



Toksisitas minyak *Azadirachta indica*, *Ricinus communis*, dan campurannya: Pengaruhnya terhadap indeks nutrisi larva dan oviposisi imago *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) pada tanaman jagung

Toxicity of oil of *Azadirachta indica*, *Ricinus communis*, and its mixture: Effect on nutritional indices larvae and oviposition imago of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) on maize

Retno Wulansari¹, Yusup Hidayat², Danar Dono^{2*}

¹Program Studi Magister Agronomi Konsentrasi Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, Jalan Raya Bandung Sumedang KM 21, Jatinangor 45363, Indonesia

²Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran Jalan Raya Bandung Sumedang KM 21, Jatinangor 45363, Indonesia

(diterima Februari 2022, disetujui Agustus 2022)

ABSTRAK

Spodoptera frugiperda (J. E. Smith) merupakan hama invasif yang menyebabkan dampak ekonomi yang besar pada tanaman jagung. Alternatif pengendalian yang relatif aman bagi serangga non-target perlu dikembangkan dan dapat dipadukan dengan pengendalian lainnya, yaitu pengendalian menggunakan insektisida nabati. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi toksisitas minyak *Azadirachta indica* (Meliaceae), *Ricinus communis* (Euphorbiaceae), dan campurannya (1:1) serta pengaruhnya terhadap indeks nutrisi dan oviposisi *S. frugiperda*. Pengujian toksisitas ekstrak dan campurannya serta pengaruhnya terhadap indeks nutrisi dilakukan dengan menggunakan metode celup pakan, sedangkan pengujian oviposisi dengan penyemprotan ekstrak pada tanaman. Data hubungan konsentrasi minyak nabati dengan kematian serangga uji dianalisis menggunakan analisis probit, sedangkan peubah lainnya dianalisis dengan sidik ragam. Hasil penelitian menunjukkan minyak *A. indica*, *R. communis*, dan campurannya bersifat toksik dengan nilai LC_{50} terhadap larva (II–VI) berturut-turut 0,039 (0,017–0,100)%, 0,144 (0,094–0,221)%, serta 0,034 (0,021–0,061)%, dan pada LC_{95} berturut-turut 0,391 (0,134–16,671)%, 4,379 (1,986–15,516)%, serta 0,219 (0,104–1,251)%. Toksisitas campuran tersebut meningkat 4,2 kali hingga 20,0 kali masing-masing pada LC_{50} dan LC_{95} . Perlakuan minyak mengakibatkan penurunan laju konsumsi relatif, laju pertumbuhan relatif, efisiensi pemanfaatan makanan, dan peningkatan perkiraan jumlah makanan yang dicerna larva *S. frugiperda*. Selain bersifat insektisida, minyak nabati dapat berperan sebagai antioviposisi *S. frugiperda*. Namun, minyak *A. indica*, *R. communis*, dan campurannya terindikasi fitotoksik pada tanaman jagung. Oleh karena itu, potensi campuran minyak *A. indica* dan *R. communis* untuk digunakan sebagai insektisida perlu dievaluasi atau dapat digunakan pada tanaman lain yang lebih toleran.

Kata kunci: antioviposisi, fitotoksik, pemanfaatan makanan, toksisitas, ulat grayak jagung

ABSTRACT

Spodoptera frugiperda (J. E. Smith) is an invasive pest that causes a high economic impact on maize. Alternative control that is relatively safe to non-target organisms that can be combined with other control strategies is botanical insecticides. This study aimed to evaluate the effect of

*Penulis korespondensi: Danar Dono. Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran Jalan Raya Bandung Sumedang KM 21, Jatinangor 45363, Tel/Faks: 022-7796316, Email: danar.dono@unpad.ac.id

Azadirachta indica (Meliaceae), *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) oils, and their mixtures on mortality and nutritional indices and oviposition of *S. frugiperda*. The testing of toxicity and nutritional indices was done using the feed dipping method, while oviposition testing was conducted by spraying on treated plants. The relationship between concentration and mortality of tested insects was analyzed using probit analysis, while other data using analysis of variance. The results showed that *A. indica*, *R. communis*, and their mixtures were toxic to *S. frugiperda* larvae (II–VI) with LC_{50} values of 0.039 (0.017–0.100)%, 0.144 (0.094–0.221)%, 0.034 (0.021–0.061)% respectively, and of LC_{95} , 0.391 (0.134–16.671)%, 4.379 (1.986–15.516)%, 0.219 (0.104–1.251)%, respectively. The toxicity of the oil mixture increased 4.2 times to 20.0 times at LC_{50} and LC_{95} , respectively. Oil treatments resulted in a decrease in the relative consumption rate, relative growth rate, food utilization efficiency, an increase in approximate digestibility of *S. frugiperda*. In addition, botanical oils act as antioviposition of *S. frugiperda*. However, *A. indica*, *R. communis*, and their mixtures were phytotoxic on maize. Therefore, the opportunity of a mixture of *A. indica* and *R. communis* oils to be used as an insecticide still needs to be evaluated or can be used on other plants that are more tolerant.

Key words: antioviposition, fall army worm, food utilization, phytotoxic, toxicity

PENDAHULUAN

Spodoptera frugiperda (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) merupakan hama yang menyebabkan dampak ekonomi yang besar pada tanaman jagung di berbagai negara di dunia. Larva *S. frugiperda* menyebabkan kerusakan pada daun jagung muda dan pada daun yang masih menggulung, selain itu saat populasi tinggi serangga ini dapat menyerang tongkol jagung sehingga menyebabkan penurunan produksi (FAO & PPD 2020). Setiap musim serangga hama ini mengakibatkan kehilangan hasil 8,3 sampai 20,6 juta ton jika tidak dikendalikan (Abrahams et al. 2017; De Groote et al. 2020). *S. frugiperda* berasal dari Amerika dan dapat hidup di daerah tropis dan subtropis (CABI 2021). Serangga hama ini dilaporkan masuk ke Indonesia pada awal tahun 2019 di Sumatera Barat, berikutnya pada tahun yang sama dilaporkan di Lampung, Bandung, Sumedang, dan Garut (Jawa Barat) (Maharani et al. 2019; Nonci et al. 2019; Trisyono et al. 2019).

Pengendalian *S. frugiperda* telah banyak diteliti karena sifat hama ini yang menyebabkan kerusakan berat. Beberapa studi pengendalian terhadap *S. frugiperda* yang telah dilaporkan, yaitu pengendalian hayati menggunakan musuh alami, seperti *Telenomus* sp. yang dapat mematikan telur *S. frugiperda* (Sari et al. 2020) dan pengendalian dengan sistem budi daya pergiliran tanaman atau dengan sistem polikultur, seperti tanaman C4 (jagung) dengan tanaman C3 (kedelai) (Subiono 2020). Penggunaan teknik pengendalian secara kultur teknis, kimiawi, dan pengendalian hayati

yang diintegrasikan dalam pengendalian hama terpadu sudah diterapkan untuk pengendalian serangan *S. frugiperda* (Assefa & Ayalew 2019).

Namun, pengendalian *S. frugiperda* yang telah dilakukan petani umumnya masih mengandalkan pada penggunaan insektisida sintetik. Preferensi petani menggunakan insektisida sintetik karena mudah diaplikasikan, lebih efisien, dan efeknya cepat terlihat, tetapi jika penggunaannya terus-menerus dan berlebihan dapat menimbulkan resistensi serangga hama. Banyak laporan terkait resistensi *S. frugiperda* yang telah terjadi di luar negeri (Boaventura et al. 2020; Sisay et al. 2019).

Alternatif pengendalian yang terus dieksplorasi, aman bagi serangga non-target, dan dapat dipadukan dengan pengendalian lainnya, yaitu pengendalian dengan insektisida nabati. Penggunaan insektisida nabati yang berbahan aktif metabolit sekunder tanaman telah banyak dilaporkan dapat menekan serangga hama. *Azadirachta indica* Juss. (Meliaceae) merupakan salah satu tanaman yang telah banyak dilaporkan dapat digunakan untuk pengendalian serangga hama. Minyak *A. indica* dapat mengakibatkan gangguan aktivitas makan, gangguan perkembangan, meningkatkan durasi periode larva dan pupa, gangguan morfologi, serta gangguan reproduksi pada *Drosophila melanogaster* Meigen dan *S. frugiperda* (Bendjazia et al. 2016; Duarte et al. 2019). Pada gangguan perkembangan, hormon serangga merupakan molekul target dari azadirachtin, utamanya kelompok hormon ecdisteroid (Dhra et al. 2018; Koul 1996). Selain mimba, tanaman jarak kepyar (*Ricinus communis*

L. (Euphorbiaceae)) dilaporkan bersifat toksik terhadap *Aedes aegypti* (Linnaeus) dan *Anopheles culicifacies* Giles (Sogan et al. 2018). Minyak biji *R. communis* dilaporkan bersifat insektisida dan menghambat perkembangan *S. frugiperda* (Ramos-Lopez 2010). Perlakuan ekstrak air dan minyak biji *R. communis* mengakibatkan 44–79% imago yang muncul mengalami ketidaknormalan perkembangan sayap dan tungkai (Kodjo et al. 2011). Ekstrak daun *R. communis* dilaporkan mengandung senyawa aktif yang bersifat toksik dan mengakibatkan gangguan perkembangan, penekanan kemunculan imago yang mengindikasikan adanya gangguan hormonal pada *Musca domestica* Linnaeus (Diptera: Muscidae) (Singh & Kaur 2016).

Insektisida nabati dapat digunakan baik secara tunggal maupun campuran. Penggunaan insektisida nabati dalam bentuk campuran yang bersifat sinergis dapat menurunkan jumlah bahan yang digunakan untuk mencapai tingkat toksik dan memperkecil kemungkinan dampak negatif terhadap organisme bukan sasaran (Russianzi & Prijono 2019). Berdasarkan penelusuran literatur, penelitian sifat insektisida campuran minyak biji *A. indica* dengan *R. communis* terhadap *S. frugiperda* belum banyak dilaporkan. Salah satu penelitian yang melaporkan pengaruh campuran minyak nabati tersebut menyimpulkan bahwa campuran minyak tersebut bersifat sinergis lemah dan kuat terhadap larva *S. frugiperda* masing-masing pada LC_{50} dan LC_{95} pada waktu analisis 18 hari setelah perlakuan (Wulansari et al. 2022). Namun, pada pengujian tersebut belum dipelajari pengaruhnya terhadap indeks nutrisi. Oleh karena itu, pengendalian terhadap *S. frugiperda* menggunakan minyak nabati sebagai insektisida penting untuk diketahui sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi toksisitas dan pengaruh minyak *A. indica*, *R. communis*, dan terutama campurannya terhadap indeks nutrisi dan oviposisi *S. frugiperda*.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan waktu penelitian

Penelitian dilaksanakan dari bulan Desember 2020 sampai Maret 2021 di Laboratorium

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

Persiapan serangga dan tanaman uji

Pemeliharaan serangga uji *S. frugiperda* mengikuti prosedur yang dikemukakan oleh Wulansari et al. (2022). Larva *S. frugiperda* dipelihara dalam kotak plastik (34 cm × 28 cm × 7 cm) dan diberi makan jagung manis (F1 Hibrida Talenta, PT. Agri Makmur). Helai daun jagung dari tanaman yang berumur 6 minggu digunakan sebagai pakan larva uji. Imago *S. frugiperda* yang muncul dari pupa diberi makan larutan madu 10%. Imago dipelihara dalam kurungan plastik-kasa (44,5 cm × 44,5 cm × 49,5 cm) dan diumpankan daun jagung untuk peletakan telur.

Penyediaan minyak nabati

Minyak biji *A. indica* diperoleh dari proses *pressing* dengan pemanasan yang dilakukan di Puspromit (Pusat Studi Pengembangan Produk dan Kemitraan) Laboratorium Pestisida dan Toksikologi Lingkungan, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran. Biji mimba merupakan hasil panen Februari 2019 di Situbondo, Jawa Timur. Minyak biji *R. communis* diperoleh dari distributor bahan kimia (Brataco Chemika).

Uji toksisitas minyak *A. indica*, *R. communis*, dan campurannya terhadap larva *S. frugiperda*

Minyak biji mimba dan jarak serta campurannya (1:1, V/V) diuji pada beberapa konsentrasi. Pengujian terdiri atas uji pendahuluan dan uji lanjutan. Uji pendahuluan dilakukan untuk mendapatkan batas atas dan batas bawah konsentrasi yang mengakibatkan kematian serangga uji antara $5 < x < 95\%$. Uji lanjutan dilakukan pada 5 taraf konsentrasi dan kontrol yang ditentukan berdasarkan hasil uji pendahuluan. Dari hasil uji pendahuluan minyak biji *A. indica*, biji *R. communis*, dan campurannya (minyak *A. indica*+minyak *R. communis*, 1:1) diuji pada kisaran konsentrasi berturut-turut 0,003%, 0,009%, 0,030%, 0,095%, dan 0,300%, 0,010%, 0,037%, 0,134%, 0,491%, 1,800%, dan 0,002%, 0,007%, 0,022%, 0,075%, 0,250%. Sebagai pelarut dan perlakuan kontrol digunakan akuades dan pengemulsi 1% (10 ml.l⁻¹) yang merupakan

campuran Tween80 (polioksietilen sorbitan monooleat (polisorbitat 80)) dan Span80 (sorbitan laurat) (4:1).

Cara perlakuan menggunakan metode pencelupan daun pakan (*dipping method*) ke dalam larutan ekstrak sesuai jenis minyak nabati dan campurannya serta konsentrasinya masing-masing. Pencelupan daun jagung pakan (berukuran 4 cm x 4 cm) dilakukan selama 20 detik hingga larutan membasahi seluruh permukaan daun. Pada perlakuan kontrol, daun pakan dicelupkan pada pelarut saja. Sebelum dimasukkan ke dalam wadah pengujian (cawan petri berukuran Ø 9 cm) yang di dalamnya terdapat larva uji sebanyak 10 larva instar II dan diulang 4 kali, terlebih dahulu daun dibiarkan kering angin. Pemberian daun berperlakuan dilakukan selama 48 jam. Kemudian larva dipindahkan ke dalam wadah plastik (Ø 5 cm) satu persatu dan diberi pakan jagung manis tanpa perlakuan. Pengamatan dilakukan setiap hari terhadap kematian larva uji dan lama perkembangan larva yang bertahan hidup hingga instar VI. Data hubungan konsentrasi dan kematian serangga uji dianalisis dengan analisis probit (Finney 1971).

Nilai LC_{50} dan LC_{95} dari masing-masing ekstrak dan campurannya serta rasionya digunakan untuk interpretasi toksisitas ekstrak (minyak nabati) dan campuran menurut terminologi persamaan sebagai berikut (Sun 1950; Bakr et al. 2015):

$$\text{Indeks toksisitas} = \frac{LC_{50} \text{ dari senyawa paling efektif (nilai } LC_{50} \text{ terkecil)}}{LC_{50} \text{ dari senyawa lainnya yang diuji}} \times 100\%$$

$$\text{Potensi relatif} = \frac{LC_{50} \text{ dari senyawa yang keefektifannya terendah (memiliki } LC_{50} \text{ terbesar)}}{LC_{50} \text{ dari senyawa lainnya yang diuji}}$$

Uji pengaruh minyak *A. indica*, *R. communis*, dan campurannya terhadap indeks nutrisi larva *S. frugiperda*

Ekstrak minyak biji *A. indica* dan *R. communis* tunggal serta campuran diuji terhadap *S. frugiperda* instar V untuk mengetahui pengaruhnya terhadap pemanfaatan makanan (indeks nutrisi). Perlakuan menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) dengan lima perlakuan konsentrasi ekstrak dan

kontrol dengan menggunakan 50 larva setiap perlakuan (10 larva, 5 ulangan untuk setiap perlakuan). Konsentrasi minyak *A. indica* dan *R. communis* yang digunakan dalam uji indeks nutrisi, sebagai berikut: LC_{50} tunggal *A. indica*, LC_{50} tunggal *R. communis*, LC_{25} *A. indica*+*R. communis*, LC_{50} *A. indica*+*R. communis*, LC_{75} *A. indica*+*R. communis*.

Larva yang digunakan ditimbang satu per satu, kemudian dimasukkan ke dalam wadah plastik yang di dalamnya telah berisi daun jagung (4 cm x 4 cm) yang telah diketahui berat basah awalnya dan yang mengandung ekstrak dengan konsentrasi tertentu. Perlakuan menggunakan larva *S. frugiperda* instar V yang baru berganti kulit dan belum makan. Setelah 48 jam perlakuan, larva uji, sisa pakan, dan feses dari masing-masing perlakuan dibungkus kertas aluminium foil, lalu dikeringkan dalam oven bersuhu 90 °C selama 48 jam.

Perkiraan bobot kering awal menggunakan 10 larva dan 20 potong daun jagung (dengan ukuran yang sama, seperti yang digunakan seperti perlakuan) ditimbang secara terpisah kemudian langsung dikeringkan sampai bobotnya konstan dan ditimbang lagi. Perbandingan bobot larva atau pakan sesudah dan sebelum pengeringan merupakan proporsi bobot kering terhadap bobot basah.

Pengukuran indeks nutrisi larva instar V dihitung dengan metode gravimetri (Waldbauer 1968; Ambarningrum et al. 2009; Hasyim et al. 2010) sebagai berikut:

1. Laju pertumbuhan (*growth rate*/GR)
GR (g/hari) = G / T
2. Laju pertumbuhan relatif (*relative growth rate*/RGR)
RGR (g/g berat badan/hari) = G / T . A
3. Laju konsumsi (*consumption rate*/CR)
CR (g/hari) = F / T
4. Laju konsumsi relatif (*relative consumption rate*/RCR)
RCR (g/g berat badan/hari) = F / T . A
5. Efisiensi konversi makanan yang dicerna (*efficiency of conversion of digested food*/ECD)
ECD (%) = G / (F - f) × 100%
6. Efisiensi konversi makanan yang dikonsumsi (*efficiency of conversion of ingested food*/ECI)
ECI = G / F × 100%

7. Perkiraan makanan yang dicerna (*approximate digestibility/AD*)

$$AD = (F - f) / F \times 100\%$$

dengan G: pertambahan berat larva selama periode makan, diperoleh dari berat kering akhir larva dengan berat kering awal; F: jumlah pakan yang dikonsumsi, diperoleh dari pengurangan berat kering awal pakan dengan berat kering akhir pakan; f: berat kering feses; T: lamanya waktu makan; dan A: berat rata-rata larva selama perlakuan, diperoleh dari penambahan berat kering awal larva dengan berat kering akhir larva dibagi dua.

Uji pengaruh minyak *A. indica*, *R. communis*, dan campurannya terhadap oviposisi imago *S. frugiperda*

Uji pengaruh tunggal dan campuran minyak *A. indica* dan *R. communis* terhadap oviposisi *S. frugiperda* dilakukan dengan penyemprotan ekstrak pada tanaman jagung. Pengujian menggunakan RAK dengan lima perlakuan dan satu kontrol. Konsentrasi ekstrak yang digunakan dalam perlakuan uji oviposisi minyak *A. indica* dan *R. communis*, sebagai berikut: LC₇₅ tunggal *A. indica*, LC₇₅ tunggal *R. communis*, LC₅₀ *A. indica*+*R. communis*, LC₇₅ *A. indica*+*R. communis*, LC₉₅ *A. indica*+*R. communis*.

Pengujian dilakukan dengan penyemprotan sediaan ekstrak minyak *A. indica* dan *R. communis* tunggal dan campuran (1:1) pada tanaman jagung. Ekstrak dengan volume tertentu (sesuai konsentrasi yang telah ditentukan) dilarutkan menggunakan akuades yang mengandung pengemulsi 1% dalam labu ukur 100 ml yang selanjutnya dimasukkan ke dalam *hand sprayer*. Larutan disemprotkan secara merata pada tanaman jagung berumur 2 minggu yang ditanam di *polybag* (penyemprotan hanya dilakukan satu kali). Tanaman yang telah disemprot dibiarkan hingga larutan semprot kering, kemudian tanaman dikurung menggunakan kurungan plastik (Ø 18,5 cm, tinggi 60 cm) yang bagian atasnya ditutup dengan kasa dan diberi gantungan cairan madu yang diserapkan pada segumpal kapas untuk pakan imago. Sepasang imago *S. frugiperda* berumur tiga hari dimasukkan ke dalam kurungan plastik tersebut, setiap perlakuan dan kontrol diulang lima kali. Jumlah kelompok telur dan jumlah telur yang diletakkan oleh imago pada

tanaman jagung yang diberi perlakuan dan kontrol dan yang diletakkan pada dinding kurungan terlebih dahulu dikumpulkan untuk kemudian diamati dan dihitung menggunakan mikroskop. Pengamatan dilakukan terhadap oviposisi imago betina *S. frugiperda*, persentase kelompok telur yang diletakkan pada daun tanaman dan kurungan (%), jumlah telur (butir) yang diletakkan imago *S. frugiperda*, lama hidup imago jantan dan betina. Selain itu, juga diamati pengaruh fitotoksik minyak nabati uji pada daun tanaman jagung.

Analisis data

Data hubungan konsentrasi dengan mortalitas larva uji dianalisis menggunakan analisis probit program Poloplus 1.0. Data indeks nutrisi dan oviposisi dianalisis dengan analisis sidik ragam, selanjutnya perbedaan antar perlakuan diuji lanjut dengan menggunakan uji jarak berganda Duncan pada taraf 5% menggunakan program SPSS versi 25.

HASIL

Pengaruh minyak *A. indica*, *R. communis*, dan campurannya terhadap mortalitas larva *S. frugiperda*

Hasil pengujian analisis probit berdasarkan lama perkembangan menunjukkan bahwa nilai LC₅₀ dan LC₉₅ pada perlakuan minyak *A. indica* dan campuran minyak *A. indica*+*R. communis* menurun mulai dari instar II–III hingga II–VI, sedangkan pada perlakuan minyak *R. communis* mulai dari instar II–III hingga II–V (Tabel 1).

Potensi relatif campuran minyak *A. indica* dengan *R. communis* 4,2 kali lebih tinggi dibandingkan dengan minyak *R. communis* dan minyak mimba 3,7 kali dibandingkan dengan minyak jarak pada LC₅₀ (II–VI), sedangkan pada LC₉₅ (II–VI) potensi relatif campuran lebih tinggi 20,0 kali terhadap minyak jarak dan minyak mimba 11,2 kali lebih toksik terhadap minyak jarak (Tabel 1).

Pengaruh minyak *A. indica*, *R. communis*, dan campurannya terhadap indeks nutrisi larva *S. frugiperda*

Laju konsumsi, laju pertumbuhan, dan efisiensi pemanfaatan makan larva *S. frugiperda*

Tabel 1. Regresi probit toksisitas minyak *Azadirachta indica*, *Ricinus communis*, dan campurannya berdasarkan fase perkembangan *Spodoptera frugiperda*
Table 1. Probit regression of the toxicity of *Azadirachta indica*, *Ricinus communis*, and its mixtures based on the developmental stage of *Spodoptera frugiperda*

Perlakuan (Treatment)	Instar	b ± SE	LC ₅₀	(SK 95%) (Confidential interval)	Indeks toksisitas (Toxicity index) (%)	Potensi relatif (Relative potential)	LC ₉₅	(SK 95%) (Confidential interval)	Indeks toksisitas (Toxicity index) (%)	Potensi relatif (Relative potential)
Ai	II–III	1,005 ± 0,190	0,316	0,171–0,983	92,1	2,0	13,654	2,99–347,349	100	3,7
	II–IV	0,933 ± 0,171	0,137	0,082–0,312	100	3,3	7,942	1,934–149,175	100	3,7
	II–V	1,514 ± 0,192	0,045	0,024–0,093	100	3,2	0,550	0,203–7,377	72,4	8,0
	II–VI	1,643 ± 0,203	0,039	0,017–0,100	87,2	3,7	0,391	0,134–16,671	56,0	11,2
Rc	II–III	0,902 ± 0,134	0,291	0,178–0,523	100	2,2	19,352	6,14–146,093	70,6	2,6
	II–IV	0,902 ± 0,134	0,291	0,178–0,523	13,7	1,5	19,352	6,14–146,093	41,0	1,5
	II–V	1,109 ± 0,143	0,144	0,094–0,221	31,25	1	4,379	1,986–15,516	9,1	1
	II–VI	1,109 ± 0,143	0,144	0,094–0,221	23,6	1	4,379	1,986–15,516	5,0	1
Ai+Rc (1:1)	II–III	0,863 ± 0,203	0,631	0,248–6,128	46,1	1	50,707	5,482–18985	26,9	1
	II–IV	0,904 ± 0,198	0,451	0,201–2,701	30,4	1	29,700	4,154–3731,7	26,7	1
	II–V	1,756 ± 0,213	0,046	0,026–0,100	97,8	3,1	0,398	0,156–4,934	100	11,0
	II–VI	2,041 ± 0,238	0,034	0,021–0,061	100	4,2	0,219	0,104–1,251	100	20,0

Ai: *Azadirachta indica*; Rc: *Ricinus communis*; a: intersep garis regresi probit; b: kemiringan garis regresi pobit; SE: standar error; SK: selang kepercayaan; LC: lethal concentration.
 (Ai: *Azadirachta indica*; Rc: *Ricinus communis*; a: intercept of probit regression line; b: slope of the pobit regression line; SE: standart error; SK: confidence interval; LC: lethal concentration).

instar V pada pakan yang mengandung minyak nabati disajikan pada Tabel 2. Nilai laju konsumsi (CR) pada perlakuan kontrol secara nyata lebih rendah daripada perlakuan LC_{75} minyak *A. indica*+*R. communis*, tetapi lebih tinggi daripada perlakuan LC_{25} minyak *A. indica*+*R. communis*. Nilai CR perlakuan LC_{50} *A. indica*, LC_{50} *R. communis*, LC_{50} *A. indica*+*R. communis* tidak berbeda nyata dengan kontrol. Nilai laju konsumsi relatif (RCR) menunjukkan perlakuan kontrol secara nyata lebih rendah daripada perlakuan LC_{75} minyak *A. indica*+*R. communis*, LC_{50} *A. indica*+*R. communis*, dan LC_{50} *R. communis*. Namun, nilai RCR perlakuan LC_{50} minyak *A. indica*, dan LC_{25} *A. indica*+*R. communis* tidak berbeda nyata dengan kontrol. Secara umum, nilai laju konsumsi (CR) yang tinggi akan meningkatkan laju konsumsi relatif (RCR).

Nilai laju pertumbuhan (GR) dan laju pertumbuhan relatif (RGR) pada perlakuan kontrol secara nyata lebih tinggi daripada perlakuan LC_{50} minyak *A. indica*, LC_{50} *R. communis*, LC_{25} campuran *A. indica*+*R. communis*, LC_{50} *A. indica*+*R. communis*, dan LC_{75} *A. indica*+*R. communis*. Nilai laju pertumbuhan larva terendah pada LC_{75} perlakuan campuran minyak *A. indica* dan *R. communis*, sedangkan nilai laju pertumbuhan relatif (RGR) sejalan dengan nilai laju pertumbuhan larva (GR). Pada perlakuan campuran minyak *A. indica* dan *R. communis* LC_{75} menunjukkan konsumsi larva yang tinggi, tetapi tidak digunakan untuk pertumbuhan larva. Nilai GR dan RGR yang rendah (bernilai negatif) menunjukkan larva semakin kecil (kurus) daripada sebelum perlakuan. Meningkatnya jumlah makanan yang dikonsumsi oleh larva diduga karena larva mengkompensasi kebutuhan nutrisi sebagai akibat penggunaan energi yang lebih besar untuk detoksifikasi sifat toksik dari perlakuan minyak nabati tersebut. Pertumbuhan yang rendah diduga akibat kandungan yang bersifat toksik pada minyak nabati. Namun, penyebab campuran minyak dapat meningkatkan konsumsi pakan perlu diteliti lebih lanjut dari aspek fisiologi dan biokimia. Berbeda dengan perlakuan kontrol, dengan nilai RCR yang relatif rendah, namun memiliki nilai RGR tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa meskipun makanan yang dikonsumsi sedikit, tetapi efisien untuk pertumbuhan karena tidak adanya senyawa toksik dari minyak nabati.

Nilai efisiensi makanan yang dicerna (ECD) dan efisiensi makanan yang dimakan (ECI) pada perlakuan kontrol secara nyata lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan LC_{50} minyak *A. indica*, LC_{50} *R. communis*, LC_{25} , LC_{50} , dan LC_{75} campuran *A. indica*+*R. communis*. Larva *S. frugiperda* pada perlakuan campuran minyak *A. indica*+*R. communis* LC_{75} menunjukkan nilai efisiensi makanan yang dicerna (ECD) dan efisiensi makanan yang dimakan (ECI) terendah. Penurunan nilai ECD dan ECI semakin besar sejalan dengan peningkatan konsentrasi minyak nabati pada campuran yang diberikan, sedangkan pada perlakuan tunggal minyak nabati nilai ECD dan ECI terendah pada perlakuan *R. communis* daripada perlakuan *A. indica*.

Nilai daya cerna larva *S. frugiperda* perlakuan kontrol secara nyata lebih rendah daripada LC_{75} campuran minyak *A. indica*+*R. communis*, tetapi tidak berbeda dengan perlakuan tunggal LC_{50} minyak *A. indica* dan *R. communis*, LC_{25} dan LC_{50} campuran minyak *A. indica*+*R. communis*. Nilai daya cerna (AD) yang tinggi pada perlakuan LC_{75} campuran minyak *A. indica*+*R. communis* tidak dapat mengimbangi penurunan ECD, yang akhirnya mengakibatkan tingkat pertumbuhan yang rendah.

Pengaruh minyak *A. indica*, *R. communis*, dan campurannya terhadap oviposisi imago betina *S. frugiperda*

Pengaruh minyak *A. indica* dan *R. communis* tunggal dan campuran terhadap oviposisi *S. frugiperda* disajikan pada Tabel 3. Pada data pengamatan peletakan telur oleh imago *S. frugiperda*, uji jarak berganda Duncan tidak dilakukan karena tidak memenuhi syarat untuk uji lanjut. Pada pengujian ini menunjukkan bahwa imago *S. frugiperda* cenderung meletakkan telur pada kurungan daripada pada daun tanaman jagung yang diberi perlakuan.

Perlakuan minyak nabati tunggal dan campuran pada tanaman jagung memengaruhi lama hidup imago betina dan jantan *S. frugiperda*. Lama hidup imago betina dan jantan secara nyata lebih lama pada perlakuan kontrol daripada perlakuan tunggal minyak *R. communis*, dan campuran minyak *A. indica*+*R. communis*. Sejalan dengan jumlah total telur yang dihasilkan imago *S. frugiperda* perlakuan kontrol secara nyata lebih

Tabel 2. Pengaruh minyak *Azadirachta indica*, dan *Ricinus communis* serta campurannya terhadap laju konsumsi, laju pertumbuhan, dan efisiensi makan larva *Spodoptera frugiperda*

Table 2. Effect of *Azadirachta indica*, *Ricinus communis*, and their mixtures on consumption rate, growth rate, and feeding efficiency of *Spodoptera frugiperda* larvae

Perlakuan (Konsentrasi) (Treatment (Concentration)) (%)	Konsumsi (Consumption)		Pertumbuhan (Growth)		Efisiensi makan (Feeding efficiency)		
	CR (g/hari) (g/day)	RCR (g/g/hari) (g/g/day)	GR (g/hari) (g/day)	RGR (g/g/hari) (g/day)	ECD (%)	ECI (%)	AD (%)
LC ₅₀ Ai (0,039%)	0,0672 ± 0,0173 b	3,7541 ± 1,0852 a	0,0045 ± 0,0032 c	0,2247 ± 0,1524 d	7,4738 ± 5,6451 b	6,4446 ± 4,7389 b	85,0442 ± 10,5356 a
LC ₅₀ Rc (0,144%)	0,0756 ± 0,0172 b	5,5783 ± 2,2090 c	0,0019 ± 0,0023 b	0,1061 ± 0,1441 bc	2,7458 ± 3,3970 a	1,6064 ± 2,8874 a	83,6938 ± 6,4384 a
LC ₂₅ Ai+Rc (0,016%)	0,0435 ± 0,0078 a	4,6096 ± 1,6406 ab	0,0022 ± 0,0021 b	0,1820 ± 0,1760 cd	6,5536 ± 6,6088 b	4,9728 ± 4,8343 b	81,3896 ± 1,3971 a
LC ₅₀ Ai+Rc (0,034%)	0,0670 ± 0,0144 b	5,5438 ± 1,6715 c	0,0011 ± 0,0019 ab	0,0625 ± 0,1332 b	2,2680 ± 4,8992 a	1,6064 ± 3,1581 a	83,6938 ± 8,6085 a
LC ₇₅ Ai+Rc (0,073%)	0,1013 ± 0,0134 c	14,4106 ± 6,3167 d	-0,0002 ± 0,0018 a	-0,0842 ± 0,2346 a	-0,3702 ± 2,0126 a	-0,8940 ± 1,7503 a	90,2730 ± 5,8796 b
Kontrol (Control)	0,0675 ± 0,0174 b	5,2626 ± 2,2071 ab	0,0071 ± 0,0037 d	0,4747 ± 0,1555 e	12,951 ± 7,334 c	10,982 ± 8,269 c	85,390 ± 8,269 a

Ai: *Azadirachta indica*; Rc: *Ricinus communis*, LC: lethal concentration; CR: laju konsumsi; RCR: laju konsumsi relatif; GR: laju pertumbuhan; RGR: laju pertumbuhan relatif; ECD: efisiensi makanan yang dicerna; ECI: efisiensi makanan yang dimakan; AD: perkiraan makanan yang dicerna; semua nilai rata-rata ± SD. Nilai rata-rata dalam satu kolom yang diikuti oleh huruf kecil yang sama, tidak berbeda nyata (ANOVA, dilanjutkan uji Duncan pada α = 0,05). (Ai: *Azadirachta indica*; Rc: *Ricinus communis*, LC: lethal concentration; CR: consumption rate; RCR: relative consumption rate; GR: growth rate; RGR: relative growth rate; ECD: efficiency conversion of digested food; ECI: efficiency of conversion of ingested food; AD: approximate digestibility; all mean values ± SD. The average value in one column followed by the same lowercase letter, was not significantly different (ANOVA, followed by Duncan's test at = 0.05).

Tabel 3. Pengaruh minyak *Azadirachta indica*, *Ricinus communis*, dan campurannya terhadap oviposisi imago *Spodoptera frugiperda*

Table 3. Effect of oil of *Azadirachta indica*, *Ricinus communis*, and their mixtures on oviposition of imago *Spodoptera frugiperda*

Perlakuan (Konsentrasi) (Treatment (Concentration)) (%)	Peletakan telur pada ± SD (%) (Egg laying at ± SD (%))		Lama hidup ± SD (hari) (Length of life ± SD (days))		ΣTelur/betina ± SD (butir) (ΣEgg/female ± SD (eggs))
	Kurungan (Cage)	Daun (Leaf)	Betina (Female)	Jantan (Male)	
LC ₇₅ Ai (0,100%)	53 ± 11	47 ± 36	8,6 ± 1,5 bc	9,6 ± 2,5 a	242,6 ± 166,0 a
LC ₇₅ Rc (0,584%)	72 ± 40	28 ± 41	7,0 ± 2,0 ab	8,4 ± 2,6 a	211,2 ± 195,9 a
LC ₅₀ Ai+Rc (0,034%)	70 ± 15	30 ± 44	7,4 ± 1,8 ab	9,6 ± 1,3 a	328,6 ± 171,8 a
LC ₇₅ Ai+Rc (0,073%)	65 ± 40	35 ± 35	7,8 ± 1,3 ab	9,8 ± 1,9 a	309,0 ± 232,5 a
LC ₉₅ Ai+Rc (0,219%)	49 ± 19	51 ± 32	6,2 ± 1,3 a	10 ± 1,7 a	273,6 ± 165,6 a
Kontrol (Control)	32 ± 8	68 ± 8	10,2 ± 0,8 c	13,4 ± 0,9 b	1061 ± 294,1 b

Ai: *Azadirachta indica*; Rc: *Ricinus communis*; LC: lethal concentration; Nilai rata-rata dalam satu kolom yang diikuti oleh huruf kecil yang sama, tidak berbeda nyata (ANOVA, dilanjutkan uji Duncan pada α = 0,05). (Ai: *Azadirachta indica*; Rc: *Ricinus communis*; LC: lethal concentration; The average value in one column followed by the same lowercase letter, was not significantly different (ANOVA, followed by Duncan's test at = 0.05)).

tinggi daripada jumlah telur pada daun tanaman yang diberi perlakuan minyak nabati. Hasil penelitian ini menunjukkan perlakuan LC₇₅ minyak *R. communis* memiliki aktivitas antioviposisi yang lebih tinggi daripada perlakuan LC₇₅ minyak *A. indica*, serta LC₅₀, LC₇₅, dan LC₉₅ campuran minyak *A. indica*+*R. communis*.

Pada pengamatan 1 hari setelah aplikasi (HSA) daun tanaman jagung perlakuan campuran LC₉₅ minyak *A. indica* dan *R. communis* terindikasi menunjukkan gejala fitotoksik, diikuti gejala fitotoksik pada pengamatan 3 HSA pada daun tanaman jagung LC₇₅ dan LC₅₀ campuran minyak *A. indica*+*R. communis*, serta LC₇₅ tunggal *A. indica*, dan LC₇₅ tunggal *R. communis*. Gejala pada daun jagung uji (berumur 2 minggu) bewarna kekuningan yang dimulai pada ujung daun tanaman yang terletak lebih bawah, selanjutnya daun berubah warna menjadi cokelat (nekrosis), layu, dan akhirnya daun mengering (Gambar 1).

PEMBAHASAN

Larva *S. frugiperda* yang diberi perlakuan minyak *A. indica*, *R. communis*, dan campurannya menunjukkan kematian yang bertahap sejalan peningkatan konsentrasi dan waktu pengamatan. Kematian larva yang terjadi setelah daun pakan perlakuan diganti dengan jagung semi tanpa perlakuan diduga akibat efek kronis dari zat toksik

yang terdapat pada minyak nabati yang diuji. Berdasarkan nilai toksisitas relatif menunjukkan bahwa campuran minyak *A. indica* dengan *R. communis* lebih toksik 4,2 hingga 20,0 kali dibandingkan dengan masing-masing minyak tunggalnya. Hal ini menunjukkan bahwa kedua minyak tersebut lebih efektif digunakan dalam bentuk campurannya untuk pengendalian *S. frugiperda* karena memiliki pengaruh sinergis.

Minyak *A. indica* dilaporkan mengandung senyawa azadirachtin yang berperan dalam menghambat konsumsi makan, menghambat pertumbuhan, dan mengganggu proses metamorfosis yang dapat meningkatkan mortalitas (Duarte et al. 2019; Roel et al. 2010). Sebelumnya, Mordue (2006) melaporkan bahwa azadirachtin merangsang sel pencegah spesifik pada kemoreseptor bagian mulut serangga. Selain itu, senyawa ini menghambat pelepasan morfogenetik peptida dari otak, yang mengakibatkan gangguan sintesis ekdisteroid dan regulasi pelepasan hormon juvenil.

Berbeda dengan senyawa aktif risin pada minyak *R. communis* yang bekerja sebagai racun saraf dan mengakibatkan kematian lebih cepat daripada minyak *A. indica*. Selain itu, risin bekerja dengan menghambat sintesis protein dengan menonaktifkan ribosom sehingga dapat menyebabkan kematian (Maheshwari & Kovalchuk 2016). Risin juga berperan sebagai enzim polipeptida yang mengkatalisis pembelahan



Gambar 1. Indikasi gejala fitotoksik pada daun tanaman jagung 3 hari setelah aplikasi. A: tidak terdapat gejala fitotoksik pada perlakuan kontrol; B: gejala fitotoksik pada perlakuan LC₇₅ *A. indica*; C: gejala fitotoksik pada perlakuan LC₇₅ *R. communis*; D: gejala fitotoksik pada perlakuan LC₅₀ *A. indica*+*R. communis*; E: gejala fitotoksik pada perlakuan LC₇₅ *A. indica*+*R. communis*; F: gejala fitotoksik pada perlakuan LC₉₅ *A. indica*+*R. communis*.

Figure 1. Indications of phytotoxic symptoms on leaves of maize plants 3 day after application. A: there were no phytotoxic symptoms in the control treatment; B: symptoms of phytotoxicity in the treatment of LC₇₅ *A. indica*; C: phytotoxic symptoms in the treatment of LC₇₅ *R. communis*; D: phytotoxic symptoms in LC₅₀ treatment *A. indica*+*R. communis*; E: phytotoxic symptoms on LC₇₅ treatment *A. indica*+*R. communis*; F: phytotoxic symptoms in LC₉₅ treatment *A. indica*+*R. communis*.

N-glikosidik dari residu adenin spesifik dari RNA ribosom 28S, bergabung oleh ikatan disulfida tunggal ke lektin yang mengikat galaktosa. Aktivitas enzimatis menyebabkan ribosom mengandung RNA 28S terdepurinasi sehingga tidak mampu mensintesis protein (Lord et al. 1994). Risin akan memasuki bagian dalam permukaan sel melalui mekanisme endositosis, dan mengirimkan polipeptida yang aktif secara katalitik ke dalam sitosol sel sehingga secara ireversibel menghambat sintesis protein yang menyebabkan kematian sel (Lord et al. 1994).

Selain menyebabkan kematian, perlakuan minyak *A. indica*, *R. communis*, dan campurannya mengakibatkan gangguan makan larva *S. frugiperda* yang ditunjukkan oleh penurunan RCR (efek jangka pendek), selain itu terjadi penurunan efisiensi makan larva *S. frugiperda* dalam mengubah makanan yang dicerna (ECI dan ECD) menjadi pertumbuhan (RGR) (efek jangka panjang). Sejalan dengan laporan Shannag et al. (2015) bahwa perlakuan minyak mimba pada larva *Spodoptera eridania* (Stoll) tidak hanya menyebabkan hambatan makan sementara, tetapi juga menyebabkan gangguan fisiologis serangga dan kemampuan serangga dalam mencerna makanan. Shu et al. (2018) juga melaporkan bahwa azadirakhtin dapat mengurangi konversi nutrisi yang dicerna dengan menginduksi apoptosis dan menghancurkan struktur usus tengah (mesenteron). Usus tengah serangga memainkan peran penting dalam fisiologi pertumbuhan, yang meliputi asupan makanan, pencernaan, dan penyerapan nutrisi (Franzetti et al. 2015).

Pada perlakuan LC₇₅ campuran minyak *A. indica* dan *R. communis*, terjadi peningkatan nilai daya cerna (DC) larva *S. frugiperda* yang bertahan hidup. Sejalan dengan yang dilaporkan Simpson & Simpson (1990) larva akan meningkatkan kemampuan dalam mencerna makanan bila terdapat senyawa toksik dalam tubuhnya. Selain itu, Grobler (2019) melaporkan bahwa perlakuan minyak *R. communis* memengaruhi struktur komunitas mikroba midgut pada larva *S. frugiperda*. Mikroba usus membentuk komunitas yang berperan dalam penyerapan nutrisi dan detoksifikasi metabolit sekunder tanaman atau patogen berbahaya. Selain itu, diduga bahwa larva yang terseleksi oleh perlakuan dan bertahan

hidup pada perlakuan campuran minyak tersebut memiliki kemampuan daya cerna yang lebih baik daripada larva yang bertahan hidup pada perlakuan lainnya. Secara keseluruhan perlakuan minyak *A. indica* dan *R. communis* tunggal serta campuran mengganggu pertumbuhan larva dengan mengurangi konsumsi pakan dan kemampuan untuk mengubah makanan menjadi biomassa.

Dalam kaitannya dengan nutrisi pakan, larva *S. frugiperda* memiliki mobilitas yang terbatas sehingga pemilihan inang yang cocok ditentukan oleh imago. Dengan demikian, pemilihan inang yang sesuai penting untuk kelangsungan hidup dan perkembangan larva *S. frugiperda*. Aktivitas oviposisi imago *S. frugiperda* yang terhambat mempengaruhi lama hidup imago yang lebih singkat, dan jumlah total telur yang dihasilkan lebih rendah. Minyak *R. communis* dilaporkan berperan sebagai pencegah oviposisi imago *Plutella xylostella* Linnaeus pada tanaman kubis (Kodjo et al. 2011). Schneider et al. (2017) melaporkan bahwa minyak *A. indica* menyebabkan pengurangan jumlah telur yang diletakkan oleh *Diatraea saccharalis* Fabricius.

Selain itu, hambatan oviposisi terjadi akibat penyemprotan yang melapisi tanaman jagung sehingga menutupi sinyal penarik yang terdapat dalam tanaman inang (Bernays & Chapman 1994), dan menggagalkan fungsi rangsang khusus atau disebut penolak (*repellent*). Sejalan dengan laporan Sambaraju et al. (2016) bahwa gangguan di permukaan daun tanaman dapat menghambat oviposisi dan menyebabkan kematian telur pada *Plodia interpunctella* (Huber).

Seluruh konsentrasi minyak nabati yang diuji menunjukkan gejala fitotoksik pada daun tanaman jagung yang berumur 2 minggu. Gejala fitotoksik pada tanaman juga dilaporkan Risnawati et al. (2021) yang menunjukkan bahwa aplikasi ekstrak metanol biji mimba pada frekuensi satu kali dan dua kali menyebabkan gejala fitotoksik pada tanaman pakcoy (*Brassica rapa* L.). Tanaman yang diberi perlakuan insektisida nabati berbahan ekstrak kasar cenderung menunjukkan gejala fitotoksik (Syahputra 2010). Hal tersebut karena larutan sediaan ekstrak kasar terdiri atas berbagai senyawa polar hingga senyawa nonpolar, tingginya kandungan senyawa nonpolar dapat meningkatkan gejala fitotoksik. Selain itu, sifat

fisik permukaan daun tanaman seperti sedikitnya trikoma daun juga dapat mempengaruhi tingkat keparahan gejala fitotoksik (Dono et al. 2006). Gejala fitotoksik pada tanaman jagung diduga juga karena trikoma daun yang jumlahnya sedikit sehingga tidak dapat mengurangi kontak dengan ekstrak minyak nabati yang diaplikasikan. Dono et al. (2006) melaporkan bahwa daun tanaman kedelai memiliki trikoma yang rapat dapat mengurangi kontak dengan larutan ekstrak *Aglaiia odorata* Lour. sehingga mengurangi pengaruh fitotoksik ekstrak. Selain itu, umur tanaman juga mempengaruhi keparahan gejala fitotoksik yang dalam percobaan ini digunakan tanaman berumur 2 minggu. Sementara itu, belum ada penelitian sebelumnya tentang pengaruh fitotoksik minyak *R. communis* terhadap tanaman. Oleh karena itu, diperlukan upaya mengurangi atau meniadakan pengaruh fitotoksik minyak nabati tersebut di antaranya melalui fraksinasi ekstrak kasarnya sehingga dapat dipilah senyawa yang bersifat insektisida dengan yang bersifat fitotoksik.

KESIMPULAN

Minyak *A. indica*, *R. communis*, dan campurannya bersifat toksik terhadap *S. frugiperda* dengan nilai LC_{50} terhadap larva (II–VI) berturut-turut 0,039 (0,017–0,100)%, 0,144 (0,094–0,221)%, serta 0,034 (0,021–0,061)%, dan pada LC_{95} berturut-turut 0,391 (0,134–16,671)%, 4,379 (1,986–15,516)%, serta 0,219 (0,104–1,251)%. Toksisitas campuran tersebut meningkat 4,2 kali hingga 20,0 kali masing-masing pada LC_{50} dan LC_{95} . Perlakuan minyak mengakibatkan penurunan laju konsumsi relatif (RCR), laju pertumbuhan relatif (RGR), efisiensi pemanfaatan makanan (ECD dan ECI), peningkatan perkiraan jumlah makanan yang dicerna (AD) larva instar V *S. frugiperda*. Selain bersifat insektisida, minyak nabati tersebut dapat menghambat aktivitas peletakan telur *S. frugiperda*. Namun, minyak *A. indica*, *R. communis*, dan campurannya terindikasi bersifat fitotoksik pada tanaman jagung sehingga peluang campuran minyak *A. indica* dan *R. communis* untuk digunakan sebagai insektisida masih perlu dievaluasi atau dapat digunakan pada tanaman lain yang lebih toleran. Diperlukan

juga upaya menghilangkan sifat fitotoksik melalui teknik pemisahan senyawa yang bersifat insektisida dengan yang fitotoksik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrahams P, Bateman M, Beale T, Clotley V, Cock M, Colmenarez Y, Corniani N, Day R, Early R, Godwin J, Gomez J, Moreno GP, Murphy ST., Opong-Mensah, B, Phiri N, Pratt C, Richards G, Silvestri S, Witt A. 2017. Fall armyworm: Impacts and implications for Africa. *Outlooks on Pest Management* 28:196–201. DOI: https://doi.org/10.1564/v28_oct_02.
- Ambarningrum TB, Pratiknyo H, Priyanto S. 2009. Indeks nutrisi dan kesintasan larva *Spodoptera litura* F. yang diberi pakan mengandung ekstrak kulit jengkol (*Pithecellobium lobatum* Benth.). *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika* 9:109–114. DOI: <https://doi.org/10.23960/j.hptt.29109-114>.
- Assefa F, Ayalew D. 2019. Status and control measures of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) infestations in maize fields in Ethiopia: A review. *Cogent Food and Agriculture* 5:1641902. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1641902>.
- Bakr R, Al Yousef AB, HH. 2015. Toxicological effect of the botanical extract castor oil seeds *Ricinus communis* and their biochemical activity on the cotton leafworm, *Spodoptera littoralis* (Boisd.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences. C, Physiology and Molecular Biology* 7:99–111. DOI: <https://doi.org/10.21608/eajbsc.2015.13707>.
- Bendjazia RB, Morakchi SK, Aribi N. 2016. Growth and molting disruption effects of azadirachtin against *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae). *Journal of Entomology and Zoology Studies* 4:363–368.
- Bernays EA, Chapman RF. 1994. *Host-plant selection by phytophagous insects*. New York: Chapman & Hall. DOI: <https://doi.org/10.1007/b102508>.
- Boaventura D, Martin M, Pozzebon A, Mota-Sanchez D, Nauen R. 2020. Monitoring of target-site mutations conferring insecticide resistance in *Spodoptera frugiperda*. *Insects* 11:1–15. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects11080545>.
- CABI. 2021. *Spodoptera frugiperda* (fall armyworm). Commonwealth Agricultural Bureau International. Invasive Species Compendium. Tersedia pada: www.cabi.org/isc/datasheet/29810. [diakses 15 November 2022].

- De Groote H, Kimenju SC, Munyua B, Palmas S, Kassie M, Bruce A. 2020. Spread and impact of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) in maize production areas of Kenya. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 292:106804. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106804>.
- Dhra G, Ahmad M, Kumar J, Patanjali PK. 2018. Mode of action of Azadirachtin: A natural insecticide. *International Research Journals* 7:41–46.
- Dono D, Prijono D, Manuwoto S, Buchori D, Dadang Hasim. 2006. Fitotoksisitas rokaglamida dan ekstrak ranting *Aglaia odorata* (Meliaceae) terhadap tanaman brokoli dan kedelai. *Jurnal Agrikultura* 17:7–14.
- Duarte JP, Redaelli LR, Jahnke SM, Trapp S. 2019. Effect of *Azadirachta indica* (Sapindales: Meliaceae) oil on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae and adults. *Florida Entomologist* 102:408–412. DOI: <https://doi.org/10.1653/024.102.0218>.
- FAO & PPD. 2020. Manual on Integrated fall armyworm management. Yangon, FAO. Tersedia pada: <https://doi.org/10.4060/ca9688en>. [diakses 18 November 2022].
- Finney DJ. 1971. *Probit Analysis*, 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Franzetti E, Romanelli D, Caccia S, Cappellozza S, Congiu T, Rajagopalan M, Grimaldi A, de Eguileor M, Casartelli M, Tettamanti G. 2015. The midgut of the silkworm *Bombyx mori* is able to recycle molecules derived from degeneration of the larval midgut epithelium. *Cell and Tissue Research* 361:509–528. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00441-014-2081-8>.
- Grobler J. 2019. The effect of *Ricinus communis* on larval behaviour and midgut microbe communities of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Dissertation. at the North-West University. Tersedia pada: <https://repository.nwu.ac.za/bitstream/handle/10394/33862/Grobler%20JM%2024956066.pdf?sequence=1>. [diakses 15 November 2022].
- Hasyim A, Setiawati W, Murtiningsih R, Sofiari R. 2010. Efikasi dan persistensi minyak serai sebagai biopestisida terhadap *Helicoverpa armigera* Hubn. (Lepidoptera: Noctuidae). *Jurnal Hortikultura* 20:377–386.
- Kodjo TA, Gbénonchi M, Sadate A, Komi A, Yaovi G. 2011. Bio-insecticidal effects of plant extracts and oil emulsions of *Ricinus communis* L. (Malpighiales: Euphorbiaceae) on the diamondback, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) under laboratory and semi-field conditions. *Journal of Applied Biosciences* 43:2899–2914.
- Koul O. 1996. Mode of action of azadirachtin in insect. Di dalam: Randhawa NS, Parmar BS (Eds.), *Neem*. hlm. 160–170. New Delhi: New Age International (P) LTD.
- Lord JM, Roberts LM, Robertust JD. 1994. Ricin: Structure, and some current applications. *The FASEB Journal* 8:201–208. DOI: <https://doi.org/10.1096/fasebj.8.2.8119491>.
- Maharani Y, Dewi VK, Puspasari LT, Rizkie L, Hidayat Y, Dono D. 2019. Cases of fall army worm *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae) attack on maize in Bandung, Garut and Sumedang District, West Java. *CROPSAVER: Journal of Plant Protection* 2:38–46. DOI: <https://doi.org/10.24198/cropsaver.v2i1.23013>.
- Maheshwari P, Kovalchuk I. 2016. Genetic transformation of crops for oil production. Di dalam: McKeon TA, Hayes DG, Hildebrand DF, Weselake RJ (Eds.), *Industrial Oil Crops*. hlm. 379–412. AOCS Press. Published by Elsevier Inc. All rights reserved. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-98-1.00014-2>.
- Mordue AJ. 2006. Present concepts of the mode of action of azadirachtin from neem. Di dalam: Koul O, Wahab S (Eds.), *Neem: Today and in the New Millennium*. hlm. 229–242. DOI: https://doi.org/10.1007/1-4020-2596-3_11.
- Nonci N, Kalqutny SH, Mirsam H, Muis A, Azrai M, Aqil M. 2019. *Pengenalan Fall Armyworm*. Maros: Balai Penelitian Tanaman Serealia.
- Ramos-López MA, Pérez S, Rodríguez-Hernández GC, Guevara-Fefer P, Zavala-Sánchez MA. 2010. Activity of *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *African Journal of Biotechnology* 9:1359–1365. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJB10.1621>.
- Risnawati, Ramdan EP, Kanny PI. 2021. Fitotoksisitas ekstrak metanol mimba pada frekuensi aplikasi berulang terhadap beberapa tanaman hidroponik. *UG Journal* 4:1–11. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-017-8748-2_30.
- Roel AR, Dourado DM, Matias R, Porto KRA, Bednaski A, Costa Da RB. 2010. The effect of sub-lethal doses of *Azadirachta indica* (Meliaceae) oil on the midgut of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera, Noctuidae). *Revista Brasileira de Entomologia* 54:505–510. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00454-015-9734-6>.
- Russianzi W, Prijono D. 2019. Synergistic activity of mixtures of *Piper aduncum* fruit extract and

- three microorganism-derived insecticides against the diamond back moth, *Plutella xylostella*. *CROPSAVER: Journal of Plant Protection* 2:7. DOI: <https://doi.org/10.24198/cs.v2i1.22299>.
- Sambaraju KR, Donelson SL, Bozic J, Phillips TW. 2016. Oviposition by female *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae): Description and time budget analysis of behaviors in laboratory studies. *Insects* 7:1–16. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects7010004>.
- Sari A, Buchori D, Nurkomar I. 2020. The potential of *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Scelinoidea) as biocontrol agent for the new fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Indonesia. *Planta Tropika: Jurnal Agrosains (Journal of Agro Science)* 8:69–74. DOI: <https://doi.org/10.18196/pt.2020.116.69-74>.
- Schneider LCL, Silva CV da, Conte H. 2017. Toxic effect of commercial formulations of neem oil, *Azadirachta indica* A. Juss., in pupae and adults of the sugarcane borer, *Diatraea saccharalis* F. (Lepidoptera: Crambidae). *Arquivos Do Instituto Biológico* 84:1–8. DOI: <https://doi.org/10.1590/1808-1657000432014>.
- 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). *Journal of Insect Science* 15:1–6. DOI: <https://doi.org/10.1093/jisesa/iev134>.
- Shu B, Zhang J, Cui G, Sun R, Yi X, Zhong G. 2018. Azadirachtin affects the growth of *Spodoptera litura* Fabricius by inducing apoptosis in larval midgut. *Frontiers in Physiology* 9:1–12. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00137>.
- Singh A, Kaur J. 2016. Toxicity of leaf extracts of *Ricinus communis* L. (Euphorbiaceae) against the third instar larvae of *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae). *American Journal of BioScience* 4:5–10. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ajbio.s.2016040301.12>.
- Simpson SJ, Simpson CL. 1990. The mechanism of nutritional compensation by phytophagous insect. *Insect-Plant Interaction* 2:111–160.
- Sisay B, Tefera T, Wakgari M, Ayalew G, Mendesil E. 2019. The efficacy of selected synthetic insecticides and botanicals against fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in maize. *Insects* 10:45. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects10020045>.
- Sogan N, Kapoor N, Singh H, Kala S, Nayak A, Nagpal BN. 2018. Larvicidal activity of *Ricinus communis* extract against mosquitoes. *Journal of Vector Borne Diseases* 55:282–290. DOI: <https://doi.org/10.4103/0972-9062.256563>.
- Subiono T. 2020. Preferensi *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) pada beberapa sumber pakan. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab* 2:130–134. DOI: <https://doi.org/10.35941/jatl.2.2.2020.2813.130-134>.
- Sun YP. 1950. Toxicity index-an improved method of comparing the relative toxicity of insecticides. *Journal of Economic Entomology* 43:45–53. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/43.1.45>.
- Syahputra E. 2010. Sediaan insektisida ekstrak biji *Mimusops elengi*: Pengaruh terhadap perkembangan dan keperidian *Crociodolomia pavonana* serta penguat terhadap lingkungan dan tanaman. *Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati dan Fisik* 12:25–30.
- Trisyono YA, Suputa S, Aryuwandari VEF, Hartaman M, Jumari J. 2019. Occurrence of heavy infestation by the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, a new alien invasive pest, in corn Lampung Indonesia. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia* 23:156–160. DOI: <https://doi.org/10.22146/jpti.46455>.
- Waldbauer GP. 1968. The consumption and utilization of food by insects. *Advances in Insect Physiology* 5:229–288. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2806\(08\)60230-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2806(08)60230-1).
- Wulansari R, Hidayat Y, Dono D. 2022. Aktivitas insektisida campuran minyak mimba (*Azadirachta indica*) dan minyak jarak kepyar (*Ricinus communis*) terhadap *Spodoptera frugiperda*. *Agrikultura* 32:207–218. DOI: <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v32i3.35174>.