



Original Article

Uji kombinasi biner beberapa senyawa aktif asal minyak cengkeh terhadap kutu daun kedelai *Aphis glycines* Matsumura (Hemiptera: Aphididae)

Binary combination assay of several active compounds from clove oil against the soybean aphid *Aphis glycines* Matsumura (Hemiptera: Aphididae)

Stela Aria Feriska^{1*}, Yusup Hidayat², Yani Maharani²

¹Program Studi Magister Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, Jl. Ir. Sukarno KM 21, Kampus Jatinangor, Jatinangor 45363, Indonesia, ²Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, Jl. Ir. Sukarno KM 21, Kampus Jatinangor, Jatinangor 45363, Indonesia

Penulis korespondensi:

Stela Aria Feriska
(stellaariya@gmail.com)

Diterima: 10 April 2026

Revisi: 1 Juli 2026

Disetujui: 31 Juli 2026

Sitasi:

Feriska SA, Hidayat Y, Maharani Y. 2026. Uji kombinasi biner beberapa senyawa aktif asal minyak cengkeh terhadap kutu daun kedelai *Aphis glycines* Matsumura (Hemiptera: Aphididae). *Jurnal Entomologi Indonesia*. 23(2):136–144. DOI: <https://doi.org/10.5994/jei.23.2.136>

ABSTRAK

Kutudaun kedelai *Aphis glycines* Matsumura merupakan salah satu hama pada tanaman kedelai yang dapat menyebabkan penurunan hasil produksi. Penggunaan insektisida nabati, seperti minyak cengkeh yang mengandung senyawa aktif utama eugenol, β -caryophyllene, dan α -humulene serta turunannya, seperti *caryophyllene acetate* dan *caryophyllene formate* dapat menjadi alternatif pengendalian yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan insektisida sintetik. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kombinasi biner senyawa-senyawa tersebut terhadap mortalitas dan jumlah nimfa *A. glycines*. Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan 11 perlakuan yang terdiri atas sepuluh kombinasi biner dan kontrol, serta diulang sebanyak tiga kali. Aplikasi perlakuan dilakukan secara kontak dengan penyemprotan terhadap sepuluh imago *A. glycines* tidak bersayap pada konsentrasi 0,5% dan 1%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi biner berpengaruh jumlah nimfa *A. glycines*. Kombinasi eugenol+ α -humulene, eugenol+ β -caryophyllene, eugenol+*caryophyllene formate*, α -humulene+ β -caryophyllene, α -humulene+*caryophyllene acetate*, α -humulene+*caryophyllene formate*, dan β -caryophyllene+*caryophyllene acetate* mampu menurunkan jumlah nimfa secara signifikan pada konsentrasi 0,5% dengan tingkat penekanan sebesar 75–88%. Peningkatan konsentrasi menjadi 1% menghasilkan penurunan jumlah nimfa yang signifikan pada seluruh kombinasi, dengan tingkat penekanan berkisar 78–88%. Sementara itu, kombinasi β -caryophyllene+*caryophyllene acetate* juga menunjukkan mortalitas yang signifikan, namun dengan tingkat yang relatif rendah, yaitu 33,36% pada konsentrasi 0,5% dan 36,67% pada konsentrasi 1% pada 48 JSP. Temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi senyawa asal minyak cengkeh dan derivatnya berpotensi sebagai insektisida nabati yang efektif, terutama melalui efek subletal dalam menekan reproduksi *A. glycines*.

Kata kunci: aphid, efek subletal, pestisida nabati, toksisitas kontak

ABSTRACT

The soybean aphid, *Aphis glycines* Matsumura, is a major soybean pest that can reduce crop yield. Botanical insecticides derived from clove oil, which contains eugenol, β -caryophyllene, and α -humulene, as well as their derivatives *caryophyllene acetate* and *caryophyllene formate*, may provide environmentally friendly alternatives to synthetic insecticides. This study evaluated the effects of binary combinations of these compounds on the mortality and nymph production of *A. glycines*. The experiment was arranged in a completely randomized design (CRD) with 11 treatments consisting of ten binary combinations and a control, each with three replications. Treatments were applied by contact spraying on ten wingless adult *A. glycines* at concentrations of 0.5% and 1%. The results showed that binary combinations primarily affected nymph production. At 0.5%, several combinations, including eugenol+ α -humulene, eugenol+ β -caryophyllene,

eugenol+caryophyllene formate, α -humulene+ β -caryophyllene, α -humulene+caryophyllene acetate, α -humulene+caryophyllene formate, and β -caryophyllene+caryophyllene acetate, significantly reduced nymph production with suppression levels of 75–88%. At 1%, all combinations significantly reduced nymph production with suppression ranging from 78–88%. The β -caryophyllene+caryophyllene acetate combination also showed significant mortality. However, the effect was relatively low, reaching 33.36% at 0.5% and 36.67% at 1% at 48 hours after treatment. These findings indicate the potential of clove oil-derived compounds and their derivatives for *A. glycines* management, particularly through sublethal effects that suppress reproduction.

Key words: aphid, botanical insecticide, contact toxicity, sublethal effects

PENDAHULUAN

Kutudaun *Aphis glycines* Matsumura merupakan salah satu hama pada tanaman kedelai yang dapat menyebabkan penurunan hasil tanaman. Kehilangan hasil akibat serangan *A. glycines* telah dilaporkan dapat mencapai 27,8–51,78% (Xibei et al. 1994; Suyun et al. 1996; Sun et al. 2000). Hama ini menyebabkan kerusakan dengan menghisap cairan tanaman yang kaya akan gula dan asam amino (Nalam et al. 2021). Selain itu, *A. glycines* menghasilkan embun madu yang dapat memicu pertumbuhan embun jelaga pada permukaan tanaman sehingga dapat mengganggu proses fotosintesis (Hirano et al. 1996). Hama ini juga berperan sebagai vektor berbagai virus tanaman, seperti *Soybean mosaic virus* (SMV), *Potyvirus bean yellow mosaic virus* (BYMV), *Soybean dwarf virus* (SbDV), dan *Alvalva mosaic virus* (AMV) (Wang & Ghabrial 2002; Wang et al. 2006; Damsteegt et al. 2011; Hill et al. 2001).

Pengendalian hama yang umum dilakukan oleh petani Indonesia adalah menggunakan insektisida sintetik. Indonesia diketahui merupakan negara yang paling banyak menggunakan insektisida di dunia pada tahun 2023 (FAO 2026). Meskipun penggunaan insektisida sintetik cukup efektif, tetapi penggunaannya yang tidak bijak dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti terbunuhnya musuh alami, adanya residu insektisida pada tanah, dan terganggunya kesehatan pada manusia (Bhandari et al. 2020; Beyuo et al. 2024; Camerini et al. 2024). Bahkan, terdapat populasi *A. glycines* yang telah dilaporkan resistensinya terhadap insektisida sintesis golongan piretroid, seperti λ -cyhalothrin dan bifenthrin (Hanson et al. 2017), serta sejumlah insektisida organofosfat (Wang et al. 2012). Oleh karena itu, diperlukan pengendalian serangga hama yang lebih ramah lingkungan, seperti menggunakan insektisida nabati.

Salah satu sumber insektisida nabati yang berpotensi digunakan adalah minyak cengkeh. Minyak cengkeh diketahui mengandung berbagai senyawa aktif, seperti eugenol, β -caryophyllene, dan α -humulene (Ahamad 2023). Eugenol diketahui memiliki aktivitas

insektisida melalui penghambatan asetilkolinesterase dan adenosin trifosfatase, serta telah terbukti bersifat toksik terhadap kutudaun *Aphis nerii* Fonscolombe, wereng *Metcalfa pruinosa* (Say), dan pear psyllid *Cacopsylla chinensis* (Yang & Li) (Kim et al. 2015; Tian et al. 2015; Saad et al. 2019; Hussein et al. 2022). Senyawa α -humulene bekerja dengan mengganggu sistem saraf dan respirasi seluler sehingga efektif menyebabkan kematian pada serangga, seperti kutu busuk *Cimex lectularius* Linnaeus, nyamuk *Anopheles subpictus* Grassi, dan ulat grayak *Spodoptera litura* (Fabricius) (Govindarajan & Benelli 2016; Benelli et al. 2018; Rehman et al. 2019; Borrero-Landazabal et al. 2020). Sementara itu, β -caryophyllene bekerja melalui mekanisme neurotoksik dan gangguan reproduksi (Oyedeji et al. 2020). Senyawa ini telah dilaporkan memberikan efek letal terhadap kutudaun *Myzus persicae* (Sulzer), nyamuk *An. subpictus*, dan ulat grayak *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Govindarajan et al. 2016; Mahajan et al. 2022; Chohan et al. 2023). Senyawa β -caryophyllene sendiri dapat diturunkan menjadi derivatif, yaitu *caryophyllene acetate* dan *caryophyllene formate* yang saat ini belum dilaporkan mengenai toksisitasnya terhadap serangga hama.

Meskipun insektisida nabati lebih ramah lingkungan, namun umumnya efektivitasnya masih relatif lebih rendah dibandingkan dengan insektisida sintetik. Untuk mengatasi kekurangan tersebut, menurut Widayani et al. (2023), penggabungan dua jenis insektisida dapat meningkatkan toksisitasnya sehingga pengendalian serangga hama dapat lebih dimaksimalkan. Senyawa-senyawa asal minyak cengkeh dilaporkan mengalami peningkatan toksisitas ketika dikombinasikan dengan senyawa lain, seperti eugenol dengan *thymol* dan *carvacrol* (Vale et al. 2021), serta β -caryophyllene dan α -humulene dengan *dillapiole* (Fazolin et al. 2023).

Saat ini, belum terdapat penelitian yang mengkombinasikan senyawa asal minyak cengkeh, yaitu eugenol, β -caryophyllene, α -humulene, serta senyawa turunannya, seperti *caryophyllene acetate* dan

caryophyllene formate terhadap *A. glycines*. Penelitian ini bertujuan untuk menguji efek kombinasi biner beberapa senyawa asal minyak cengkeh terhadap mortalitas dan jumlah nimfa *A. glycines*.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan waktu penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Pestisida dan Toksikologi Lingkungan, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran pada bulan Januari hingga Februari 2026.

Perbanyakkan *A. glycines*

Disiapkan benih kedelai varietas Anjasmoro yang ditanam pada polybag 40 cm × 40 cm berisikan tanah dan pupuk kandang (3:1) dengan 5 lubang tanam dan 3 benih per lubang. Serangga uji diambil dari Kebun Percobaan Legok Muncang, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran yang diidentifikasi sesuai dengan panduan *Aphids on the World's Crops* (Blackman & Eastop 2000). Serangga yang telah teridentifikasi sebagai *A. glycines* kemudian diinfestasikan pada tanaman kedelai dan dibiarkan bereproduksi hingga mencapai jumlah yang dibutuhkan untuk pengujian.

Formulasi pengujian

Formulasi uji perlakuan kombinasi dibuat dengan mencampurkan bahan aktif, minyak jarak, minyak kelapa, *oleic acid*, tween 20, span 80 dalam rasio 30:10:25:15:18:2. Sementara itu, air digunakan sebagai kontrol. Kombinasi bahan aktif akan dilakukan dalam rasio biner (1:1) (w/w) serta pada konsentrasi 0,5% dan 1%.

Pengujian kombinasi biner senyawa aktif asal minyak cengkeh terhadap *A. glycines*

Penelitian ini menguji berbagai kombinasi senyawa aktif, yaitu eugenol (Eu), β -*caryophyllene* (β), α -*humulene* (α), *caryophyllene acetate* (CA) dan *caryophyllene formate* (CF). Pengujian dilakukan dengan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) yang terdiri atas 11 perlakuan kombinasi, yaitu Eu+ α , Eu+ β , Eu+CA, Eu+CF, α + β , α +CA, α +CF, β +CA, β +CF, CA+CF, dan kontrol, serta diulang sebanyak tiga kali.

Aplikasi pengujian mengacu pada Şimşek et al. (2023) dengan penyesuaian sesuai kondisi penelitian. Pengujian dilakukan dengan metode kontak melalui penyemprotan larutan uji pada sepuluh imago *A. glycines* tidak bersayap yang ditempatkan di cawan petri beralaskan tisu. Penyemprotan dilakukan menggunakan *hand sprayer* 500 ml dengan pola penyebaran semprotan *full cone* dari jarak ±15 cm sebanyak tiga kali (±1,5 ml). Setelah itu, serangga

dipindahkan ke cawan petri baru beralaskan tisu dan berisi pakan berupa daun kedelai segar yang diganti setiap hari. Daun kedelai yang digunakan dibalut tangkainya dengan kapas basah yang dilapisi kembali dengan *plastic wrap* untuk menjaga kesegarannya. Cawan petri kemudian dibiarkan pada suhu 26–27 °C, kelembaban relatif 70–85%, dan pencahayaan alami ±12:12 jam (terang:gelap).

Mortalitas diamati pada 24 dan 48 jam setelah perlakuan (JSP) untuk menentukan persentase kematian imago *A. glycines*. Serangga dinyatakan mati jika tidak menunjukkan respons terhadap rangsangan mekanik (sentuhan kuas halus) dan/atau mengalami perubahan morfologi (warna tubuh menghitam, tubuh mengerut, atau kaku).

Pengamatan jumlah nimfa *A. glycines*

Jumlah nimfa dihitung berdasarkan total individu yang dihasilkan oleh imago pada 24 dan 48 JSP. Selain itu, dihitung juga persentase penekanan untuk mengetahui tingkat pengaruh perlakuan menggunakan rumus berikut:

Persentase penekanan nimfa (%) = $\frac{C - T}{T} \times 100\%$, dengan

C: rata-rata jumlah nimfa pada kontrol; T: rata-rata jumlah nimfa pada perlakuan

Analisis data

Analisis data dilakukan menggunakan *software* Minitab versi 18.6. Mortalitas dan jumlah nimfa dianalisis melalui uji ANOVA untuk melihat ada atau tidaknya pengaruh nyata antarpelakuan. Analisis dilanjutkan dengan uji Tukey pada tingkat kepercayaan 95% (Gomez & Gomez 1984). Persentase penekanan nimfa dihitung menggunakan fungsi kalkulator. Apabila terdapat kematian pada kontrol maka data dikoreksi menggunakan rumus Abbot (Busvine 1971).

HASIL

Rata-rata mortalitas *A. glycines*

Hasil percobaan menunjukkan bahwa kombinasi biner senyawa asal minyak cengkeh memberikan pengaruh terhadap mortalitas *A. glycines* (Tabel 1). Pada konsentrasi 0,5%, seluruh kombinasi senyawa belum menunjukkan perbedaan nyata dibandingkan dengan kontrol pada 24 JSP. Perbedaan respons mulai teramati pada 48 JSP, dengan kombinasi β +CA menunjukkan perbedaan nyata dibandingkan dengan kontrol pada konsentrasi ini.

Pada konsentrasi 1%, perbedaan nyata juga ditunjukkan oleh kombinasi β +CA yang telah teramati baik pada 24 maupun 48 JSP. Meskipun demikian,

Tabel 1. Rata-rata mortalitas *Aphis glycines* pada berbagai konsentrasi dan waktu pengamatan

Table 1. Mean mortality of *Aphis glycines* at different concentrations and observation times

Kombinasi (Combination)	Rata-rata mortalitas* (Mean mortality) (% ± SE)			
	Konsentrasi 0,5% (0,5% concentration)		Konsentrasi 1% (1% concentration)	
	24 JSP	48 JSP	24 JSP	48 JSP
Kontrol	0,00 ± 0,00 a	0,00 ± 0,00 b	0,00 ± 0,00 b	0,00 ± 0,00 b
Eu + α	3,33 ± 3,33 a	10,00 ± 5,77 b	20,00 ± 5,77 b	26,71 ± 8,83 ab
Eu + β	0,00 ± 0,00 a	10,02 ± 5,79 b	10,00 ± 5,77 ab	13,36 ± 3,34 ab
Eu + CA	10,37 ± 0,36 a	13,35 ± 6,68 b	6,67 ± 3,33 b	6,68 ± 3,34 b
E + CF	6,66 ± 6,66 a	10,01 ± 0,01 b	13,34 ± 3,33 b	6,68 ± 3,34 b
α + β	3,33 ± 3,33 a	3,34 ± 3,34 b	13,34 ± 3,33 ab	16,70 ± 3,34 ab
α + CA	3,70 ± 3,70 a	10,02 ± 5,79 b	6,67 ± 3,33 b	23,37 ± 6,68 ab
α + CF	10,00 ± 10,00 a	20,03 ± 5,79 ab	20,00 ± 10,00 ab	10,01 ± 10,01 ab
β + CA	3,70 ± 3,70 a	33,36 ± 3,32 a	33,34 ± 6,66 a	36,72 ± 6,66 a
β + CF	3,33 ± 3,33 a	3,33 ± 3,33 b	20,00 ± 10,00 ab	10,01 ± 10,01 ab
CA + CF	0 ± 0 a	6,67 ± 3,34 b	10,00 ± 5,77 b	16,69 ± 8,83 ab

Eu: eugenol; α: α-humulene; β: β-caryophyllene; CA: caryophyllene acetate; CF: caryophyllene formate;

JSP: jam setelah perlakuan (hour after treatment);

*: rata-rata mortalitas yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada taraf 5% (mean mortality followed by the same letter within the same column indicate no significant difference at the 5% level).

mortalitas tertinggi yang diperoleh masih tergolong rendah, yaitu sebesar 36,72% pada konsentrasi 1%.

Rata-rata jumlah nimfa *A. glycines*

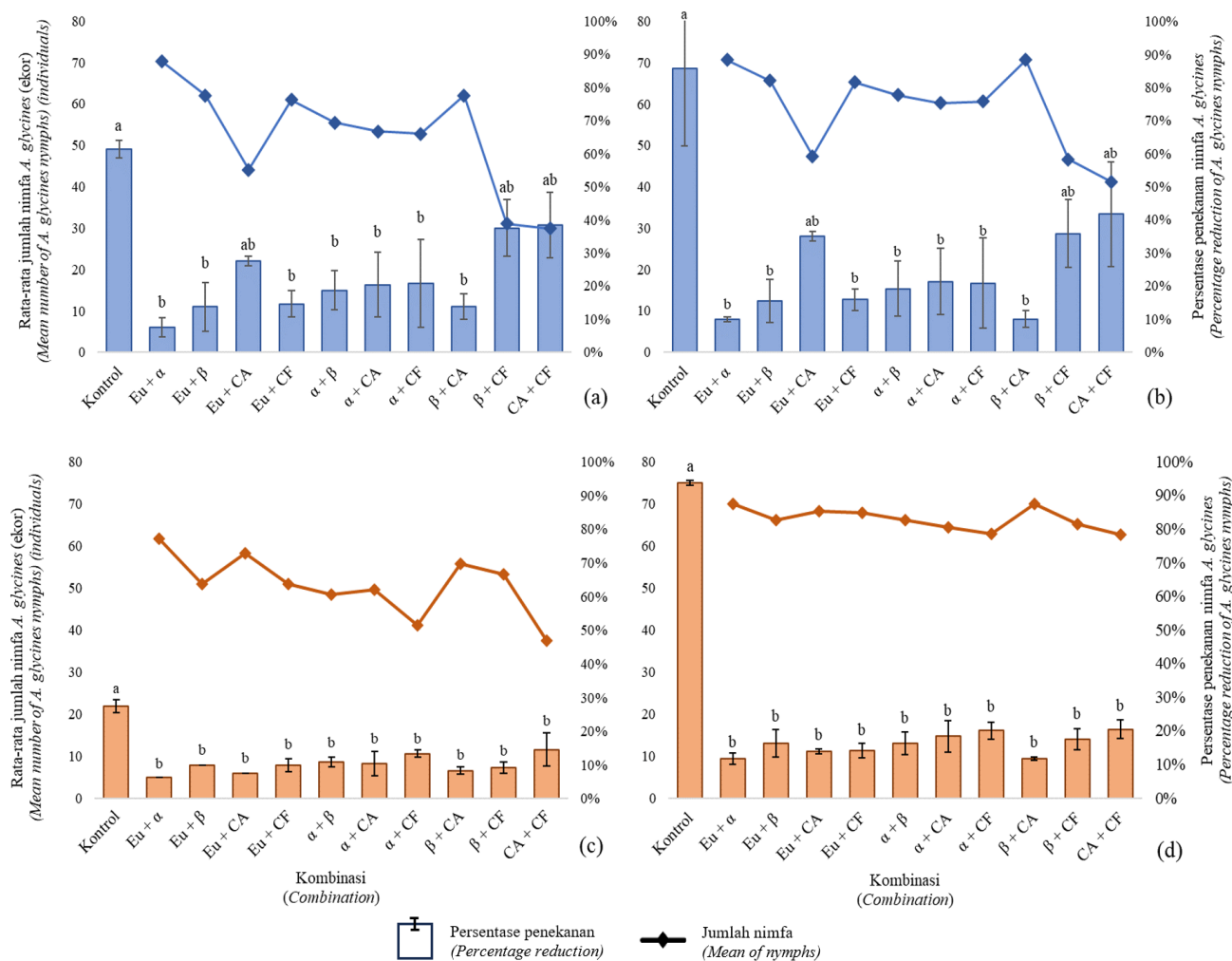
Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kombinasi biner senyawa asal minyak cengkeh mempengaruhi jumlah nimfa *A. glycines* (Gambar 1). Pada konsentrasi 0,5% (24 dan 48 JSP), sebagian kombinasi senyawa telah menunjukkan perbedaan nyata dibandingkan dengan kontrol, yaitu Eu+α, Eu+β, Eu+CF, α+β, α+CA, α+CF, β+CA. Sementara itu, pada konsentrasi 1%, seluruh kombinasi senyawa menunjukkan perbedaan nyata dibandingkan dengan kontrol pada kedua waktu pengamatan.

Berdasarkan persentase penekanan jumlah nimfa, secara umum kombinasi biner senyawa asal minyak cengkeh mampu menekan jumlah nimfa *A. glycines* pada kedua konsentrasi yang diuji. Pada konsentrasi 0,5% dan waktu pengamatan 24 JSP, tingkat penekanan masih bervariasi, namun cenderung meningkat pada 48 JSP, terutama pada kombinasi yang melibatkan eugenol. Lebih lanjut, peningkatan konsentrasi menjadi 1% menghasilkan efektivitas penekanan yang lebih tinggi dan relatif merata pada seluruh kombinasi. Kombinasi yang melibatkan eugenol menunjukkan kecenderungan memberikan penekanan tertinggi pada kedua konsentrasi.

PEMBAHASAN

Perbedaan respons mortalitas *A. glycines* yang diamati antar waktu paparan perlakuan kombinasi biner senyawa asal minyak cengkeh, khususnya pada konsentrasi 0,5%, menunjukkan bahwa pada fase awal kombinasi senyawa belum menghasilkan efek toksik yang signifikan secara statistik. Namun, efek tersebut mulai terlihat pada waktu pengamatan yang lebih lama, yang mengindikasikan bahwa aktivitas insektisida dari senyawa asal minyak atsiri cenderung bersifat *time-dependent* (Mustapha et al. 2025). Fenomena ini sejalan dengan laporan Almadiy (2020) bahwa peningkatan konsentrasi minyak atsiri berhubungan dengan meningkatnya mortalitas serangga uji. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Wulandari et al. (2025) yang menemukan bahwa efektivitas nanoemulsi minyak cengkeh meningkat seiring bertambahnya waktu paparan, yang ditunjukkan oleh penurunan nilai LC₅₀ terhadap *S. frugiperda*.

Meskipun demikian, kombinasi β+CA menunjukkan respons yang lebih konsisten dibandingkan dengan kombinasi lainnya bahkan pada waktu pengamatan yang lebih awal. Hal ini mengindikasikan adanya interaksi antar senyawa dalam campuran yang dapat meningkatkan efektivitasnya. Hingga saat ini, belum terdapat laporan spesifik mengenai kombinasi kedua senyawa tersebut terhadap *A. glycines*, namun beberapa penelitian menunjukkan bahwa β dapat berinteraksi



Gambar 1. Rata-rata jumlah nimfa *Aphis glycines* dan persentase penurunannya pada berbagai konsentrasi dan waktu pengamatan. a: 0,5% (24 jam setelah perlakuan (JSP)); b: 0,5% (48 JSP); c: 1% (24 JSP); dan d: 1% (48 JSP). Eu: eugenol; α: α-humulene; β: β-caryophyllene; CA: caryophyllene acetate; CF; caryophyllene formate. Rata-rata jumlah nimfa *A. glycines* dengan huruf yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada taraf 5%.

Figure 1. Mean number of *Aphis glycines* nymphs and percentage reduction at different concentrations and observation times. a: 0.5% (24 hour after treatment (HAT)); b: 0.5% (48 HAT); c: 1% (24 HAT); and d: 1% (48 HAT). Eu: eugenol; α: α-humulene; β: β-caryophyllene; CA: caryophyllene acetate; CF; caryophyllene formate. Mean number of *A. glycines* nymphs followed by the same letter indicate no significant difference at the 5% level.

secara sinergis dengan senyawa lain. Ikawati et al. (2022) melaporkan bahwa kombinasi eugenol dan *trans-caryophyllene* memiliki aktivitas fumigan terhadap *Tribolium castaneum* (Herbst) dengan nilai LC_{50} sebesar 5.227 μ l/l udara. Selain itu, Fazolin et al. (2023) juga melaporkan peningkatan aktivitas insektisida pada kombinasi β dengan *dillapiole* terhadap *S. frugiperda*. Hasil serupa juga ditemukan oleh hasil penelitian Dadé et al. (2025) yang menunjukkan adanya efek sinergis β dengan ekstrak aseton *Cannabis sativa* terhadap mortalitas *Triatoma infestans* (Klug in Meyen).

Berdasarkan cara kerjanya, aktivitas insektisida β berkaitan dengan kemampuannya dalam mengganggu sistem saraf serangga. Senyawa ini dilaporkan memiliki

afinitas terhadap enzim asetilkolinesterase (AChE) yang berperan dalam transmisi impuls saraf (Yu et al. 2011). Selain itu, β juga diketahui dapat menghambat aktivitas enzim Na^+/K^+ -ATPase yang berperan dalam menjaga keseimbangan ion sel saraf (Karabörklü & Ayvaz 2023). Gangguan pada kedua sistem tersebut dapat menyebabkan disfungsi saraf yang berujung pada kematian serangga.

Di sisi lain, informasi mengenai aktivitas insektisida CA masih terbatas. Namun, senyawa ini telah dilaporkan memiliki aktivitas terhadap patogen tanaman, yaitu sebagai inhibitor enzim *cytochrome c oxidase subunit 1* (Cox1) pada *Fusarium oxysporum* dan *Pythium aphanidermatum* (Arora et al. 2025). Berdasarkan

NCBI (2026), CA diklasifikasikan sebagai seskuiterpena teroksigenasi yang termasuk dalam golongan ester (*carboxylic acid ester*). Senyawa prekursoranya, yaitu β memiliki gugus alkohol ($-OH$) sebelum mengalami derivatisasi yang menyebabkan β bersifat lebih polar akibat kemampuannya membentuk ikatan hidrogen (Henkel et al. 2018). Sementara itu, CA yang memiliki gugus ester memiliki polaritas yang lebih rendah sehingga diduga cenderung lebih lipofilik. Sifat tersebut memungkinkan interaksi yang lebih kuat dengan membran sel, termasuk meningkatkan fluiditas dan permeabilitas membran (Sharifi-rad et al. 2017). Selain itu, proses esterifikasi diketahui dapat meningkatkan stabilitas senyawa terhadap metabolisme serta memperpanjang keberadaannya dalam sistem biologis (Ayyad et al. 2025). Dengan demikian, keberadaan CA dalam campuran diduga berperan dalam meningkatkan penetrasi dan ketersediaan biologis β . Hal ini sejalan dengan Tak & Isman (2017) yang menyatakan bahwa interaksi sinergis pada campuran terpenoid umumnya terjadi melalui peningkatan penetrasi toksikan akibat perubahan sifat kelarutan dan distribusi senyawa dalam tubuh serangga.

Meskipun kombinasi β +CA menunjukkan pengaruh nyata terhadap mortalitas, tingkat kematian yang dihasilkan masih cukup rendah (36,72%) pada konsentrasi 1%. Hal ini mengindikasikan bahwa senyawa yang digunakan kemungkinan memiliki toksisitas yang relatif terbatas terhadap *A. glycines*. Selain itu, rendahnya mortalitas juga dapat dipengaruhi oleh kemampuan detoksifikasi serangga, seperti aktivitas enzim sitokrom P450 dan esterase yang berperan dalam menetralkan senyawa asing (Xi et al. 2015).

Walaupun demikian, senyawa tersebut tetap menunjukkan efektivitas melalui efek subletal, yang ditunjukkan oleh penurunan jumlah nimfa. Penurunan jumlah nimfa yang semakin meningkat pada konsentrasi yang lebih tinggi dan waktu paparan yang lebih lama menunjukkan bahwa efek perlakuan bersifat kumulatif. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Saifi et al. 2023) yang melaporkan bahwa aplikasi berbagai konsentrasi minyak atsiri *Mentha longifolia* dapat menurunkan jumlah nimfa *Aphis craccivora* Koch (Hemiptera: Aphididae) seiring dengan peningkatan konsentrasi.

Secara umum, kemampuan senyawa penyusun minyak cengkeh dalam mempengaruhi reproduksi serangga telah dilaporkan. Kombinasi (*E*)-*caryophyllene* dan α maupun aplikasinya secara tunggal mampu menurunkan oviposisi *Aedes aegypti* (Linnaeus) (Silva et al. 2015). Eugenol dilaporkan mampu menurunkan produksi nimfa *Rhyzopertha dominica* (Fabricius),

Sitophilus oryzae (Linnaeus), dan *T. castaneum* masing-masing sebesar 81,3%, 67,7%, dan 79,7% (Ramadan et al. 2024). Eugenol yang diaplikasikan pada buah anggur juga dilaporkan dapat menghambat perkembangan serta menurunkan kemampuan bertahan hidup larva *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Baleba et al. 2026). Sementara itu, informasi mengenai aktivitas CA dan CF terhadap reproduksi serangga masih terbatas.

Penurunan jumlah nimfa dapat terjadi akibat gangguan fisiologis dan reproduksi yang ditimbulkan oleh perlakuan. β sendiri diketahui dapat memengaruhi gen *heat shock protein 60* dan *olfactory segment-D* yang berkaitan dengan reproduksi serangga (Chohan et al. 2023). Di samping itu, stres fisiologis yang diakibatkan oleh perlakuan dapat memengaruhi fekunditas serta mengalihkan alokasi energi ke pembentukan struktur adaptif, seperti sayap (Reyes et al. 2019). Pavela (2015) juga melaporkan bahwa paparan minyak atsiri selama 48 jam dapat menurunkan fekunditas aphid melalui gangguan pada sistem saraf dan metabolisme energi.

Dengan demikian, penurunan jumlah nimfa yang diamati mengindikasikan bahwa kombinasi biner senyawa asal minyak cengkeh berpotensi memberikan efek subletal terhadap reproduksi *A. glycines* pada kondisi laboratorium. Namun, temuan ini masih perlu dikaji lebih lanjut melalui pengujian pada skala yang lebih luas untuk memastikan konsistensinya pada kondisi semi lapangan maupun lapangan. Mengingat kemampuan reproduksi partenogenetik aphid yang sangat tinggi, efek subletal ini menjadi sangat penting karena dapat menekan laju pertumbuhan populasi secara keseluruhan bahkan ketika tingkat mortalitas yang dihasilkan relatif rendah. Karakteristik ini membuka peluang pemanfaatan senyawa alami sebagai komponen dalam strategi pengendalian hama terpadu (PHT). Namun, evaluasi efek kombinasi senyawa terhadap aspek reproduksi dapat diperluas melalui durasi pengamatan yang lebih panjang. Selain itu, pengujian berbagai rasio kombinasi senyawa dapat dilakukan untuk mengoptimalkan efektivitas perlakuan, khususnya terhadap mortalitas *A. glycines*.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh kombinasi biner senyawa asal minyak cengkeh dan turunannya mampu menurunkan produksi nimfa *A. glycines* secara signifikan pada konsentrasi 1% (48 JSP). Sementara itu, efek terhadap mortalitas relatif terbatas, yaitu hanya kombinasi β -*caryophyllene*+*caryophyllene acetate* yang menyebabkan mortalitas signifikan dengan tingkat mortalitas sebesar 36,67% pada 48 JSP. Temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi senyawa asal minyak

cengkeh dan derivatnya berpotensi sebagai insektisida nabati, dengan efek subletal berupa penekanan reproduksi *A. glycines*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahamad J. 2023. Characterization of essential oil composition of *Syzygium aromaticum* Linn. (Clove) by GC-MS and Evaluation of its Antioxidant Activity. *Journal of Angiotherapy*. 7:1–6. DOI: <https://doi.org/10.25163/angiotherapy.719358>.
- Almadiy AA. 2020. Heliyon chemical composition, insecticidal and biochemical effects of two plant oils and their major fractions against *Aedes aegypti*, the common vector of dengue fever. *Heliyon*. 6:1–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04915>.
- Arora H, Choudhir G, Sengupta A, Sharma A, Sharma S. 2025. Bioactive metabolites of licorice and thyme as potential inhibitors of Cox1 enzyme of phytopathogens of *Capsicum annum* L.: In-silico approaches. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*. 43:4534–4551. DOI: <https://doi.org/10.1080/07391102.2024.2303603>.
- Ayyad RR, Mansour AM, Nejm AM, Abdel Y, Hassan A. 2025. Esterification of many drugs causes its prolonged action due to increase lipid solubility and store in fatty tissues. *Current Research in Medical Sciences*. 4:10–15. DOI: <https://doi.org/10.56397/CRMS.2025.03.02>.
- Baleba SBS, Omondi VO, Mohamed SA, Getahun MN. 2026. Clove - derived eugenol induces strong avoidance behaviour in the invasive fruit fly, *Drosophila suzukii*. *Journal of Pest Science*. 99:59. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-026-02028-y>.
- Benelli G, Govindarajan M, Rajeswary M, Vaseeharan B, Alyahya SA, Alharbi NS, Kadaikunnan S, et al. 2018. Insecticidal activity of camphene, zerumbone and α -humulene from *Cheilocostus speciosus* rhizome essential oil against the Old-World bollworm, *Helicoverpa armigera*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 148:781–786. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.044>.
- Beyuo J, Sackey LNA, Yeboah C, Kayoung PY, Koudadje D. 2024. The implications of pesticide residue in food crops on human health: A critical review. *Discover Agriculture*. 2:1213. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00141-z>.
- Bhandari G, Atreya K, Scheepers PTJ, Geissen V. 2020. Chemosphere concentration and distribution of pesticide residues in soil: non- dietary human health risk assessment. *Chemosphere*. 253:126594. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126594>.
- Blackman RL, Eastop VF. 2000. *Aphids on The World's Crops: An Identification and Information Guide*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Borrero-Landazabal MA, Duque JE, Mendez-Sanchez SC. 2020. Model to design insecticides against *Aedes aegypti* using in silico and in vivo analysis of different pharmacological targets. *Comparative Biochemistry and Physiology Part - C: Toxicology and Pharmacology*. 229:108664. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2019.108664>.
- Busvine JR. 1971. *A Critical Review of The Techniques For Testing Insecticides*. Commonwealth Agricultural Bureaux.
- Camerini G, Maini S, Limonta L. 2024. Impact of chemical insecticide application on beneficial insects in maize. *Insects*. 15:1–12. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects15040224>.
- Chohan TA, Chohan TA, Mumtaz MZ, Alam MW, Din SU, Naseer I, Riaz A, et al. 2023. Insecticidal potential of α -pinene and β -caryophyllene against *Myzus persicae* and their impacts on gene expression. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*. 92:1943–1954. DOI: <https://doi.org/10.32604/phyton.2023.026945>.
- Dadé MM, Daniele MR, Rodriguez S, Díaz P, Silvestrini MP, Schinella GR, Marin GH, et al. 2025. Repellent, Lethal activity, and synergism of *Cannabis sativa* extracts with terpenes against a laboratory colony of *Triatoma infestans*. *Plants*. 14:1–17. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants14213258>.
- Damsteegt VD, Stone AL, Science FD, Ave D, Detrick F, Kuhlmann M. 2011. acquisition and transmissibility of soybean dwarf virus isolates by the soybean aphid, *Aphis glycines*. *Plant Disease*. 95:945–950. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-10-0726>.
- [FAO] Food and Agriculture Organization. 2026. Pesticide Use. Available at: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RP> [accessed 5 March 2026].
- Fazolin M, Bizzo HR, Monteiro AFM, Lima MEC, Maisforte NS, Gama PE. 2023. Synergism in two-component insecticides with dillapiole against fall armyworm. *Plants*. 12:1–11. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12173042>.
- Govindarajan M, Benelli G. 2016. α -Humulene and β -elemene from *Syzygium zeylanicum* (Myrtaceae) essential oil: highly effective and eco-friendly larvicides against *Anopheles subpictus*, *Aedes albopictus*, and *Culex tritaeniorhynchus* (Diptera: Culicidae). *Parasitol Res*. 115:2771–2778. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00436-016-5025-2>.
- Govindarajan M, Rajeswary M, Hoti SL, Bhattacharyya A, Benelli G. 2016. Eugenol, α -pinene and β -caryophyllene from *Plectranthus barbatus* essential oil as eco-friendly larvicides against malaria, dengue and Japanese encephalitis mosquito vectors. *Parasitology Research*. 115:807–815. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00436-015-4809-0>.
- Hanson AA, Menger-anderson J, Silverstein C, Potter BD, Macrae I V, Hodgson EW, Koch RL. 2017. Evidence for soybean aphid (Hemiptera: Aphididae) resistance to pyrethroid insecticides in the Upper Midwestern United States. *Journal of Economic Entomology*. 110:2235–2246. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/tox235>.
- Henkel S, Misuraca MC, Troselj P, Davidson J, Hunter CA. 2018. Polarisation effects on the solvation properties of alcohols†. *Chemical Science*. 9:88–99. DOI: <https://doi.org/10.1039/C7SC04890D>.
- Hill J, Alleman R, Hogg D., Grau CR. 2001. First Report of transmission of soybean mosaic virus and alfalfa mosaic virus by *Aphis glycines* in the New World. *Plant Disease*. 85:561. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS.2001.85.5.561C>.
- Hirano K, Honda K, Miyai S. 1996. Effects of temperature on development, longevity and reproduction of the soybean

- aphid, *Aphis glycines* (Homoptera: Aphididae). *Applied Entomology and Zoology*. 31:178–180. DOI: <https://doi.org/10.1303/aez.31.178>.
- Hussein HS, El-Deeb DA, Tawfeek ME, Abdelgaleil SAM. 2022. Contact and fumigant toxicities of monoterpenes and phenylpropenes, and their possible mode of action to oleander aphid. *International Journal of Tropical Insect Science*. 42:2195–2201. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42690-022-00740-7>.
- Ikawati S, Himawan T, Abadi AL, Tarno H, Fajarudin A. 2022. In silico study of eugenol and trans-caryophyllene also clove oil fumigant toxicity on *Tribolium castaneum*. *Journal of Tropical Life Science*. 12:339–349. DOI: <https://doi.org/10.11594/jtls.12.03.07>.
- Karabörklü S, Ayvaz A. 2023. A comprehensive review of effective essential oil components in stored-product pest management. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 130:449–481. Springer Berlin Heidelberg. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41348-023-00712-0>.
- Kim JR, Jeong IH, Lee YS, Lee SG. 2015. Insecticidal activity of cinnamon essential oils, constituents, and (E)-cinnamaldehyde analogues against *Metcalfa pruinosa* Say (Hemiptera: Flatidae) nymphs and adults. *Korean Journal of Applied Entomology*. 54:375–382. DOI: <https://doi.org/10.5656/KSAE.2015.10.0.056>.
- Mahajan E, Singh S, Diksha, Kaur S, Sohal SK. 2022. The genotoxic, cytotoxic and growth regulatory effects of plant secondary metabolite β -caryophyllene on polyphagous pest *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae). *Toxicon*. 219:106930. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2022.09.016>.
- Mustapha AM, Adam AH, Sabiu I. 2025. Larvicidal efficacy of selected essential oils against mosquito larvae in Dutse, Northwestern Nigeria. *International Journal*. 12:35–41. DOI: <https://doi.org/10.22271/23487941.2025.v12.i1a.829>.
- Nalam VJ, Han J, Pitt WJ, Acharya SR, Id PN. 2021. Location, location, location: Feeding site affects aphid performance by altering access and quality of nutrients. *PLoS ONE*. 16: 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245380>.
- [NCBI] National Center for Biotechnology Information. 2026. Caryophyllene acetate (CID 90473619). Available at: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/classification/#hid=134&view=tree&cid=90473619> [accessed 18 March 2026].
- Oyedede AO, Okunowo WO, Osuntoki AA, Olabode TB, Ayo-folorunso F. 2020. Insecticidal and biochemical activity of essential oil from citrus sinensis peel and constituents on *Callosobruchus maculatus* and *Sitophilus zeamais*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 168:104643. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104643>.
- Pavela R. 2015. Acute toxicity and synergistic and antagonistic effects of the aromatic compounds of some essential oils against *Culex quinquefasciatus* Say larvae. *Parasitology research*. 114:3835–3853. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00436-015-4614-9>.
- Ramadan GRM, Shawir MS, Abdelgaleil SAM. 2024. Efficacy of pulegone, and eugenol alone and in combination with synthetic insecticides for the management of three stored product beetle pests. *Journal of Stored Products Research*. 105:102214. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2023.102214>.
- Rehman JU, Wang M, Yang Y, Liu Y, Li B, Qin Y, Wang W, et al. 2019. Toxicity of *Kadsura coccinea* (Lem.) A. C. Sm. essential oil to the bed bug, *Cimex lectularius* L. (Hemiptera: Cimicidae). *Insects*. 10:162. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects10060162>.
- Reyes DML, Laughtonb AM, Parker DBJ, Fan HWM, Sok D, Hrčec MJ, Acevedof T, et al. 2019. The influence of symbiotic bacteria on reproductive strategies and wing polyphenism in pea aphids responding to stress DR. *Journal of Animal Ecology*. 88:601–611. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12942>.
- Saad MMG, El-deeb DA, Abdelgaleil SAM. 2019. Insecticidal potential and repellent and biochemical effects of phenylpropenes and monoterpenes on the red flour beetle, *Tribolium castaneum* Herbst. *Environmental Science and Pollution Research*. 26:6801–6810. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04151-z>.
- Saifi R, Saifi H, Akca İ, Benabadelkader M, Askin AK. 2023. Insecticidal and repellent effects of *Mentha longifolia* L. essential oil against *Aphis craccivora* Koch (Hemiptera: Aphididae). *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 10:1–10. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00395-7>.
- Sharifi-rad J, Sureda A, Tenore GC, Daglia M, Sharifi-rad M, Valussi M, Tundis R, et al. 2017. Biological Activities of Essential Oils : From Plant Chemoecology to Traditional Healing Systems. *Molecules*. 22:1–55. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules22010070>.
- Silva RCS da, Milet-Pinheiro P, Silva PCB da, Silva AG da, Silva MV da, Navarro DM do AF, Silva NH da. 2015. (E)-caryophyllene and α -humulene : *Aedes aegypti* Oviposition deterrents elucidated by gas chromatography-electrophysiological assay of *Commiphora leptophloeos* leaf oil. *PLoS ONE*. 10:e0144586. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144586>.
- Şimşek Ş, Kayahan A, Pekbey G, Yılmaz G, Karaca İ. 2023. Effects of different industrial cannabis (*Cannabis sativa* (Linnaeus 1753) (Cannabaceae)) genotype extracts on *Diuraphis noxia* Kurdjumov, 1913 *Myzus persicae* Sulzer, 1776 and *Aphis fabae* Scopoli, 1763 (Hemiptera: Aphididae). *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*. 7:292–297. DOI: <https://doi.org/10.31015/jaefs.2023.2.6>.
- Sun B, Liang S, Zhao W. 2000. Outbreak of the soybean aphid in Suihua prefecture in 1998 and its control methods. *Soybean Bulletin*. 8:5. Available at: <https://krex.k-state.edu/items/c333d0d9-c524-49c2-a7f4-da980f1a98f1>. [accessed 5 March 2026].
- Suyun W, Xiangzhi B, Yajie S, Ruilu C, Zhai Baoping. 1996. Study on effect on population dynamics of soybean aphid (*Aphis glycines*) on both growth and yield of soybean. *Soybean Science*. 15:243–247.
- Tak JH, Isman MB. 2017. Penetration-enhancement underlies synergy of plant essential oil terpenoids as insecticides in the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. *Scientific Reports*. 7:1–11. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep42432>.

- Tian BL, Liu QZ, Liu ZL, Li P, Wang JW. 2015. Insecticidal potential of clove essential oil and its constituents on *Cacopsylla chinensis* (Hemiptera: Psyllidae) in laboratory and field. *Journal of Economic Entomology*. 108:957–961. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/tov075>.
- Vale L, Paula LGF de, Vieira MS, Alves S das GA, Junior NR de M, Gomes MDF, Teixeira WFP, et al. 2021. Binary combinations of thymol, carvacrol and eugenol for *Amblyomma sculptum* control: Evaluation of in vitro synergism and effectiveness under semi-field conditions. *Ticks and Tick-borne Diseases*. 12:101816. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2021.101816>.
- Wang Q, Xu W, Yan S, Wang C. 2012. Research on resistance of *Aphis glycines* in Hei longjiang province. *Advanced Materials Research*. 395:926–929. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.393-395.926>.
- Wang RY, Ghabrial SA. 2002. Effect of aphid behavior on efficiency of transmission of soybean mosaic virus by the soybean-colonizing aphid, *Aphis glycines*. *Plant Disease*. 86:1260–1264. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS.2002.86.11.1260>.
- Wang RY, Kritzman A, Hershman DE, Ghabrial SA. 2006. *Aphis glycines* as a vector of persistently and nonpersistently transmitted viruses and potential risks for soybean and other crops. *Plant Disease*. 90:920–926. DOI: <https://doi.org/10.1094/PD-90-0920>.
- Widayani NS, Dono D, Hidayat Y, Ishmayana S. 2023. Pemanfaatan insektisida botani campuran ekstrak *Calophyllum soulatri*, *Piper aduncum*, dan *Sesamum indicum* terhadap *Spodoptera frugiperda*. *Prosiding Seminar Nasional dalam Rangka Dies Natalis ke-47 UNS Tahun 2023*. 7:1168–1174.
- Wulandari E, Nuryanti NSP, Maulida D. 2025. Toxicity of nano emulsions of clove (*Syzygium aromaticum* L.) and nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt.) essential oil against Spodoptera. *International Seminar on Plant Protection*. 1:377–384.
- Xi J, Pan Y, Bi R, Gao X, A XC, Peng T, Zhang M, et al. 2015. Elevated expression of esterase and cytochrome P450 are related with lambda-cyhalothrin resistance and lead to cross resistance in *Aphis glycines* Matsumura. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 118:77–81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.12.002>.
- Xibei W, Yihao F, Shizhong L, Lirong Z, Huadi W. 1994. A study on the damage and economic threshold of the soybean aphid at the seedling stage. *Plant Protection*. 20:12–13.
- Yu Z, Wang B, Yang F, Sun Q, Yang Z, Kx L. 2011. Chemical composition and anti-acetylcholinesterase activity of flower essential oils of *Artemisia annua* at different flowering stage. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*. 10:265–271.
- Zhang A, Zhou W, Wu D, Han L, Zhao K. 2022. Effects of multigenerational imidacloprid and thiamethoxam stress on metabolism and physiology of *Aphis glycines* Matsumura (Hemiptera: Aphididae). *PLoS ONE*. 17:e0271069. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271069>.