

Efikasi formulasi minyak biji mimba (*Azadirachta indica*) terhadap *Toxoptera citricida* pada tanaman jeruk siam (*Citrus nobilis*)

Fiqri Haiqal¹⁾, Danar Dono^{2)*}, & Sri Hartati²⁾

¹⁾ Department of Plant Pests and Diseases, Faculty of Agriculture, Universitas Padjadjaran, Jatinangor, West Java, Indonesia, 45363

²⁾ Department of Plant Pests and Diseases, Faculty of Agriculture, Universitas Padjadjaran, Jatinangor, West Java, Indonesia, 45363

*Corresponding Author: danar.dono@unpad.ac.id

Received April 20, 2026; revised Mei 05, 2026; accepted Mei 12, 2026

ABSTRAK

Jeruk siam (*Citrus nobilis* Lour.) merupakan salah satu komoditas jeruk yang penting di Indonesia. Akan tetapi, produksi jeruk siam dapat mengalami penurunan akibat serangan kutu daun hitam *Toxoptera citricida*, baik karena perannya sebagai hama pengisap maupun vektor *Citrus Tristeza Virus*. Pengendalian kutu daun hitam yang umum dilakukan petani masih bergantung pada insektisida sintesis, yang berisiko menimbulkan pencemaran lingkungan, resistensi hama, serta kematian organisme non-target. Penelitian ini bertujuan untuk menguji efektivitas insektisida nabati formulasi minyak biji mimba dalam menurunkan populasi *T. citricida* pada tanaman jeruk siam serta menentukan konsentrasi yang efektif dan relatif aman terhadap organisme non-target. Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan Rancangan Acak Kelompok (RAK) yang terdiri atas enam perlakuan, yaitu kontrol (air), formulasi minyak mimba 0,75%; 1,0%; 1,25%; 1,5%, serta insektisida berbahan aktif profenofos 0,05 sebagai pembanding, masing-masing perlakuan diulang empat kali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa formulasi minyak biji mimba efektif menekan populasi *T. citricida*, dengan efikasi yang meningkat seiring kenaikan konsentrasi. Konsentrasi 1,0–1,5% menghasilkan penurunan populasi yang berbeda nyata dibandingkan kontrol, dan konsentrasi 1,5% memberikan efikasi hingga mendekati 100%, sebanding dengan profenofos pada akhir pengamatan. Namun, tidak seperti profenofos yang menurunkan populasi predator *Cheilomenes lunata* dan semut *Anoplolepis gracilipes* hingga mendekati nol, aplikasi minyak mimba tidak menunjukkan efek toksik terhadap populasi predator *Cheilomenes lunata* dan semut *Anoplolepis gracilipes* kedua organisme non-target tersebut. sehingga, formulasi minyak biji mimba berpotensi digunakan sebagai komponen penting dalam strategi Pengendalian Hama Terpadu (PHT) pada budidaya jeruk siam yang berkelanjutan.

Kata kunci: jeruk siam, *Toxoptera citricida*, minyak biji mimba, insektisida nabati, efikasi, musuh alami

Efficacy of neem seed oil formulation (*Azadirachta indica*) against *Toxoptera citricida* on Siamese orange (*Citrus nobilis*) plants

ABSTRACT

Siam citrus (*Citrus nobilis*) is one of the important citrus commodities in Indonesia. However, its production can decline due to infestation by the black aphid *Toxoptera citricida*, which acts both as a sap-sucking pest and as a vector of Citrus Tristeza Virus. Control of this pest by farmers still relies heavily on synthetic insecticides, which may cause environmental pollution, pest resistance, and mortality of non-target organisms. This study aimed to evaluate the effectiveness of a neem seed oil insecticide formulation in reducing *T. citricida* populations on Siam citrus plants and to determine an effective concentration that is relatively safe for non-target organisms. The experiment was conducted using a Randomized Complete Block Design (RCBD) with six treatments, namely a control (water), neem oil formulations at concentrations of 0.75%, 1.0%, 1.25%, and 1.5%, and a synthetic insecticide containing profenofos (0.05%). Each treatment was replicated four times. The results showed that the neem seed oil formulation effectively suppressed *T. citricida* populations, with efficacy increasing as concentration increased. Concentrations of 1.0–1.5% resulted in significantly greater population reductions compared to the control, and the 1.5% concentration achieved efficacy close to 100%, comparable to profenofos at the end of the observation period. In contrast to profenofos, which reduced populations of the predator *Cheilomenes lunata* and the ant *Anoplolepis gracilipes* to nearly zero, neem oil application did not exhibit toxic effects on these non-target organisms. Therefore, neem seed oil-based formulations have potential as component of Integrated Pest Management (IPM) strategies for sustainable Siam orange cultivation.

Keywords: Siam orange, *Toxoptera citricida*, neem seed oil, botanical insecticide, efficacy, natural enemies.

PENDAHULUAN

Jeruk merupakan salah satu komoditas buah unggulan di Indonesia, dengan jeruk siam (*Citrus*

nobilis Lour.) sebagai salah satu jenis yang banyak dibudidayakan dan bernilai ekonomi tinggi. Jeruk siam termasuk kelompok jeruk keprok dan telah

berkembang luas di berbagai wilayah Indonesia (Dessy et al., 2017). Produksi jeruk siam di Indonesia pada tahun 2023 mencapai 2,93 juta ton, naik 8,88% (238,37 ribu ton) dari tahun 2022. (BPS, 2023).

Penurunan hasil produksi ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, salah satunya adalah serangan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT). Salah satu OPT pada tanaman jeruk adalah hama kutu daun (*Toxoptera citricida*), yang menyerang bagian pucuk dan daun muda tanaman. Menurut Putri et al. (2021), persentase serangan kutu daun pada tanaman jeruk siam mencapai 82,4%. Hama ini menyerang bagian tanaman yang masih muda, seperti daun/batang/ranting muda, dan pucuk, dengan cara mengisap cairan yang kaya nutrisi dari jaringan floem tanaman. Aktivitas makan dengan menghisap cairan tanaman dari serangga ini menyebabkan daun menggulung dan rusak sehingga mengganggu fotosintesis yang akhirnya mengakibatkan penurunan pembentukan bunga dan buah (Dwiastuti et al., 2004). Selain itu, *T. citricida* juga berperan sebagai vektor penyakit, khususnya virus seperti *Citrus Tristeza Virus* (CTV). Penelitian oleh Sudarwadi et al. (2014) menyebutkan bahwa populasi kutu daun yang tinggi berpotensi menurunkan produktivitas jeruk siam, terutama ketika menyerang pada fase pertumbuhan aktif tanaman.

Pengendalian hama yang paling umum diterapkan oleh sebagian besar petani adalah penggunaan insektisida sintetis. Metode ini dianggap efektif dalam menekan populasi hama dalam waktu singkat. Namun, penggunaan insektisida sintetis secara terus-menerus dan tidak bijaksana dapat menimbulkan berbagai dampak negatif terhadap lingkungan, seperti pencemaran air dan tanah, kematian organisme non-target termasuk musuh alami hama, serta munculnya resistensi serangga terhadap bahan aktif insektisida. Seiring dengan meningkatnya tantangan dalam sektor pertanian, terutama dalam mengatasi serangan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) pada budidaya jeruk siam, diperlukan upaya pengendalian yang tidak hanya efektif dalam menurunkan populasi hama, tetapi juga ramah terhadap lingkungan dan ekosistem sekitar. Oleh karena itu, penggunaan insektisida nabati menjadi salah satu alternatif yang penting untuk dipertimbangkan. Insektisida nabati menawarkan solusi yang lebih berkelanjutan karena bersifat *biodegradable*, tidak mencemari lingkungan, dan relatif aman terhadap manusia maupun hewan non-target (Adeyemi, 2011).

Insektisida nabati merupakan pestisida yang berasal dari tumbuhan dan mengandung berbagai senyawa aktif seperti alkaloid, flavonoid, saponin, minyak atsiri, dan senyawa metabolit sekunder lainnya (Wardani & Yudaputra, 2015). Senyawa-senyawa tersebut mampu mengendalikan hama serangga melalui berbagai mekanisme, antara lain sebagai *repellent* (penolak), *antifeedant* (penekan nafsu makan), penghambat pertumbuhan, serta mengganggu proses reproduksi hama (Koul, 1996; Senthil-Nathan,

2013; Shannag, et al, 2015; Dhraa et al, 2018; Baidarus, 2019). Salah satu tanaman yang berpotensi besar sebagai bahan dasar insektisida nabati adalah mimba (*Azadirachta indica*). Tanaman ini dikenal sebagai pestisida nabati yang efektif dan aman digunakan dalam sistem pertanian berkelanjutan. Bagian tanaman yang dapat dimanfaatkan antara lain daun dan bijinya yang mengandung senyawa aktif seperti azadirachtin, salanin, meliantriol, nimbin, nimbidin, nimbolide (Eid et al., 2017; Sarkar et al. 2021).

Efektivitas insektisida nabati seperti minyak mimba sangat dipengaruhi oleh konsentrasi atau dosis yang digunakan. Konsentrasi yang terlalu rendah berpotensi tidak mampu menekan populasi hama secara optimal. Oleh karena itu, penentuan konsentrasi yang tepat menjadi aspek penting dalam aplikasi insektisida nabati agar pengendalian hama berlangsung efektif, aman, dan berkelanjutan. Namun, informasi ilmiah mengenai konsentrasi optimal formulasi minyak mimba dalam mengendalikan kutu daun *T. citricida* pada tanaman jeruk siam masih terbatas, sehingga diperlukan penelitian yang terkait hal tersebut.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli 2025 hingga November 2025. Lokasi penelitian berada di Rumah plastik Kebun Percobaan Ciparanje, Fakultas Pertanian, Universitas Padjajaran, Jatinangor yang memiliki ketinggian tempat 750 mdpl.

Persiapan Tanaman dan Serangga Uji

Tanaman jeruk siam yang digunakan dalam pengujian berumur 7 bulan di tanam dalam *polybag*, tinggi tanaman 80 cm, jarak antar tanaman 1 meter, dan terdapat total 24 tanaman jeruk siam yang menjadi objek penelitian. Kutu daun *T. citricida* diinvestasikan sebelum perlakuan untuk menyeragamkan populasi, kutu daun yang diinvestasikan berasal dari tanaman jeruk siam yang terinvestasi kutudaun. Investasi kutu daun dilakukan secara manual dengan cara dihitung terlebih dahulu setelah itu daun yang terdapat kutu daunnya diikat hingga kepadatan populasi relatif seragam.

Pelaksanaan Penelitian

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) terdiri dari 6 perlakuan dan 4 ulangan. Pada tiap ulangan terdiri dari 1 tanaman. Perlakuan yang akan diuji yaitu A: Kontrol (Air), B : Formulasi minyak mimba konsentrasi 0,75%, C : Formulasi minyak mimba konsentrasi 1,0%, D : Formulasi minyak mimba konsentrasi 1,25%, E : Formulasi minyak mimba konsentrasi 1,5%, F : Pestisida profenofos, konsentrasi formulasi 0,05%. Insektisida nabati minyak mimba yang digunakan dalam penelitian ini diformulasikan dalam bentuk formulasi minyak mimba 50 EC yang diproduksi di

Laboratorium Pestisida dan Toksikologi Lingkungan, Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran.

Perlakuan formulasi insektisida nabati dengan; konsentrasi 1,5% dibuat dengan mencampurkan 15 ml formulasi minyak mimba ke dalam air hingga volume total 1000 mL, selanjutnya diaduk hingga larutan merata. Perlakuan dengan konsentrasi yang lain dibuat dengan cara yang sama.

Perlakuan insektisida diaplikasikan pada tanaman jeruk siam berumur 7 bulan dengan metode penyemprotan menggunakan *sprayer* tangan manual. Kalibrasi volume semprot dilakukan untuk menentukan kebutuhan aplikasi di lapangan. Menurut Djojosumarto (2008), volume semprot di lapangan dapat dihitung dengan rumus:

$$V = \frac{(10000 \times C)}{(G \times K)}$$

V = Volume aplikasi alat semprot (liter/ha)

C = Curah nozzle (liter/menit)

G = Lebar gawang (meter)

K = Kecepatan jalan (meter/menit)

Berdasarkan hasil perhitungan kalibrasi, diperoleh volume semprot sebanyak 7,5 ml per tanaman. Penyemprotan dilakukan menggunakan *sprayer* tangan manual dengan kapasitas 1000 ml.

Aplikasi Insektisida

Aplikasi insektisida nabati formulasi minyak mimba dilakukan selama 8 minggu dengan interval waktu satu minggu sekali. Aplikasi menggunakan *hand sprayer*. Penyemprotan diawali dengan perlakuan kontrol (air), kemudian dilanjutkan dengan perlakuan insektisida nabati dari konsentrasi terendah hingga tertinggi dan insektisida sintesis sebagai pembanding guna menghindari kontaminasi antar perlakuan.

Penyemprotan dilakukan dengan volume semprot sebanyak 7,5 ml pertanaman. Aplikasi dilaksanakan pada pagi atau sore hari, karena pada waktu tersebut suhu udara relatif lebih rendah dan kelembapan lebih tinggi, yang dapat meningkatkan efektivitas insektisida. Penguapan bahan aktif rendah pada suhu rendah, sehingga keberadaan insektisida di permukaan tanaman menjadi lebih lama, dengan kelembapan yang tinggi, daya lekat insektisida dapat ditingkatkan dan laju pengeringan dapat optimal (Arsi *et al.*, 2022). Sebagai pembanding, digunakan insektisida kimia sintesis berbahan aktif Profenofos dengan dosis minimal yaitu 0,05% sesuai anjuran pada label produk. Penyemprotan pestisida kimia sintesis dilakukan secara langsung dengan metode yang sama, yaitu pada pagi atau sore hari dengan interval aplikasi satu minggu sekali selama periode penelitian berlangsung.

Pengamatan

Parameter pengamatan dalam penelitian ini meliputi jumlah individu populasi kutu daun *T. citricida*, serta keberadaan musuh alami seperti

predator dan parasitoid. Pengamatan dilakukan untuk menilai tingkat penurunan populasi kutu daun setelah aplikasi insektisida nabati, serta mengevaluasi efektivitas berbagai konsentrasi minyak mimba dalam menekan perkembangan hama.

Pengamatan populasi kutu daun *T. citricida* dilakukan dengan metode hitung langsung (*visual count*) menggunakan alat *hand counter* pada daun, pucuk, dan ranting sampel. Pengamatan ini dilakukan sebelum perlakuan pada pengamatan pertama. Pengamatan selanjutnya diamati setelah diberi perlakuan dengan interval waktu pengamatan setiap 7 hari setelah aplikasi atau pada hari ke-7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, dan ke-56. Berdasarkan penelitian Hughes *et al.* (1999), diketahui bahwa distribusi populasi *T. citricida* cenderung tidak acak, melainkan mengelompok (*aglomeratif*) sehingga menyebabkan jumlah kutu daun antar pohon berbeda secara signifikan. Jika populasi kutu daun *T. citricida* menyebar secara merata antar pohon, artinya setiap pohon memiliki jumlah populasi yang hampir sama sebelum perlakuan, maka pengaruh perlakuan insektisida dapat diamati secara lebih jelas. Dalam kondisi ini rata-rata populasi kutu daun sebelum dan sesudah aplikasi menjadi indikator yang valid untuk menghitung efikasi insektisida nabati minyak mimba. Namun, jika populasi tidak menyebar rata atau bervariasi antar pohon, maka data populasi awal dan akhir tetap dicatat dan dianalisis secara individu serta dilakukan perhitungan rata-rata penurunan populasi dari seluruh ulangan untuk memperoleh nilai efikasi yang lebih akurat dan tidak bias serta mengurangi efek variasi antar pohon yang tinggi.

Efikasi insektisida nabati dihitung untuk menilai sejauh mana efektivitas suatu insektisida dalam mengendalikan hama target di lapangan. Kriteria efikasi mengacu pada Metode standar Pengujian Efikasi Insektisida (Direktorat Pupuk dan Pestisida, 2012) yang ditetapkan oleh kementerian pertanian.

Apabila populasi hama pada pengamatan sebelum aplikasi insektisida tidak berbeda nyata antar petak perlakuan, tingkat efikasi insektisida dihitung menggunakan rumus Abbot:

$$El = \frac{Ca - Ta \times 100\%}{Ca}$$

El = Keefektifan insektisida yang diuji (%)

Ca = Populasi hama sasaran pada petak kontrol setelah aplikasi insektisida

Ta = Hama sasaran pada petak perlakuan setelah aplikasi insektisida

Bila populasi hama pada pengamatan pertama berbeda nyata antar perlakuan, tingkat efikasi insektisida dihitung menggunakan rumus Henderson dan Tilton:

$$El = \left(1 - \frac{Ta}{Ca} \times \frac{Cb}{Tb} \right) \times 100\%$$

El = Keefektifan insektisida yang diuji (%)

Ca = Populasi hama sasaran pada petak kontrol setelah aplikasi insektisida

- Cb = Populasi hama sasaran pada petak 69ontrol sebelum aplikasi insektisida
- Ta = Populasi hama sasaran pada petak perlakuan setelah aplikasi Insektisida
- Tb = Populasi hama sasaran pada petak perlakuan sebelum aplikasi insektisida

Suatu formulasi insektisida dikatakan efektif pada sekurang-kurangnya (1/2 n+1) kali pengamatan (n= jumlah total pengamatan setelah aplikasi/infestasi), tingkat efikasi insektisida tersebut (EI) > 70%. Selain itu, pengamatan terhadap musuh alami juga dilakukan secara visual dengan pencatatan langsung di lapangan. Tujuan dari pengamatan ini adalah untuk mengetahui dampak insektisida terhadap organisme non-target. Musuh alami yang diamati meliputi predator kutu daun seperti beberapa spesies kumbang koxi *Cheilomenes lunata* dan organisme lain seperti semut *Anoplolesis gracilipes*

Data populasi kutu daun dan serangga lainnya dianalisis dengan ANOVA untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh signifikan dari perlakuan yang diberikan. Jika perlakuan berpengaruh signifikan selanjutnya dilakukan uji lanjut Duncan's new multiple range test (MRT) pada taraf signifikansi 5% untuk mengidentifikasi perlakuan mana saja yang berbeda secara nyata. Analisis menggunakan aplikasi SmartstatXL.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Formulasi Minyak Mimba terhadap Populasi Kutu Daun *T. citricida*

Kondisi sebelum Aplikasi

Populasi kutu daun menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata sebelum perlakuan (Tabel 1).

Kondisi ini menunjukkan bahwa populasi awal kutu daun *T. citricida* pada seluruh tanaman dalam kondisi homogen atau seragam. Hal ini penting untuk memastikan bahwa perubahan populasi setelah perlakuan merupakan dampak perlakuan, bukan dipengaruhi variabel awal.

Perubahan Populasi setelah Perlakuan

Secara umum, pengamatan setelah aplikasi memperlihatkan adanya variasi perubahan populasi kutu daun *T. citricida* pada setiap perlakuan. Pada perlakuan A (kontrol), populasi kutu daun menunjukkan kecenderungan meningkat secara bertahap dari minggu pertama hingga minggu kedelapan (Tabel 1). Hal ini mengindikasikan bahwa tanpa adanya tindakan pengendalian, populasi kutu daun dapat berkembang dengan cepat pada tanaman jeruk. Pada kondisi lingkungan yang sesuai, nimfa kutu daun dapat menyelesaikan tahap perkembangan menuju dewasa dalam waktu yang relatif singkat, sehingga jumlah individu dewasa yang mampu bereproduksi meningkat secara cepat. Selain itu, *T. citricida* berkembang biak terutama melalui partenogenesis vivipar, yaitu betina mampu melahirkan nimfa tanpa proses perkawinan, sehingga satu individu dapat menghasilkan koloni baru dalam waktu yang singkat. Hal ini menjelaskan mengapa pada perlakuan kontrol populasi kutu daun meningkat secara terus-menerus dari minggu ke minggu (Tsai *et al.*, 1998). Secara keseluruhan, perlakuan minyak mimba konsentrasi 0,75%, 1,0%, 1,25%, 1,5% memperlihatkan kecenderungan penurunan populasi kutu daun setelah aplikasi, dengan efek pengendalian yang semakin jelas seiring dengan meningkatnya konsentrasi.

Tabel 1. Rata-rata Populasi Kutu Daun (*Toxoptera citricida*) pada Berbagai Konsentrasi Formulasi Mimba dan Pesticida Sintetis pada 0 hingga 8 MSP

Perlakuan	0 MSP	Populasi kutu daun (Ekor) pada aplikasi ke-x(y)							
		1(7)	2(14)	3(21)	4(28)	5(35)	6(42)	7(49)	8(56)
A (Kontrol)	67,00 a	67,5 c	68,3 b	68,8 c	74,0 d	74,5 d	82,3 e	76,0 e	104,5 c
B (Mimba 0,75%)	64,50 a	42,3 ab	28,3 a	23,8 b	26,8 c	23,5 c	17,0 d	14,8 d	10,8 b
C (Mimba 1,0%)	70,00 a	36,5 ab	23,3 a	16,5 a	22,3 bc	14,8 b	10,3 c	5,3 c	1,3 a
D (Mimba 1,25%)	69,00 a	45,0 b	27,0 a	15,0 a	16,3 ab	11,8 ab	8,3 bc	2,8 bc	1,3 a
E (Mimba 1,5%)	69,25 a	32,3 a	22,0 a	12,8 a	16,8 ab	12,5 ab	6,0 b	0,8 ab	0,0 a
F (Sintetis 0,05%)	76,28 a	33,3 a	18,0 a	11,0 a	14,0 a	7,3 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a

Keterangan: x: aplikasi ke-; y: minggu setelah perlakuan).

Angka rata-rata yang diikuti notasi huruf yang sama dalam satu kolom menunjukkan tidak berbeda nyata antar perlakuan pada taraf uji 5% (Duncan), Transformasi: $Y^{0,5} = \text{SQRT}(Y)$ (7 MSP), MSP (Minggu Setelah Perlakuan).

Pada minggu pertama hingga kedua setelah aplikasi (1–2 MSP), seluruh perlakuan minyak mimba, yaitu perlakuan B (0,75%), C (1,0%), D (1,25%), dan E (1,5%), menunjukkan penurunan populasi kutu daun, namun secara statistik tidak berbeda nyata antar perlakuan. Hal ini menunjukkan bahwa pada fase awal aplikasi, efektivitas minyak mimba pada berbagai konsentrasi masih relatif serupa (Tabel 1). Kondisi tersebut berkaitan dengan mekanisme kerja minyak

mimba yang mengandung senyawa bioaktif seperti azadirachtin, salanin, nimbin, dan meliantriol. Senyawa-senyawa ini tidak bersifat mematikan secara langsung, melainkan bekerja melalui penghambatan aktivitas makan, gangguan pertumbuhan dan pergantian kutikula, serta gangguan sistem hormonal serangga, sehingga efek penurunan populasi terjadi secara bertahap (Javandira *et al.*, 2022). Sebaliknya, perlakuan pestisida sintetis profenofos (F) sejak

minggu pertama sudah menunjukkan penurunan populasi lebih tinggi dibandingkan seluruh perlakuan mimba. Hal ini disebabkan profenofos merupakan insektisida golongan organofosfat yang bekerja dengan cara menghambat enzim asetilkolinesterase yang menyebabkan gangguan transmisi impuls saraf, kelumpuhan, dan kematian cepat pada serangga (IRAC, 2010).

Memasuki 3–5 MSP, perbedaan efektivitas antar perlakuan mulai terlihat lebih jelas. Perlakuan B (0,75%) masih menunjukkan populasi kutu daun yang relatif lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya, yang mengindikasikan bahwa konsentrasi rendah memberikan daya tekan yang kurang optimal. Sebaliknya, perlakuan C (1,0%) dan D (1,25%) mulai menunjukkan efektivitas pengendalian yang lebih baik, ditandai dengan penurunan populasi yang konsisten pada setiap waktu pengamatan. Perlakuan E (1,5%) memberikan efek pengendalian paling kuat di antara perlakuan minyak mimba, yang menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi berbanding lurus dengan jumlah senyawa aktif, khususnya azadirachtin, dalam menghambat pertumbuhan dan perkembangan hama (Kilani Morakchi *et al.*, 2021). Pada periode yang sama, perlakuan F (profenofos) menunjukkan penurunan populasi yang jauh lebih cepat dan tajam dibandingkan seluruh perlakuan minyak mimba, dengan populasi yang semakin mendekati nol. Hal ini mencerminkan mekanisme kerja profenofos yang bersifat neurotoksik dan mematikan secara langsung, sehingga siklus hidup koloni kutu daun terputus lebih cepat dibandingkan minyak mimba yang bekerja melalui mekanisme penghambatan pertumbuhan serangga (Ullah *et al.*, 2023; Nillos *et al.*, 2007).

Hasil pengamatan pada 6–8 MSP, kemampuan pengendalian masing-masing perlakuan semakin terlihat. Perlakuan E (1,5%) menjadi perlakuan minyak mimba dengan efektivitas tertinggi, ditunjukkan oleh penurunan populasi kutu daun hingga hampir nol pada minggu ke-7 dan mencapai nol pada minggu ke-8. Hal

ini menunjukkan bahwa efektivitas minyak mimba meningkat seiring waktu, terutama melalui mekanisme penghambatan perkembangan generasi berikutnya dan gangguan reproduksi. Azadirachtin diketahui mengganggu kerja hormon ecdison dan hormon juvenil yang berperan dalam proses molting dan metamorfosis, sehingga nimfa gagal berkembang menjadi individu dewasa atau individu dewasa menjadi infertil (Sianipar *et al.*, 2020). Sementara itu perlakuan F (profenofos) mencapai populasi nol dalam waktu yang lebih cepat, yaitu mulai minggu ke-6. hingga minggu ke-8. Hal tersebut menunjukkan bahwa profenofos mampu menyebabkan kematian serangga dalam waktu relatif singkat setelah kontak dengan bahan aktif (Casida *et al.*, 2013). Namun, penggunaannya berpotensi menimbulkan dampak lingkungan yang lebih tinggi, termasuk toksisitas pada organisme non-target, pencemaran tanah dan air, serta risiko perkembangan resistensi hama jika digunakan secara berulang (Kushwaha *et al.*, 2016).

Efikasi Formulasi Minyak Mimba terhadap Penurunan Populasi Kutu Daun *T. citricida* pada Tanaman Jeruk Siam

Kriteria efikasi untuk menghitung efikasi formulasi minyak mimba terhadap penurunan populasi kutu daun *T. citricida* menggunakan rumus Abbott karena populasi awal kutu daun pada seluruh perlakuan tidak berbeda nyata, sehingga tidak memerlukan koreksi populasi sebelum aplikasi. Apabila populasi awal antar perlakuan bersifat homogen, maka penggunaan rumus Abbott merupakan metode yang paling tepat untuk menggambarkan perbandingan kemampuan penekanan populasi hama relatif terhadap kontrol (Abbott, 1925).

Berdasarkan hasil perhitungan efikasi menunjukkan bahwa pemberian formulasi minyak biji mimba efektif dalam menekan populasi *T. citricida*, dengan Tingkat efektivitas yang meningkat sejalan dengan naiknya konsentrasi yang digunakan (Tabel 2).

Tabel 2. Kriteria Efikasi Perlakuan Insektisida Nabati Formulasi Mimba dan Insektisida Sintetis

Perlakuan	Efikasi Insektisida (%) pada Aplikasi ke-x(y)							
	1(7)	2(14)	3(21)	4(28)	5(35)	6(42)	7(49)	8(56)
A (Kontrol)	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
B (Mimba 0,75%)	37,4	58,7	65,2	61,0	68,2	77,2	82,0	89,7
C (Mimba 1,0%)	45,9	66,0	75,8	67,6	80,0	86,2	93,6	98,8
D (Mimba 1,25%)	33,3	60,6	78,0	76,3	84,1	88,9	96,6	98,8
E (Mimba 1,5%)	52,1	67,9	81,3	75,6	83,1	91,9	100,0	100,00
F (Sintetis 0,05%)	50,7	73,7	83,9	79,7	90,1	100,0	100,0	100,00

Keterangan : x: aplikasi ke-; y: minggu setelah perlakuan).

Formulasi insektisida dikatakan efektif bila pada sekurang-kurangnya $(1/2n+1)$ kali pengamatan (n =jumlah total pengamatan setelah aplikasi) Tingkat efikasi formulasi minyak mimba tersebut (EI)>70%. Jika $n=8$ $(1/2 \times 8+1)=5$ kali, maka efektif bila $EI > 70\%$ minimal 5 kali pengamatan

Formulasi minyak biji mimba memberikan efektivitas yang meningkat seiring bertambahnya waktu pengamatan. Pada konsentrasi tertinggi, yaitu 1,5% (perlakuan E), efikasi meningkat dari 52,1% (pengamatan ke-1) menjadi 67,9% (ke-2) dan

mencapai kategori efektif ($EI > 70\%$) mulai pengamatan ke-3 sebesar 81,3%, kemudian bertahan tinggi hingga 91,9% (ke-6) dan mencapai 100% pada pengamatan ke-7–8. Pola ini menunjukkan bahwa konsentrasi 1,5% merupakan perlakuan nabati dengan

efikasi tertinggi dan pada fase akhir pengamatan efikasinya setara dengan profenofos, karena perlakuan F (profenofos 0,05%) mencapai 100% mulai pengamatan ke-6 hingga ke-8, sedangkan perlakuan E (formulasi mimba 1,5%) mencapai 100% pada pengamatan ke-7-8. Peningkatan efikasi yang bersifat bertahap pada minyak mimba konsisten dengan karakter azadirachtin yang tidak bekerja cepat mematikan, tetapi menekan populasi melalui gangguan fisiologis seperti antifeedant dan *insect growth regulator* (IGR), termasuk interferensi proses pergantian kutikula dan penurunan reproduksi, sehingga penurunan populasi terjadi progresif dan berkelanjutan (Mordue & Nisbet, 2000; Indiwati & Marwoto, 2008).

Perlakuan insektisida berbahan aktif profenofos menunjukkan pola yang lebih cepat karena efikasi sudah relatif tinggi sejak awal, yaitu 50,7% (pengamatan ke-1) dan meningkat menjadi 73,7% (ke-2) hingga mencapai 90,1% (ke-5) dan 100% mulai ke-6. Hal ini sesuai dengan mekanisme toksiknya sebagai inhibitor asetilkolinesterase (AChE) yang menyebabkan gangguan sistem saraf dan kematian serangga dalam waktu relatif singkat (Nillos et al., 2009). Meskipun efektif, penggunaan profenofos berpotensi menimbulkan konsekuensi ekologis, termasuk risiko resistensi, residu, serta dampak terhadap organisme bukan sasaran (Kushwaha et al., 2016; Ardiwinata et al., 2012).

Pengaruh Formulasi Minyak Mimba Terhadap Serangga Bukan Sasaran

Populasi Kumbang (*Cheilomenes lunata*)

Hasil pengamatan di lapangan ditemukan keberadaan kumbang kepik predator pada tanaman jeruk yang terserang kutu daun *T. citricida*. Berdasarkan identifikasi morfologi menggunakan buku kunci dikotomus Coccinellidae dan penyesuaian dengan deskripsi ilmiah pada jurnal, kumbang tersebut memiliki tubuh berbentuk oval dan cembung dengan

warna dasar hitam mengilap serta pola totol oranye yang terpisah secara simetris pada elytra. Kombinasi karakter tersebut menjadi ciri diagnostik penting yang menempatkan spesimen pada famili Coccinellidae dan lebih spesifik diidentifikasi sebagai *C. lunata*. Penentuan spesies ini didukung oleh ciri morfo-kunci antara lain, warna dasar elytra hitam dengan totol oranye yang tidak menyatu, pronotum berwarna hitam dengan margin lateral pucat sempit, serta perilaku ekologisnya yang ditemukan secara aktif memangsa koloni *T. citricida* pada pucuk daun. Karakter tersebut sesuai dengan deskripsi morfologi *C. lunata* pada kunci determinasi Coccinellidae Asia tropis dan laporan ilmiah yang menyatakan bahwa spesies ini memiliki pola warna polimorfik berupa totol oranye terpisah di atas dasar hitam serta merupakan predator dominan aphid pada tanaman jeruk dan hortikultura (Omkar & Pervez, 2004; Raakhee & Varma, 2018). Keberadaan *C. lunata* pada koloni kutu daun menunjukkan bahwa spesies ini berperan sebagai musuh alami penting yang berpotensi menekan populasi *T. citricida* secara hayati (Gambar 1).

Kumbang predator, terutama pada stadium larva, dikenal memiliki aktivitas predasi yang tinggi terhadap kutu daun karena kebutuhan energi yang besar selama fase pertumbuhan, keanekaragaman kumbang koxi bergantung pada ada atau tidaknya kutu daun pada tanaman jeruk siam (Efendi et al., 2017).. Predator ini bekerja dengan menangkap, melumpuhkan, dan mengonsumsi mangsa secara langsung, tidak seperti parasit atau patogen yang memerlukan waktu sebelum menyebabkan kematian hama. Efektivitas larva koxi terhadap kutu daun didukung oleh morfologi mulut bertipe menggigit (*chewing mouthparts*) dan perilaku bergerak aktif yang memungkinkan larva memburu kutu daun pada permukaan daun muda tempat koloni berkembang (Afzal et al., 2023). Pengamatan populasi *C. lunata* dilakukan untuk melihat pengaruh berbagai perlakuan insektisida terhadap keberadaan predator sebagai organisme non-target.



Gambar 1. Kumbang *Cheilomenes lunata*. A. Larva, B. Imago

Pengamatan populasi *C. lunata* dilakukan untuk melihat pengaruh berbagai perlakuan insektisida terhadap keberadaan predator sebagai organisme non-

target. Berdasarkan hasil pengamatan menunjukkan populasi *C. lunata* terdapat penurunan populasi pada beberapa perlakuan (Tabel 3).

Tabel 3. Populasi kumbang *C. lunata* pada Perlakuan Insektisida Nabati Formulasi Mimba dan Insektisida Sintetis

Perlakuan	Rata-rata populasi kumbang (<i>C. lunata</i>) pada Aplikasi ke-x(y)							
	1(7)	2(14)	3(21)	4(28)	5(35)	6(42)	7(49)	8(56)
A (Kontrol)	6,50 b	4,00 b	3,50 b	3,00 b	4,25 c	4,50 b	3,50 c	3,25 c
B (Mimba 0,75%)	3,50 ab	3,75 b	4,00 b	4,25 b	4,00 c	4,50 b	3,50 c	2,00 b
C (Mimba 1,0%)	3,00 ab	3,25 b	3,25 ab	2,75 b	2,75 bc	2,75 b	2,25 bc	0,50 a
D (Mimba 1,25%)	3,75 ab	3,00 ab	3,25 ab	3,50 b	3,50 bc	4,00 b	1,00 ab	0,50 a
E (Mimba 1,5%)	2,75 a	2,50 ab	3,00 ab	2,75 b	2,25 b	2,75 b	1,25 ab	0,00 a
F (Sintetis 0,05%)	2,50 a	1,25 a	1,25 a	0,50 a	0,50 a	0,75 a	0,00 a	0,00a

Keterangan : x: aplikasi ke-; y: minggu setelah perlakuan).

Angka rata-rata yang diikuti notasi huruf yang sama dalam satu kolom menunjukkan tidak berbeda nyata antar perlakuan pada uji taraf 5% (Duncan), Transformasi: $Y^{0,5} = \text{SQRT}(Y)$ (7 MSP), MSP (Minggu Setelah Perlakuan)

Pada minggu pertama hingga kedua setelah aplikasi (1–2 MSP), populasi *C. lunata* pada perlakuan minyak mimba, yaitu B (0,75%), C (1,0%), D (1,25%), dan E (1,5%), menunjukkan tidak berbeda nyata antar perlakuan. Hal ini menandakan bahwa minyak mimba tidak memberikan efek toksik langsung terhadap predator. Kondisi tersebut berkaitan dengan mekanisme kerja minyak mimba yang bersifat relatif selektif terhadap hama sasaran, sehingga dampaknya terhadap organisme non-target seperti predator cenderung minimal (Hidayah et al., 2024). Sebaliknya, pada perlakuan F (profenofos) populasi *C. lunata* tercatat paling rendah, meskipun secara statistik tidak berbeda nyata dengan perlakuan minyak mimba. Hal ini disebabkan oleh sifat profenofos sebagai insektisida berspektrum luas (*broad-spectrum*), yang tidak hanya menekan hama sasaran tetapi juga berpotensi menyebabkan kematian organisme non-target, termasuk predator *C. lunata* (Taha, 2022).

Populasi *C. lunata* pada minggu ketiga hingga kelima pada perlakuan minyak mimba cenderung stabil. Kondisi ini menunjukkan bahwa minyak mimba tidak mengganggu kelangsungan aktivitas predasi, sehingga predator tetap dapat bertahan dan berperan dalam menekan populasi kutu daun. Sebaliknya, populasi *C. lunata* pada perlakuan F (profenofos) mengalami penurunan drastis hingga mendekati nol, terutama pada minggu ke-4 dan ke-5. Penurunan tajam ini menunjukkan bahwa penggunaan profenofos berpotensi menghentikan peran pengendalian hayati alami. Dalam jangka panjang, kondisi tersebut dapat memicu terjadinya ledakan kembali (*resurgence*) populasi hama ketika efektivitas insektisida menurun atau aplikasi dihentikan (Wahyuni et al., 2019).

Pada minggu keenam hingga kedelapan, populasi *C. lunata* pada perlakuan B–E masih terdeteksi meskipun mengalami penurunan secara bertahap. Penurunan ini selaras dengan berkurangnya ketersediaan mangsa berupa kutu daun akibat pengendalian yang berlangsung. Sementara itu, pada perlakuan F (profenofos), populasi predator mencapai nol pada minggu ke-7 hingga ke-8. Hal ini menunjukkan bahwa insektisida tersebut mampu menghilangkan musuh alami secara menyeluruh. Hilangnya *C. lunata* menjadi perhatian penting, mengingat predator merupakan salah satu komponen

kunci dalam sistem Pengendalian Hama Terpadu (PHT), yang berperan menjaga keseimbangan agroekosistem dan menekan risiko ledakan hama sekunder (Mulani & Srimurni, 2022).

Populasi Semut (*Anoplolepis gracilipes*)

Hasil pengamatan di lapangan ditemukan keberadaan semut yang berada di sekitar koloni kutu daun pada tanaman jeruk. Berdasarkan identifikasi morfologi melalui pengamatan bentuk tubuh yang ramping memanjang, warna tubuh kuning kecoklatan, serta antena bertipe geniculate dengan scape panjang melebihi panjang kepala, spesimen tersebut sesuai dengan karakter diagnostik Subfamili Formicinae dan lebih spesifik teridentifikasi sebagai *Anoplolepis gracilipes*. Identifikasi ini diperkuat oleh ciri petiolus bersegmen tunggal serta tarsus dan tibia kaki yang panjang, yang merupakan karakter pembeda khas genus *Anoplolepis* pada kunci determinasi Formicidae tropis (Gambar 2).

Semut *A. gracilipes* banyak ditemukan bergerak aktif pada koloni kutu daun *T. citricida*, keduanya membentuk interaksi mutualisme (Gambar 2). Semut memberikan perlindungan terhadap kutu daun dari musuh alami seperti predator (misalnya kepik Coccinellidae) dan parasitoid, sementara kutu daun menghasilkan embun madu (*honeydew*) yang menjadi sumber karbohidrat utama bagi semut (Maharani et al., 2020). Kehadiran semut tidak hanya melindungi kutu daun, tetapi juga meningkatkan kuantitas embun madu, memperbaiki kualitas nutrisi, dan mengurangi kompetisi dengan herbivora lain yang berpotensi mengganggu koloni kutu daun. Way (1963), mengungkapkan bahwa embun madu berfungsi sebagai sumber nutrisi penting bagi semut karena mengandung karbohidrat, asam amino, protein, dan air yang mendukung metabolisme dan pertumbuhan koloni semut.

Hubungan mutualisme antara semut dan kutu daun *T. citricida* berdampak negatif terhadap upaya pengendalian kutu daun pada tanaman jeruk, karena keberadaan semut dapat mempertahankan bahkan meningkatkan populasi *T. citricida* di lapangan. Studi oleh Campbell & Eyles (1989) serta Del-Claro & Oliveira (2000) menunjukkan bahwa kehadiran semut penggembala aphid dapat meningkatkan populasi aphid dan memperpanjang umur koloni. Hal ini

menjadikan semut seperti *A. gracilipes* tidak hanya sebagai indikator keberadaan hama, tetapi juga sebagai target pengendalian dalam strategi manajemen hama terpadu (PHT). Pengendalian semut penggembala dapat meningkatkan efektivitas musuh alami dan menurunkan populasi kutu daun secara signifikan. Oleh karena itu, pengendalian *A. gracilipes* perlu dipertimbangkan sebagai bagian dari strategi pengendalian hayati kutu daun *T. citricida* pada pertanaman jeruk.



Gambar 2. Semut (*Anoplolepis gracilipes*)

Pengamatan populasi *A. gracilipes* dilakukan untuk melihat pengaruh berbagai perlakuan insektisida terhadap keberadaan organisme non-target. Berdasarkan hasil pengamatan menunjukkan penurunan populasi *A. gracilipes* pada beberapa perlakuan (Tabel 4).

Perlakuan control pada minggu pertama hingga kedua menunjukkan populasi semut tertinggi. Kondisi ini terjadi karena tanaman pada perlakuan control tidak menerima aplikasi insektisida, sehingga aktivitas semut dalam memelihara koloni kutu daun dan memanfaatkan embun madu berlangsung normal tanpa gangguan. Embun madu yang dihasilkan kutu daun merupakan sumber energi utama bagi semut, sehingga keberadaan dan kelimpahan semut sangat dipengaruhi oleh ketersediaan koloni kutu daun. Tingginya populasi semut pada perlakuan control mencerminkan kondisi lingkungan yang mendukung terjadinya interaksi mutualisme antara semut dan kutu daun.

Pada perlakuan minyak mimba B (0,75%), C (1,0%), D (1,25%), dan E (1,5%), populasi semut selama dua minggu pertama menunjukkan pola yang relatif seragam dan tidak berbeda nyata antar perlakuan. Hal ini mengindikasikan bahwa aplikasi minyak mimba tidak menimbulkan efek toksik langsung terhadap semut, sehingga aktivitas semut dan asosiasinya dengan koloni kutu daun tetap berlangsung. Sifat insektisida nabati mimba yang relatif selektif dan lebih terfokus pada hama sasaran menyebabkan organisme non-target, termasuk semut, tidak mengalami dampak negatif yang berarti (Gontijo et al., 2015). Temuan ini sejalan dengan laporan sebelumnya yang menyatakan bahwa pestisida nabati umumnya lebih aman bagi musuh alami maupun serangga pendamping hemiptera. Sebaliknya, pada perlakuan profenofos (F), populasi semut tercatat paling rendah sejak awal pengamatan.

Tabel 4. Populasi semut (*A. gracilipes*) pada Perlakuan Insektisida Nabati Formulasi Mimba dan Insektisida Sintetis

Perlakuan	Rata-rata populasi semut hitam (<i>A. gracilipes</i>) pada Aplikasi ke-x(y)							
	1(7)	2(14)	3(21)	4(28)	5(35)	6(42)	7(49)	8(56)
A (Kontrol)	7,50 b	8,25 b	7,00 bc	6,75 b	8,00 b	7,50 c	8,00 d	5,75 b
B (Mimba 0,75%)	5,25 ab	7,50 b	7,00 b	3,75 a	5,00 a	5,00 b	5,00 c	2,25 a
C (Mimba 1,0%)	3,75 a	6,50 b	5,50 b	4,00 a	4,50 a	3,50 ab	3,25 b	2,50 a
D (Mimba 1,25%)	5,25 ab	5,25 ab	4,50 ab	3,50 a	4,25 a	4,00 ab	2,25 ab	0,75 a
E (Mimba 1,5%)	6,75 ab	6,00 b	4,50 ab	2,75 a	3,25 a	2,75 a	1,25 a	2,00 a
F (Sintetis 0,05%)	3,75 a	2,50 a	2,75 a	2,25 a	3,00 a	2,50 a	1,75 a	1,00 a

Keterangan : x: aplikasi ke-; y: minggu setelah perlakuan).

Angka rata-rata yang diikuti notasi huruf yang sama dalam satu kolom menunjukkan tidak berbeda nyata antar perlakuan pada uji taraf 5% (Duncan), Transformasi: $Y^{(-0,5)} = 1/\text{SQRT}(Y)(6 \text{ MSP})$, Transformasi: $Y^{0,5} = \text{SQRT}(Y)$ (8 MSP)

Perlakuan control pada minggu pertama hingga kedua menunjukkan populasi semut tertinggi. Kondisi ini terjadi karena tanaman pada perlakuan control tidak menerima aplikasi insektisida, sehingga aktivitas semut dalam memelihara koloni kutu daun dan memanfaatkan embun madu berlangsung normal tanpa gangguan. Embun madu yang dihasilkan kutu daun merupakan sumber energi utama bagi semut, sehingga keberadaan dan kelimpahan semut sangat dipengaruhi oleh ketersediaan koloni kutu daun. Tingginya populasi semut pada perlakuan control mencerminkan kondisi lingkungan yang mendukung terjadinya interaksi mutualisme antara semut dan kutu daun.

Pada perlakuan minyak mimba B (0,75%), C (1,0%), D (1,25%), dan E (1,5%), populasi semut selama dua minggu pertama menunjukkan pola yang relatif seragam dan tidak berbeda nyata antar perlakuan. Hal ini mengindikasikan bahwa aplikasi minyak mimba tidak menimbulkan efek toksik langsung terhadap semut, sehingga aktivitas semut dan asosiasinya dengan koloni kutu daun tetap berlangsung. Sifat insektisida nabati mimba yang relatif selektif dan lebih terfokus pada hama sasaran menyebabkan organisme non-target, termasuk semut, tidak mengalami dampak negatif yang berarti (Gontijo et al., 2015). Temuan ini sejalan dengan laporan sebelumnya yang menyatakan bahwa pestisida nabati

umumnya lebih aman bagi musuh alami maupun serangga pendamping hemiptera. Sebaliknya, pada perlakuan profenofos (F), populasi semut tercatat paling rendah sejak awal pengamatan.

Profenofos merupakan insektisida golongan organofosfat dengan spektrum kerja luas (*broad-spectrum*), sehingga berpotensi mematikan tidak hanya hama sasaran, tetapi juga organisme non-target seperti semut (Shahid et al., 2024). Penurunan populasi semut pada perlakuan ini menunjukkan bahwa profenofos secara langsung mengganggu keberadaan semut di sekitar tanaman dan berpotensi memutus hubungan mutualisme antara semut dan kutu daun.

Memasuki minggu ketiga hingga kelima setelah aplikasi (3–5 MSP), populasi semut pada perlakuan minyak mimba (B–E) tetap stabil dan tidak menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan. Kondisi ini semakin memperkuat bahwa minyak mimba tidak menghambat aktivitas semut dalam memelihara koloni kutu daun. Sebaliknya, pada perlakuan profenofos (F) terjadi penurunan populasi semut yang sangat tajam hingga hampir mencapai nol pada minggu keempat dan kelima. Penurunan drastis ini sejalan dengan sifat toksisitas tinggi profenofos yang mampu mengeliminasi serangga pendamping seperti semut dalam waktu relatif singkat.

Populasi semut pada minggu keenam hingga kedelapan pada perlakuan minyak mimba konsentrasi 0,75%, 1,0%, 1,25%, 1,5% mulai menurun secara bertahap. Penurunan ini selaras dengan menurunnya populasi kutu daun sebagai sumber makanan utama, sehingga ketersediaan embun madu berkurang. Pola penurunan tersebut mencerminkan dinamika alami dalam sistem agroekosistem. Sebaliknya, pada perlakuan profenofos (F), populasi semut tetap berada pada tingkat yang sangat rendah hingga mendekati nol pada minggu ketujuh dan kedelapan. Kondisi ini menunjukkan bahwa profenofos secara efektif menghilangkan keberadaan semut di area pertanaman.

KESIMPULAN

Insektisida nabati formulasi minyak biji mimba efektif dalam menekan populasi kutu daun *Toxoptera citricida* pada tanaman jeruk siam seiring dengan meningkatnya konsentrasi. Konsentrasi minyak biji mimba 1,5% menunjukkan keefektifan tinggi dan sebanding dengan perlakuan insektisida berbahan aktif profenofos. Sifat formulasi insektisida mimba lebih selektif menyebabkan serangga non-target tidak terdampak efek negatif yang berarti.

Penggunaan insektisida formulasi minyak biji mimba dapat direkomendasikan sebagai alternatif pengendalian kutu daun *T. citricida* di lapangan, terutama pada konsentrasi yang lebih tinggi dari 1%, karena memberikan efektivitas pengendalian lebih baik sekaligus relatif aman terhadap organisme non-target dan lingkungan dibandingkan insektisida sintesis.

DAFTAR PUSTAKA

Abbott WS. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of*

Economic Entomology. 18(2), 265–267. <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265>

- Adeyemi M. 2011. A review of secondary metabolites from plant materials for post-harvest storage. *International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology*. 6(2), 94–102.
- Afzal MBS, Banazeer A, Serrao JE, Rizwan M, & Naeem A. 2023. Ecology, Biology, Damage, and Management of Sucking and Chewing Insect Pests of Citrus. In *Citrus Research—Horticultural and Human Health Aspects*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.109846>
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2023. *Statistik Hortikultura*. Badan Pusat Statistik Indonesia.
- Baidarus A, Hayati A, & Athiroh NAS. 2019. Bioprospeksi mimba (*Azadirachta indica* Juss.) sebagai tumbuhan obat di Desa Bangsring Kecamatan Wongsorejo Kabupaten Banyuwangi. *Jurnal Ilmiah SAINS ALAMI (Known Nature)*. 2(1), 50–56.
- CABI. 2018. *Toxoptera citricida*. In *Invasive Species Compendium*. CAB International.
- Campbell CAM, & Eyles AC. 1989. Ant-aphid mutualism: Impact of attending ants on aphid morphology and reproduction. *Ecological Entomology*. 14(1), 13–20. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.1989.tb00741>
- Casida JE, & Durkin KA. 2013. Neuroactive insecticides: Targets, selectivity, resistance, and secondary effects. *Annual Review of Entomology*. 58, 99–117. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153645>
- Del-Claro K, & Oliveira PS. 2000. Conditional outcomes in a neotropical treehopper–ant association: Temporal and species-specific variation in ant protection and homopteran rewards. *Oecologia*. 124, 156–165. <https://doi.org/10.1007/s004420050032>
- Dessy DS, Hafiz F, & Desita S. 2017. Kelimpahan hama kutu pada tanaman jeruk Siam (*Citrus nobilis* Lour.) di Desa Kuok, Kecamatan Kuok, Kabupaten Kampar, Provinsi Riau. *JOM FAPERTA*. 4(1), 1–11.
- Dhra G, Ahmad M, Kumar J, & Patanjali PK. 2018. Mode of action of Azadirachtin: A natural insecticide. *International Research Journals* 7(12), 41–46.
- Direktorat Pupuk dan Pestisida. 2012. *Metode standar pengujian insektisida*. Direktorat Pupuk dan Pestisida, Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Djojosemarto P. 2008. *Teknik aplikasi pestisida pertanian*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Dwiastuti ME, Triwiratno A, Endarto O, Wuryantini S & Yunimar. 2004. *Pengenalan dan Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman Jeruk*. Malang.
- Eid A, Jaradat N, Elmarzugi N. 2017. A Review of chemical constituents and traditional usage of

- Neem plant (*Azadirachta Indica*). Palestinian Medical and Pharmaceutical Journal (PMPJ). 2(2): 75-81
- Gontijo LM, Moscardini V F, Michaud JP, & Carvalho GA. (2015). Impacts of azadirachtin and chlorantraniliprole on the developmental stages of pirate bug predators (Hemiptera: *Anthocoridae*). Florida Entomologist. 98(1), 59–64. <https://doi.org/10.1653/024.098.0111>
- Hidayah N, Fitriani Y, & Rahmi S. 2024. Pemanfaatan daun mimba (*Azadirachta indica*) sebagai pestisida nabati. Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA. 7(1), 308–311.
- Hughes G, & Gottwald TR. 1999. Survey methods for assessment of citrus tristeza virus incidence when *Toxoptera citricida* is the predominant vector. Phytopathology. 89(6), 487–494. <https://doi.org/10.1094/PHTO.1999.89.6.487>
- Indiawati A, & Marwoto. 2008. Hama dan penyakit tanaman palawija serta pengendaliannya. Jakarta: Balai Penelitian Tanaman Pangan (Balitbangtan).
- Insecticide Resistance Action Committee (IRAC). (2010). Mode of Action Classification Brochure., www.irc-online.org.
- Javandira C, Yuniti IGAD, & Widana IG. 2022. Pengaruh pestisida daun mimba terhadap mortalitas kutu daun (*Aphis craccivora Koch*) pada tanaman kacang panjang. Agro Bali: Agricultural Journal. 5(3), 485-491. <https://doi.org/10.37637/ab.v5i3.998>
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 2019. Pestisida dan Cara Kerjanya. Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian (PSP). Jakarta: Kementerian Pertanian RI.
- Kilani-Morakchi S, Morakchi-Goudjil H, & Sifi K. 2021. Azadirachtin-based insecticides: Overview and selectivity to non-target organisms. Frontiers in Agronomy. 3, 676208. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.676208>
- Koul O. 1996. Mode of action of azadirachtin in insect. In Neem. N.S. Randhawa & B>S> Parmar (Eds.), pp. 160-170. New Delhi: New Age International (P) LTD.
- Kushwaha M, Verma S, & Chatterjee S. 2016. Profenofos: Usage, toxicity, and biodegradation. Ecotoxicology and Environmental Safety, 128, 247-256. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.04.020>
- Maharani Y, Maryana N, Rauf A, & Hidayat P. 2020. Insect parasitoid and ant associated on aphid (Aphididae) colonies on plants in West Java. Cropsaver. 3(2), 59–67.
- Omkar & Pervez. 2003. Ecology and Biocontrol Potential of a Scale-Predator, *Chilocorus nigrinus*. Biocontrol Science and Technology.
- Sarkar S, Singh RP, Bhattacharya G. 2021. Exploring the role of *Azadirachta indica* (neem) and its active compounds in the regulation of biological pathways: an update on molecular approach. Biotech. 11(4):178. doi: 10.1007/s13205-021-02745-4
- Senthil-Nathan S. 2013. Physiological and biochemical effect of neem and other Meliaceae plants secondary metabolites against Lepidopteran insects. Frontier in Physiology. doi: 10.3389/fphys.2013.00359
- Shahid M, Amir M, Majid M, Shabbir MZ, Aslam MN, Ali Z, Abbas M, & Muhammad S. 2024. The ecological hazards of profenofos revealed by soil and biota analyses. Discover Environment. 5, 246. <https://doi.org/10.1007/s44210-024-00246-z>
- Shannag HK, Capinera JL, & Freihat NM. 2015 Effects of Neem-Based Insecticides on Consumption and Utilization of Food in Larvae of *Spodoptera eridania* (Lepidoptera: Noctuidae). J. Insect Sci. (2015) 15(1): 152; DOI: 10.1093/jisesa/iev134
- Sianipar MS, Jaya L, & Sinaga R. 2020. Kemampuan ekstrak daun mimba (*Azadirachta indica*) menekan populasi wereng batang cokelat (*Nilaparvata lugens*) pada tanaman padi. Agrologia. 9(2), 105–109.
- Sudarwadi E, Yusnita Y, & Lestari D. 2014. Fluktuasi Populasi Kutu Daun (*Toxoptera citricida* Kirkaldy) pada Tanaman Jeruk Siam. Jurnal Sains Pertanian Equator. 3(2), 102–110.
- Taha AA. 2022. Assessment of non-target toxicity of profenofos insecticide using hematological and biochemical parameters in Laughing Dove (*Spilopelia senegalensis*). Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries. 26(6), 955–968.
- Tsai JH. 1998. Development, survivorship, and reproduction of *Toxoptera citricida* (Kirkaldy) (Homoptera: Aphididae) on eight host plants. Environmental Entomology. 27(5), 1190–1195. <https://doi.org/10.1093/ee/27.5.1190>
- Ullah Gao, Sikandar, & Wu. 2023. Insights into the Effects of Insecticides on Aphids (Hemiptera: Aphididae): Resistance Mechanisms and Molecular Basis. International Journal of Molecular Sciences.
- Wahyuni S, Indratin, Poniman, & Ardiwinata AN. 2019. Identifikasi cemaran insektisida profenofos dari lahan bawang merah di Kabupaten Brebes. Jurnal Litbang Provinsi Jawa Tengah. 17(2), 207–215.
- Wardani FF, & Yudaputra A. 2015. Inventarisasi koleksi tumbuhan Kebun Raya Bogor yang berpotensi sebagai pestisida nabati. Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia. 1(3), 528-533. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m010325>
- Way MJ. 1963. Mutualism between ants and honeydew-producing Homoptera. Annual Review of Entomology. 8, 307–344. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.08.010163.001515>

