

AKTIVITAS INSEKTISIDA DARI EKSTRAK DAUN *AGERATUM CONYZOIDES* DAN *TITHONIA DIVERSIFOLIA* PADA HAMA PASCA PANEN

Insecticidal Activity of Leaf Extracts *Ageratum conyzoides* and *Tithonia diversifolia* on Post-Harvest Pests

**Hendrival^{1*}, Muhammad Alfi Syahrin¹, Tito Rico Nainggolan¹, Novita Pramahsari Putri¹,
Latifah¹, Baidhawi¹, Muhammad Muaz Munauwar¹**

¹Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Malikussaleh
Jalan Banda Aceh-Medan, Kampus Reuleut, Aceh Utara, Propinsi Aceh, Indonesia, 24355

*Corresponding author: hendrival@unimal.ac.id

ABSTRAK

Sitophilus oryzae dan *Tribolium castaneum* merupakan jenis hama pascapanen yang berkontribusi terhadap kerugian ekonomi pada hasil pertanian yang disimpan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas ekstrak daun *Ageratum conyzoides* dan *Tithonia diversifolia* sebagai insektisida nabati terhadap kedua hama. Pengujian menggunakan rancangan acak lengkap dengan konsentrasi ekstrak yaitu 1%, 3%, 5%, 7%, dan 9%. Parameter pengujian meliputi aktivitas penghambatan makan, penolakan imago, dan mortalitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak daun *A. conyzoides* dan *T. diversifolia* efektif dalam mengurangi aktivitas makan, meningkatkan repelensi, dan menyebabkan mortalitas imago *S. oryzae* dan *T. castaneum*. Aktivitas penghambatan makan dan penolakan imago meningkat seiring kenaikan konsentrasi ekstrak. Kedua aktivitas mencapai maksimum terjadi pada konsentrasi 9%. Mortalitas imago mencapai 100% pada konsentrasi 9% setelah tujuh hari aplikasi. Ekstrak *T. diversifolia* menunjukkan efek yang lebih signifikan dibandingkan *A. conyzoides*, khususnya dalam repelensi. Ekstrak daun *A. conyzoides* dan *T. diversifolia* memiliki potensi besar sebagai insektisida nabati yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Kata kunci: Insektisida nabati, Penghambatan makan, Penolakan, Mortalitas

ABSTRACT

Sitophilus oryzae and *Tribolium castaneum* are types of post-harvest pests that contribute to economic losses in stored agricultural products. This study aims to evaluate the effectiveness of *Ageratum conyzoides* and *Tithonia diversifolia* leaf extracts as botanical insecticides. The experiment utilized a completely randomized design with extract concentrations of 1%, 3%, 5%, 7%, and 9%. The parameters tested included feeding inhibition activity, imago repellency, and mortality. The results showed that *A. conyzoides* and *T. diversifolia* leaf extracts effectively reduced feeding activity, increased repellency, and caused mortality of *S. oryzae* and *T. castaneum* imagos. Feeding inhibition and imago repellency activities increased with higher extract concentrations, with maximum effects observed at 9% concentration. Imago mortality reached 100% at a concentration of 9% after seven days of application. *T. diversifolia* extract demonstrated more significant effects compared to *A. conyzoides*, especially in repellency. Leaf extracts of *A. conyzoides* and *T. diversifolia* have great potential as environmentally friendly and sustainable botanical insecticides.

Keywords: Anti-feeders, bio-insecticides, Repellency, Mortality

PENDAHULUAN

Hama pascapanen yang menyerang biji-bijian dan produk pertanian di penyimpanan, merupakan salah satu tantangan terbesar yang dihadapi dalam sektor pertanian global. Produk pertanian yang telah dipanen sering kali menjadi sasaran serangan berbagai jenis serangga hama, yang dapat menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan. Hama pascapanen seperti *Sitophilus oryzae* dan *Tribolium castaneum* diketahui menyerang sereal dan olahannya seperti beras, jagung, dan gandum, sehingga mengakibatkan penurunan kualitas produk yang berdampak buruk pada keamanan pangan (Hendrival & Riska, 2019; Hendrival *et al.*, 2022; Susanti *et al.*, 2022).

Sitophilus oryzae dan *T. castaneum* merupakan dua spesies hama utama yang tersebar luas di seluruh dunia, terutama di wilayah dengan produksi sereal yang tinggi seperti Asia, Afrika, dan Amerika Latin (Hong *et al.*, 2018). Kehadiran hama ini menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan bagi petani dan produsen makanan di seluruh dunia, dengan pengurangan hasil panen dan penurunan kualitas produk yang tersimpan (Nenaah, 2014). Kehadiran kedua hama ini dapat menyebabkan degradasi produk dan menurunkan kualitas pangan (Mustikarani *et al.*, 2024).

Sitophilus oryzae atau kumbang beras adalah hama primer yang menyebabkan kerusakan signifikan dengan menyerang bagian dalam biji (Romadani & Hendrival, 2018; Annisa *et al.*, 2018; Hendrival *et al.*, 2022; Nasution *et al.*, 2022). Larva kumbang ini hidup dan berkembang di dalam biji, menyebabkan degradasi fisik dan penurunan mutu nutrisi (Hendrival & Rangkuti, 2020). Dalam hal ini, biji-bijian yang diserang tidak hanya mengalami penurunan berat tetapi juga penurunan kualitas, yang pada akhirnya menyebabkan kerugian ekonomi besar bagi petani dan distributor (Hendrival *et al.*, 2022).

Kerusakan yang ditimbulkan tidak hanya mengurangi bobot biji, tetapi juga menurunkan kualitas fisik dan gizi produk, sehingga menimbulkan kerugian ekonomi yang signifikan (Hendrival *et al.*, 2019).

Serangan *S. oryzae* sering kali tidak terdeteksi pada tahap awal karena aktivitas larvanya terjadi di dalam biji (Attia *et al.*, 2017). Setelah dewasa, kumbang dewasa akan keluar dari biji, meninggalkan lubang-lubang kecil yang menunjukkan kerusakan (Bhargude *et al.*, 2021). *S. oryzae* dapat menyebabkan kerugian ekonomi yang besar, dengan estimasi kerugian mencapai 10 sampai 30% dari total hasil panen, terutama pada fase penyimpanan (García-Lara *et al.*, 2004). Kumbang ini memiliki kemampuan berkembang biak dengan cepat pada kondisi penyimpanan yang hangat dan lembab, mempercepat tingkat infestasi dan meningkatkan resiko kerugian pada persediaan pangan yang disimpan.

Tribolium castaneum, atau kumbang tepung merah adalah hama penting dalam sektor pascapanen yang secara khusus menyerang komoditas yang disimpan, seperti biji-bijian, tepung, dan makanan olahan berbasis gandum yang menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan bagi petani dan produsen (Hendrival *et al.*, 2016; Singh *et al.*, 2022). *T. castaneum* termasuk hama sekunder yang menyerang biji-bijian yang telah mengalami kerusakan atau berada dalam kondisi penyimpanan yang tidak ideal (Gerken & Campbell, 2020). Serangan hama ini tidak hanya mengakibatkan kerugian ekonomi yang signifikan, tetapi juga mempengaruhi kualitas dan keamanan pangan (Jung *et al.*, 2020). *T. castaneum* memiliki siklus hidup yang cepat dengan kemampuan berkembang biak tinggi dalam kondisi yang mendukung, sehingga penyebaran populasinya sulit untuk dikendalikan (Hendrival *et al.*, 2022).

Kehadiran *T. castaneum* dalam produk pangan juga menimbulkan ancaman terhadap kesehatan manusia. Produk yang terkontaminasi dapat mengandung ekskuviae, serangga mati, dan feses yang dapat memicu reaksi alergi atau bahkan menjadi medium bagi mikroorganisme patogen (Devi & Devi, 2015). Tingkat kontaminasi dalam bahan pangan yang disebabkan oleh hama ini mengakibatkan penurunan mutu gizi produk serta menimbulkan risiko kesehatan bagi konsumen, yang menjadi perhatian penting dalam industri pangan (Phillips & Throne, 2010).

Pendekatan pengendalian yang umum digunakan dalam mengatasi masalah ini adalah penggunaan insektisida kimia. Namun, insektisida sintetis menimbulkan risiko serius terhadap kesehatan manusia, lingkungan, serta menyebabkan resistensi pada hama (Hendrival *et al.*, 2017; Hendrival *et al.*, 2024). Hama *S. oryzae* dan *T. castaneum* dikenal cepat mengembangkan resistensi terhadap insektisida. Selain itu, residu dari insektisida ini dapat mencemari lingkungan dan mengakibatkan efek berbahaya pada ekosistem. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan untuk mengendalikan hama pada penyimpanan biji-bijian. Sebagai alternatif, penggunaan insektisida alami dari tumbuhan telah semakin mendapat perhatian (Sinaga *et al.*, 2023; Hendrival & Marwan, 2016).

Ekstrak tumbuhan yang bersifat insektisida dianggap lebih ramah lingkungan dan aman digunakan dalam sistem pertanian terpadu. Tumbuhan seperti *Ageratum conyzoides* dan *Tithonia diversifolia* memiliki potensi sebagai insektisida nabati yang dimanfaatkan untuk mengendalikan hama penyimpanan biji-bijian. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi efektivitas insektisida yang terbuat dari ekstrak daun *A. conyzoides* dan *T. diversifolia* terhadap *S. oryzae* dan *T. castaneum*. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi optimal dari kedua ekstrak yang digunakan serta memahami mekanisme kerja insektisida alami yang dihasilkan oleh kedua tumbuhan tersebut.

METODE PENELITIAN

Penelitian tentang aktivitas insektisida ekstrak daun *A. conyzoides* dan *T. diversifolia* terhadap imago *T. castaneum* dan *S. oryzae* dilaksanakan di Laboratorium Hama dan Penyakit Tanaman, Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Malikussaleh, selama periode September–November 2023. Proses pembiakan dua species serangga dilakukan dengan menempatkan kedua serangga secara terpisah dalam stoples berukuran tinggi 12 cm dan diameter 15 cm, yang dilengkapi lubang aerasi berdiameter 9 cm ditutup kain

organdi. Setiap stoples diisi dengan 40 imago (20 betina dan 20 jantan). Untuk pembiakan, *S. oryzae* diberi pakan sebanyak 200 g beras merah, sementara *T. castaneum* menggunakan 200 g tepung gandum. Wadah pembiakan disimpan di ruang pemeliharaan dengan suhu lingkungan dan kelembapan relatif 29–32 °C dan 72–75%. Pembiakan berlangsung selama 30 hari, setelah itu 40 imago awal dipisahkan dari media makanan. Beras merah dan tepung gandum kemudian diinkubasi lebih lanjut hingga muncul imago baru. Pemisahan imago dari media dilakukan setiap hari untuk memastikan keseragaman usia imago yang diperoleh.

Ekstraksi

Penelitian ini memanfaatkan tumbuhan babadotan dan kipahit sebagai insektisida alami, dengan bagian yang digunakan adalah daun dari kedua tumbuhan tersebut. Proses persiapan dimulai dengan membersihkan daun babadotan dan kipahit, lalu mengeringkannya selama sekitar 2 minggu. Setelah kering, kedua jenis daun tersebut dihancurkan menjadi serbuk menggunakan blender. Sebanyak 500 g serbuk daun babadotan dan kipahit direndam dalam 1500 ml etanol selama 2 hingga 3 hari. Campuran yang dihasilkan kemudian disaring dengan menggunakan corong yang dilapisi kertas saring Whatman No. 41 berdiameter 185 mm.

Filtrat yang dihasilkan diuapkan menggunakan *rotary evaporator* pada suhu 50 hingga 60 °C dan tekanan 240 mbar untuk memperoleh ekstrak kasar. Setelah proses tersebut, ekstrak daun yang telah diperoleh disimpan dalam lemari pendingin (4–10 °C) hingga siap untuk digunakan dalam pengujian.

Pengujian Aktivitas Penghambatan Makan

Pengujian aktivitas penghambatan makan dilakukan dengan memanfaatkan 2 g beras merah sebagai pakan untuk imago *S. oryzae* dan *T. castaneum*. Larutan ekstrak dengan berbagai konsentrasi disiapkan dalam volume 30 µl dan diaplikasikan pada 2 g beras sebagai pakan. Sebagai kontrol, larutan etanol absolut tanpa ekstrak digunakan dalam volume yang sama. Beras

yang telah diberi perlakuan dibiarkan pada suhu kamar selama 5 menit untuk memastikan pelarut etanol menguap sepenuhnya. Setelah itu, beras yang sudah tercampur larutan ekstrak ditempatkan dalam botol plastik sebagai media pakan bagi imago. Setiap konsentrasi ekstrak dan kontrol diuji sebanyak tiga kali, dengan masing-masing ulangan terdiri dari 10 imago yang sebelumnya telah dipuasakan selama 24 jam. Setelah masa pemberian pakan selesai, beras ditimbang ulang untuk mengetahui jumlah pakan yang telah dikonsumsi. Aktivitas penghambatan makan oleh imago *S. oryzae* dan *T. castaneum* dihitung menggunakan formula yang dikembangkan oleh Isman *et al.* (1990), yaitu penghambatan makan = $(C - T)/C + T \times 100$, dengan keterangan C: berat makanan yang dikonsumsi pada perlakuan tanpa ekstrak, dan T: berat makanan yang dikonsumsi pada perlakuan ekstrak.

Pengujian Aktivitas Penolakan Imago

Uji aktivitas penolakan terhadap imago dilakukan mengikuti prosedur Talukder dan Howse (1993) yang telah dimodifikasi oleh Hendrival *et al.* (2024). Kertas saring berdiameter 9 cm dibagi menjadi dua bagian dengan luas yang setara ($r = 4,5$ cm). Sebanyak 500 μ L larutan ekstrak pada berbagai konsentrasi diaplikasikan secara merata pada salah satu bagian (P1), sedangkan bagian lainnya (P2) diberikan 500 μ L etanol sebagai kontrol. Kedua potongan kertas dikeringkan selama 5 menit pada suhu ruang, kemudian ditempatkan dalam cawan petri tertutup. Setiap perlakuan diuji sebanyak tiga ulangan, masing-masing melibatkan 10 individu imago. Serangga dimasukkan ke dalam cawan petri yang berisi kedua potongan kertas saring (P1 dan P2), dan jumlah imago yang berada pada masing-masing bagian diamati setiap jam selama periode 5 jam setelah aplikasi. Aktivitas penolakan ditentukan berdasarkan persentase repelensi (PR), yang dihitung menggunakan rumus $PR = 2 \times (Nc - 50)$, dengan Nc merupakan persentase jumlah imago yang ditemukan pada kertas kontrol (tanpa ekstrak). Nilai PR yang positif (+) menunjukkan adanya efek penolakan,

sedangkan nilai negatif (-) menunjukkan ketiadaan efek penolakan atau adanya sifat atraktan.

Pengujian Toksisitas

Uji toksisitas dilakukan menggunakan metode residu permukaan pada media kertas saring. Sebanyak 1000 μ L larutan ekstrak diaplikasikan secara merata pada permukaan kertas saring, sedangkan larutan etanol dalam volume yang sama digunakan sebagai kontrol. Kertas saring yang telah diberi perlakuan dikeringkan terlebih dahulu pada suhu ruang sebelum diletakkan di bawah tutup cawan petri. Setiap konsentrasi ekstrak, termasuk kontrol, diuji dalam tiga ulangan, masing-masing melibatkan 10 individu imago, sehingga total terdapat 30 imago untuk setiap perlakuan. Imago kemudian dimasukkan ke dalam cawan petri yang ditutup dengan kertas saring perlakuan. Pengamatan terhadap kematian imago dilakukan setiap hari selama tujuh hari setelah aplikasi. Persentase mortalitas dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Mortalitas imago (\%)} = (\text{jumlah imago mati} / \text{jumlah total imago}) \times 100\%.$$

Rancangan Penelitian dan Analisis Data

Pengujian aktivitas insektisida ekstrak daun *Ageratum conyzoides* dan *Tithonia diversifolia* terhadap imago *Sitophilus oryzae* dan *Tribolium castaneum* dilaksanakan menggunakan Rancangan acak lengkap. Perlakuan terdiri atas lima tingkat konsentrasi, yaitu 1% (1 g ekstrak/100 mL etanol), 3% (3 g/100 mL), 5% (5 g/100 mL), 7% (7 g/100 mL), dan 9% (9 g/100 mL), serta satu kontrol (etanol tanpa ekstrak). Data hasil pengamatan dianalisis menggunakan analisis varians dengan bantuan perangkat lunak SPSS versi 20. Perbedaan antar perlakuan selanjutnya diuji menggunakan uji lanjut Duncan's multiple range test pada tingkat signifikansi 5%. Hubungan antara tingkat mortalitas imago dan konsentrasi ekstrak dianalisis menggunakan regresi probit. Nilai LC_{50} ditentukan setelah mortalitas mencapai lebih dari 50% pada masing-masing spesies. Analisis regresi probit dilakukan menggunakan perangkat lunak POLO PLUS

untuk memperoleh estimasi parameter toksisitas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aktivitas Penghambatan Makan

Ekstrak daun *A. conyzoides* dan *T. diversifolia* pada konsentrasi 1 sampai 9% memiliki aktivitas penghambatan makan imago *S. oryzae* dan *T. castaneum* yang bervariasi. Aktivitas penghambatan makan dari kedua ekstrak pada imago *S. oryzae* dan *T. castaneum* paling rendah terjadi pada konsentrasi 1–3%. Aktivitas penghambatan makan sudah mencapai >50% terjadi pada konsentrasi lebih dari 5%. Pengaruh kedua ekstrak tumbuhan terhadap aktivitas penghambatan makan paling tinggi terjadi pada konsentrasi 9%. Aktivitas penghambatan makan pada kedua ekstrak dari kedua hama pascapanen terlihat terpaut konsentrasi. Efek aktivitas penghambatan makan pada kedua imago terlihat semakin tinggi pada konsentrasi 7–9%. Aktivitas penghambatan makan mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan konsentrasi dari kedua ekstrak (Tabel 1). Hasil penelitian ini menegaskan bahwa konsentrasi dari kedua ekstrak berperan penting dalam menentukan tingkat efektivitas penghambatan makan pada hama *S. oryzae* dan *T. castaneum*. Aktivitas penghambatan makan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi ekstrak daun *A. conyzoides* dan *T. diversifolia*.

Aktivitas Penolakan Imago

Ekstrak daun *A. conyzoides* dan *T. diversifolia* memiliki aktivitas penolakan imago *S. oryzae* dan *T. castaneum* dengan terpaut konsentrasi. Aktivitas penolakan mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan konsentrasi ekstrak daun *A. conyzoides* dan *T. diversifolia*. Penolakan imago dari kedua ekstrak daun mencapai lebih dari 50% terjadi pada konsentrasi 3–9%, sedangkan pada konsentrasi 1% mencapai kurang dari 50%. Konsentrasi ekstrak yang rendah juga memperlihatkan

persentase penolakan yang rendah, namun mengalami peningkatan laju penolakan yang tajam sampai jam ke-5 setelah aplikasi. Efek aktivitas penolakan pada kedua imago terlihat semakin tinggi terjadi pada konsentrasi 7–9% (Tabel 1). Aktivitas penolakan lebih tinggi pada ekstrak daun *T. diversifolia* dibandingkan ekstrak daun *A. conyzoides* pada kedua imago.

Pada penelitian ini menunjukkan bahwa ekstrak daun *A. conyzoides* dan *T. diversifolia* memiliki pengaruh signifikan terhadap repellensi imago *S. oryzae* dan *T. castaneum*. Efektivitas dari kedua ekstrak tumbuhan sebagai aktivitas penolakan imago berbanding lurus dengan konsentrasi yang digunakan. Senyawa-senyawa aktif dalam ekstrak tumbuhan sering kali membutuhkan konsentrasi optimal untuk memaksimalkan efek biokimia, terutama dalam menimbulkan respons penghindaran pada serangga hama.

Mortalitas Imago

Ekstrak ekstrak daun *A. conyzoides* dan *T. diversifolia* diketahui memiliki sifat toksik yang menyebabkan kematian imago dari kedua spesies serangga. Mortalitas mulai terlihat sejak hari ke-3 setelah aplikasi dan meningkat tajam hingga hari ke-7. Pada 3 HSA (hari setelah aplikasi), tingkat mortalitas masih rendah, yaitu kurang dari 50% pada konsentrasi 9%. Namun, mortalitas meningkat lebih dari 50% pada hari ke-5 setelah aplikasi di semua konsentrasi. Mortalitas maksimum mencapai 100% pada hari ke-7 di semua konsentrasi (Tabel 2). Penelitian ini mengungkapkan bahwa ekstrak daun *A. conyzoides* dan *T. diversifolia* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan mortalitas imago *S. oryzae* dan *T. castaneum*. Tingkat mortalitas meningkat secara substansial seiring dengan peningkatan konsentrasi ekstrak, menunjukkan adanya hubungan yang erat antara konsentrasi ekstrak dan respons serangga hama.

Tabel 1. Dampak insektisida nabati dari ekstrak daun *A. conyzoides* dan *T. diversifolia* terhadap aktivitas penghambatan makan dan penolakan imago *S. oryzae* dan *T. castaneum*

Insektisida nabati	Hama pascapanen	Konsentrasi (%) (b/v)	Aktivitas penghambat makan (%)	Aktivitas penolakan imago (%)		
				3 JSA	4 JSA	5 JSA
Ekstrak daun <i>A. conyzoides</i>	<i>S. oryzae</i>	1	34,52 c	20 d	33,33 c	40 c
		3	41,12 c	40 c	53,33 b	60 b
		5	62,39 b	53,33 b	60 b	66,67 b
		7	71,72 ab	60 ab	80 a	86,67 a
		9	85,13 a	73,33 a	93,33 a	100 a
	<i>T. castaneum</i>	1	37,30 c	26,67 d	33,33 c	40 c
		3	41,12 c	40 c	53,33 b	60 b
		5	58,12 b	60 b	60 b	66,67 b
		7	70,68 ab	73,33 a	80 a	86,67 a
		9	81,82 a	86,67 a	93,33 a	93,33 a
Ekstrak daun <i>T. diversifolia</i>	<i>S. oryzae</i>	1	13,68 d	26,67 c	33,33 c	40 c
		3	23,74 cd	40 bc	46,67 b	53,33 b
		5	45,19 bc	53,33 b	60 b	66,67 b
		7	62,04 b	73,33 a	80 a	86,67 a
		9	83,33 a	86,67 a	93,33 a	100 a
	<i>T. castaneum</i>	1	23,89 d	26,67 c	33,33 c	40 c
		3	33,02 cd	40 bc	53,33 b	60 b
		5	58,12 bc	53,33 b	60 b	66,67 b
		7	81,86 b	73,33 a	80 a	86,67 a
		9	93,94 a	80 a	93,33 a	100 a

Keterangan: Rata-rata yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf 0,05

Tabel 2. Dampak insektisida nabati dari ekstrak daun *A. conyzoides* dan *T. diversifolia* terhadap mortalitas imago *S. oryzae* dan *T. castaneum*

Ekstrak daun	Hama pascapanen	Konsentrasi (%) (b/v)	Mortalitas imago (%)		
			3 HSA	5 HSA	7 HSA
Ekstrak daun <i>A. conyzoides</i>	<i>S. oryzae</i>	Kontrol	0 c	0 e	0 f
		1	0 c	13,33 d	30 e
		3	3,33 c	23,33 c	50 d
		5	6,67 cb	40 b	73,33 c
		7	16,67 ab	53,33 a	90 b
	<i>T. castaneum</i>	9	33,33 a	66,67 a	100 a
		Kontrol	0 e	0 e	0 e
		1	6,67 d	20 d	33,33 d
		3	10 cd	30 c	53,33 c
		5	16,67 cb	43,33 ab	76,67 b
Ekstrak daun <i>T. diversifolia</i>	<i>S. oryzae</i>	7	23,33 ab	53,33 a	93,33 a
		9	30 a	63,33 a	100 a
	<i>T. castaneum</i>	Kontrol	0 c	0 e	0 e
		1	0 c	26,67 d	53,33 d
		3	10 bc	46,67 bc	73,33 c
		5	10 b	50 cd	86,67 d
		7	20 ab	56,67 ab	93,33 a
	<i>T. castaneum</i>	9	30 a	73,33 a	100 a
		Kontrol	0 d	0 d	0 d
		1	0 d	23,33 c	53,33 c
		3	10 c	43,33 b	73,33 b
		5	16,67 bc	50 b	86,67 ab
		7	30 b	70 ab	93,33 a
		9	40 a	76,67 a	100 a

Keterangan: Rata-rata yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf 0,05

Tabel 3. Pendugaan parameter hubungan konsentrasi insektisida nabati dari ekstrak daun *A. conyzoides* dan *T. diversifolia* dengan mortalitas hama pascapanen

Ekstrak daun	Hama pascapanen	Waktu penilaian (HSA)	Intersep probit (a ± GB)	Kemiringan regresi probit (b ± GB)	LC50 (SK 95%) (%)
<i>A. conyzoides</i>	<i>S. oryzae</i>	5	4,14 ± 0,22	1,09 ± 0,32	6,05 (3,89–13,70)
		7	5,24 ± 0,21	1,40 ± 0,36	0,67 (0,12–1,24)
	<i>T. castaneum</i>	5	4,23 ± 0,22	1,48 ± 0,14	4,77 (3,02–8,703)
		7	4,59 ± 0,21	1,01 ± 0,16	1,48 (0,96–1,95)
<i>T. diversifolia</i>	<i>S. oryzae</i>	5	4,86 ± 0,19	0,68 ± 0,34	1,58 (1,13–3,25)
		7	5,58 ± 0,22	1,82 ± 0,58	0,47 (0,04–0,87)
	<i>T. castaneum</i>	5	4,78 ± 0,19	1,06 ± 0,35	1,58 (0,43–2,60)
		7	5,58 ± 0,22	0,54 ± 0,35	0,31 (0,04–0,71)

Keterangan: HSA: hari setelah aplikasi, a: kemiringan garis probit, b: kemiringan regresi, GB: galat baku, SK: selang kepercayaan pada taraf 95%

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa ekstrak daun *A. conyzoides* dan *T. diversifolia* efektif dalam menghambat aktivitas makan, penolakan, dan mortalitas imago *S. oryzae* dan *T. castaneum*. Kedua tumbuhan tersebut diketahui memiliki sifat insektisidal terhadap serangga hama termasuk hama pascapanen (Hendrival & Marwan, 2016; Hendrival *et al.*, 2017). Aktivitas insektisida dari kedua ekstrak didukung oleh kandungan senyawa aktif yang mempengaruhi aktivitas biologi dari spesies hama pascapanen. Ekstrak daun *A. conyzoides* mengandung senyawa aktif seperti flavonoid, alkaloid, terpenoid, dan saponin yang bersifat toksik bagi hama (Kamboj & Saluja, 2008; Jaya *et al.*, 2014; Yadav *et al.*, 2019). Kandungan senyawa tersebut termasuk flavonoid, sesquiterpenoid, monoterpenes seperti α -pinene, β -pinene, dan limonene, yang berfungsi sebagai antifeedant terhadap hama (Kawlani *et al.*, 2017; Ngarivhume *et al.*, 2021; Devi *et al.*, 2022). Senyawa-senyawa ini telah terbukti berperan penting dalam aktivitas bioaktif pada serangga hama.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa ekstrak daun *A. conyzoides* dan *T. diversifolia* efektif dalam menghambat aktivitas makan, penolakan, dan mortalitas imago *S. oryzae* dan *T. castaneum*. Kedua tumbuhan tersebut diketahui memiliki sifat insektisidal terhadap serangga hama termasuk hama pascapanen (Hendrival & Marwan, 2016; Hendrival *et al.*, 2017). Aktivitas insektisida dari kedua ekstrak

didukung oleh kandungan senyawa aktif yang mempengaruhi aktivitas biologi dari spesies hama pascapanen. Ekstrak daun *A. conyzoides* mengandung senyawa aktif seperti flavonoid, alkaloid, terpenoid, dan saponin yang bersifat toksik bagi hama (Kamboj & Saluja, 2008; Jaya *et al.*, 2014; Yadav *et al.*, 2019). Kandungan senyawa tersebut termasuk flavonoid, sesquiterpenoid, monoterpenes seperti α -pinene, β -pinene, dan limonene, yang berfungsi sebagai antifeedant terhadap hama (Kawlani *et al.*, 2017; Ngarivhume *et al.*, 2021; Devi *et al.*, 2022). Senyawa-senyawa ini telah terbukti berperan penting dalam aktivitas bioaktif pada serangga hama.

Mekanisme penghambatan makan yang mungkin terjadi adalah melalui interaksi senyawa bioaktif dalam ekstrak dengan sistem saraf serangga. Kelompok terpenoid dan flavonoid bekerja dengan mengganggu reseptor penciuman hama, sehingga mengurangi kemampuan hama untuk mengenali makanan dan menghindari makanan yang terkontaminasi ekstrak (Mierziak *et al.*, 2014; Câmara *et al.*, 2024). Flavonoid dalam tanaman berfungsi sebagai insektisida nabati dengan mempengaruhi sistem saraf serangga, yang mengakibatkan penurunan aktivitas atau kematian (Pereira *et al.*, 2024). Senyawa-senyawa tersebut dapat mempengaruhi kemampuan hama untuk mendeteksi makanan (Kato-Noguchi & Kato, 2024). Kaur *et al.* (2018) menyatakan bahwa senyawa dalam ekstrak *A. conyzoides* dapat menghambat reseptor

penciuman, yang mengakibatkan ketidakmampuan hama untuk mendeteksi sumber makanan secara efektif. Temuan ini sejalan dengan penelitian Ayodeji (2023) yaitu berbagai konsentrasi ekstrak *A. conyzoides* dapat secara signifikan mengurangi tingkat konsumsi pakan oleh serangga. Menurut studi oleh Green *et al.* (2017), flavonoid pada daun *T. diversifolia* dapat menghambat neurotransmitter pada serangga, yang menyebabkan penurunan respons makan. Penelitian yang dilakukan oleh Gallon *et al.* (2019) menunjukkan bahwa flavonoid dalam ekstrak *T. diversifolia* dapat menghambat neurotransmitter yang penting dalam proses makan serangga, sehingga mempengaruhi aktivitas makan hama secara signifikan.

Pengujian repellensi yang dilakukan menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi ekstrak *A. conyzoides* dan *T. diversifolia*, semakin besar pula tingkat penolakan kedua spesies hama tersebut. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan sebelumnya yang menunjukkan bahwa kedua ekstrak memiliki senyawa aktif yang bersifat insectisidal seperti penolakan imago. Flavonoid dan alkaloid, sebagai komponen utama, memiliki sifat yang dapat mengganggu sistem syaraf dan reseptor penciuman pada serangga, sehingga menyebabkan efek penghindaran (Gajger & Dar, 2021).

Flavonoid dan alkaloid dapat menstimulasi reseptor kimiawi pada hama, sehingga menimbulkan reaksi menjauh karena sensasi iritasi atau penghindaran terhadap zat tersebut (Demirak & Canpolat, 2022). Terpenoid pada *A. conyzoides* berperan dalam menghasilkan aroma yang tidak disukai oleh serangga, sehingga dapat mengurangi keberadaan hama di sekitar area perlakuan (Kato-Noguchi & Kato, 2024). Ekstrak daun *T. diversifolia* juga efektif sebagai agen repellensi alami terhadap imago *S. oryzae* dan *T. castaneum*, sejalan dengan penelitian Gitahi *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa ekstrak tanaman tertentu dapat memberikan perlindungan jangka panjang pada produk pertanian melalui mekanisme penolakan hama. Efek repellensi dari ekstrak daun *A. conyzoides* dan *T. diversifolia* terutama disebabkan oleh

senyawa volatil yang menguap dari ekstrak tersebut. Senyawa-senyawa ini berinteraksi dengan reseptor olfaktori pada antena serangga, yang menyebabkan sinyal penghindaran dan penolakan pada hama *S. oryzae* dan *T. castaneum* (Clark & Ray, 2016; Yadav *et al.*, 2019). Mekanisme repellensi dari ekstrak daun *T. diversifolia* terhadap *S. oryzae* dan *T. castaneum* menunjukkan potensi yang kuat dalam pengendalian hama yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Hubungan antara konsentrasi ekstrak daun dengan mortalitas imago *T. castaneum* dan *S. oryzae* dianalisis berdasarkan data pengamatan pada 5–7 hari setelah aplikasi (HSA), karena pada periode tersebut mortalitas kedua imago telah melebihi 50% (Tabel 3). Analisis probit menunjukkan bahwa nilai LC50 dari kedua ekstrak menurun tajam antara 5 dan 7 HSA, seiring dengan meningkatnya jumlah imago yang mati. Mortalitas imago meningkat secara signifikan dengan bertambahnya durasi paparan dan konsentrasi ekstrak.

Durasi paparan memiliki pengaruh yang kuat terhadap peningkatan mortalitas, yang tercermin dari penurunan nilai LC50 secara drastis selama periode tersebut (Hendrival *et al.*, 2017). Nilai LC50 ekstrak daun *A. conyzoides* dan *T. diversifolia* lebih rendah untuk imago *S. oryzae* dibandingkan *T. castaneum*, menunjukkan bahwa *S. oryzae* lebih sensitif terhadap kedua ekstrak. Sebaliknya, *T. castaneum* menunjukkan tingkat mortalitas yang lebih rendah pada konsentrasi yang sama, kemungkinan disebabkan oleh perbedaan biokimia dalam sistem detoksifikasi kedua spesies. Imago *T. castaneum* tampaknya memiliki mekanisme adaptasi yang lebih efektif terhadap senyawa toksik alami dibandingkan *S. oryzae*.

Penemuan dalam penelitian ini didukung oleh studi sebelumnya yang menunjukkan bahwa senyawa aktif dari tumbuhan *A. conyzoides* dan *T. diversifolia* memiliki aktivitas insektisida yang dapat mengganggu fungsi fisiologis pada berbagai spesies serangga. Aktivitas ini diyakini mempengaruhi metabolisme dan fungsi fisiologis hama sehingga menyebabkan kematian. Kumarin yang diketahui mengganggu fungsi pencernaan

dan sistem saraf serangga. Senyawa kumarin dalam ekstrak tumbuhan diketahui menghambat enzim tertentu yang esensial bagi metabolisme serangga, mengakibatkan disfungsi dan akhirnya kematian (Xia *et al.*, 2023).

Kandungan kumarin dapat menghambat enzim seperti protease dan amilase yang sangat penting dalam mencerna makanan, menyebabkan hama tidak dapat memperoleh nutrisi yang cukup dan mengakibatkan kelaparan yang mematikan. Efek ini diperparah dengan disfungsi enzimatis lainnya yang menghambat metabolisme hama, sehingga kematian imago tak terhindarkan (Hussain *et al.*, 2018). Selain mengganggu proses pencernaan, kumarin dan flavonoid juga berinteraksi dengan sistem saraf pusat pada serangga. Senyawa ini mengganggu reseptor neurokimia, menginduksi depresi saraf, yang berujung pada kelumpuhan dan kematian serangga (Hikal *et al.*, 2017). Aktivitas neurotoksik ini membuat imago dari *S. oryzae* dan *T. castaneum* tidak mampu bergerak dan makan dengan efektif, mempercepat kematian akibat ketidakmampuan mereka dalam mencari dan mengolah makanan (Kumar *et al.*, 2024).

Studi lebih lanjut juga menunjukkan bahwa senyawa fenolik pada *A. conyzoides* memiliki efek residual yang cukup lama, yang berarti senyawa ini dapat bertahan dalam waktu yang signifikan pada permukaan yang terpapar, memperpanjang paparan hama pada senyawa toksik tersebut (Yuliani & Rahayu, 2021). Saponin dapat meningkatkan permeabilitas membran sel, yang menyebabkan kematian hama dalam waktu singkat (Qasim *et al.*, 2020). Alkaloid dan terpenoid dapat mempengaruhi fungsi sistem saraf, menyebabkan disorientasi dan kematian (Gajger & Dar, 2021).

Ekstrak daun *A. conyzoides* dan *T. diversifolia* memiliki potensi sebagai insektisida nabati terhadap hama *S. oryzae* dan *T. castaneum*. Senyawa bioaktif yang terkandung pada kedua ekstrak daun tersebut bekerja melalui berbagai mekanisme, termasuk interaksi dengan reseptor saraf, gangguan pada sistem pencernaan, dan pengaruh terhadap sistem hormonal serangga gangguan serta metabolisme dan

fungsi fisiologis hama sehingga menyebabkan kematian. Sifat aktivitas antifeedant, efek repellent yang kuat, dan kematian imago *S. oryzae* dan *T. castaneum*.

Ekstrak kedua jenis daun ini dapat menjadi alternatif yang efektif dalam pengendalian hama pascapanen yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Penggunaan insektisida nabati dapat membantu menekan risiko resistensi hama terhadap insektisida sintesis, sekaligus melindungi ekosistem pertanian dari paparan bahan kimia berbahaya. Pentingnya hasil penelitian ini terletak pada potensi penggunaan ekstrak daun *A. conyzoides* dan *T. diversifolia* sebagai alternatif insektisida yang ramah lingkungan dalam pengelolaan hama. Di tengah meningkatnya kekhawatiran terhadap dampak negatif dari insektisida sintesis terhadap kesehatan manusia dan ekosistem, penggunaan ekstrak nabati dapat menjadi solusi yang lebih aman dan berkelanjutan. Penggunaan ekstrak tanaman sebagai insektisida sejalan dengan pendekatan pengelolaan hama terpadu yang bertujuan untuk menjaga keberlanjutan ekosistem pertanian berkelanjutan dan mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan bahan kimia berbahaya.

KESIMPULAN

Ekstrak daun *A. conyzoides* dan *T. diversifolia* memiliki aktivitas penghambatan makan, penolakan, dan toksisitas terhadap imago *T. castaneum* dan *S. oryzae* yang bersifat terpaut konsentrasi ekstrak. Aktivitas penghambatan makan dan penolakan imago meningkat seiring kenaikan konsentrasi ekstrak. Kedua aktivitas mencapai maksimum terjadi pada konsentrasi 9%. Mortalitas imago mencapai 100% pada konsentrasi 9% setelah tujuh hari aplikasi. efek repelensi pada ekstrak *T. diversifolia* lebih signifikan dibandingkan *A. conyzoides*.

DAFTAR PUSTAKA

- Annisa, M., Hendrival, & Khaidir. 2021. Evaluasi ketahanan beras lokal Provinsi Sumatera Barat terhadap hama *Sitophilus oryzae* (L.). *Jurnal Agrotek Tropika*. 9(3): 543–552.

- Attia, M.A., Wahba, T.F., Mackled, M.I., & Shawir, M.S. 2017. Resistance status and associated resistance mechanisms to certain insecticides in rice weevil *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). *Alexandria Journal of Agricultural Sciences*. 62(4): 331–340.
- Ayodeji, O.E. 2023. Biopesticidal activities of three botanicals (*Ageratum conyzoides* L., *Petiveria alliacea* L. and *Hyptis suaveolens* L. Poit.) against *Sitophilus oryzae* L. *Open Access J Sci*. 6(1): 610–66.
- Bhargude, A.R., Patil, S.K., & Bhede, B.V. 2021. Susceptibility of selected cereal crops in storage to rice weevil, *Sitophilus oryzae* (Linnaeus). *The Pharma Innovation Journal*. 10(1): 570–575.
- Câmara, J.S., Perestrelo, R., Ferreira, R., Berenguer, C.V., Pereira, J.A.M., & Castilho, P.C. 2024. Plant-derived terpenoids: a plethora of bioactive compounds with several health functions and industrial applications—a comprehensive overview. *Molecules*. 29. 3861.
- Clark, J. T., & Ray, A. 2016. Olfactory mechanisms for discovery of odorants to reduce insect-host contact. *Journal of Chemical Ecology*. 42(9): 919–930.
- Demirak, M.Ş.Ş. & Canpolat, E. 2022. Plant-based bioinsecticides for mosquito control: impact on insecticide resistance and disease transmission. *Insects*. 13(2): 162.
- Devi, M.B. & N.V. Devi. 2015. Biology of rust-red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Biological Forum—An International Journal*. 7(1): 12–15.
- Devi, T.B., Jena, S., Patra, B., Singh, K.D., Chawla, S., Raina, V., Kojam, A.S., Parida, A., & Rajashekar, Y. 2022. Acute and subacute toxicity evaluation of dihydro-pcoumaric acid isolated from leaves of *Tithonia diversifolia* Hemsl. a. gray in BALB/c mice. *Front. Pharmacol*. 13: 1055765.
- Gajger, I.T. & Dar, S.A. 2021. Plant allelochemicals as sources of insecticides. *Insects*. 12(3): 189.
- Gallon, M.E., Silva-Junior, E.A., Amaral, J.G., Lopes, N.P., & Gobbo-Neto, L. 2019. Natural products diversity in plant-insect interaction between *Tithonia diversifolia* (Asteraceae) and *Chlosyne lacinia* (Nymphalidae). *Molecules*. 24: 3118.
- García-Lara, S., Bergvinson, D.J., Burt, A.J., Ramputh, A.I., Díaz-Pontones, D.M., & Arnason, J.T. 2004. The role of pericarp cell wall components in maize weevil resistance. *Crop Science*. 44(5): 1546-1552.
- Gerken, A.R. & J.F. Campbell. 2020. Oviposition and development of *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) on different types of flour. *Agronomy*. 10(10): 1593.
- Gitahi, S.M., Piero, M.N., Mburu, D.N., & Machoch, A.K. 2021. Repellent effects of selected organic leaf extracts of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray and *Vernonia lasiopus* (O. Hoffman) against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). *The Scientific World Journal*. 1: 2718629.
- Green, P.W.C., Belmain, S.R., Ndakidemi, P.A., Farrell, I.W., & Stevenson, P.C. 2017. Insecticidal activity of *Tithonia diversifolia* and *Vernonia amygdalina*. *Industrial Crops and Products*. 110. 15–21.
- Hendrival & Marwan. 2016. Aktivitas insektisida nabati terhadap mortalitas dan penghambatan kemunculan imago *Sitophilus oryzae* L. *Jurnal Agrista*. 20 (2): 66–77.
- Hendrival, Ning Sih, M.S., Maryati, Putri, C.N., & Nasrianti. 2017. Sinergisme serbuk daun *Ageratum conyzoides*, rimpang *Curcuma longa*, dan *Zingiber officinale* terhadap *Sitophilus oryzae* L. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*. 10(2): 101–109.
- Hendrival, Ningsih, M.S., Chodiron, & Wismawati, A. 2017. Toksisitas insektisida nabati dari famili Asteraceae, Anacardiaceae, dan

- Euphorbiaceae terhadap *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae). *Jurnal Biosains*. 3(1): 1–8.
- Hendrival & Riska, A. 2019. Kerentanan relatif tepung sorgum terhadap kumbang tepung merah (*Tribolium castaneum* Herbst). *AGRIN (Jurnal Penelitian Pertanian)*. 23(2): 122–131.
- Hendrival, Khaidir, & Nurhasanah. 2019. Pertumbuhan populasi *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae) dan karakteristik kehilangan bobot pada beras. *Jurnal Agrista*. 23(2): 64–75.
- Hendrival & Rangkuti, R.R. 2020. Interaksi antar spesies hama pascapanen pada gandum. *Agriprima: Journal of Applied Agricultural Sciences*. 4(2): 136–145.
- Hendrival, Juhaimi, Sari, Y., Usnawiyah, & Khaidir. 2022. Pengaruh kepadatan populasi dan periode penyimpanan terhadap pertumbuhan populasi *Sitophilus oryzae* (L.) dan kerusakan sorgum. *Jurnal Agrium*. 19(3): 248–256.
- Hendrival, Khaidir, Rahmania, Afzal, A., & Nasution, H.F. 2022. Klasifikasi kerentanan beras dari plasma nutfah padi lokal Aceh terhadap hama *Sitophilus oryzae* (L.). *Jurnal Agrotech*. 12(1): 23–32.
- Hendrival, Khairunnisa, R., & Munauwar, M.M. 2022. Variasi kerentanan dan kerusakan sereal setelah infestasi hama kumbang bubuk (*Sitophilus oryzae* L.) berdasarkan kadar air. *Agriprima: Journal of Applied Agricultural Sciences*. 6(1): 73–84.
- Hendrival, Latifah, Saputra, D., & Orina. 2016. Kerentanan jenis tepung terhadap infestasi kumbang tepung merah (*Tribolium castaneum* Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Jurnal Agrikultura*. 27(3): 148–153.
- Hendrival, Maulida, A., Julianti, & Khaidir. 2022. Klasifikasi kerentanan tepung beras dan jagung terhadap hama kumbang tepung merah (*Tribolium castaneum* Herbst). *Jurnal Agrotek Indonesia*. 7(1): 19–25.
- Hendrival, Sitompul, S., & Wirda, Z. 2022. Interaksi antara *Sitophilus oryzae* (L.) dan *Rhyzopertha dominica* (F.) terhadap pertumbuhan populasi dan kerusakan sorgum. *Biofarm: Jurnal Ilmiah Pertanian*. 18(2): 134–141.
- Hendrival, Marpaung, S.K., Purnama, D.A., Az Zahra, M.D., Baidhawi, Khaidir, & Usnawiyah. 2024. Repellensi dan toksisitas ekstrak daun *Lantana camara* L. terhadap hama pascapanen. *Jurnal Agrotek Tropika*. 12(1): 1–11.
- Hikal, W.M., Baeshen, R.S., & Said-Al Ahl, H.A. H. 2017. Botanical insecticide as simple extractives for pest control. *Cogent Biology*. 3(1): 1404274
- Hong, K.J., Lee, W., Park, Y.J., & Yang, J.O. 2018. First confirmation of the distribution of rice weevil, *Sitophilus oryzae*, in South Korea. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*. 11(1): 69–75.
- Hussain, M. I., Abbas, F., & Reigosa, M. J. 2018. Activities and novel applications of secondary metabolite coumarins. *Planta Daninha*. 36: e018182663.
- Jaya, Singh, P., Prakash, B., & Dubey, N.K. 2014. Insecticidal activity of *Ageratum conyzoides* L., *Coleus aromaticus* Benth. and *Hyptis suaveolens* (L.) Poit essential oils as fumigant against storage grain insect *Tribolium castaneum* Herbst. *J Food Sci Technol*. 51(9): 2210-5.
- Jung, J.M., D.H. Byeon, S.H. Kim, & W.H. Lee. 2020. Estimating economic damage to cocoa bean production with changes in the spatial distribution of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) in response to climate change. *Journal of Stored Products Research*. 89: 101681.
- Kamboj, A., & Saluja, A. 2008. *Ageratum conyzoides* L.: A review on its phytochemical and pharmacological profile. *International Journal of Green Pharmacy*. 2(2): 59–68.
- Kato-Noguchi, H. & Kato, M. 2024. Defense Molecules of the invasive

- plant species *Ageratum conyzoides*. *Molecules*. 29: 4673.
- Kaur, R., Singh, B., & Kaur, S. 2018. Pharmacognostic studies on leaves of *Ageratum conyzoides* Linn. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 7(3): 3181–3185.
- Kawlni L, Bora, M, Upadhyay S.N., & Hazra, J. 2017. Pharmacological profile of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) a. gray: A comprehensive review. *J Drug Res Ayurvedic Sci*. 2(3): 183–187.
- Khan, W., Jan, S., & Khan, R. 2021. Phytochemical and biological studies on *Ageratum conyzoides* L. *Latin American Applied Research*. 51(3): 231–236.
- Kumar, R., Guleria, N., Deeksha, M.G., Kumari, N., Kumar, R., Jha, A.K., Parmar, N., Ganguly, P., de Aguiar Andrade, E.H., Ferreira, O.O., de Oliveira, M.S., & Chandini. 2024. From an invasive weed to an insecticidal agent: exploring the potential of *Lantana camara* in insect management strategies-a review. *International Journal of Molecular Sciences*. 25(23): 12788.
- Mierziak, J., Kostyn, K., & Kulma, A. 2014. Flavonoids as Important Molecules of Plant Interactions with the Environment. *Molecules*. 19: 16240–16265.
- Mustikarani, A., Hendrival, Usnawiyah, Munauwar, M.M., Latifah, & Putri, N.P. 2024. Kerentanan relatif beras putih terhadap infestasi hama kumbang bubuk beras. *Biofarm: Jurnal Ilmiah Pertanian*. 20(1): 80–87.
- Nasution, H.F., Hendrival, Hafifah, Munauwar, M.M., & Nurdin, M.Y. 2022. Karakteristik dimensi beras lokal Propinsi Sumatera Utara dan kajian kerentanannya terhadap *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). *Ziraa'ah: Majalah Ilmiah Pertanian*. 47(2): 267–278.
- Nenaah, G.E. 2014. Bioactivity of powders and essential oils of three Asteraceae plants as postharvest grain protectants against three major coleopteran pests. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 17(4): 701–709.
- Ngarivhume, T., Noreljaleel, A., Bonnet, S.L., & Wilhelm, A. 2021. Isolation and Antimalarial activity of a new flavonol from *Tithonia diversifolia* Leaf Extract. *Chemistry*. 3: 854–860.
- Pereira, V., Figueira, O., & Castilho, P.C. 2024. Flavonoids as insecticides in crop protection—A review of current research and future prospects. *Plants*. 13: 776.
- Phillips, T.W. & Throne, J.E. 2010. Biorational approaches to managing stored-product insects. *Annu Rev Entomol*. 55: 375–397.
- Qasim, M., Islam, W., Ashraf, H.J., Ali, I., & Wang, L. 2020. Saponins in Insect Pest Control. In: Mérillon, J.M., Ramawat, K. (eds) Co-Evolution of Secondary Metabolites. Reference Series in Phytochemistry. Springer. Cham.
- Romadani, F.P., & Hendrival. (2018). Kajian kerentanan dan kerusakan beras lokal Provinsi Sumatera Selatan terhadap hama pascapanen *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae). *Jurnal Biota*. 4(2): 90–97.
- Sinaga, D.R., Hendrival, Khaidir, Hafifah, Putri, N.P, & Munauwar, M.M. 2023. Repellensi dan toksisitas minyak atsiri daun kirinyuh (*Chromolaena odorata* (L.) King & Robinson) terhadap *Sitophilus oryzae* L. *Biofarm: Jurnal Ilmiah Pertanian*. 19(1): 28–38.
- Singh, K., Sekar, G., Singh, T. R., Haldhar, S., Singh, T., Devi, K., Devi, P., & Devi, C. 2022. Eco-friendly organic management of rust red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Herbst) under stored conditions. *Journal of Agriculture and Ecology*. 14(14): 113–124.
- Susanti, S., Hendrival, Usnawiyah, Hafifah, & Nazaruddin, M. 2022. Kerentanan relatif jenis beras terhadap *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae) pada keadaan kadar air rendah. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agroekoteknologi*. 1(1): 10–17.
- Xia, T., Liu, Y., Lu, Z., & Yu, H. 2023. Natural coumarin shows toxicity to

- Spodoptera litura* by inhibiting detoxification enzymes and glycometabolism. *International Journal of Molecular Sciences*. 24(17): 13177.
- Yadav, N., Ganie, S.A., Singh, B., Chhill, A.K & Yadav, S.S. 2019. Phytochemical constituents and ethnopharmacological properties of *Ageratum conyzoides* L. *Phytotherapy Research*. 33: 2163–2178.
- Yuliani, Y. & Rahayu, Y.S. 2021. The potency of *Ageratum conyzoides* as biopesticide. *Advances in Biological Sciences Research. Proceedings of the Joint Symposium on Tropical Studies (JSTS-19)*. Atlantis Press. p. 148–153.