

Efektivitas Ekstrak Biji Bengkuang (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urb.) dalam Menurunkan Populasi Hama (*Spodoptera litura* F.) pada Tanaman Sawi

*Effectiveness of Yam Bean Seed Extract (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urb.) in Reducing Pest Population (*Spodoptera litura* F.) on Mustard Greens*

Asni Johari*, Muhammad Puja, Desfaur Natalia

Department of Mathematics and Natural Sciences Education, Faculty of Teacher Training and Education, University of Jambi, Muaro Jambi 36361, Jambi, Indonesia

*Penulis korespondensi: Johari_asni@yahoo.com

ABSTRAK. *Spodoptera litura* merupakan salah satu hama utama yang bersifat polifag dan menyerang berbagai jenis tanaman pertanian, termasuk *Brassica juncea*. Penggunaan pestisida sintesis berisiko menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Ekstrak biji bengkuang (*Pachyrhizus erosus*) yang mengandung senyawa rotenone khususnya senyawa Pachyrizzid diketahui memiliki potensi sebagai insektisida nabati melalui mekanisme kerja yang mengganggu sistem saraf dan metabolisme serangga. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas ekstrak biji bengkuang dalam menurunkan populasi *S. litura* di tanaman sawi. Penelitian dilaksanakan di lahan pertanian masyarakat Kecamatan Paal Merah dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap yang terdiri dari tujuh perlakuan konsentrasi (0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, dan 60%) dan empat ulangan. Parameter yang diamati meliputi kelimpahan ulat grayak, suhu, dan kelembapan udara. Data dianalisis menggunakan uji *Shapiro-Wilk*, uji *Kruskal-Wallis*, dan dilanjutkan dengan uji lanjut. Hasil temuan menunjukkan bahwa aplikasi ekstrak biji bengkuang secara signifikan menurunkan populasi *S. litura*, mulai dari konsentrasi 30% hingga 60% dengan konsentrasi efektif 40%. Dengan demikian, ekstrak biji bengkuang berpotensi dikembangkan sebagai agen pengendali hayati ramah lingkungan.

Kata kunci: larvasida nabati, pengendalian hayati, serangga herbivora, tanaman sayuran

ABSTRACT. *Spodoptera litura* is one of the major polyphagous pests that attacks various agricultural crops, including *Brassica juncea*. Infestations of this pest can cause severe damage and reduce crop yields; in Indonesia, losses due to *S. litura* have been reported to reach 30–60% in cabbage and mustard crops, and in some areas may even result in crop failure. The widespread use of synthetic pesticides remains the dominant control method in the field, posing risks to human health and the environment. Yam bean (*Pachyrhizus erosus*) seed extract, which contains rotenone compounds—particularly pachyrizzid—has shown potential as a botanical insecticide through mechanisms that disrupt the insect nervous system and metabolism. This study aims to evaluate the effectiveness of yam bean (*Pachyrhizus erosus*) seed extract in reducing the population of *Spodoptera litura* on mustard greens (*Brassica juncea*), with the hypothesis that the application of yam bean seed extract can significantly suppress the pest population compared to the untreated control. The research was conducted in a community agricultural field in Paal Merah District using a Completely Randomized Design consisting of seven concentration treatments (0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, and 60%) with four replications, totaling 28 experimental units. Observed parameters included armyworm abundance, temperature, and air humidity. Data were analyzed using the Shapiro-Wilk test, Kruskal-Wallis test, and post hoc comparisons. The findings showed that the application of yam bean seed extract significantly reduced *S. litura* populations starting from the 30% to 60% concentrations, with the most effective concentration being 40%. Therefore, yam bean seed extract has strong potential to be developed as an environmentally friendly biocontrol agent.

Keywords: biological control, botanical larvicide, herbivorous insects, vegetable crops

Pendahuluan

Ulat grayak (*Spodoptera litura*) merupakan salah satu hama utama yang bersifat herbivora polifag dan menyerang secara masif, terutama pada malam hari. Hama ini tercatat mampu merusak lebih dari 87 spesies tanaman dari 40 famili berbeda, sehingga menimbulkan kerugian besar dalam sektor pertanian (Yooboon *et al.*, 2019). Larva ulat grayak pada fase awal hanya memakan bagian tepi daun, namun pada fase lanjut dapat menghabiskan seluruh bagian daun, menyebabkan kerusakan parah hingga kematian tanaman (Suharto, 2007). Serangan intensif pada daun dapat menghambat proses fotosintesis dan menurunkan hasil panen secara signifikan (Sudarsono, 2015).

Ketergantungan petani terhadap insektisida sintesis seperti *Regent* dan *Sidamethrin* masih sangat tinggi dalam upaya pengendalian ulat grayak. Penggunaan insektisida kimia secara terus-menerus tanpa manajemen yang tepat dapat menimbulkan berbagai permasalahan, seperti gangguan kesehatan manusia, pencemaran lingkungan, resurgensi populasi hama, serta perkembangan resistensi (Djojsumarto, 2008; Johari, 2015; Prabaningrum & Moekasan, 2022). Untuk mengatasi hal tersebut, insektisida nabati menjadi pilihan alternatif yang lebih aman dan berkelanjutan. Kondisi ini mendorong perlunya penerapan alternatif yang lebih ramah lingkungan, salah satunya dengan memanfaatkan insektisida nabati.

Biji bengkuang (*Pachyrhizus erosus*) merupakan salah satu sumber insektisida nabati yang menjanjikan karena mengandung sekitar 1,0% rotenon, senyawa aktif yang berfungsi mengganggu metabolisme dan sistem saraf serangga (Roy, 2013; Johari *et al.*, 2020a; Fatmawati *et al.*, 2024). Efektivitas rotenon dalam biji bengkuang menjadikannya kandidat potensial sebagai bahan alami pengendali hama, sekaligus mendukung sistem pertanian yang lebih aman dan berkelanjutan. Penelitian yang dilakukan oleh Johari *et al.* (2019), didapatkan ekstrak biji bengkuang terbukti mampu menurunkan aktivitas makan thrips secara signifikan dalam skala laboratorium. Efek penghambatan makan tersebut mengindikasikan adanya senyawa bioaktif dalam biji bengkuang yang bersifat toksik atau menurunkan nafsu makan serangga. Oleh karena itu, penelitian efektivitas ekstrak biji bengkuang ini perlu dilakukan, dan diharapkan ekstrak biji bengkuang dapat menjadi alternatif insektisida nabati yang efektif dan ramah lingkungan dalam upaya pengendalian hama.

Metode

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di kebun masyarakat tani Paal Merah Jambi pada bulan Januari-Juni 2025. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode *true experiment*. Desain yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL), dengan tujuh perlakuan konsentrasi ekstrak biji bengkuang, yaitu 0% (kontrol), 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, dan 60%.

Pembuatan Ekstrak Biji Bengkuang

Pengadaan ekstrak biji bengkuang diawali dengan proses pengeringan 6 kg biji bengkuang tua yang diperoleh dari petani di Kasang Puduk, Jambi. Pengeringan dilakukan pada suhu 60°C hingga mencapai berat konstan. Setelah dikeringkan, biji bengkuang dihaluskan menggunakan blender, kemudian diayak hingga diperoleh serbuk simplisia kering sebanyak 4,6 kg. Serbuk ini kemudian dimaserasi menggunakan etanol 96% dengan perbandingan 1:2 selama 2 hari. Setelah maserasi selama 2 hari,

maserat yang terbentuk disaring menggunakan kertas saring, menghasilkan 7,2 liter filtrat etanol biji bengkuang. Filtrat yang diperoleh kemudian diuapkan dengan *rotary evaporator* pada suhu 50°C hingga seluruh etanol menguap, menghasilkan larutan ekstrak 100%. Untuk meningkatkan kestabilan emulsi, ditambahkan 1 gram detergen sebagai emulsifier. Langkah terakhir, ekstrak diencerkan menggunakan *aquadest* sesuai dengan rumus pengenceran.

Aplikasi Ekstrak Biji Bengkuang

Penyemprotan ekstrak biji bengkuang dilakukan menggunakan hand sprayer sebanyak 10 ml per tanaman sawi. Konsentrasi yang digunakan meliputi 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, dan 60%, dan disemprotkan secara merata ke seluruh bagian tanaman. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak empat kali, dan dilakukan dua kali seminggu. Data kelimpahan diamati setiap minggu hingga diperoleh delapan data pengamatan.

Teknik Pengambilan Data

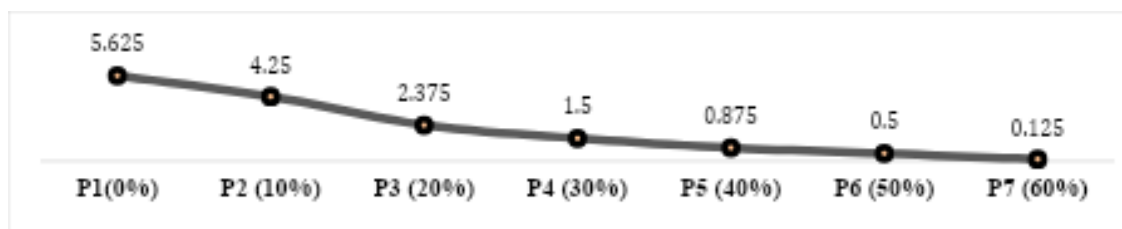
Teknik pengambilan data dalam penelitian ini menggunakan metode *total sampling*, yaitu seluruh populasi ulat grayak yang terdapat pada tanaman sawi dijadikan sebagai sampel. Sampel dikumpulkan dengan metode *hand collecting*, yaitu mengumpulkan ulat secara langsung menggunakan tangan dari tanaman sawi yang telah diberi perlakuan. Pengamatan dilakukan pada sore hari, antara pukul 17.00 hingga 18.00 WIB. Jumlah ulat grayak dihitung pada setiap petak perlakuan untuk mengetahui efektivitas masing-masing konsentrasi ekstrak terhadap populasi hama tersebut. Kelimpahan ulat grayak digunakan sebagai indikator untuk mengukur pengaruh perlakuan.

Teknik Analisis Data

Analisis pengaruh masing-masing perlakuan ekstrak biji bengkuang terhadap kelimpahan ulat grayak dilakukan secara statistik dengan uji normalitas *Shapiro-Wilk*. Hasil analisis menunjukkan bahwa data bersifat nonparametrik. Oleh karena itu, untuk mengetahui perbedaan antar kelompok perlakuan digunakan uji *Kruskal-Wallis*. Uji lanjut dilakukan untuk mengetahui pasangan perlakuan yang menunjukkan perbedaan signifikan. Seluruh analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak IBM SPSS Statistics 27.0 untuk Windows.

Hasil dan Pembahasan

Setelah perlakuan yang diberikan, maka diperoleh data kelimpahan ulat grayak. Hasil penelitian berupa kelimpahan ulat grayak pada sawi terhadap ekstrak biji bengkuang adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Rata-rata kelimpahan ulat grayak pada sawi/ Figure 1. Mean abundance of armyworms on mustard

Data hasil pengamatan menunjukkan bahwa rata-rata kelimpahan ulat grayak menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi ekstrak biji bengkuang yang diaplikasikan. Pada kelompok kontrol (0%), rata-rata kelimpahan tertinggi tercatat sebesar 5,625 ekor. Pada konsentrasi 10% dan 20%, populasi menurun menjadi masing-masing 4,25 dan 2,375 ekor. Penurunan ini terus berlanjut hingga konsentrasi 60%, di mana hanya tercatat rata-rata 0,125 ekor.

Tabel 1. Hasil Uji Normalitas *Shapiro Wilk*

Kelompok/Group	Perlakuan/Treatment	<i>p</i>
Kontrol	Aquadest	0,001
P1	10% ekstrak biji bengkuang	0,001
P2	20% ekstrak biji bengkuang	0,027
P3	30% ekstrak biji bengkuang	0,001
P4	40% ekstrak biji bengkuang	0,037
P5	50% ekstrak biji bengkuang	0,001
P6	60% ekstrak biji bengkuang	0,001

Hasil uji *Shapiro-Wilk* menunjukkan bahwa data kelimpahan ulat grayak pada berbagai konsentrasi ekstrak tidak terdistribusi normal. Pada konsentrasi 0% [$W(8) = 0,641$, $p = 0,001$], 10% [$W(8) = 0,566$, $p = 0,001$], 20% [$W(8) = 0,798$, $p = 0,027$], 30% [$W(8) = 0,665$, $p = 0,001$], 40% [$W(8) = 0,810$, $p = 0,037$], 50% [$W(8) = 0,665$, $p = 0,001$], dan 60% [$W(8) = 0,418$, $p = 0,001$], seluruh nilai p menunjukkan $p < 0,05$. Dengan demikian, asumsi normalitas tidak terpenuhi pada seluruh perlakuan konsentrasi. Oleh karena itu, dilakukan uji non-parametrik.

Tabel 2. Hasil Statistik non-parametrik Kruskal-Wallis

Kelompok/Group	Perlakuan/Treatment	Rata-rata/mean rank	Asymp.Sig
Kontrol	Aquadest	52,13	< 0,001
P1	10% ekstrak biji bengkuang	44,88	
P2	20% ekstrak biji bengkuang	34,06	
P3	30% ekstrak biji bengkuang	26,75	
P4	40% ekstrak biji bengkuang	18,94	
P5	50% ekstrak biji bengkuang	14,00	
P6	60% ekstrak biji bengkuang	8,75	

Hasil analisis menggunakan uji Kruskal-Wallis H menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan dalam kelimpahan ulat grayak antar kelompok perlakuan konsentrasi ekstrak [$H(6) = 48,489$, $p < 0,001$]. Nilai *mean rank* menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi, semakin rendah kelimpahan ulat grayak. Kelompok dengan

konsentrasi 0% memiliki rata-rata peringkat tertinggi (Mean Rank = 52,13), sedangkan kelompok 60% memiliki rata-rata peringkat terendah (Mean Rank = 8,75). Hal ini menunjukkan efektivitas peningkatan konsentrasi dalam menurunkan populasi ulat grayak.

Berdasarkan hasil uji lanjut, diperoleh bahwa terdapat perbedaan yang signifikan dalam kelimpahan ulat grayak antara beberapa kelompok konsentrasi perlakuan. Kelimpahan ulat grayak pada konsentrasi 0% berbeda sangat signifikan dibandingkan dengan kelompok konsentrasi 10% hingga 60%. Konsentrasi 10% juga menunjukkan perbedaan signifikan dibandingkan dengan kelompok konsentrasi 20% ke bawah. Sementara itu, konsentrasi 40% tergabung dalam subset homogen bersama konsentrasi 30%, 50%, dan 60%, yang menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan di antara konsentrasi tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa mulai dari konsentrasi 40%, efektivitas perlakuan dalam menurunkan populasi ulat grayak sudah cukup stabil dan tidak berbeda nyata dibandingkan konsentrasi yang lebih tinggi.

Efektivitas ekstrak biji bengkuang dalam menurunkan populasi ulat grayak erat kaitannya dengan kandungan senyawa metabolit sekunder yang bersifat toksik bagi serangga. Beberapa senyawa aktif yang terkandung dalam biji bengkuang meliputi rotenone, dolineone, 12a-hydroxypachyrizone, dan pachyrrhizin (Estrella-Parra *et al.*, 2014; Johari *et al.*, 2023; Johari *et al.*, 2024). Rotenone merupakan senyawa yang bekerja dengan menghambat kompleks I dari rantai transpor elektron dalam mitokondria, yang menyebabkan terganggunya produksi ATP, memicu stres oksidatif, dan akhirnya menyebabkan kematian sel (Sun *et al.*, 2021; Kumar *et al.*, 2022). Senyawa ini juga diketahui bekerja melalui jalur nekrosis, tanpa melibatkan mekanisme apoptosis (Li *et al.*, 2022).

Sementara itu, pachyrrhizin (C₁₉H₁₂O₆) merupakan isoflavonoid glikosida yang bersifat insektisida dan larvasidal. Aisah *et al.* (2013) melaporkan bahwa senyawa ini efektif membunuh larva *Aedes aegypti* dengan nilai LC₅₀ sebesar 0,18%. Senyawa ini juga diketahui menyebabkan kerusakan morfologis pada tubuh larva, termasuk kepala, toraks, dan abdomen. Kandungan pachyrrhizin dalam biji bengkuang dilaporkan bervariasi antara 0,25 mg/g hingga 5 mg/g (Catteau *et al.*, 2013), menjelaskan potensi toksiknya pada berbagai serangga hama.

Senyawa rotenone dan pachyrrhizin bekerja sebagai racun kontak, racun perut, dan racun pernapasan (Djojoseumarto, 2008). Ketika senyawa ini menembus integumen atau tertelan oleh larva, akan mengganggu sistem saraf dan respirasi, menyebabkan terganggunya metabolisme energi dan akhirnya mengakibatkan kematian (Kamaraj *et al.*, 2011).

Selama pengamatan di lapangan, larva yang terkena perlakuan ekstrak biji bengkuang menunjukkan perubahan morfologis yang mencolok. Perubahan ini ditandai dengan perubahan warna tubuh dari hijau kecokelatan menjadi cokelat tua dan kehitaman, pengerutan tubuh, dan eksudasi cairan dari jaringan tubuh. Tanda-tanda ini merupakan indikasi kerusakan fisiologis dan metabolik akibat toksisitas senyawa rotenone dan pachyrrhizin (Lin *et al.*, 2022; Johari *et al.*, 2024). Perubahan morfologi ini juga sesuai dengan karakteristik kematian larva yang disebabkan oleh racun yang bekerja secara sistemik.

Kondisi suhu dan kelembapan juga memberikan pengaruh terhadap dinamika populasi hama (Johari *et al.*, 2017; Johari *et al.*, 2020b; Johari *et al.*, 2021a; Johari *et al.*, 2021b). Suhu yang relatif menurun disertai peningkatan kelembapan udara berkontribusi terhadap penurunan aktivitas metabolik serangga. Suhu berperan penting dalam mengatur kerja enzim, yang menjadi kunci dalam proses metabolisme seluler

(Poedjiadi dan Supriyanti, 2012; Johari *et al.*, 2021c; Johari *et al.*, 2022). Parameter lingkungan seperti suhu dan kelembapan turut diamati dalam setiap sesi pengamatan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa suhu udara berkisar antara 28°C hingga 30°C, yang masih berada dalam kisaran optimal untuk mendukung kehidupan *S. litura*, yaitu 25°C –30°C. Kelembapan relatif udara tercatat antara 75% hingga 81%, yang juga termasuk dalam rentang kelembapan optimal bagi *S. litura*, yakni 70%–85%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak biji bengkuang sangat efektif dalam mengendalikan populasi ulat grayak pada tanaman sawi. Efektivitas ini didukung oleh senyawa aktif seperti rotenone dan pachyrhizin yang mampu mengganggu fungsi vital sel serangga. Konsentrasi 40% dapat direkomendasikan sebagai dosis optimal karena terbukti efektif secara statistik dan efisien dalam penggunaan bahan. Selain itu, penggunaan ekstrak nabati ini mendukung pengembangan sistem pengendalian hama yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Simpulan

Ekstrak biji bengkuang (*P. erosus*) efektif menurunkan kelimpahan ulat grayak (*S. litura*) pada tanaman sawi hijau (*B. juncea*), dengan konsentrasi 40% sebagai konsentrasi optimal.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada Rektor Universitas Jambi atas pendanaan penelitian melalui dana PNBP tahun 2025. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Kepala Laboratorium FST serta pengelola perkebunan yang telah memberikan dukungan selama pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisah D. 2013. Potensi ekstrak biji bengkuang (*Pachyrhizus erosus* Urb.) sebagai larvasida *Aedes aegypti* L. instar III. *Kaunia Jurnal Sains dan Teknologi*. 9(1):1-11.
- Catteau L, Lautié E, Kone O, Coppée M, Hell K, Pomalegni CB, Quetin-Leclercq J. 2013. Degradation of rotenone in yam bean seeds (*Pachyrhizus* sp.) through food processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 61(46):1173-11179. doi: <https://doi.org/10.1021/jf402584k>.
- Djojosumarto P. 2008. *Panduan lengkap insektisida & aplikasinya*. Jakarta: Agromedia.
- Estrella-Parra EA, Gomez-Verjan JC, González-Sánchez I, Vázquez-Martínez ER, Vergara-Castañeda E, Cerbón MA, Reyes-Chilpa R. 2014. Rotenone isolated from *Pachyrhizus erosus* displays cytotoxicity and genotoxicity in K562 cells. *Natural Product Research*. 28(20):1780-1785. doi: <https://doi.org/10.1080/14786419.2014.939081>.
- Fatmawati LS, Andini ND, Margono. 2024. Preparation of biopesticide powder from jicama (*Pachyrhizus erosus*) leaf extract to eradicate whitefly pests (*Bemisia tabaci* G.) on eggplant plants (*Solanum melongena* L.). *Journal of Biodiversity and Biotechnology*. 3(2):87–94. doi: <https://doi.org/10.20961/jbb.v3i2.83481>.
- Johari A. 2015. Abundance of *Thrips palmi* karny and the phenomenon of *Thrips* sp. (Thysanoptera: Thripidae) attack as pest and virus vectorat vegetables plantation in Jambi region. *ARPJ. Engg. Appl. Sci.* 10:2570-76.

- Johari A, Lukman A, Muswita. 2017. The abundance of thrips (Thysanoptera) on vegetables plantation in Jambi region, Sumatera, Indonesia. *J. Ent. Res.* 41: 25-32. doi: <https://doi.org/10.5958/0974-4576.2017.00005.6>.
- Johari A, Lukman A, Dewi RS, Tommy M. 2019. The effect of Yam seed (*Pachyrhizus erosus urban*) extract on the thrips feeding activity: Laboratory scale. *Journal of Entomological Research.* 43(3):257-262. doi: <https://doi.org/10.5958/0974-4576.2019.00049.5>.
- Johari A, Handayani T, Dewi SM, Muswita, Dewi RS. 2020a. The effect of yam seed (*Pachyrhizus erosus Urban*) extract on the abundance of *Bemisia tabaci* Genn. and *Aphis gossypii* Glover on eggplant plants. *J. Ent. Res.* 44:359-64. doi: <https://doi.org/10.5958/0974-4576.2020.00061.4>
- Johari A, Oktafiani DW, Dewi RS. 2020b. The presence of ladybug beetle (Coleoptera: Coccinellidae) as a predator on agriculture in Jambi region. *J. Ent. Res.* 44:45-50. doi: <https://doi.org/10.5958/0974-4576.2020.00008.0>
- Johari A, Hermanto AM, Wulandari T. 2021a. Ant diversity inhabited oil palm plantations in a peatland in Sumatra, Indonesia. *Nusantara Biosci.* 13:158-63. doi: <https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n130204>
- Johari A, Zebua KB, Natalia D, Harlis. 2021b. The morphology and abundance of longtailed mealybug (*Pseudococcus longispinus*) on ornamental plant, *Aglaonema* spp. in Jambi city, Indonesia. *J. Ent. Res.* 45:851-55. doi: <https://doi.org/10.5958/0974-4576.2021.00132.8>
- Johari A, Zuhrah NE, Wulandari T. 2021c. The diversity of Macrofauna in peatlands that planted by palm oil and without palm oil in Jambi region, Indonesia. *J. Ent. Res.* 45: 311-15. doi: <https://doi.org/10.5958/0974-4576.2021.00050.5>.
- Johari A, Elina, Harlis, Naswir M. 2022. The preference and abundance of thrips (Thysanoptera) on roses (*Rosa hybrida*) in several regions of Jambi. *J. Ent. Res.* 46:310-13. doi: <https://doi.org/10.5958/0974-4576.2022.00056.1>.
- Johari A, Widiyanti W, Zahwariah V, Muswita H, Naswir M. 2023. The effect of yam seed extract on the abundance of armyworms and diamondback moths on an experimental garden scale. *J. Ent. Res.* 46:968-72. doi: <https://doi.org/10.5958/0974-4576.2022.00165.7>.
- Johari A, Arliansyah MF, Muswita, Naswir M. 2024. Utilization of mint as a natural repellent for aphid populations. *Int. J. Appl. Sci. Res.* 7:107-11. doi: <https://doi.org/10.56293/IJASR.2024.6213>.
- Kamaraj C, Rahuman AA, Bagavan A, Elango G, Zahir AA, Santhoshkumar T. 2011. Larvicidal and repellent activity of medicinal plant extracts from Eastern Ghats of South India against malaria and filariasis vectors. *Parasitology Research.* 109(2):353-367.
- Kumar PP, Bawani SS, Anandhi DU, Prashanth KH. 2022. Rotenone mediated developmental toxicity in *Drosophila melanogaster*. *Environmental Toxicology and Pharmacology.* 93:103892. doi: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2022.103892>.
- Li P, Tian Y, Dua M, Xie Q, Chen Y, Ma L, Huang Y, Yin Z, Xu H, Wu X. 2022. Mechanism of rotenone toxicity against *Plutella xylostella*: New perspective from a spatial metabolomics and lipidomics study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 71(1):211-222. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c06292>.
- Lin S, Xu K, Zhang Q, Zhu Q, Khan MM, Zhang Z, Cheng D. 2022. Low concentration of rotenone impairs membrane function of *Spodoptera litura* cells by promoting their aggregation. *Agronomy.* 12(11):2611. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy12112611>

- Poedjiadi A, Supriyanti T. 2012. *Dasar-dasar biokimia* (Edisi Revisi). Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.
- Prabaningrum L, Moekasan TK. 2022. *Ulat Grayak, Spodoptera spp.: Hama Polifag, Bioekologi dan Pengendaliannya*. Jakarta: IAARD Press.
- Roy B. 2013. *Breeding, biotechnology and seed production of field crops*. New Delhi: New India Publishing Agency. doi: <https://doi.org/10.59317/9789389907681>.
- Sudarsono H. 2015. *Pengantar Pengendalian Hama Tanaman*. Yogyakarta: Plantaxia.
- Suharto. 2007. *Pengenalan dan pengendalian hama tanaman pangan* (Ed. 1, F. S. Suryantoro, Ed.). Yogyakarta: Andi.
- Sun Z, Xue L, Li Y, Cui G, Sun R, Hu M, Zhong G. 2021. Rotenone-induced necrosis in insect cells via the cytoplasmic membrane damage and mitochondrial dysfunction. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 173:104801. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2021.104801>.
- Yooboon T, Pengsook A, Ratwatthananon A, Pluempanupat W, Bullangpoti V. 2019. A plant-based extract mixture for controlling *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 6:1-10. doi: <https://doi.org/10.1186/s40538-019-0143-6>.