Agroteknika 8 (3): 642-657 (2025)

AGROTEKNIKA

ISSN: 2685-3450 (*Online*) www.agroteknika.id ISSN: 2685-3450 (*Print*)

Inovasi Pengendalian Rayap Kayu Kering (*Cryptotermes spp.*): Pengujian Multiaspek Biopestisida Nabati Berbasis Ecoenzyme Terhadap Mortalitas, Repelensi, dan Perlindungan Substrat

Innovation in Dry Wood Termite Control (*Cryptotermes* spp.): Multi-Aspect Testing of Ecoenzyme-Based Plant Biopesticides on Mortality, Repellency, and Susbtrate Protection

Nike Triwahyuningsih [*,1], Amrina Yasmine Shafira [2], Tati Budi Kusmiyarti [3], Alief Y. Maulana [4]

[1] Program Studi Kehutanan, Institut Pertanian INTAN, Sleman, Indonesia
[2] Program Studi Manajemen, Universitas Gadjah Mada, Sleman, Indonesia
[3] Program Studi Agroekoteknologi, Universitas Udayana, Badung, Indonesia
[4] Program Studi Manajemen, Universitas Negeri Surakarta, Surakarta, Indonesia

*Penulis Korespondensi
Email: niketriwahyu19@gmail.com

Abstrak. *Rayap kayu kering (Cryptotermes spp.) merupakan hama perusak kayu yang menyebabkan kerugian ekonomi signifikan, dan penggunaan pestisida kimia konvensional menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan. Inovasi penggunaan biopestisida perlu dilakukan untuk meningkatkan efikasi dan stabilitasnya. Sebuah penelitian dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh pemberian biopestisida berbasis ecoenzyme terhadap mortalitas, repelensi, dan daya cegah serangan rayap kayu kering. Biopestisida-ecoenzyme dibuat dengan cara memfermentasi 7 bahan nabati sebanyak 12,5% di dalam ecoenzyme selama 30 hari. Pada uji aplikasi biopestisida dan penentuan LC_{50}, percobaan disusun menurut rancangan acak lengkap dua faktor dengan tiga ulangan. Faktor pertama adalah cara pemberian (uji mortalitas, uji repelensi, dan uji proteksi) dan faktor kedua adalah dosis biopestisida (0, 10, 20, 30, 50, dan 75%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa biopestisida-ecoenzyme secara signifikan efektif dalam mengendalikan populasi rayap kayu kering melalui tiga mekanisme utama, yaitu: 1) bio-pestisida mampu menyebabkan kematian pada rayap kayu kering dengan nilai LC_{50} 5,90%; 2) biopestisida mampu mengusir rayap kayu kering dengan nilai LC_{50} 35,77%; 3) biopestisida mampu mencegah serangan rayap kayu kering dengan nilai LC_{50} 56,97%. Dengan demikian biopestisida berbasis ecoenzyme memiliki potensi besar sebagai agen pengendali hama rayap kayu kering yang efektif. Pada uji frekuensi pemberian biopestisida, percobaan disusun menurut rancangan acak lengkap dua faktor dengan tiga ulangan. Faktor pertama adalah dosis biopestisida (0, 6, 36, dan 57%) dan faktor kedua adalah frekuensi pemberian (1, 2, dan 3 minggu sekali). Hasil pengujian frekuensi pemberian biopestisida menunjukkan mortalitas rayap sangat tinggi (lebih dari 80%) dengan aplikasi hanya setiap 3 minggu sekali menggunakan konsentrasi 6%.*
Kata Kunci*: Biopestida berbasis ecoenzyme, pengendalian, rayap, pengujian multiaspek.*

Abstract. *Drywood termites (Cryptotermes spp.) are wood-destroying pests that cause significant economic losses, and the use of conventional chemical pesticides poses environmental and health problems. Innovation in the use of biopesticides needs to be done to improve their efficacy and stability. A study was conducted to evaluate the effect of ecoenzyme-based biopesticide application on drywood termite mortality, repellency, and preventative efficacy. Biopesticide-ecoenzyme is*

Diterima: 26 Agustus 2025; Disetujui: 30 September 2025; Diterbitkan: 30 Oktober 2025
https://doi.org/10.55043/agroteknika.v8i3.583.
© 2025 Penulis. Diterbitkan oleh Green Engineering Society dalam jurnal Agroteknika
Artikel ini adalah artikel open access di bawah lisensi CC BY-SA 4.0

made by fermenting 7 plant-based ingredients at 12.5% in ecoenzyme for 30 days. For the biopesticide application test and LC_{50} determination, the experiment was arranged according to a two-factor completely randomized design with three replications. The first factor is the method of application (mortality test, repellency test, and protection test), and the second factor is the biopesticide dosage (0, 10, 20, 30, 50, and 75%). The research results show that biopesticide-ecoenzyme is significantly effective in controlling drywood termite populations through three main mechanisms: 1) the biopesticide can cause mortality with an LC_{50} value of 5.90%; 2) the biopesticide can repel termites with an LC_{50} value of 35.77%; 3) the biopesticide can prevent termite attacks with an LC_{50} value of 56.97%. Therefore, ecoenzyme-based biopesticides have great potential as an effective control agent for drywood termites. In the biopesticide application frequency test, the experiment was arranged according to a two-factor completely randomized design with three replications. The first factor is the dosage of the biopesticide (0, 6, 36, and 57%), and the second factor is the frequency of application (once every 1, 2, and 3 weeks). The biopesticide application frequency testing revealed extremely high termite mortality (over 80%) with application only every 3 weeks using a 6% concentration.
***Keywords**: Ecoenzyme-based biopesticide, control, termites, multi-aspect testing.*

1. Pendahuluan

Rayap merupakan salah satu serangga hama perusak paling merugikan di dunia, terutama di daerah tropis dan subtropis seperti Indonesia. Dari berbagai jenis rayap yang ada, rayap kayu kering *Cryptotermes* spp. (famili Kalotermitidae) merupakan hama penting yang kehadirannya seringkali luput dari perhatian hingga kerusakan yang ditimbulkannya menjadi signifikan. Tidak seperti rayap tanah yang hidup di dalam tanah dan memerlukan kontak dengan kelembaban tanah, rayap kayu kering memiliki adaptasi unik yang memungkinkannya hidup sepenuhnya di dalam kayu kering dengan kadar air rendah, menjadikannya ancaman serius bagi struktur bangunan, furnitur, dan berbagai material berbahan dasar selulosa lainnya (Muslich & Rulliaty, 2016; Maisarah *et al*., 2022). Spesies rayap kayu kering yang umum meliputi genus *Cryptotermes* dan *Incisitermes*. Mereka dikenal karena kemampuannya membentuk koloni kecil hingga sedang (ratusan hingga ribuan individu) yang seluruhnya berada di dalam kayu yang mereka serang. Koloni ini tidak memerlukan kontak dengan tanah atau sumber air eksternal, melainkan mendapatkan kebutuhan air dari metabolisme kayu yang mereka konsumsi. Ciri khas serangan rayap kayu kering adalah ditemukannya pelet feses (kotoran) berbentuk heksagonal kecil yang seringkali dikeluarkan dari lubang-lubang kecil pada permukaan kayu yang diserang, menyerupai butiran pasir atau kopi giling (Christy & Silvianingsih, 2023; UMAS, 2024).

Kerusakan yang ditimbulkan oleh rayap tidak hanya pada struktur bangunan kayu, tetapi juga pada furnitur, dokumen, hingga tanaman pertanian dan perkebunan. Kerusakan ini bersifat laten dan progresif. Mereka menggerogoti bagian dalam kayu, meninggalkan lapisan tipis di permukaan sehingga kerusakan internal seringkali tidak terlihat dari luar. Seiring waktu, rongga-rongga yang terbentuk di dalam kayu dapat menyebabkan penurunan integritas struktural, yang berujung pada kerusakan parah dan bahkan keruntuhan. Di Indonesia, dengan iklim tropis yang

hangat dan kelembaban yang relatif tinggi, kondisi ini sangat kondusif bagi perkembangan rayap kayu kering, menjadikannya masalah serius bagi rumah tangga, industri konstruksi, hingga pelestarian cagar budaya (Simangunsong & Dirhamsyah, 2022; Tarumingkeng, 2024).

Pengendalian rayap secara konvensional umumnya mengandalkan insektisida kimia sintetis. Meskipun efektif dalam membasmi rayap, penggunaan insektisida kimia seringkali menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan manusia seperti residu toksik yang mencemari air dan tanah, potensi bahaya bagi organisme non-target, serta memicu resistensi pada populasi rayap seiring waktu. Hal ini mendorong pencarian alternatif pengendalian rayap yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penelitian dan pengembangan biopestisida atau pestisida nabati menjadi salah satu solusi menjanjikan untuk mengatasi permasalahan rayap kayu kering ini, menawarkan pendekatan yang lebih berkelanjutan dalam melindungi aset kayu dari ancaman hama perusak. Biopestisida menawarkan keuntungan berupa kepekaan terhadap hama target, degradasi yang cepat di lingkungan, dan potensi untuk mengurangi risiko kesehatan manusia. Meskipun cukup menjanjikan, tetapi biopestisida belum teruji secara menyeluruh tentang potensinya untuk membunuh, mengusir, dan mencegah rayap. Banyak penelitian telah menunjukkan potensi biopestisida dalam mengendalikan berbagai jenis hama (Sabaruddin, 2021; Aryani, 2024). Namun, potensi spesifik biopestisida tertentu, terutama dalam konteks daya bunuh, daya usir, dan kemampuan mencegah serangan rayap, masih perlu dieksplorasi lebih lanjut.

Dalam beberapa tahun terakhir, ecoenzyme sebagai hasil fermentasi kulit buah dan sayuran, mulai dikenal. Larutan multiguna ini telah dikenal luas karena beragam aplikasinya, mulai dari pembersih rumah tangga yang efektif, pupuk organik yang menyuburkan, hingga sebagai biopestisida hama yang potensial. Ecoenzyme dapat dimanfaatkan sebagai pengendali hama alami karena mengandung berbagai zat seperti flavonoid, quinone, saponin, alkaloid, dan glikosida kardio yang merupakan bahan aktif dalam pestisida (Vama & Cherekar, 2020).

Selain itu, berbagai penelitian telah menunjukkan potensi ekstrak nabati dalam mengendalikan hama karena kandungan senyawa bioaktifnya. Namun, penelitian yang secara spesifik mengintegrasikan dan mengevaluasi efektivitas kombinasi ecoenzyme dengan berbagai ekstrak nabati yang kaya akan senyawa *antifeedant* dan insektisida, masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan pengembangan biopestisida inovatif yang memadukan potensi berbagai tumbuhan dengan teknologi ecoenzyme. Beberapa bagian tumbuhan yang memiliki potensi sebagai agen pengendali hama dan penyakit antara lain: 1) daun pepaya (*Carica papaya*), yang dikenal mengandung papain dan alkaloid carpaine yang memiliki sifat insektisida (A'yun & Laily, 2015; Sulastri *et al*., 2023; Damanik *et al*., 2025); 2) daun mint (*Mentha arvensis*), yang dikenal kaya akan mentol dan senyawa volatil lainnya yang berfungsi sebagai repelan kuat (Thakur *et al*., 2021; Santos *et al*., 2024); 3) bawang putih (*Allium sativum*), yang diketahui mengandung

senyawa sulfur seperti allicin yang bersifat toksik dan repelan terhadap serangga (Sabaruddin, 2021; Fahmi *et al*., 2022); 4) biji lerak (*Sapindus rarak*) yang mengandung saponin tinggi dan bersifat insektisida alami dan dapat mengganggu sistem pencernaan serangga (Kelik & Zuliatus, 2018; Putri *et al*., 2025); 5) biji mahoni (*Swietenia macrophylla*) yang mengandung limonoid yang dikenal memiliki efek *antifeedant* dan pertumbuhan serangga (Koneri & Pontororing, 2016; Hidayati & Suprihatini, 2020); 6) daun mindi (*Melia azedarach*) yang diketahui mengandung azadirachtin (mirip dengan *neem*) dan senyawa lain yang memiliki efek *antifeedant*, pertumbuhan terhambat, dan mortalitas pada serangga (Mendes *et al*., 2024; Kholifatunnisa *et al*., 2024); 7) kunyit (*Curcuma domestica*) yang yang diketahui mengandung kurkuminoid yang memiliki aktivitas antioksidan dan anti inflamasi, serta minyak atsiri yang memiliki sifat antiseptik, antasida, karminatif, dan antijamur (Malahayati *et al*., 2021; Aditama *et al*., 2023); serta 8) Ecoenzyme, yang juga diketahui dapat mengendalikan serangan hama (Asdianti *et al*., 2023; Yusmansyah *et al*., 2025). Penggunaan ecoenzyme dalam formulasi biopestisida ini diharapkan dapat mengoptimalkan ekstraksi senyawa aktif dari bahan tumbuhan, meningkatkan stabilitas formulasi, serta mungkin memberikan efek sinergis dalam efektivitas pengendalian hama. Ecoenzyme sendiri merupakan larutan kompleks hasil fermentasi limbah organik (seperti sisa buah dan sayuran) dengan gula dan air, yang menghasilkan enzim dan metabolit sekunder lainnya yang bermanfaat. Kombinasi bahan-bahan alami ini diharapkan dapat menghasilkan formulasi biopestisida yang efektif, *biodegradable*, serta aman bagi lingkungan dan pengguna, sehingga dapat menjadi alternatif yang berkelanjutan dalam strategi mitigasi kerusakan akibat rayap kayu kering.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi efektivitas biopestisida berbasis ecoenzyme dalam mengendalikan rayap kayu kering (*Cryptotermes* spp.) melalui pengujian mortalitas, repelensi, dan daya cegah serangan. Diharapkan penelitian ini akan dapat membantu dalam membangun metode pengendalian rayap yang kreatif, inovatif, efisien, dan bertanggung jawab terhadap lingkungan. Kita dapat membangun solusi jangka panjang yang mengurangi ketergantungan pada bahan kimia sintetis berbahaya dengan menguji potensi biopestisida tersebut.

2. Bahan dan Metode

Alat yang digunakan meliputi wadah uji (wadah plastik transparan), substrat yang rentan rayap berupa karton *plywood* berukuran sama (Gambar 1b), pipet tetes, dan semprotan kecil. Bahan yang digunakan meliputi larutan stok biopestisida berupa hasil fermentasi kedua (F2) bahan-bahan biosida di dalam ecoenzyme selama 30 hari (Gambar 1a). Bahan-bahan biosida terdiri dari campuran rajangan daun pepaya, rajangan daun mint, irisan bawang putih, tumbukan biji lerak, tumbukan biji mahoni, rajangan daun mindi, dan irisan kunyit dalam proporsi bobot yang sama sebanyak 10% dalam cairan ecoenzyme 80%.

a b

Gambar 1. Larutan stok biopestisida-ecoenzyme (a) dan wadah uji (b)

Larutan stok ini dihitung sebagai larutan dengan kadar 100%. Dalam pembuatan perlakuan, larutan stok diencerkan dengan akuades sesuai dosis perlakuan (10, 20, 30, 50, dan 75%) dan dibandingkan dengan kontrol berupa akuades tanpa larutan stok. Selanjutnya, hewan uji sebanyak 20 ekor rayap kayu kering (*Cryptotermes* spp.) ditempatkan pada wadah plastik yang telah diberi alas karton *plywood* berukuran sama, yang direkatkan pada wadah plastik untuk mencegah hewan uji melarikan diri atau bersembunyi di balik karton.

2.1. Penelitian pendahuluan, observasi dan pengujian bahan baku

Penelitian pendahuluan ini ditujukan untuk menentukan jenis bahan nabati yang akan digunakan untuk biopestisida. Bahan nabati tersebut terdiri atas: campuran rajangan daun pepaya, rajangan daun mint, irisan bawang putih, rajangan daging buah lerak, tumbukan biji lerak, tumbukan biji mahoni, rajangan daun mindi, dan irisan kunyit. Uji pakan dilakukan dengan cara mengaplikasikan hasil fermentasi masing-masing bahan ke atas substrat, baik secara sendiri-sendiri maupun dengan dicampur sekaligus. Pada perlakuan pencampuran bahan, aplikasi dicoba dengan cara langsung tanpa pengenceran dan dengan cara diencerkan 1:1.

2.2 Uji aplikasi biopestisida dan penentuan LC_{50}

Uji aplikasi biopestisida-ecoenzyme untuk pengendalian hama rayap kayu kering ini merupakan penelitian eksperimental yang disusun menurut Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial (3 x 6 perlakuan) dengan 3 kali ulangan. Faktor pertama adalah cara pemberian yaitu dengan aplikasi langsung ke hewan uji (**Pm**, uji mortalitas), aplikasi di sekitar hewan uji (**Pr**, uji repelensi), dan aplikasi pada substrat sebelum diberi hewan uji (**Pp**, uji proteksi). Faktor kedua adalah konsentrasi biopestisida yaitu 0 (K0), 10% (K10), 20% (K20), 30% (K30), 50% (K50), dan 75% (K75). Aplikasi biopestisida-ecoenzyme dilakukan setiap hari hingga hari ke 7, selanjutnya dilakukan pengamatan terhadap tingkat mortalitas hewan uji. Hewan uji yang digunakan adalah rayap kayu kering (*Cryptotermes* spp.) yang berupa rayap pekerja dari koloni yang sehat dan aktif (Gambar 2). Jumlah hewan uji adalah 20 ekor untuk setiap perlakuan.

a b

Gambar 2. Rayap kayu kering *Cryptotermes* spp. (a) , kondisi rayap pada wadah uji (b)

Pada percobaan uji mortalitas, larutan biopestisida sebanyak kurang lebih 2 ml diaplikasikan dan dikenakan langsung mengenai hewan uji. Pada uji repelensi, larutan biopestisida diaplikasikan di sekitar hewan uji dan tidak mengenai langsung hewan. Pada uji proteksi, larutan biopestisida diaplikasikan pada substrat karton *plywood* sebelum hewan uji dimasukkan ke wadah.

Data berupa jumlah kematian (mortalitas) hewan uji diperoleh dari pengamatan setiap hari. Untuk menentukan daya bunuh (mortalitas), daya usir (repelensi), dan daya cegah (proteksi) terhadap hewan uji, dilakukan penentuan LC_{50} dari masing-masing perlakuan pemberian biopestisida. Penentuan LC_{50} (konsentrasi biopestisida yang mematikan 50% hewan uji) dilakukan dengan memperhitungkan jumlah seluruh hewan uji mati yang diamati pada hari ke 7. Data jumlah hewan uji yang mati pada hari ke 7 dianalisis secara statistik dengan *Two Way Anova* pada level α=5%.

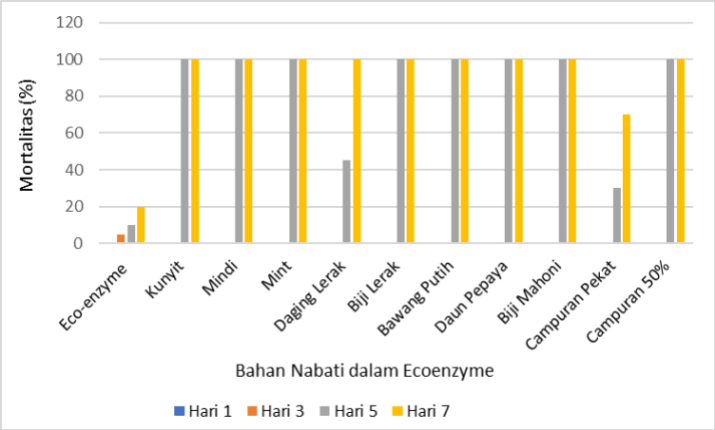
2.3. Uji frekuensi pemberian biopestisida ecoenzyme

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan frekuensi aplikasi (seminggu sekali, dua minggu sekali, atau tiga minggu sekali) yang paling efektif dalam mengendalikan hama dan melindungi kayu menggunakan biopestisida-ecoenzyme. Percobaan disusun menurut Rancangan Acak Lengkap faktorial (4 x 3 perlakuan) dengan 3 ulangan. Faktor pertama adalah cara aplikasi sesuai dengan tujuan untuk uji mortalitas (Pm), uji repelensi (Pr), dan uji proteksi (Pp) dengan konsentrasi biopestisida sesuai LC_{50}. Faktor kedua adalah frekuensi pemberian yaitu F1 (aplikasi setiap 1 minggu sekali), F2 (aplikasi setiap 2 minggu sekali), dan F3 (aplikasi setiap 3 minggu sekali). Aplikasi biopestisida-ecoenzyme dilakukan pada wadah berisi substrat karton *plywood* dengan mengenai hewan uji. Data jumlah hewan uji yang mati pada hari terakhir pengamatan dianalisis secara statistik dengan *Two Way Anova* pada level α=5%. Hasil uji frekuensi ini akan memperlihatkan efektivitas pemberian biopestisida setelah diaplikasikan pada substrat, khususnya terkait dengan kemampuan mengendalikan hama.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Observasi dan pengujian bahan baku

Berdasarkan hasil uji pakan terlihat bahwa pemberian ekstrak bahan biosida nabati dapat membunuh seluruh hewan uji mulai hari ke 3, kecuali pada pemberian daging buah lerak dan campuran bahan pekat tanpa diencerkan (Gambar 3). Mempertimbangkan hasil tersebut maka ditetapkan bahwa biopestisida yang akan digunakan untuk percobaan lanjutan adalah campuran bahan nabati tanpa daging buah lerak yang diencerkan. Alasannya adalah untuk menghindari banyaknya busa saponin dari daging lerak yang dikhawatirkan akan mengganggu cara aplikasi dan pengamatan.



Gambar 3. Hasil uji pakan berbagai bahan nabati dalam ecoenzyme terhadap mortalitas rayap

Selanjutnya larutan stok biopestisida yang akan dicobakan dilakukan analisis kandungan flavonoid dan alkaloid. Kandungan bahan aktif larutan stok (yang tidak diencerkan) adalah sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan total flavonoid dan total alkaloid ekuivalen quinone pada stok biopestisida-ecoenzyme

No	Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode	Kriteria
1	Total Flavonoid	1.785,63	µg/ml	Spektrofotometri UV-vis	Tinggi
2	Total Alkaloid Ekuivalen Quinone	130,79	µg/ml	Spektrofotometri UV-vis	Relatif Tinggi

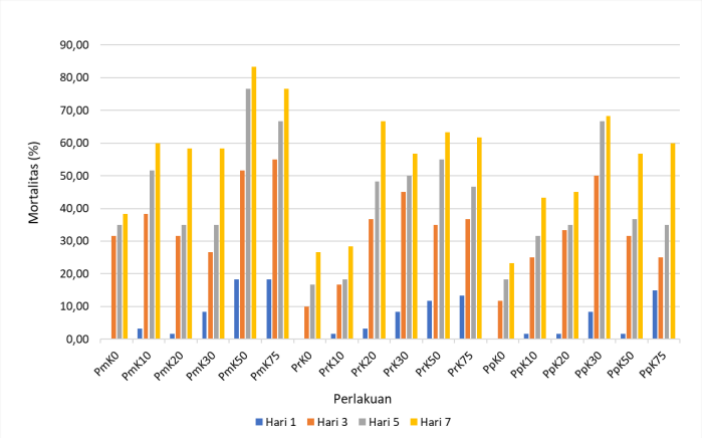
Flavonoid adalah kelompok senyawa yang banyak ditemukan pada tumbuhan. Mereka dikenal memiliki berbagai aktivitas biologis, seperti antioksidan, anti-inflamasi, antimikroba, dan yang paling penting dalam penelitian ini adalah sifat insektisida atau penolak hama (Yin *et al.*, 2019; Tang *et al.*, 2025). Jumlah 1.785,63 mikrogram (atau setara dengan 1,78563 miligram) adalah angka yang tinggi. Ini menunjukkan bahwa biopestisida-ecoenzyme yang dibuat kaya akan flavonoid. Kadar flavonoid yang tinggi berarti biopestisida ini berpotensi dalam: 1) menolak atau membunuh hama, karena beberapa jenis flavonoid dapat langsung berfungsi sebagai penolak serangga, penghambat pertumbuhan, atau bahkan insektisida; 2) kandungan flavonoid memberikan aksi yang beragam, bisa mengganggu sistem saraf serangga, menghambat pencernaan,

atau membuat serangga enggan makan (*antifeedant*); atau 3) memberikan efek sinergis, yaitu bisa juga bekerja sama dengan senyawa lain dalam ecoenzyme untuk meningkatkan efektivitasnya secara keseluruhan.

Sementara itu, kadar total alkaloid ekuivalen Quinone adalah 130,79 mikrogram. Alkaloid adalah kelompok senyawa alami yang mengandung nitrogen. Banyak alkaloid terkenal memiliki efek fisiologis yang kuat, bahkan beracun, terhadap serangga dan organisme lain (Kumara *et al*., 2021). Dikatakan "ekuivalen Quinone" berarti membandingkan reaksi alkaloid dengan quinone sebagai standar, yang umum dilakukan untuk mengukur alkaloid secara total ketika ada berbagai jenis alkaloid yang mungkin hadir. Meskipun jumlahnya lebih rendah dibanding flavonoid, keberadaan alkaloid ini sangat penting untuk potensi biosida, dimana banyak alkaloid adalah racun alami yang efektif melawan serangga dan hama.

3.2. Uji aplikasi biopestisida dan penentuan LC_{50}

Biopestisida yang diaplikasikan pada substrat adalah berasal dari larutan stok yang diencerkan 10, 20, 30, 50, dan 75% dan dibandingkan dengan perlakuan tanpa biospestisida (hanya ecoenzyme). Perkembangan jumlah rayap yang mati selama proses pengamatan disajikan pada Gambar 4.



(Pm: perlakuan uji mortalitas, Pr: perlakuan uji repelensi, Pp: perlakuan uji proteksi)

Gambar 4. Pengaruh perlakuan terhadap persentase jumlah rayap yang mati

Gambar 4 memperlihatkan perkembangan jumlah hewan uji yang mati selama masa pengamatan. Perlakuan yang diberikan adalah: 1) aplikasi biopestisida langsung pada hewan uji untuk melihat daya mortalitas atau daya bunuh (Pm); 2) aplikasi biopestisida di sekitar hewan uji (tidak langsung terkena) untuk melihat kemampuannya mengusir hewan uji atau daya repelensi (Pr); serta 3) aplikasi biopestisida pada substrat untuk melihat kemampuannya melindungi substrat dari serangan rayap atau daya proteksi (Pp). Konsentrasi (K) yang diberikan adalah 0% (ecoenzyme saja), 10, 20, 30, 50, dan 75%. Secara umum perlakuan aplikasi langsung biopestisida pada rayap dapat membunuh paling besar, diikuti perlakuan aplikasi di sekitar rayap dan perlakuan

aplikasi pada substrat. Berdasarkan jumlah hewan uji yang mati pada hari ke 7, maka hasil uji Anova pada taraf α=5% diajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis varians pengaruh perlakuan uji dan konsentrasi biopestisida-ecoenzyme terhadap mortalitas rayap

Sumber variasi	SS	df	MS	F	P-value	F crit	Sig
Perlakuan uji	1886,111	2	943,055	18,067	1,843E-06	3,259	s
Konsentrasi	9893,055	5	1978,611	37,892	1,429E-13	2,484	s
Interaksi	1789,944	10	178,994	3,429	0,0028	2,122	s
Galat	1880,833	36	52,245				
Total	15387,500	53					

Keterangan: huruf s (signifikan) berarti berbeda nyata pada uji Anova pada level α=5%

Dari Tabel 2 diketahui terdapat interaksi yang signifikan secara statistik antara perlakuan uji aplikasi biopestisida dengan konsentrasi yang diberikan. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh konsentrasi pada hasil (mortalitas/repelensi/proteksi) tidak sama di ketiga jenis perlakuan, dan sebaliknya, pengaruh perlakuan pada hasil tidak sama di semua level konsentrasi. Untuk mengetahui lebih lanjut pengaruh perlakuan dan konsentrasi tersebut, selanjutnya dilakukan uji DMRT pada taraf α=5%, dan hasilnya disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji DMRT pengaruh perlakuan aplikasi dan dosis biopestisida-ecoenzyme terhadap mortalitas rayap (%)

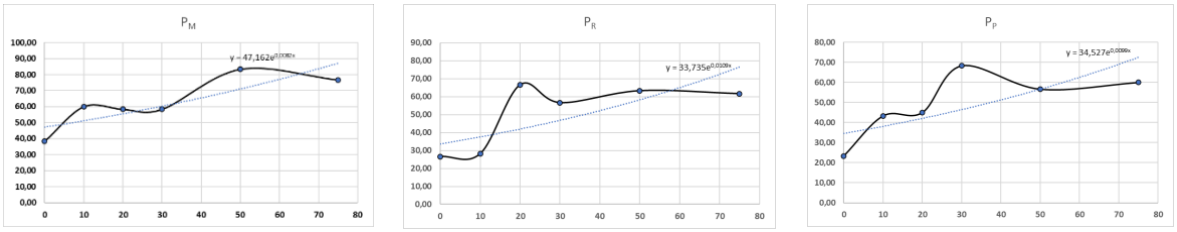
Perlakuan	Konsentrasi (%)						Rerata
	0	10	20	30	50	75	
Uji mortalitas (Pm)	38,33 *cd*	60,00 *b*	58,33 *b*	58,33 *b*	83,33 *a*	76,67 *a*	62,50
Uji repelensi (Pr)	26,67 *d*	28,33 *d*	66,67 *ab*	56,67 *bc*	63,33 *ab*	61,67 *ab*	50,56
Uji proteksi (Pp)	23,33 *d*	43,33 *c*	45,00 *c*	68,33 *ab*	56,67 *bc*	60,00 *b*	49,44
Rerata	29,44	43,89	56,67	61,11	67,78	66,11	(+)

Keterangan: angka yang diikuti oleh notasi yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT α=5%

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa aplikasi bahan-bahan nabati ke dalam larutan ecoenzyme dapat meningkatkan daya mortalitas terhadap hama rayap. Biopestisida-ecoenzyme yang diuji memperlihatkan efek multifungsi, yaitu memiliki potensi untuk menyebabkan mortalitas (kematian), repelensi (pengusiran), dan proteksi (perlindungan, pencegahan), namun pada dosis yang berbeda-beda. Tidak ada dosis tunggal yang optimal untuk semua efek. Untuk mortalitas, dosis 50% dan 75% adalah yang terbaik. Untuk repelensi, dosis 20%, 50% dan 75% adalah yang terbaik. Untuk proteksi, hanya dosis 30% yang signifikan tertinggi. Perbedaan nilai mortalitas untuk daya mortalitas, repelensi, dan proteksi menunjukkan bahwa biopestisida yang diuji ini memiliki mekanisme aksi yang beragam dan mungkin membutuhkan konsentrasi berbeda untuk setiap efek. Untuk menguji lebih jauh, selanjutnya dilakukan penentuan LC_{50}, yaitu nilai kuantitatif seberapa efektif suatu biopestisida dalam mencapai efek tertentu (mortalitas, repelensi, atau proteksi). Angka ini menunjukkan konsentrasi yang dibutuhkan untuk menghasilkan 50% efek yang diinginkan pada populasi target. Tanpa LC_{50}, kita hanya bisa mengatakan bahwa

biopestisida itu "bekerja" atau "tidak bekerja" tanpa mengetahui seberapa kuat atau pada konsentrasi berapa ia bekerja optimal. Semakin kecil nilai LC_{50} maka semakin toksik (berdaya bunuh) zat tersebut. Namun, dalam konteks biopestisida, yang dilihat tidak hanya mortalitas, tapi juga efek lain seperti repelensi (daya usir) dan proteksi (daya cegah).

Nilai LC_{50} sering digunakan sebagai standar internasional untuk menentukan toksisitas suatu bahan kimia atau zat tertentu pada organisme hidup. Nilai LC_{50} biasanya dihitung dengan menggunakan persamaan regresi logaritmik. Pada percobaan penentuan LC_{50} ini, daya mortalitas pada masing-masing perlakuan dibandingkan pada hari terakhir pengamatan, yaitu hari ke 7. Pemberian kadar biopestisida pada ketiga perlakuan memberikan tingkat mortalitas dan persamaan regresi logaritmik seperti terlihat pada Gambar 5.



a. Uji mortalitas b. Uji repelensi c. Uji proteksi

Gambar 5. Pengaruh cara aplikasi biopestisida nabati ecoenzyme terhadap persentase kematian rayap kayu kering

Tabel 4. Hasil penghitungan LC_{50} pada perlakuan uji mortalitas, uji repelensi, dan uji proteksi

Perlakuan	Konsentrasi Biopestisida (%) = sumbu X	Persentase Mortalitas (%) = sumbu Y	Persamaan Kuadrat	Y = 50%
Uji Mortalitas (Pm)	0	15	$y = 47{,}162e^{0{,}0099x}$	5,90 %
	10	60		
	20	40		
	30	40		
	50	85		
	75	75		
Uji Repelensi (Pr)	0	25	$y = 33{,}73e^{0{,}011x}$	35,77 %
	10	30		
	20	50		
	30	50		
	50	60		
	75	35		
Uji Proteksi (Pp)	0	20	$y = 34{,}527e^{0{,}0065x}$	56,97 %
	10	40		
	20	45		
	30	75		
	50	40		
	75	45		

Dari persamaan logaritmik yang diperoleh, selanjutnya ditentukan LC_{50} untuk masing-masing perlakuan. Hasilnya disajikan pada Tabel 4, yang menunjukkan bahwa konsentrasi biopestisida-ecoenzyme sebesar 5,90% dapat membunuh 50% hama atau organisme target yang terpapar. Nilai ini menunjukkan bahwa biopestisida yang diuji memiliki kemampuan membunuh

(letal) terhadap hama rayap, dan untuk mencapai efek kematian yang signifikan digunakan konsentrasi setidaknya 5,90%.

Konsentrasi biopestisida ecoenzyme sebesar 35,77% dapat menyebabkan 50% hama menunjukkan perilaku menolak atau menjauhi area yang telah diaplikasikan biopestisida. Ini menunjukkan bahwa biopestisida yang diuji memiliki efek penolak (repelan) terhadap hama. Hama tidak mati, tetapi enggan mendekat atau hinggap pada area yang sudah diberi perlakuan. Nilai LC_{50} yang lebih rendah untuk repelensi berarti biopestisida tersebut lebih efektif sebagai penolak pada konsentrasi yang lebih kecil. Efek repelensi sangat penting untuk pencegahan serangan hama. Konsentrasi 35,77% menunjukkan bahwa untuk membuat 50% hama menjauh, diperlukan konsentrasi yang sedikit lebih tinggi daripada untuk membunuh 50% hama.

Konsentrasi biopestisida ecoenzyme sebesar 56,97% dapat memberikan perlindungan hingga 50% terhadap substrat dari serangan hama. Hal ini berarti konsentrasi tersebut dapat mengurangi kerusakan kayu atau substrat, mencegah hama berkembang biak, atau kombinasi dari berbagai mekanisme. Nilai ini menunjukkan kemampuan biopestisida yang diuji dalam melindungi substrat dari serangan hama. Ini adalah indikator penting untuk keberhasilan pengendalian hama jangka panjang. Nilai LC_{50} yang tinggi (seperti 56,97%) untuk proteksi menunjukkan bahwa diperlukan konsentrasi yang relatif tinggi untuk mencapai tingkat perlindungan 50%. Proteksi adalah hasil akhir yang diinginkan dalam penggunaan pestisida. Konsentrasi yang lebih rendah untuk proteksi akan lebih efisien.

Dari ketiga nilai LC_{50} yang diperoleh, dapat dilihat bahwa efek mortalitas adalah yang paling mudah dicapai, yaitu biopestisida-ecoenzyme yang diuji paling efektif dalam membunuh hama pada konsentrasi terendah (5,90%). Ini berarti efek racunnya cukup kuat. Namun demikian, kenyataan di lapangan memperlihatkan bahwa kebanyakan kayu yang terserang rayap umumnya agak sulit diberantas. Alasannya, rayap mampu memakan dan menghancurkan kayu hingga jauh masuk ke dalam kayu dan sulit terjangkau oleh pestisida. Dalam kondisi demikian, pemberian konsentrasi yang lebih tinggi pada kayu yang telah terserang, dapat membunuh rayap ketika hewan ini aktif bergerak yang pada satu saat tubuhnya menyentuh biopestisida. Dengan alasan tersebut, untuk membuat hama menjauh (repelensi) diperlukan konsentrasi yang sedikit lebih tinggi (35,77%) dibandingkan untuk membunuh mereka. Sementara itu, untuk melindungi kayu atau substrat secara keseluruhan, diperlukan konsentrasi yang paling tinggi yaitu 56,97%. Aplikasi biopestisida pada kayu yang belum terserang ternyata dapat mencegah serangan rayap, meskipun dibutuhkan konsentrasi yang lebih besar lagi (56.97%). Aplikasi untuk pencegahan serangan rayap ini dapat dilakukan dengan cara disemprotkan pada permukaan kayu sebelum terserang rayap, dioleskan pada kayu, atau kayunya direndam dalam biopestisida untuk pengawetan kayu.

Dari hasil percobaan diketahui bahwa dosis biopestisida-ecoenzyme yang mampu membunuh rayap hingga 50% membutuhkan waktu kurang lebih 7 hari. Ini berarti untuk membasmi rayap diperlukan penyemprotan secara berkala, dapat diulangi minimal 7 hari sekali hingga semua rayap mati. Perbedaan nilai LC_{50} menunjukkan bahwa biopestisida-ecoenzyme ini mungkin memiliki beberapa mekanisme kerja. Selain efek letal, ada juga efek penolak. Ini menjadi indikasi bahwa biopestisida ini memiliki fitur yang baik, karena biopestisida multi-aksi seringkali lebih efektif dan dapat mengurangi risiko resistensi hama.

Hasil penelitian Saputri *et al*. (2024) tentang daya mortalitas daun beluntas terhadap rayap tanah menunjukkan LC_{50} sebesar 12,74 hingga 40,00%. Dibandingkan dengan hasil penelitian tersebut, nilai LC_{50} pada biopestisida-ecoenzyme yang diuji pada penelitian ini memperlihatkan kinerja yang jauh lebih efektif. Hal ini disebabkan karena keberadaan beberapa bahan nabati sekaligus yang difermentasi dalam ecoenzyme memberikan efek mortalitas yang lebih besar. Sebenarnya larutan ecoenzyme sendiri, yang memiliki proporsi 80%, juga memiliki kemampuan biosida terhadap hama rayap (Vama & Cherekar, 2020). Ketika ditambahkan bahan-bahan nabati yang masing-masing memiliki kemampuan biosida sendiri-sendiri, maka efeknya akan jauh lebih baik.

3.3. Hasil uji frekuensi pemberian biopestisida-ecoenzyme

Setelah diperoleh rerata LC_{50} dari seluruh perlakuan, selanjutnya dilakukan pengujian terhadap pengaruh frekuensi pemberian biopestisida terhadap mortalitas rayap. Hasil pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan konsentrasi biopestisida (K0, K6, K36, dan K57) dan frekuensi penyemprotan biopestisida (1, 2, dan 3 minggu sekali) terhadap mortalitas rayap. Dosis yang diterapkan adalah 6, 36, dan 57% sesuai dengan nilai LC_{50} masing-masing perlakuan. Sebagai kontrol, substrat hanya diberi air saja. Pengamatan terhadap mortalitas rayap diamati hingga hari ke 7 setelah pemberian, dan hasilnya disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Uji DMRT pengaruh perlakuan dan frekuensi penyemprotan terhadap mortalitas rayap (%)

Konsentrasi Biopestisida (%)	Frekuensi Penyemprotan			Rerata
	1 minggu sekali (F1)	2 minggu sekali (F2)	3 minggu sekali (F3)	
0 (K0)	53,33 *cd*	40,00 *d*	38,33 *d*	47,00
6 (K6)	88,33 *a*	88,33 *a*	85,00 *a*	88,20
36 (K36)	66,67 *bc*	73,33 *b*	70,00 *bc*	62,20
57 (K57)	68,33 *bc*	65,00 *c*	56,67 *cd*	60,00
Rerata	69,60	62,40	61,0	(+)

Keterangan: angka yang diikuti oleh notasi yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT α=5%

Dari Tabel 5 terlihat bahwa terjadi interaksi antara perlakuan konsentrasi biopestisida-ecoenzyme dengan frekuensi penyemprotan. Mortalitas pada kelompok kontrol negatif (tidak diberi biopestisida) berkisar antara 40,0% hingga 53,3%. Penyemprotan air pada rayap dengan

frekuensi 1, 2, atau 3 minggu sekali relatif tidak berbeda nyata. Tingkat mortalitas alami ini merupakan *baseline*. Efektivitas biopestisida-ecoenzyme dinilai dari kemampuannya untuk secara signifikan meningkatkan mortalitas di atas *baseline* ini.

Dibandingkan dengan kontrol negatif, semua frekuensi penyemprotan biopestisida dengan konsentrasi 6% (K6) menunjukkan peningkatan mortalitas yang sangat signifikan. Konsentrasi 6% sangat efektif dalam membunuh rayap, karena secara nyata memiliki daya bunuh yang paling tinggi terhadap hama rayap, dan relatif tidak berbeda nyata pada frekuensi penyemprotan yang berbeda (mortalitas di atas 80%). Ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi ini, kita dapat memilih frekuensi penyemprotan 3 minggu sekali (F3) untuk menghemat biaya dan tenaga tanpa mengorbankan efektivitas secara signifikan.

Konsentrasi 36% dan 57% memberikan efek mortalitas yang hampir sama, dan semuanya lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan *baseline.* Perlakuan dengan konsentrasi 6% (K6) yang diberikan 1 hingga 3 minggu sekali secara signifikan menyebabkan mortalitas tertinggi dibandingkan hampir semua perlakuan pada konsentrasi 36% dan 57%. Ini menunjukkan bahwa konsentrasi 6% adalah yang paling efektif dalam menyebabkan mortalitas rayap. Menariknya, meningkatkan konsentrasi dari 6% ke 36% atau 57% tidak meningkatkan mortalitas dan bahkan mortalitas menurun secara signifikan. Hasil ini memberikan konfirmasi secara jelas bahwa biopestisida-ecoenzyme yang diuji sangat efektif pada konsentrasi 6%. Perlakuan ini secara konsisten menghasilkan mortalitas yang jauh lebih tinggi (hingga 88,3%) dibandingkan dengan mortalitas alami pada kontrol (40,00-53,33%).

Dalam hal ini diduga terjadi anomali efek dosis-respons, yaitu bahwa meningkatkan konsentrasi biopestisida di atas 6% (yaitu 36% dan 57%) tidak hanya tidak meningkatkan efektivitas, tetapi justru menyebabkannya menurun drastis, hingga ke titik di mana pada frekuensi tertentu (3 minggu sekali), efektivitasnya tidak berbeda nyata dari kontrol negatif. Hal ini menyiratkan bahwa konsentrasi 36% dan 57% tidak direkomendasikan untuk pengendalian rayap karena kinerjanya yang lebih buruk dibandingkan K6, dan bahkan bisa dikatakan tidak efisien (terutama pada F3) karena hanya memberikan efek yang sama dengan mortalitas alami. Kemungkinan ada efek repelensi atau *antifeedant* yang tidak disengaja pada konsentrasi tinggi yang membuat rayap menghindari perlakuan. Selain itu ada kemungkinan terjadinya toksisitas terhadap mikroorganisme dalam ecoenzyme itu sendiri jika konsentrasi terlalu tinggi.

Rekomendasi praktis dari hasil penelitian ini adalah mortalitas rayap yang sangat tinggi (88,33%) dengan aplikasi hanya setiap 3 minggu sekali menggunakan konsentrasi 6%. Temuan ini memberikan dasar yang kuat untuk pengembangan lebih lanjut biopestisida sebagai alternatif yang ramah lingkungan dalam pengelolaan hama rayap kayu kering. Penerapan rekomendasi ini akan

sangat menghemat biaya bahan baku dan tenaga kerja, dan menjadikan biopestisida-ecoenzyme ini sangat ekonomis dan berkelanjutan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa biopestisida berbasis ecoenzyme yang mengandung ekstrak berbagai bahan nabati secara nyata dapat membunuh, mengusir, serta mencegah serangan rayap kayu kering (*Cryptotermes* sp.). Nilai LC_{50} adalah sebesar 5,90% untuk membunuh hewan uji (mortalitas), 35,77% untuk mengusir (repelensi), dan 56,97% untuk mencegah serangan hewan uji (proteksi terhadap substrat). Aplikasi biopestisida-ecoenzyme dapat diulang setiap 3 minggu sekali menggunakan konsentrasi 6%, dengan mortalitas rayap sangat tinggi (88,3%).

Pernyataan Ketersediaan Data

Seluruh data yang digunakan dalam penelitian ini akan tersedia berdasarkan permintaan.

Kontribusi Para Penulis

Nike Triwahyuningsih: Konseptualisasi, Kurasi data, Persiapan, Investigasi, Metodologi, analisis formal, Sumber daya, dan Penulisan draf awal. **Amrina Yasmine Shafira**: Investigasi, Kurasi data, Penulisan draf awal. **Tati Budi Kusmiyarti**: Pengawasan, Validasi, Sumber daya, Tinjauan dan Penyuntingan. **Alief Yahya Maulana**: Konseptualisasi dan Pengawasan.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Para penulis naskah ini menyatakan tidak ada konflik kepentingan atau kepentingan yang bersaing.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada Dr. Ir. Tati Budi Kusmiyarti, MP., Amrina Yasmine Shafira, dan Alief Yahya Maulana atas kontribusi dan partisipasi aktifnya dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

Aditama, W., Zulfikar, Z., Khairunnisa, K., & Arianto, B. (2023). Efektivitas ekstrak kunyit (*Curcuma longa*) sebagai bioinsektisida alami untuk menghalau lalat rumah (*Musca domestica*). *Jurnal SAGO Gizi Dan Kesehatan*, 4(2), 160. https://doi.org/10.30867/gikes.v4i2.1110

Aryani, T. V. P. (2024). Inovasi Pembuatan Pestisida Nabati dari Ekstrak Kulit Buah Kopi sebagai Pengendali Hama Tanaman. *Jurnal Mandala Pengabdian Masyarakat*, *5*(2), 421–426. https://doi.org/10.35311/jmpm.v5i2.496

Asdianti, A., Rahman, A., Pakki, T., Bande, L. O. S., Asniah, A., Halim, H., & Botek, M. (2023). Efektivitas Pestisida Nabati Ekoenzim Dalam Mengendalikan Serangan Kutu Daun (Aphis gossypii GLOVER) Pada Tanaman Cabai (*Capsicum annuum* L.). *Jurnal Berkala Ilmu-Ilmu Pertanian (Journal of Agricultural Sciences)*, *3*(1). https://doi.org/10.56189/jagris.v3i1.43327

A'yun, Q., & Laily, A. N. (2015). Analisis Fitokimia Daun Pepaya (*Carica papaya* L.) di Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi, Kendalpayak, Malang. *Seminar Nasional Konservasi Dan Pemanfaatan Sumber Daya Alam 2015*. https://media.neliti.com/media/publications/169805-ID-analisis-fitokimia-daun-pepaya-carica-pa.pdf

Christy, E. O., & Silvianingsih, Y. A. (2023). Kehadiran Rayap dan Tanda-Tanda Infestasinya pada Bangunan Rumah Di Kawasan 'Kebun Karet' Gundaling, Tamiang Layang, Barito Timur, Kalimantan Tengah. *HUTAN TROPIKA*, 18(1), 169–180. https://doi.org/10.36873/jht.v18i1.10056

Damanik, A. R., Dermawan, D. A., Syahputri, D., Nasution, S. K., Pratiwi, W. A., & Harahap, H. S. (2025). Pembuatan Pestisida Alami Daun Pepaya untuk Mengendalikan Hama dan Penyakit Tumbuhan dalam Kegiatan Pengabdian Masyarakat. *Jurnal Kemitraan Masyarakat*, *2*(1), 19–25. https://doi.org/10.62383/jkm.v2i1.1235

Fahmi, I. F., Pujiati, R. S., & Ellyke, E. (2022). Efektivitas Ekstrak Bawang Putih (Allium sativum) Sebagai Repellent Lalat Rumah (*Musca domestica*). *IKESMA*, *18*(4), 251. https://doi.org/10.19184/ikesma.v18i4.26185

Hidayati, L., & Suprihatini, S. (2020). Pengaruh Pemberian Ekstrak Biji Mahoni (*Swietenia mahagoni*) Terhadap Kematian Larva *Culex* sp. *ASPIRATOR - Journal of Vector-Borne Disease Studies*, 12(1), 45–52. https://doi.org/10.22435/asp.v12i1.2171

Kelik, M., & Zuliatus, E. (2018). Uji Efektivitas Ekstrak Buah Lerak (Sapindus rarak, D.C) sebagai Repelan Anti Nyamuk Aedes aegypti. *Proceeding of Biology Education*, *2*(1), 42–49. https://doi.org/10.21009/pbe.2-1.6

Kholifatunnisa, F. S., Sugiarto, & Afifah, L. (2024). Uji Toksisitas Insektisida Nabati Daun Mindi (*Melia azedarach* L.) Terhadap Hama Kutu Kacang (*Callosobruchus maculatus*) Pada Penyimpanan. *Jurnal Agroplasma*, *11*(2), 409–417. https://jurnal.ulb.ac.id/index.php/agro/article/view/5959

Koneri, R., & Pontororing, H. H. (2016). Uji Ekstrak Biji Mahoni (Swietenia macrophylla) Terhadap Larva Aedes Aegypti Vektor Penyakit Deman Berdarah. *JURNAL MKMI*, 12(4). https://doi.org/10.30597/mkmi.v12i4.1541 https://journal.unhas.ac.id/index.php/mkmi/article/view/1541

Kumara, C. J., Nurhayani, Bestari, R. S., & Dewi, L. M. (2021). Efektivitas Flavonoid, Tanin, Saponin dan Alkaloid terhadap Mortalitas Larva Aedes aegypty. *The 13 th University Research Colloqium 2021 Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Muhammadiyah Klaten*, *106–118*. https://repository.urecol.org/index.php/proceeding/article/view/1311/1278

Maisarah, D. R., Satriadi, T., & Ulfah, D. (2022). Identifikasi Kerusakan Bangunan Akibat Serangan Rayap Di Komplek Bincau Indah Iii Desa Bincau Kecamatan Martapura Kabupaten Banjar. *Jurnal Sylva Scienteae*, *5*(4), 667. https://doi.org/10.20527/jss.v5i4.6156

Malahayati, N., Widowati, T. W., & Febrianti, A. (2021). Karakterisasi Ekstrak Kurkumin dari Kunyit Putih (Kaemferia rotunda L.) dan Kunyit Kuning (Curcuma domestica Val.). *agriTECH*, *41*(2), 134. https://doi.org/10.22146/agritech.41345

Mendes, J. A., Sembiring, J., Susanti, D. S., Rupang, M. S., & Yusuf, M. (2024). Toxicity test of a mixture extracts neem leaf and mindi leaf. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1341*(1), 012053. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1341/1/012053

Muslich, M., & Rulliaty, S. (2016). Ketahanan 45 Jenis Kayu Indonesia Terhadap Rayap Kayu Kering Dan Rayap Tanah. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, *34*(1), 51–59. https://doi.org/10.20886/jphh.2016.34.1.51-59

Putri, O. K., Wijayanti, E. D., Susanto, N. A., & Agustanti, K. N. E. (2025). Kadar Agen Pembusa Alami dari Ekstrak Buah Lerak (*Sapindus rarak*) dengan Perbedaan Rasio Simplisia-Pelarut. *Jurnal Ilmiah BIOSAINTROPIS*, 10(2), 54–62. https://doi.org/10.33474/ejbst.v10i2.615 https://biosaintropis.unisma.ac.id/index.php/biosaintropis/article/view/615

Sabaruddin. (2021). Aplikasi Pestisida Nabati Bawang putih (*Allium sativum* L.) Untuk Pengendalian hama ulat grayak (Spodopteralitura) pada tanaman cabai (*Capsicum annum*

L.). *Jurnal AGroekoteknologi Tropika Lembab*, 3(2), 121–126. http://dx.doi.org/10.35941/jatl.3.2.2021.4819.121-126 https://e-journals.unmul.ac.id/index.php/agro/article/view/4819

Santos, C. A. L., Moreira, A. M. T., Teles, B. R. S., Kamdem, J. P., AlAsmari, A. F., Alasmari, F., ..., & Ibrahim, M. (2024). Mentha arvensis oil exhibits repellent acute toxic and antioxidant activities in Nauphoeta cinerea. *Scientific Reports*, 14(1), 21599. https://doi.org/10.1038/s41598-024-72722-3

Saputri, R. D., Lisminingsih, R. D., & Zayadi, H. (2024). Uji Efektivitas Perasan Daun Beluntas (Pluchea indica) Terhadap Mortalitas Rayap Tanah (Coptotermes curvignathus). *Jurnal SAINS ALAMI (Known Nature)*, 6(2), 38–43. https://doi.org/10.33474/j.sa.v6i2.18479 https://www.researchgate.net/publication/378482843_Uji_Efektivitas_Perasan_Daun_Beluntas_Pluchea_indica_Terhadap_Mortalitas_Rayap_Tanah_Coptotermes_curvignathus_TEST_THE_EFFECTIVENESS_OF_BELUNTAS_LEAF_EXTRACT_Pluchea_indica_AGAINST_MORTALITY_OF_SUBTER

Simangunsong, B., & Dirhamsyah, M. (2022). Identifikasi Jenis Rayap Di Dusun Sangku Desa Pancaroba Kecamatan Sungai Ambawang Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Hutan Lestari*, 10(1), 54. https://doi.org/10.26418/jhl.v10i1.45396

Sulastri, I. K., Khairil, K., Muhibbuddin, M., Djufri, D., & Abdullah, A. (2023). Effect Of Papaya Laf Extract (Carica papaya L.) As a Natural Pesticide On Pest Mortality Aphis gossypii Glover. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Biologi FKIP USK*, *8*(1), 16–24. https://jim.usk.ac.id/pendidikan-biologi/article/view/23800/pdf

Tang, S., Wang, B., Liu, X., Xi, W., Yue, Y., Tan, X., Bai, J., & Huang, L. (2025). Structural insights and biological activities of flavonoids: Implications for novel applications. *Food Frontiers*, 6(1), 218–247. https://doi.org/10.1002/fft2.494

Tarumingkeng, R. C. (2024). *Cryptotermes*. https://rudyct.com/ab/Cryptotermes.pdf

Thakur, S., Walia, B., & Chaudhary, G. (2021). Mentha arvensis (Pudina): A Review Based upon its Medicinal Properties. *Research Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 13(3), 143–148. https://doi.org/10.52711/0975-4385.2021.00024

UMAS. (2024). *3 Jenis Rayap di Indonesia dan Cara Efektif Mengendalikannya*. Umas Pest Control. https://umas.co.id/3-jenis-rayap-di-indonesia-dan-cara-efektif-mengendalikannya/

Vama, L., & Cherekar, M. N. (2020). Production, Extraction And Uses Of Eco-Enzyme Using Citrus Fruit Waste: Wealth From Waste. *Asian Jr. of Microbiol. Biotech. Env. Sc.*, 22(2), 346–351. https://www.envirobiotechjournals.com/AJMBES/v22i220/AJM-18.pdf

Yin, L., Han, H., Zheng, X., Wang, G., Li, Y., & Wang, W. (2019). Flavonoids analysis and antioxidant, antimicrobial, and anti-inflammatory activities of crude and purified extracts from *Veronicastrum latifolium*. *Industrial Crops and Products*, *137*, 652–661. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.007

Yusmansyah, Taufik, M., Ilyas, Y., & Arsela, P. (2025). Pemanfaatan Ecoenzyme dalam Meningkatkan Hasil Tanaman Bayam (Amaranthus hybridus L.). *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, *8*, 144–148. https://doi.org/10.30595/pspfs.v8i.1487