

Efektivitas Jamur Entomopatogen *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin Sebagai Biolarvasida *Anopheles* sp. Vektor Malaria Di Desa Hanura, Kabupaten Pesawaran, Lampung

Effectiveness of the Entomopathogenic Fungus Metarhizium anisopliae (Metchnikoff) Sorokin as a Biolarvicide Against Anopheles sp., the Malaria Vector, in Hanura Village, Pesawaran Regency, Lampung

Febrian Cahyadi, Endah Setyaningrum*, Bambang Irawan, Nuning Nurcahyani

Program studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Lampung, Bandar Lampung 35145, Indonesia

*corresponding author, Email: endah.setyaningrum@fmipa.unila.ac.id.

Rekam Jejak Artikel:

Diterima : 30/01/2026
Disetujui : 16/06/2026

Abstract

Malaria remains a public health problem in Indonesia, including in Pesawaran Regency, Lampung, with *Anopheles* sp. as the main vector. Vector control, which is still dominated by chemical insecticides, risks causing resistance and environmental impacts, so more environmentally friendly control alternatives are needed. The entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* has the potential to be developed as a biolarvicide. This study aims to determine the effectiveness of *M. anisopliae* on the mortality of third-instar larvae of *Anopheles* sp., determine the LC_{50} value, and observe the morphological damage to larvae due to fungal infection. The study was conducted experimentally in the laboratory using a Completely Randomized Design (CRD) with seven treatments, consisting of six dilutions of *M. anisopliae* conidial suspension (10^{-1} - 10^{-6}) and one negative control, each with three replications. The fungus was cultured on PDA media and the concentration of conidia was calculated using a hemocytometer. Third-instar larvae of *Anopheles* sp. came from their natural habitat in Hanura Village. Larval mortality was observed for 72 hours and analyzed using ANOVA, Tukey's test, and probit analysis. The results showed that *M. anisopliae* had a highly significant effect on larval mortality ($p < 0.001$). The highest mortality occurred at a concentration of 10^{-6} with an average mortality of $76.66\% \pm 1.53$ larvae, while the control showed no mortality. Probit analysis showed an LC_{50} value of 5.33×10^5 spores/mL at 72 hours of exposure. Morphologically, infected larvae experienced damage to the cuticle, digestive system, and spiracles. The fungus *M. anisopliae* was shown to have a significant effect on *Anopheles* sp. larval mortality in a concentration-dependent manner, with an LC_{50} value of around 10^5 spores/mL, causing morphological damage to third-instar larvae of *Anopheles* sp.

Key words : *Anopheles* sp, Biolarvicide, LC_{50} , *Metarhizium anisopliae*, Larval Mortality.

Abstrak

Malaria masih menjadi masalah kesehatan masyarakat di Indonesia, termasuk di Kabupaten Pesawaran, Lampung, dengan *Anopheles* sp. sebagai vektor utama. Pengendalian vektor yang masih didominasi insektisida kimia berisiko menimbulkan resistensi dan dampak lingkungan, sehingga diperlukan alternatif pengendalian yang lebih ramah lingkungan. Jamur entomopatogen *Metarhizium anisopliae* berpotensi dikembangkan sebagai biolarvasida. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas *M. anisopliae* terhadap mortalitas larva instar III *Anopheles* sp., menentukan nilai LC_{50} , serta mengamati kerusakan morfologi larva akibat infeksi jamur. Penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tujuh perlakuan, terdiri atas enam pengenceran suspensi konidia *M. anisopliae* (10^{-1} - 10^{-6}) dan satu kontrol negatif, masing-masing tiga ulangan. Jamur dikultur pada media PDA dan konsentrasi konidia dihitung menggunakan hemocytometer. Larva instar III *Anopheles* sp. berasal dari habitat alami di Desa Hanura. Mortalitas larva diamati selama 72 jam dan dianalisis menggunakan ANOVA, uji Tukey, serta analisis probit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *M. anisopliae* berpengaruh sangat nyata terhadap mortalitas larva ($p < 0,001$). Mortalitas tertinggi terjadi pada konsentrasi 10^{-6} dengan rerata kematian $76,66\% \pm 1,53$ ekor, sedangkan kontrol tidak menunjukkan kematian. Analisis probit menunjukkan nilai LC_{50} sebesar $5,33 \times 10^5$ spora/mL pada 72 jam paparan. Secara morfologis, larva terinfeksi mengalami kerusakan pada kutikula, sistem pencernaan, dan spirakel. Jamur *M. anisopliae* terbukti berpengaruh signifikan terhadap mortalitas larva *Anopheles* sp. secara konsentrasi-dependen, dengan nilai LC_{50} sekitar 10^5 spora/mL, menyebabkan kerusakan morfologi pada larva instar III *Anopheles* sp.

Kata kunci: *Anopheles* sp, Biolarvasida, LC_{50} , *Metarhizium anisopliae*, Mortalitas Larva.

PENDAHULUAN

Malaria masih menjadi masalah kesehatan masyarakat di Indonesia, termasuk di Provinsi Lampung, dengan nyamuk *Anopheles* sp. sebagai vektor utama penularan parasit Plasmodium (WHO, 2024). Data Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa Kabupaten Pesawaran, terdapat 700 kasus pada tahun 2023, dengan Teluk Pandan sebagai wilayah tertinggi mencapai 461 kasus malaria tertinggi (BPS, 2023). Kondisi lingkungan pesisir Desa Hanura yang didominasi tambak, rawa, dan genangan air menciptakan habitat yang mendukung perkembangan larva *Anopheles* sp., sehingga meningkatkan risiko penularan malaria (SIPDKH, 2023).

Pengendalian vektor malaria selama ini masih didominasi oleh penggunaan insektisida kimia, seperti piretroid dan organofosfat, melalui penyemprotan residu dan kelambu berinsektisida (Kafy et al., 2017). Penggunaan insektisida secara terus menerus telah dilaporkan menyebabkan resistensi pada populasi *Anopheles*, pencemaran lingkungan, serta dampak terhadap organisme non-target (Utami & Porusia, 2023). Kondisi tersebut mendorong perlunya pengembangan metode pengendalian alternatif yang lebih aman, berkelanjutan, dan ramah lingkungan.

Salah satu alternatif pengendalian vektor yang potensial adalah penggunaan biolarvasida berbasis jamur entomopatogen, seperti *M. anisopliae*. Jamur ini mampu menginfeksi serangga melalui penetrasi konidia pada kutikula, berkembang di dalam tubuh inang, serta menghasilkan toksin destruktif yang menyebabkan kematian serangga (Trizelia dkk., 2015). Biolarvasida adalah salah satu cara untuk mengendalikan larva nyamuk, umumnya menggunakan ekstrak tanaman atau agen hayati lain yang mengandung senyawa aktif seperti flavonoid, tanin, saponin, alkaloid dan terpenoid (Marcellia dkk., 2024). Berbagai penelitian melaporkan bahwa *M. anisopliae* efektif meningkatkan mortalitas larva nyamuk secara dosis-dependen, meskipun kajian pada larva *Anopheles* sp. di wilayah endemis Lampung masih terbatas (Kurniawan dkk., 2021).

Urgensi penelitian ini didasarkan pada kebutuhan akan alternatif pengendalian vektor malaria yang efektif dan ramah lingkungan di tengah meningkatnya risiko resistensi vektor terhadap insektisida kimia. Jamur *M. anisopliae* berpotensi dikembangkan sebagai biolarvasida untuk menekan populasi larva *Anopheles* sp. Oleh karena itu, penelitian ini mengkaji pengaruh *M. anisopliae* terhadap mortalitas larva instar III *Anopheles* sp., menentukan nilai LC_{50} sebagai parameter toksisitas, serta mengamati kerusakan morfologi larva akibat paparan jamur sebagai dasar pengembangan pengendalian vektor malaria yang ramah lingkungan.

MATERI DAN METODE

Penelitian dilaksanakan pada September–November 2025 di Laboratorium Botani dan Laboratorium Zoologi, Jurusan Biologi, FMIPA Universitas Lampung. Larva *Anopheles* sp. dikoleksi dari Desa Hanura, Kabupaten Pesawaran, Lampung. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri atas tujuh kelompok perlakuan dengan tiga ulangan. Kelompok perlakuan meliputi kontrol negatif (tanpa konidia) dan enam konsentrasi suspensi konidia *M. anisopliae* (10^1 – 10^6 konidia/mL)..

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri atas tujuh kelompok perlakuan dengan tiga ulangan. Kelompok perlakuan meliputi kontrol negatif (K–) tanpa pemberian konidia dan enam perlakuan suspensi konidia *Metarhizium anisopliae* dengan konsentrasi 10^1 , 10^2 , 10^3 , 10^4 , 10^5 , dan 10^6 konidia/mL.

Isolat *M. anisopliae* dikultur pada media *Potato Dextrose Agar* (PDA) steril dan diinkubasi pada suhu 25–28°C selama 7–10 hari hingga mencapai sporulasi optimum. Konidia dipanen dari permukaan koloni menggunakan akuades steril dan disaring untuk memisahkan fragmen hifa. Suspensi konidia kemudian diencerkan secara bertingkat sesuai konsentrasi perlakuan. Kerapatan konidia dihitung menggunakan haemocytometer Neubauer berdasarkan metode standar perhitungan konidia entomopatogen.

Larva instar III *Anopheles* sp. dikoleksi dari perairan tambak di Desa Hanura, Kabupaten Pesawaran, Lampung. Sebelum pengujian, larva diaklimatisasi selama 3 jam pada kondisi laboratorium untuk meminimalkan stres akibat perubahan lingkungan, mengikuti metode yang digunakan oleh Murphy et al. (2021). Larva dipelihara dalam nampan berisi air habitat asal dan diberi pakan pelet secukupnya. Suhu pemeliharaan dijaga pada kisaran 25–28°C untuk mempertahankan kelangsungan hidup larva sebelum pengujian (Mamai et al., 2018).

Uji larvasida dilakukan dengan menempatkan 10 ekor larva pada 20 mL akuades di setiap wadah uji. Suspensi konidia sebanyak 2 mL ditambahkan sesuai konsentrasi perlakuan (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6}), sedangkan kontrol hanya diberi akuades tanpa konidia (Novitasari dkk., 2023). Pengamatan mortalitas dilakukan pada interval 24, 48, dan 72 jam. Larva dinyatakan mati apabila tidak menunjukkan gerakan setelah diberi biolarvasida *M. anisopliae* (WHO, 2005).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengaruh Paparan *Metarhizium anisopliae* terhadap Mortalitas Larva *Anopheles* sp.

Hasil penelitian menunjukkan data mortalitas larva *Anopheles* sp. setelah pemberian suspensi konidia *M. anisopliae* pada berbagai konsentrasi selama 72 jam dapat dilihat pada (Tabel 1).

Tabel 1. Rerata Mortalitas Larva *Anopheles* sp. pada Berbagai Konsentrasi *M. anisopliae* Berdasarkan Waktu Pengamatan

Perlakuan	Rerata mortalitas % (Mean±SD)
Kontrol -	0.00% ± 0.00 ^a
10 ¹	20% ± 1.00 ^a
10 ²	26,66% ± 1.15 ^{ab}
10 ³	36,66% ± 2.51 ^{abc}
10 ⁴	40% ± 2.00 ^{bc}
10 ⁵	50% ± 2.00 ^{bc}
10 ⁶	76,66% ± 1.53 ^c

Hasil pada berbagai konsentrasi *M. anisopliae* selama waktu pengamatan 72 jam. Mortalitas larva *Anopheles* diduga meningkat seiring konsentrasi *M. anisopliae*. Mortalitas terendah pada 10¹ (20%) dan tertinggi pada 10⁶ (76,66%). Hal ini diduga efek toksisitas dari jamur entomopatogen *M. anisopliae* terhadap larva *Anopheles* sp., Peningkatan konsentrasi konidia *M. anisopliae* menunjukkan hubungan yang selaras dengan peningkatan mortalitas larva *Anopheles* sp. di mana konsentrasi tinggi menghasilkan tingkat kematian yang lebih besar dibandingkan konsentrasi rendah. Secara biologis, hubungan ini sesuai dengan prinsip dasar infeksi jamur entomopatogen yang bersifat *dose-dependent*, di mana jumlah konidia yang lebih tinggi meningkatkan peluang kontak, perlekatan, dan penetrasi ke tubuh larva (Kurniawan *et al.*, 2021).

Kematian larva *Anopheles* sp. diduga terjadi melalui mekanisme infeksi jamur entomopatogen. Konidia *M. anisopliae* melekat pada kutikula larva, berkecambah, dan menghasilkan enzim seperti protease, lipase, serta kitinase yang membantu penetrasi kutikula (Miranda *et al.*, 2024). Setelah memasuki hemocoel, jamur berkembang biak dan menghasilkan destruksin yang mengganggu sistem fisiologis larva, sehingga menyebabkan kematian (Prayitno & Wahyuni, 2016).

Penelitian sebelumnya pada *A. gambiae* dan *A. stephensi* menunjukkan bahwa jamur entomopatogen, termasuk *M. anisopliae*, mampu menyebabkan mortalitas larva secara signifikan, dengan tingkat kematian yang meningkat seiring peningkatan konsentrasi dan lamanya paparan (Bukhari *et al.*, 2010). Pola serupa teramati pada penelitian ini, di mana mortalitas larva *Anopheles* sp.

cenderung meningkat pada konsentrasi konidia yang lebih tinggi. Peningkatan mortalitas tersebut diduga disebabkan oleh jumlah konidia yang lebih banyak sehingga meningkatkan peluang kontak, pelekatan, dan penetrasi jamur ke tubuh larva (Ribeiro *et al.*, 2024).

Hasil uji ANOVA menunjukkan adanya perbedaan mortalitas larva *Anopheles* sp. yang signifikan antarperlakuan ($p < 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa variasi konsentrasi *M. anisopliae* berpengaruh terhadap mortalitas larva. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Kim (2014) yang melaporkan adanya pengaruh konsentrasi terhadap tingkat mortalitas organisme uji.

2. Nilai LC₅₀ *Metarhizium anisopliae*

Hasil mortalitas *Anopheles* sp. di analisis probit untuk menentukan nilai LC₅₀, data menunjukkan bahwa suspensi konidia jamur *M. anisopliae* memiliki nilai LC₅₀ dapat dilihat pada (Tabel 2).

Tabel 2. Nilai LC₅₀ jamur *M. anisopliae* terhadap *Anopheles* sp. Selama 72 Jam

Parameter	Nilai LC
LC ₅₀	5,33 × 10 ⁵
LC ₉₀	8,25 × 10 ⁸

Analisis probit dilakukan untuk mengevaluasi hubungan antara konsentrasi spora *M. anisopliae* dan persentase mortalitas larva *Anopheles* sp. (Barde *et al.*, 2017). Hasil analisis menunjukkan bahwa model probit yang dihasilkan bersifat stabil, ditandai dengan tercapainya konvergensi serta nilai signifikansi parameter yang sangat rendah ($p < 0,05$). Temuan ini mengindikasikan bahwa variasi konsentrasi spora memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tingkat kematian larva.

Berdasarkan data probit, nilai LC₅₀ diperoleh pada kisaran 10⁵ spora/mL, yaitu sekitar 5,33 × 10⁵ spora/mL setelah 72 jam paparan, dengan batas kepercayaan *lower bound* 4.130 dan *upper bound* 6.522. Rentang ini menunjukkan bahwa konsentrasi efektif yang menyebabkan kematian 50% larva *Anopheles* sp. Nilai tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi spora dalam jumlah tersebut mampu menyebabkan kematian 50% populasi larva uji, sehingga mencerminkan potensi entomopatogenik *M. anisopliae* yang cukup tinggi terhadap larva *Anopheles* sp. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Zuharah *et al* (2021) yang melaporkan bahwa nilai LC₅₀ *M. anisopliae* terhadap larva nyamuk berada pada kisaran 10⁴–10⁵ spora/mL.

Peningkatan konsentrasi spora diikuti oleh peningkatan mortalitas larva secara konsisten, menunjukkan adanya hubungan dosis–respon yang jelas secara biologis dan statistik (Kurniawan dkk., 2021). Penyebab kematian larva *Anopheles* diduga disebabkan oleh kandungan *M. anisopliae* yang menghasilkan enzim protease, lipase, dan kitinase

yang berfungsi menghancurkan lapisan kutikula (Miranda *et al.*, 2024). Hasil ini juga sesuai dengan penelitian Zuharah *et al* (2021) yang meneliti efektivitas *M. anisopliae* memiliki aktivitas larvasida tinggi terhadap larva *Aedes* dengan LC_{50} pada kisaran $9,6 \times 10^3 - 2,7 \times 10^4$ konidia/mL. Selain itu penelitian yang dilakukan Vivekanandhan dkk (2021) bahwa metabolit sekunder *M. anisopliae* memiliki aktivitas larvasida terhadap *A. stephensi* dengan nilai LC_{50} sebesar 32,578 $\mu\text{g/mL}$ setelah 24 jam paparan, yang diperoleh dari ekstrak metabolit jamur.

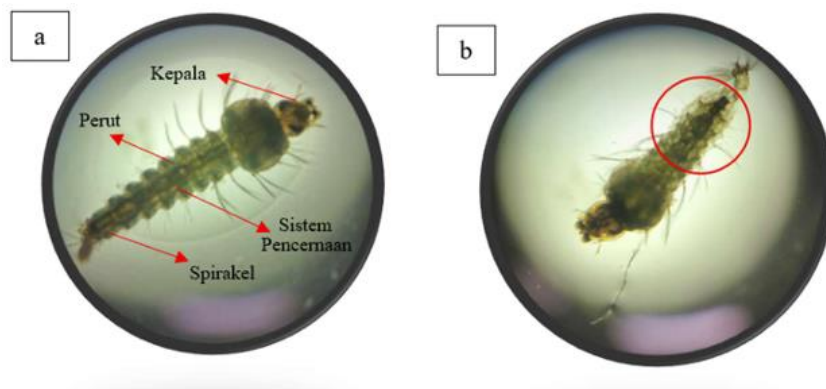
3. Kerusakan Morfologi Larva *Anopheles* sp.

Hasil pengamatan morfologi larva instar III *Anopheles* sp. yang telah mati memperlihatkan perbedaan kerusakan yang diakibatkan pemberian suspensi *M. anisopliae*, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1. Hasil pengamatan morfologi larva instar III *Anopheles* sp. yang mati menunjukkan adanya perbedaan dibandingkan dengan larva kontrol. Larva yang terpapar *M. anisopliae* mengalami perubahan warna tubuh menjadi lebih gelap dan penyusutan ukuran tubuh. Kondisi tersebut mengindikasikan terjadinya kerusakan jaringan akibat penetrasi dan perkembangan jamur di dalam tubuh larva. Temuan ini sejalan dengan penelitian

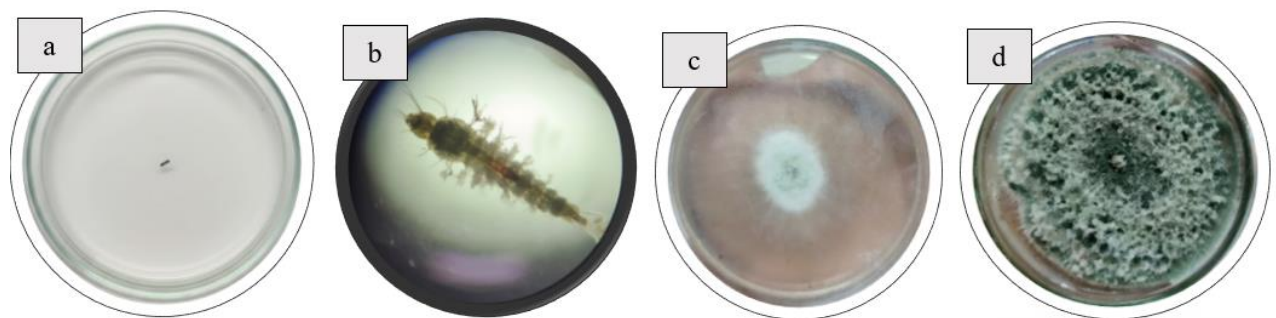
Arivoli & Tennyson (2025) yang melaporkan bahwa infeksi *M. anisopliae* pada larva nyamuk dapat menyebabkan perubahan warna tubuh dan kerusakan morfologi.

Temuan ini sesuai dengan pola kematian yang tampak pada hasil penelitian, dimana larva yang mati ditanam di media PDA (Gambar 2 a), setelah di inkubasi tumbuh jamur *Metarhizium anisopliae* (Gambar 2 c) dan warna koloni konidia *M. anisopliae* berubah menjadi hijau tua (Gambar 2 d).

Kerusakan larva instar III *Anopheles* sp, berkaitan dengan efek toksisitas *M. anisopliae*. Mekanisme kematian sesuai pola dosis respon (mortalitas meningkat dari konsentrasi 10^1 ke 10^6 dan $LC_{50} = 5,33 \times 10^5$ spora/mL. Konsisten dengan prinsip bahwa kenaikan kerapatan konidia meningkatkan peluang kontak, keberhasilan germinasi, dan intensitas kolonisasi sehingga mempercepat kegagalan fisiologis inang. Infeksi jamur *M. anisopliae* menggunakan kombinasi gaya mekanik dan enzim hidrolitik seperti protease, kitinase, dan lipase (Ma *et al.*, 2024).



Gambar 1. Morfologi larva instar III *Anopheles* sp. setelah 72 jam: (a) Kontrol negatif, (b) Perlakuan Pemberian Suspensi konidia *M. Anisopliae*.



Gambar 2. Larva instar III *Anopheles* sp. yang mati ditanam di media PDA (a), Perbesaran larva yang rusak (b), setelah inkubasi tumbuh jamur *M. anisopliae* (c), warna koloni konidia *M.anisopliae* (d).

Kematian larva *Anopheles* sp. dalam penelitian ini dapat dijelaskan melalui mekanisme patogenisitas khas jamur entomopatogen. Proses infeksi dimulai ketika konidia jamur menempel pada kutikula larva melalui gaya hidrofobik dan adhesi permukaan (Butt *et al.*, 2013). Setelah berhasil melekat, konidia berkecambah dan menghasilkan enzim protease, lipase, dan kitinase yang berfungsi menghancurkan lapisan kutikula (Miranda *et al.*, 2024). Akumulasi hifa dan toksin ini menyebabkan gangguan metabolisme, paralisis, perubahan warna tubuh, dan akhirnya kematian (Prayitno dkk., 2016).

Mortalitas larva yang lebih tinggi pada konsentrasi 10^6 dibandingkan dengan konsentrasi 10^1 menunjukkan bahwa peningkatan jumlah konidia *M. anisopliae* meningkatkan efektivitas infeksi terhadap larva *Anopheles* sp. Konsentrasi konidia yang lebih tinggi diduga meningkatkan peluang kontak, perlekatan, dan penetrasi jamur ke dalam tubuh larva, sehingga menyebabkan kerusakan jaringan yang lebih luas. Kerusakan tersebut ditandai dengan perubahan warna tubuh menjadi lebih gelap dan penyusutan ukuran larva. Hasil penelitian ini menunjukkan adanya hubungan dosis-respons antara konsentrasi konidia dan mortalitas larva. Temuan serupa dilaporkan oleh Sharma dan Sharma (2021), yang menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi spora jamur entomopatogen berkorelasi dengan peningkatan mortalitas serangga inang. Keberhasilan infeksi *M. anisopliae* juga dipengaruhi oleh viabilitas spora dan kondisi lingkungan, seperti suhu dan kelembapan, yang mendukung germinasi konidia serta pertumbuhan hifa (Kamga *et al.*, 2022).

SIMPULAN

Jamur *M. anisopliae* berpotensi sebagai agen biolarvasida terhadap larva *Anopheles* sp., yang ditunjukkan oleh peningkatan mortalitas seiring dengan kenaikan konsentrasi konidia. Konsentrasi tertinggi (10^6 spora/mL) menghasilkan mortalitas larva tertinggi sebesar 76,66%. Analisis probit menunjukkan nilai LC_{50} sebesar $5,33 \times 10^5$ spora/mL setelah 72 jam paparan. Infeksi *M. anisopliae* juga menyebabkan perubahan morfologi larva berupa penggelapan warna tubuh, kerusakan kutikula, serta gangguan pada sistem pencernaan dan spirakel. Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk meningkatkan konsentrasi agar mencapai mortalitas 100%.

DAFTAR REFERENSI

Arivoli, S., & Tennyson, S. 2025. Evaluation and toxicity of Indian plant extracts to the larvae of the malaria vector *anopheles stephensi* Liston 1901 (Diptera: Culicidae). *Journal of Natural Pesticide Research*, 12. P.100113. <https://doi.org/10.1016/j.napere.2025.100113>

Auwal Al-Hassan Barde., Abba Umar., & Musa Mustapha Dogara. 2017. Laboratory evaluation

of entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* for the control of *Anopheles gambiae* s. L. Larvae in Bauchi Nigeria. *International Journal Entomology Reaserch*, 2(3), pp.10-14.

- Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung. 2023. [Online] Jumlah Kasus Malaria di Kabupaten Pesawaran. <https://pesawarankab.bps.go.id/id/statistics-table/2/MzA0IzI=/jumlah-kasus-malaria-di-kabupaten-pesawaran.html> [Diakses 1 Januari 2026].
- Bukhari, T., Middelman, A., Koenraadt, C. J., Takken, W., & Knols, B. G. 2010. Factors affecting fungus-induced larval mortality in *Anopheles gambiae* and *Anopheles stephensi*. *Malaria Journal*, 9(1), pp.1-15.
- Butt, T. M., Greenfield, B. P., Greig, C., Maffei, T. G., Taylor, J. W., Piasecka, J., Dudley, E., Abdulla, A., Dubovskiy, I. M., Garrido-Jurado, I., Quesada-Moraga, E., Penny, M. W., & Eastwood, D. C. 2013. *Metarhizium anisopliae* pathogenesis of mosquito larvae: A verdict of accidental death. *PLoS ONE*, 8(12), P.e81686. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081686>
- Kafy, H., Ismail, B., Mnzava, A., Lines, J., Abdin, M., Eltaher, J., Banaga, A., West, P., Bradley, J., Cook, J., Thomas, B., Subramaniam, K., Hemingway, J., Knox, T., Malik, E., Yukich, J., Donnelly, M., & Kleinschmidt, I. 2017. Impact of insecticide resistance in *Anopheles arabiensis* on malaria incidence and prevalence in Sudan and the costs of mitigation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 114(52), pp.11267-11275. <https://doi.org/10.1073/pnas.1713814114>
- Kamga, S. F., Ndjomatchoua, F. T., Guimapi, R. A., Klinge, I., Tchawoua, C., Hjelkrem, A. R., Thunes, K. H., & Kakmeni, F. M. 2022. The effect of climate variability in the efficacy of the entomopathogenic fungus *Metarhizium acridum* against the desert locust *Schistocerca gregaria*. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11424-0>
- Kim, H. 2014. Analysis of variance (ANOVA) Comparing means of more than two groups. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 39(1), p.74. <https://doi.org/10.5395/rde.2014.39.1.74>
- Kurniawan, E., Mulia, Y. S., Dewi, N. U., Sanitavia, W. H., & Kristiyanti, Y. 2021. Aktivitas Larvasida jamur *Metarhizium anisopliae* Terhadap Larva *Aedes aegypti* Di Laboratorium Dan Uji Coba Lapangan. *Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung*, 13(1), pp.64-73. <https://doi.org/10.34011/juriskesbdg.v13i1.1861>

- Ma, M., Luo, J., Li, C., Eleftherianos, I., Zhang, W., & Xu, L. 2024. A life-and-death struggle: Interaction of insects with entomopathogenic fungi across various infection stages. *Frontiers in Immunology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1329843>
- Mamai, W., Leanne N. Lobb., Nanwintoum S. Bimbilé Somda., Hamidou Maiga., Hanano Yamada., Rosemary Susan Lees., Jeremy Bouyer., & Jeremie RL Gilles. 2018. Optimization of Mass-Rearing Methods for *Anopheles arabiensis* Larval Stages: Effects of Rearing Water Temperature and Larval Density on Mosquito Life-History Traits. *Journal Of Economic Entomology*, 111(5). pp.2383-2390.
- Marcellia, S., Ramdini, D. A., Setiawan, G., Septiani, L., Setyaningrum, E., Rosa, E., & Annasya, B. S. 2024. Uji Efektivitas Biolarvasida Pada Minyak Atsiri Daun Tembelekan (*Lantana camara*) Terhadap larva *Anopheles* sp. Sebagai Upaya Pengendalian Vektor malaria. *Jurnal Ilmu Kedokteran dan Kesehatan*. 11(12), pp.2444-2453.
- Miranda, R. P., Soares, T. K., Castro, D. P., & Genta, F. A. 2024. General aspects, host interaction, and application of *Metarhizium* Sp. in arthropod pest and vector control. *Frontiers in Fungal Biology*. 5. <https://doi.org/10.3389/ffunb.2024.1456964>
- Murphy, A., Gleave, K., DeChaht, P., Kesavaraju., Burton, J & Clark, J. 2021. Field Evaluation of Microbial Mosquito Larvacide Efficacy. [Diakses 1 Januari 2026]. <https://innovationtoimpact.org/wp-content/uploads/2018/10/Field-Evaluation-of-Microbial-Mosquito-Larvacide-Efficacy.pdf>
- Novitasari, A., Windianingsih, A. C., Kinanti, T. L., Sumarmi, S., Sukirno. & Soesilohadi. 2023. Effectivity of Entomopathogen fungus *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin to mortality of *Aedes aegypti* Linnaeus, 1762 larvae. *Berkala Ilmiah Biologi*, 14(1), pp.1-7.
- Prayitno, T. A & Wahyuni, D. 2016. Pemanfaatan Jamur *Metarhizium anisopliae* sebagai Pengendalian Hayati Larva Nyamuk *Culex* sp. *Jurnal Biologi dan Pembelajarannya* (JB&P), 2(1), pp.17-22.
- Ribeiro, M. L., Bitencourt, R. D., Moreira, H. V., Golo, P. S., Bittencourt, V. R., & Angelo, I. D. 2024. In vitro assessment of *Metarhizium Anisopliae* pathogenicity against *Aedes aegypti* life stages. *Neotropical Entomology*, 53(6), pp.1260-1270. <https://doi.org/10.1007/s13744-024-01209-7>
- Sharma, R., & Sharma, P. 2021. Fungal entomopathogens: A systematic review. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31(1). <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00404-7>
- Sistem Informasi Pemerintah Desa Kelurahan Hanura. Topografi Desa Hanura, Teluk Pandan. 2024. [Online] <https://hanura-telukpandan.metadesa.id/pages/articles/artikel.aspx?id=5473> [Diakses 1 Januari 2026].
- Sousa, N. A., Rodrigues, J., Luz, C., dan Humber, R. A. 2022. Exposure of newly deposited *Aedes aegypti* eggs to *Metarhizium humberi* and fungal development on the eggs. *SSRN Electronic Journal*, 184. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4314514>
- Trizelia, T., Syahrawati, M., & Mardiah, A. 2011. Patogenesis beberapa isolat cendawan entomopatogen *Metarhizium* spp. terhadap telur *Spodoptera litura* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae). *Jurnal Entomologi Indonesia*, 8(1), pp.45-54.
- Utami, A. W., & Porusia, M. 2023. Kajian literatur pengaruh insektisida nabati Dan insektisida sintetik terhadap kematian larva nyamuk *Aedes aegypti*. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 11(2), pp.168-189.
- Vivekanandhan, P., Swathy, K., Kalaimurugan, D., Ramachandran, M., Yuvaraj, A., Kumar, AN, Manikandan, AT, Poovarasana, N., Shivakumar, MS, & Kweka, EJ. 2020. Toksisitas larvasida metabolit *Metarhizium anisopliae* terhadap tiga spesies nyamuk dan organisme non-target. *PLOS SATU*, 15(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232172>
- World Health Organization. 2005. *Guidelines for laboratory and field testing of mosquito larvicides*. WHO/CDS/WHOPES/GCDPP/2005.13. Geneva. <https://share.google/OrEDsjYdWGcIrec8I>
- World Health Organization. 2024. World Malaria Report 2024. [Online] <https://www.who.int/teams/global-malariaprogramme/reports/World-malaria-report-2024> [Diakses 1 Januari 2026].
- Zuharah, W. F., Rohaiyu, M. R., Azmi, W. A., & Nagao, H. 2021. Pathogenicity of entomopathogenic fungus, *Metarhizium anisopliae* MET-GRA4 isolate on dengue vectors, *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti* mosquito larvae. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 24(2), pp.24-29. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2021.04.008>