum dapat mencapai 35% (Levinson & Levinson 1978), dan taksiran kerusakan yang disebabkan oleh *E. cautella* pada bawang merah yang disimpan di gudang petani di daerah Cirebon dan Brebes berkisar antara 10–40%. Sampai saat ini berbagai cara pengendalian hama di gudang yang paling banyak dilakukan adalah menggunakan insektisida sintesis. Insektisida sintesis dirasakan efektif karena penggunaannya mudah serta spektrum daya bunuhnya yang luas. Namun cara tersebut mempunyai banyak kekurangan antara lain risiko keamanan pangan (bahaya residu), timbulnya resistensi serangga hama gudang terhadap beberapa insektisida seperti malathion (Schaafsma 1990), metylbromide (Taylor

1994, Tuncbilek *et al.* 2009, Azizoglu *et al.* 2011), dan phosphine (Zettler & Arthur 1997), residu di tanah, air, dan udara yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan hidup.

Alternatif teknologi pengendalian hama selain menggunakan insektisida sangat diperlukan oleh petani. Tuntutan ini mengikuti perkembangan permintaan pasar yang mulai mempertimbangkan keamanan produk bagi konsumen dan kesadaran untuk mengurangi kerusakan lingkungan. Teknologi yang ramah lingkungan menjadi salah satu prioritas kebutuhan. Teknologi alternatif yang mempunyai prospek untuk dikembangkan adalah dengan memanfaatkan berbagai senyawa kimia alami yang berasal dari tumbuhan (Schmutterer 1990, Musabyimana *et al.* 2001). Tumbuhan yang berada di alam dan akan digunakan sebagai sumber insektisida, diduga mempunyai ciri-ciri rasa pahit (mengandung alkaloid dan terpen), berbau busuk, berasa agak pedas, jarang atau tidak pernah diserang oleh hama, serta pengalaman petani organik yang menggunakan sediaan ekstrak alami dari tumbuhan beracun (etnobotanik) (Hasyim *et al.* 2010).

Minyak atsiri merupakan salah satu hasil proses metabolisme dalam tanaman, terbentuk karena reaksi antara berbagai persenyawaan kimia dengan air. Minyak tersebut disintesis dalam sel tanaman. Minyak atsiri dapat ditemukan pada bagian tanaman, misal pada akar (akar wangi), pada batang (kayu manis), pada kulit kayu (kayu putih), pada daun (kemangi), pada bunga (cengkeh), dan pada buah (buah pala). Fungsi minyak atsiri pada tanaman adalah memberi bau, misal pada bunga untuk membantu penyerbukan, pada buah untuk media distribusi ke biji, sementara pada daun dan batang minyak atsiri dapat berfungsi sebagai penolak serangga (Isman 2000, Huang 2000).

Pemanfaatan minyak atsiri sebagai pestisida nabati merupakan peluang yang sangat prospektif dalam pengembangan diversifikasi produk alami (*natural product*) yang selain bersifat lebih aman bagi kesehatan manusia, juga aman terhadap lingkungan (Dubey *et al.* 2010). Secara tradisional minyak atsiri telah lama digunakan untuk mengusir serangga hama biji-bijian dan kacang-kacangan di gudang penyimpanan (Olonisakin *et al.* 2006, Sujatha 2010). Minyak atsiri yang berasal dari tumbuhan dapat mengakibatkan satu atau lebih pengaruh pada hama seperti bersifat menolak (*repellent*) (Hasyim *et al.* 2010), menarik (*attractant*) (Hasyim *et al.* 2007), racun kontak (*toxic*) (Tariq *et al.* 2010, Chu *et al.* 2011, Abramson *et al.* 2006), racun pernafasan (*fumigant*) (Huang *et al.* 2000), mengurangi nafsu makan (*antifeedant*) (Arivoli & Tennyson 2013a), menghambat peletakan telur (*oviposition deterrent*) (Gunderson *et al.* 1985, Tripathi *et al.* 2003), menghambat pertumbuhan,

mengacaukan sistem hormonal serangga, menurunkan fertilitas, serta sebagai antiserangga vektor (Dubey *et al.* 2008, Dubey *et al.* 2010, Isman 2000, Koul *et al.* 1990).

Minyak eucalyptus, minyak serai wangi, minyak akar wangi, minyak kayu manis, dan minyak jeruk purut diduga mengandung komponen aktif yang menimbulkan bau dan aroma yang memiliki potensi sebagai minyak atsiri sebagai insektisida untuk *E. cautella*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi minyak atsiri sebagai *repellent*/pengusir, menghambat peletakan telur (*oviposition deterrent*), dan *antifeedant* serangga dewasa dan larva hama bawang, *E. cautella* di gudang penyimpanan bawang merah.

Hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah minyak atsiri berpotensi sebagai penolak (repelen) bagi hama *E. cautella* yang menyerang umbi bawang merah di gudang penyimpanan. Diharapkan dari penelitian ini dapat menghasilkan insektisida botani yang berfungsi sebagai *repellent*/pengusir, penolak peletakan telur, dan *antifeedant* sehingga dapat mengendalikan hama *E. cautella* sebagai salah satu alternatif untuk mengurangi ketergantungan petani terhadap insektisida sintetik. Manfaat dari penelitian ini adalah dapat menambah informasi tentang kemampuan bahan nabati yaitu eucalyptus, minyak serai wangi, minyak akar wangi, minyak kayu manis, dan minyak jeruk purut sebagai sumber insektisida alami yang dapat digunakan secara aman, murah, dan ramah lingkungan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan di Laboratorium dan Rumah Kasa Balai Penelitian Tanaman Sayuran Lembang pada temperatur $27 \pm 2^\circ\text{C}$ dan kelembaban 75–80%, sejak bulan Juni sampai dengan bulan Desember 2012.

Rearing *E. cautella*

Umbi bawang merah varietas Bima yang disimpan di gudang petani atau baru panen dari kebun masing-masing daerah dari Cirebon, Brebes, dan Tegal diambil sebanyak 3 kg di tiap lokasi. Bawang yang diambil dari masing-masing lokasi sebanyak 3 kg disimpan pada kurungan serangga yang diberi *screen* dan diletakkan di gudang penyimpanan Balai Penelitian Tanaman Sayuran. Untuk *rearing* masal dimasukkan 10 pasang imago umur 1 – 3 hari ke dalam toples plastik (50 x 50 x 50 cm) dilapisi dengan kertas saring dan ditutup dengan *screen* sebagai tempat peletakan telur dan diberi larutan madu 10% sebagai makanan imago. Telur, larva instar III dan imago hasil perbanyakan digunakan sebagai bahan penelitian.

Minyak atsiri

Minyak eucalyptus, minyak serai wangi, minyak akar wangi, minyak kayu manis, dan minyak jeruk purut diperoleh dari Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat-obatan Bogor.

Empat Kegiatan Tahap Penelitian Adalah Sebagai Berikut:

Repelensi imago *E. cautella*

Pengujian repelensi imago *E. cautella* dengan menggunakan alat olfaktometer, sebanyak 20 ekor imago yang umurnya sama hasil perbanyakan di laboratorium diletakkan pada bagian tengah olfaktometer kemudian pada masing-masing ujung lengan olfaktometer ditetesi 1 ml minyak eucalyptus, minyak serai wangi, minyak akar wangi, minyak kayu manis, dan minyak jeruk purut. Pengamatan dilakukan pada 1, 3, 6, dan 24 Jam setelah perlakuan, dengan menghitung jumlah imago yang tertarik masuk ke masing-masing lengan alat olfaktometer. Persentase repelensi imago dihitung dengan rumus:

$$\text{Persentase repelensi} = \frac{\text{Jumlah imago pada perlakuan}}{\text{Total imago}} \times 100\%$$

Tata letak percobaan disusun berdasarkan rancangan acak kelompok terdiri atas lima perlakuan dengan empat ulangan. Data parameter dianalisis dengan sidik ragam, jika terdapat perbedaan yang nyata dilanjutkan dengan uji lanjut DMRT pada taraf 5%.

Penghambatan peneluran (*oviposition deterrent*) imago *E. cautella*

Pengujian pengaruh masing-masing minyak atsiri terhadap penghambatan peneluran (*oviposition deterrent*) imago *E. cautella* dilakukan dengan cara memasukkan sepasang imago *E. cautella* ke dalam toples yang bagian sisi dalamnya diberi *tissue* sebagai tempat peletakan telur dan bagian bawahnya telah ditetesi masing-masing 1 ml minyak eucalyptus, minyak serai wangi, minyak akar wangi, minyak kayu manis, minyak jeruk purut, dan air sebagai kontrol, masing-masing perlakuan diulang sebanyak empat kali dan imago diberi pakan larutan madu. Pengamatan dilakukan dengan mengambil telur yang dihasilkan oleh imago *E. cautella* setiap hari, kemudian dipelihara hingga muncul larva. Persentase repelensi imago terhadap penghambatan peneluran (*oviposition deterrent*) dihitung dengan rumus (Hasyim *et al.* 2010):

$$\text{Persentase repelensi} = \frac{\text{NC} - \text{NT}}{\text{NC}} \times 100\%$$

dimana:

NC = Jumlah larva *E. cautella* yang terdapat pada kontrol

NT = Jumlah *E. cautella* yang terdapat pada perlakuan

Rancangan penelitian yang digunakan adalah acak kelompok terdiri atas enam perlakuan termasuk kontrol dengan empat ulangan. Data parameter dianalisis menggunakan sidik ragam, jika terdapat perbedaan yang nyata dilanjutkan dengan uji lanjut DMRT pada taraf 5%.

Repelensi larva *E. cautella*

Metode penelitian yang digunakan adalah *filter paper method* menurut Obeng *et al.* (1998). Pada penelitian ini digunakan kertas saring whatman no. 1 ukuran 22 cm. Masing-masing kertas saring dibagi menjadi dua bagian, satu bagian ditetesi dengan eucalyptus, minyak serai wangi, minyak akar wangi, minyak kayu manis, dan minyak jeruk purut pada konsentrasi (5.000, 4.000, 3000, 2.000, dan 1.000 ppm ditambah dengan 0,05% Tween 20) dan satu bagian lagi ditetesi dengan air + 0,05% Tween 20 sebagai kontrol. Kertas saring dikeringanginkan dan masing - masing ditempatkan dalam cawan petri sesuai dengan perlakuan. Masing-masing 10 ekor larva *E.cautella* instar-3 ditempatkan di tengah-tengah kertas saring kemudian cawan petri ditutup. Pengamatan dilakukan pada 1, 3, 6, dan 24 jam setelah perlakuan. Rancangan penelitian yang digunakan adalah acak kelompok dengan enam perlakuan termasuk kontrol dengan empat ulangan. Data parameter dianalisis dengan sidik ragam, jika terdapat perbedaan yang nyata dilanjutkan dengan uji lanjut DMRT pada taraf 5%.

Persentase repelensi dihitung dengan menggunakan rumus (Hasyim *et al.* 2010):

$$\text{Persentase repelensi} = \frac{NC - NT}{NC + NT} \times 100\%$$

dimana:

NC = Jumlah larva *E. cautella* yang terdapat pada kontrol

NT = Jumlah *E. cautella* yang terdapat pada perlakuan

Untuk menentukan tingkatan repelensi digunakan kriteria sebagai berikut:

Kelas 0 = Nilai repelensi < 0,1

Kelas I = Nilai repelensi 0,1 – 20%

Kelas II = Nilai repelensi 20,1 – 40%

Kelas III = 40,1 – 60%

Kelas IV = 60,1 – 80%

Kelas V = 80,1 – 100%

Pengujian minyak eucalyptus, minyak serai wangi, minyak akar wangi, minyak kayu manis dan minyak jeruk purut terhadap indeks nutrisi larva *E. cautella* instar-3

Konsentrasi eucalyptus, minyak serai wangi, minyak akar wangi, minyak kayu manis, dan minyak jeruk purut yang digunakan adalah (5.000, 4.000, 3.000, 2.000, dan 1.000 ppm ditambah dengan 0,05% Tween 20) dan kontrol (air + 0,05% Tween 20). Bawang merah yang dibelah (± 3 cm) dicelupkan ke dalam larutan eucalyptus atau minyak serai wangi sesuai dengan perlakuan selama 10 detik dan dikeringanginkan. Makanan tersebut dimasukkan dalam botol uji (diameter 3 cm, tinggi 5 cm). Larva *E. cautella* sesuai perlakuan, masing - masing sebanyak 10 ekor dimasukkan ke dalam botol uji secara terpisah dan diulang sebanyak empat kali. Parameter indeks nutrisi larva dihitung 24 jam setelah perlakuan. Perhitungan indeks nutrisi berdasarkan metode Waldbauer (1968) sebagai berikut :

- Laju pertumbuhan relatif = G/TA (mg/mg/hari)
- Laju konsumsi relatif = F/TA (mg/mg/hari)
- Efisiensi konversi makanan yang dicerna = $G/F-E \times 100\%$
- Efisiensi konversi makanan yang dimakan = $G/F \times 100\%$
- Perkiraan makanan yang dicerna = $F-E/F \times 100\%$ dimana:

G = Pertambahan berat larva selama periode makan (berat awal larva – berat akhir larva)

F = Jumlah makanan yang dikonsumsi

T = Lamanya waktu makan

E = Berat feses

A = Berat rerata larva selama periode makan (Berat awal larva + berat akhir)

Rancangan penelitian yang digunakan adalah acak kelompok terdiri atas enam perlakuan dengan empat ulangan. Data parameter dianalisis dengan sidik ragam, jika terdapat perbedaan yang nyata dilanjutkan dengan uji lanjut DNMRT pada taraf 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Repelensi Imago *E. cautella*

Hasil pengamatan (Tabel 1) menunjukkan persentase repelensi imago *E. cautella* pada masing-masing minyak eucalyptus, minyak serai wangi, minyak akar wangi, minyak kayu manis, dan minyak jeruk purut setelah dianalisis secara statistik tidak berbeda nyata. Namun bila dilihat dari nilai rerata

Tabel 1. Rerata nilai repelensi hama bawang *E. cautella* dewasa akibat perlakuan minyak atsiri pada berbagai pengamatan (Mean percentage repellency value of essential oils obtained of different exposure time the shallot insect pest of *E. cautella* adult)

Perlakuan (Treatments)	Rerata nilai repelensi (Mean of repellency values), %			
	JSA (HAA)			
	1	3	6	24
Minyak akar wangi (<i>Vetiver root oil</i>)	24,00 a	24,00 a	28,00 a	24,00 a
Minyak jeruk purut (<i>Kaffir lime oil</i>)	14,00 a	14,00 a	14,00 a	20,00 a
Minyak serai wangi (<i>Citronella oil</i>)	22,00 a	26,00 a	30,00 a	32,00 a
Minyak kayu manis (<i>Cinnamon oil</i>)	24,00 a	28,00 a	28,00 a	28,00 a
Minyak eucalyptus (<i>Eucalyptus oil</i>)	30,00 a	37,00 a	38,00 a	46,00 a

Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5% (Mean followed by the same letters are not significantly different according to DMRT at $\alpha = 0,05$)

JSA (Jam setelah aplikasi) = HAA (Hours after application)

repelensinya menunjukkan bahwa minyak eucalyptus menunjukkan persentase repelensi imago tertinggi, sedangkan minyak jeruk purut menunjukkan nilai terendah pada setiap pengamatan.

Secara umum bahan yang mengandung minyak atsiri dapat bersifat menolak atau menarik serangga hama (Rollo *et al.* 1995). Minyak eucalyptus mempunyai senyawa utama yaitu globulol spatulenol, dengan kadar relatif dalam masing-masing fraksi adalah 61,60 dan 46,12%. Kedua senyawa tersebut termasuk golongan senyawa seskuiterpen alkohol. Turunan senyawa alkohol yang bersifat volatil dapat memengaruhi reseptor kimia imago serangga hama (Rasidah 2004). Minyak eucalyptus menolak 85% dari gigitan nyamuk (Khairul *et al.* 2005). Minyak sereh wangi diketahui mengandung sitronelal, geraniol, dan sitronelol (Wijesikera 1973). Senyawa sitronelal yang terdapat pada minyak sereh wangi berperan sebagai bahan insektisida yang bekerja sebagai *antifeedant* dan *repellent*. Minyak akar wangi mengandung senyawa khusimol, epizizanal, α -vetivon, dan β -vetivon yang berperan sebagai penolak serangga. Minyak kayu manis mengandung eugenol dan cinnamaldehyde (komponen terpenoid penting). Oleum citronellae yang berasal dari minyak kayu manis dalam bentuk sediaan gel pada konsentrasi 10% mempunyai daya repelensi 97% terhadap nyamuk *Aedes albopictus* selama 6 jam. Minyak dari daun jeruk purut mengandung β -sitronellol (6,59%), linalool (3,90%) dan sitronellol (1,76%). Kandungan β -sitronellol dapat berperan sebagai penolak larva *Spodoptera litura* (Loh *et al.* 2011). Hasil penelitian lain oleh Susilowati *et al.* (2009) bahwa uji aktivitas *repellent* nyamuk *Aedes aegypti* menunjukkan bahwa minyak atsiri daun jeruk purut (*Citrus hystrix*) kurang efektif digunakan sebagai *repellent* karena kurang mampu menolak nyamuk *A. aegypti* 95% selama 6 jam.

Serangga memiliki reseptor kimia yang merupakan organ perasa kimiawi, salah satunya adalah kemoreseptor yang berkaitan dengan masalah pengecap (proses pengecap) dan pembau (proses pembau) merupakan bagian-bagian yang penting dari sistem sensorik serangga yang berhubungan dengan berbagai macam perilaku, seperti perilaku makan, kawin, pemilihan habitat, dan sebagainya seringkali diarahkan oleh perasa kimiawi pada serangga. Serangga memiliki kepekaan reseptor kimiawi terhadap beberapa zat sangat tinggi sehingga dapat mendeteksi bau khusus pada konsentrasi yang sangat rendah sampai beberapa mil dari sumber bau. Minyak atsiri yang mempunyai ciri khas bersifat volatil (mudah menguap) dapat merangsang reseptor kimia serangga dalam aktivitasnya.

Penghambatan Peneluran (*Oviposition deterrent*) Imago *E. cautella*

Hasil pengamatan (Tabel 2) menunjukkan jumlah telur pada semua perlakuan berbeda nyata dengan kontrol. Persentase repelensi atau penghambatan peneluran imago *E. cautella* pada semua perlakuan yang diuji menunjukkan persentase repelensi lebih dari 75% dan hasil uji statistik antarperlakuan tidak berbeda nyata, hal ini menunjukkan bahwa semua perlakuan efektif menghambat peneluran imago *E. cautella*.

Salah satu pengaruh insektisida nabati adalah penghambatan peneluran oleh serangga hama sebagai reaksi dari terganggunya reseptor serangga betina untuk meletakkan telur yang merupakan gabungan dari respon terhadap rangsangan penglihatan, mekanik, dan olfaktori (rangsangan sel pembau yang mempunyai rambut halus sebagai reseptor), dan gustatori (Honda 1995). Serangga memiliki kepekaan reseptor kimiawi terhadap beberapa zat sehingga dapat mendeteksi

Tabel 2. Pengaruh beberapa minyak atsiri terhadap penolakan peletakan telur dari hama ulat bawang betina dewasa *E. cautella* (Effect of essential oils as oviposition deterrent of shallot insect pest of female *E. cautella* adult)

Perlakuan (<i>Treatments</i>)	Rerata jumlah telur (<i>Mean number of eggs laid</i>)	Persentase repelensi (<i>Percent of repellency</i>)
Minyak akar wangi (<i>Vetiver root oil</i>)	16,25 b	75,38 a
Minyak jeruk purut (<i>Kaffir lime oil</i>)	16,00 b	75,76 a
Minyak serai wangi (<i>Citronella oil</i>)	15,00 b	77,27 a
Minyak kayu manis (<i>Cinnamon oil</i>)	9,75 b	85,23 a
Minyak eucalyptus (<i>Eucalyptus oil</i>)	16,25 b	75,38 a
Kontrol (<i>Control</i>)	50,50 a	
KK (<i>CV</i>), %	24,24	12,43

bau-bau khusus pada konsentrasi yang sangat rendah sampai beberapa mil dari sumber bau (Neuhaus *et al.* 2005).

Hasil pengamatan penghambatan peneluran menunjukkan minyak atsiri kayu manis mampu mengurangi jumlah telur *Spodoptera litura* hingga 51% (Arivoli & Tennyson 2013b). Minyak atsiri kayu manis (*Cinnamomum* sp.) merupakan famili Lauraceae yang mengandung beberapa golongan senyawa metabolit sekunder antara lain alkaloid, fenilpropanoid, flavonoid, turunan 2-piron, benzil-ester, dan turunan alkenalkin (Mustaffa *et al.* 2010, Cheng *et al.* 2004, Koul 2008). Prajapati *et al.* (2005) melaporkan bahwa minyak atsiri kulit kayu manis spesies *C. zeylanicum* menunjukkan aktivitas penghambat peneluran nyamuk *Anopheles stephensi*, *A. aegypti*, dan *Culex quinquefasciatus* berkisar antara 60–70%. biji kayu manis spesies *C. camphora* menunjukkan aktivitas insektisida dan repelen terhadap hama gudang *S. oryzae* dan *Bruchus rugimanus* (Liu *et al.* 2006). Selanjutnya minyak serai wangi dapat mengurangi jumlah telur yang dihasilkan oleh *Helocoverpa armigera* hingga 66% pada konsentrasi 4000 ppm (Setiawati *et al.* 2011).

Repelensi Larva *E. cautella*

Repelensi larva *E. cautella* instar ketiga pada masing-masing perlakuan memperlihatkan persentase repelensi yang berbeda. Pada pengamatan 24 jam setelah aplikasi (JSA), minyak atsiri serai wangi menunjukkan persentase dan kelas repelensi paling tinggi, yaitu kelas tiga pada konsentrasi 3000 ppm.

Minyak atsiri serai wangi menunjukkan persentase repelensi paling tinggi dibandingkan minyak atsiri lainnya. Minyak serai wangi mengandung sitronelal, geraniol, dan sitronelol, sedangkan minyak nilam tersusun atas komponen sesquiterpen dan patchouly alcohol. Senyawa sitronelal berperan sebagai bahan

insektisida yang bekerja sebagai *antifeedant* dan *repellent*, demikian halnya dengan sesquiterpen diduga dapat memengaruhi perkembangan serangga (Yuliani *et al.* 2005). Selain bersifat menolak serangga (Koul *et al.* 2008), sitronelal yang terkandung dalam minyak serai wangi dapat bersifat kontak dengan serangga. Mekanisme kerja racun kontak sitronelal adalah menghambat enzim asetilkolinesterase sehingga terjadi fosforilasi asam amino serin pada pusat asteratik enzim bersangkutan. Gejala keracunan pada serangga timbul karena adanya penimbunan asetilkolin yang menyebabkan gangguan sistem saraf pusat, kejang, kelumpuhan pernafasan, dan kematian. Efikasi minyak serai wangi dengan kandungan 1% dapat membunuh *Myzus persicae* sebesar 96% namun kurang beracun terhadap *Frankliniella schultzei* karena hanya dapat membunuh *F. schultzei* sebesar 34% (Patricia *et al.* 2013).

Pengujian Daun Eucalyptus, Minyak Serai Wangi, Minyak Akar Wangi, Minyak Kayu Manis, dan Minyak Jeruk Purut Terhadap Indeks Nutrisi Larva *E. cautella* Instar-3

Perlakuan minyak atsiri eucalyptus, minyak serai wangi, minyak akar wangi, minyak kayu manis, dan minyak jeruk purut secara nyata menurunkan laju konsumsi relatif (LKR), laju pertumbuhan relatif (LPR), efisiensi konversi makanan yang dicerna (EKMC), efisiensi konversi makanan yang dikonsumsi (EKMK), dan perkiraan makanan yang dicerna (PMC) dibandingkan dengan kontrol (Tabel 4). Penurunan laju konsumsi akibat perlakuan minyak atsiri menunjukkan bahwa komponen aktif dari semua minyak atsiri tersebut berfungsi sebagai *antifeedant* primer. Respon serangga terhadap senyawa alelokimia yang terdapat pada makanan yang dikonsumsi, yakni dengan perubahan konsumsi makan. Hal ini akan memengaruhi indeks nutrisi yang meliputi laju konsumsi relatif,

Tabel 3. Tingkatan repelensi minyak atsiri terhadap larva instar ketiga, *E. Cautella* (Repellency classis of essential oils against *E. Cautella*)

Perlakuan (Treatments)	Rerata nilai repelensi (%) setelah 24 jam (Mean percentage repellency values after 24 hours)	Kelas (Class)
Minyak akar wangi (<i>Vetiver root oil</i>)	28,57	2
Minyak jeruk purut (<i>Kaffir lime oil</i>)	33,33	2
Minyak serai wangi (<i>Citronella oil</i>)	50,00	3
Minyak kayu manis (<i>Cinnamon oil</i>)	33,33	2
Minyak eucalyptus (<i>Eucalyptus oil</i>)	29,86	2

Tabel 4. Pengaruh penggunaan minyak atsiri terhadap laju pertumbuhan relatif (LPR), laju konsumsi relatif (LKR), rerata efisiensi konversi makanan yang dicerna (EKMC), efisiensi konversi makanan yang dikonsumsi (EKMK), dan rerata perkiraan makanan yang dicerna oleh larva *E. cautella* instar - 3 [The effect of essential oil on relative growth rate (RGR), relative consumption rate (RCR), mean efficiency of conversion of digested food (ECD), mean efficiency of conversion of ingested food (ECI), and mean approximate digestability (AD) on third instar larvae of *E. cautella*]

Perlakuan (Treatments)	Konsentrasi (Concentration)	Laju pertumbuhan relatif (Relative growth rate)	Laju konsumsi relatif (Relative consumption rate)	Rerata efisiensi konversi makanan yang dicerna (Mean efficiency of conversion of digested food)	Rerata efisiensi konversi makanan yang dikonsumsi (Mean efficiency of conversion of ingested food (ECI))	Rerata perkiraan makanan yang dicerna (Mean approximate digestability (AD))
		(LPR)	(LKR)	(EKMC)	(EKMK)	(MC)
		mg/mg/hari	mg/mg/hari	%	%	%
<i>Eucalyptus</i> (<i>Eucalyptus oil</i>)	5.000	0,56	2,40	8,07	7,96	2,64
	4.000	0,90	3,27	27,04	26,82	3,66
	3.000	0,81	3,87	21,72	21,59	4,40
	2.000	1,15	4,21	28,12	28,02	4,38
	1.000	0,92	5,01	23,12	23,00	5,39
	Rerata (Mean)	0,87	3,75	21,62	21,48	4,09
<i>Serai wangi</i> (<i>Citronella oil</i>)	5.000	0,98	2,06	37,06	11,50	11,58
	4.000	0,78	3,21	14,93	13,49	10,65
	3.000	1,08	4,55	19,39	19,39	5,33
	2.000	0,54	2,89	16,61	5,63	7,53
	1.000	0,85	4,63	19,65	19,67	4,97
	Rerata (Mean)	0,85	3,47	21,53	13,94	8,01
<i>Akar wangi</i> (<i>Vetiver root oil</i>)	5.000	1,01	5,94	18,09	18,16	5,50
	4.000	0,99	5,66	17,61	17,62	6,34
	3.000	0,76	5,64	15,43	15,45	6,94
	2.000	0,73	5,20	11,13	11,16	6,32
	1.000	0,97	5,69	18,53	18,55	5,45
	Rerata (Mean)	0,89	5,63	16,16	16,19	6,11
<i>Kayu manis</i> (<i>Cinnamon oil</i>)	5.000	0,95	10,46	14,46	14,48	11,36
	4.000	1,10	4,23	29,35	19,97	5,31
	3.000	0,94	5,42	18,06	18,07	5,04
	2.000	1,15	5,88	20,31	20,32	5,11
	1.000	1,24	6,03	22,72	32,47	4,48
	Rerata (Mean)	1,08	6,40	20,98	21,06	6,26
<i>Minyak jeruk purut</i> (<i>Kaffir lime oil</i>)	5.000	0,07	7,46	0,35	0,33	6,67
	4.000	0,25	7,00	3,06	3,05	6,48
	3.000	0,10	5,89	1,69	1,67	6,67
	2.000	0,07	12,85	1,19	1,17	5,45
	1.000	0,08	6,65	0,84	0,82	7,41
	Rerata (Mean)	0,11	7,97	1,43	1,41	6,54
Kontrol (<i>Control</i>)		0,85	30,37	64,34 a	41,84	9,20

jumlah makanan yang dicerna, efisiensi konversi makanan yang dimakan, dan laju pertumbuhan relatif yang pada akhirnya akan menyebabkan menurunnya harapan hidup serangga (Simpson & Simpson 1990).

Meningkatnya LKR larva *E. cautella* yaitu 7,97 mg/mg/hari pada jeruk purut tanpa diikuti oleh laju pertumbuhan relatif (LPR) 0,11 mg/mg/hari atau sebaliknya LPR menurun mengindikasikan bahwa senyawa aktif yang terkandung pada jeruk purut juga dapat berfungsi sebagai *antifeedant* sekunder atau toksin yang memengaruhi proses makan, pencernaan dan penyerapan. Penurunan laju pertumbuhan relatif (LPR) larva *E. cautella* akibat perlakuan minyak atsiri jeruk purut pada penelitian ini mungkin disebabkan oleh penurunan efisiensi konversi makanan yang dicerna (EKMC) dan efisiensi konversi makanan yang dikonsumsi (EKMK) bukan disebabkan oleh laju konsumsi relatif (LKR). Hal ini mengidentifikasi bahwa terjadinya peracunan dalam tubuh larva oleh komponen aktif sediaan makanan setelah dimakan (Duffey & Stout 1996).

Kandungan senyawa kimia pada jeruk purut yaitu saponin, tanin 1%, steroid triterpenoid, dan minyak atsiri triterpenoid, sitronelal, flavonoid sianidin, myricetin, peonidin, quercetin, luteolin, hesperetin, apigenin, dan isorhamnetin (Rahmi et al. 2013). Menurut Salminen & Lempa (2002) tanin dapat menekan konsumsi makan, tingkat pertumbuhan, dan kemampuan bertahan serangga. Tanin dapat menyebabkan enzim pencernaan serangga menjadi nonaktif seperti protease dan lipase sehingga penyerapan protein dan lipid dalam sistem pencernaan serangga menjadi terganggu dan menghambat pertumbuhan serangga (Munandar 2002)

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Repelensi imago *E. cautella* terhadap minyak eucalyptus tertinggi mencapai 46% pada 24 JSA.
2. Penghambatan peneluran *E. cautella* pada semua perlakuan minyak atsiri menunjukkan persentase lebih dari 75% sehingga semua perlakuan minyak atsiri efektif untuk menghambat peneluran imago *E. cautella*. Minyak atsiri kayu manis memiliki nilai persentase repelensi tertinggi terhadap peneluran *E. cautella* hingga mencapai 85,23%.
3. Perlakuan minyak akar wangi pada pengamatan repelensi larva *E. cautella* menunjukkan persentase repelensi tertinggi mencapai 50% dengan kelas repelensi paling tinggi yaitu kelas 3.

4. Penurunan laju pertumbuhan relatif (LPR) larva *E. cautella* akibat perlakuan minyak atsiri jeruk purut pada penelitian ini mungkin disebabkan oleh penurunan efisiensi konversi makanan yang dicerna (EKMC) dan efisiensi konversi makanan yang dikonsumsi (EKMK) bukan disebabkan oleh laju konsumsi relatif (LKR).

PUSTAKA

1. Abramson, CI, Wanderley, PA, Wanderley, MJA, Mina, AJS & Souza, OB 2006 'Effect of essential oil from citronella and alfazema on fennel aphids *Hyadaphis foenicula* Passerini (Hemiptera: Aphididae) and its predator *Cycloneda sanguinea* L. (Coleoptera: Coccinellidae)', *American J. of Environmental Sciences*, vol. 3, no. 1, pp. 9-10.
2. Arivoli, S & Tennyson, S 2013a, 'Antifeedant activity, developmental indices and morphogenetic variations of plant extracts against *Spodoptera litura* (Fab) (Lepidoptera: Noctuidae)', *Journal of Entomology and Zoology Studies*, vol.1, no. 4, pp. 87-96.
3. Arivoli, S & Tennyson, S 2013b, 'Screening of plant extracts for oviposition activity against *Spodoptera litura* (Fab). (Lepidoptera: Noctuidae)', *International Journal of Fauna and Biological Studies*, vol. 1, no. 1, pp. 20-4.
4. Ashworth, JR 1993, 'The biology of *Ephestia elutella*', *J. Stored Prod. Res.* vol. 29, pp. 199-205.
5. Azizoglu, U, Yilmaz, S, Karaborklu, S & Ayvaz, A 2011, 'Ovicidal activity of microwave and UV radiations on Mediterranean flour moth *Ephestia kuehniella* Zeller, 1879 (Lepidoptera: Pyralidae)', *Turkish Journal of Entomology*, vol. 35, no. 3, pp. 437-46.
6. Bowditch, TG & Madden, JL 1996, 'Spatial and temporal distribution of *Ephestia cautella* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) in a confectionery factory: Causal factors and management implications', *J. Stored Prod. Res.*, vol. 32, pp. 123-30.
7. Burges, HD & Haskins, KPF 1965, 'Life cycle of the tropical warehouse moth, *Cadra cautella* (Wlk.), at controlled temperatures and humidities', *Bulletin of Entomological Research*, vol. 55, pp. 775-89.
8. Cheng, SS, Liu, JY, Tsai, KH, Chen, WJ & Chang, ST 2004, 'Chemical composition and mosquito larvicidal activity of essential oils from leaves of different *Cinnomomum osmophloeum* provenances', *J. Agric. Food Chem.*, vol. 52, pp. 4395-400.
9. Chu, SS, Jiang, GH & Liu, ZL 2011, 'Insecticidal components from the essential oils of Chinese medicinal herb, *Lingusticum chuanxiong* Hort', *E-J. of Chemistry*, vol. 8, no. 1, pp. 300-4.
10. Dobie, P, Haimes, CP, Hodges, RJ, Prevett, PF & Rees, DP 1991, *Insects and arachnids of tropical stored products: Their biology and identification*, United Kingdom, Nasional Resources Institute (NRI), 273 pp.
11. Dubey, NK, Srivastava, B & Kumar, A 2008, 'Current status of plant products as botanical pesticides in storage pest management', *J. Biopes.*, vol. 1, no. 2, pp. 182-6.
12. Dubey, NK, Shukla, R., Kumar, A Singh, P & Prakash, B 2010, 'Prospects of botanical pesticides in sustainable agriculture', *Current Science*, vol. 4, no. 25, pp. 479-80.

13. Duffey, SS & Stout, MJ 1996, 'Antinutritive and toxic component of plant defence against herbivorous insect', *Arch Insect Biochemistry Physiology*, vol. 32, pp. 3-37.
14. Faruki, SI & Khan, AR 1993, 'Potency of UV-radiation on *Carda cautella* (Walker) (Lepidop : Phycitidae) larvae treated with *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*', *Journal of Zoology, Rajshahi University*, vol. 12, pp. 73-9.
15. Gunderson, CA, Samuelian, JH, Evans, CK & Bratisten, L 1985, 'Effects of the mint monoterpene pulegone on *Spodoptera eridania* (Lepidoptera: Noctuidae)', *Environ. Entomol.*, vol. 14, pp. 859-63.
16. Hasyim, A, Muryati, Istianto, M & de Kogel, WJ 2007, 'Male fruit fly, *Bactrocera tau* (Diptera: Tephritidae) attractants from *Elsholtzia pubescens* Bth', *Asian Journal of Plant Sciences*, vol. 6, no. 1, pp. 181-4.
17. Hasyim, A, Setiawati, W & Murtiningsih, R 2010, 'Efikasi dan persistensi minyak serai wangi sebagai biopestisida terhadap *Helicoverpa armigera* Hubner (Lepidoptera : Noctuide)', *J. Hort.*, vol. 20, no. 4. hlm. 377-86.
18. Honda, K 1995, 'Chemical basis of differential oviposition by Lepidopterous insects', *Arch Insect Biochem Physiol.*, vol. 30, pp. 1-23.
19. Huang, Y, Lam, SL & Ho, SH 2000, 'Bioactivities of essential oil from *Elletaria cardamomum* (L.) Maton to *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium castaneum* (Herbst)', *J. of Stored Products Research*, vol. 36, pp. 107-17.
20. Isman, MB 2000, 'Plant essential oils for pest and disease management', *J. Crop Protection*, vol. 19, pp. 603-8.
21. Khairul, FK, Harban, S, Hunter, M & Ahmad, MN 2005, 'A novel mosquito repellent soap base on *Azadirachta indica* and *Eucalyptus citriodora* oils', *Jurnal Penyelidikan dan Pendidikan Kejuruteraan*, no. 2, pp. 77-81.
22. Khebbab, MEH, Gaouaoui, R & Bendjeddou, F 2008, 'Tebufenozide effects on the reproductive potentials of the mediterranean flour moth', *Ephestia kuehniella*, *African Journal of Biotechnology*, vol. 7, pp. 1166-70.
23. Koul, O 2008, 'Phytochemicals and insect control: An antifeedant approach', *Crit. Rev. Plant Sci.*, vol. 27, pp. 1-24.
24. Koul, O, Smirle, MJ & Isman, MB, 1990, 'Asarones from *Acorus calamus* L. oil, their effect on feeding behavior and dietary utilization in *Peridroma saucia*', *J. Chem. Ecol.*, vol. 16, pp. 1911-20.
25. Levinson, H & Levinson, A 1978, 'Dried seeds, plant and animal tissues as food favoured by storage insect species', *Entomologia experimentalis & applicata*, vol. 24, pp. 505-17.
26. Liu, N, Xu, Q, Zhu, F & Zhang, L 2006, 'Pyrethroid resistance in mosquitoes', *Insect Sci.*, vol. 13, pp. 159-66.
27. Loh, SW, Awang RM, Omar, D. & Rahmani, M 2011, 'Insecticidal properties of *Citrus hystrix* DC leaves essential oil against *Spodoptera litura fabricius*', *Journal of Medicinal Plants Research*, vol. 5, no. 16, pp. 3739-744.
28. Munandar, K & Madyawati, A 2002, 'Uji kandungan metabolit sekunder daun *Pseudocalymna alliaceum* dan daya antifeedannya terhadap *Heliopsis asulta* di 48 laboratorium', *Jurnal Berkala Penelitian Hayati*, hlm. 15-9.
29. Musabyimana, T, Saxena, RC, Kairu, EW, Ogol, CPKO & Khan, ZR 2001, 'Effects of neem seed derivatives on behavioral and physiological responses of the *Cosmopolites sordidus* (Coleoptera: Curculioni-dae)', *Hort. Entomol.*, vol. 94, pp. 449-54.
30. Mustaffa, F, Indurkar, J, Ismail, S, Mordi, MN, Surash, R & Mansor, SM 2010, 'Antioxidant capacity and toxicity screening of *Cinnamomum iners* standardized leaves methanolic extract', *Int. J. Pharmacol.*, vol. 6, pp. 888-95.
31. Neuhaus, EM, Gisselmann, G & Zhang, W 2005, 'Odorant receptor heterodimerization in the olfactory system of *Drosophila melanogaster*', *Nature Neurosci.*, vol. 8, pp. 15-7.
32. Obeng, OD, Reichmuth, CH, Bekele, AJ & Hannasali, A 1998, 'Toxicity and protectant potential camphor, a major component of essential oil of *Ocimum kilimandscharium*, against four stored product beetle', *International Journal of Pest Management*, vol. 44, pp. 203-9.
33. Olonisakin, A, Oladimeji, MO & Lajide, L 2006, 'Bioactivity of steam distilled oils against the cowpea bruchid, (*Callosobrochus maculatus*) (F) infesting stored cowpea seeds', *Pakistan J. of Biological Sciences*, vol. 9, no. 7, pp. 1271-5.
34. Patricia, FP, Queiroz, VT, Rondelli, VM, Costa, AV, Marcelino, TP & Pratisoli, D 2013, 'Insecticidal activity of citronella grass essential oil on *Frankliniella schultzei* and *Myzus persicae*', *Cienc. agrotec., Lavras*, vol. 37, no. 2, pp. 138-44,
35. Prajapati, V, Tripathi, AK, Aggarwal, KK & Khanuja, SPS, 2005, 'Insecticidal, repellent and oviposition deterrent activity of selected essential oils against *An. stephensi*, *Aedes aegypti* and *C. quinquefasciatus*', *Biores. Technol.*, vol. 96, pp. 1749-57.
36. Rahmi, U, Manjang, Y & Santoni, A 2013, 'Profil kimia metabolit sekunder dan uji aktifitas antioksidan jeruk purut (*Citrus hystrix* DC.) dan jeruk Bali (*Citrus maxima* (Burm.f.) Merr)', *Jurnal Kimia Unand*, vol. 2, no. 2, pp. 109-14.
37. Rasidah 2004, 'Isolasi dan identifikasi senyawa antibakterial dari minyak atsiri bunga ceplik sari (*Eucalyptus alba* Reinw.)', Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
38. Rollo, CD, Borden, JH & Caey, IB, 1995, 'Endogenously produced repellent from american cockroach (Blattaria:Blattidae) function in death recognition', *Environ. Entomol.*, vol. 24, pp. 16-24.
39. Salminen, JP & Lempa, K 2002, 'Effects of hydrolysable tannins on a herbivorous insect: Fate of individual tannins in insect digestive tract', *Chemecology*, vol. 12, pp. 203-11.
40. Schaafsma, AW 1990, 'Resistance to malathion in populations of Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae)', *J. Entomol. Soc. Ont.*, vol. 121, pp. 101-14.
41. Schmutterer, H 1990, 'Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *Azadirachta indica*', *Ann. Rev. Entomol.*, vol. 35, pp. 271-97.
42. Setiawati, W, Murtiningsih, R & Hasyim, A 2011, 'Laboratory and field evaluation of essential oils from *Cymbopogon nardus* as oviposition deterrent and ovicidal activities against *Helicoverpa armigera* Hubner on chili pepper', *Journal of Agricultural Science*, vol. 12, no. 1, pp. 9-16.
43. Shehu, A, Obeng-Ofori, D & Eziah, VY 2010, 'Biological efficacy of calneemTM oil against the tropical warehouse moth *Ephestia cautella* (Lepidoptera: Pyralidae) in stored maize', *Int. J. Trop. Insect Sci.*, vol. 30, no. 4, pp. 207-13.
44. Simpson, SJ & Simpson, CL 1990, 'The mechanism of nutritional compensation by phytophagous insects', in Bernays, EA (ed.), *Insect-plant interaction*, vol. 2, Boca Rotan FL, CRC Press, pp. 111-59.

45. Stratil, HH & Reichmuth, C 1984, 'Development of young larvae of the stored product moths *Ephesia cautella* Walker, *Ephesia elutella* Hu"bner and *Plodia interpunctella* Hu"bner (Lepidoptera, Pyraloidea) at low temperature', *Anzeiger fu"r Scha"dlingskunde und Pflanzenschutz*, vol. 57, pp. 30-3.
46. Subramanyam, B & Hagstrum, DW 1993, 'Predicting development times of six stored-product moth species (Lepidoptera: Pyralidae) in relation to temperature, relative humidity, and diet', *European Journal of Entomology*, vol. 90, pp. 51-64.
47. Suherman, R & Basuki, RS 1990, 'Strategi pengembangan luas areal usahatani bawang merah (*Allium cepa* var. *ascalonicum*) di Jawa Barat, tinjauan dari segi biaya usahatani terendah', *Bul. Penel. Hort., Edisi Khusus*, vol. XVIII, no. 1, hlm. 11-8.
48. Sujatha, S 2010, 'Essential oil and its insecticidal activity of medicinal aromatic plant *Vetiveria zizanioides* (L.) against the red flour beetle *Tribolium castaneum* (Herbst)', *Asian Journal of Agricultural Sciences*, vol. 2, no. 3, pp. 84-8.
49. Susilowati, D, Mamik, PR & Prastiwi, R 2009, 'Efek penolak serangga (*insect repellent*) dan larvasida daun jeruk purut (*Citrus hystrix* D.C.) terhadap *Aedes aegypti*', *Jurnal Biomedika*, vol. 2, pp. 12-9.
50. Tariq, RM, Naqvi, SNH, Choudhary, MI & Abbas, A 2010, 'Importance and implementation of essential oil of Pakistanian *Acorus calamus* Linn, as a biopesticide', *Pakistanian, J. Bot.*, vol. 42, no. 3, 2043-50.
51. Taylor, RWD 1994, 'Methyl bromide is there any future for this noteworthy fumigant', *J. of Stored Products Research*, vol. 30, no. 4, pp. 253-60.
52. Tripathi, AK, Prajapati, V & Kumar, S 2003, 'Bioactivity of l-carvone, d-carvone, and dihydrocarvone toward three stored product beetles', *J. Ecol. Entomol.*, vol. 96, pp. 1594-601.
53. Tuncbilek, A, Canpolat, SU & Sumer, F 2009, 'Suitability of irradiated and cold-stored eggs of *Ephesia kuehniella* (Pyralidae: Lepidoptera) and *Sitotroga cerealella* (Gelechiidae: Lepidoptera) for stockpiling the egg-parasitoid *Trichogramma evanescens* (Trichogrammatidae: Hymenoptera) in diapause', *Biocontrol Science and Technology*, vol. 19, no. 1, pp. 127-38.
54. Waldbauer, GP 1968, *The consumption and utilization of food by insect, advances insect Physiology*, Academic Press, London, pp. 229-88.
55. Wijesikera, ROB 1973, 'The chemical composition and analysis of citronella oils', *Journal of the National Science Council of Srilangka*, vol. 1, pp. 67-81.
56. Yuliani, S, Usmiati, S & Nurdjannah, N 2005, 'Efektivitas lilin penolak lalat (repellen dengan bahan aktif limbah penyulingan minyak nilam)', *J. Pascapanen*, vol. 2, no. 1, pp. 1-10.
57. Zettler, JL & Arthur, FH 1997, 'Dose-response tests on red flour beetle and confused flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae) Collected from flour mills in the united states', *Journal of Economic Entomology*, vol. 90, pp. 1157-62.