



Aktivitas Pupisida Ekstrak Etanol Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.) terhadap Kematian Pupa *Aedes aegypti* L.

¹Suryadi Islami, ²Ridwan Hardiansyah, ³Afriyani, ⁴Ahmad Fauzan Hafizh, ⁵Jedo Muchamad Tias Temun

¹Departemen Parasitologi, Fakultas Kedokteran, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

^{2,4,5}Program Studi Pendidikan Dokter, Fakultas Kedokteran, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

³Departemen Farmasi, Fakultas Kedokteran, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

*Corresponding Author e-mail: suryadi.islami@fk.unila.ac.id

Received: July 2025; Revised: August 2025; Accepted: September 2025; Published: September 2025

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui aktivitas pupisida ekstrak etanol daun belimbing wuluh terhadap kematian pupa *Ae. aegypti*. Penelitian ini menggunakan eksperimen murni untuk menilai toksisitas berbagai konsentrasi ekstrak etanol terhadap pupa pada waktu durasi perlakuan 24 dan 48 jam. Persentase kematian dicatat dan dihitung dengan rumus mortalitas WHO, dan nilai konsentrasi letal (LC50 dan LC90) ditentukan menggunakan analisis probit untuk menentukan konsentrasi yang membunuh 50% dan 90% populasi pupa uji. Analisis signifikansi dilakukan dengan uji Mann-Whitney U *two independent*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak etanol memiliki aktivitas pupisida yang bergantung pada dosis, dengan mortalitas tertinggi sebesar 97,33% pada konsentrasi 4% setelah 48 jam. Nilai LC50 yang diperoleh adalah 2,378% pada 24 jam dan 1,425% pada 48 jam, yang menunjukkan peningkatan efektivitas seiring waktu. Hasil ini menunjukkan bahwa ekstrak etanol daun belimbing wuluh berpotensi sebagai pupisida alami yang ramah lingkungan untuk mengendalikan populasi *Ae. aegypti*. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan formulasi dan aplikasi lapangan guna mendukung pengelolaan vektor nyamuk secara berkelanjutan.

Kata Kunci: *Aedes aegypti*; *Averrhoa bilimbi*; kontrol vektor; pupisida

Abstract: This study aimed to determine the pupicidal activity of ethanol extract from bilimbi (*Averrhoa bilimbi* L.) leaves against *Ae. aegypti* pupal mortality. A true experimental design was employed to evaluate the toxicity of various ethanol extract concentrations against pupae over treatment periods of 24 and 48 hours. Mortality rates were recorded and calculated using the WHO mortality formula, and lethal concentrations (LC50 and LC90) were determined via probit analysis to identify concentrations causing 50% and 90% pupal mortality. The results showed that the ethanol extract exhibited dose-dependent pupicidal activity, with the highest mortality observed at 4% concentration, achieving 97.33% mortality after 48 hours. The LC50 values were 2.378% at 24 hours and 1.425% at 48 hours, indicating an increased effectiveness over time. The findings suggest that the ethanol extract of bilimbi leaves has potential as a natural pupicide, offering an eco-friendly alternative for controlling *Ae. aegypti* populations. Further studies are needed to optimize formulation and field application for sustainable mosquito vector management.

Keywords: *Aedes aegypti*; *Averrhoa bilimbi*; pupicides; vector control

How to Cite: Islami, S., Hardiansyah, R., Afriyani, Hafizh, A. F., & Temun, J. M. T. (2025). Aktivitas Pupisida Ekstrak Etanol Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.) terhadap Kematian Pupa *Aedes aegypti* L. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 13(3), 2262–2272. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i3.15389>



<https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i3.15389>

Copyright© 2025, Islami et al

This is an open-access article under the CC-BY-SA License.



PENDAHULUAN

Penyakit yang ditularkan vektor merupakan penyakit yang ditularkan melalui hewan perantara (vektor) yang membawa patogen penyebab penyakit seperti virus, bakteri, atau parasit (Handiny *et al.*, 2020). Penyakit ini menjadi salah satu masalah kesehatan global, terutama di daerah tropis dan subtropis, dengan kondisi lingkungan seperti suhu hangat, curah hujan tinggi, dan kelembapan tinggi mendukung pertumbuhan dan perkembangbiakan vektor (Manwar & Khan, 2022). Salah satu vektor yang penting adalah nyamuk *Aedes aegypti*. Nyamuk *Ae. aegypti* merupakan vektor utama dan paling efisien dalam mentransmisikan arbovirus (Powell, 2018).

Aedes aegypti menjadi penyebab penyakit tular nyamuk (*mosquito-borne diseases*) dengan persebaran paling luas, tingkat keparahan yang tinggi, dan jumlah infeksi terbanyak seperti demam berdarah (DENV), *yellow fever* (YFV), chikungunya (CHIKV), dan Zika (ZIKV) (Gloria-Soria *et al.*, 2014; Powell, 2018).

Keberadaan *Ae. aegypti* banyak ditemukan di lingkungan dekat kehidupan manusia, khususnya wilayah perkotaan, dengan tempat perkembangbiakan seperti genangan air dalam bak mandi, botol bekas, dan ban bekas (Kweka *et al.*, 2018). Upaya pengendalian populasi nyamuk *Ae. aegypti* sangat penting dalam mengurangi angka kejadian penyakit yang ditransmisikan (Petersen *et al.*, 2018; Wilson *et al.*, 2020). Tantangan utama dalam pengendalian nyamuk ini adalah daya adaptasi yang tinggi terhadap lingkungan serta resistensi terhadap berbagai insektisida kimia yang umum digunakan (Dusfour *et al.*, 2019).

Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengendalikan populasi nyamuk *Ae. aegypti*, yakni manajemen lingkungan, teknik biologi, dan teknik kimiawi (CDC, 2016; Manjarres-Suarez & Olivero-Verbel, 2013; Onen *et al.*, 2023; Weeratunga *et al.*, 2017). Pengendalian secara kimiawi sering menjadi pilihan dalam strategi pengendalian *Ae. aegypti* karena dapat membunuh dengan cepat. Selain itu, zat kimia yang telah diformulasikan dalam bentuk insektisida juga tersedia secara bebas di pasaran dengan harga terjangkau dan dapat digunakan secara mandiri, sehingga penggunaannya lebih fleksibel dan murah dibanding dengan pengendalian lain. Pengendalian secara kimiawi menggunakan insektisida dengan zat sintetik yang umum digunakan meliputi piretroid, organofosfat, karbamat, dan organoklorin. Namun, terdapat masalah lain yang timbul seperti perkembangan resistensi. Munculnya resistensi dapat mengakibatkan pengendalian populasi nyamuk menjadi lebih kompleks karena nyamuk menjadi kebal terhadap zat sintetik tersebut, sehingga transmisi dan angka kejadian penyakit yang ditularkan tidak dapat ditekan.

Resistensi terhadap beberapa golongan insektisida sintetik sudah banyak terjadi, termasuk piretroid (misalnya permetrin, deltametrin) dan organofosfat (misalnya malathion) (Tokponnon *et al.*, 2024). Resistensi ini berkaitan dengan mutasi genetik seperti mutasi *kdr* (misalnya F1534C, V1016G, S989P), yang mengurangi efektivitas metode kimia (Dwicahya *et al.*, 2023; Tokponnon *et al.*, 2024). Resistensi telah meluas secara global, termasuk di negara-negara seperti Indonesia, Brasil, dan Sri Lanka (Dwicahya *et al.*, 2023). Misalnya, populasi di kota-kota Indonesia seperti Jakarta, Bandung, dan Makassar menunjukkan resistensi yang tinggi terhadap piretroid dan insektisida lainnya (Dwicahya *et al.*, 2023).

Selain itu, penggunaan insektisida sintetik juga berdampak negatif terhadap lingkungan, termasuk efek terhadap organisme non-target seperti serangga, burung, kehidupan akuatik, dan juga manusia. Pencemaran lingkungan juga dapat terjadi akibat polusi bahan kimia tersebut yang susah terdegradasi sehingga mencemari air dan tanah (Dwicahya *et al.*, 2023). Berdasarkan berbagai masalah baru yang muncul, diperlukan alternatif dalam pengendalian populasi nyamuk *Ae. aegypti*.

Salah satu alternatif yang dapat dikembangkan adalah penggunaan bahan alami sebagai insektisida yang lebih aman bagi lingkungan dan kesehatan manusia (Silvério *et al.*, 2020). Keunggulan insektisida alami adalah keamanannya terhadap lingkungan, karena lebih mudah terurai dan memiliki toksisitas lebih rendah terhadap organisme non-target, sehingga menjaga keseimbangan ekosistem (Ghosh *et al.*, 2012; Hillary *et al.*, 2024). Selain itu, penggunaannya dapat menghambat perkembangan resistensi pada nyamuk yang sering terjadi akibat penggunaan insektisida sintetik secara terus-menerus (Ghosh *et al.*, 2012; Silvério *et al.*, 2020). Salah satu bahan alami yang berpotensi adalah daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi*).

Pemanfaatan daun belimbing wuluh di dunia maupun Indonesia belum banyak dilakukan seperti buahnya yang bisa dikonsumsi langsung. Selain itu, belimbing wuluh dapat tumbuh diberbagai wilayah tropis tanpa perlakuan khusus sehingga dapat ditemukan dengan mudah di banyak tempat termasuk di pekarang rumah (Veldkamp, 2004). Belimbing wuluh juga dapat dibudidayakan sehingga menambah potensi pemanfaatannya. Banyak penelitian telah dilakukan untuk mempelajari berbagai potensi daun belimbing wuluh seperti sebagai antibakteri, antijamur, antioksidan, dan antidiabetes (Abas *et al.*, 2006; Ibrahim *et al.*, 2020; Mackeen *et al.*, 1997; Verangga *et al.*, 2023).

Daun belimbing wuluh berpotensi sebagai insektisida dari bahan alami karena memiliki kandungan senyawa bioaktif yang diketahui pula dapat berperan sebagai insektisida yaitu alkaloid, fenolik, flavonoid, saponin, steroid, dan tanin (Adiwibowo *et al.*, 2020; Putra *et al.*, 2018). Pemanfaatan sebagai insektisida dapat menargetkan berbagai stadium kehidupan nyamuk *Ae. aegypti*, mulai dari telur sampai dewasa. Penelitian ekstrak etanol daun belimbing wuluh pada larva *Ae. aegypti* telah dilakukan dan menunjukkan kemampuan membunuh larva (Islami *et al.*, 2025). Evaluasi pada stadium lain seperti pada pupa perlu juga dilakukan untuk mengetahui kemampuan sebagai pupasida sehingga memberikan pengetahuan lanjutan.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui aktivitas pupasida ekstrak etanol daun belimbing wuluh terhadap kematian pupa *Ae. aegypti*. Hasil penelitian dapat menjadi dasar bagi pengembangan penelitian lanjutan untuk mempelajari efikasi di lapangan dan potensi serta kestabilan sebagai bahan produk komersil. Selain itu, dapat berkontribusi juga sebagai alternatif pengendalian yang lebih ramah lingkungan sehingga dapat menurunkan penggunaan insektisida kimiawi dan berkontribusi dalam menekan populasi nyamuk *Ae. aegypti* dan transmisi penyakit.

METODE

Penelitian ini merupakan studi eksperimental laboratorium (*in vitro*) dengan kelompok perlakuan dan kontrol, yang bertujuan untuk mengevaluasi ekstrak etanol daun belimbing wuluh (*A. bilimbi*) sebagai pupasida terhadap *Ae. aegypti*. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi dan Parasitologi, Fakultas Kedokteran, Universitas Lampung.

Daun belimbing wuluh yang digunakan dikumpulkan dari berbagai lokasi di Provinsi Lampung secara acak. Daun tersebut kemudian diseleksi, dicuci, dikeringkan anginkan di tempat teduh tanpa terkena sinar matahari langsung, kemudian diseleksi kembali sehingga hanya yang layak yang digunakan. Setelah itu dilakukan penghalusan menggunakan blender hingga menjadi serbuk simplisia. Serbuk kemudian diayak menggunakan saringan 40 mesh untuk mendapatkan serbuk yang lebih halus. Selanjutnya, serbuk simplisia dimaserasi dengan cara direndam dalam etanol 96% selama 24 jam dengan sesekali diaduk. Campuran yang dihasilkan kemudian disaring menggunakan kain flanel untuk memisahkan residu dari filtrat. Tahapan ini dilakukan sebanyak tiga kali untuk mengoptimalkan ekstraksi. Proses penguapan dilakukan dengan menggunakan evaporator putar pada suhu 60°C yang dilanjutkan dengan pengentalan menggunakan penangas air hingga didapatkan ekstrak pekat.

Metode uji aktivitas pupasida dalam penelitian ini merujuk pada pedoman World Health Organization (WHO, 2005). Pupa nyamuk pada penelitian ini dimasukkan ke dalam cangkir plastik berisi 200 ml campuran air suling dan ekstrak yang konsentrasinya telah ditentukan (0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5%, dan 4%). Sebagai

pembandingan, digunakan kontrol positif berupa larutan temephos 1% dan kontrol negatif berupa air suling. Penggunaan temephos sebagai kontrol positif karena merupakan zat aktif yang banyak digunakan untuk pengendalian larva *Ae. aegypti* yang juga memiliki efek pupisida (Pambudi *et al.*, 2018; Sittichok *et al.*, 2024). Kontrol negatif berupa air suling bertujuan untuk memastikan bahwa air suling yang digunakan sebagai media perlakuan tidak ada memiliki efek pupisida. Uji pupasida ini dilakukan sebanyak 3 kali ulangan sehingga didapatkan hasil rerata. Setiap cangkir plastik terdapat masing-masing 25 pupa yang jika ditotalkan maka pupa yang digunakan pada penelitian ini adalah sebanyak 600 pupa.

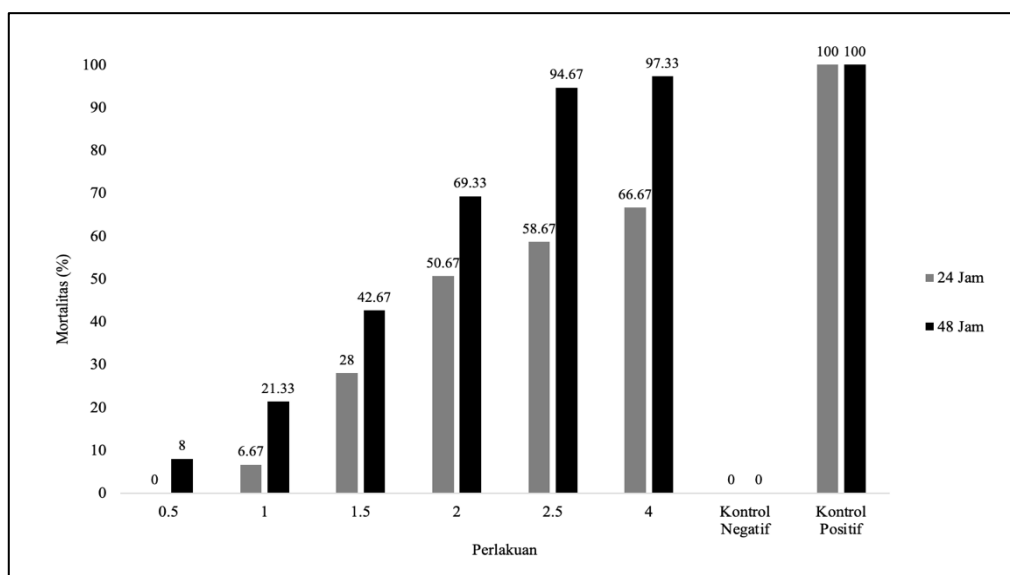
Aktivitas pupasida ditentukan berdasarkan mortalitas atau kematian pupa yang diamati pada 24 jam dan 48 jam perlakuan. Pengamatan dilakukan pada setiap perlakuan dan kontrol. Pupa dianggap mati jika tidak berenang atau menunjukkan gerakan bahkan tidak merespons saat disentuh dengan batang pengaduk atau saat terkena cahaya senter (Chantawee & Soonwera, 2018). Hasil yang diamati kemudian dihitung menggunakan rumus berikut (WHO, 2005):

$$\text{Mortalitas} = (\text{Jumlah pupa mati} / \text{Total jumlah pupa uji}) \times 100\%$$

Data hasil penelitian dianalisis lebih lanjut menggunakan uji Mann-Whitney U *two-independent* untuk menguji signifikansi perbedaan antar perlakuan dan kontrol pada data yang tidak terdistribusi normal, serta analisis probit untuk memperkirakan nilai konsentrasi letal yang menyebabkan kematian pada 50% (LC50) dan 90% (LC90) pupa. Selain itu, uji chi-square dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian model probit dalam memprediksi probabilitas kematian berdasarkan dosis yang diberikan. Seluruh analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak IBM SPSS Statistics versi 29.0.2.0.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji pupisida dilakukan untuk mengevaluasi konsentrasi ekstrak etanol daun belimbing wuluh yang dapat membunuh pupa nyamuk *Ae. aegypti* dengan menilai rerata mortalitas pupa pada konsentrasi ekstrak yang berbeda-beda pada 24 dan 48 jam perlakuan. Hasil uji pupisida ekstrak etanol daun belimbing wuluh terhadap *Ae. aegypti* ditunjukkan pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Rerata mortalitas pupa *Ae. aegypti* pada 24 dan 48 jam perlakuan ekstrak etanol daun belimbing wuluh (*A. bilimbi*)

Berdasarkan hasil uji pupasida (Gambar 1), mortalitas pupa terbanyak pada konsentrasi ekstrak 4% yakni sebesar 66,7% pada 24 jam dan 97,33% pada 48 jam perlakuan. Sedangkan kelompok dengan mortalitas terendah adalah pada perlakuan dengan konsentrasi ekstrak sebesar 0,5% dengan yang tidak terdapat kematian pada 24 jam dan hanya 8% pada 48 jam perlakuan. Mengacu pada hasil tersebut, terlihat adanya hubungan yaitu peningkatan konsentrasi ekstrak etanol daun belimbing wuluh berbanding lurus dengan peningkatan persentase mortalitas (*concentration dependent*). Mortalitas pupa meningkat signifikan seiring bertambahnya waktu paparan dari 24 jam ke 48 jam pada semua konsentrasi ekstrak.

Konsentrasi ekstrak yang lebih tinggi menghasilkan mortalitas yang lebih tinggi, menunjukkan bahwa semakin banyak senyawa fitokimia yang berinteraksi dengan pupa, semakin besar efek toksiknya. Pada konsentrasi 0,5%, mortalitas masih rendah (8% pada 24 jam dan 6,67% pada 48 jam perlakuan), menunjukkan bahwa dosis ini belum cukup menyebabkan kematian pupa. Namun, pada konsentrasi 1,5% ke atas, mortalitas mulai meningkat dengan tren yang jelas. Pada konsentrasi 2%, mortalitas mencapai 50,67% dalam 24 jam dan meningkat menjadi 69,33% dalam 48 jam, menunjukkan efek toksisitas yang lebih kuat dengan durasi paparan yang lebih lama. Efektivitas ekstrak semakin terlihat pada konsentrasi 2,5% dan 4%, di mana mortalitas masing-masing mencapai 94,67% dan 97,33% setelah 48 jam.

Hasil ini mendekati efektivitas kontrol positif (temephos 1%) yang menunjukkan mortalitas 100% pada kedua waktu pengamatan. Pada kelompok kontrol negatif (air suling), tidak ditemukan kematian pupa, yang mengindikasikan bahwa kematian pupa hanya disebabkan oleh senyawa aktif dalam ekstrak. Sebaliknya, pada kontrol positif yang menggunakan 1% temephos, seluruh pupa mengalami kematian (100%), yang menunjukkan efektivitas pupasida sintesis.

Signifikansi dari setiap kelompok perlakuan dianalisa dengan menggunakan uji Mann-Whitney U *two independent*. Uji ini digunakan untuk membandingkan efek pupasida dengan melihat signifikandi pada ekstrak etanol daun belimbing wuluh dengan kelompok kontrol baik kelompok kontrol positif maupun negatif. Hasil uji Mann-Whitney U *two independent* kematian pupa *Ae. aegypti* pada 24 dan 48 jam perlakuan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Uji Mann-Whitney U *two independent* kematian pupa *Ae. aegypti* setiap perlakuan konsensentrasi pada 24 dan 48 jam pelakuan

Konsentrasi	0.5	1	1.5	2	2.5	4	Kontrol Negatif	Kontrol Positif
24 jam perlakuan								
0.5		0.034	0.037	0.037	0.037	0.034	1*	0.025
1	0.034		0.046	0.046	0.046	0.043	0.034	0.034
1.5	0.037	0.046		0.050	0.050	0.046	0.037	0.037
2	0.037	0.046	0.050		0.184*	0.046	0.037	0.037
2.5	0.037	0.046	0.050	0.184*		0.027	0.037	0.037
4	0.034	0.043	0.046	0.046	0.027		0.034	0.034
Kontrol Negatif	1*	0.034	0.037	0.037	0.037	0.034		0.025
Kontrol Positif	0.025	0.034	0.037	0.037	0.037	0.034	0.025	
48 jam perlakuan								
0.5		0.034	0.037	0.034	0.034	0.034	0.025	0.025

Konsentrasi	0.5	1	1.5	2	2.5	4	Kontrol Negatif	Kontrol Positif
1	0.034		0.046	0.043	0.043	0.043	0.034	0.034
1.5	0.037	0.046		0.046	0.046	0.046	0.037	0.037
2	0.034	0.043	0.046		0.043	0.043	0.034	0.34*
2.5	0.034	0.043	0.046	0.043		0.456*	0.034	0.114*
4	0.034	0.043	0.046	0.043	0.456*		0.034	0.317*
Kontrol Negatif	0.025	0.034	0.037	0.034	0.034	0.034		0.025
Kontrol Positif	0.025	0.034	0.037	0.34*	0.114*	0.317*	0.025	

*nilai signifikansi >0.05 menunjukkan tidak beda nyata

Berdasarkan hasil uji Mann-Whitney, pada pengamatan 24 jam perlakuan, seluruh kelompok perlakuan memiliki hasil signifikan dibandingkan dengan kelompok kontrol negatif kecuali kelompok dengan konsentrasi ekstrak 0,5%. Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi rendah, efektivitas pupasida dari ekstrak daun belimbing wuluh belum optimal dalam menyebabkan kematian pupa. Kelompok perlakuan dengan konsentrasi ekstrak 2% juga tidak menunjukkan perbedaan signifikan dengan konsentrasi 2,5% pada pengamatan 24 jam perlakuan, yang mengindikasikan bahwa pada waktu tersebut, efektivitas kedua konsentrasi tersebut serupa.

Sementara itu, pada pengamatan 48 jam perlakuan, seluruh kelompok memiliki perbedaan signifikan dibandingkan dengan kelompok kontrol negatif yang menegaskan bahwa efektivitas pupasida meningkat selama waktu paparan. Namun, kelompok perlakuan dengan konsentrasi ekstrak 2%, 2,5%, dan 4% menunjukan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan dengan kelompok kontrol positif yang berarti efektivitasnya mendekati temephos 1%. Selain itu, konsentrasi ekstrak 2,5% dan 4% tidak menunjukkan perbedaan signifikan pada pengamatan 48 jam perlakuan yang menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi tidak memberikan tambahan efek toksisitas yang signifikan.

Toksitas ekstrak etanol daun belimbing wuluh dinilai dengan analisa probit untuk mengetahui konsentrasi letal. Konsentrasi letal yang dinilai yakni LC50 yakni konsentrasi yang dapat membunuh 50% pupa dan LC90 yakni konsentrasi yang dapat membunuh 90% pupa *Ae. aegypti*. Hasil analisis probit dan chi-square ekstrak etanol daun belimbing wuluh pada 24 dan 48 jam perlakuan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Konsentrasi letal (LC50 dan LC90) ekstrak etanol daun belimbing wuluh (*A. bilimbi*) setelah 24 dan 48 jam perlakuan terhadap kematian pupa *Ae. aegypti*

Waktu pengamatan	LC50*	LC90*	y	Chi-square
24 jam perlakuan	2.378	5.91	3.28x-1.26	0.522 ^a
48 jam perlakuan	1.425	2.917	3.53x-0.55	0.111 ^a

*confident interval 95%

^atingkat signifikansi >0.05

Hasil analisis probit pada Tabel 2 menunjukan bahwa konsentrasi letal pada 24 jam perlakuan lebih tinggi dibandingkan dengan periode 48 jam setelah perlakuan. Pada pengamatan 24 jam perlakuan, nilai LC50 dan LC90 secara berturut-turut yakni 2,378% dan 5,91%, dengan persamaan garis $y=3.28x-1.26$. Sementara itu, pada 48 jam perlakuan, nilai LC50 dan LC90 secara berturut-turut yakni 1,425% dan 2,917%, dengan persamaan garis $y=3.53x-0.55$. Penurunan ini menunjukkan bahwa dengan

durasi paparan yang lebih lama maka efektivitas toksisitas ekstrak terhadap pupa semakin meningkat sehingga nilai LC lebih rendah. Hal ini dapat dijelaskan oleh akumulasi efek toksik dari senyawa aktif dalam ekstrak, seperti flavonoid, alkaloid, dan saponin, yang bekerja dengan cara mengganggu metabolisme pupa dan menyebabkan kematian secara bertahap.

Analisis chi-square juga dilakukan dan menunjukkan nilai lebih dari 0,05 pada tiap waktu pengamatan. Hasil ini menunjukkan bahwa model probit memberikan kecocokan yang baik terhadap data yang diamati sehingga representasi yang baik dari hubungan dosis-respons. Oleh karena itu, nilai LC₅₀ dan LC₉₀ yang diperoleh dapat diandalkan dalam mengevaluasi efektivitas pupasida ekstrak ini.

Hasil konsentrasi letal yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan perbedaan dengan beberapa studi yang menguji efektivitas pupasida terhadap *Ae. aegypti* menggunakan ekstrak dari tanaman lain. Beberapa penelitian sebelumnya melaporkan nilai LC yang lebih rendah dalam waktu 24 jam setelah perlakuan. Misalnya, studi oleh Venkadachalam et al. (2017) menemukan bahwa ekstrak *Tephrosia purpurea* memiliki aktivitas pupasida yang cukup tinggi dengan LC₅₀ sebesar 326,29 ppm dan LC₉₀ sebesar 762,80 ppm. Jeyasankar dan Chinnamani (2018) juga melaporkan bahwa ekstrak metanol *Solanum pseudocapsicum* menunjukkan LC₅₀ sebesar 456,39 ppm dan LC₉₀ sebesar 824,26 ppm terhadap pupa *Ae. aegypti* dalam 24 jam pengamatan. Perbedaan hasil juga terlihat pada penelitian dengan waktu pengamatan 48 jam. Sebagai contoh, penelitian oleh (Komala et al., 2018) menemukan bahwa ekstrak metanol bonggol pisang ambon memiliki nilai LC₅₀ sebesar 1075,296 ppm. Perbedaan hasil ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satu faktor utama adalah perbedaan komposisi senyawa aktif dalam ekstrak tanaman yang digunakan. Setiap jenis tanaman memiliki kandungan metabolit sekunder yang berbeda, seperti flavonoid, alkaloid, dan tanin, yang dapat mempengaruhi efektivitasnya sebagai pupasida. Konsentrasi dan komposisi metabolit tersebut mempengaruhi kemampuan membunuh pupa. Semakin tinggi konsentrasi dan semakin banyak komposisi yang memiliki aktivitas pupisida maka semakin bersifat racun pula sehingga memiliki kemampuan membunuh pupa yang tinggi. Selain itu, metode ekstraksi yang digunakan dalam penelitian juga berperan dalam menentukan kadar senyawa aktif yang terkandung dalam ekstrak.

Hasil uji kualitatif fitokimia yang dilakukan sebelumnya menunjukan bahwa ekstrak etanol daun belimbing wuluh yang digunakan pada penelitian ini mengandung alkaloid, fenolik, flavonoid, saponin, steroid, dan tanin (Islami et al., 2025). Berbagai penelitian telah menjelaskan efek alkaloid, fenolik, flavonoid, saponin, steroid, dan tanin terhadap pupa dan larva *Ae. aegypti*. Senyawa-senyawa ini mengganggu berbagai proses fisiologis dan biokimia dalam siklus hidup nyamuk, termasuk tahap pupa. Namun, kandungan dan persentase senyawa bioaktif ini dipengaruhi oleh metode ekstraksi yang dilakukan maupun kondisi habitat/lingkungan tempat belimbing wuluh tumbuh sehingga dapat pula mempengaruhi hasil.

Alkaloid memiliki sifat larvasida dengan menargetkan sistem saraf nyamuk melalui penghambatan aktivitas asetilkolinesterase, gangguan saluran natrium, serta bertindak sebagai racun mitokondria, yang dapat menghambat perkembangan dan meningkatkan kematian pada tahap larva maupun pupa (Cahyati et al., 2017; Nawarathne & Dharmarathne, 2024). Alkaloid juga dapat merangsang kelenjar endokrin untuk menghasilkan hormon ecdison, yang berpotensi menyebabkan kegagalan metamorfosis pada tahap pupa (Cahyati et al., 2017). Senyawa fenolik bekerja sebagai larvasida dengan merusak membran epitel usus larva nyamuk, sementara sifat antioksidannya juga berkontribusi terhadap efek toksisitas terhadap

larva maupun pupa (Catelan *et al.*, 2015). Flavonoid berperan dalam menghambat enzim glutathione S-transferase Noppera-bo (Nobo), yang penting dalam biosintesis ecdison, sehingga mengganggu proses pergantian kulit (*molting*) dan metamorfosis, menyebabkan kelainan perkembangan atau kematian pada tahap pupa (Cahyati *et al.*, 2017; Inaba *et al.*, 2022). Senyawa flavonoid seperti daidzein dan desmethylglycitein efektif sebagai pengatur pertumbuhan serangga (*insect growth regulators*, IGRs), yang dapat menghambat transisi dari larva ke pupa atau dari pupa ke nyamuk dewasa (Inaba *et al.*, 2022). Saponin bersifat entomotoksik dan mengganggu perkembangan organ serta membran telur nyamuk, sehingga menghambat perkembangan dari telur ke larva dan berdampak pada kelangsungan hidup pupa. Sifat deterjen dari saponin dapat mengganggu membran sel, menyebabkan kerusakan struktural yang menghambat perkembangan pupa (Cahyati *et al.*, 2017). Steroid dalam ekstrak tumbuhan memiliki aktivitas larvasida dengan mengganggu jalur hormonal yang berperan penting dalam pergantian kulit dan metamorfosis, serta dapat meniru atau menghambat hormon juvenil, yang menyebabkan perkembangan abnormal pada tahap pupa (Cahyati *et al.*, 2017; Nawarathne & Dharmarathne, 2024). Tanin mempengaruhi perkembangan nyamuk dengan mengganggu proses metabolisme dan merusak struktur seluler, selain juga memiliki aktivitas larvasida yang menargetkan lapisan usus larva, yang berpotensi berdampak pada pupa. Sifat astringennya dapat menghambat penyerapan nutrisi dan mengganggu perkembangan selama tahap pupa (Cahyati *et al.*, 2017).

Berdasarkan hasil penelitian ini, ekstrak etanol daun belimbing wuluh efektif menyebabkan kematian pupa *Ae. aegypti* melalui berbagai mekanisme, termasuk gangguan metabolisme, gangguan jalur hormonal, dan kerusakan membran sel, serta pencegahan metamorfosis menjadi nyamuk dewasa. Potensi ini menunjukkan bahwa ekstrak dapat dikembangkan sebagai alternatif pupasida alami yang lebih ramah lingkungan dibandingkan pupasida sintetik. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan formulasi yang tepat untuk dikembangkan sebagai produk insektisida komersil berbahan alami serta mengidentifikasi mekanisme toksisitas yang lebih spesifik agar dapat diaplikasikan secara praktis dalam program pengendalian nyamuk secara efektif.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa mortalitas pupa *Ae. aegypti* akibat perlakuan ekstrak etanol daun belimbing wuluh (*A. bilimbi*) meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi dari waktu ke waktu. Toksisitas ekstrak tersebut meningkat seiring waktu, dengan nilai LC50 dan LC90 menjadi jauh lebih rendah seiring dengan bertambahnya durasi paparan. Hal ini menunjukkan adanya efek yang bergantung pada waktu terhadap kematian pupa. Semakin rendahnya nilai LC50 dan LC90 menunjukkan semakin efektifnya kemampuan membunuh pupa. Ekstrak etanol daun belimbing wuluh memiliki potensi sebagai alternatif untuk strategi pengendalian vektor sebagai insektisida alami, yang berpotensi mengurangi masalah lingkungan dan kesehatan yang disebabkan insektisida sintesis, namun diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mempelajari efikasi di lapangan dan potensi serta kestabilan sebagai bahan produk komersil.

REKOMENDASI

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui mekanisme spesifik ekstrak etanol daun belimbing wuluh terhadap kematian pupa *Ae. aegypti*. Selanjutnya perlu dilakukan formulasi yang tepat dan uji efikasi dan toksisitas terhadap organisme

non-target sehingga dapat diketahui potensinya untuk diaplikasikan sebagai insektisida alami.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Lampung melalui Skema Hibah DIPA BLU UNILA Tahun 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Abas, F., Lajis, N. H., Israf, D. A., Khozirah, S., & Umi Kalsom, Y. (2006). Antioxidant and nitric oxide inhibition activities of selected Malay traditional vegetables. *Food Chemistry*, 95(4), 566–573. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.034>
- Adiwibowo, M. T., Herayati, H., Erlangga, K., & Fitria, D. A. (2020). Pengaruh metode dan waktu ekstraksi terhadap kualitas dan kuantitas saponin dalam ekstrak buah, daun, dan tangkai daun Belimbing Wuluh (*Avverhoa bilimbi* L.) untuk aplikasi detergen. *Jurnal Integrasi Proses*, 9(2), 44–50.
- Cahyati, W. H., Asmara, W., Umniyati, S. R., & Mulyaningsih, B. (2017). The phytochemical analysis of hay infusions and papaya leaf juice as an attractant containing insecticide for *Aedes aegypti*. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 12(2), 218–224.
- Catelan, T. B. S., de Arruda, E. J., Oliveira, L. C. S., Raminelli, C., Gaban, C. R. G., Cabrini, I., Nova, P. C. V., & Carbonaro, E. S. (2015). Evaluation of toxicity of phenolic compounds using *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) and *Artemia salina*. *Advances in Infectious Diseases*, 5(01), 48.
- CDC. (2016). Surveillance and control of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in the United States. *Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, GA*.
- Chantawee, A., & Soonwera, M. (2018). Efficacies of four plant essential oils as larvicide, pupicide and oviposition deterrent agents against dengue fever mosquito, *Aedes aegypti* Linn.(Diptera: Culicidae). *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 8(4), 217–225.
- Dusfour, I., Vontas, J., David, J.-P., Weetman, D., Fonseca, D. M., Corbel, V., Raghavendra, K., Coulibaly, M. B., Martins, A. J., & Kasai, S. (2019). Management of insecticide resistance in the major *Aedes* vectors of arboviruses: Advances and challenges. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 13(10), e0007615.
- DwicaHYa, B., Arsin, A. A., Ishak, H., Hamid, F., & Mallongi, A. (2023). *Aedes Sp. Mosquito Resistance and the Effectiveness of Biolarvicides on Dengue Vector Mortality*. <https://repository.unar.ac.id/jspui/handle/123456789/8382>
- Ghosh, A., Chowdhury, N., & Chandra, G. (2012). Plant extracts as potential mosquito larvicides. *Indian Journal of Medical Research*, 135(5), 581–598.
- Gloria-Soria, A., Brown, J. E., Kramer, V., Hardstone Yoshimizu, M., & Powell, J. R. (2014). Origin of the dengue fever mosquito, *Aedes aegypti*, in California. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 8(7), e3029.
- Handiny, F., Rahma, G., & Rizyana, N. P. (2020). *Buku Ajar Pengendalian Fektor*. Ahlimedia Book.
- Hillary, V. E., Ceasar, S. A., & Ignacimuthu, S. (2024). Efficacy of plant products in controlling disease vector mosquitoes, a review. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 172(3), 195–214. <https://doi.org/10.1111/eea.13401>
- Ibrahim, H. M., El-Taieb, M. A., Hassan, M. H., Mohamed, A. A. E., Kotop, E. A., Abd-ellah, O. H., & Hegazy, E. M. (2020). Relations between vitamin D3, total and

- specific IgE for house dust mites in atopic dermatitis patients. *Scientific Reports*, 10(1). Scopus. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77968-1>
- Inaba, K., Ebihara, K., Senda, M., Yoshino, R., Sakuma, C., Koiwai, K., Takaya, D., Watanabe, C., Watanabe, A., Kawashima, Y., Fukuzawa, K., Imamura, R., Kojima, H., Okabe, T., Uemura, N., Kasai, S., Kanuka, H., Nishimura, T., Watanabe, K., ... Niwa, R. (2022). Molecular action of larvicidal flavonoids on ecdysteroidogenic glutathione S-transferase Noppera-bo in *Aedes aegypti*. *BMC Biology*, 20(1), 43. <https://doi.org/10.1186/s12915-022-01233-2>
- Islami, S., Afriyani, A., Damayanti, E., Muharromah, A. F., Nainggolan, L. U. A., Brahmantio, A. S., Prabamukti, I., Hardiansyah, R., Bachtiar, N. A., & Faruq, M. U. A. A. (2025). The Efficacy of Ethanol Extract of Bilimbi Leaves (*Averrhoa bilimbi* L.) As A Larvicide For Dengue Fever Vector *Aedes aegypti* L. *Serangga*, 30(1). <https://doi.org/10.17576/serangga-2025-3001-08>
- Jeyasankar, A., & Chinnamani, T. (2018). Larvicidal and pupicidal activities of *Solomon pseudocapsicum* fruits compounds against *Aedes aegypti*, *Anopheles stephensi* and *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae). *J. Infect. Dis. Med. Microbiol*, 2, 11–16.
- Komala, S. N., Budianto, B. H., & Basuki, E. (2018). Studi Toksisitas: Ekstrak Metanol Bonggol Pisang Ambon (*Musa acuminata* L. cv. Gros Michel) terhadap *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Jurnal Aspirator*, 10(2), 93–102.
- Kweka, E. J., Baraka, V., Mathias, L., Mwang'onde, B., Baraka, G., Lyaruu, L., & Mahande, A. M. (2018). Ecology of *Aedes* mosquitoes, the major vectors of arboviruses in human population. *Dengue Fever-a Resilient Threat Face Innov*, 10.
- Mackeen, M. M., Ali, A. M., El-Sharkawy, S. H., Manap, M. Y., Salleh, K. M., Lajis, N. H., & Kawazu, K. (1997). Antimicrobial and Cytotoxic Properties of Some Malaysian Traditional Vegetables (Ulam). *International Journal of Pharmacognosy*, 35(3), 174–178. <https://doi.org/10.1076/phbi.35.3.174.13294>
- Manjarres-Suarez, A., & Olivero-Verbel, J. (2013). Chemical control of *Aedes aegypti*: A historical perspective. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 22(1), 68–75.
- Manwar, M. H. G., & Khan, D. R. A. H. (2022). A Review on Vector Borne Diseases and Controlling Challenges. *Journal of Algebraic Statistics*, 13(2), Article 2.
- Nawarathne, M. P., & Dharmarathne, C. (2024). Control of dengue larvae of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* using the larvicidal bioactive compounds in different plant extracts and plant extract-mediated nanoparticles. *Tropical Medicine and Health*, 52(1), 95. <https://doi.org/10.1186/s41182-024-00654-9>
- Onen, H., Luzala, M. M., Kigozi, S., Sikumbili, R. M., Muanga, C.-J. K., Zola, E. N., Wendji, S. N., Buya, A. B., Balciunaitiene, A., & Viškelis, J. (2023). Mosquito-borne diseases and their control strategies: An overview focused on green synthesized plant-based metallic nanoparticles. *Insects*, 14(3), 221.
- Pambudi, B. C., Martini, M., Tarwotjo, U., & Hestningsih, R. (2018). Efektivitas Temephos sebagai Larvasida Pada Stadium Pupa *Aedes Aegypti*. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 6(1), 381–388.
- Petersen, L. R., Beard, C. B., & Visser, S. N. (2018). Combatting the increasing threat of vector-borne disease in the United States with a national vector-borne disease prevention and control system. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 100(2), 242.
- Powell, J. R. (2018). Mosquito-borne human viral diseases: Why *Aedes aegypti*? *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 98(6), 1563.

- Putra, M. A. S., Bestari, R. S., Hidayatullah, M. I., Felina, S., & Sutrisna, E. (2018). Effectiveness Of Leaf Extractwuluh Starfruit (Averrhoa Bilimbi L) In Killing Larvaeaedes Aegypti. *Journal of Bio Innovation*, 5, 704–711.
- Silvério, M. R. S., Espindola, L. S., Lopes, N. P., & Vieira, P. C. (2020). Plant natural products for the control of Aedes aegypti: The main vector of important arboviruses. *Molecules*, 25(15), 3484.
- Sittichok, S., Passara, H., Sinthusiri, J., Mounghipmalai, T., Puwanard, C., Murata, K., & Soonwera, M. (2024). Synergistic Larvicidal and Pupicidal Toxicity and the Morphological Impact of the Dengue Vector (Aedes aegypti) Induced by Geranial and trans-Cinnamaldehyde. *Insects*, 15(9), 714. <https://doi.org/10.3390/insects15090714>
- Tokponnon, T. F., Ossè, R., Zoukifilou, S. D., Amos, G., Festus, H., Idayath, G., Sidick, A., Messenger, L. A., & Akogbeto, M. (2024). Insecticide resistance in Aedes aegypti mosquitoes: Possible detection of kdr F1534C, S989P, and V1016G triple mutation in Benin, West Africa. *Insects*, 15(4), 295.
- Veldkamp, J. F. (2004). *Bilimbia* (Lichenes) resurrected. *The Lichenologist*, 36(3–4), 191–195. <https://doi.org/10.1017/S0024282904013908>
- Venkadachalam, R., Subramaniyan, V., Palani, M., Subramaniyan, M., Srinivasan, P., & Raji, M. (2017). Mosquito larvicidal and pupicidal activity of Tephrosia purpurea Linn.(Family: Fabaceae) and Bacillus sphaericus against, dengue vector, Aedes aegypti. *Pharmacognosy Journal*, 9(6). <https://www.phcogj.com/article/400>
- Verangga, A., Qomariyah, N., & Khaleyla, F. (2023). Effect of Averrhoa bilimbi Leaf Extract on Blood Glucose Level, Hepatosomatic Index (HSI), and Liver Histology of Diabetic Mice. *HAYATI Journal of Biosciences*, 31(1), 102–109. <https://doi.org/10.4308/hjb.31.1.102-109>
- Weeratunga, P., Rodrigo, C., Fernando, S. D., & Rajapakse, S. (2017). Control methods for Aedes albopictus and Aedes aegypti. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2017(8), CD012759. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012759>
- WHO. (2005). *Guidelines for laboratory and field testing of mosquito larvicides*. World Health Organization.
- Wilson, A. L., Courtenay, O., Kelly-Hope, L. A., Scott, T. W., Takken, W., Torr, S. J., & Lindsay, S. W. (2020). The importance of vector control for the control and elimination of vector-borne diseases. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 14(1), e0007831.