



Original Article

Aktivitas insektisida ekstrak *Piper aduncum* dan *Aglaia odorata* terhadap *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Plutellidae)

Insecticidal activity of *Piper aduncum* and *Aglaia odorata* extracts on *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Plutellidae)

Maria Heviyanti^{1,2*}, Dadang¹, Dewi Sartiami¹, Yayi Munara Kusumah¹, Purwantiningsih³

¹Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB University, Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia, ²Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Samudra, Jalan Prof. Dr. Syarief Thayeb, Meurandeh, Kota Langsa, Aceh 24416, Indonesia, ³Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB University, Jalan Agatis, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

Penulis korespondensi:

Maria Heviyanti
(heviyantimaria@apps.ipb.ac.id, maria@unsam.ac.id)

Diterima: September 2024

Disetujui: Desember 2024

Sitasi:

Heviyanti M, Dadang, Sartiami D, Kusumah RYM, Purwantiningsih. 2025. Aktivitas insektisida ekstrak *Piper aduncum* dan *Aglaia odorata* terhadap *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). *Jurnal Entomologi Indonesia*. 22(1):52–60

ABSTRAK

Permasalahan utama dalam budi daya tanaman sayuran Brassicaceae salah satunya adalah serangan hama ulat daun kubis *Plutella xylostella* (Linnaeus). Ekstrak sirih hutan *Piper aduncum* dan pacar cina *Aglaia odorata* berpotensi digunakan sebagai insektisida nabati karena mengandung senyawa yang bersifat toksik terhadap serangga. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat toksisitas dan aktivitas penghambatan makan ekstrak heksana buah sirih hutan dan ekstrak metanol ranting pacar cina terhadap larva ulat daun kubis. Ekstraksi dilakukan dengan metode maserasi dengan perbandingan serbuk dan pelarut 1:10 (w/v). Serangga ulat daun kubis yang digunakan berasal dari koloni yang diperbanyak di laboratorium. Untuk pengujian pengaruh letal ekstrak diuji terhadap toksisitas larva instar kedua ulat daun kubis dengan metode celup daun dengan konsentrasi uji setara dengan LC₁₅, LC₃₅, LC₅₅, LC₇₅, LC₉₅, dan kontrol. Pengujian aktivitas penghambatan makan dilakukan dengan metode pilihan menggunakan konsentrasi setara dengan LC₁₅, LC₃₅, LC₅₅, dan kontrol. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ekstrak heksana buah sirih hutan lebih toksik terhadap larva ulat daun kubis instar kedua dibandingkan dengan ekstrak metanol ranting pacar cina berdasarkan nilai analisis probit hubungan konsentrasi dan mortalitas. Nilai LC₅₀ dan LC₉₅ ekstrak buah sirih hutan masing-masing adalah 0,07% dan 0,14%, sedangkan nilai LC₅₀ dan LC₉₅ ekstrak ranting pacar cina adalah 1,63% dan 4,72%. Selain itu, ekstrak buah sirih hutan dan ranting pacar cina juga menunjukkan aktivitas penghambatan makan kuat larva ulat daun kubis pada konsentrasi berturut-turut 0,07% dan 1,77%. Efek kombinasi antara toksisitas langsung dan penghambatan makan berkontribusi terhadap kematian serangga uji. Dengan demikian, kedua ekstrak ini terutama ekstrak buah sirih hutan yang menunjukkan keefektifan yang lebih tinggi dan berpotensi besar sebagai insektisida nabati untuk pengendalian hama ulat daun kubis di Indonesia.

Kata kunci: Brassicaceae, insektisida nabati, penghambatan makan, toksisitas, ulat daun kubis

ABSTRACT

One of the main problems in the cultivation of Brassicaceae vegetable plants is the attack of diamondback moth *Plutella xylostella* (Linnaeus). Extracts of *Piper aduncum* and *Aglaia odorata* have the potential to be used as botanical insecticides because they contain compounds that are toxic to insects. This study aims to evaluate the toxicity and feeding inhibition activity of hexane-extract of *P. aduncum* fruits and methanol-extract of *A. odorata* twigs against second instar larvae of diamondback moth. Extraction was carried out using the maceration method with a powder-to-solvent ratio of 1:10 (w/v). The diamondback moth insects used were from colonies reared in the laboratory. The lethal effect test was conducted using the leaf-dip method with test concentrations equivalent to LC₁₅, LC₃₅, LC₅₅, LC₇₅, LC₉₅, and a control. The feeding inhibition test was conducted using the choice-test method with test concentrations equivalent to LC₁₅, LC₃₅, LC₅₅, and a control. The results show that

the hexane-extract of *P. aduncum* fruit is more toxic to second instar *P. xylostella* larvae than the methanol-extract of *A. odorata* twigs based on the probit analysis value of the relationship between concentration and mortality. The LC_{50} and LC_{95} values of *P. aduncum* extract were 0.07% and 0.14%, respectively, while the LC_{50} and LC_{95} values of *A. odorata* extract were 1.63% and 4.72%. Additionally, *P. aduncum* and *A. odorata* extracts also exhibited feeding against diamondback moth at concentrations of 0.07% and 1.77%, respectively. The combined effects of direct toxicity and feeding inhibition contributed to the mortality of the test insects. Thus, these two extracts, especially *P. aduncum* extract which demonstrated higher effectiveness, have a great potential as botanical insecticides for controlling diamondback moth in Indonesia.

Key words: botanical insecticide, Brassicaceae, diamondback moth, feeding inhibition, toxicity

PENDAHULUAN

Salah satu hama utama yang menyebabkan penurunan kualitas dan kuantitas produksi brokoli adalah ulat daun kubis *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Plutellidae). Untuk mengendalikan hama ini, metode pengendalian yang paling umum digunakan oleh petani hingga saat ini adalah penerapan insektisida sintetis (Dadang 2023). Namun, penggunaan insektisida sintetis secara intensif telah mendorong perkembangan resistensi *P. xylostella* terhadap berbagai jenis insektisida (Wang et al. 2021). Berdasarkan data dari *Arthropod Pesticide Resistance Database* (APRD 2023), *P. xylostella* saat ini telah menunjukkan resistensi terhadap 120 jenis bahan aktif insektisida. Oleh karena itu, diperlukan strategi pengendalian alternatif yang efektif, salah satunya adalah penggunaan insektisida nabati (Kotta et al. 2018; Dadang 2023).

Beberapa famili tumbuhan telah diketahui mengandung bahan pestisida antara lain tumbuhan dari Famili Piperaceae dan Meliaceae. Tumbuhan Famili Piperaceae yang diketahui berpotensi sebagai insektisida nabati adalah sirih hutan *Piper aduncum*. Salehi et al. (2019) melaporkan bahwa salah satu komponen aktif yang dikandung sirih hutan adalah dilapiol yang termasuk dalam kelompok fenilpropanoid. Morais et al. (2023) menyatakan bahwa dilapiol adalah senyawa aktif utama yang bersifat insektisida pada buah sirih hutan. Beberapa studi telah membuktikan potensi insektisida dari ekstrak sirih hutan. Pengujian terhadap larva ulat krop *Crociodolomia pavonana* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae) menunjukkan bahwa ekstrak heksana buah sirih hutan memiliki aktivitas insektisida yang kuat, dengan nilai LC_{50} sebesar 0,13% dan LC_{95} sebesar 0,26%, diikuti oleh ekstrak etil asetat dan metanol (Cossolin et al. 2019). Selain itu, ekstrak heksana dengan konsentrasi 0,29% dilaporkan mampu menyebabkan kematian lebih dari 95% pada larva instar kedua *C. pavonana*. Ekstrak ini bekerja dengan cara mengganggu fisiologi serangga, termasuk tekanan osmotik sel dan metabolisme lipid. Batan et al. (2018) menyatakan hasil uji fitokimia menunjukkan bahwa

metabolit sekunder ekstrak etanol sirih hutan adalah alkaloid, steroid, dan triterpenoid. Russianzi & Prijono (2019) melaporkan bahwa ekstrak heksana buah sirih hutan menunjukkan aktivitas insektisida yang cukup tinggi terhadap larva ulat daun kubis, dengan nilai LC_{50} sebesar 0,24% dan LC_{95} sebesar 0,68%. Fokus utama dari penelitian tersebut adalah mengevaluasi potensi sinergistik antara ekstrak sirih hutan dan beberapa insektisida berbasis mikroba, seperti abamektin, klorfenapir, dan spinetoram sehingga kajian tidak hanya terbatas pada efektivitas tunggal ekstrak, tetapi juga pada peningkatan efikasi melalui kombinasi bahan aktif.

Selain buah, bagian tanaman lain seperti daun dan batang juga pernah diteliti. Penelitian Anggraini & Rustam (2023) menggunakan ekstrak daun *P. aduncum* dan melaporkan nilai LC_{50} terhadap ulat grayak *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae) sebesar 0,89%, yang menunjukkan efektivitas lebih rendah dibandingkan dengan ekstrak buah. Wahyuni & Loren (2015) yang mengevaluasi ekstrak batang juga melaporkan aktivitas toksik yang lebih rendah terhadap nyamuk *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) (Linnaeus). Berdasarkan hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa bagian buah sirih hutan memiliki aktivitas insektisida yang lebih kuat dibandingkan bagian tanaman lainnya.

Bahan tumbuhan lainnya yang berpotensi sebagai insektisida nabati adalah pacar cina, *Aglaia odorata* Lour (Meliaceae) (Dadang 2023). Kandungan senyawa aktif yang terdapat pada tanaman pacar cina meliputi bisamida, flavonoid, lignan, dan triterpenoid (Agarwal et al. 2021). Senyawa utama dalam ekstrak metanol ranting pacar cina adalah rokaglamida. Senyawa aktif rokaglamida dan derivatnya menunjukkan aktivitas insektisida, menghambat aktivitas makan serangga, dan memengaruhi perkembangan serangga (Anggraini 2019). Ekstrak daun dan ranting pacar cina dapat menyebabkan tingginya tingkat kematian larva *C. pavonana*, memengaruhi tingkat parasitisasi, dan menekan tingkat enkapsulasi (Tarwotjo 2012). Penelitian lainnya melaporkan bahwa ekstrak metanol

ranting pacar cina pada konsentrasi 1,0% menunjukkan tingkat kematian 90% terhadap larva *C. pavonana* 96 jam setelah perlakuan (JSP).

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi aktivitas insektisida, yang meliputi tingkat toksisitas dan aktivitas penghambatan makan ekstrak heksana buah sirih hutan *P. aduncum* dan ekstrak metanol ranting pacar cina *A. odorata* terhadap larva instar kedua ulat daun kubis *P. xylostella*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mendukung pengembangan bioinsektisida berbasis tumbuhan sebagai alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan dalam pengendalian hama ulat daun kubis di Indonesia.

BAHAN DAN METODE

Pembiakan serangga uji

Serangga uji ulat daun kubis diperoleh dari populasi lapangan pertanian brokoli di Kebun Percobaan IPB Pasir Sarongge, Kecamatan Pacet, Kabupaten Cianjur. Pembiakan serangga uji dilakukan di Laboratorium Fisiologi dan Toksikologi Serangga, Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor (IPB). Pembiakan serangga dilakukan mengikuti prosedur yang digunakan oleh Basana & Prijono (1994). Imago ulat daun kubis dipelihara dalam kurungan kasa berbingkai (50 cm x 50 cm x 50 cm) dan diberi pakan cairan madu 10% yang diserapkan pada segumpal kapas (diameter kapas 5 cm). Larva dipelihara dengan pakan daun brokoli bebas pestisida hasil penanaman sendiri. Pemeliharaan dilakukan hingga mencapai generasi ketiga (F_3), dan larva instar kedua dari generasi ini digunakan untuk pengujian toksisitas dan aktivitas penghambatan makan.

Ekstraksi tanaman

Buah sirih hutan *P. aduncum* yang diperoleh dari areal kampus IPB University Dramaga dan ranting pacar cina *A. odorata* yang diperoleh dari areal Balai Pengujian Standar Instrumen Tanaman Rempah, Obat dan Aromatik (BPSI TROA) dibersihkan dengan kertas tisu dari kotoran yang menempel. Buah sirih hutan dan ranting pacar cina dipotong dengan panjang 3–5 cm, lalu diletakkan di atas nampan berlapis kertas buram dan dikeringanginkan pada suhu $25 \pm 2^\circ\text{C}$ tanpa paparan langsung sinar matahari selama 7–14 hari dan dilanjutkan dengan pengeringan dengan oven pada suhu 45°C selama 12 jam. Bahan tanaman kemudian dihancurkan menggunakan *grinder* (Retsch GmbH 5667HAAN Type SK1 Nr. 37535 kapasitas 0,5 kg/jam) hingga memperoleh serbuk. Ekstraksi buah sirih hutan dan ranting pacar cina dilakukan dengan metode maserasi, yaitu dengan pengadukan berkala. Serbuk

masing-masing direndam dalam pelarut organik dengan perbandingan 1 : 10 (w/v). Sebanyak 500 g serbuk buah sirih hutan direndam dalam pelarut heksana sesuai protokol Machado et al. (2016), dan serbuk ranting pacar cina direndam dalam pelarut metanol mengacu pada penelitian Prijono et al. (2006). Setiap bubuk direndam selama 24 jam pada suhu kamar ($26 \pm 2^\circ\text{C}$; kelembapan relatif 66–86%). Masing-masing filtrat yang diperoleh kemudian diuapkan dengan *rotary evaporator* (Buchi R-100, Swiss) pada $\pm 40^\circ\text{C}$, 50 rpm, dan tekanan 240 mbar. Banyaknya rendemen yang diperoleh dari ekstrak heksana buah sirih hutan dan ekstrak metanol ranting pacar cina masing-masing sebesar 5,57% dan 2,15% dengan 3 kali ekstraksi. Ekstrak pekat yang diperoleh kemudian dimasukkan kedalam botol kaca berwarna hitam dan disimpan dalam lemari es ($\pm 4^\circ\text{C}$) hingga digunakan saat pengujian.

Uji hayati

Uji toksisitas ekstrak. Ekstrak heksana buah sirih hutan dan metanol ranting pacar cina diuji masing-masing pada lima taraf konsentrasi setara dengan LC_{15} , LC_{35} , LC_{55} , LC_{75} , dan LC_{95} , serta kontrol (berdasarkan hasil pengujian pendahuluan). Metode pengujian, yaitu dengan metode pencelupan daun. Sediaan ekstrak uji diencerkan dengan pelarut organik 1% dan pengemulsi Agristik 400 L 0,2% lalu ditambahkan akuades hingga volume tertentu sesuai dengan konsentrasi pengujian, dan kontrol berupa sediaan akuades yang mengandung pelarut organik dan pengemulsi Agristik 400 L. Sediaan ekstrak selanjutnya dihomogenisasi dengan *magnetic stirrer*.

Daun brokoli dipotong dengan ukuran 4 cm x 4 cm dan dicelup satu per satu dalam sediaan ekstrak sesuai dengan konsentrasi uji. Daun kontrol dicelup dalam air yang mengandung pelarut dan pengemulsi. Kelebihan air pada daun ditiriskan dan daun dikeringanginkan. Daun uji (dua daun perlakuan atau dua daun kontrol) diletakkan dalam sebuah cawan petri (diameter 9 cm) yang dialasi tisu. Kemudian 10 individu larva ulat daun kubis instar ke-2 dimasukkan ke dalam setiap cawan tersebut. Larva dibiarkan makan daun uji, dan 48 jam setelah perlakuan (JSP) daun perlakuan diganti dengan daun tanpa perlakuan. Jumlah larva yang mati dicatat pada 24, 48, 72, dan 96 JSP.

Aktivitas penghambatan makan. Aktivitas penghambatan makan larva ulat daun kubis diuji dengan metode residu pada daun dengan metode *choice test*, dengan cara perlakuan sama seperti pada uji toksisitas. Pengujian dilakukan pada tiga taraf konsentrasi yang setara dengan LC_{15} , LC_{35} , LC_{55} , dan kontrol (pelarut organik: Agristik = 5:1 v/v) berdasarkan hasil pengujian

dengan metode residu pada daun. Daun perlakuan dan kontrol dipotong dalam bentuk bundaran berdiameter 3 cm. Dua potong daun perlakuan dan dua daun kontrol diletakkan berselang-seling di dalam sebuah cawan petri (diameter 9 cm) yang dialasi tisu. Kemudian, 10 individu larva instar kedua ulat daun kubis dimasukkan ke dalam setiap cawan petri. Larva dibiarkan makan selama 24 jam, kemudian persentase luas daun yang dimakan langsung dihitung dengan menggunakan aplikasi *BioLeaf (Foliar Analysis)* (Machado et al. 2016). Percobaan disusun dalam rancangan acak lengkap (RAL) dengan lima ulangan. Persentase efek penghambatan makan dihitung dengan rumus:

$$PM = \frac{CL - TL}{CL + TL} \times 100\%, \text{ dengan}$$

PM: persentase penghambatan makan; CL: area daun kontrol yang dikonsumsi; TL: area daun perlakuan yang dikonsumsi.

Persentase penghambatan makan ulat daun kubis dikelompokkan berdasarkan kriteria yang diadopsi dari Mokodompit et al. (2013) (Tabel 1).

Analisis data

Data hubungan antara konsentrasi insektisida nabati dan mortalitas larva uji dianalisis menggunakan analisis probit program Poloplus (Le Ora Software 2002-2003). Data perbedaan antara luas area yang dikonsumsi pada daun kontrol dan daun perlakuan pada uji penghambatan makan dianalisis dengan sidik ragam dan dilanjutkan dengan uji Tukey pada taraf 5%.

HASIL

Toksisitas ekstrak

Pengujian ekstrak buah sirih hutan dan ranting pacar cina terhadap larva instar kedua ulat daun kubis menunjukkan bahwa tingkat mortalitas meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi dan waktu pengamatan. Pada konsentrasi tertinggi 0,19%, ekstrak sirih hutan menyebabkan mortalitas larva sebesar

42% dalam 24 JSP, sedangkan ekstrak pacar cina dengan konsentrasi tertinggi 4,84% mengakibatkan mortalitas sebesar 30% pada periode yang sama. Mortalitas larva meningkat secara signifikan pada 48 JSP, dengan perlakuan ekstrak buah sirih hutan (0,19%) mencapai 98% dan ekstrak pacar cina (4,84%) mencapai 68%. Setelah daun perlakuan diganti dengan daun tanpa perlakuan pada 48 JSP, efek toksisitas kedua ekstrak tetap berlanjut hingga 72 JSP. Pada titik ini, mortalitas larva ulat daun kubis mencapai 100% untuk perlakuan ekstrak buah sirih hutan (0,19%) dan 96% untuk ekstrak pacar cina (4,84%). Mortalitas akibat ekstrak pacar cina terus berlanjut hingga 96 JSP, yang kemungkinan disebabkan oleh senyawa aktif dalam ekstrak yang masih bertahan di dalam tubuh serangga dan terus bekerja hingga menyebabkan kematian (Gambar 1A dan 1B).

Berdasarkan hasil analisis probit pada 24, 48, 72, dan 96 JSP, nilai LC_{50} dan LC_{95} untuk ekstrak buah sirih hutan masing-masing sebesar 0,07% dan 0,15%, sedangkan untuk ekstrak pacar cina, nilai LC_{50} dan LC_{95} pada 72 JSP adalah 1,95% dan 6,82%. Nilai LC ini lebih rendah dibandingkan dengan nilai LC_{50} dan LC_{95} dari masing-masing ekstrak pada 48 JSP (Tabel 2). Perubahan nilai LC dari 24 hingga 96 JSP menunjukkan bahwa mortalitas serangga uji meningkat seiring waktu setelah perlakuan dengan ekstrak. Peningkatan mortalitas yang signifikan terjadi antara 48 dan 72 JSP untuk setiap perlakuan (Gambar 1A). Nilai LC_{50} dan LC_{95} mencerminkan konsentrasi insektisida yang diperlukan untuk menyebabkan kematian pada 50% dan 95% dari populasi serangga uji dalam periode tertentu. Semakin rendah nilai LC suatu insektisida, semakin tinggi toksisitasnya. Oleh karena itu, tingkat toksisitas suatu ekstrak dapat ditentukan berdasarkan nilai LC yang diperoleh. Berdasarkan nilai LC_{95} (Tabel 2), ekstrak buah sirih hutan *P. aduncum* memiliki toksisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan ekstrak ranting pacar cina *A. odorata*.

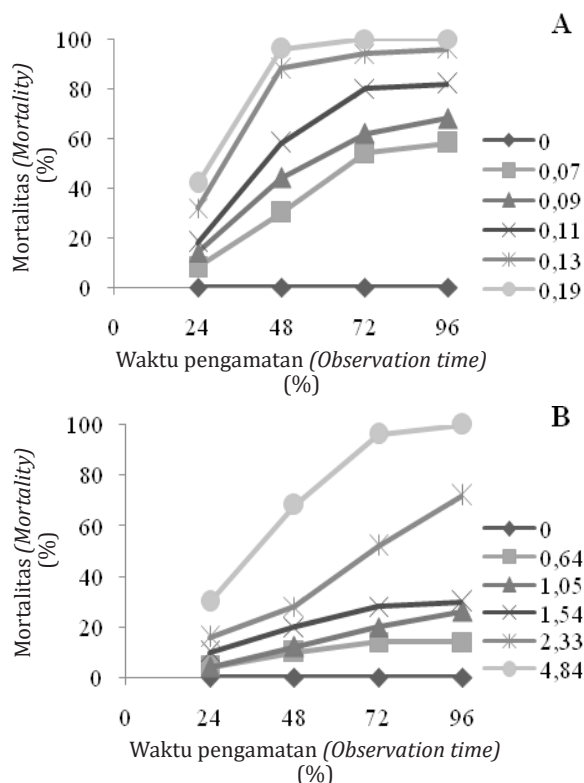
Tabel 1. Kategori penghambatan makan *Plutella xylostella*
Table 1. Feeding inhibition category of *Plutella xylostella*

Kategori penghambatan (Category of inhibition)	Penghambatan makan (Feeding inhibition) (%)
Kuat (Strong)	$PM \geq 80$
Sedang (Medium)	$60 \leq PM < 80$
Lemah (Weak)	$40 \leq PM < 60$
Sangat lemah (Very weak)	$0 < PM < 40$
Tidak ada penghambatan (No inhibition)	$PM = 0$

PM: penghambatan makan (feeding inhibition).

Aktivitas penghambatan makan

Ekstrak buah sirih hutan dan ranting pacar cina tidak hanya menyebabkan kematian pada ulat daun kubis, tetapi juga mampu menghambat aktivitas makannya. Hasil analisis menunjukkan bahwa ekstrak buah sirih hutan dan ranting pacar cina memiliki efek penghambatan makan terhadap larva ulat daun kubis pada semua tingkat konsentrasi yang diuji. Ekstrak buah sirih hutan menunjukkan penghambatan makan yang lebih tinggi dibandingkan dengan ekstrak ranting pacar cina. Pada konsentrasi 0,07%, ekstrak buah sirih hutan menghambat makan larva instar kedua ulat daun kubis hingga 96% dengan kategori penghambatan kuat,



Gambar 1. Perkembangan tingkat mortalitas larva *Plutella xylostella* pada perlakuan ekstrak HxPa (A) dan ekstrak MtAo (B)

Figure 1. Development of mortality rates of *Plutella xylostella* larvae under treatment with HxPa extract (A) and MtAo extract (B).

dan berbeda signifikan dengan konsentrasi 0,04% dan 0,06%, yang menunjukkan penghambatan sedang berdasarkan uji Tukey 5%. Ekstrak ranting pacar cina pada konsentrasi tertinggi (1,77%) menunjukkan penghambatan makan sebesar 96,09% dengan kategori penghambatan kuat, dan tidak berbeda signifikan dengan konsentrasi 0,83% dan 1,27% menurut uji Tukey 5% (Tabel 3). Persentase konsumsi daun perlakuan lebih rendah dibandingkan kontrol, menunjukkan bahwa meskipun serangga masih mengonsumsi daun, tetapi jumlahnya sangat sedikit. Perilaku makan daun berhenti setelah beberapa waktu, yang menunjukkan efek *antifeedant* sekunder.

PEMBAHASAN

Pengujian ekstrak buah sirih hutan *P. aduncum* menunjukkan toksisitas yang signifikan terhadap larva ulat daun kubis *P. xylostella*, sebagaimana ditunjukkan pada nilai LC_{50} dan LC_{95} . Mortalitas larva disebabkan oleh bahan insektisida dari ekstrak. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa ekstrak heksana buah sirih hutan efektif dan memiliki aktivitas insektisida yang kuat dalam menyebabkan mortalitas larva ulat daun kubis dengan masing-masing nilai LC_{50} sebesar 0,07% dan LC_{95} sebesar 0,14%. Hasil ini berbeda dengan penelitian Mendes et al. (2016) yang melaporkan ekstrak etil asetat buah sirih hutan pada konsentrasi 2% menyebabkan 100% mortalitas ulat krop kubis *C.*

Tabel 2. Penduga parameter regresi probit pada pengujian ekstrak HxPa dan MtAo terhadap mortalitas larva instar kedua *Plutella xylostella*

Table 2. Estimation of probit regression parameters in testing HxPa and MtAo extracts against mortality of second instar larvae of *Plutella xylostella*

Jenis ekstrak (Extract type)	Waktu pengamatan (Observation time) (JSP) ^a	a ^b ± GB ^d	b ^c ± GB ^d	LC ₅₀ ^e (SK ^f 95%) (%)	LC ₉₅ ^d (SK ^e 95%) (%)
<i>Piper aduncum</i>	24	6,94 ± 0,59	2,92 ± 0,64	0,21 (0,17–0,34)	0,79 (0,44–3,32)
	48	10,90 ± 0,75	5,76 ± 0,75	0,09 (0,08–0,10)	0,18 (0,15–0,28)
	72	11,27 ± 0,93	5,53 ± 0,91	0,07 (0,05–0,08)	0,15 (0,12–0,24)
	96	11,35 ± 0,99	5,53 ± 0,96	0,07 (0,05–0,07)	0,14 (0,12–0,17)
<i>Aglaia odorata</i>	24	3,40 ± 0,16	1,64 ± 0,44	10,55 (6,00–44,291)	120,81 (32,92–4048,77)
	48	3,87 ± 0,13	1,97 ± 0,36	3,50 (2,40–8,22)	20,85 (8,66–345,39)
	72	4,14 ± 0,12	2,82 ± 0,36	1,95 (1,27–3,85)	6,82 (3,58–111,10)
	96	4,27 ± 0,11	3,31 ± 0,38	1,63 (1,04–2,93)	4,71 (2,71–61,85)

JSP^a : jam setelah perlakuan (hours after treatment); a^b: Intercept garis regresi probit; b^c: kemiringan garis regresi probit (slope of the probit regression line); GB^d: galat baku (standard error); LC₅₀^e: lethal concentration; SK^f: selang kepercayaan (confidence interval).

Tabel 3. Pengaruh perlakuan ekstrak *Piper aduncum* dan *Aglaia moderator* terhadap penghambatan aktivitas makan larva *Plutella xylostella* dengan metode pilihan**Table 3.** Effect of HxPa and MtAo extracts on eating inhibition *Plutella xylostella* larvae using the choice test method

Jenis ekstrak (<i>Extract type</i>)	Konsentrasi (<i>Concentration</i>)	Penghambatan (<i>Inhibitor</i>) (%) $\pm$ SD ^a	Kriteria (<i>Criteria</i>)
<i>Piper aduncum</i> (HxPa)	LC ₁₅ (0,04)	68,24 $\pm$ 4,68 b	Sedang (<i>Medium</i>)
	LC ₃₅ (0,06)	74,65 $\pm$ 11,43 b	Sedang (<i>Medium</i>)
	LC ₅₅ (0,07)	95,08 $\pm$ 10,16 a	Kuat (<i>Strong</i>)
<i>Aglaia odorata</i> (MtAo)	LC ₁₅ (0,83)	90,55 $\pm$ 11,67 a	Kuat (<i>Strong</i>)
	LC ₃₅ (1,27)	91,78 $\pm$ 12,81 a	Kuat (<i>Strong</i>)
	LC ₅₅ (1,77)	96,09 $\pm$ 3,70 a	Kuat (<i>Strong</i>)

pavonana pada 72 JSP. Mahfud (2016) juga melaporkan bahwa nilai LC₅₀ dan LC₉₅ ekstrak metanol buah sirih hutan terhadap larva ulat daun kubis berturut-turut adalah 0,180% dan 0,268%. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh perbedaan pelarut yang digunakan. Selain bagian buah, daun dan batang sirih hutan juga telah diteliti sebagai sumber insektisida nabati. Ekstrak daun terbukti efektif dalam mengendalikan *Leptocoris oratorius* (Fabricius) (Hemiptera: Alydidae), dengan tingkat kematian mencapai 90% pada konsentrasi 75 g/l dan nilai LC₉₅ sebesar 10,1% (101 g/l), menunjukkan potensi toksisitas yang tinggi (Nugroho et al. 2020). Sementara itu, minyak astiri sirih hutan yang kaya akan senyawa dillapiol menunjukkan efektivitas tinggi terhadap nimfa kutu loncat jeruk *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) (mortalitas 90–100%) dan cukup efektif terhadap serangga dewasa pada aplikasi topikal dengan konsentrasi dillapiol $\geq$ 79,9% pada pelarutan 0,75–1% (Volpe et al. 2016). Berdasarkan perbandingan ini, dapat disimpulkan bahwa bagian buah sirih hutan menunjukkan aktivitas insektisida yang lebih kuat dibandingkan bagian tanaman lainnya. Rohimatun et al. (2023) menyatakan bahwa senyawa kimia yang paling melimpah dari ekstrak etil asetat buah sirih hutan adalah dillapiol (61,54%) dan memiliki nilai LC₅₀ untuk kumbang bubuk beras *Sitophilus oryzae* (Linnaeus) (Coleoptera: Curculionidae) dan kumbang *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) (Coleoptera: Chrysomelidae) dewasa betina sebesar 4,05% dan 0,17%, dan nilai LC₉₅ masing-masing adalah 16,40 dan 4,95%. Hasyim (2011), melaporkan bahwa ekstrak heksana sirih hutan dengan kandungan senyawa aktif utama dillapiol, menunjukkan aktivitas insektisida yang kuat terhadap larva instar kedua *C. pavonana*, yang pada konsentrasi 0.5% menyebabkan mortalitas 100% pada 24 JSP. Mekanisme kerja dillapiol diperkirakan mengganggu sistem saraf serangga melalui inhibisi enzim asetilkolinesterase, yang menjadi dasar toksisitasnya.

Dilapiola adalah senyawa arilpropanoid dengan berbagai sifat bioaktif, termasuk aktivitas insektisida (Taher 2020). Senyawa aktif dilapiola dalam buah sirih hutan memiliki cara kerja dan efektif dalam menghambat berbagai enzim pada serangga, termasuk asetilkolinesterase, esterase, dan glutathione S-transferase. Penghambatan ini mengganggu proses metabolisme normal dan menyebabkan kematian serangga (Fazolin 2021). Penghambatan enzim detoksifikasi sitokrom P450, yaitu enzim yang bertanggung jawab untuk memetabolisme dan mendetoksifikasi berbagai zat *xenobiotik* (Araújo et al. 2020), menyebabkan senyawa-senyawa minor yang terdapat dalam ekstrak sirih hutan *P. aduncum* dapat masuk ke bagian target pada serangga sehingga menyebabkan kematian pada serangga. Selain dillapiol, senyawa aktif lainnya yang terkandung dalam ekstrak sirih hutan, seperti β -Caryophyllene yang merupakan terpenoid, dapat mengganggu struktur dan fungsi membran sel serangga melalui peningkatan permeabilitas membran. Akibatnya, berbagai senyawa aktif, termasuk dillapiol, dapat masuk lebih mudah ke dalam sel dan bekerja lebih efektif meracuni serangga.

Di sisi lain, ekstrak metanol ranting pacar cina menyebabkan mortalitas larva ulat daun kubis dengan nilai LC₅₀ sebesar 1,63% dan LC₉₅ sebesar 4,71%. Ekstrak metanol ranting pacar cina dengan rokaglamida sebagai senyawa aktif utama dan turunannya, seperti desmethyl rocaglamide dan 3'-hydroxyrocaglamide (Sihai et al. 2004), juga menunjukkan toksisitas yang signifikan terhadap larva ulat daun kubis. Selain itu, daun dan ranting pacar cina diidentifikasi mengandung senyawa aktif *dammarane triterpen* dan *aminopyrrolidine bis-amides* (Yodsaoe et al. 2012) yang diketahui memiliki efek penghambatan makan yang kuat terhadap ulat grayak *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) (Magrini et al. 2015). Penelitian oleh Janprasert et al. (1993) berhasil mengidentifikasi senyawa aktif rokaglamida dari ranting pacar cina yang memiliki aktivitas insektisida. Rokaglamida juga telah diisolasi

dari empat berbagai bagian tanaman spesies *Aglaia* lainnya, yaitu akar dan batang *A. duppereana*, *A. elaeagnoidea*, dan *A. oligophylla* (Duong et al. 2014), serta ranting *A. duppereana*, buah *A. elliptica*, dan daun *A. harmsiana* (Nugroho et al. 1999).

Rokaglamida termasuk dalam kelas siklopenta-tetrahidrobenzofuran dan bekerja dengan mengganggu fisiologi serangga, yakni menghambat fungsi mitokondria sehingga menyebabkan kematian larva dengan cepat. Senyawa ini menunjukkan sifat insektisida yang kuat terhadap serangga dan dapat memengaruhi aktivitas biologi serangga (Ngo et al. 2021). Rokaglamide terutama bekerja dengan menghambat sintesis protein pada serangga. Hal ini dicapai dengan mengikat komponen faktor inisiasi translasi eukariotik 4A (eIF4A), sebuah helikase yang terlibat dalam penguraian struktur sekunder RNA selama fase inisiasi sintesis protein. Gangguan pada eIF4A ini mengganggu penerjemahan mRNA menjadi protein, yang sangat penting untuk berbagai proses fisiologis pada serangga. Dengan menghambat sintesis protein, rokaglamida memengaruhi pertumbuhan, perkembangan, dan reproduksi serangga. Hal ini menyebabkan keterlambatan perkembangan dan kelainan, yang pada akhirnya mengakibatkan kematian serangga (Obermann et al. 2023). Selain rokaglamida, pacar cina juga mengandung berbagai flavaglin lainnya, alkaloid piridin, terpenoid, dan flavonoid yang memiliki potensi sebagai insektisida.

Aktivitas kedua jenis ekstrak dapat diamati melalui parameter regresi probit, yang menggambarkan hubungan antara konsentrasi dan mortalitas larva uji *P. xylostella* (Tabel 2). Berdasarkan nilai LC_{95} , ekstrak hexana buah sirih hutan menunjukkan aktivitas yang lebih kuat dibandingkan dengan ekstrak metanol ranting pacar cina. Nilai kemiringan regresi (b) pada buah sirih hutan lebih tinggi dibandingkan dengan nilai regresi pada ranting pacar cina. Nilai ini mengindikasikan bahwa peningkatan konsentrasi dalam jumlah tertentu akan menyebabkan kematian lebih banyak pada serangga uji yang diberi perlakuan ekstrak hexana buah sirih hutan dibandingkan dengan ekstrak ranting pacar cina.

Selain bersifat toksik, ekstrak hexane sirih hutan dan ekstrak metanol pacar cina juga menunjukkan adanya aktivitas penghambatan makan larva ulat daun kubis. Pada konsentrasi tertinggi (LC_{55}) ekstrak buah sirih hutan dan ranting pacar cina menunjukkan kriteria penghambatan makan kuat, yaitu masing-masing sebesar 95,08% dan 96,09% pada 96 JSP. Persentase konsumsi daun perlakuan lebih rendah dibandingkan kontrol, menunjukkan bahwa meskipun serangga masih mengonsumsi daun, jumlahnya sangat

sedikit. Perilaku makan daun yang berhenti setelah beberapa waktu, menunjukkan adanya efek *antifeedant* sekunder. Hal ini menunjukkan bahwa serangga tetap mengonsumsi daun pakan meskipun dalam jumlah sangat sedikit. Efek penghambatan aktivitas makan serangga ikut menyumbang kematian serangga uji. Lina et al. (2023) melaporkan bahwa ekstrak buah sirih hutan menyebabkan penghambatan aktivitas makan larva ulat grayak jagung *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) 91,21% pada konsentrasi 0,17%. Penghambatan makan kemungkinan disebabkan oleh adanya kandungan senyawa aktif pada ekstrak tanaman yang bersifat *antifeedant*. Kandungan bahan aktif Piperaceae yang berperan sebagai penghambat makan adalah sesquiterpen, β caryofillen, limonen, dan kelompok piperamid, seperti piperin, pipericide, pelitorin, dan guineensin yang terkandung dalam minyak asirinya (Mendes et al. 2017; Rohimatun et al. 2023).

Kandungan serta jumlah senyawa metabolit sekunder dalam tanaman memiliki peran krusial dalam menentukan pilihan tanaman inang oleh serangga fitofag sebagai sumber makanannya. Salah satu isyarat utama yang membantu serangga menemukan makanan adalah karakteristik bau (odor). Serangga fitofag mampu mengenali senyawa kimia dari tanaman melalui reseptor sensorik, yaitu kemoreseptor, yang terletak pada antena, bagian mulut, dan tarsus (Sokolinskaya 2020). Saat reseptor kimia mendeteksi keberadaan senyawa *antifeedant* atau xenobiotik, serangga akan mengirimkan sinyal ke sistem saraf pusat. Sinyal tersebut membawa informasi bahwa senyawa tersebut tidak cocok atau berpotensi berbahaya. Respons dari sistem saraf pusat ini dapat langsung memengaruhi refleksi makan, menyebabkan serangga menghentikan aktivitas menggigit atau mengunyah makanannya (Carmen et al. 2023; Díaz et al. 2023). Efek kombinasi antara toksisitas langsung dan penghambatan makan berkontribusi terhadap kematian serangga uji.

Penelitian ini menunjukkan bahwa ekstrak heksana sirih hutan *P. aduncum* dan ekstrak methanol pacar cina *A. odorata* berpotensi sebagai insektisida nabati yang efektif dalam mengendalikan ulat daun kubis. Dengan tingkat mortalitas yang tinggi dan efek penghambatan makan yang signifikan, keduanya dapat menjadi alternatif ramah lingkungan untuk menggantikan insektisida sintetis yang telah menyebabkan resistensi pada hama. Aplikasinya dalam sistem pertanian berkelanjutan dan manajemen hama terpadu (IPM) berpotensi mengurangi dampak negatif akibat penggunaan insektisida sintetis yang kurang bijaksana terhadap lingkungan serta menjaga keseimbangan ekosistem pertanian. Selain itu, penelitian ini membuka

peluang pengembangan dan komersialisasi insektisida nabati sebagai solusi yang lebih aman bagi petani dan konsumen.

KESIMPULAN

Ekstrak heksana sirih hutan *P. aduncum* memiliki toksisitas terhadap larva ulat daun kubis *P. xylostella* lebih tinggi dibandingkan dengan ekstrak metanol pacar cina *A. odorata* sebagaimana ditunjukkan oleh nilai LC_{50} dan LC_{95} . Nilai LC_{50} dan LC_{95} ekstrak heksana buah sirih hutan masing-masing sebesar 0,07% dan 0,14%, sedangkan ekstrak metanol ranting pacar cina masing-masing sebesar 1,63% dan 4,72%. Selain itu, ekstrak heksana buah sirih hutan pada konsentrasi 0,07% dan ekstrak metanol ranting pacar cina pada konsentrasi 1,77% menunjukkan aktivitas penghambatan makan kuat terhadap ulat daun kubis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Pembiayaan Pendidikan Tinggi (BPPT) Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (Kemendikbudristek) serta Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) atas dukungan pendanaan studi melalui Beasiswa Pendidikan Indonesia (BPI) tahun 2021. Selain itu, penulis juga menyampaikan apresiasi kepada Sdr. Prayogo Probo Asmoro dan Sdr. Melia Agustin atas bantuan dan dukungan mereka selama pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [APRD] Arthropod Pesticide Resistance Database. Arthropod Pesticide Resistance Database, Michigan State University. *Arthropod Pestic Resist Database, Michigan State Univ.* <https://www.pesticideresistance.org/>. [accessed 7 July 2023].
- Agarwal G, Chang LS, Soejarto DD, Kinghorn AD. 2021. Update on phytochemical and biological studies on rocaglate derivatives from *Aglaia* species. *Planta Medica*. 87:937–948. DOI: <https://doi.org/10.1055/a-1401-9562>.
- Anggraini M. 2019. *Aktivitas Insektisida Campuran Ekstrak Buah Piper aduncum, Buah Sapindus rarak, dan Daun Tephrosia vogelii terhadap Larva Plutella xylostella (L.) (Lepidoptera: Plutellidae)*. Tesis. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Anggraini D, Rustam R. 2023. Efektivitas ekstrak daun sirih hutan (*Piper aduncum* L.) dengan pelarut organik dalam mengendalikan ulat grayak jagung (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith) di laboratorium. *Jurnal Agroteknologi*. 13:77–84. DOI: <https://doi.org/10.24014/ja.v13i2.17600>.
- Araújo MJC, Camara CAG, Moraes MM, Born FS. 2020. Insecticidal properties and chemical composition of *Piper aduncum* L., *Lippia sidoides* Cham. and *Schinus terebinthifolius* Raddi essential oils against *Plutella xylostella* L. *Anais de Academia Brasileira de Ciencias*. 92:e20180895. DOI <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020180895>.
- Basana IR, Prijono D. 1994. Insecticidal activity of *Aqueous* seed extracts of four species of *Annona* (Annonaceae) against cabbage head caterpillar, *Crociodolomia binotalis* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). *Buletin Hama dan Penyakit Tumbuhan*. 7:50–60.
- Batan A, Simanjuntak P, Barong Tongkok J. 2018. Isolasi senyawa kimia aktif antioksidan dari fraksi etil asetat daun sirih hutan (*Piper aduncum* L.) Isolation of chemical active compounds antioxidant from ethyl acetate fraction of betel leaf forest (*Piper aduncum* L.). *Jurnal Atomik*. 3:83–90.
- Bernays EA CR. 1994. *Host-Plant Selection by Phytophagous Insects*. New York: Chapman & Hall. DOI: <https://doi.org/10.1007/b102508>.
- Cossolin JFS, Pereira MJB, Martínez LC, Turchen LM, Fiaz M, Bozdoğan H, Serrão JE. 2019. Cytotoxicity of *Piper aduncum* (Piperaceae) essential oil in brown stink bug *Euschistus heros* (Heteroptera: Pentatomidae). *Ecotoxicology*. 28:763–770. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-019-02072-8>.
- Carmen ED, Braulio MF, Adriana G, Portero IB, Carmen López-Balboa, Liliana Ruiz-V, Azucena González-Coloma. 2023. Insect antifeedant Benzofurans from *Pericallis* species. *Molecules*. 28:975–993. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28030975>.
- Dadang. 2023. *Pengembangan Insektisida Nabati untuk Pertanian*. Bogor: IPB Press.
- Díaz CE, Fraga BM, G Portero A, Brito I, López-Balboa C, Ruiz-Vásquez L, González-Coloma A. 2023. Insect antifeedant benzofurans from *Pericallis* species. *Molecules*. 28:975–994. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28030975>.
- Durofil. 2021. *Piper aduncum* essential oil: A promising insecticide, acaricide and antiparasitic . A review. 28:42. DOI: <https://doi.org/10.1051/parasite/2021040>.
- Duong NT, Edrada-Ebel R, Ebel R. 2014. New rocaglamide derivatives from Vietnamese *Aglaia* species. *Natural Product Communications*. 9:833–834. DOI: <https://doi.org/10.1177/1934578X1400900627>.
- Fazolin M, Monteiro AFM, Bizzo HR, Gama PE, Viana LO, Lima MÉC. 2021. Insecticidal activity of *Piper aduncum* oil: Variation in dillapiole content and chemical and toxicological stability during storage. *Acta Amazonica*. 52: 179–188. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4392202102292>.
- Hasyim DM. 2011. *Potensi Buah Sirih Hutan (Piper aduncum) sebagai Insektisida Botani terhadap Larva Crocidolomia pavonana*. Tesis. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Janprasert J, Isman B, Wiriayachitra P, Towers G. 1993. Rocaglamide, a natural benzofuran insecticide from *Aglaia odorata*. *Journal of Phytochemistry*. 32:67–69. DOI: [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(92\)80108-Q](https://doi.org/10.1016/0031-9422(92)80108-Q).
- Kotta NRE, Trisyono YA, Wijonarko A. 2018. Resistance level of *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) on Cypermethrin in the Regency of Kupang. *Jurnal Perlindungan Tanam Indonesia*. 22:186–192. DOI: <https://doi.org/10.22146/jpti.24750>.
- Lina EC, Hidayatullah MS, Reflin R, Nelly N. 2023. The activity of spiked pepper fruit essential oil against fall

- armyworm larvae. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1228:012001. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1228/1/012001>.
- Machado BB, Orue JPM, Arruda MS, Santos CV, Sarath DS, Goncalves WN, Silva GG, Pistori H, Roel AR, Rodrigues-Jr JF. 2016. BioLeaf: A professional mobile application to measure foliar damage caused by insect herbivory. *Comput Electron Agric*. 129:44–55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.09.007>.
- Magrini FE, Specht A, Gaio J, Girelli CP, Miguez I, Heinzen H, Cesio V. 2015. Antifeedant activity and effects of fruits and seeds extracts of *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. (Meliaceae) on the immature stages of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Industrial Crops and Products*. 65:150–158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.032>.
- Mahfud RI. 2016. *Formulasi Ekstrak Tanaman Aglaia odorata dan Piper aduncum Untuk Pengendalian Ulat Krop Kubis Crocidolomia pavonana (F) (Lepidoptera: Crambidae)*. Tesis. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Mendes JAD, Ratna ES. 2017. Efek mortalitas dan penghambatan makan beberapa ekstrak tumbuhan asal Kabupaten Merauke, Papua terhadap larva *Crocidolomia pavonana* (F) (Lepidoptera: Crambidae). *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika*. 16:107–114. DOI: <https://doi.org/10.23960/j.hptt.216107-114>.
- Mokodompit TA, Koneri R, Siahaan P, Tangapo AM. 2013. Uji ekstrak daun *Tithonia diversifolia* sebagai penghambat daya makan *Nilaparvata lugens* Stal. pada *Oryza sativa* L. *Jurnal Bioslogos*. 3:50–56. DOI: <https://doi.org/10.35799/jbl.3.2.2013.4430>.
- Morais VP, Cabral FV, Fernandes CC, Miranda MLD. 2023. Brief review on *Piper aduncum* L., its bioactive metabolites and its potential to develop bioproducts. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 66:1–11. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2023220314>.
- Ngo NTN, Ngan D, Le H, Nguyễn LT, Trinh B, Nguyen H, Pham D, Dang S, Nguyen Lien-Hoa. 2021. Chemical constituents of *Aglaia elaeagnoides* and *Aglaia odorata* and their cytotoxicity. *Natural Product Research*. 36:1–9. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786419.2021.1893723>.
- Nugroho BW, Edrada RA, Wray V, Witte L, Bringmann G, Gehling M, Proksch P. 1999. An insecticidal rocaglamide derivatives and related compounds from *Aglaia odorata* (Meliaceae). *Phytochemistry*. 51:367–376. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(98\)00751-1](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(98)00751-1).
- Nugroho LH, Pratiwi R, Soesilohadi RCH, Subin ER, Wahyuni S, Hartini YS, Lailaty IQ. 2020. Repellent activity of Piper spp. leaves extracts on rice ear bugs (*Leptocoris oratorius* Fabricius) and the characters of its volatile compounds. *Annual Research & Review in Biology*. 35:34–45. DOI: <https://doi.org/10.9734/arrb/2020/v35i930269>.
- Obermann W, Azri MFD, Konopka L, Schmidt N, Magari F, Sherman J, Silva LMR, Hermosilla C, Ludewig AH, Houhou H, et al. 2023. Broad anti-pathogen potential of DEAD box RNA helicase eIF4A-targeting rocaglates. *Scientific Reports*. 13:1–15. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35765-6>.
- Prijono D, Syahputra E, Sudarmo, Nugroho BW, Simanjuntak P. 2006. Aktivitas lima jenis insektisida alami terhadap ulat krop kubis *Crocidolomia binotalis* Zeller. In: *Prosiding Seminar Nasional III. Pengelolaan Serangga yang Bijaksana Menuju Optimalisasi Produksi*. (Bogor, 6 Nov 2001). pp. 72–82. Bogor: Perhimpunan Entomologi Indonesia.
- Rohimatun, Aisyah M, Puspasari L, Rusmin D. 2023. Toxicity and chemical compounds of *Piper aduncum* fruit extract against storage pest *Sitophilus oryzae* and *Callosobruchus maculatus*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1253:1–9. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1253/1/012001>.
- 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*. 2:7–14. DOI: <https://doi.org/10.24198/cs.v2i1.22299>.
- Salehi B, Zakaria ZA, Gyawali R, Ibrahim SA, Rajkovic J, Shinwari ZK, Khan T, Sharifi-Rad J, Ozleyen A, Turkdonmez E, et al. 2019. Piper species: A comprehensive review on their phytochemistry, biological activities and applications. *Molecules*. 24:1364–1482. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24071364>.
- Sokolinskaya E, Kolesov D, Lukyanov K, Bogdanov A. 2020. Molecular principles of insect chemoreception. *Acta Naturae*. 12:81–91. DOI: <https://doi.org/10.32607/actanaturae.11038>.
- Taher M, Amri MS, Susanti D, Abdul Kudus MB, Md Nor NFA, Syukri Y. 2020. Medicinal uses, phytochemistry, and pharmacological properties of *Piper aduncum* L. *Sains Malaysiana*. 49:1829–1851. DOI: <https://doi.org/10.17576/jsm-2020-4908-07>.
- Volpe HXL, Fazolin M, Garcia RB, Magnani RF, Barbosa JC, de Miranda MP. 2016. Efficacy of essential oil of *Piper aduncum* against nymphs and adults of *Diaphorina citri*. *Pest Management Science*. 72:1242–1249. DOI: <https://doi.org/10.1002/PS.4143>.
- Tarwotjo U. 2012. Pengaruh ekstrak daun dan ranting *Aglaia odorata* terhadap parasitasi dan enkapsulasi *Eriborus argenteopilosus* pada inangnya, *Crocidolomia binotalis*. *Jurnal Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*. 11:64–68. DOI: <https://doi.org/10.14710/bioma.11.2.64-68>.
- Wahyuni D, Loren I. 2015. Perbedaan toksisitas ekstrak daun sirih (*Piper betle* L.) dengan ekstrak biji srikaya (*Annona squamosa* L.) terhadap larva nyamuk *Aedes aegypti* L. *Jurnal Saintifika*. 17:38–48.
- Wang R, Fang Y, Zhang J, Wang J, Feng H, Luo C. 2021. Characterization of field-evolved resistance to pyridalyl in a near-isogenic line of diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Pest Management Science*. 10:1–27. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.6129>.
- Yodsaoe O, Sonprasit J, Karalai C, Ponglimanont C, Tewtrakul S, Chantrapromma S. 2012. Diterpenoids and triterpenoids with potential anti-inflammatory activity from the leaves of *Aglaia odorata*. *Phytochemistry*. 76:83–91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2012.01.015>.
- Yang Sihai, Zeng Shuiyun, Zheng Lieshen. 2004. Insecticidal active constituents from twig of *Aglaia odorata*. *Journal Chinese Traditional and Herbal Drugs*. 11: 1207–1211.