

**POTENSI BAHAN TAMBAHAN PADA PESTISIDA NABATI DAUN PEPAYA
TERHADAP HAMA DAN KERUSAKAN DAUN KANGKUNG CABUT
(*Ipomoea reptans* Poir)**

*Additive Effects of Papaya Leaf Botanical Pesticides on Pest Control and Leaf Protection in
Upland Water Spinach (*Ipomoea reptans* Poir)*

**Nurul Chairiyah^{1*}, Ipun², Dwi Santoso³, Nur Indah Mansyur⁴, Nurmaisah⁵, Muh
Adiwena⁶, Saat Egra⁷, Muttaqien⁸**

^{1,2,3,4,5,6,7,8)} Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Borneo Tarakan
Jl. Amal Lama No.1, Kota Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

³⁾ Program Doktor Ilmu Pertanian, Sekolah Pascasarjana, Universitas Hasanuddin,
Jl. Perintis Kemerdekaan Km 10, Tamalanrea, Makassar 90245, Sulawesi Selatan, Indonesia

⁵⁾ Department of Entomology, College of Agriculture and Natural Resources, National Chung Hsing
University

145 Xingda Rd., South Dist., Taichung City 40227, Taiwan (R.O.C.)

⁷⁾ United Graduate School of Agriculture Sciences, Gifu University

1-1 Yanagido, Gifu-shi, Gifu 501-1193, Japan.

^{1*)} nchairiyah@borneo.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penambahan bawang putih, serai, dan daun sirih dalam formulasi pestisida nabati berbahan dasar daun pepaya terhadap penurunan jumlah hama dan kerusakan daun pada tanaman kangkung cabut (*Ipomoea reptans* Poir). Penelitian ini menggunakan metode eksperimen lapangan dengan Rancangan Acak Kelompok (RAK) yang terdiri atas lima taraf perlakuan dan lima ulangan, sehingga terdapat 25 satuan percobaan. Perlakuan terdiri dari P0 (kontrol); P1 (daun pepaya); P2 (daun pepaya + bawang putih), P3 (daun pepaya + serai), dan P4 (daun pepaya + daun sirih). Pestisida nabati diformulasikan melalui proses penghalusan bahan aktif dalam 300 mL air, diikuti inkubasi selama tiga hari, penyaringan, dan pengenceran hingga 1 liter. Penanaman kangkung cabut dilakukan pada bedengan berukuran 1 × 1 meter dengan perlakuan budidaya standar, meliputi penyiraman, penyiangan, dan pemupukan dasar. Pestisida nabati diaplikasikan dengan metode penyemprotan sebanyak dua kali, yaitu pada minggu ketiga dan keempat setelah tanam, pada sore hari. Parameter yang diamati meliputi persentase penurunan jumlah hama serta kerusakan daun. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif untuk menggambarkan pengaruh aplikasi pestisida nabati terhadap populasi hama dan tingkat kerusakan tanaman kangkung. Perlakuan paling optimal diperoleh dari kombinasi daun pepaya dan serai (P3), yang mampu menurunkan jumlah hama hingga 87,5% dan dapat menekan kerusakan daun dibandingkan perlakuan lainnya. Masih ditemukan tanda-tanda serangan berupa bercak cokelat dan bekas gigitan pada beberapa perlakuan, yang menunjukkan bahwa efektivitas pestisida nabati turut dipengaruhi oleh stabilitas senyawa aktif yang digunakan.

Kata kunci: daun pepaya, pestisida nabati, kangkung cabut, serai, senyawa aktif

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effectiveness of adding garlic, lemongrass, and soursop leaves to a plant-based pesticide formulation using papaya leaves as the main ingredient in reducing pest populations and leaf damage in upland water spinach (*Ipomoea reptans* Poir). The research was conducted through a field experiment using a Randomized Complete Block Design (RCBD) consisting of five treatments and five replications, resulting in 25 experimental units. The treatments included P0 (control), P1 (papaya leaves), P2 (papaya leaves + garlic), P3 (papaya leaves + lemongrass), and P4 (papaya leaves + soursop leaves). The botanical pesticide was formulated by blending the active ingredients with 300 mL of water, followed by incubation for three days, filtration, and dilution to a final volume of 1 liter. Upland water spinach was cultivated on plots measuring 1 × 1 meters using standard cultivation practices, including watering, weeding, and base fertilization. The pesticide was applied twice by spraying, in the third and fourth weeks after planting, during the late afternoon. Observed parameters included the percentage reduction in pest numbers and leaf damage. The most effective treatment was P3 (papaya leaves + lemongrass), which reduced pest populations by 87.5% and significantly suppressed leaf damage compared to other treatments. However, signs of pest activity such as brown spots and bite marks

were still observed in some treatments, indicating that the effectiveness of the botanical pesticide was also influenced by the stability of the active compounds used.

Keywords: *botanical pesticide, papaya leaves, lemongrass, upland water spinach, active compounds*

PENDAHULUAN

Kangkung cabut (*Ipomoea reptans* Poir) merupakan sayuran daun bernilai gizi tinggi yang mudah dibudidayakan dan banyak dikonsumsi masyarakat (Saidi, *et al.*, 2022). Selain mengandung protein, serat, β -karoten, vitamin C, kalsium, dan zat besi, tanaman ini juga kaya senyawa bioaktif seperti flavonoid, tanin, saponin, karotenoid, dan sitosterol yang bersifat antioksidan dan berpotensi antidiabetes. Karakteristik ini menjadikannya sebagai tanaman fungsional yang banyak dibudidayakan petani.

Walapun sering dibudidayakan, produksi kangkung kerap terhambat akibat serangan hama daun seperti ulat, kutu, dan belalang, yang menyebabkan kerusakan langsung pada bagian daun. Kerusakan ini berdampak pada penurunan kualitas serta kuantitas hasil panen. Berdasarkan hasil studi dari Rahayu, *et al.*, (2023) tanaman kangkung air di Kabupaten Lombok Barat, ditemukan sembilan spesies hama yang terdiri atas dua kelas (Gastropoda dan Insecta), empat ordo, dan tujuh famili, dengan *Pomacea canaliculata* memiliki indeks keragaman tertinggi (0,316). Secara umum, tingkat keragaman dan kelimpahan hama tergolong sedang, dengan intensitas kerusakan mencapai 16,10%. Sementara

itu, pada tanaman kangkung darat, *Chlosyne* sp. menjadi hama dominan dengan intensitas kerusakan mencapai 26,1%. Temuan ini menunjukkan bahwa serangan hama pada tanaman kangkung masih signifikan, sehingga diperlukan upaya pengendalian yang efektif dan ramah lingkungan (Siregar, 2025).

Pengendalian hama umumnya masih mengandalkan pestisida kimia sintesis, yang berisiko menimbulkan resistensi hama, meninggalkan residu berbahaya, serta mencemari lingkungan jika digunakan secara terus-menerus. Penggunaan pestisida kimia dalam pertanian masih menjadi metode utama dalam pengendalian hama karena efektivitasnya dalam meningkatkan hasil produksi. Namun, penggunaan yang tidak terkendali dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Penurunan keanekaragaman hayati akibat kematian organisme non-target, termasuk musuh alami hama, dapat mengganggu keseimbangan ekosistem dan justru meningkatkan resistensi hama yang berakibat pada bertambahnya populasi hama (Suryani, *et al.*, 2020). Selain itu, pestisida umumnya mengandung bahan aktif yang berpotensi mencemari tanah dan air serta meninggalkan residu dalam rantai

makanan. Hal tersebut dapat berdampak pada kesehatan manusia, seperti keracunan akut, gangguan pernapasan, hingga penyakit kronis akibat paparan berulang terhadap bahan kimia pestisida (El-Nahhal dan El-Nahhal, 2021; Liem, 2021; Scorza, *et al.*, 2023). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan alternatif yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan, seperti penggunaan pestisida nabati, untuk menekan dampak negatif sekaligus menjaga produktivitas pertanian.

Sebagai solusi pertanian yang ramah lingkungan, Pestisida nabati merupakan solusi ramah lingkungan dalam pengendalian hama karena bersumber dari tanaman lokal yang mudah diperoleh dan aman bagi manusia. Keunggulannya meliputi efektivitas yang tinggi jika diaplikasikan tepat, residu rendah karena senyawa aktif mudah terurai, serta mekanisme kerja yang selektif terhadap hama tanpa mengganggu musuh alami. Selain tidak bersifat fitotoksik, pestisida ini juga memiliki risiko resistensi yang lebih rendah dibandingkan pestisida sintetis (Oguh, *et al.*, 2019).

Salah satu bahan nabati potensial adalah daun pepaya (*Carica papaya*), yang mengandung bahan alami antioksidan. Daun pepaya diketahui mengandung berbagai senyawa aktif seperti papain, karpain, pseudo-karpain, glikosida, karposid, saponin, flavonoid, serta gula

seperti sakarosa, dekstrosa, dan levulosa. Beberapa di antaranya, seperti papain, saponin, flavonoid, dan alkaloid karpain, memiliki potensi sebagai insektisida karena dapat mengganggu proses fisiologis larva serangga dan menghambat pertumbuhannya. Sebagai alternatif pengendalian hayati, penggunaan tanaman herbal seperti daun pepaya menjadi solusi yang ramah lingkungan, aman, mudah diakses, dan efektif. Kandungan alkaloid pada daun pepaya juga telah dimanfaatkan dalam mengatasi infeksi ektoparasit, sehingga berpotensi membantu petani dalam mengurangi serangan parasit secara alami (Shadana, *et al.*, 2014; Azizah, *et al.*, 2019). Menurut Rumende, *et al.* (2021), Ekstrak daun pepaya (*Carica papaya*) mengandung senyawa metabolit sekunder yang bersifat toksik terhadap hama, sehingga berpotensi sebagai insektisida nabati. Penelitian menunjukkan bahwa ekstrak ini efektif membunuh larva *Spodoptera frugiperda*, dengan tingkat kematian tertinggi pada konsentrasi 70% dan nilai LC50 sebesar 35,457%.

Namun, beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa efektivitas daun pepaya sebagai bahan tunggal masih terbatas, terutama dalam aplikasi lapangan. Seperti yang dijelaskan oleh Oguh, *et al.*, (2019), meskipun pestisida nabati menawarkan berbagai keuntungan, penggunaannya juga memiliki sejumlah

keterbatasan. Sebagian besar produk ini sebenarnya bukan pestisida sejati, melainkan hanya bersifat mengusir serangga dan bekerja secara lambat. Aktivitas residunya cenderung singkat karena senyawa aktifnya mudah terdegradasi oleh sinar UV. Selain itu, tidak semua pestisida nabati lebih aman bagi organisme non-target dibandingkan pestisida sintetis. Ketersediaannya pun tidak selalu stabil sepanjang musim tanam, dan sebagian besar belum memiliki batas residu yang ditetapkan secara resmi. Legalitas dan regulasi penggunaannya juga masih terbatas, serta banyak rekomendasi penggunaannya belum terverifikasi secara ilmiah. Dibandingkan pestisida konvensional, pestisida nabati umumnya memiliki efektivitas yang lebih rendah, biaya produksi yang lebih tinggi, dan sifatnya yang kurang spesifik terhadap hama sasaran (Oguh, *et al.*, 2019). Oleh karena itu, perlu adanya penambahan bahan alami lain yang bersifat sinergis untuk meningkatkan efektivitas pestisida nabati dalam mengendalikan hama secara optimal.

Beberapa bahan alami seperti serai (*Cymbopogon citratus*), bawang putih (*Allium sativum*), dan daun sirsak (*Annona muricata*) diketahui mengandung senyawa aktif yang memiliki potensi sebagai agen pengendali hama. Senyawa *citronellal* dalam serai berperan sebagai repelan dan

bersifat larvisidal terhadap berbagai jenis serangga. *Allicin* yang terdapat dalam bawang putih memiliki sifat *antifeedant* serta bekerja sebagai racun lambung dan kontak, efektif menghambat aktivitas makan dan membunuh hama. Sementara itu, daun sirsak mengandung senyawa asetogenin seperti *annonin* yang dapat mengganggu sistem pernapasan sel serangga dan menyebabkan kematian. Ketiga bahan ini memiliki aktivitas biologis terhadap hama tanaman dan berpotensi digunakan sebagai tambahan dalam formulasi pestisida nabati untuk meningkatkan efektivitas pengendalian secara ramah lingkungan (Rahman dan Motoyama, 2000; Hincapié-Llanos, *et al.*, 2008; Giuliano, *et al.*, 2024; Tang, *et al.*, 2024).

Walaupun masing-masing bahan telah banyak dikaji secara individu, belum banyak penelitian yang secara langsung membandingkan pengaruh kombinasi bahan-bahan tersebut dalam satu formulasi pestisida nabati, khususnya terhadap jumlah hama dan kerusakan daun pada tanaman kangkung cabut. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada evaluasi komparatif efektivitas tiga jenis bahan tambahan dalam formulasi pestisida nabati berbasis daun pepaya. Penelitian ini tidak hanya mengamati pengurangan populasi hama, tetapi juga mengukur dampaknya terhadap kerusakan daun secara langsung

di lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi penambahan serai, bawang putih, dan daun sirsak dalam meningkatkan efektivitas pestisida nabati daun pepaya terhadap jumlah hama dan tingkat kerusakan daun pada tanaman kangkung cabut.

METODOLOGI PENELITIAN

Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober hingga Desember di lahan percobaan Fakultas Pertanian Universitas Borneo Tarakan, Jl. Kusuma Bangsa, Pamusian, Kecamatan Tarakan Timur, Kota Tarakan, Kalimantan Utara. Alat yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah blender, baskom, pisau, geleng 5 liter, saringan, timbangan analog, timbangan analitik, gelas ukur, parang, cangkul, alat tulis, gembor, meteran dan kamera. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pupuk kandang, daun pepaya, bawang putih, daun sirsak, serai dan air.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen lapangan dengan Rancangan Acak Kelompok (RAK) yang terdiri atas lima taraf perlakuan dan lima ulangan, sehingga terdapat 25 satuan percobaan. Penelitian dilaksanakan di lahan percobaan Fakultas Pertanian Universitas Borneo Tarakan. Perlakuan yang digunakan antara lain, P0: Kontrol (air biasa); P1: Daun pepaya 200 g + 1 L air; P2: Daun pepaya

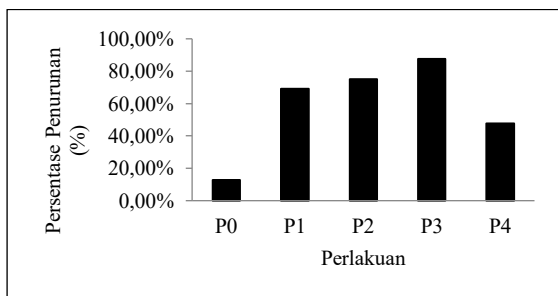
125 g + bawang putih 75 g + 1 L air; P3: Daun pepaya 125 g + serai 75 g + 1 L air; P4: Daun pepaya 125 g + daun sirsak 75 g + 1 L air. Pembuatan pestisida dilakukan dengan menghaluskan bahan aktif menggunakan blender bersama 300 mL air, lalu diinkubasi selama tiga hari, disaring, dan diencerkan hingga 1 liter sebelum digunakan.

Penanaman kangkung cabut dilakukan pada bedengan berukuran 1×1 meter dengan perlakuan budidaya standar, meliputi penyiraman, penyiangan, dan pemupukan dasar. Pestisida nabati diaplikasikan dengan metode penyemprotan sebanyak dua kali, yaitu pada minggu ketiga dan keempat setelah tanam, pada sore hari. Pengamatan dilakukan terhadap dua parameter utama, yaitu persentase penurunan jumlah hama dan kerusakan daun. Jumlah hama dihitung secara langsung sebelum dan sesudah aplikasi pestisida. Gejala kerusakan daun akibat serangan hama diamati secara visual pada fase sebelum dan sesudah perlakuan. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif untuk menggambarkan pengaruh aplikasi pestisida nabati terhadap populasi hama dan tingkat kerusakan tanaman kangkung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penurunan Jumlah Hama Sebelum dan Sesudah Aplikasi

Aplikasi pestisida nabati berbahan dasar ekstrak daun pepaya secara umum efektif menekan populasi hama pada tanaman kangkung cabut. Seluruh perlakuan menggunakan pestisida nabati memberikan dampak positif terhadap penurunan jumlah hama pada tanaman kangkung cabut. Perlakuan P3 (kombinasi daun pepaya dan serai) menunjukkan efektivitas tertinggi dengan penurunan mencapai 87,5%. Efektivitas ini diduga berasal dari interaksi senyawa toksik dalam daun pepaya, seperti papain, flavonoid, dan alkaloid karpain, dengan senyawa aktif serai berupa *citronellal*, geraniol, dan sitral yang berperan sebagai repelan dan neurotoksin. Kombinasi senyawa diduga secara sinergis dapat mengganggu sistem saraf serta perilaku makan serangga, sehingga menghambat aktivitas dan menurunkan populasi hama secara signifikan (Gambar 1).



Gambar 1. Penurunan jumlah hama.
Keterangan: P0=kontrol; P1=daun pepaya; P2=daun pepaya+bawang putih; P3=daun pepaya+serai; P4=daun pepaya+sirsak.

Berdasarkan hasil penelitian oleh Sarah, *et al.*, (2023), minyak atsiri yang

dihasilkan dari tanaman serai melalui teknik ekstraksi gabungan ultrasonik dan *microwave-assisted hydrodistillation* (US-MAHD) mengandung komponen utama berupa geraniol (46,69%), *citronella* (17,79%), *citronellol* (12,45%), *limonene* (3,10%), dan *citral* (3,30%). Komposisi ini menghasilkan aroma citrus yang khas dan telah memenuhi standar mutu internasional ISO 3848:1976. Sementara itu, penelitian oleh Hasim, *et al.*, (2020) yang menganalisis minyak atsiri serai menggunakan GC-MS berhasil mengidentifikasi 15 senyawa utama, dengan tiga komponen dominan yakni geraniol (36,98%), *citral* (28,50%), dan β -*myrcene* (9,35%).

Minyak atsiri dari tanaman serai (*Cymbopogon citratus*) mengandung senyawa aktif seperti *citral*, geraniol, *citronellal*, dan *citronellol* yang dikenal memiliki aktivitas insektisida dan repelen. Senyawa-senyawa ini mampu mengusir serangga melalui aroma kuat yang tidak disukai, serta dapat berfungsi sebagai *antifeedant* dengan menghambat nafsu makan serangga. Selain itu, beberapa senyawa seperti *citronellal* juga dapat menyebabkan kematian serangga atau menghambat perkembangan hama. Ekstrak serai dan *citronella* telah terbukti efektif dalam melindungi tanaman hortikultura maupun produk simpanan dari serangan hama seperti lalat buah, kutu putih, dan

serangga lainnya (Eden, *et al.*, 2020; Moniharapon, *et al.*, 2021; Telaumbanua, *et al.*, 2021; Chen dan Viljoen, 2022; Purnawan, 2023; Rohim, *et al.*, 2023).

Perlakuan P2 (daun pepaya dan bawang putih) mampu menurunkan populasi hama sebesar 75%. Efektivitas ini diduga disebabkan oleh kombinasi senyawa aktif dalam kedua bahan. Senyawa *allicin* dari bawang putih diduga berperan sebagai insektisida yang mengganggu sistem metabolisme serangga. Selain itu, senyawa seperti papain dan flavonoid dalam daun pepaya diduga turut mendukung aktivitas toksik terhadap hama melalui gangguan fisiologis dan penghambatan pertumbuhan larva.

Senyawa *allicin*, yang terkandung dalam bawang putih, diketahui memiliki aktivitas biologis sebagai insektisida, larvisida, *ovicida*, serta berfungsi sebagai repelan terhadap berbagai jenis serangga. Studi oleh beberapa peneliti menunjukkan bahwa *allicin* mampu menyebabkan mortalitas pada larva serangga, seperti larva lalat rumah (*Musca domestica*), dengan nilai LD₅₀ sebesar 134 ppm. Mekanisme kerja senyawa ini diduga berkaitan dengan gangguan terhadap sistem metabolisme dan respirasi serangga. Selain itu, *allicin* juga menghasilkan aroma menyengat yang berperan dalam mengusir hama dari area tanaman. Meskipun bersifat efektif, kestabilan *allicin* tergolong rendah

karena mudah terdegradasi di lingkungan, sehingga efektivitasnya menurun seiring waktu (Lu, *et al.*, 2013; Bell, *et al.*, 2015; Plata-Rueda, *et al.*, 2017; Hardiansyah, *et al.*, 2020).

Perlakuan P1 yang hanya menggunakan ekstrak daun pepaya menunjukkan penurunan populasi hama sebesar 69,23%. Efektivitas ini diduga berkaitan dengan aktivitas senyawa bioaktif seperti papain, tanin, dan alkaloid yang terkandung dalam daun pepaya. Senyawa aktif tersebut diduga berperan dalam menghambat perkembangan dan reproduksi serangga.

Berdasarkan dari beberapa hasil penelitian, ekstrak daun pepaya terbukti efektif sebagai pestisida nabati dalam mengendalikan berbagai jenis hama, seperti *Aphis spp.*, *Plutella xylostella*, dan *Spodoptera frugiperda*. Efektivitas ini berasal dari senyawa aktif seperti papain, flavonoid, saponin, alkaloid karpain, dan terpenoid yang bekerja sebagai racun kontak, racun perut, racun saraf, sekaligus *antifeedant*. Papain merusak sistem pencernaan serangga, saponin menghancurkan membran sel, sementara flavonoid menghambat respirasi melalui kerusakan spirakel. Selain mematikan, ekstrak ini juga menghambat aktivitas makan hama secara signifikan dengan mengganggu sistem saraf pusat dan enzim pencernaan, menyebabkan serangga

kehilangan nafsu makan atau tidak mampu mencerna. Konsentrasi optimal (40–80 g/L) mampu menimbulkan kelumpuhan dan kematian larva dalam waktu singkat (LT_{50} sekitar 6–8 jam), menurunkan aktivitas makan hingga 95%, serta mencapai mortalitas 100% pada konsentrasi tinggi (Siahaya dan Rumthe, 2014; Fauzah, 2021; Rumende, *et al.*, 2021; Juleha, *et al.*, 2022; Sulastri, *et al.*, 2023; Gunawan, *et al.*, 2025).

Sebaliknya, perlakuan P4 (kombinasi daun pepaya dan daun sirsak) hanya mampu menurunkan populasi hama sebesar 47,6%. Efektivitas P4 yang tergolong rendah diduga disebabkan oleh sifat asetogenin dalam daun sirsak yang bersifat sitotoksik namun memiliki efek racun yang lambat. Senyawa ini bekerja dengan menghambat respirasi mitokondria serangga melalui blokade terhadap kompleks I, sehingga kematian terjadi secara bertahap (Morgan dan Wilson, 1999). Hasil uji biologis menunjukkan bahwa ketika diaplikasikan secara tunggal, *squamocin* dan *rolliniastatin-2* yang merupakan derivat asetogenin hanya menyebabkan kematian larva *Spodoptera frugiperda* sebesar 55% dan 65% setelah 72 jam pengamatan. Hal ini menunjukkan bahwa asetogenin tidak menimbulkan efek letal secara instan (Hidalgo, *et al.*, 2021). Oleh karena itu, kemunculan hama dalam waktu yang relatif singkat selama periode

pengamatan kemungkinan belum tertangani secara optimal oleh perlakuan ini.

Penurunan pada kontrol (P0) sebesar 12,8% diduga dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti kehadiran predator atau kondisi mikroklimat yang tidak mendukung perkembangan hama. Hal ini sejalan dengan temuan Skendžić, *et al.*, (2021), yang menyatakan bahwa perubahan dalam distribusi dan efektivitas musuh alami, serta faktor lingkungan seperti suhu dan kelembaban, dapat memengaruhi dinamika populasi hama secara signifikan.

Deskripsi Kerusakan Daun

Pengamatan terhadap kondisi daun kangkung pasca perlakuan menunjukkan adanya perbedaan kerusakan daun akibat serangan hama (Tabel 1). Pada perlakuan kontrol (P0), daun mengalami bercak coklat yang cukup jelas disertai bekas gigitan hama, menandakan tidak adanya perlindungan dari agen pengendali. Perlakuan ini menggambarkan kondisi alami tanaman tanpa aplikasi pestisida nabati, sehingga hama leluasa menyerang jaringan daun.

Pada perlakuan P1 (ekstrak daun pepaya), daun masih menunjukkan bercak coklat meskipun tidak tampak gigitan. Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak daun pepaya memiliki potensi menekan aktivitas makan hama, namun belum sepenuhnya

efektif sebagai repelen atau insektisida. Hasil penelitian ini sejalan dengan beberapa literatur yang menyebutkan bahwa ekstrak daun pepaya memiliki

kandungan senyawa aktif seperti alkaloid, flavonoid, saponin, tannin, serta enzim papain yang bersifat toksik bagi serangga

Tabel 1. Pengamatan kerusakan daun

No	Perlakuan	Gambar	Kerusakan Daun
1	P0		Daun terdapat bercak coklat dan serangan gigitan hama
2	P1		Daun terdapat bercak coklat
3	P2		Daun terdapat bercak coklat
4	P3		Daun tidak terserang hama
5	P4		Daun terdapat bercak coklat disertai bekas gigitan hama

Keterangan: P0=kontrol; P1=daun pepaya; P2=daun pepaya+bawang putih; P3=daun pepaya+serai; P4=daun pepaya+sirsak. (lingkaran berwarna merah menunjukkan adanya serangan hama)

dan berpotensi sebagai pestisida nabati (Purba dan Muliarta, 2024; Ujjan, *et al.*, 2014; Pastor, 2024). Mekanisme kerja senyawa tersebut antara lain sebagai racun lambung dan kontak, penghambat enzim pencernaan, pengganggu sistem saraf, serta penekan aktivitas makan serangga. Namun demikian, efektivitas ekstrak daun pepaya sebagai repelen belum sepenuhnya optimal. Penelitian oleh Herawati dan Timur (2022) menunjukkan bahwa meskipun konsentrasi 100% dapat menolak lalat selama 60 menit pertama, daya tolak tersebut mulai menurun setelahnya. Konsentrasi lebih rendah (50–75%) menunjukkan efektivitas yang lebih singkat, yakni hanya sampai 20–30 menit setelah aplikasi. Penurunan efektivitas ini diduga disebabkan oleh volatilitas senyawa aktif, seperti flavonoid dan saponin, yang mudah menguap atau terdegradasi akibat paparan sinar matahari dan suhu tinggi. Dengan demikian, meskipun ekstrak daun pepaya memiliki potensi dalam menekan aktivitas makan dan populasi hama, efektivitasnya sebagai repelen atau insektisida tunggal masih terbatas dari segi durasi kerja. Pengembangan formulasi, peningkatan stabilitas senyawa aktif, atau kombinasi dengan bahan nabati lain menjadi langkah yang diperlukan untuk meningkatkan konsistensi dan efikasi dalam pengendalian hama secara berkelanjutan.

Perlakuan P2 yang terdiri dari kombinasi ekstrak daun pepaya dan bawang putih menunjukkan respons serupa dengan P1, yaitu timbulnya bercak cokelat pada daun tanpa adanya bekas gigitan. Hal ini mengindikasikan adanya efek antifeedant, yang kemungkinan besar berasal dari kandungan allicin dalam bawang putih. Allicin merupakan senyawa organosulfur aktif dengan aroma menyengat khas yang terbukti memiliki aktivitas sebagai repelen alami terhadap berbagai jenis hama (Hardiansyah, *et al.*, 2020). Selain itu, allicin juga memiliki sifat insektisidal dengan mekanisme kerja yang melibatkan gangguan pada sistem metabolisme dan saraf serangga. Komponen lain dalam minyak atsiri bawang putih seperti diallyl disulfide dan diallyl trisulfide turut mendukung efek toksik tersebut secara sinergis (Golubkina, *et al.*, 2022).

Namun demikian, efektivitas allicin sering kali terbatas akibat sifat kimianya yang tidak stabil. Senyawa ini mudah terurai ketika terpapar suhu tinggi, cahaya, atau udara, sehingga efektivitasnya dapat menurun sebelum mencapai target organisme (Bell, *et al.*, 2015; Golubkina, *et al.*, 2022; Zhou, *et al.*, 2025). Ketidakstabilan ini menjadi tantangan utama dalam formulasi pestisida nabati berbasis allicin, karena penurunan konsentrasi senyawa aktif akan berdampak

langsung terhadap daya kerja di lapangan. Oleh karena itu, pengembangan strategi formulasi yang mampu melindungi allicin dari degradasi, baik selama penyimpanan maupun aplikasi, sangat diperlukan agar efektivitas biologisnya dapat dipertahankan secara optimal (Golubkina, *et al.*, 2022).

Perlakuan paling efektif ditunjukkan oleh P3 (daun pepaya + serai), di mana daun tampak sehat tanpa gejala serangan hama. Keberhasilan ini diduga kuat disebabkan oleh senyawa volatil seperti citronellal dan geraniol yang terkandung dalam serai. Senyawa-senyawa tersebut bersifat repelen kuat, yang mengganggu sistem penciuman serangga dan mencegahnya hinggap atau makan.

Minyak atsiri serai dikenal memiliki volatilitas tinggi, stabilitas kimia rendah, dan kelarutan terbatas dalam air, yang secara signifikan membatasi penggunaannya di berbagai sektor industri (Moreira da Silva, *et al.*, 2024). Kandungan terpenoid sebagai senyawa bioaktif utama dalam essential oils sangat rentan terhadap degradasi akibat oksidasi, isomerisasi, dan reaksi lain yang dipicu oleh faktor lingkungan seperti cahaya, suhu, oksigen, serta logam berat seperti tembaga dan besi (Jovanović, *et al.*, 2024). Khusus pada minyak atsiri serai, kestabilan termalnya rendah, sehingga senyawa aktif di dalamnya mudah rusak saat terkena

panas selama proses atau penyimpanan (Nguyen, *et al.*, 2021).

Penelitian lain juga menunjukkan bahwa efektivitas senyawa aktif dari daun pepaya dan bawang putih cepat menurun karena volatilitas dan ketidakstabilan senyawa kimianya (Herawati dan Timur, 2022; Bell, *et al.*, 2015; Golubkina, *et al.*, 2022; Zhou, *et al.*, 2025). Misalnya, efek repelan dari ekstrak daun pepaya hanya bertahan dalam hitungan menit, sementara allicin dari bawang putih mudah terdegradasi akibat paparan cahaya, panas, dan oksigen. Namun, citral, senyawa utama dalam serai (*Cymbopogon citratus*), memiliki stabilitas yang relatif lebih tinggi. Thanawat, *et al.*, (2020) melaporkan bahwa ekstrak etanolik citral lebih tahan terhadap degradasi dibandingkan bentuk segar atau minyak atsiri non-terformulasi. Dalam penyimpanan yang terlindung dari cahaya dan suhu ekstrem, kandungan citral menurun secara bertahap namun tetap mempertahankan aktivitas biologisnya selama beberapa hari. Karakter ini menunjukkan bahwa serai memiliki potensi lebih unggul sebagai bahan aktif pestisida nabati dengan daya tahan yang lebih baik di lapangan, terutama jika didukung formulasi yang tepat.

Sebaliknya, perlakuan P4 (daun pepaya + daun sirih) masih menunjukkan bercak cokelat dan bekas gigitan, bahkan

lebih parah dibanding perlakuan lain. Meskipun daun sirsak mengandung senyawa asetogenin yang bersifat sitotoksik dan mampu menghambat enzim mitokondria serangga, senyawa ini diduga bekerja lambat dan tidak langsung menimbulkan efek repelen. Oleh karena itu, perlakuan ini kurang efektif dalam mencegah serangan hama secara cepat.

Beberapa penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa ekstrak daun dan biji sirsak efektif dalam mengendalikan hama. Kombinasi konsentrasi 40% dilaporkan mampu menyebabkan mortalitas tinggi pada *Spodoptera frugiperda* serta menekan aktivitas makan (Ramadan dan Yuliani, 2025). Pada *Musca domestica*, ekstrak daun sirsak konsentrasi 100% menghasilkan kematian tertinggi, sedangkan konsentrasi 10% hanya menyebabkan efek ringan (Ujianhati dan Amaano, 2021). Respons larva terhadap asetogenin juga terbukti sangat dipengaruhi oleh dosis dan waktu paparan; konsentrasi rendah hanya menyebabkan penghindaran, sedangkan konsentrasi 20% telah menunjukkan mortalitas yang nyata (Rinto, *et al.*, 2024).

Namun demikian, efektivitas asetogenin tersebut bersifat lambat dan bertahap, sebagaimana ditunjukkan oleh Salessy, *et al.*, (2022), kematian larva *Spodoptera litura* tidak terjadi secara langsung, melainkan mulai tampak setelah

hari kedua aplikasi. Temuan ini konsisten dengan pengamatan di lapangan, di mana aplikasi pestisida nabati daun pepaya dan daun sirsak belum sepenuhnya mencegah munculnya bercak cokelat dan bekas gigitan pada tanaman, yang mengindikasikan bahwa hama masih aktif menyerang meski sudah diberikan perlakuan.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini membuktikan bahwa pestisida nabati berbahan dasar daun pepaya yang dikombinasikan dengan serai, bawang putih, dan daun sirsak berpotensi dalam menurunkan populasi hama serta mengurangi kerusakan daun pada tanaman kangkung cabut. Perlakuan paling optimal diperoleh dari kombinasi daun pepaya dan serai (P3), yang mampu menurunkan jumlah hama hingga 87,5% dan secara signifikan menekan kerusakan daun dibandingkan perlakuan lainnya. Masih ditemukan tanda-tanda serangan berupa bercak cokelat dan bekas gigitan pada beberapa perlakuan, yang menunjukkan bahwa efektivitas pestisida nabati turut dipengaruhi oleh stabilitas senyawa aktif yang digunakan.

Berdasarkan hasil analisis, pemanfaatan pestisida nabati berbahan dasar daun pepaya dan serai layak dipertimbangkan sebagai alternatif pengendalian hama yang lebih ramah lingkungan pada budidaya hortikultura.

Untuk meningkatkan efektivitasnya, disarankan dilakukan pengaturan dosis yang lebih tepat, pengulangan aplikasi yang disesuaikan, serta pengujian lanjutan terhadap berbagai jenis hama dan tanaman guna menguji konsistensi dan jangkauan penerapannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada Fakultas Pertanian, Universitas Borneo Tarakan atas dukungan fasilitas dan sarana yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Penelitian ini didanai oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LP2M), Universitas Borneo Tarakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Azizah, L.S., Hastuti, S., Musthofa, A.T., & Wibowo, E.S. (2019). Effectiveness of papaya leaf extract (*Carica papaya* L.) to control ectoparasite *Argulus* on common carp (*Cyprinus carpio*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 236(1), 012106. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/236/1/012106>.
- Bell, H.A., Cuthbertson, A.G., & Audsley, N. (2015). The potential use of allacin as a biopesticide for the control of the house fly, *Musca domestica* L. *International Journal of Pest Management*, 62(2). <https://doi.org/10.1080/09670874.2015.1120363>.
- Chen, W., & Viljoen, A.M. (2022). Geraniol – A review update. *South African Journal of Botany*, 150, 1205–1219. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.09.012>.
- Eden, W.T., Alighiri, D., Supardi, K.I., & Cahyono, E. (2020). The mosquito repellent activity of the active component of air freshener gel from Java citronella oil (*Cymbopogon winterianus*). *Journal of Parasitology Research*, 2020, Article ID 9053741, 5 pages. <https://doi.org/10.1155/2020/9053741>.
- El-Nahhal, I., & El-Nahhal, Y. (2021). Pesticide residues in drinking water, their potential risk to human health and removal options. *Journal of Environmental Management*, 299, 113611. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113611>.
- Fauzah. (2021). Aplikasi pestisida nabati ekstrak daun pepaya terhadap hama kutu daun (*Aphis gossypii*) pada tanaman Giri Matang (*Citrus maxima* L.). *Jurnal Sains Pertanian*, 4(1), 1–4. <https://doi.org/10.51179/jsp.v4i1.1700>.
- Giuliano, G., Campolo, O., Forte, G., Urbaneja, A., Pérez-Hedo, M., Latella, I., Palmeri, V., & Giunti, G. (2024). Insecticidal activity of *Allium sativum* essential oil-based nanoemulsion against *Spodoptera littoralis*. *Insects*, 15(7), 476. <https://doi.org/10.3390/insects15070476>.
- Golubkina, N., Zayachkovsky, V., Sheshnitsan, S., Skrypnik, L., Antoshkina, M., Smirnova, A., Fedotov, M., & Caruso, G. (2022). Prospects of the application of garlic extracts and selenium and silicon compounds for plant protection against herbivorous pests: A review. *Agriculture*, 12(1), 64. <https://doi.org/10.3390/agriculture12010064>.
- Gunawan, F.H., Syah, B., & Muharam, M. (2025). Pengaruh pestisida ekstrak daun pepaya terhadap ulat grayak (*Spodoptera litura* F.) pada tanaman sawi kailan (*Brassica oleracea* var. new veg gin) dengan sistem hidroponik NFT. *Jurnal Agroplasma*, 12(1), 329–334. <https://doi.org/10.36987/agroplasma.v12i1.7429>.
- Hardiansyah, M.Y., Al Ridho, A.F., & Nurhidayat. (2020). The effect of garlic (*Allium sativum*) extract pesticides in repelling rice eating bird pests. *Indonesian Journal of Agricultural*

- Research*, 3(3), 145–152.
<https://doi.org/10.32734/injar.v3i3.3947>.
- Hasim, H., Nasution, S.P., Kurniawati, S.O., & Rachmawati, I. (2020). Aktivitas sitotoksik sitral serai sebagai antikanker payudara MCM-B2 (*Cytotoxic activity of citral from Cymbopogon nardus as anticancer of MCM-B2 cell*). *Current Biochemistry*, 7(1), 29–36.
<https://doi.org/10.29244/cb.7.1.4>.
- Herawati, M., & Timur, N.P.V.T. (2022). The use of papaya (*Carica papaya*) leaf extract as a natural insecticide to controlling flies (*Stomoxys* sp.) in cattle at Manokwari West Papua. *Bantara Journal of Animal Science*, 4(1), 19–23.
<https://doi.org/10.32585/bjas.v4i1.2317>.
- Hidalgo, C., Reyes, F., Rojas, L., & Ramírez, A. (2021). Evaluation of the insecticidal activity of squamocin and rolliniastatin-2 and their mixture with lambda-cyhalothrin against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Insects*, 12(4), 440.
<https://doi.org/10.3390/insects12040440>
- Hincapié-Llanos, C. A., Lopera-Arango, D., & Ceballos-Giraldo, M. (2008). Insecticidal activity of *Annona muricata* (Anonaceae) seed extracts on *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Revista Colombiana De Entomología*, 34(1), 76–82.
<https://doi.org/10.25100/socolen.v34i1.9254>.
- Jovanović, J., Ćirković, J., Radojković, A., Tasić, N., Mutavdžić, D., Branković, G., & Branković, Z. (2024). Enhanced stability of encapsulated lemongrass essential oil in chitosan-gelatin and pectin-gelatin biopolymer matrices containing ZnO nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 275(Part 2), 133335.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133335>.
- Juleha, S., Afifah, L., Sugiarto, T., Surjana, T., & Yustiano, A. (2022). Potensi daun pepaya (*Carica papaya* L.) sebagai racun kontak dan penolak makan terhadap *Spodoptera frugiperda*. *Jurnal Agrotech*, 12(2), 66–72.
<https://doi.org/10.31970/agrotech.v12i2.95>.
- Liem, J. (2021). Biomonitoring paparan pestisida organofosfat pada pekerja pertanian. *Jurnal Kedokteran Meditek*, 27(1), 88–94.
<https://doi.org/10.36452/jkdoktmeditek.v27i1.1967>.
- Lu, Y., Zhong, J., Wang, Z., Liu, F., & Wan, Z. (2013). Fumigation toxicity of allicin against three stored product pests. *Journal of Stored Products Research*, 55, 48–54.
<https://doi.org/10.1016/j.jspr.2013.08.002>.
- Moniharapon, D., Nindatu, M., & Bastian, A. (2021). The effect of lemongrass extract (*Cymbopogon citratus* L.) on pest mortality of *Plutella xylostella* L. in mustard plants (*Brassica juncea* L.). *Rumphius Pattimura Biological Journal*, 3(2), 34–38.
<https://doi.org/10.30598/rumphiusv3i2p034-038>.
- Moreira da Silva, T.L., Beltrame, F.L., & Ferrari, P.C. (2024). Lemongrass essential oil micro- and nanoencapsulation for industrial application: Production techniques and potential applications. *Archiv der Pharmazie*, 357(6), e2300726.
<https://doi.org/10.1002/ardp.202300726>.
- Morgan, E.D., & Wilson, I.D. (1999). 8.05 - Insect hormones and insect chemical ecology. In *Comprehensive natural products chemistry*, 8, 263–375. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-091283-7.00053-9>.
- Nguyen, P.T.N., Vo, T.T., Tran, T.Y.N., Le, T. H.N., Mai, H.C., Tran, T.T., & Long, G.B. (2021). Encapsulation efficiency and thermal stability of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) essential oil microencapsulated by the spray-drying process. *Food Research*, 5(1), 195–202.
[https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(1\).300](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(1).300).
- Oguh, C.E., Okpaka, C.O., Ubani, C.S., Okekeaji, U., Joseph, P.S., & Amadi, E.U. (2019). Natural pesticides (biopesticides) and uses in pest management: A critical review. *Asian*

- Journal of Biotechnology and Genetic Engineering*, 2(2), 126–143.
<https://journalajbge.com/index.php/AJBGE/article/view/37>.
- Pastor, S.J.R. (2024). Evaluation of botanical leaf extracts in the cultivation of tomato (*Solanum lycopersicum*). *International Journal of Biosciences*, 25(1), 106–116.
<https://doi.org/10.12692/ijb/25.1.106-116>.
- Plata-Rueda, A., Martínez, L.C., Santos, M.H.D., Fernandes, F.L., Wilcken, C.F., Soares, M.A., Serrão, J.E., & Zanuncio, J.C. (2017). Insecticidal activity of garlic essential oil and their constituents against the mealworm beetle, *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae). *Scientific Reports*, 7, 46406.
<https://doi.org/10.1038/srep46406>.
- Purba, R.M., & Muliarta, I.N. (2024). Papaya leaves as a plant-based pesticide to control pests and plant diseases. *Formosa Journal of Sustainable Research*, 3(7), 1455–1476.
<https://doi.org/10.55927/fjsr.v3i7.10314>.
- Purnawan, P. (2023). Repellency of citronella essential oil in controlling pests in plants. *Journal Eduvest*, 4(9), 8317–8330.
<https://doi.org/10.59188/eduvest.v4i9.1752>.
- Rahman, G.K.M.M., & Motoyama, N. (2000). Repellent effect of garlic against stored product pests. *Journal of Pesticide Science*, 25(3), 247–252.
<https://doi.org/10.1584/jpestics.25.247>.
- Rahayu, K.D., Thei, R.S.P., & Sarjan, M. (2023). Keragaman dan kelimpahan hama pada tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica* F.) di Kabupaten Lombok Barat. *Agroteksos*, 33(2), 645–653.
<https://doi.org/10.29303/agroteksos.v33i2.968>.
- Ramadan, A.R.S., & Yuliani. (2025). Effectiveness of soursop leaf and seed extract (*Annona muricata*) and its combination on antifeeding activity and mortality of *Spodoptera frugiperda* larvae. *LenteraBio*, 14(1), 27–34.
<https://doi.org/10.26740/lenterabio.v14n1.p27-34>.
- Rinto, R., Nugroho, G.D., Sari, Y., & Arisviani, A. (2024). Evaluation of soursop (*Annona muricata* linn) leaf extract as a preventative measure against flies contamination in salted fish. *BIO Web of Conferences*, 147, 01005.
<https://doi.org/10.1051/bioconf/202414701005>.
- Rohim, A.N., Poerwanto, M.E., Solichah, C., & Holford, P. (2023). Repellency of lemongrass extract (*Cymbopogon nardus*) in solid and liquid formulation on *Diaphorina citri* and *Menochilus sexmaculatus*. *Proceedings of the 2nd ICAFE 2023. BIO Web of Conferences*, 69, 01030.
<https://doi.org/10.1051/bioconf/20236901030>.
- Rumende, C.F.A., Salaki, C.L., & Kaligis, J.B. (2021). Pemanfaatan ekstrak daun pepaya (*Carica papaya* L.) terhadap hama *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae). *Cocos*, 13(1), Artikel e32482.
<https://doi.org/10.35791/cocos.v2i2.32482>.
- Saidi, I.A., Azara, R., Ramadhani, S.N., & Yanti, E. (2022). *Nutrisi dan komponen bioaktif pada sayuran daun*. UMSIDA Press.
- Salessy, S., Awan, A., & Wael, S. (2022). Effectiveness of soursop leaf extract (*Annona muricata* L.) on the mortality of graycool caterpillars (*Spodoptera litura*). *Rumphius Pattimura Biological Journal*, 4(1), 26–33.
<https://doi.org/10.30598/rumphiusv4i1p026-033>.
- Sarah, M., Ardiansyah, D., Misran, E., & Madinah, I. (2023). Extraction of citronella oil from lemongrass (*Cymbopogon winterianus*) by sequential ultrasonic and microwave-assisted hydro-distillation. *Alexandria Engineering Journal*, 70, 569–583.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.03.019>.
- Scorza, F. A., Beltramim, L., & Bombardi, L. M. (2023). Pesticide exposure and human health: Toxic legacy. *Clinics (São Paulo)*, 78, 100249.

- <https://doi.org/10.1016/j.clinsp.2023.100249>.
- Shadana, M., Lesmana, S.D., & Hamidy, M.Y. (2014). Efek larvasida ekstrak etanol daun pepaya (*Carica papaya*) terhadap larva *Aedes aegypti*. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Riau*, 1(2), 1–14.
- Siahaya, V.G., & Rumthe, R.Y. (2014). Uji ekstrak daun pepaya (*Carica papaya*) terhadap larva *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Agrologia*, 3(2), 112–116.
- Siregar, W. (2025). *Identifikasi Serangga Hama dan Penggunaan Insektisida Bahan Aktif Metomil 40% pada Kangkung Darat*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Fakultas Pertanian dan Peternakan.
- Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I. P., Lešić, V., & Lemić, D. (2021). The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, 12(5), 440. <https://doi.org/10.3390/insects12050440>
- Sulastri, I. K., Muhibbuddin, Khairil, Djufri, & Abdullah. (2023). Pengaruh ekstrak daun pepaya (*Carica papaya* L.) sebagai pestisida alami pada mortalitas hama *Aphis gossypii* Glover. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Biologi FKIP USK*, 8(1), 16–24.
- Suryani, D., Pratamasari, R., Suyitno, S., & Maretalinia, M. (2020). Perilaku petani padi dalam penggunaan pestisida di Desa Mandaluhurip Kecamatan Jatiwaras Kabupaten Tasikmalaya. *Window of Health: Jurnal Kesehatan*, 0(0), 95–103. <https://doi.org/10.33368/woh.v0i0.285>.
- Tang, Y., Li, H., & Song, Q. (2024). Lemongrass essential oil and its major component citronellol: Evaluation of larvicidal activity and acetylcholinesterase inhibition against *Anopheles sinensis*. *Parasitology Research*, 123(9), 315. <https://doi.org/10.1007/s00436-024-08338-3>.
- Telaumbanua, M., Savitri, E.A., Shofi, A.B., Suharyatun, S., Wisnu, F.K., & Haryanto, A. (2021). Plant-based pesticide using citronella (*Cymbopogon nardus* L.) extract to control insect pests on rice plants. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 739(1), 012071. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/739/1/012071>.
- Thanawat, W., Phutdhawong, W., Sukhthankar, M., & Limmatvapirat, C. (2020). Comparative chemical stability of citral in ethanolic extracts of *Cymbopogon citratus* (lemongrass) and commercial lemongrass essential oil. *Acta Chromatographica*, 32(3), 203–210. <https://doi.org/10.1556/1326.2020.00755>.
- Ujjan, A.A., Khanzada, M.A., & Shahzad, S. (2014). Insecticide and papaya leaf extract toxicity to mustard aphid (*Lipaphis erysimi* Kal.). *Journal of Agri-Food and Applied Sciences*, 2(2), 45–48.
- Ujianhati, Z., & Amaano, F. (2021). Pengaruh ekstrak daun sirsak (*Annona muricata* L.) sebagai insektisida alami dalam membasmi lalat rumah (*Musca domestica*). *Jurnal Education and Development*, 9(2), 616–620.
- Zhou, S., Yan, X., Qiao, X., Zhu, W., Lu, X., Zheng, Z., & Zhang, B. (2025). Evaluate the stability of synthesized alliin and its reactivity with endogenous compounds in garlic. *NPJ Science of Food*, 9, 18. <https://doi.org/10.1038/s41538-025-00374-2>.