

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Mortalitas Ulat Hongkong

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan ekstrak pestisida nabati berbahan dasar daun pepaya, daun sirsak, daun mimba, tembakau dan bawang putih berpengaruh nyata terhadap mortalitas ulat hongkong. Waktu pengamatan mortalitas dilakukan selama 5 HAS (Hari Setelah Aplikasi). Persentase mortalitas larva *Tenebrio molitor* pada perlakuan ekstrak jenis pestisida nabati disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Mortalitas Larva *Tenebrio molitor* dengan Perlakuan Jenis Pestisida

Perlakuan Pestisida Nabati	Mortalitas Larva <i>Tenebrio molitor</i> -----%-----
P0 (Kontrol tanpa Pestisida)	1.67 ^d
P1 (Daun Pepaya)	3.33 ^c
P2 (Daun Sirsak)	0,00 ^e
P3 (Daun Mimba)	6.67 ^b
P4 (Tembakau)	6.67 ^b
P5 (Bawang Putih)	6.67 ^b
P6 (Pestisida Sintetik)	60,00 ^a

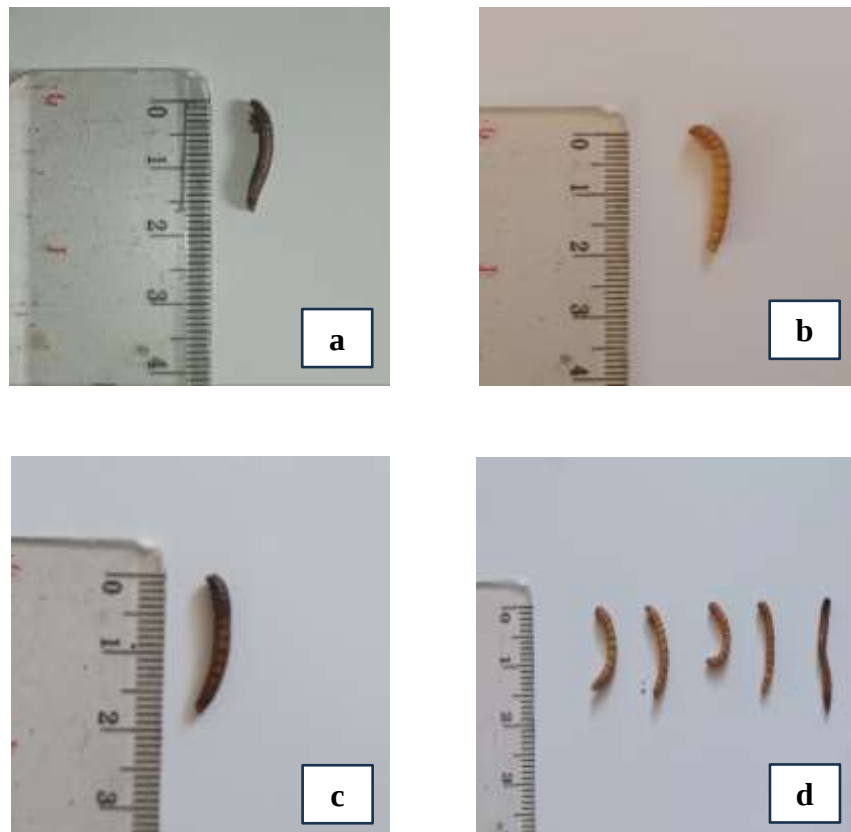
Keterangan: Perlakuan dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5%.

Berdasarkan tabel 1. mortalitas larva *Tenebrio molitor* dengan perlakuan kelima jenis pestisida nabati memiliki nilai berkisar antara 0 – 6,67 %. Mortalitas tertinggi terdapat pada perlakuan pestisida sintetik berbahan aktif imidakloprit dengan persentase mortalitas sebesar 60, diikuti dengan perlakuan pestisida daun mimba, tembakau dan bawang putih yang memberikan hasil mortalitas yang sama

yakni sebesar 6,67. Perlakuan daun pepaya (P1) menghasilkan mortalitas sebesar 3,33, perlakuan kontrol tanpa pestisida (P0) menghasilkan mortalitas sebesar 1,33. Perlakuan daun sirsak (P2) tidak berbeda nyata dengan perlakuan P0,P1,P3,P4, dan P5. Tingginya mortalitas pada perlakuan P6 disebabkan oleh mekanisme kerja imidakloprit sebagai insektisida yang menyerang sistem saraf. Berdasarkan pernyataan Sabry *et al.* (2021) menyatakan bahwa imidakloprit bekerja dengan mengganggu transmisi rangsangan dalam sistem saraf serangga yang menyebabkan penyumbatan jalur neuron nikotinik, mencegah asetilkolin nikotinat mengirimkan impuls antar saraf sehingga menyebabkan kelumpuhan hingga kematian.

Ekstrak daun mimba (P3), tembakau (P4) dan bawang putih (P5) menunjukkan hasil mortalitas tertinggi dibandingkan pestisida nabati lain. Hal ini diduga karena adanya senyawa aktif seperti acetogenin pada daun mimba, nikotin pada tembakau serta alicin pada bawang putih yang mempunyai pengaruh yang kuat pada larva *Tenebrio molitor*. Ekstrak daun mimba memiliki senyawa aktif berupa acetogenin yang memiliki berbagai pengaruh seperti penurunan ketahanan hidup. Berdasarkan penelitian Rahmawati *et al.* (2019) yang menyatakan bahwa senyawa acetogenin bekerja dengan dua cara, yaitu dengan kontak langsung atau lewat pakan yang dikonsumsi serangga dimana senyawa yang masuk ke saluran pencernaan diserap oleh dinding usus lalu menyerang saraf pusat dan menyebabkan kematian bertahap. Nikotin merupakan senyawa aktif yang bekerja langsung ke saraf. Berdasarkan Khaser (2012) yang dikutip oleh Faizah dan Dewi (2024) menyatakan bahwa senyawa nikotin merusak syaraf pusat serangga dan

mengakibatkan rusaknya reseptor serangga secara permanen. Selain itu, nikotin juga berfungsi sebagai repelan, antifidan, penghambat perkembangan dan pengganggu sistem hormon pada serangga. Sementara senyawa alicin bekerja dengan cara yang berbeda. Menurut Agnetha (2005) yang dikutip oleh Anindita *et al.* (2023) menyatakan bahwa senyawa alicin (sulfur) bekerja dengan merusak membrane sel pada larva sehingga terjadi lisis dan menyebabkan kematian pada larva. Kondisi mortalitas larva *Tenebrio molitor* dapat dilihat pada Ilustrasi 2 berikut



Ilustrasi 5. Kondisi Mortalitas pada Perlakuan a) ekstrak mimba (P3), b) ekstrak pepaya (P2), c) ekstrak tembakau (P4), d). Pestisida Sintetik (P6).

Berdasarkan ilustrasi 5. kondisi mortalitas yang terlihat pada perlakuan P3 (ekstrak mimba) menunjukkan kulit ulat hongkong yang menghitam. Perlakuan P1 (ekstrak pepaya) menunjukkan kondisi ulat hongkong dengan warna coklat pucat dan memiliki kondisi tubuh yang lunak. Perlakuan P4 (ekstrak tembakau) menunjukkan kondisi kulit ulat hongkong yang menggelap dengan tubuh yang kaku. Sementara itu, pada perlakuan P6 (Pestisida imidakloprit) menunjukkan kondisi tubuh yang kaku dan cenderung melengkung akibat dari efek bahan aktif imidakloprit yang menyerang sistem saraf ulat sehingga menyebabkan tubuh larva melengkung.

Ekstrak daun pepaya (P1) hanya menyebabkan mortalitas sangat rendah, setara dengan mortalitas kontrol (P0), yang mengindikasikan bahwa pada konsentrasi yang digunakan (30 mL/70 mL), kandungan senyawa aktif seperti papain dan alkaloid karpain belum cukup efektif untuk mematikan larva *T. molitor*. Berdasarkan penelitian Rahmatullah *et al.* (2025) menyatakan bahwa mortalitas ekstrak daun pepaya hanya terjadi pada konsentrasi tinggi sehingga mengindikasikan efektivitas pestisida daun pepaya bersifat sangat bergantung pada konsentrasi. Berdasarkan penelitian Habila *et al.* (2020) menyatakan bahwa mortalitas larva meningkat seiring dengan tingginya konsentrasi dimana perbedaan signifikan terjadi pada konsentrasi 300 ppm dibandingkan konsentrasi dibawahnya dan lamanya paparan.

Adanya mortalitas pada perlakuan kontrol diduga dikarenakan pengaruh dari faktor luar seperti suhu, lingkungan maupun stres akibat perlakuan. Mortalitas pada perlakuan kontrol masih dapat diterima apabila tidak mencapai

batas tertentu. Berdasarkan protocol WHO / CDC (2024) menyatakan bahwa mortalitas kontrol hingga 3 % dapat diabaikan, sedangkan apabila mortalitas berada pada rentang 3 – 20%, koreksi dengan menggunakan formula abbot direkomendasikan untuk memperbaiki hasil pengamatan. Apabila mortalitas kontrol lebih dari 20%, hasil *bio-assay* sebaiknya dibuang dan diulang.

Sementara itu, ekstrak daun sirsak (P2) tidak menunjukkan efek mortalitas sama sekali, yang dapat disebabkan ketidaksesuaian cara kerja senyawa aktif pada daun sirsak terhadap metode dipping pada serangga. Perlakuan pestisida nabati daun sirsak 30/70 ml diduga belum mencapai konsentrasi efektif terhadap serangga uji. Berdasarkan penelitian Khoirunnisya *et al.* (2022) menyatakan bahwa ekstrak daun sirsak dengan konsentrasi 60 g/l direkomendasikan sebagai konsentrasi efektif karena memberikan hasil terbaik tidak berbeda nyata dibandingkan pestisida sintetik terhadap *Spodoptera frugiperda*. Hal ini mengindikasikan bahwa efektivitas insektisidal daun sirsak baru tercapai secara optimal pada konsentrasi tinggi tersebut. Berdasarkan penelitian Akbar *et al.* (2023) menyatakan bahwa senyawa acetogenin bersifat sebagai racun perut apabila masuk ke dalam organ pencernaan serta annonain yang memiliki rasa pahit sehingga bersifat antifeedant. Efektivitas kedua senyawa tersebut bergantung terhadap cara masuk senyawa ke dalam tubuh serangga melalui pakan. Berdasarkan penelitian González-López (2025) didapatkan hasil bahwa ekstrak dari tanaman sirsak yang dikolonisasi mikoriza menunjukkan aktivitas insektisidal terhadap *Spodoptera frugiperda* dengan mortalitas larva 72%, sebanding dengan insektisida komersial. Namun, ekstrak daun sirsak tanpa perlakuan khusus

menunjukkan aktivitas yang jauh lebih rendah, karena kandungan annonacin sangat bervariasi tergantung dengan kondisi pertumbuhan tanaman dan metode ekstraksi yang digunakan. Rendahnya mortalitas yang disebabkan oleh pestisida nabati dapat disebabkan oleh berbagai faktor. Berdasarkan pendapat Widayani *et al.* (2018) toksisitas suatu formulasi pestisida nabati sangat dipengaruhi oleh suhu dan lama lingkungan, serta lama residu pestisida nabati yang bertahan di permukaan organisme.

4.2. *Lethal Time 50 (LT50)*

Nilai LT50 merupakan estimasi waktu yang dibutuhkan untuk mematikan 50% populasi serangga uji pada konsentrasi perlakuan yang diberikan. Nilai LT50 dihitung berdasarkan analisis probit (Finney, 1971) dari data mortalitas kumulatif pada setiap interval pengamatan. Hasil analisis LT50 disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. *Lethal Time 50 dan 95 Larva Tenebrio molitor terhadap Jenis Pestisida Nabati.*

Perlakuan	<i>Lethal Time 50</i>	<i>Lethal Time 95</i>
	-----Hari-----	
P0 (Kontrol)	40,104	67,67
P1 (Daun Pepaya)	16,747	27,84
P2 (Daun Sirsak)	-	-
P3 (Daun Mimba)	13,171	22,05
P4 (Tembakau)	11,159	18,35
P5 (Bawang Putih)	11,099	18,13
P6 (Pestisida Imidakloprit 25%)	4,2702	8,80

Berdasarkan hasil analisis probit Tabel 2, nilai LT50 dan LT95 menunjukkan variasi nyata antar perlakuan. Nilai LT50 terkecil diperoleh pada

perlakuan P6 (pestisida sintetik imidakloprid) yaitu 4,27 hari, yang menunjukkan kemampuan membunuh 50% populasi larva dalam waktu paling singkat dibandingkan semua perlakuan lainnya. *Lethal Time* 50 jenis pestisida nabati dengan analisis probit tercepat terdapat pada perlakuan P5 (ekstrak bawang putih) sebesar 11,1 hari, diikuti P4 (ekstrak tembakau) sebesar 11,2 hari, kemudian P3 (ekstrak daun mimba) sebesar 13,2 hari, P1 (ekstrak daun pepaya) sebesar 16,747 hari, dan P0 (kontrol tanpa pestisida) sebesar 40,141 hari. Perlakuan P2 (ekstrak daun sirsak) tidak menghasilkan nilai LT50 maupun LT95 yang dapat dihitung, dimana tidak terdapat mortalitas yang dapat dihitung selama periode pengamatan.

Siklus hidup *Tenebrio molitor* berlangsung cukup Panjang dimana melewati 4 tahap, yaitu telur, larva, pupa dan imago. Berdasarkan Vommaro *et al.* (2024) menyatakan bahwa proses pertumbuhan *Tenebrio molitor* berlangsung selama 10 – 12 minggu, termasuk 14 – 18 fase larva dan 7 – 8 hari fase pupa pada suhu 28° C. Fase terpanjang pada *Tenebrio molitor* terdapat pada fase larva. Menurut Li *et al.* (2013) yang dikutip oleh Zahra *et al.* (2025) menyatakan bahwa masa telur memiliki rentang 3 – 9 hari, masa larva memiliki rentang 26 – 76 hari, dan masa pupa memiliki rentang 5 – 17 hari.

Berdasarkan siklus hidup *Tenebrio molitor* yang telah diketahui, nilai LT50 seluruh pestisida nabati dengan rentang nilai antara 11 – 17 hari berada jauh dibawah durasi stadium larva *Tenebrio molitor* yang memiliki rentang 26 – 76 hari. Hal ini dapat disimpulkan seluruh perlakuan pestisida nabati kecuali pestisida ekstrak daun sirsak mampu menyebabkan kematian 50% larva dalam

rentang waktu yang masih di dalam masa larva aktif sebelum larva berlanjut memasuki stadium pupa.

Nilai LT95 pada perlakuan P3, P4, P5, dan P6 menunjukkan bahwa dalam rentang stadium larva *Tenebrio molitor*, masing – masing perlakuan mampu menyebabkan kematian 95%. Perlakuan P1 memiliki LT95 sebesar 27,84 hari berada di rentang peralihan larva menuju pupa, mengindikasi bahwa Sebagian individu yang bertahan berpotensi telah memasuki fase prepupa pada saat kematian terjadi.

Perlakuan P6 menghasilkan nilai LT50 tercepat dibandingkan perlakuan pestisida lainnya. Hal ini mencerminkan bahwa imidakloprit bekerja lebih cepat karena mekanisme kerjanya yang spesifik terhadap reseptor nikotinik asetilkolin pada sistem saraf serangga. Berdasarkan pernyataan Kundoo *et al.* (2018) menyatakan bahwa Imidakloprit sebagai pestisida jenis neonikotinoid bekerja dengan memblokir dan mengikat kuat nAChR serangga yang menyebabkan stimulasi saraf, kelumpuhan. dan kematian tergantung dengan konsentrasi yang diberikan. Imidakloprit bekerja dengan cara kerja tertentu terhadap reseptor nikotinik asetilkolin pada sistem saraf serangga uji. Berdasarkan Malhotra (2021) yang mengutip Jones dan Sattelle (2010) menyatakan bahwa reseptor asetilkolin nikotinik (nAChR) adalah saluran ion Na^+ , K^+ , dan Ca^{2+} yang diatur oleh ligan; difusi ion-ion ini menyebabkan depolarisasi dan kontraksi otot. nAChR juga bertanggung jawab atas transmisi sinaptik kolinergik pada serangga dan dianggap sebagai reseptor utama nikotin dan insektisida neonikotinoid.

Diduga dalam rentang waktu 11,1 HSA, 50% populasi larva uji akan mengalami kematian dan 50% sisa populasi larva uji akan melanjutkan siklus hidup dengan normal atau mengalami abnormalitas dalam siklus hidupnya. Nilai LT50 yang relatif berdekatan antara P5 dan P4 mengindikasikan bahwa kedua bahan nabati tersebut memiliki kecepatan letal yang sebanding. Nilai LT50 P0 yang sangat panjang 40,104 hari mengonfirmasi bahwa mortalitas pada kontrol bersifat alamiah dan bukan akibat perlakuan. Perlakuan P2 (daun sirsak) tidak dapat dihitung nilai LT50-nya karena tidak terjadi mortalitas selama periode pengamatan 120 jam. Hal ini dapat disebabkan karena cara kerja senyawa yang terkandung dalam ekstrak daun sirsak tidak bekerja sebagai racun kontak, melainkan sebagai racun perut. Berdasarkan penelitian Vargas-Villareal *et al.* (2024) menyatakan bahwa senyawa annonacin bekerja sebagai antifeedant terhadap larva *Spodoptera frugiperda* menyebabkan efek antifeedant sebesar 80%. Terlihat dari bobot tubuh serangga uji yang rendah berkaitan dengan kemampuan mengubah makanan menjadi biomassa, menunjukkan bahwa mekanisme utama acetogenin adalah mengganggu nutrisi yang masuk ke dalam serangga bukan membunuh secara langsung melalui kontak.

4.3. Perubahan Perilaku dan Fisik

Pemberian pestisida nabati pada larva *Tenebrio molitor* memberikan efek tertentu pada perilaku dan fisik larva setelah pengamatan 12 jam. Pengamatan perubahan perilaku dan fisik dilakukan pada 12 jam setelah perlakuan meliputi

tiga indikator, yaitu aktivitas gerak, respon rangsangan dan nafsu makan. Hasil observasi kualitatif disajikan dalam Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Data Kualitatif Perubahan Perilaku Larva *Tenebrio molitor*

Jenis Pestisida	Aktivitas Gerak	Respon Rangsangan	Nafsu Makan
P0 (Kontrol Tanpa Pestisida)	Normal	Normal	Normal
P1 (Ekstrak Daun Pepaya)	Normal	Normal	Normal
P2 (Ekstrak Daun Sirsak)	Normal	Normal	Normal
P3 (Ekstrak Daun Mimba)	Sedikit Terganggu	Sedikit Terganggu	Sedikit Terganggu
P4 (Ekstrak Tembakau)	Sedikit Terganggu	Lemah	Sedikit Terganggu
P5 (Ekstrak Bawang Putih)	Lemah	Lemah	Lemah
P6 (Pestisida Sintetik Imidakloprit)	Kejang Berulang	Tidak Aktif	Tidak Aktif

Berdasarkan Tabel 3, perlakuan P6 (imidakloprit) menunjukkan perubahan perilaku paling drastis. Larva menunjukkan gejala kejang berulang, kehilangan kemampuan bergerak secara koordinatif, serta tidak merespons rangsangan sentuhan pada pengamatan 12 jam setelah perlakuan. Nafsu makan menghilang sepenuhnya, dan tubuh larva mengalami kekakuan disertai perubahan warna tubuh menjadi lebih gelap. Gejala ini sesuai dengan mekanisme neurotoksik imidakloprit yang menyebabkan hiperstimulasi sinaptik pada sistem saraf serangga. Insektisida imidakloprit merupakan pestisida jenis neonikotinoid dimana bekerja pada reseptor nikotinik asetilkolin (nAChRs) yang apabila terikat, insektisida dapat menyebabkan kejang otot, kelelahan energi sel, kelumpuhan dan hingga kematian pada serangga yang terpapar (Maloney *et al.* 2021).

Perlakuan P4 (tembakau) menunjukkan gejala serupa berupa penurunan aktivitas gerak, tremor pada ruas-ruas tubuh, dan penurunan nafsu makan. Senyawa nikotin pada tembakau diduga bekerja sebagai agonis reseptor nikotinik, menyebabkan depolarisasi membran saraf yang berkepanjangan. Perlakuan P5

(Bawang putih) menunjukkan gejala berupa penghindaran pakan, aktivitas gerak yang sangat lemah, respon rangsangan yang lemah serta penurunan nafsu makan. Senyawa allicin serta minyak atsiri yang terdapat pada ekstrak bawang putih diduga memiliki pengaruh besar terhadap kondisi perilaku larva *Tenebrio molitor*. Perlakuan P3 (daun mimba) memperlihatkan larva yang masih bergerak namun lambat, respons rangsangan menurun, dan nafsu makan sedikit menurun. Kondisi ini sesuai dengan sifat azadiraktin sebagai antifeedant dan *insect growth disruptor* yang menghambat sekresi hormon ecdison sehingga mengganggu proses molting dan aktivitas makan larva

Perlakuan P1 (daun pepaya) dan P2 (daun sirsak) tidak menunjukkan perubahan perilaku besar dibandingkan kontrol (P0). Larva pada kedua perlakuan ini tetap aktif bergerak, merespons rangsangan secara normal, dan mengonsumsi pakan dalam jumlah yang hampir sama dengan kontrol. Hal ini memperkuat temuan bahwa pada konsentrasi yang digunakan, kedua ekstrak tersebut belum memberikan efek insektisidal yang bermakna pada *T. molitor*.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pestisida nabati tembakau belum mampu untuk menghasilkan mortalitas yang tinggi pada larva *Tenebrio molitor*. Rendahnya mortalitas yang disebabkan pestisida nabati dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti rendahnya konsentrasi yang digunakan serta ketidakcocokan cara kerja senyawa pestisida nabati yang terkandung terhadap metode pengujian yang digunakan.

5.2. Saran

Penelitian jenis pestisida nabati untuk mengendalikan larva *T. molitor* disarankan untuk menggunakan konsentrasi dan dosis yang sesuai dengan anjuran penelitian terdahulu. Metode perlakuan juga perlu diperhatikan untuk mendapatkan efektivitas yang baik terhadap organisme uji.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdarah, A. 2025. Pengaruh ekstrak bawang putih (*Allium sativum* L.) terhadap mortalitas larva *Spodoptera frugiperda* pada tanaman jagung. *Jurnal Pertanian Cemara*, 22 (1) : 1 – 10. <https://doi.org/10.24929/fp.v22i1.4269>
- Abdurrahman, S. G., S. Ikawati, F. A. Choliq, dan O. Mustofa. 2024. Bioaktivitas ekstrak limbah tembakau sebagai pestisida nabati terhadap hama *Plutella xylostella* pada tanaman kubis. *Jurnal HPT (Hama Penyakit Tumbuhan)*, 12 (2) : 91 – 102.
- Ahamad, A., J. Ahamad, dan M. J. Naim. 2023. Current perspective on pesticides: their classification, behaviour, potential use and toxic effects. *Journal of Angiotherapy*, 7 (1) : 1 – 12.
- Aizzatin, N. N. dan D. A. Martitik. 2025. Karakterisasi morfologi bawang putih (*Allium sativum* L.) varietas lokal di Satria Tani Hanggawana. *RADIKULA: Jurnal Ilmu Pertanian*, 4 (1) : 33 – 40.
- Akbar, F., W. Rivaldy, H. Ahmad, A. Askur, dan M. Rusdi. 2023. Efektivitas daun sirsak (*Annona muricata*) dalam mematikan larva nyamuk *Aedes aegypti*. *Jurnal Penelitian Kesehatan Suara Forikes*, 6 – 9.
- Al-Ani, E. H., H. I. Al-Khazraji, dan M. B. Al-Shaibani. 2022. The use of alkaloids as botanical insecticides. *ACE Research Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33 : 33 – 41.
- Amalia, R. P., S. Sugiarto, dan T. Surjana. 2022. Pengaruh ekstrak daun sirsak (*Annona muricata* L.) terhadap mortalitas dan intensitas serangan ulat grayak (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) pada tanaman jagung (*Zea mays* L.). *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8 (9) : 176 – 186. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6644232>
- Anindita, D. C., T. D. Sutiknjo, dan R. E. Pawani. 2023. Sosialisasi pestisida nabati ramah lingkungan di desa Joho, Kabupaten Kediri. *JATIMAS: Jurnal Pertanian dan Pengabdian Masyarakat*, 3 (2) : 159 – 167.
- Ardiansyah, C. Mulyani, dan Rosmaiti. 2025. Pengaruh insektisida nabati dan Teknik aplikasi terhadap mortalitas hama ulat grayak (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith). *Agrika : Jurnal Ilmu – ilmu Pertanian*, 19 (2) : 250 – 262.
- Astuti, F. K., A. Iskandar, dan E. Fitasari. 2017. Peningkatan produksi ulat hongkong di peternak rakyat desa Patihan, Blitar melalui teknologi modifikasi ruang menggunakan *exhaust* dan termometer digital otomatis. *JAPI (Jurnal Akses Pengabdian Indonesia)*, 2 (1) : 39 – 48.

- Azzahra, A., I. Y. N. Hizqiyah, dan C. Cartono. 2023. Efektivitas ekstrak daun tembakau terhadap mortalitas hama ulat grayak pada tanaman hias lili putih. *Biofarm: Jurnal Ilmiah Pertanian*, 19 (2) : 206 – 211. <https://doi.org/10.31941/biofarm.v19i2.3286>
- CDC. 2024. *CDC Global Manual for Evaluating Insecticide Resistance Using the CDC Bottle Bioassay*. Atlanta, GA: U.S. Centers for Disease Control and Prevention.
- Dubey, S. K., A. Pandey, dan R. S. Sangwan. 2016. *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Crop Modification, Nutrition, and Food Production*. Elsevier, Amsterdam.
- Durán-Ruiz, C. A., A. R. González-Esquinca, dan I. de-la-Cruz-Chacón. 2024. Annonaceous acetogenins: a comparative analysis of insecticidal activity. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 46 : e-508.
- Eberle, S., L. M. Schaden, J. Tintner, C. Stauffer, dan M. Schebeck. 2022. Effect of temperature and photoperiod on development, survival, and growth rate of mealworms, *Tenebrio molitor*. *Insects*, 13 (4) : 321.
- El-Aswad, A. F., J. Aisu, dan M. H. Khalifa. 2023. Biological activity of tannins extracts from processed *Camellia sinensis* (black and green tea), *Vicia faba* and *Urtica dioica* and *Allium cepa* essential oil on three economic insects. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 130 (3) : 495 – 508.
- Eurika, N. dan A. I. Hapsari. 2017. Analisis potensi tembakau Na oogst sebagai sumber belajar biologi. *Bioma: Jurnal Biologi dan Pembelajaran Biologi*, 2 (2) : 11 – 22.
- Fahmi, I. F., Pujiati, R. S., dan Ellyke, E. 2022. Efektivitas Ekstrak Bawang Putih (*Allium Sativum*) Sebagai Repellent Lalat Rumah (*Musca Domestica*). *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*, 18 (4) : 251 – 258.
- Faizah, R. N. dan S. K. Dewi. 2024. Efektifitas ekstrak daun *Nicotiana tabacum* L. var. Virginia dan *Carica papaya* L. var Thailand sebagai bioinsektisida terhadap mortalitas *Spodoptera litura* F. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 13 (1) : 141 – 149.
- Fatikhin, A. C., L. Rosdiana, dan F. D. Roqobih. 2023. Studi literatur: efektivitas daun mimba sebagai pestisida nabati pengusir ulat grayak pada tanaman jagung. *Innofarm: Jurnal Inovasi Pertanian*, 25 (2).
- Fordos, S., S. Amin, N. Abid, I. Pasha, M. K. I. Khan, A. Amin, dan G. Abdi. 2025. Saponins: advances in extraction techniques, functional properties, and industrial applications. *Applied Food Research*, 5 (2) : 101146. 1 – 27.

- Godlewska-Żyłkiewicz, B., K. Świtek, A. Tomaszewska, A. Karpowicz, dan R. Świsłocka. 2020. Biologically active compounds of plants: structure-related antioxidant, microbiological and cytotoxic activity of selected carboxylic acids. *Materials*, 13 (19) : 4454. <https://doi.org/10.3390/ma13194454>
- Gokulakrishnaa, R. K. dan S. Thirunavukkarasu. 2023. Bioassay techniques in entomological research. *IJPSS*, 35 : 363 – 373.
- González-López, A. M., E. E. Quiñones-Aguilar, J. N. Enríquez-Vara, J. A. Martínez-Ibarra, dan G. Rincón-Enríquez. 2025. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance the insecticidal activity of *Annona muricata* L. leaves. *Plants*, 14 (22) : 3501.
- Hapsari, D. G. P. L., A. M. Fuah, dan Y. C. Endrawati. 2018. Produktifitas ulat hongkong (*Tenebrio molitor*) pada media pakan yang berbeda. *Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan*, 6 (2) : 53 – 59.
- Hassan, A. S. 2019. Inorganic-based pesticides: a review article. *Egypt Science Journal of Pesticides*, 5 : 39 – 52.
- Heinrich, M., J. Mah, dan V. Amirkia. 2021. Alkaloids used as medicines: structural phytochemistry meets biodiversity—an update and forward look. *Molecules*, 26 (7) : 1 – 18.
- Hidayah, N., N. Rahma, R. Amelia, R. Kumala, O. Meliandika, dan T. Asmadi. 2024. Pemanfaatan daun mimba (*Azadirachta indica*) sebagai pestisida nabati dalam mengatasi masalah hama di desa Gondang Kecamatan Gangga Kabupaten Lombok Utara. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 7 (1) : 308 – 311.
- Hussain, M., B. Debnath, M. Qasim, B. S. Bamisile, W. Islam, M. S. Hameed, dan D. Qiu. 2019. Role of saponins in plant defense against specialist herbivores. *Molecules*, 24 (11) : 2067. 1 – 21.
- Irfan, M. 2016. Uji pestisida nabati terhadap hama dan penyakit tanaman. *Jurnal Agroteknologi*, 6 (2) : 39 – 45.
- Ismail, A. A. dan P. Suharti. 2021. Pengaruh pemberian campuran seduhan umbi bawang putih (*Allium sativum*) dan lidah buaya (*Aloe vera* L.) sebagai biopestisida alami terhadap aktifitas hama jangkrik (*Tarbinskiellus portentosus*) serta implementasinya sebagai edukasi masyarakat. *Pedago Biologi: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Biologi*, 9 (2) : 1 – 8.
- Jamin, F. S., D. M. Kamal, R. Auliani, M. Rusli, dan S. A. Pramono. 2024. Penggunaan pestisida dalam pertanian: resiko kesehatan dan alternatif ramah lingkungan. *Jurnal Kolaboratif Sains*, 7 (11) : 4151 – 4159.

- Jannah, R., A. Nurdin, dan R. Putri. 2024. Analisis kandungan pestisida pada air aliran sawah yang di konsumsi masyarakat Gampong Pante Kuyun Kabupaten Aceh Jaya. *Jurnal Penelitian Multidisiplin Bangsa*, 1 (5) : 371 – 382.
- Juang, Y.-P. dan P.-H. Liang. 2020. Biological and pharmacological effects of synthetic saponins. *Molecules*, 25 (21) : 4974. <https://doi.org/10.3390/molecules25214974>
- Julaily, N., Mukarlina, dan T. R. Setyawati. 2013. Pengendalian hama pada tanaman sawi (*Brassica juncea* L.) menggunakan ekstrak daun pepaya (*Carica papaya* L.). *Jurnal Protobiont*, 2 (3) : 171 – 175.
- Kahar, A., M. Rianti, A. I. S. Taslim, dan E. Azis. 2024. Pengolahan pestisida nabati berbahan dasar daun pepaya di desa Bamba Puang, Kecamatan Anggeraja, Kabupaten Enrekang. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 7 (4) : 1634 – 1639.
- Kanu, K. C. (2023). Prediction of the toxic effects of (agro) chemical mixtures on organisms using simple time-based models. *MethodsX*, 10, 101956.
- Khoirunnisya, H. A., L. Afifah, T. Surjana, dan A. Yustiano. 2022. Toxicity test of *Annona muricata* L. leaf extract as a biopesticide against mortality of *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith. *Jurnal Agroplasma*, 9 (2) : 161 – 169.
- Kulu, I. P., D. S. Rahayu, dan P. Surawijaya. 2022. Efektivitas pemberian ekstrak daun pepaya (*Carica papaya* L.) terhadap intensitas serangan hama pada tanaman tomat (*Solanum lycopersicum* L.). *Jurnal HPT (Hama Penyakit Tumbuhan)*, 10 (4) : 194 – 200.
- Kundoo, A. A., S. A. Dar, M. Mushtaq, Z. Bashir, M. S. Dar, S. Gul, dan S. Gulzar. 2018. Role of neonicotinoids in insect pest management: a review. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6 (1) : 333 – 339.
- Limbong, O., B. A. Kristanto, dan F. Kusmiyati. 2021. Pengaruh konsentrasi dan interval waktu penyemprotan biopestisida babandotan terhadap intensitas kerusakan dan hasil tanaman kailan. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, 23 (2) : 84 – 91.
- Maharan, A. D., S. Amin, N. N. Fauzan, dan N. Sopiyaniti. 2025. Peran senyawa bioaktif tumbuhan untuk penyakit degeneratif: tinjauan kimia medisinal. *Jurnal Ilmiah Kedokteran dan Kesehatan*, 4 (2) : 187 – 197.
- Mahathir, A. M. M., T. Hadibarata, M. M. N. H. Jusoh, I. S. Tan, dan Y. H. Tan. 2025. Biological control of insect pests using entomopathogenic enzymes: opportunities and challenges. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 15 (2) : 1 – 21.

- Malhotra, N., K. H. Chen, J. Huang, et al. 2021. Physiological effects of neonicotinoid insecticides on non-target animals—an updated review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22 : 9591.
- Maloney, E. M., E. Taillebois, N. Gilles, C. A. Morrissey, K. Liber, D. Servent, dan S. H. Thany. 2021. Binding properties to nicotinic acetylcholine receptors can explain differential toxicity of neonicotinoid insecticides in Chironomidae. *Aquatic Toxicology*, 230 : 105701.
- Mangan, D. H., A. Rizali, dan A. Sofyan. 2024. Pengaruh pemberian ekstrak daun pepaya untuk mengendalikan ulat grayak pada tanaman edamame (*Glycine max* (L) Merrill). *Agroekotek View*, 6 (1) : 32 – 40. <https://doi.org/10.20527/agtview.v6i1.3988>
- Maudodi, R. S., A. Rizali, dan Y. Marsuni. 2025. Uji efektivitas pestisida nabati dari daun mimba terhadap kematian ulat grayak (*Spodoptera litura* F.). *Agroekotek View*, 7 (3) : 45 – 53. <https://doi.org/10.20527/agtview.v7i3.6385>
- Mawuntu, M. S. C. 2016. Efektivitas ekstrak daun sirsak dan daun pepaya dalam pengendalian *Plutella xylostella* L. (*Lepidoptera*; *Yponomeutidae*) pada tanaman kubis di Kota Tomohon. *Jurnal Ilmiah Sains*, 16 (1) : 24 – 29.
- Meriem, S., D. Armita, R. F. Alir, dan M. Masriany. 2021. Karakter morfologi dan fisiologi perkecambahan umbi bawang putih (*Allium sativum* L.) pada penyimpanan suhu rendah. *Teknosains: Media Informasi Sains dan Teknologi*, 15 (2) : 221 – 227.
- Mina, M. Y., J. Jeksen, dan Y. Y. Bolli. 2025. Uji efektivitas pestisida nabati dalam pengendalian hama kepik pengisap buah (*Helopeltis* sp.) pada buah kakao (*Thebroma cacao*). *PUCUK: Jurnal Ilmu Tanaman*, 5 (1) : 113 – 118.
- Nanda, G. W., Oktarina, O., dan Murtiyaningsih, H. 2022. Efektifitas Pestisida Nabati Ekstrak Daun Pepaya Dan Kenikir Terhadap Intensitas Serangan Ulat Grayak (*Spodoptera litura*) vDan Hasil Tanaman Sawi (*Brassica juncea* L.). *National Multidisciplinary Sciences*, 1 (2) :152 – 161.
- Ngo, N. T., C. T. Ho, D. T. Nguyen, T. T. Tran, dan Q. L. Dang. 2017. Fraction and determination of capsaicinoids from red pepper fruits with insecticidal activity against mealworm, *Tenebrio molitor*, and superworm, *Zophobas morio*. *Vietnam Journal of Science and Technology*, 55 (4c) : 57 – 64.
- Nursam, N., M. Yunus, dan B. Nasir. 2018. Pengaruh pestisida nabati buah cabai (*Capsicum annum* L.) dan umbi bawang putih (*Allium sativum* L.) terhadap mortalitas hama bawang merah (*Spodoptera exigua* Hubner). *E-Jurnal Ilmu Pertanian*, 6 (2) : 225 – 231.

- Oguh, C. E., Okpaka, C. O., Ubani, C. S., Okekeaji, U., Joseph, P. S., dan Amadi, E. U. (2019). Natural pesticides (biopesticides) and uses in pest management-a critical review. *Asian Journal of Biotechnology and Genetic Engineering*, 2(3), 1-18.
- Oktadiana, I. dan V. D. Ningsih. 2020. Aktivitas penolak serangga (*insect repellent*) ekstrak klorofom biji mimba (*Azadirachta indica*) terhadap kutu beras (*Calandra oryzae*). *Jurnal Farmasi Tinctura*, 1 (2) : 55 – 63.
- Ozogul, Y., Y. Ucar, E. E. Tadesse, N. Rathod, P. Kulawik, M. Trif, dan F. Ozogul. 2025. Tannins for food preservation and human health: a review of current knowledge. *Applied Food Research*, 5 (1) : 100738. 1 – 24.
- Park, J. B., W. H. Choi, S. H. Kim, H. J. Jin, Y. S. Han, dan N. J. Kim. 2014. Developmental characteristics of *Tenebrio molitor* larvae (*Coleoptera: Tenebrionidae*) in different instars. *International Journal of Industrial Entomology*, 28 (1) : 5 – 9.
- Pathak, V. M., V. K. Verma, B. S. Rawat, B. Kaur, N. Babu, A. Sharma, dan J. M. Cunill. 2022. Current status of pesticide effects on environment, human health and it's eco-friendly management as bioremediation: a comprehensive review. *Frontiers in Microbiology*, 13 : 1 – 29.
- Pereira, V., O. Figueira, dan P. C. Castilho. 2024. Flavonoids as insecticides in crop protection—a review of current research and future prospects. *Plants*, 13 (6) : 776. 1 – 15.
- Puspasari, L. T., R. Meliansyah, S. Hartati, dan V. K. Dewi. 2024. Aplikasi pembuatan pestisida nabati sebagai alternatif pengendalian serangga hama tanaman pada petani sayur di desa Margahayu dan Margacinta, Kecamatan Leuwigoong, Kabupaten Garut. *Agrikultura Masyarakat Tani*, 1 (3) : 132 – 137.
- Rahmatullah, S., A. Z. Meivira, I. Hidayah, N. P. Maharani, Q. A. Safwan, dan R. A. Putri. 2026. Uji toksisitas ekstrak daun pepaya (*Carica papaya* L.) terhadap mortalitas jangkrik (Gryllidae). *Jurnal Ilmiah Nusantara*, 3 (1) : 371 – 378.
- Rahmawati, A., B. Nasir, dan Rosmini. 2019. Pengaruh berbagai konsentrasi ekstrak daun sirsak (*Annona muricata* L.) dalam mengendalikan *Spodoptera exigua* Hubner (*Lepidoptera: Noctuidae*) pada tanaman bawang merah. *Jurnal Agrotekbis*, 7 (4) : 415 – 423.
- Rajput, V. S., J. Jhala, dan V. S. Acharya. 2020. Biopesticides and their mode of action against insect pests: a review. *International Journal of Chemical Studies*, 8 (2) : 2856 – 2862.

- Rusminah, H. S., N. U. Ayudia, S. Ardiansyah, S. Oktaviani, B. Maharani, S. E. Basuki, dan U. Lailbarokah. 2025. Pemanfaatan limbah tembakau sebagai pestisida organik guna mendukung pertanian berkelanjutan desa Ketangga Kabupaten Lombok Timur. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 8 (1) : 242 – 247.
- Sabry, A. K. H., H. A. N. Salem, dan H. M. Metwally. 2021. Development of imidacloprid and indoxacarb formulations to nanoformulations and their efficacy against *Spodoptera littoralis* (Boisd). *Bulletin of The National Research Centre*, 45 (1) : 16.
- Saenong, M. S. 2016. Tumbuhan Indonesia potensial sebagai insektisida nabati untuk mengendalikan hama kumbang bubuk jagung (*Sitophilus* spp.). *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 35 (3) : 131 – 142.
- Salbiah, D. dan M. Tawi. 2025. Uji konsentrasi ekstrak daun mimba (*Azadirachta indica* A. Juss) terhadap mortalitas ulat bawang *Spodoptera exigua* Hubner di laboratorium. *Dinamika Pertanian*, 41 (3) : 349 – 354.
- Salbiah, D., dan Andria, N. 2019. Uji Beberapa Konsentrasi Ekstrak Daun Mimba (*Azadirachta Indica* A. Juss) Untuk Mengendalikan Larva Lamprosema Indicata F. Pada Tanaman Kedelai (*Glycine Max* L. Merrill). *Dinamika Pertanian*, 35 (1) : 1 – 6.
- Salbiah, D., dan Tawi, M. 2025. Uji Konsentrasi Ekstrak Daun Mimba (*Azadirachta Indica* A. Juss) Terhadap Mortalitas Ulat Bawang *Spodoptera Exigua* Hubner. Di Laboratorium. *DINAMIKA PERTANIAN*, 41 (3) : 349 – 354.
- Saputra, H. dan A. Prasetyo. 2023. Penggunaan pestisida nabati untuk meningkatkan hasil budidaya tanaman sayuran di pekarangan. *Agriwana Jurnal Pertanian dan Kehutanan*, 1 (2) : 9 – 13.
- Sembiring, R., D. Salbiah, dan R. Rustam. 2014. Pemberian tepung daun sirsak (*Annona muricata* L.) dalam mengendalikan hama kumbang bubuk jagung (*Sitophilus zeamais* M.) pada biji jagung di penyimpanan. *Jurnal Faperta*, 1 (2) : 1 – 10.
- Serdani, A. D., J. Widiatmanta, dan A. K. Ardi. 2022. Pengaruh insektisida nabati daun tembakau dan pepaya terhadap mortalitas ulat grayak (*Spodoptera litura*). *AGRORADIX: Jurnal Ilmu Pertanian*, 6 (1) : 1 – 7.
- Shekhar, C., R. Khosya, K. Thakur, D. Mahajan, R. Kumar, S. Kumar, dan A. K. Sharma. 2024. A systematic review of pesticide exposure, associated risks, and long-term human health impacts. *Toxicology Reports*, 13 : 1 – 23.

- Sidauruk, L., C. J. Manalu, dan D. E. Sinukaban. 2019. Efektifitas pestisida nabati dengan berbagai konsentrasi pada pengendalian serangan hama dan produksi tanaman jagung manis (*Zea mays saccharata* Sturt). *Rhizobia: Jurnal Agroteknologi*, 1 (1) : 63 – 71.
- Souto, A. L., Sylvestre, M., Tölke, E. D., Tavares, J. F., Barbosa-Filho, J. M., dan Cebrián-Torrejón, G. (2021). Plant-derived pesticides as an alternative to pest management and sustainable agricultural production: Prospects, applications and challenges. *Molecules*, 26(16), 4835.
- Suryanti, V., A. Sariwati, F. Sari, D. S. Handayani, dan H. D. Risqi. 2022. Metabolite bioactive contents of *Parkia timoriana* (DC) Merr seed extracts in different solvent polarities. *HAYATI Journal of Biosciences*, 29 (5) : 681 – 694.
- Syahrani, K., P. Purnomo, H. Sudarsono, dan I. G. Swibawa. 2025. Uji toksisitas ekstrak daun tembakau (*Nicotiana tabacum* L.) terhadap mortalitas ulat *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith pada tanaman jagung. *Jurnal Proteksi Agrikultura*, 2 (1) : 6 – 12. <https://doi.org/10.23960/jpa.126-12>
- Syahrulawal, L., M. O. Torske, R. Sapkota, G. Næss, dan P. Khanal. 2023. Improving the nutritional values of yellow mealworm *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae as an animal feed ingredient: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 14 (146) : 1 – 18.
- Syukur, M., H. E. Saputra, dan R. Hermanto. 2015. *Bertanam Tomat di Musim Hujan*. Penebar Swadaya Grup, Jakarta.
- Terziev, V. dan S. Petkova-Georgieva. 2019. Human health problems and classification of the most toxic pesticides. *IJASOS-International E-Journal of Advances in Social Sciences*, 5 (15) : 1349 – 1356.
- Usman, S., A. M. Kundiri, dan M. Nzamouhe. 2017. Effects of organophosphate herbicides on biological organisms in soil medium—a mini review. *Journal of Ecology and Toxicology*, 1 : 1 – 102.
- Usman, S., J. O. Jayeoba, dan S. M. Amana. 2024. Pesticides and soil environment: an age-linked concept. *Bulgarian Journal of Soil Science*, 9 (1) : 83 – 103.
- Utama, W. T., S. Sutarto, R. D. P. Sari, dan R. Indriyani. 2022. Pemanfaatan pesti (pestisida nabati) sebagai upaya mewujudkan petani yang ramah lingkungan di desa Kibang, Kecamatan Metro Kibang, Kabupaten Lampung Timur. *Buguh: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2 (1) : 89 – 95.
- Verardi, A., P. Sangiorgio, B. Della Mura, S. Moliterni, A. Spagnoletta, S. Dimatteo, dan S. Errico. 2025. *Tenebrio molitor* frass: a cutting-edge

- biofertilizer for sustainable agriculture and advanced adsorbent precursor for environmental remediation. *Agronomy*, 15 (758) : 1 – 25.
- Vommaro, M. L., Donato, S., Caputo, S., Agostino, R. G., Montali, A., Tettamanti, G., dan Giglio, A. (2024). Anatomical changes of *Tenebrio molitor* and *Tribolium castaneum* during complete metamorphosis. *Cell and Tissue Research*, 396(1), 19-40.
- Wathoni, H., N. Nurhayati, S. Sabahiyah, D. Mayasari, dan S. Wahyuni. 2026. Pelatihan pembuatan pestisida nabati melalui pemanfaatan daun pepaya di desa Tirtanadi. *Insanta: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4 (1) : 1 – 9.
- Widayani, N. S., A. N. Haq, L. T. Puspasari, Y. Hidayat, dan D. Dono. 2018. Effect of temperature, storage time, the residual test of neem oil formulation (*Azadirachta indica* A. Juss) and bitung formulation (*Barringtonia asiatica*) to its toxicity against large cabbage heart caterpillar (*Crociodolomia pavonana* F.). *CROPSAVER-Journal of Plant Protection*, 1 (1) : 27 – 36.
- Widayani, N. S., D. Dono, dan Y. Hidayat. 2018. Susceptibility of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stal.) from Cipunagara and Banyuwangi population to neem oil formulation. *CROPSAVER-Journal of Plant Protection*, 1 (2) : 98 – 103.
- Winantoro, F. A., D. E. Ratnawati, dan S. Anam. 2021. Klasifikasi fungsi senyawa aktif berdasarkan notasi *simplified molecular input line entry system* (SMILES) menggunakan metode *random forest*. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 5 (4) : 1250 – 1256.
- Wulandari, M. P. 2024. Pengaruh pemberian pestisida nabati daun tembakau terhadap mortalitas keong mas (*Pomacea canaliculata*). *JUSTER: Jurnal Sains dan Terapan*, 3 (1) : 49 – 52.
- Yulianingsih, R. dan K. U. Al Awwaly. 2015. Alih teknologi budidaya ulat pada kelompok peternak ulat hongkong di desa Oro-Oro Ombo, Kota Batu. *Journal of Innovation and Applied Technology*, 1 (2) : 111 – 117.
- Zahra, A. A., M. M. Bedewy, A. H. Elsaftany, K. H. Metwaly, dan H. A. Gad. 2025. Insecticidal effect of ozone on larvae of *Tenebrio molitor* and their enzyme activity. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 132 (4) : 124.
- Zhang, W., S. Pang, Z. Lin, S. Mishra, P. Bhatt, dan S. Chen. 2021. Biotransformation of perfluoroalkyl acid precursors from various environmental systems: advances and perspectives. *Environmental Pollution*, 272 : 115908.