



Original Article

## Efektivitas ekstrak nilam (*Pogostemon cablin*) dengan tiga metode ekstraksi dan cara aplikasi terhadap hama gudang *Tribolium castaneum* (Herbst)

The effectiveness of patchouli (*Pogostemon cablin*) extract using three extraction methods and application techniques against the storage pest *Tribolium castaneum* (Herbst)

Veronica Alfina Dellachristi\*, Dadang, Idham Sakti Harahap

Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB University, Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

### Penulis korespondensi:

Veronica Alfina Dellachristi  
([vadellachristi@apps.ipb.ac.id](mailto:vadellachristi@apps.ipb.ac.id))

Diterima: Februari 2025

Disetujui: Juni 2025

### Sitasi:

Dellachristi VA, Dadang, Harahap IS. 2025. Efektivitas ekstrak nilam (*Pogostemon cablin*) dengan tiga metode ekstraksi dan cara aplikasi terhadap hama gudang *Tribolium castaneum* (Herbst). *Jurnal Entomologi Indonesia*. 22(2):81–91

### ABSTRAK

Serangan *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) menyebabkan penurunan berat tepung, perubahan warna tepung dan menimbulkan bau apek pada bahan simpan. Salah satu alternatif pengendalian yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan ekstrak nilam (*Pogostemon cablin*) yang memiliki aktivitas antiserangga. Metode ekstraksi dan teknik aplikasi dalam pengendalian hama gudang berpengaruh terhadap keefektifan ekstrak tanaman sebagai insektisida nabati. Penelitian bertujuan untuk menguji perbedaan rendemen, komposisi, kandungan, toksisitas dan tingkat repelensi ekstrak nilam yang diekstrak dengan berbagai metode untuk mengendalikan *T. castaneum*. Metode ekstraksi yang digunakan adalah maserasi, distilasi uap-air, dan ultrasonik. Tiga teknik aplikasi yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu residu, topikal, dan fumigasi. Variabel yang diamati mencakup kandungan dan komposisi rendemen hasil ekstraksi, tingkat toksisitas, serta tingkat repelensi. Analisis data dilakukan menggunakan ANOVA diikuti uji lanjut Tukey pada taraf 5%. Penentuan LD/LC<sub>50</sub> dan LD/LC<sub>95</sub> dilakukan melalui analisis probit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ekstraksi menggunakan gelombang ultrasonik menghasilkan rendemen tertinggi. Namun, ekstrak nilam dari metode distilasi menghasilkan efek toksisitas tertinggi saat diaplikasikan dengan teknik topikal dan residu. Nilai LC<sub>50</sub> dan LC<sub>95</sub> ekstrak nilam yang diekstrak dengan metode distilasi sebesar 0,804% dan 1,541% dengan nilai LD<sub>50</sub> dan LD<sub>95</sub> sebesar 49,140 µg/imago dan 135,729 µg/imago. Ekstrak nilam hasil distilasi juga menunjukkan sifat repelen terhadap *T. castaneum* mulai dari konsentrasi 0,2%. Senyawa utama hasil ekstraksi nilam metode distilasi adalah *patchouli alcohol*, *α-guaiene*, *δ-guaiene*, dan *seychellene*. Ekstrak nilam dengan metode distilasi berpotensi menjadi racun kontak dan repelen terhadap *T. castaneum*.

**Kata kunci:** distilasi, fumigasi, maserasi, residu, ultrasonik

### ABSTRACT

The infestation of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) results in the reduction of flour weight, changes in flour color, and a musty odor in stored materials. One alternative control method is using patchouli extract (*Pogostemon cablin*), which has insecticidal activity. The extraction methods and the application techniques in controlling storage pests influence the effectiveness of the extract as a botanical insecticide. The study aims to examine the differences in yield, composition, content, toxicity, and repellency levels of patchouli extracts obtained using various extraction methods for controlling *T. castaneum*. The study employs three patchouli extraction methods: maceration, steam-water distillation, and ultrasonic extraction. Three application techniques are used in this study: fumigation, topical and residue. The observed variables include the content and composition of the extraction yield, toxicity levels, and repellency levels. Data analysis is performed using probit analysis to determine LD/LC<sub>50</sub> and LD/LC<sub>95</sub>, and ANOVA at 5% level, followed by Tukey's test. The research results indicate that the extraction method assisted by ultrasonic waves yields the highest extraction yield. However,

patchouli extract obtained through the distillation method exhibits the highest toxicity effects when applied with topical and residue techniques. The  $LC_{50}$  and  $LC_{95}$  values of patchouli extract obtained via distillation are 0.804% and 1.541% while the  $LD_{50}$  and  $LD_{95}$  values are 49.140  $\mu\text{g/imago}$  and 135.729  $\mu\text{g/imago}$ . The main compounds found in patchouli extract obtained through distillation are patchouli alcohol,  $\alpha$ -guaiene,  $\delta$ -guaiene, and seychellene. Patchouli extract obtained through distillation has the potential to act as a contact insecticide and repellent against *T. castaneum*.

**Key words:** distillation, fumigation, maceration, residue, ultrasonic

## PENDAHULUAN

Aspek pascapanen seperti penyimpanan memegang peranan penting dalam upaya menjaga stok pangan secara berkelanjutan. Hama menjadi salah satu penyebab penting kehilangan hasil pascapanen. Aktivitas hama pada penyimpanan dapat memengaruhi harga jual dan nilai gizinya (Banga et al. 2018). Penurunan kualitas dan kuantitas komoditas pertanian mencapai 30% akibat serangan berbagai kelompok serangga (Chaudhari et al. 2021).

Salah satu hama pascapanen yang paling umum ditemukan dalam penyimpanan produk pertanian adalah kumbang tepung beras *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). Kumbang *T. castaneum* menyerang tepung dari berbagai komoditas, seperti tepung dedak, kedelai, tapioka, gandum, jagung hingga tepung beras (Astuti & Mutalaliah 2020). Serangan *T. castaneum* menyebabkan penurunan berat, perubahan warna, dan menimbulkan aroma yang tidak sedap pada bahan simpan (Subagiya et al. 2018). Aktivitas *T. castaneum* pada bahan simpan dapat menyebabkan kerugian mencapai 10–40% (Susanti et al. 2022).

Upaya paling umum yang dilakukan untuk mengendalikan hama gudang adalah dengan fumigasi menggunakan bahan kimia sintesis, seperti metil bromida ( $\text{CH}_3\text{Br}$ ) dan fosfin ( $\text{PH}_3$ ) (Arum & Hasjim 2020). Aplikasi fumigan dengan dosis dan waktu yang tidak tepat dapat menimbulkan dampak negatif seperti resistensi hama hingga kontaminasi pada bahan simpan (Rianti & Astuti 2023). Penggunaan fumigan  $\text{CH}_3\text{Br}$  juga dibatasi karena dapat merusak lapisan ozon dan mengakibatkan penurunan kualitas komoditas (Hayata 2017). Berdasarkan hal tersebut perlu dikembangkan alternatif pengendalian hama gudang yang lebih aman dan ramah lingkungan.

Salah satu bahan alami yang dapat digunakan untuk menggantikan fumigan adalah minyak atsiri yang diperoleh dari ekstrak tanaman. Senyawa bioaktif dalam tanaman dapat dimanfaatkan selayaknya insektisida sintesis (Handayani & Nurcahyanti 2014). Salah satu tanaman tersebut adalah nilam (*Pogostemon cablin*). Ekstrak nilam mengandung berbagai senyawa kimia,

seperti *patchouli alcohol* (32,60%),  $\alpha$ -guaiene (15,91%),  $\delta$ -guaiene (23,07%),  $\alpha$ -patchoulene (5,47%), dan *seychellene* (6,95%) yang memiliki aktivitas antiserangga (Yani 2023). Nilam mengandung flavonoid, glikosida, triterpen, sesquiterpen, lignin, dan aldehida yang berpotensi sebagai *repellent* atau *antifeedant* (Susanti & Sari 2019). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa ekstrak nilam mampu menekan populasi dan menolak hama wereng cokelat, lalat buah, dan kutu kebul (Gafur & Anshary 2022; Herminanto et al. 2012; Noor et al. 2020).

Tingkat toksisitas ekstrak tanaman sebagai insektisida juga dipengaruhi oleh potensi golongan senyawa yang terdapat didalamnya yang bersifat toksik (Utami & Ardiyanti 2019). Metode ekstraksi yang modern membantu pengembangan senyawa ini secara efisien (Bolouri et al. 2022). Metode isolasi yang berbeda dengan berbagai mekanisme dapat menyebabkan perbedaan komposisi senyawa yang dihasilkan (Dewi et al. 2018). Metode distilasi digunakan dalam penelitian karena merupakan teknik yang paling umum digunakan untuk mendapatkan minyak atsiri, waktu yang dibutuhkan dalam proses distilasi relatif cepat dan menghasilkan rendemen tinggi yang bermutu baik (Nuraeni & Yunilawati 2012). Metode maserasi dipilih karena prosesnya yang praktis, membutuhkan pelarut yang relatif sedikit, tidak perlu pemanasan (Putra et al. 2014). Metode ultrasonik bersifat *non-destruktif*, cepat dan dapat meningkatkan jumlah rendemen kasar akibat getaran gelombang yang diberikan (Handayani et al. 2016).

Efektivitas ekstrak tanaman sebagai insektisida nabati dipengaruhi oleh cara penetrasinya ke dalam tubuh serangga seperti melalui kutikula atau pernafasan. Penetrasi insektisida ini tidak selalu dibatasi dengan jelas karena ekstrak tanaman dapat terdiri atas senyawa yang mudah menguap sehingga uji toksisitas kontak menghasilkan kombinasi toksisitas kontak dan fumigan (Achimon et al. 2022). Penggunaan racun kontak dapat diaplikasikan pada serangga menggunakan teknik aplikasi residu untuk mengetahui konsentrasi yang mematikan, dan teknik aplikasi topikal digunakan untuk mengetahui dosis mematikan untuk setiap individu serangga uji. Teknik aplikasi fumigan

digunakan untuk mengetahui efek ekstrak tanaman sebagai racun pernafasan.

Tujuan penelitian ini untuk menguji perbedaan rendemen, komposisi, kandungan, toksisitas, dan tingkat repelensi ekstrak nilam yang diekstrak dengan berbagai metode untuk mengendalikan *T. castaneum*. Penelitian ini memberikan informasi baru tentang penggunaan berbagai metode ekstraksi nilam dalam pengujian toksisitas terhadap *T. castaneum* yang belum pernah dilakukan. Penelitian ini penting dilakukan untuk menemukan metode ekstraksi yang paling efektif dan efisien dalam pengembangan pestisida nabati khususnya nilam.

## BAHAN DAN METODE

### Tempat dan waktu penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fisiologi dan Toksikologi Serangga, Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB; Laboratorium Material Fungsional, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB University; dan Laboratorium Pengujian Tanaman Rempah, Obat dan Aromatik, Balai Pengujian Standar Instrumen Pertanian, Bogor. Penelitian dilaksanakan mulai Juni–Desember 2024.

### Ekstraksi nilam

Tanaman nilam yang digunakan dalam penelitian diperoleh dari petani lokal di Perwokerto, Jawa Tengah. Tanaman nilam tersebut diambil daunnya, dikeringanginkan, kemudian digiling untuk didapatkan serbuk nilam. Proses maserasi dilakukan berdasarkan penelitian Handoyo (2020). Sebanyak 500 g serbuk nilam dimasukkan ke dalam wadah kaca tertutup dan ditambahkan pelarut metanol dengan perbandingan 1:20 (w/v) selama 48 jam. Hasil ekstrak nilam disaring, kemudian pelarutnya diuapkan menggunakan *rotary evaporator* pada suhu 50 °C.

Metode ekstraksi ultrasonik dilakukan menurut Sukandar et al. (2022) dengan modifikasi. Sonifikator yang digunakan adalah tipe probe ultrasonic dari Cole-Parmer Ultrasonic Processor dengan frekuensi 20 kHz dan amplitudo 40% selama 60 menit. Sebanyak 500 g serbuk daun nilam kering diberi pelarut metanol dengan perbandingan 1:20 (w/v). Batang probe sonifikator dicelupkan ke dalam larutan yang telah disiapkan lalu alat sonifikasi dihidupkan. Pelarut dalam ekstrak kemudian diuapkan menggunakan *rotary evaporator* pada temperatur 50 °C.

Prosedur distilasi dilakukan dengan distilasi uap dan air menurut Supriyono et al. (2015), dengan modifikasi. Sebanyak 1000 g potongan daun nilam dimasukkan ke dalam tabung ekstraktor pada rangkaian alat distilasi. Tabung ekstraktor dihubungkan dengan tangki air yang

dipanaskan hingga mendidih untuk menghasilkan uap, yang kemudian dikondensasikan dan ditampung dalam sebuah labu.

### Uji toksisitas ekstrak nilam

Pengujian dilakukan dengan melakukan uji pendahuluan dan uji lanjutan. Uji pendahuluan dilakukan dengan konsentrasi 0% (kontrol), 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 3%, dan 5% (Feng et al. 2019). Uji lanjutan menggunakan konsentrasi ekstrak nilam yang setara dengan  $LC_{35}$ ,  $LC_{50}$ ,  $LC_{75}$ , dan  $LC_{95}$  yang didapatkan dari uji pendahuluan. Variabel yang diamati dalam pengujian ini adalah tingkat mortalitas serangga uji. Serangga uji dinilai mengalami kematian apabila ketika ditekan lembut menggunakan pinset tidak menunjukkan tanda pergerakan. Pengujian dilakukan menggunakan imago berumur seragam (<7 hari setelah menjadi imago) tanpa mempertimbangkan perbedaan jenis kelamin antara jantan dan betina.

Metode residu dilakukan berdasarkan Darmiati (2013) dengan modifikasi. Ekstrak nilam diencerkan dengan aseton sesuai konsentrasi uji. Sebanyak 0,5 ml formulasi ekstrak nilam dituangkan secara langsung pada cawan petri berdiameter 9 cm, kemudian pelarut dibiarkan menguap selama 3 menit. Sebanyak 10 imago *T. castaneum* diinfestasikan ke dalam cawan petri. Perlakuan kontrol dilakukan dengan meneteskan aseton saja. Pengujian diulang 5 kali pada setiap konsentrasi dan penghitungan kematian serangga dilakukan pada 24, 48, dan 72 jam setelah perlakuan (JSP).

Metode topikal dilakukan berdasarkan metode Wanna & Wongsawas (2022). Sebanyak 0,5 µl/imago ekstrak nilam diteteskan secara topikal menggunakan *microsyringe* pada dorsal toraks imago *T. castaneum*. Perlakuan kontrol dilakukan dengan meneteskan aseton saja. Setiap cawan petri berdiameter 9 cm berisi 10 imago. Setiap perlakuan diulang 5 kali dan setiap ulangan berisi 10 imago. Penghitungan serangga yang mati dilakukan pada 24, 48, dan 72 JSP.

Metode fumigasi dilakukan berdasarkan penelitian Tiana et al. (2021). Kertas saring ditempelkan pada tutup cawan petri berdiameter 9 cm kemudian ditetesi 0,5 ml sediaan ekstrak nilam dengan pelarut aseton dan didiamkan selama 3 menit. Perlakuan kontrol dilakukan dengan meneteskan aseton saja. Sebanyak 10 imago *T. castaneum* dimasukkan ke dalam cawan petri kemudian cawan petri dilapisi dengan kain kasa lalu ditutup. Celah pada cawan petri dilapisi dengan plastisin. Pengujian diulang sebanyak 5 kali dan serangga yang mati diamati pada 72 JSP.

### Uji repelensi ekstrak nilam

Pengujian repelensi dilakukan menggunakan ekstrak nilam yang diperoleh dari metode ekstraksi

yang menghasilkan toksisitas tertinggi terhadap *T. castaneum*, sesuai metode yang dilakukan Mangang et al. (2020). Ekstrak nilam yang memiliki tingkat toksisitas tinggi terhadap *T. castaneum* diharapkan juga memberikan efek repelen untuk mencegah kedatangan *T. castaneum*. Kertas saring berdiameter 9 cm dipotong menjadi dua bagian. Setengah bagian dari kertas saring ditetesi ekstrak nilam sesuai konsentrasi uji dan setengah bagian yang lain ditetesi dengan pelarut aseton masing-masing sejumlah 0,25 ml kemudian dikeringkan selama 3 menit. Sebanyak 20 imago *T. castaneum* diletakkan di atas kertas saring lalu cawan petri ditutup. Konsentrasi yang digunakan dimulai dari konsentrasi terendah, yaitu 0,1%, 0,2%, 0,3%, 0,4%, dan 0,5 %. Percobaan diulang sebanyak 4 kali. Perilaku penolakan *T. castaneum* terhadap ekstrak nilam dilihat dari jumlah serangga yang terdapat pada area kontrol setelah 1, 3, 6, dan 24 JSP. Hasil pengamatan dihitung dengan menggunakan rumus (Mangang et al. 2020):

$$\text{Persentase repelensi} = \frac{\text{Jumlah serangga pada area kontrol}}{\text{Jumlah serangga keseluruhan}} \times 100\%$$

#### Analisis senyawa ekstrak nilam

Ekstrak nilam dari masing-masing metode ekstraksi dianalisis menggunakan *gas chromatography-mass spectrometry* (GC-MS). Pengujian GC-MS dilakukan di Laboratorium Kesehatan Daerah, Jakarta. Alat dengan gas pembawa helium diatur pada laju alir 0,6 ml/menit selama 60 menit. Suhu awal kolom 60 °C, kemudian dinaikkan 2 °C/menit hingga 150 °C dan ditahan 1 menit dan dinaikkan lagi 20 °C/menit hingga 210 °C kemudian ditahan selama 10 menit.

#### Analisis data

Data hasil pengamatan ditabulasi menggunakan program Microsoft Excel 2019 kemudian dilakukan analisis probit menggunakan program POLO.Plus untuk mendapatkan nilai LD/LC<sub>50</sub> dan LD/LC<sub>95</sub>. Data pengujian repelensi dianalisis menggunakan ANOVA dan uji lanjut Tukey pada taraf signifikansi 5%.

## HASIL

### Rendemen ekstrak nilam

Rendemen tertinggi diperoleh pada metode ekstraksi dengan ultrasonik, yaitu 6,72%, sedangkan rendemen terendah diperoleh pada metode ekstraksi distilasi sebesar 2,81%. Hasil ekstraksi menggunakan metode distilasi berupa minyak kuning dengan bau menyengat, sedangkan metode lain berupa pasta hijau kehitaman dengan bau yang kurang menyengat (Tabel 1).

### Toksisitas ekstrak nilam dengan cara aplikasi residu

Persentase mortalitas *T. castaneum* terendah dan tertinggi pada 72 JSP berturut-turut sebesar 22% dan 100% pada perlakuan ekstrak metode distilasi dengan konsentrasi 0,55% dan 1,9%; 26% dan 100% pada perlakuan ekstrak metode maserasi dengan konsentrasi 3,4% dan 6%; dan 10% dan 92% pada perlakuan ekstrak metode ultrasonik dengan perlakuan konsentrasi 4,3% dan 9,8% (Gambar 1). Berdasarkan hasil analisis probit terhadap tingkat mortalitas imago *T. castaneum*, metode ekstraksi distilasi menunjukkan nilai LC<sub>50</sub> dan LC<sub>95</sub> paling rendah di antara kedua metode yang lain, yaitu berturut-turut sebesar 0,804% dan 1,541% (Tabel 2).

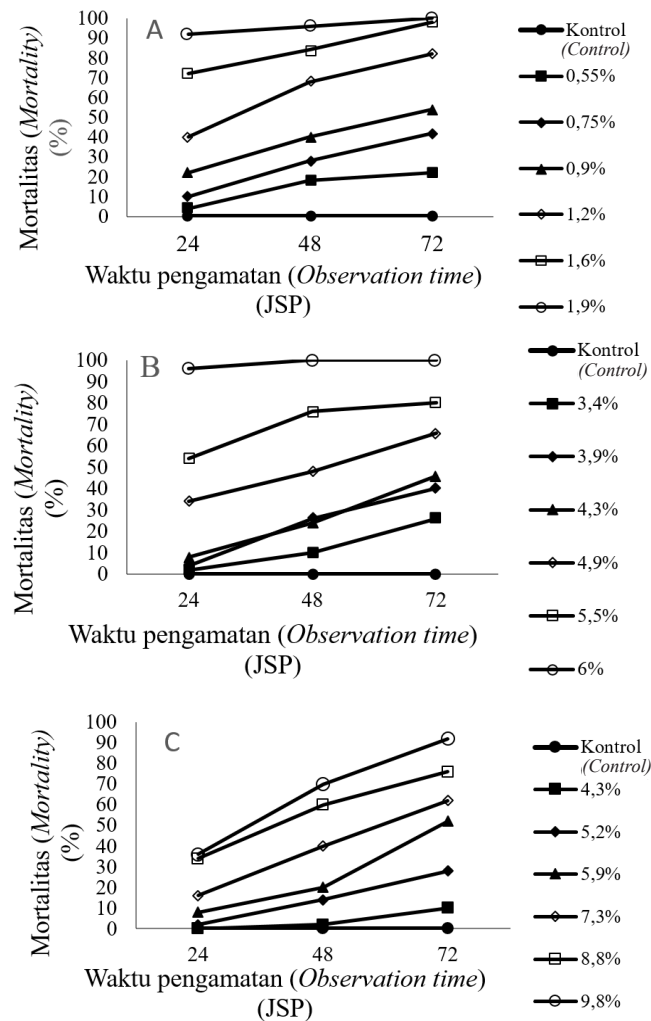
### Toksisitas ekstrak nilam dengan cara aplikasi topikal

Persentase tingkat mortalitas imago *T. castaneum* terendah dan tertinggi pada 72 JSP berturut-turut adalah pada metode distilasi sebesar 18% dan 92% pada dosis 31,5 µg/imago dan 120 µg/imago; metode maserasi 16% dan 96% pada dosis ekstrak 26 µg/imago dan 262,5 µg/imago; dan metode ultrasonik 20% dan 96% dengan dosis ekstrak 27,5 µg/imago dan 270 µg/imago (Gambar 2). Berdasarkan hasil analisis probit terhadap tingkat mortalitas imago *T. castaneum*, metode ekstraksi distilasi menunjukkan nilai LD<sub>50</sub> dan LD<sub>95</sub> paling rendah dibandingkan dengan kedua metode yang lain, yaitu berturut-turut sebesar 49,140 µg/imago dan 135,729 µg/imago (Tabel 2).

**Tabel 1.** Rendemen dan sifat ekstrak nilam yang diekstraksi dengan tiga metode

**Table 1.** The yields and characteristics of patchouli extracts obtained using three extraction methods

| Pengamatan<br>(Observation)      | Metode ekstraksi (Extraction methods) |                                  |                                  |
|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|                                  | Distilasi (Distillation)              | Maserasi (Maceration)            | Ultrasonik (Ultrasonic)          |
| Rendemen (Yield) (%)             | 2,81                                  | 6,57                             | 6,72                             |
| Bentuk (Form)                    | Minyak (Oil)                          | Pasta (Pasta)                    | Pasta (Pasta)                    |
| Warna (Color)                    | Kuning bening (Clear yellow)          | Hijau kehitaman (Blackish green) | Hijau kehitaman (Blackish green) |
| Aroma nilam<br>(Patchouli scent) | Kuat (Strong)                         | Sedang (Medium)                  | Sedang (Medium)                  |



**Gambar 1.** Perkembangan mortalitas imago *Tribolium castaneum* pada perlakuan tiga metode ekstraksi nilam A: distilasi; B: maserasi; c: ultrasonik, dengan cara aplikasi residu. JSP: jam setelah perlakuan.

**Figure 1.** Mortality development of *Tribolium castaneum* adult in the treatment of three patchouli extraction methods. A: distillation; B: maceration; C: ultrasonic, with residue application technique. JSP: hour after treatment.

**Tabel 2.** Penduga variabel regresi probit hubungan antara konsentrasi ekstrak nilam terhadap mortalitas imago *Tribolium castaneum* pada 72 jam setelah perlakuan

**Table 2.** The estimation of probit regression variables of the relations between patchouli extract concentration and mortality of *Tribolium castaneum* adult at 72 hour after treatment

| Teknik aplikasi<br>(Application<br>technique) | Metode ekstraksi<br>(Extraction<br>methods) | $a \pm GB$         | $b \pm GB$        | $LC_{50}/LD_{50}$ (SK 95%)<br>(%) | $LC_{95}/LD_{95}$ (SK 95%)<br>(%) |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Residu<br>(Residue)                           | Distilasi<br>(Distillation)                 | $0,552 \pm 0,097$  | $5,823 \pm 0,617$ | 0,804 (0,743-0,863)               | 1,541 (1,372-1,819)               |
|                                               | Maserasi<br>(Maceration)                    | $-5,508 \pm 0,676$ | $8,818 \pm 1038$  | 4,213 (3,749-4,595)               | 6,474 (5,621-9,300)               |
|                                               | Ultrasonik<br>(Ultrasonic)                  | $-5,209 \pm 0,582$ | $6,482 \pm 0,707$ | 6,363 (5,785-6,955)               | 11,413 (9,753-15,273)             |
| Topikal<br>(Topical)                          | Distilasi<br>(Distillation)                 | $-6,305 \pm 0,776$ | $3,728 \pm 0,439$ | 49,14 (37,160-59,882)             | 135,729 (98,658-297,509)          |
|                                               | Maserasi<br>(Maceration)                    | $-4,874 \pm 0,519$ | $2,590 \pm 0,259$ | 76,141 (65,253-87,213)            | 328,570 (259,342-459,237)         |
|                                               | Ultrasonik<br>(Ultrasonic)                  | $-4,377 \pm 0,503$ | $2,317 \pm 0,249$ | 77,494 (57,663-97,802)            | 397,349 (256,573-843,422)         |

*a*: intersep garis regresi probit; *b*: kemiringan garis regresi probit; GB: galat baku; LC: lethal concentration; LD: lethal doses; SK: selang kepercayaan. (*a*: probit regression line intercept; *b*: slope of the probit regression; GB: standard error; LC: lethal concentration; LD: lethal doses; SK: confidence interval).

### Toksisitas ekstrak nilam dengan cara aplikasi fumigasi

Persentase tingkat kematian tertinggi dan terendah pada ekstrak nilam metode distilasi sebesar 6,88% dan 0,63% pada dosis 1310 ml/m<sup>3</sup> dan 260 ml/m<sup>3</sup>; metode maserasi sebesar 1,875% dan 0% pada dosis 1310 ml/m<sup>3</sup> dan 260 ml/m<sup>3</sup>; dan metode ultrasonik sebesar 0,625% dan 0% pada dosis 1310 ml/m<sup>3</sup> dan 260 ml/m<sup>3</sup> (Gambar 3). Hasil ini menunjukkan bahwa ekstrak nilam tidak efektif digunakan sebagai fumigan terhadap imago *T. castaneum* karena memiliki tingkat mortalitas kurang dari 10% pada ketiga perlakuan metode ekstraksi.

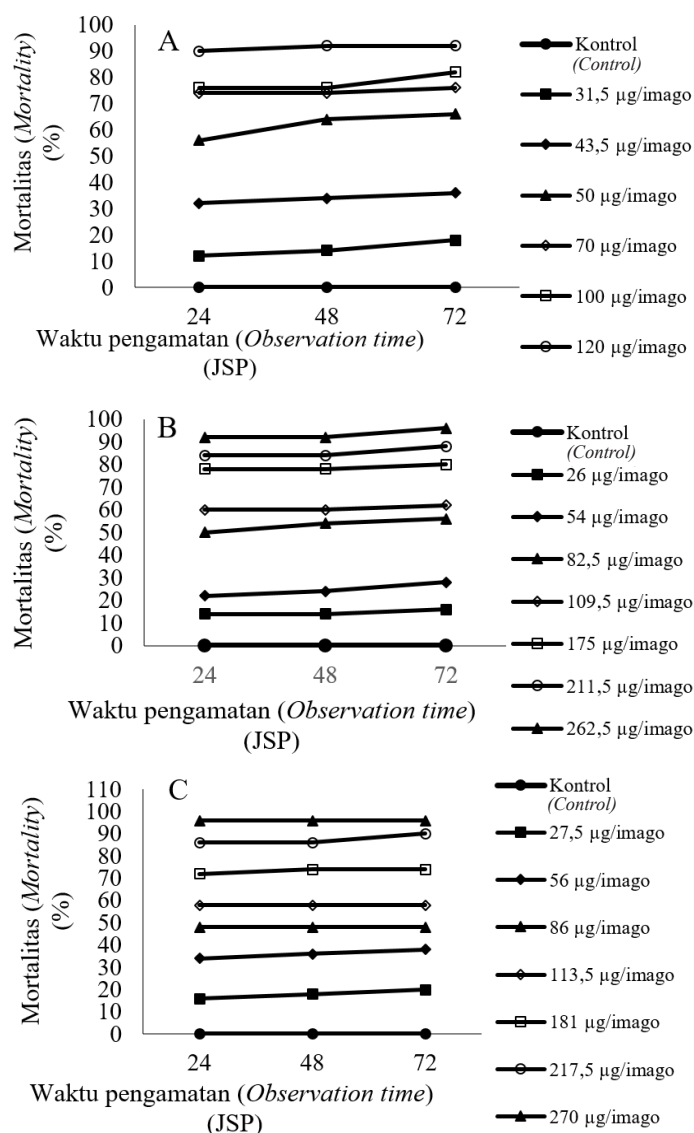
### Repelensi ekstrak nilam

Pengujian repelensi dilakukan dengan menggunakan ekstrak hasil metode ekstraksi distilasi karena ekstrak

ini memiliki tingkat toksisitas paling tinggi terhadap *T. castaneum*. Pada pengamatan 1 JSP, persentase repelensi tertinggi mencapai 97,5% pada perlakuan 0,4% dan terendah sebesar 92,5% pada perlakuan 0,3%. Pada pengamatan 3 JSP, perlakuan 0,4% menunjukkan peningkatan persentase repelensi menjadi 98,75% dan pada pengamatan 6 JSP menghasilkan persentase repelensi 100%. Pada pengamatan 24 JSP, 0,2% hingga 0,5% menunjukkan persentase repelensi 100%, sedangkan perlakuan 0,1% menghasilkan persentase repelensi 75% (Tabel 3).

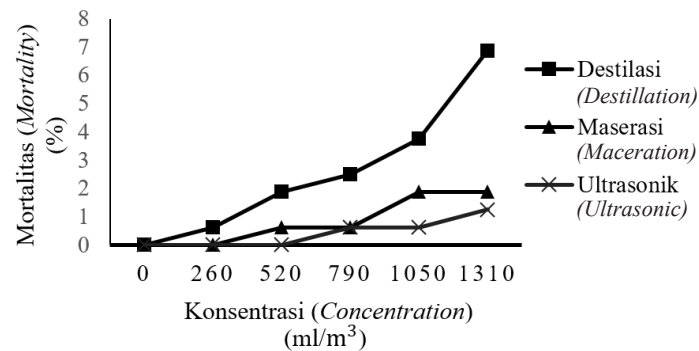
### Senyawa dalam ekstrak nilam

Metode ekstraksi distilasi menghasilkan 9 senyawa terdeteksi, metode ekstraksi maserasi menghasilkan 11 senyawa terdeteksi, sedangkan metode ekstraksi ultrasonik menghasilkan 19 senyawa terdeteksi.



**Gambar 2.** Perkembangan mortalitas imago *Tribolium castaneum* pada perlakuan tiga metode ekstraksi nilam. A: distilasi; B: maserasi; C: ultrasonik, dengan cara aplikasi topikal. JSP: jam setelah perlakuan

**Figure 2.** Mortality development of *Tribolium castaneum* adult in the treatment of three patchouli extraction methods. A: distillation; B: maceration; C: ultrasonic, with topical application technique. JSP: hour after treatment.



**Gambar 3.** Perubahan tingkat mortalitas imago *Tribolium castaneum* seiring peningkatan dosis ekstrak nilam dengan tiga metode ekstraksi pada cara aplikasi fumigasi.

**Figure 3.** Changes in the mortality rate of *Tribolium castaneum* adult with increasing doses of patchouli extract using three extraction methods through fumigation application.

**Tabel 3.** Tingkat repelensi imago *Tribolium castaneum* dengan perlakuan konsentrasi ekstrak nilam yang diekstrak dengan metode destilasi

**Table 3.** Repellency rate of *Tribolium castaneum* imago treated with patchouli extract concentration obtained through the distillation method

| Konsentrasi<br>(Concentration)<br>(%) | Rata-rata repelensi imago (Average of imago repellency) ± SD (%) |                 |                 |                 |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                       | 1 JSP                                                            | 3 JSP           | 6 JSP           | 24 JSP          |
| 0,1                                   | 95,00 ± 6,12 b                                                   | 91,25 ± 10,23 b | 88,75 ± 16,72 b | 75,00 ± 24,24 b |
| 0,2                                   | 96,25 ± 4,15 a                                                   | 96,25 ± 4,15 a  | 97,50 ± 2,50 a  | 100,00 ± 0,00 a |
| 0,3                                   | 92,50 ± 5,59 a                                                   | 96,25 ± 6,50 a  | 97,50 ± 4,33 a  | 100,00 ± 0,00 a |
| 0,4                                   | 97,50 ± 2,50 a                                                   | 98,75 ± 2,17 a  | 100,00 ± 0,00 a | 100,00 ± 0,00 a |
| 0,5                                   | 95,00 ± 3,54 a                                                   | 96,25 ± 4,15 a  | 95,00 ± 3,54 a  | 100,00 ± 0,00 a |

Angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji ANOVA dilanjutkan uji Tukey pada taraf 5%.

(\*Number followed by the same letter incate no significant difference based on ANOVA followed by Tukey's test at a 5% significance level)

JSP: jam setelah perlakuan (hour after treatment), SD: standart deviation.

Kandungan senyawa hasil distilasi dan maserasi sangat berbeda dengan kandungan senyawa ultrasonik. Berdasarkan analisis senyawa, senyawa yang paling dominan terdapat pada ekstrak nilam dengan metode distilasi adalah *patchouli alcohol* (28,93%), *α-guaiene* (18,95%), *δ-guaiene* (20,72%) dan *seychellene* (10,36%). Pada ekstrak nilam dengan metode maserasi, senyawa dominan yang muncul adalah *patchouli alcohol* (34,75%), 7. *beta. isopropenyl-1. (4A). -dimethyl-3, 4, (4A), 5, 6, 7, 8, 8A beta-octahydronaphthalene* (17,75%), *α-guaiene* (10,96%), dan *δ-guaiene* (10,25%). Pada ekstraksi nilam menggunakan metode ultrasonik, senyawa yang dihasilkan didominasi oleh 7. *beta. isopropenyl-1. (4A). -dimethyl-3, 4, (4A), 5, 6, 7, 8, 8A beta octahydro naphthalene* (45,96%) dan *α-guaiene* (7,10%) (Tabel 4).

## PEMBAHASAN

Rata-rata persentase minyak atsiri yang terkandung dalam daun kering nilam berkisar 0,54% hingga 5,2% (van Beek & Joulain 2018). Penggunaan gelombang ultrasonik akan meningkatkan gangguan pada sel

sampel yang dapat meningkatkan pelepasan minyak atsiri ke dalam larutan sehingga akan meningkatkan rendemen minyak (Chen et al. 2021). Gelombang ultrasonik berpotensi dimanfaatkan sebagai kombinasi perlakuan sebelum proses distilasi karena berpotensi meningkatkan kualitas dan kapasitas produksi minyak atsiri (Kumoro et al. 2021). Namun, penggunaan gelombang ultrasonik harus hati-hati karena dapat menyebabkan hilangnya senyawa utama nilam *patchouli alcohol*. Hal ini karena amplitudo gelombang yang tinggi dapat menyebabkan penurunan presentasi *patchouli alcohol* secara signifikan bahkan menyebabkan degradasi *patchouli alcohol* (Preeti et al. 2020).

Ekstrak nilam yang diperoleh menggunakan metode distilasi menunjukkan tingkat toksisitas tertinggi terhadap imago *T. castaneum* pada ketiga teknik aplikasi. Hal ini karena pelarut yang digunakan dalam proses maserasi dan ultrasonik dapat melarutkan semua senyawa baik yang bersifat volatil hingga kontaminan padatan seperti zat warna yang bersifat non volatil (Tutuarima et al. 2018), sedangkan distilasi umumnya digunakan untuk memisahkan senyawa-senyawa volatil

**Tabel 4.** Komposisi senyawa ekstrak nilam dengan tiga metode ekstraksi  
**Table 4.** Patchouli extract compound composition with three extraction methods

| Senyawa<br>(Compound)                                    | Metode ekstraksi (Extraction methods) (%) |                          |                            |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------|----------------------------|
|                                                          | Distilasi<br>(Distillation)               | Maserasi<br>(Maceration) | Ultrasonik<br>(Ultrasonic) |
| $\beta$ -Patchoulene                                     | 2,43                                      | -                        | -                          |
| $\alpha$ -Guaiene                                        | 18,95                                     | 10,96                    | 7,10                       |
| Caryophyllene                                            | 2,17                                      | 1,45                     |                            |
| $\alpha$ -Patchoulene                                    | 5,56                                      | 3,19                     | 3,44                       |
| Seychellene                                              | 10,36                                     | -                        | -                          |
| Patchoulene                                              | 1,15                                      | -                        | -                          |
| Aciphyllene                                              | 3,26                                      | 1,71                     |                            |
| $\delta$ -guaiene                                        | 20,72                                     | 10,25                    | 3,22                       |
| Patchouli alcohol                                        | 28,93                                     | 34,75                    | -                          |
| 6,9-Guaiadene                                            | -                                         | 1,40                     | -                          |
| $\alpha$ -Cyperone                                       | -                                         | 17,75                    | 45,96                      |
| Methyl isohexadecanoate                                  | -                                         | 1,61                     | -                          |
| Methyl ester                                             | -                                         | 2,93                     | -                          |
| Phytol                                                   | -                                         | 1,53                     | 1,72                       |
| Caryophyllene                                            | -                                         | -                        | 4,22                       |
| Aromandendrene                                           | -                                         | -                        | 2,61                       |
| Rotundone                                                | -                                         | -                        | 1,74                       |
| Butane                                                   | -                                         | -                        | 2,00                       |
| Thunbergol                                               | -                                         | -                        | 2,23                       |
| Ledol                                                    | -                                         | -                        | 2,80                       |
| 5-(3,3-Dimethylbicyclo[2.2.1]heptan-2-yl)pent-3-en-2-one | -                                         | -                        | 2,44                       |
| 4,4-Diallyl-cyclohexanone                                | -                                         | -                        | 2,33                       |
| Corymbolone                                              | -                                         | -                        | 3,55                       |
| Hexadecanoic acid                                        | -                                         | -                        | 1,35                       |
| Squalene                                                 | -                                         | -                        | 1,70                       |
| Ermanin                                                  | -                                         | -                        | 1,05                       |
| Trans-3',4',5'-Trimethoxy-4-(methylthio) chacone         | -                                         | -                        | 1,96                       |
| Sitostenone                                              | -                                         | -                        | 1,20                       |

saja sehingga hasilnya berupa senyawa murni (Rifdah et al. 2022).

Ekstrak nilam menunjukkan toksisitas kontak yang kuat terhadap *T. castaneum* baik yang diaplikasikan secara topikal maupun residu. Toksisitas kontak *P. cablin* dengan cara aplikasi topikal terhadap *T. castaneum* lain telah dilaporkan oleh Feng et al. (2019). Penelitian lain juga melaporkan bahwa minyak nilam menunjukkan efek kematian yang tinggi pada *T. castaneum* setelah pemaparan 72 jam dengan cara aplikasi residu mulai dari konsentrasi 0,75% (Bagade 2021). Seskuitерpen dalam ekstrak nilam yang ditemukan dapat digunakan sebagai insektisida karena dapat menghambat metamorfosis larva maupun perkembangbiakan serangga (Kadarohman et al. 2013). Insektisida racun kontak

dapat diaplikasikan pada gudang-gudang penyimpanan dengan menyemprotkan ke permukaan karung maupun ke dinding dan lantai gudang (Nurhaedah et al. 2024). Hal ini dapat digunakan untuk mencegah serangan hama mematikan hama tersebut sebelum mencapai produk.

Ekstrak nilam kurang efektif jika diaplikasikan sebagai fumigan terhadap *T. castaneum*. Namun, minyak nilam dilaporkan efektif sebagai fumigan pada imago *Sitophilus oryzae* (Linnaeus) pada 24 dan 48 jam pemaparan dengan LD<sub>50</sub> dan LD<sub>95</sub> berturut-turut 198,4 dan 142,9  $\mu$ l/l (Devi et al. 2020). Perbedaan aktivitas insektisida terhadap berbagai spesies serangga adalah hal yang umum terjadi. Hal tersebut karena setiap serangga memiliki kerentanan yang berbeda terhadap konstituen minyak atsiri yang dipengaruhi oleh faktor

internal dan eksternal (Chen et al. 2018). Kumbang *T. castaneum* lebih rentan terhadap toksisitas fumigasi beberapa monoterpenoid, seperti *ketones pulegone*, *l-fenchone* dan *aldehyde perilladehyde* (Lee et al. 2003).

Aktivitas penolakan *T. castaneum* menggunakan ekstrak nilam disebabkan oleh adanya berbagai senyawa yang bersifat repelen, seperti *patchouli alkohol*, *patchoulene* dan  $\alpha$ -*guaiene* (Lima et al. 2022). Dalam penelitian sebelumnya, tanaman nilam menunjukkan aktivitas repelen yang unggul terhadap *T. castaneum* pada konsentrasi 0,05% pada pengamatan 12 JSP (Bagade et al. 2021). Penggunaan ekstrak nilam dengan konsentrasi rendah (0,1%) sebagai repelen tidak menunjukkan efek repelen yang kuat setelah 24 JSP. Nilai repelensi paling efektif pada awal pengamatan dan akan terus menurun seiring bertambahnya waktu pengamatan (Tiana et al. 2021).

Penggunaan gelombang ultrasonik menyebabkan terjadinya pemecahan sel tumbuhan yang diekstrak sehingga kandungan senyawa di dalamnya keluar dan larut bersama pelarut (Djamaludin & Chamidah 2021). Hal ini menyebabkan senyawa hasil metode ekstraksi ultrasonik lebih beragam, kompleks dan berbeda dibandingkan dengan hasil metode ekstraksi yang lain. Kandungan senyawa tertinggi pada metode distilasi dan maserasi adalah *patchouli alkohol*. *Patchouli* dikenal memiliki aktivitas biologis sebagai insektisida, antioksidan, antitumor, antimikroba, dan antifungi (Hu et al. 2017). Senyawa ini memiliki *mode of action* sebagai racun saraf serta mampu menembus dan mendegradasi membran kutikula serta menyebabkan kerusakan pada jaringan serangga (Zhu et al. 2003). Efek insektisidal senyawa  $\alpha$ -*guaiene* dan  $\delta$ -*guaiene* belum dilaporkan. Namun, senyawa ini dilaporkan mampu menghambat pertumbuhan cendawan *Microsporum gypseum* dan *Tricophyton mentagrophytes* (Maulani et al. 2022) serta mampu bekerja sebagai antimikroba pada bakteri *Escherichia coli* dan *Pseudomonas aeruginosa* (Widyaningrum et al. 2020). Hasil ekstrak nilam metode maserasi dan ultrasonik juga memiliki warna hijau kehitaman karena adanya senyawa-senyawa dekomposisi klorofil daun seperti *phytol*. Senyawa ini dilaporkan dapat mengurangi aktivitas motorik cacing dan bersifat antimikroba pada *Mycobacterium tuberculosis* dan *Staphylococcus aureus* (de Moraes et al. 2014).

Berdasarkan hasil penelitian, metode ekstraksi nilam dengan distilasi memiliki kelebihan menghasilkan ekstrak yang murni dan toksik bagi serangga *T. castaneum*, namun rendemen yang dihasilkan rendah. Metode ekstraksi maserasi memiliki kelebihan mudah dilakukan, cepat, dan menghasilkan rendemen tinggi.

Kekurangan dari metode ekstraksi maserasi adalah rendemen yang dihasilkan kurang murni dan kurang toksik terhadap *T. castaneum*. Metode ekstraksi nilam dengan ultrasonik memiliki kelebihan dapat dilakukan sangat cepat, rendemen tinggi, dan senyawa yang dihasilkan bervariasi namun memiliki tingkat toksisitas sangat rendah.

## KESIMPULAN

Metode ekstraksi nilam (*P. cablin*) dengan gelombang ultrasonik menghasilkan rendemen ekstrak paling tinggi. Ekstrak daun nilam yang diekstraksi dengan metode distilasi, maserasi, dan ultrasonik bersifat toksik terhadap imago *T. castaneum* yang diaplikasikan secara residu dan topikal, namun tidak efektif pada cara aplikasi fumigasi. Ekstrak nilam yang diekstrak dengan metode distilasi menunjukkan tingkat toksisitas tertinggi di antara kedua metode ekstraksi yang lain dengan nilai  $LC_{50}$  dan  $LC_{95}$  berturut-turut 0,804 dan 1,541% pada metode residu dan  $LD_{50}$  dan  $LD_{95}$  berturut-turut 49,14 dan 135,73  $\mu$ g/imago pada metode aplikasi topikal. Ekstrak nilam hasil distilasi juga menunjukkan sifat repelen terhadap *T. castaneum* mulai dari konsentrasi 0,2%. Metode ekstraksi nilam yang berbeda menghasilkan komposisi senyawa yang berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achimon F, Peschiutta ML, Brito VD, Beato M, Pizzolitto RP, Zygadlo JA, Zunino MP. 2022. Exploring contact toxicity of essential oils against *Sitophilus zeamais* through a meta-analysis approach. *Plants*. 11:3070. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11223070>.
- Astuti LP, Mutalaliah. 2020. Host preference of *Tribolium castaneum* (Herbst) on six kinds of flour. *Jurnal Entomologi Indonesia*. 17:149–155 DOI: <https://doi.org/10.5994/jei.17.3.149>.
- Arum RS, Hasjim S. 2020. Pengaruh fumigasi phosphine (PH<sub>3</sub>) dalam mengendalikan *Tribolium castaneum* (Herbst) pada tepung gandum. *Biodiversitas*. 2:466–475. DOI: <https://doi.org/10.31326/jbio.v2i2.255>.
- Bagade RP, Jadhav AD, Chavan RV. 2021. Toxicity and repellency of four plant essential oils against *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *International Journal of Tropical Insect Science*. 41:1505–1512. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00348-9>.
- Banga KS, Kotwaliwale N, Mohapatra D, Giri SK. 2018. Techniques for insect detection in stored food grains: an overview. *Food Control*. 94:167–176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.07.008>.
- Bolouri P, Salami R, Kouhi S, Kordi M, Asgari LB, Hadian J, Astatkie T. 2022. Applications of essential oils and plant extracts in different industries. *Molecules*. 27:8999. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27248999>.
- Chaudhari AK, Singh VK, Kedia A, Das S, Dubey NK. 2021. Essential oils and their bioactive compounds as eco-

- friendly novel green pesticides for management of storage insect pests: prospects and retrospects. *Journal Environmental Science and Pollution*. 28:18918–18940. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12841-w>.
- Chen G, Sun F, Wang S, Wang W, Dong J, Gao F. 2021. Enhanced extraction of essential oil from *Cinnamomum cassia* bark by ultrasound assisted hydrodistillation. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 36:38–46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2020.08.007>.
- Chen ZY, Guo SS, Cao JQ. 2018. Insecticidal and repellent activity of essential oil from *Amomum villosum* Lour. and its main compounds against two stored-product insects. *International Journal of Food Properties*. 21:2265–2275. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1508158>.
- Darmiati NN. 2013. Uji aktivitas ekstrak daun seledri (*Apium graveolens* L.) terhadap kumbang kacang *Callosobruchus chinensis* L. (Coleoptera: Bruchidae). *Agrotop*. 3:17–22.
- Djamaludin H, Chamidah A. 2021. Kualitas ekstrak minyak mikroalga *Spirulina* sp. dengan metode ekstraksi yang berbeda. *Jurnal Universitas Hassanudin*. 8:215–224.
- de Moraes J, de Oliveira RN, Costa JP, Junior AL, de Sousa DP, Freitas RM, Pinto PL. 2014. Phytol, a diterpene alcohol from chlorophyll, as a drug against neglected tropical disease *Schistosomiasis mansoni*. *Plos Neglected Tropical Diseases*. 8:2617. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0002617>.
- Devi MA, Nameirakpam B, Devi, Mayanglambam S, Singh KD, Sougrakpam S, Rajashekar Y TB. 2020. Chemical compositions and insecticidal efficacies of four aromatic essential oils on rice weevil *Sitophilus oryzae* L. *International Journal of Tropical Insect Science*. 40:549–559. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00102-1>.
- Dewi LK, Friatnasary DL, Herawati W, Nurhadianty V, Cahyani C. 2018. Studi perbandingan metode isolasi ekstraksi pelarut dan distilasi uap minyak atsiri kemangi terhadap komposisi senyawa aktif. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*. 2:13–19. DOI: <https://doi.org/10.21776/ub.rbaet.2018.002.01.03>.
- Feng YX, Wang Y, You CX, Guo SS, Du YS, Du SS. 2019. Bioactivities of patchoulol and phloracetophenone from *Pogostemon cablin* essential oil against three insects. *International Journal of Food Properties*. 22:1365–1374. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1648508>.
- Gafur G, Anshary A. 2022. Pengaruh ekstrak beberapa jenis tanaman sebagai insektisida nabati untuk mengendalikan serangan lalat buah *Bactrocera* sp. (Diptera: Tephritidae) pada tanaman cabai rawit. *Jurnal Ilmu Pertanian*. 10: 322–328.
- Handayani PA, Nurcahyanti H. 2014. Ekstraksi minyak atsiri daun zodia (*Evodia suaveolens*) dengan metode maserasi dan distilasi air. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. 3:1–7.
- Handoyo DLY. 2020. Pengaruh lama waktu maserasi (perendaman) terhadap kekentalan ekstrak daun sirih. *Jurnal Farmasi Tinctura*. 2:34–41. DOI: <https://doi.org/10.35316/tinctura.v2i1.1546>.
- Hayata H. 2017. Respons hama *Lasioderma serricorne* terhadap pemberian fosfin formulasi pada biji pinang. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari*. 14:87–92.
- Herminanto, Wiyantono, Darini SU, Sudjarwo. 2012. Kajian pemanfaatan nilam dan jamur entomopatogen untuk mengendalikan wereng cokelat (*Nilaparvata lugens* Stal.) di Kabupaten Banyumas. In: *Seminar Nasional Pengembangan Sumber Daya Pedesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan II (Purwokerto, 27-28 November 2012)*. pp. 96–103. Purwokerto: Universitas Jenderal Soedirman.
- Hu G, Peng C, Xie X, Zhang S, Cao X. 2017. Availability, pharmacetics, security, pharmacokinetics, and pharmacological activities of patchouli alcohol. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 4850612:1–7. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/4850612>.
- Kadarohman A, Sardjono RE, Aisyah S, Khumaisah LL. 2013. Biolarvicidal of vetiver oil and ethanol extract of vetiver root distillation waste (*Vetiveria zizanoides*) effectiveness toward *Aedes aegypti*, *Culex* sp., and *Anopheles sundaicus*. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 16:749–762. DOI: <https://doi.org/10.1080/0972060X.2013.862075>.
- Kumoro AC, Wardhani DH, Retnowati DS, Haryani K, Yustika S, Fajar TA. 2021. Extraction of essential oil from ultrasound pre-treated citronella grass (*Cymbopogon nardus*) leaves by hydro-distillation method. *Chemical Engineering Transactions*. 87:643–648.
- Lee S, Peterson CJ, Coats JR. 2003. Fumigation toxicity of monoterpenoids to several stored product insects. *Journal of Stored Products Research*. 39:77–85. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(02\)00020-6](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(02)00020-6).
- Lima SL, Barreto BL, da Costa P, Luiz A, Lopes MR, Lobato R, Moreira da S, de Almeida SS. 2022. Bioinsecticidal and pharmacological activities of the essential oil of *Pogostemon cablin* benth leaves: A review. *Pharmacognosy Reviews*. 16:139–145. DOI: <https://doi.org/10.5530/phrev.2022.16.18>.
- Mangang IB, Tiwari A, Rajamani M, Manickam L. 2020. Comparative laboratory efficacy of novel botanical extracts against *Tribolium castaneum*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 100:1541–1546. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.10162>.
- Maulani M, Nurjanah S, Lembong E. 2022. Uji aktivitas antijamur pada guaiene minyak nilam terhadap jamur *Microsporum gypseum* ATCC 14683 dan *Tricophyton mentagrophytes* ATCC 16404. *Journal of Tropical Agricultural Engineering and Biosystems*. 10:74–83. DOI: <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2022.010.01.09>.
- Noor KS, Rachmawati J, Kuku UB. 2020. Pengaruh ekstrak daun nilam *Pogostemon cablin* (Benth.), daun kayu putih *Melaleuca leucadendra* (Linn.) dan daun serai wangi *Cymbopogon citratus* (DC ex Nees.) terhadap repellensi kutu kebul (*Bemisia tabaci* Genn.). *Jurnal Pendidikan Biologi*. 8:25–30. DOI: <https://doi.org/10.25157/jpb.v8i2.4378>.
- Nuraeni C, Yunilawati R. 2012. Identifikasi komponen kimia minyak asiri temugiring (*Curcuma heyneana*) dan temukunci (*Kaempheria pandurata* Roxb.) hasil distilasi air-uap. *J Kimia dan Kemasan*. 34:187–191. DOI: <https://doi.org/10.24817/jkk.v34i1.1851>.

- Nurhaedah N, Ayu ADP, Nurhapsa N. 2024. Upaya pengendalian hama serangga terhadap kualitas beras di gudang bulog Pangkajene Kabupaten Sidenreng Rappang. *Jurnal Agribisnis Sistem Pertanian Terpadu*. 1:19–27.
- Preeti LBJ, Sanjaykumar RP, Meghal AD. 2020. Enrichment of patchouli alcohol in patchouli oil by aiding sonication in hydrotropic extraction. *Industrial Crops and Products*. 158:13011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113011>.
- Putra AB, Bogoriani NW, Diantariani NP, Sumadewi NLU. 2014. Ekstraksi zat warna alam dari bonggol tanaman pisang (*Musa paradisiaca* L.) dengan metode maserasi, refluks, dan sokletasi. *Jurnal Kimia*. 8:113–119.
- Rianti PS, Astuti LP. 2023. Keanekaragaman dan kelimpahan hama pascapanen di gudang beras perum bulog kantor cabang Cianjur. *Jurnal Hama Penyakit Tumbuhan*. 11:11–19. DOI: <https://doi.org/10.21776/ub.jurnalhpt.2023.011.1.2>.
- Rifdah R, Kalsum U, Anugrah IS. 2022. Pengaruh *Saccharomyces cerevisiae* terhadap kadar etanol dari kulit nanas secara fermentasi. *Jurnal Teknik Patra Akademika*. 13:115–126. DOI: <https://doi.org/10.52506/jtpa.v13i02.176>.
- Subagiya S, Sulistyio A, Nurchasanah U. 2018. Toksisitas biji srikaya terhadap kumbang tepung (*Tribolium castaneum*) pada gandum. *Jurnal Penelitian Agronomi*. 20:19–23. DOI: <https://doi.org/10.20961/agsjpa.v20i1.19352>.
- Sukandar D, Sulaswatty A, Hamidi I. 2022. Profil senyawa kimia minyak atsiri sereh wangi (*Cymbopogon nardus* L.) hasil hidrodistilasi dengan optimasi perlakuan awal sonikasi. *Jurnal Penelitian Kimia*. 18:221–233. DOI: <https://doi.org/10.20961/alchemistry.18.2.60007.221-233>.
- Supriyono A, Gunawan Y, Wulan AH. 2015. Minyak nilam (*Patchouli alcohol*) sebagai antioksidan dengan metode DPPH. *Jurnal Ilmu Farmasi dan Farmasi Klinik*. 12:33–37.
- Susanti D, Sari AN. 2019. Inventarisasi ragam tumbuhan obat berpotensi sebagai antinyamuk. *Jurnal Vektor Penyakit*. 13:7–20. DOI: <https://doi.org/10.22435/vektor.v13i1.447>.
- Susanti R, Risnawati R, Fadillah W, Lisdayani L, Puspita R. Tahun. Aplikasi suhu terhadap mortalitas hama *Sithophilus zeamais* dan *Tribolium castaneum* pada Jagung. *Agrotechnology Research Journal*. 6:16–20. DOI: <https://doi.org/10.20961/agrotechresj.v6i1.55423>.
- Tiana DO, Heviyanti M, Marnita Y. 2021. Fumigant effect of essential oils from citronella (*Cymbopogon nardus*) and lemongrass (*Cymbopogon citratus*) against pest red flour beetle (*Tribolium castaneum*). *Jurnal Agroqua: Media Informasi Agronomi dan Budidaya Perairan*. 19:263–272. DOI: <https://doi.org/10.32663/ja.v19i2.1980>.
- Tutuarima T, Dewi KH, Sinambela N. 2018. Optimasi proses maserasi hasil samping industri sirup jeruk kalamansi (*Citrofortunella microcarpa*). *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian*. 3:359–364. DOI: <https://doi.org/10.24843/JITPA.2018.v03.i02.p07>.
- Utami MR, Ardiyanti Y. 2019. Analisis aktivitas toksisitas beberapa minyak atsiri dengan metode brine shrimp lethality test. *Jurnal Holistic and Health Sciences*. 3:14–20. DOI: <https://doi.org/10.51873/jhhs.v3i1.34>.
- van Beek TA, Joulain D. 2018. Minyak atsiri nilam, *Pogostemon cablin*: A review. *Jurnal Rasa dan Wangi*. 33:6–51. DOI: <https://doi.org/10.1002/ffj.3418>.
- Wanna R, Wongsawas M. 2022. Toxicity and bioactivity of essential oil of cilantro (*Eryngium foetidum* L.) against red flour beetle *Tribolium castaneum* (Herbst). *Australian Journal of Crop Science*. 16:259–26. DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.22.16.02.3414>.
- Widyaningrum S, Nurjanah S, Lembong E. 2020. Aktivitas antibakteri  $\alpha$ -guaiene minyak nilam terhadap bakteri *Eschericia coli* dan *Pseudomonas aeruginosa*. *Gontor Agrotech Science Journal*. 6:403–412. DOI: <https://doi.org/10.21111/agrotech.v6i3.4951>.
- Yani SW. 2023. Uji efektivitas ekstrak daun nilam (*Pogostemon cablin* Benth) sebagai repelen semprot lalat hijau (*Chrysomya megacephala*). *Jurnal Ilmiah Kesehatan Mandala Waluya*. 3:9–18. DOI: <https://doi.org/10.54883/28093151.v3i1.37>.
- Zhu BCR, Henderson G, Yu Y, Laine RA. 2003. Toxicity and repellency of patchouli oil and patchouli alcohol against formosan subterranean termites *Coptotermes formosanus* Shiraki (Isoptera: Rhinotermitidae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51:4585–4588. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0301495>.