

Potensi Gingerol Dalam Estrak Jahe Emprit (*Zingiber officinale* var. *amarum*) sebagai Biopestisida Pengendali Ulat Kroksi (*Crocidolomia pavonana*)

Potential of Gingerol in Emprit Ginger Extract (*Zingiber officinale* var. *amarum*) as a Biopesticide to Control Caterpillars (*Crocidolomia pavonana*)

Tathe Surya Ananda, Maria Marina Herawati, Ruth Meike Jayanti*

Agroteknologi, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, Jawa Tengah, Indonesia

*Penulis korespondensi: ruth.jayanti@uksw.edu

Received December 2025, Accepted April 2026, Published April 2026

ABSTRAK

Crocidolomia pavonana merupakan hama utama perusak tanaman Brassicaceae seperti kubis, sawi dan brokoli. Penggunaan pestisida sintetik secara terus-menerus dapat menyebabkan resistensi hama. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi toksisitas akut dan potensi ekstrak Jahe Emprit (*Zingiber officinale* var. *amarum*) yang kaya kandungan gingerol sebagai biopestisida nabati terhadap larva instar 3 hama *Crocidolomia pavonana*, yang merupakan salah satu hama utama pada tanaman Brassicaceae. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode eksperimental dengan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan menggunakan empat perlakuan konsentrasi ekstrak, yaitu 2%, 4%, 6%, dan 8%, serta digunakan kontrol negatif berupa akuades dan kontrol positif pestisida Fenite 150 OD. Analisis kandungan senyawa aktif gingerol pada ekstrak dilakukan dengan *High-Performance Liquid Chromatography* (HPLC). Ekstrak uji mortalitas dilakukan untuk mengetahui *Lethal Time 50* dan *Lethal Concentration 50* melalui metode *Topical Application*. Hasil analisis HPLC bioaktif senyawa gingerol menunjukkan kadar tinggi sebesar 8,082 µg/mL. Uji mortalitas menunjukkan adanya peningkatan mortalitas larva secara signifikan seiring dengan kenaikan konsentrasi dan lamanya paparan. Nilai (LC50) tercatat sebesar 4,52%, menunjukkan bahwa ekstrak memiliki potensi toksisitas akut yang cukup tinggi. Namun, berdasarkan nilai (LT50) sebesar 60,26 jam (±2,5 hari), ekstrak ini termasuk ke dalam kategori insektisida dengan mekanisme kerja lambat, yang merupakan karakteristik khas metabolit sekunder nabati. Konsentrasi ekstrak yang paling efisien, yaitu 8%, mampu menghasilkan mortalitas hingga 70% dan efikasi 66,70% setelah 72 jam perlakuan. Kebaruan penelitian ini adalah penggunaan ekstrak jahe terstandarisasi dengan verifikasi kandungan gingerol melalui HPLC sebagai dasar pengembangan biopestisida, memberikan alternatif pengendalian hama yang berkelanjutan, serta mendukung praktik pertanian ramah lingkungan.

Kata kunci: *Gingerol; Crocidolomia pavonana; biopestisida; topical application; HPLC*

ABSTRACT

Crocidolomia pavonana is a major pest that damages Brassicaceae plants such as cabbage, mustard greens, and broccoli. Continuous use of synthetic pesticides can cause pest resistance. This study aims to evaluate the acute toxicity and potential of Jahe Emprit (*Zingiber officinale* var. *amarum*) extract which is rich in gingerol as a botanical biopesticide against the third instar larvae of *Crocidolomia pavonana*, which is one of the main pests of Brassicaceae plants. This study was conducted using an experimental method with a Randomized Block Design (RBD) using four extract concentration treatments, namely 2%, 4%, 6%, and 8%, and used a negative control in the form of distilled water and a positive control pesticide Fenite 150 OD. Analysis of the active compound gingerol in the extract was carried out using High-Performance Liquid Chromatography (HPLC). The extract mortality test was carried out to determine *Lethal Time 50* and *Lethal Concentration 50* through the *Topical Application* method. The results of HPLC analysis of the bioactive gingerol compound showed a high level of 8.082 µg/mL. Mortality tests showed a significant increase in larval mortality along with increasing concentration and duration of exposure. The (LC50) value was recorded at 4.52%, indicating that the extract has a fairly high potential for acute toxicity. However, based on the (LT50) value of 60.26 hours (±2.5 days), this extract is included in the category of insecticides with a slow-acting mechanism, which is a typical characteristic of plant secondary metabolites. The most efficient extract concentration, namely 8%, was able to produce mortality of up to 70% and efficacy of 66.70% after 72 hours of treatment. The novelty of this research is the use of standardized

ginger extract with verification of gingerol content through HPLC as a basis for biopesticide development., providing an alternative for sustainable pest control, and supporting environmentally friendly agricultural practices.

Keywords: *Gingerol; Crocidolomia pavonana; biopesticide; topical application; HPLC*

PENDAHULUAN

Crocidolomia pavonana (ulat kroksi) merupakan hama utama yang sangat merusak pada tanaman famili Brassicaceae seperti kubis, sawi, dan brokoli, dengan potensi kehilangan hasil hingga 79,81% apabila tidak dikendalikan secara efektif (Witri & Purnomo, 2021; Latifatuzzahro' *et al.*, 2025). Sifatnya yang polifag dan adaptif, serta siklus hidup agresif dengan fase instar 3 sebagai tahap paling destruktif, menyebabkan kerusakan serius pada titik tumbuh dan daun muda (Sinyong *et al.*, 2023). Kondisi ini mendorong ketergantungan petani pada pestisida sintetik seperti klorpirifos, emamektin benzoat, glifosat, karbofuran, dan paraquat yang efektif secara cepat, namun penggunaan berkelanjutan memicu risiko kesehatan, pencemaran lingkungan, resistensi hama, dan resurgensi populasi (Dono *et al.*, 2018; Mulyati, 2020; Sinyong *et al.*, 2023). Situasi ini menegaskan adanya kesenjangan antara kebutuhan pengendalian hama yang efektif dan aman dengan praktik lapangan yang masih didominasi pendekatan kimia berisiko, sehingga diperlukan pergeseran menuju strategi yang lebih aman dan berkelanjutan.

Sebagai respons terhadap dampak dominasi pestisida sintetik dan untuk mendorong praktik pertanian ramah lingkungan, biopestisida berbahan nabati kini menjadi alternatif yang semakin relevan dan prospektif. Biopestisida memiliki keunggulan karena lebih aman bagi organisme non-target, mudah terdegradasi, dan mendukung keberlanjutan pertanian jangka panjang (Dalimunthe & Rachmawan, 2017; Nuraida & Hariani, 2022). Salah satu sumber potensial adalah Jahe Emprit (*Zingiber officinale* var. *amarum*), yang rimpangnya mengandung minyak atsiri dan senyawa bioaktif seperti zingiberene, gingerol, dan shogaol dengan aktivitas toksik dan antifeedant terhadap serangga hama (Handrianto, 2016; Mahboubi, 2019; Sinha & Ray, 2024a). Senyawa fenolik utama jahe, khususnya gingerol (6-, 8-, dan 10-gingerol), merupakan komponen dominan pada jahe segar dan dilaporkan memiliki aktivitas insektisidal terhadap hama ulat seperti *Spodoptera litura*, *S. exigua*, dan *S. frugiperda* (Keosaeng *et al.*, 2023; Mao *et al.*, 2019).

Mekanisme aksi ini diperkirakan melibatkan gangguan serius pada sistem fisiologis hama, mencakup kerusakan pada sistem pencernaan, sistem saraf, dan inhibisi aktivitas makan. Bukti empiris dari penelitian terdahulu semakin memperkuat potensi ini, dengan adanya laporan bahwa ekstrak jahe pada konsentrasi tertentu, mampu menyebabkan mortalitas pada serangga target dalam kurun waktu 48 jam (Rassami *et al.*, 2016). Namun demikian, meskipun potensi jahe sudah teruji pada beberapa

jenis hama, penelitian spesifik yang berfokus pada efektivitas ekstrak Jahe Emprit (*Zingiber officinale* var. *amarum*) terhadap mortalitas *Crocidolomia pavonana* masih sangat terbatas. Keterbatasan tersebut menegaskan perlunya kajian lebih mendalam untuk mengukur hubungan antara konsentrasi ekstrak dan waktu perlakuan hingga tercapai toksisitas maksimum, serta mekanisme aksi molekuler senyawa bioaktif jahe emprit dalam pengendalian hama.

Penelitian ini dirancang untuk menjembatani kesenjangan ilmiah dan kebutuhan lapangan dengan menghadirkan kebaruan dalam pengendalian hama ramah lingkungan, melalui pengujian toksisitas ekstrak Jahe Emprit terhadap *Crocidolomia pavonana* sebagai kandidat biopestisida yang ilmiah dan dapat dipertanggungjawabkan. Penelitian ini mendukung pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya SDG 2 (*Zero Hunger*) melalui pengurangan kehilangan hasil panen, SDG 12 (*Responsible Consumption and Production*) dengan menekan penggunaan pestisida kimia berisiko, SDG 13 (*Climate Action*) melalui praktik pertanian berjejak karbon rendah, serta SDG 15 (*Life on Land*) dengan menjaga keanekaragaman hayati dan ekosistem darat. Fokus penelitian diarahkan pada pengukuran parameter utama LC₅₀ dan LT₅₀ untuk menentukan dosis dan kecepatan toksisitas, serta evaluasi respons hama dan penentuan konsentrasi ekstrak yang paling efektif dan efisien dalam meningkatkan mortalitas.

Penelitian ini dirancang dengan kerangka kerja yang terstruktur untuk menguji potensi ekstrak Jahe Emprit sebagai biopestisida. Tiga pertanyaan krusial menjadi fokus utama yaitu (1) Penentuan tingkat toksisitas ekstrak *Zingiber officinale* var. *amarum* terhadap *Crocidolomia pavonana* melalui nilai LC₅₀ dan LT₅₀. (2) Analisis mortalitas hama untuk memahami bagaimana efektivitas ekstrak berubah seiring waktu. (3) Identifikasi konsentrasi optimum yang mampu memberikan efektivitas tertinggi. Hasil akhir dari kajian ini diharapkan dapat menyediakan dasar ilmiah yang kuat untuk formulasi biopestisida berbasis Jahe Emprit sebagai solusi pengendalian hama jangka panjang yang mendukung praktik pertanian berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian dimulai pada bulan Agustus hingga November tahun 2025 dengan pengambilan larva *Crocidolomia pavonana* di Desa Kopeng, Kecamatan Getasan, Kabupaten Semarang. Proses ekstraksi jahe emprit dilakukan di Laboratorium Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana (UKSW), sementara pengujian efektivitas

ekstrak jahe terhadap larva *Crocidolomia pavonana* dilaksanakan di Laboratorium Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian dan Bisnis, Universitas Kristen Satya Wacana (UKSW)

Jenis dan Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan Rancangan Acak Kelompok (RAK) menggunakan satu faktor perlakuan, yaitu terdiri dari ekstrak jahe dengan konsentrasi 2%, 4%, 6%, 8%, kontrol negatif menggunakan aquades, dan kontrol positif menggunakan pestisida Fenite 150 OD. Masing-masing kelompok diulang sebanyak empat kali, dan setiap ulangan terdiri dari 10 ekor larva sebagai unit sampel yang ditotal membutuhkan 240 ekor larva.

Koleksi dan Perbanyakan

Pengambilan sampel larva *Crocidolomia pavonana* dilakukan di sentra produksi kubis, yaitu Desa Kopeng Kecamatan Getasan, Kabupaten Semarang. Larva dikoleksi dari tanaman yang menunjukkan gejala serangan. Identifikasi larva *Crocidolomia pavonana* di lapangan umumnya dilakukan melalui ciri morfologisnya, yaitu larva berwarna hijau dengan kepala gelap dan garis longitudinal pucat di setiap sisi tubuh yang tampak jelas pada instar lanjut, serta ukuran tubuh yang semakin besar mengikuti perkembangan instar (Paat & Pelealu, 2020). Larva yang terkumpul disimpan dalam toples berisi potongan daun kubis dan ditutup kain kasa untuk menjaga ventilasi dan mencegah larva keluar.

Ekstraksi Jahe Emprit

Jahe emprit dibersihkan, dipotong kecil, dan dikeringkan dalam oven pada suhu 49–55 °C, kemudian kadar air simplisia diukur menggunakan *moisture analyzer*. Simplisia kering menggunakan menjadi serbuk menggunakan *grinder*, lalu diekstraksi melalui metode maserasi dengan 500 mL etanol 60% selama 24 jam untuk setiap 100 g sampel. Setelah maserasi, campuran disaring untuk memisahkan ampas dari maserat, menghasilkan ekstrak kasar yang kemudian dipekatkan menggunakan *rotary evaporator* pada suhu 70–100 °C. Residu hasil evaporasi ditimbang, dilarutkan dalam metanol pada labu takar, disonikasi selama 10 menit, diencerkan hingga tanda batas, dan disaring menggunakan membran nylon 0,45 µm sebelum dimasukkan ke dalam vial untuk analisis. Pemisahan gingerol dan shogaol dari ekstrak *Zingiber officinale* dilakukan menggunakan sistem HPLC dengan kolom C18 dan detektor UV-Vis, di mana chromatogram diukur pada panjang gelombang 280 nm untuk kuantifikasi kandungan bioaktif tersebut mengacu pada metode analisis yang telah dilaporkan sebelumnya (Satapathy *et al.*, 2025).

Sistem elusi menggunakan elusi isokratik dengan pelarut asam asetat dan asetonitril, suhu kolom diatur pada 30 °C, dan volume 20 µL aliquot

disuntikkan ke loop injektor dengan laju alir 1 mL/menit. Untuk standar [6]-gingerol (Biopurify, China) senyawa ditimbang, dilarutkan dalam metanol menjadi larutan stok 1000 mg/L, diencerkan menjadi 500 ppm, difiltrasi 0,45 µm, dan disimpan pada 4 °C hingga digunakan untuk penentuan waktu retensi tunggal. Data kromatogram disimpan untuk dianalisis lebih lanjut.

Uji Mortalitas dan Efikasi Biopestisida Jahe Emprit

Uji mortalitas dilakukan untuk mengukur kematian larva *Crocidolomia pavonana* akibat paparan ekstrak. Larutan ekstrak jahe yang dilarutkan dalam aquades steril diaplikasikan langsung pada larva instar tiga menggunakan metode Topical Application, yakni meneteskan 2 µL ekstrak jahe ke bagian ventral toraks. Pengamatan kematian dilakukan setiap hari selama 3 hari dan diamati tiap 24 jam.

Penelitian ini terdiri dari empat konsentrasi ekstrak jahe emprit (2%, 4%, 6%, 8%) serta kontrol positif (Fenite 150 OD) dan negatif (Aquades). Setiap perlakuan memiliki empat ulangan, masing-masing berisi 10 larva. Data mortalitas digunakan untuk menentukan LC50 dan LT50. Larva dianggap mati bila tidak merespons sentuhan, tubuh lemas, berwarna coklat kehitaman, atau mengalami lisis. Jika terdapat kematian pada kontrol, nilai mortalitas dapat dikoreksi dengan rumus Abbott dalam literatur (Damayanti *et al.*, 2013).

$$M = \frac{a}{b} \times 100\%$$

Keterangan:

M : Persentase mortalitas (%)

A : Jumlah larva *Crocidolomia pavonana* yang mati

B : Total jumlah larva yang digunakan

$$\%MT = \frac{X - Y}{X} \times 100\%$$

Keterangan:

MT : Mortalitas terkoreksi

X : Jumlah serangga yang hidup pada kontrol

Y : Jumlah serangga yang hidup

Perubahan morfologi diamati setelah dilakukannya pengaplikasian ekstrak jahe pada larva dalam memperoleh data mortalitas. Perubahan morfologi diamati 1 hari sekali hingga hari ke 3 yang kemudian hasil data pengamatan tersebut dijelaskan secara kualitatif. Perubahan yang diamati berupa bentuk dan warna larva *Crocidolomia pavonana*.

Setelah itu uji efikasi dilakukan bersamaan dengan uji mortalitas, dengan menghitung jumlah larva yang mati selama 3 hari setelah aplikasi. Nilai efikasi dihitung menggunakan rumus yang membandingkan jumlah larva hidup pada perlakuan dan kontrol sebelum dan sesudah aplikasi.

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

Keterangan:

- Ta : Jumlah larva perlakuan yang masih hidup setelah aplikasi
- Tb : Jumlah larva perlakuan yang hidup sebelum aplikasi
- Ca : Jumlah larva pada kontrol yang masih hidup setelah aplikasi
- Cb : Jumlah larva pada kontrol yang hidup sebelum aplikasi

Analisis Data

Data tingkat kematian larva yang diperoleh dari hasil pengamatan selanjutnya dianalisis menggunakan uji ANOVA (Analisis Varians). Uji ini bertujuan untuk menentukan apakah terdapat perbedaan yang bermakna antara kelompok perlakuan dan kelompok kontrol. Apabila ANOVA menunjukkan hasil yang signifikan, maka analisis dilanjutkan dengan uji lanjutan Tukey (BNJ) untuk membandingkan rata-rata seluruh perlakuan, yaitu empat konsentrasi ekstrak jahe 2%, 4%, 6%, dan 8%, serta kontrol positif dan negatif yang menggunakan pestisida komersial Fenite 150 dan aquades steril. Seluruh proses analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS dengan tingkat kepercayaan 95% sesuai pada literatur sebelumnya (Dwiyanti & Salbiah, 2022).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi larva *Crociodolomia pavonana* di lahan sentra kubis dapat dilakukan melalui morfologi tubuhnya yang khas, yakni tubuh berwarna hijau dengan kepala hitam pada instar awal yang kemudian menunjukkan garis longitudinal berwarna lebih terang pada sisi tubuh dan permukaan tubuh ditutupi rambut halus, serta ukuran instarnya meningkat dari instar pertama ke keempat sesuai tahap perkembangan (Paat & Pelealu, 2020). Hama ini merupakan hama utama pada tanaman kubis yang mampu menyebabkan kerusakan daun secara parah akibat aktivitas makannya yang dapat pada (Gambar 1). Kerusakan oleh aktivitas hama dapat dilihat dari bentuk daun yang berlubang lubang baik itu yang berumur muda sampai yang bisa dipanen. Pada tingkat serangan yang tinggi, hama ini dapat merusak hampir setengah luas pertanaman, sehingga menurunkan kualitas tanaman, dan potensi hasil panen petani.

Hasil analisis ekstrak jahe emprit menggunakan instrumen High Performance Liquid Chromatography (HPLC) menunjukkan bahwa ekstrak ini mengandung gingerol pada konsentrasi yang cukup tinggi, yakni 8,082 µg/mL (8,08 mg/mL). Temuan ini menegaskan bahwa gingerol merupakan komponen bioaktif dominan dalam ekstrak tersebut. Kadar gingerol yang tinggi ini berkaitan erat dengan proses pengeringan simplisia yang dilakukan pada suhu rendah (40–55°C), sehingga mencegah terjadinya degradasi termal yang biasanya mengonversi gingerol menjadi shogaol atau zingerone. Proses pengeringan bersuhu

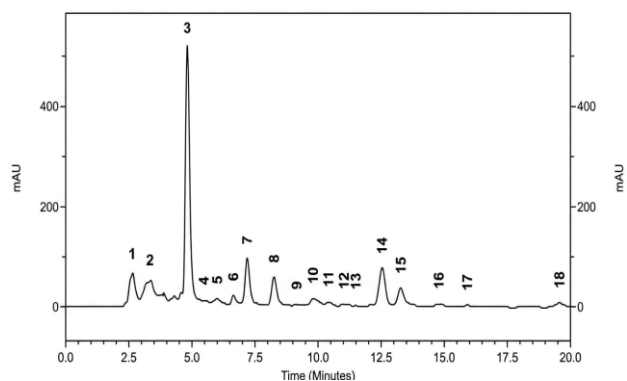
rendah ini memiliki peran penting karena gingerol termasuk senyawa fenolik yang sensitif terhadap panas dan mudah mengalami perubahan struktur kimia bila terpapar suhu tinggi dalam durasi lama.



Gambar 1. Kerusakan Tanaman Kubis oleh *Crociodolomia pavonana* di Lahan Sentra Kubis Desa Kopeng.

Temuan ini sejalan dengan beberapa penelitian yang menunjukkan bahwa selama pengeringan rimpang jahe dengan suhu moderat sekitar 50 °C dapat mempertahankan sebagian besar kandungan 6-gingerol, sementara suhu lebih tinggi (≥60 °C) cenderung menyebabkan degradasi termal dan konversi gingerol menjadi shogaol yang lebih tinggi, sehingga suhu rendah sampai sedang lebih optimal untuk mempertahankan gingerol asli (Hartono *et al.*, 2025; Zagórska *et al.*, 2022). Hal ini menunjukkan bahwa metode pengeringan yang diterapkan dalam penelitian ini efektif dalam menjaga stabilitas dan integritas gingerol, sehingga ekstrak jahe emprit tetap kaya akan senyawa aktif yang mendukung potensi biologisnya, misalnya sebagai agen insektisida nabati. Selain itu, tingginya kadar gingerol juga mencerminkan profil fitokimia varietas jahe emprit yang kuat, menjadikannya sumber senyawa bioaktif yang potensial untuk pengembangan pertanian berkelanjutan dan pengendalian hama ramah lingkungan (Srikandi *et al.*, 2020).

Proses ekstraksi dilakukan melalui maserasi, penyaringan, dan evaporasi hingga diperoleh ekstrak kental, kemudian volume hasil evaporasi dihitung sebagai dasar perhitungan kadar. Sebanyak 1 mL ekstrak diambil, diuapkan menggunakan aliran nitrogen (N₂), dan dianalisis dengan HPLC seperti pada (Gambar 2), sehingga kadar gingerol diperoleh dalam satuan mg/mL yang memperlihatkan tingkat konsentrasi pada sampel uji.



Gambar 2. Kromatogram HPLC Ekstrak Jahe Emprit dengan Faktor Pengenceran 5x: Gingerol (puncak 3, RT = 4,817 Menit, Luas Area = 5.610.161 mAU-menit) dan Analisis dilakukan pada $\lambda = 254$ nm.

Jika dibandingkan dengan literatur sebelumnya, konsentrasi gingerol yang diperoleh dalam penelitian ini tergolong tinggi. Berdasarkan penelitian (Foudah *et al.*, 2020), yang melaporkan analisis kuantitatif menggunakan metode densitometri HPTLC menunjukkan bahwa ekstrak *Zingiber officinale* mengandung 6-gingerol pada kisaran 6,2–12,7 mg/g ekstrak serta 8-gingerol pada kisaran 7,9–8,8 mg/g ekstrak. Sementara itu Ghasemzadeh *et al.*, (2015), mengidentifikasi bahwa kandungan 6-gingerol dalam ekstrak metanol jahe merah (*Z. officinale* var. *rubrum*) sebesar 2,58–4,87 mg/g. Sedangkan kandungan shogaol yang terukur dalam hasil penelitian ini, yakni 1007,25 $\mu\text{g/g}$ (1,7 mg/g), tergolong rendah jika dibandingkan dengan kadar gingerol dalam ekstrak jahe yang sama. Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi pengeringan yang diterapkan berhasil mempertahankan stabilitas gingerol sekaligus meminimalkan konversi termal menjadi shogaol, sehingga ekstrak jahe emprit tetap mempertahankan kualitas fitokimia yang optimal.

Tabel 1. Data Persentase Mortalitas Larva Instar 3 *Crocidolomia Pavonana* sebagai Respon terhadap Pemberian Ekstrak Jahe yang Mengandung Gingerol

No	Konsentrasi Ekstrak	Mortalitas (%)		
		24 Jam	48 Jam	72 Jam
1	Kontrol Negatif	0 ^a	10 ^a	10 ^a
2	2%	2.5 ^a	15 ^a	25 ^b
3	4%	5 ^b	45 ^b	65 ^c
4	6%	25 ^c	50 ^b	62.5 ^c
5	8%	25 ^c	60 ^c	70 ^d
6	Kontrol Positif	100 ^d	100 ^c	100 ^e

Keterangan:

Notasi huruf (a, b, c, d, e) pada tabel mortalitas menunjukkan hasil uji lanjut Tukey (BNJ) taraf 5%. Huruf yang sama pada kolom yang sama berarti tidak berbeda nyata, sedangkan huruf berbeda menunjukkan perbedaan signifikan. Semakin jauh dari huruf “a”, semakin tinggi tingkat mortalitas.

Tabel 2. Persentase LC50 dan LC90 Larva *Crocidolomia pavonana* Instar 3 dengan Ekstrak Jahe yang Mengandung Gingerol

LC	Konsentrasi %	Minimum	Maximum
		%	%
50%	4,52	3,659	5,448
90%	10,318	8,679	13,304

Tabel 3. Waktu Kematian Optimal LT50 dan LT90 Larva Instar 3 *Crocidolomia pavonana* Menggunakan Ekstrak Jahe yang Mengandung Gingerol

LT	Waktu (Jam)	Minimum	Maximum
		(Jam)	(Jam)
50%	60.26	46.66	95.28
90%	140.70	101.59	353.45

Hal ini sejalan dengan penelitian Dalsasso *et al.*, (2022), yang menunjukkan bahwa proses pengeringan dan kondisi pemrosesan sangat memengaruhi stabilitas senyawa gingerol dan shogaol dalam rimpang jahe; suhu yang lebih rendah dan pengeringan yang tepat cenderung mempertahankan kadar gingerol yang lebih tinggi dan mengurangi konversi termal menjadi shogaol, sehingga mempertahankan komposisi fitokimia yang diinginkan dalam ekstrak jahe.

Efektivitas ekstrak jahe (*Zingiber officinale*) yang kaya akan gingerol sebagai biopestisida nabati terhadap hama ulat kroksi (*Crocidolomia pavonana* Instar 3) menunjukkan respon-respon yang signifikan. Analisis hasil mortalitas pada (Tabel 1) menunjukkan adanya peningkatan mortalitas yang sejalan dengan peningkatan konsentrasi ekstrak dan lamanya waktu paparan. Mortalitas pada kelompok kontrol negatif relatif rendah, yaitu 0% pada 24 jam dan hanya meningkat sedikit hingga 10% pada 48 dan 72 jam, menandakan bahwa kematian larva pada kondisi normal hampir tidak terjadi. Pada konsentrasi 2%, mortalitas mulai meningkat dari 2,5% pada 24 jam, menjadi 15% pada 48 jam, dan 25% pada 72 jam, yang berbeda nyata dibandingkan kontrol negatif (notasi a dan b menunjukkan perbedaan signifikan antar perlakuan pada tingkat kepercayaan tertentu). Peningkatan konsentrasi ekstrak menjadi 4% menghasilkan mortalitas yang lebih tinggi, yakni 5% pada 24 jam, 45% pada 48 jam, dan 65% pada 72 jam, menunjukkan efek dosis-respons yang jelas. Konsentrasi 6% menunjukkan mortalitas 25% pada 24 jam, 50% pada 48 jam, dan 62,5% pada 72 jam, sedangkan konsentrasi 8% memberikan mortalitas tertinggi di antara perlakuan ekstrak nabati, yaitu 25% pada 24 jam, 60% pada 48 jam, dan 70% pada 72 jam. Mortalitas pada kelompok kontrol positif mencapai 100% pada semua waktu pengamatan (24, 48, dan 72 jam), menegaskan efektivitas insektisida standar. Notasi huruf yang berbeda pada setiap kolom menandakan perbedaan signifikan antara perlakuan, sehingga dapat disimpulkan bahwa ekstrak jahe

dengan konsentrasi 4–8% efektif meningkatkan mortalitas larva *C. pavonana* secara signifikan dibandingkan kontrol negatif, dengan waktu paparan 72 jam sebagai kondisi optimal untuk efek toksisitas maksimal. Menurut Yuliani, (2015), senyawa fenolik termasuk gingerol, berfungsi sebagai pertahanan alami tumbuhan karena kemampuannya dalam mengganggu proses vital serangga.

Secara mekanistik, aktivitas toksik gingerol terhadap larva *Crocidolomia pavonana* berkaitan dengan sifatnya sebagai senyawa fenolik lipofilik yang mampu menembus kutikula serangga dan berinteraksi dengan membran sel. Gingerol diketahui mengganggu integritas lipid bilayer sehingga meningkatkan permeabilitas membran, menyebabkan kebocoran ion dan gangguan keseimbangan osmotik sel (Ediriweera *et al.*, 2020). Kerusakan ini berdampak pada terganggunya fungsi jaringan epitel usus tengah (midgut), yang berperan penting dalam proses absorpsi nutrisi pada larva. Gangguan pada midgut menghambat metabolisme dan mempercepat terjadinya kelumpuhan fisiologis sebelum kematian.

Selain efek sitotoksik langsung, gingerol juga berperan dalam menghambat sistem enzimatis detoksifikasi serangga. Penelitian oleh Subahar *et al.*, (2024), menunjukkan bahwa 6-gingerol secara signifikan menurunkan aktivitas enzim asetilkolinesterase (AChE) dan glutathione S-transferase (GST). Inhibisi AChE menyebabkan akumulasi asetilkolin pada sinaps saraf sehingga memicu hiperaktivasi saraf, tremor, paralisis, dan akhirnya kematian. Sementara itu, penurunan aktivitas GST mengurangi kemampuan larva dalam menetralkan xenobiotik, meningkatkan stres oksidatif, dan mempercepat kerusakan jaringan internal.

Temuan ini konsisten dengan penelitian Keosaeng *et al.*, (2023), yang melaporkan bahwa fraksi gingerol dan shogaol dari Zingiber officinale menunjukkan aktivitas insektisidal signifikan terhadap *Spodoptera litura* dan *S. exigua* melalui mekanisme gangguan fisiologis dan sistem saraf. Demikian pula, (Sinha & Ray, 2024b), menegaskan bahwa ekstrak jahe bekerja sebagai racun perut (stomach poison) dan racun kontak (contact poison) yang efeknya bersifat progresif dan bergantung pada konsentrasi.

Potensi ekstrak jahe, yang mengandung gingerol, menunjukkan efektif sebagai biopestisida untuk mengendalikan larva *Crocidolomia pavonana* instar 3 terlihat pada (Tabel 2). Nilai LC50 (Konsentrasi Letal 50%) sebesar 4,52% mengindikasikan bahwa konsentrasi sekecil ini sudah cukup untuk mematikan setengah dari populasi hama. Sementara itu, nilai LC90 (Konsentrasi Letal 90%) sebesar 10,318% menunjukkan bahwa hampir seluruh populasi larva dapat dikendalikan dengan sedikit peningkatan konsentrasi. Rentang minimum dan maksimum (interval kepercayaan) untuk kedua nilai LC (50% dan 90%) menunjukkan bahwa hasil pengujian ini cukup konsisten dan valid, karena selisih antara nilai minimum dan maksimumnya kecil, yang berarti tingkat akurasinya tinggi. Sebagai

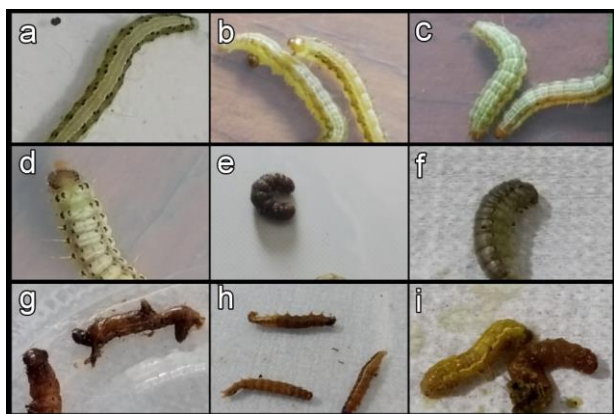
perbandingan efektivitas, ekstrak jahe ini menunjukkan tingkat toksisitas yang jauh lebih tinggi dan potensi yang lebih besar dari penelitian (Atifah, 2012) terhadap *C. pavonana* yang menggunakan ekstrak daun semburan (*Paederia scedens*) menunjukkan nilai LC50 yang berada di kisaran 46.489 mg/L, yang setara dengan sekitar 4,6% memperjelas bahwa ekstrak jahe memiliki efektivitas ribuan kali lipat lebih tinggi pada konsentrasi yang jauh lebih rendah.

Selanjutnya, kecepatan kerja ekstrak jahe dianalisis melalui Waktu Letal (LT) pada (Tabel 3). Data LT50 menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 50% mortalitas adalah 60.26 jam (sekitar 2,5 hari), sementara LT90 membutuhkan waktu yang jauh lebih lama, yaitu 140.70 jam (sekitar 5,86 hari). Nilai LT yang relatif panjang ini menjelaskan secara lengkap bahwa ekstrak jahe sebagai insektisida mekanismenya bekerja secara lambat, dan ini adalah sebuah karakteristik umum dari biopestisida nabati. Keterlambatan efek ini disebabkan oleh mekanisme kerjanya yang memerlukan waktu untuk diserap, dimetabolisme, dan mengganggu fungsi internal serangga secara progresif, berlawanan dengan insektisida sintetik yang seringkali bertindak sebagai racun kontak atau saraf yang cepat. Walaupun aksinya lambat, efektivitas jangka panjang dan nilai LT50 yang rendah menjadikannya pilihan strategis dalam Pengendalian Hama Terpadu (PHT).

Menurut Hezakiel *et al.*, (2024), biopestisida berbasis fitokimia umumnya menunjukkan mekanisme subletal terlebih dahulu seperti penurunan nafsu makan (*antifeedant effect*), penghambatan pertumbuhan, gangguan molting, dan stres oksidatif sebelum menyebabkan kematian total. Efek antifeedant ini berkaitan dengan interaksi senyawa fenolik terhadap reseptor gustatori serangga yang mengurangi aktivitas konsumsi daun.

Mao *et al.*, (2019) juga menjelaskan bahwa gingerol memiliki aktivitas biologis luas termasuk induksi stres oksidatif dan gangguan jalur sinyal seluler berbasis ROS (*Reactive Oxygen Species*). Akumulasi ROS yang tidak terdetoksifikasi menyebabkan peroksidasi lipid, denaturasi protein, dan disfungsi mitokondria yang berujung pada apoptosis sel.

Penggunaan pestisida nabati berbasis gingerol ini sangat penting dalam mendukung pertanian berkelanjutan. Menurut Sutriadi *et al.*, (2019), pestisida nabati menawarkan prospek pengendalian hama yang ramah lingkungan. Penerapan solusi nabati dapat memitigasi risiko kesehatan lingkungan dan manusia, seperti yang ditunjukkan oleh penelitian yang mengamati penurunan kadar glutathion plasma (indikator stres oksidatif) pada petani yang terpapar pestisida kimia anorganik. Dengan demikian, ekstrak jahe tidak hanya menawarkan efikasi yang signifikan berdasarkan nilai LC, tetapi juga mendukung praktik pertanian yang lebih aman dan berkelanjutan.



Gambar 3. Morfologi Normal (a, b, c) serta Morfologi Ulat setelah Diberi Ekstrak Jahe Menunjukkan Tubuh Menyusut (d, e, f), Mengalami Lisis, Dan Warnanya Berubah Menjadi Coklat (g, h, i).

Selain meningkatkan mortalitas, paparan gingerol juga memicu berbagai perubahan morfologi pada larva yang menjadi indikator kuat adanya tekanan toksik seperti pada (Gambar 3). Larva yang terpapar menunjukkan tubuh yang lebih lunak, perubahan warna dari hijau menjadi kecokelatan, penurunan aktivitas gerak, dan bahkan lisis pada jaringan tubuh tertentu. Seperti laporan sebelumnya oleh Ediriweera *et al.*, (2020), gejala-gejala ini disebabkan oleh kemampuan gingerol, sebagai senyawa fenolik, dalam merusak struktur. Efek awal tersebut tidak hanya mengganggu kestabilan sel, tetapi juga memicu rangkaian disfungsi fisiologis yang semakin memperparah kondisi larva. Gangguan pada membran sel ini kemudian berlanjut pada kerusakan osmoregulasi, melemahnya fungsi jaringan, dan pada akhirnya menyebabkan kematian larva akibat kegagalan sistem fisiologis untuk mempertahankan proses vital (Bischoff-Kont & Fürst, 2021).

Tabel 4. Persentase Efikasi Larva Instar 3 *Crocidolomia pavonana* setelah 72 Jam Paparan Ekstrak Jahe Mengandung Gingerol

No	Konsentrasi Ekstrak	Persentase Efikasi
1	Kontrol Positif	100%
2	Kontrol Negatif	0%
3	2%	16.70%
4	4%	58.30%
5	6%	58.30%
6	8%	66.70%

Berdasarkan data pada (Tabel 4), hasil pengujian menunjukkan adanya hubungan korelasi positif antara peningkatan konsentrasi ekstrak jahe dengan persentase efikasi terhadap larva *Crocidolomia pavonana*. Konsentrasi terendah (2%) hanya memberikan efikasi sebesar 16,70%, namun daya bunuh meningkat drastis menjadi 58,30% pada konsentrasi 4% dan 6%, hingga mencapai efikasi tertinggi sebesar 66,70% pada konsentrasi 8%. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa kandungan

gingerol dalam ekstrak jahe berperan efektif sebagai bioinsektisida yang bersifat racun kontak maupun perut bagi larva. Meskipun angka efikasi tertinggi (66,70%) belum menyamai kontrol positif (100%), hasil ini membuktikan bahwa konsentrasi ekstrak yang lebih tinggi secara signifikan mempercepat mortalitas larva dalam jangka waktu 72 jam dibandingkan kontrol negatif (0%).

Selain efek struktural, gingerol juga bekerja sebagai inhibitor terhadap enzim AChE (acetylcholinesterase) dan GST (glutathione S-transferase), dua enzim kunci yang berperan dalam transmisi impuls saraf dan proses detoksifikasi pada serangga. (Subahar *et al.*, 2024b). Kondisi ini diperparah oleh terganggunya sistem detoksifikasi internal larva. Sementara itu, penurunan aktivitas GST melemahkan kemampuan fisiologis larva dalam menetralkan senyawa toksik sehingga terjadi akumulasi radikal bebas dan molekul reaktif yang memicu stres oksidatif serta kerusakan jaringan secara bertahap (Bischoff-Kont & Fürst, 2021)

Temuan penelitian ini juga konsisten dengan studi sebelumnya yang menunjukkan bahwa insektisida nabati dapat menimbulkan perubahan morfologis pada larva hama, seperti penggelapan warna tubuh, pengerutan jaringan, dan penurunan kemampuan bergerak akibat terganggunya proses fisiologis (Azwana *et al.*, 2019). Konsistensi ini semakin memperkuat bahwa ekstrak jahe empirit memberikan efek toksik yang signifikan terhadap larva *C. Pavonana* terutama melalui gangguan fisiologi dan metabolisme yang pada akhirnya menghambat perkembangan dan meningkatkan angka mortalitas.

Meskipun demikian, penggunaan biopestisida berbahan nabati masih memiliki sejumlah keterbatasan. Salah satu kendala utamanya adalah kecepatan aksi yang relatif lambat dibandingkan dengan pestisida kimia, selain itu kestabilan senyawa aktifnya juga rendah karena metabolit sekundernya mudah terdegradasi oleh cahaya, suhu, dan aktivitas mikroorganisme (Tampubolon *et al.*, 2018). Namun, dari sudut pandang keberlanjutan, biopestisida menawarkan keunggulan signifikan dibanding pestisida sintesis karena bersifat lebih ramah lingkungan, mudah terdegradasi tanpa meninggalkan residu toksik pada tanah, air, atau produk pertanian, serta berpotensi mengurangi dampak negatif terhadap organisme non-target dan mendukung sistem pertanian yang sehat dan berkelanjutan (Hezakiel *et al.*, 2024). Keunggulan ini sejalan dengan konsep One Health yang menekankan keterhubungan antara kesehatan manusia, hewan, tumbuhan, dan lingkungan. Oleh karena itu, penggunaan biopestisida dapat menjadi strategi pengendalian hama yang efektif tanpa mengorbankan keseimbangan ekosistem (Hoffmann *et al.*, 2022)

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jahe empirit memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai bahan aktif dalam pengembangan biopestisida. Kandungan gingerol yang tinggi menunjukkan prospek yang menjanjikan

sebagai komponen utama insektisida nabati. Dengan adanya penelitian lanjutan, terutama terkait formulasi, konsentrasi yang optimal, dan evaluasi stabilitas, gingerol dari jahe emprit memiliki peluang besar untuk menjadi alternatif pengendalian hama yang lebih aman, efektif, ramah lingkungan, dan mendukung prinsip pertanian berkelanjutan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa ekstrak Jahe Emprit (*Zingiber officinale* var. *amarum*) bersifat toksik terhadap larva instar III *Crociodolomia pavonana*, dengan nilai LC₅₀ 4,52% dan LT₅₀ 60,26 jam, sehingga bekerja relatif lambat sebagaimana karakter senyawa metabolit sekunder nabati. Mortalitas meningkat seiring kenaikan konsentrasi dan lama paparan, disertai perubahan morfologi larva seperti penyusutan tubuh, perubahan warna, penurunan aktivitas, dan lisis jaringan.

Aktivitas toksik ini dipengaruhi kandungan gingerol (8,082 µg/mL) yang merusak membran sel, mengganggu osmoregulasi, serta menghambat enzim AChE dan GST. Konsentrasi 8% merupakan yang paling efektif, menghasilkan mortalitas 70% dan efikasi 66,70% dalam 72 jam, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai biopestisida nabati untuk pengendalian *C. pavonana*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada DRPM UKSW atas pendanaan hibah penelitian 2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Atifah, U. 2012. "Potensi Taksisitas Ekstak Daun Sembukan (*Paedaria scedens*. L) Terhadap Mortalitas Larva Ulat Krop Kubis (*Crociodolomia pavonana*. F)". Universitas Pendidikan Indonesia.
- Azwana, A., Mardiana, S., & Zannah, R. R. 2019. "Efikasi insektisida nabati ekstrak bunga kembang bulan (*Tithonia diversifolia* A. Gray) terhadap hama ulat grayak (*Spodoptera litura* F.) pada tanaman sawi di laboratorium". Jurnal Biologi Lingkungan Industri Kesehatan, 5(2), 131–141. <https://doi.org/10.31289/biolink.v5i2.1988>
- Bischoff-Kont, I., & Fürst, R. 2021. "Benefits of ginger and its constituent 6-shogaol in inhibiting inflammatory processes". In *Pharmaceuticals* (Vol. 14, Number 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ph14060571>
- Dalimunthe, C. I., & Rachmawan, A. 2017. "Prospek Pemanfaatan Metabolit Sekunder Tumbuhan Sebagai Pestisida Nabati Untuk Pengendalian Patogen Pada Tanaman Karet". *Warta Perkaretan* 2017, 36(1), 15 - 28
- Dalsasso, R. R., Valencia, G. A., & Monteiro, A. R. 2022. "Impact of Drying and Extractions Processes on The Recovery of Gingerols and Shogaols, The Main Bioactive Compounds of ginger". *Food Research International*, 154, 111043. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111043>
- Damayanti, R. R., Himawan, T., & Astuti, L. P. 2013. "Penghambatan Reproduksi *Rhizopertha Dominica* F. (Coleoptera: Bostrichidae) Menggunakan Fumigan Tablet Berbasis Minyak Mimba". *Jurnal HPT*, 1 (3), 17-26
- Dono, D., Pratiwi, Y. D., Ishmayana, S., & Prijono, D. 2018. "Resistance Level of *Crociodolomia pavonana* Against Profenofos Synthetic Insecticide and its Susceptibility to *Azadirachta Indica* Seed Extract". *Jurnal Cropsaver*, (2), 74–84.
- Dwiyanti, R., & Salbiah, D. 2022. "Penggunaan Filtrat Rimpang Jahe Merah (*Zingiber Officinale* Var. *Rubrum*) Terhadap Hama Ulat Bawang Merah (*Spodoptera Exigua* H.)". *Jurnal Dinamika Pertanian*, 38(3), 293–298.
- Ediriweera, M. K., Moon, J. Y., Nguyen, Y. T. K., & Cho, S. K. 2020. "10-Gingerol Targets Lipid Rafts Associated PI3K/Akt Signaling in Radio-Resistant Triple Negative Breast Cancer Cells". *Molecules*, 25(14). <https://doi.org/10.3390/molecules25143164>
- Foudah, A. I., Shakeel, F., Yusufoglu, H. S., Ross, S. A., & Alam, P. 2020. "Simultaneous Determination of 6-Shogaol and 6-Gingerol In Various Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) Extracts and Commercial Formulations Using A Green RP-HPTLC-Densitometry Method". *Journal Foods*, 9(8)(8). <https://doi.org/10.3390/foods9081136>
- Ghasemzadeh, A., Jaafar, H. Z. E., Juraimi, A. S., & Tayebi-Meigooni, A. 2015. "Comparative Evaluation of Different Extraction Techniques and Solvents For The Assay of Phytochemicals and Antioxidant Activity of Hashemi Rice Bran". *Molecules*, 20(6), 10822–10838. <https://doi.org/10.3390/molecules200610822>
- Handrianto, P. 2016. "Uji Antibakteri Ekstak Jahe Merah *Zingiber officinale* var. *Rubrum* Terhadap *Staphylococcus Aureus* dan *Escherichia Coli*". *Journal of Research and Technology*, 2(1).
- Hartono, L. K., Pongtuluran, O. B., Atmaji, P., Yuliani, S., Setianto, W. B., Restiawaty, E., & Bindar, Y. 2025. "Freeze- and Oven-Drying of Red Ginger Juice (*Zingiber Officinale* Var. *Rubrum*): A Comparative Study on Physicochemical Properties, Bioactive Retention, And Microstructural Characteristics". *South African Journal of Chemical Engineering*, 54, 254–265. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2025.08.004>
- Hezakiel, H. E., Thampi, M., Rebello, S., & Sheikhmoideen, J. M. 2024. "Biopesticides: a Green Approach Towards Agricultural Pests". *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 196(8), 5533–5562. <https://doi.org/10.1007/s12010-023-04765-7>
- Hoffmann, V., Paul, B., Falade, T., Moodley, A., Ramankutty, N., Olawoye, J., Djouaka, R., Lekei,

- E., de Haan, N., Ballantyne, P., & Waage, J. 2022. "A one health approach to plant health". In CABI Agriculture and Bioscience (Vol. 3, Number 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s43170-022-00118-2>
- Keosaeng, K., Songoen, W., Yooboon, T., Bullangpoti, V., & Pluemanupat, W. 2023. "Insecticidal Activity of Isolated Gingerols And Shogaols From *Zingiber officinale* Roscoe Rhizomes Against *Spodoptera* Spp. (Lepidoptera: Noctuidae)". Natural Product Research, 37(4), 669–674. <https://doi.org/10.1080/14786419.2022.2078818>
- Latifuzzahro', A. P., Hoesain, M., & Alfarisy, F. K. 2025. "Toxicity of Plant-Based Insecticide Extracts of Tobacco Stem (*Nicotiana tabacum* L.), Babadotan Leaves (*Ageratum conyzoides* L.) and a Combination of These to Control *Crociodolomia pavonana* F. Larvae". Agroradix: Jurnal Ilmu Pertanian, 8(2), 39–50. <https://doi.org/10.52166/agroteknologi.v8i2.8884>
- Mahboubi, M. 2019. "Zingiber officinale Rosc. Essential Oil, A Review on Its Composition and Bioactivity". Clinical Phytoscience, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40816-018-0097-4>
- Mao, Q. Q., Xu, X. Y., Cao, S. Y., Gan, R. Y., Corke, H., Beta, T., & Li, H. Bin. 2019. "Bioactive compounds and bioactivities of ginger (*zingiber officinale roscoe*)". In Foods (Vol. 8, Number 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/foods8060185>
- Mulyati, S. 2020. "Efektivitas Pestisida Alami Kulit Bawang Merah Terhadap Pengendalian Hama Ulat Tritis (*Plutella Xylostella*) Pada Tanaman Sayur Sawi Hijau". Journal of Nursing and Public Health.
- Nuraida, D. H., & Hariani, F. 2022. "Monograf Konsentrasi Ekstrak Serai Wangi (Kajian Mortalitas Ulat Grayak (*Spodoptera litura*)). Guapedia.
- Paat, F. J., & Pelealu, J. 2020. "Morfologi Dan Perilaku Hama *Crociodolomia Pavonana* Pada Tanaman Kubis". In Cocos, 12, 4.
- Rassami, W., Sawasdikarn, J., Piamporm, A., & Sanguan-Hong, M. 2016. "Larvicidal Activity of Five Medicinal Plants of Zingiberaceae on Cabbage Moth, *Crociodolomia paponana* (F.) in Laboratory Condition". International Journal of Agricultural Technology, 12(1), 1201–1208.
- Satapathy, S., Ray, A., Kar, D., Bose, A., & Kuanar, A. 2025. "Detection and Estimation of Gingerol and its derivatives in *Zingiber officinale* Rhizome collected from different regions of Eastern India". Research Journal of Pharmacy and Technology, 1702–1708. <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2025.00244>
- Sinha, N., & Ray, S. 2024. "The potential of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) extracts as a bio-pesticide". Journal of Entomology and Zoology Studies, 12(3), 38–45. <https://doi.org/10.22271/j.ento.2024.v12.i3a.9317>
- Sinyong, K., Mubin, N., & Prijono, D. 2023. "Tingkat resistensi insektisida emamektin benzoat terhadap ulat krop *Crociodolomia pavonana* (F.) (Lepidoptera: Crambidae) di Kabupaten Cianjur, Jawa Barat". Jurnal Entomologi Indonesia, 20(3), 247–257. <https://doi.org/10.5994/jei.20.3.247>
- Srikandi, S., Humaeroh, M., & Sutamihardja, R. T. M. 2020. "Kandungan Gingerol dan Shogaol dari Ekstrak Jahe Merah (*Zingiber Officinale Roscoe*) dengan Metode Maserasi Bertingkat". Jurnal Ilmu Kimia Dan Terapan, 7(2) 75-81
- Subahar, R., Hadyansyah, R., Aldilla, R., Yulhasri, Y., Winita, R., Dwira, S., & El Bayani, G. F. 2024. "Toxicity of 6-Gingerol and *Cymbopogon Citratus* Against *Pediculus Humanus Capitis* De Geer (Phthiraptera: pediculidae): Mortality, Detoxifying Enzymes, And Morphological Ultrastructure Alterations In Lice". Research in Veterinary Science, 177, 105364. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2024.105364>
- Sutriadi, M. T., Harsanti, E. S., Wahyuni, S., & Wihardjaka, A. 2019. "Pestisida Nabati: Prospek Pengendali Hama Ramah Lingkungan". Jurnal Sumberdaya Lahan.
- Tampubolon, K., Sihombing, F., N., Purba, Z., Samosir, S., T., S., & Karim, S. 2018. "Potensi Metabolit Sekunder Gulma sebagai Pestisida Nabati di Indonesia Potency of Secondary Metabolite From Weeds as Natural Pesticides In Indonesia". Jurnal Kultivasi 17 (3)
- Witri, L., & Purnomo, H. 2021. "Efektifitas Tanaman Refugia Border Crop terhadap Serangan Hama *Plutella xylostella* dan *Crociodolomia Binotalis* pada Tanaman Kubis Bunga". Agrosains: Jurnal Penelitian Agronomi, 23(2), 64. <https://doi.org/10.20961/agsjpa.v23i2.48224>
- Yuliani. 2015. "Kajian Senyawa Fenolik Dari Tumbuhan Asteraceae Pada Berbagai Ketinggian Habitat Sebagai Pengendali *Spodoptera Litura* Fab". [Thesis (Doktor), Universitas Brawijaya]. <https://repository.ub.ac.id/id/eprint/160490/>
- Zagórska, J., Czernicka-Boś, L., Kukula-Koch, W., Szalak, R., & Koch, W. 2022. "Impact of Thermal Processing on the Composition of Secondary Metabolites of Ginger Rhizome—A Review". In Foods: 11(21) (p. 3484). MDPI. <https://doi.org/10.3390/foods11213484>