

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

(Skripsi)

Oleh

**Febrian Cahyadi
2217021047**



**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

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

Oleh

Febrian Cahyadi

Malaria masih menjadi masalah kesehatan masyarakat di Indonesia, termasuk di Kabupaten Pesawaran, Lampung. Pengendalian vektor yang masih didominasi insektisida kimia berisiko menimbulkan resistensi dan dampak lingkungan, diperlukan alternatif pengendalian yang lebih ramah lingkungan. Jamur entomopatogen *Metarhizium anisopliae* berpotensi dikembangkan sebagai biolarvasida. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas *Metarhizium 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 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%, 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 instar III *Anopheles* sp. terinfeksi dan mengalami kerusakan secara sistemik (hemolimfa, pencernaan dan pernapasan).

Kata kunci: *Metarhizium anisopliae*, biolarvasida, *Anopheles* sp., mortalitas larva, Hanura, probit.

ABSTRACT

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

By

Febrian Cahyadi

Malaria remains a public health problem in Indonesia, including in Pesawaran Regency, Lampung. Vector control, which is still dominated by chemical insecticides, carries the risk of resistance and environmental impacts. More environmentally friendly control alternatives are needed. The entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* has the potential to be developed as a biolarvicide. This study aimed to determine the effectiveness of *Metarhizium anisopliae* on the mortality of third-instar larvae of *Anopheles* sp., determine the LC₅₀ value, and observe the morphological damage to larvae caused by 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. Instar III larvae of *Anopheles* sp. came from the 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 very 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%, while the control showed no mortality. Probit analysis showed an LC₅₀ value of 5.33×10^5 spores/mL at 72 hours of exposure. Morphologically, instar III larvae of *Anopheles* sp. infected and suffer systemic damage (hemolymph, digestive, and respiratory).

Keywords: *Metarhizium anisopliae*, biolarvicial, *Anopheles* sp., mortality larvae, Hanura, probit.

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

Oleh

Febrian Cahyadi

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2026**

Judul Skripsi

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

Nama Mahasiswa

: Febrian Cahyadi

NPM

: 2217021047

Program Studi

: S-1 Biologi

Jurusan

: Biologi

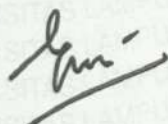
Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

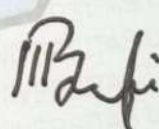
1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I



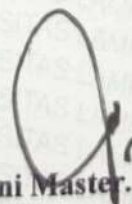
Dr. Endah Setyaningrum, M. Biomed.
NIP. 196405171988032001

Pembimbing II



Prof. Dr. Bambang Irawan, M. Sc.
NIP. 196503031992031006

2. Ketua Jurusan Biologi FMIPA

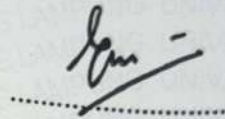


Dr. Jani Master, S. Si., M. Si
NIP. 198301312008121001

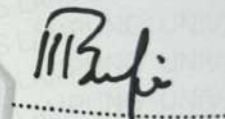
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

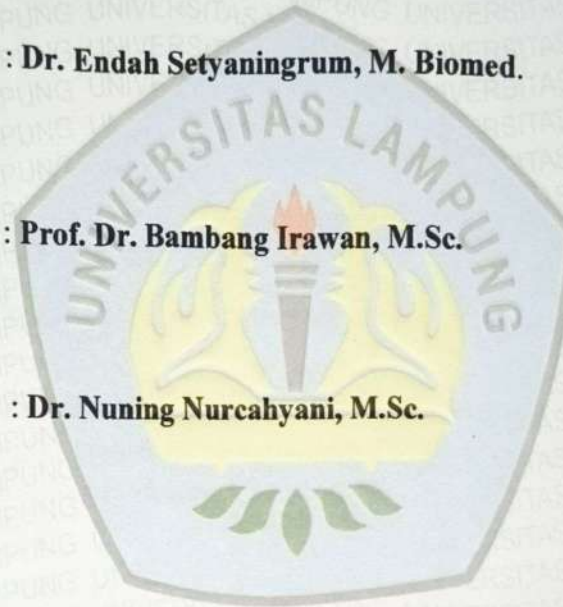
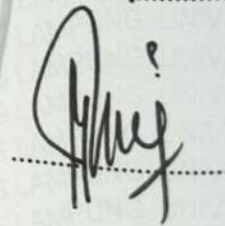
Ketua : **Dr. Endah Setyaningrum, M. Biomed.**



Sekretaris : **Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc.**



Anggota : **Dr. Nuning Nurcahyani, M.Sc.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

The official stamp of Universitas Lampung is a circular emblem. It features a central torch with a flame, flanked by two stylized green leaves. The words "UNIVERSITAS LAMPUNG" are written in a semi-circle above the torch. Below the torch, there are three green leaves. The stamp is purple and white.

Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **11 Februari 2026**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Febrian Cahyadi
Nomor Pokok Mahasiswa : 2217021047
Jurusan : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa skripsi saya berjudul:

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

Baik gagasan, data dan pembahasan adalah benar karya saya yang saya susun sendiri dengan mengikuti panduan penulisan yang berlaku. Jika di kemudian hari terbukti pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi akademik.

Bandar Lampung, 11 Februari 2026

Yang Menyatakan,



Febrian Cahyadi
NPM. 2217021047

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Febrian Cahyadi, lahir di Buyut Ilir pada tanggal 12 Februari 2004. Anak Pertama dari Bapak Boimin (alm) dan Ibu Surahmi. Penulis saat ini bertempat tinggal di Desa Buyut Ilir, Kecamatan Gunung Sugih, Kabupaten Lampung Tengah, Lampung. Penulis menyelesaikan pendidikan mulai dari Taman Kanak-Kanak di TK Tunas Karya Buyut Ilir dan lulus pada tahun 2010, SD Negeri 1 Bangun Rejo lulus pada tahun 2016, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 02 Kota Gajah dan lulus pada tahun 2019, serta melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 1 Kota Gajah dengan kelulusan pada tahun 2022. Pada tahun 2022 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menempuh pendidikan di Jurusan Biologi, penulis aktif mengikuti organisasi di lingkungan kampus sebagai wadah pengembangan diri. Penulis pernah mengikuti Himpunan Mahasiswa Biologi (Himbio) FMIPA sebagai anggota Bidang Sains dan Teknologi (Saintek) periode 2022-2023, aktif dalam Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Penelitian Universitas Lampung Bidang

Kewirausahaan periode 2022-2024, serta mengikuti ROIS FMIPA anggota Bidang Akademik dan Prestasi (Akpres) periode 2023-2024.

Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Riset Rekayasa Molekul Hayati Universitas Airlangga Research Group Mikrobiologi Terapan pada periode Januari-Februari 2025. Penulis juga melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada periode Juli-Agustus 2025 di Desa Gunung Agung, Kecamatan Langkapura, Bandar Lampung. Selama menempuh pendidikan di Jurusan Biologi FMIPA, penulis aktif mengikuti kegiatan akademik dan non-akademik sebagai bagian dari pengembangan diri dan menghasilkan 2 karya buku referensi kolaborasi dengan judul ***Survival Guide Mahasiswa Sains dan Konservasi Sumber Daya Hutan***. Penulis juga berhasil mendapatkan **3 Hak Cipta (HKI) 3 karya Buku** oleh Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual Kementerian Hukum RI. Penulis juga terlibat dalam kegiatan **MBKM Kewirausahaan Proteksi** sebagai bagian dari implementasi Program Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) dan mendapatkan juara 4 region Sumbagsel. Mendapatkan Juara 1 Wirausaha Pemula Tingkat Fakultas MIPA 2024. Tidak hanya di tingkat Universitas, penulis juga terpilih untuk mengikuti kegiatan **Forest Youthverse Summit 2025** yang diselenggarakan oleh PUSGENRI Kementerian Kehutanan RI di KHDTK Sawala Mandapa, Majalengka, Jawa Barat. Pada akhir masa studi penulis berkolaborasi dengan Tim riset *Anopheles* sedang menyusun **Buku referensi Biolarvasida Vektor Malaria**.

Akhirnya, pada tahun 2026 penulis berhasil menyelesaikan skripsi dengan judul **“Efektivitas Jamur Entomopatogen *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin Sebagai Biolarvasida *Anopheles* sp. Vektor Malaria di Desa Hanura, Kabupaten Pesawaran, Lampung”**

MOTTO

“Janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah. Sesungguhnya tidak berputus asa dari rahmat Allah melainkan kaum yang kafir”
(QS. Yusuf (12): 87)

“Sebenarnya urusan-Nya apabila Dia menghendaki sesuatu, Dia hanya berkata kepadanya '**Jadilah!**' maka jadilah sesuatu itu ”
(QS. Yasin (36): 82)

“Dari desa aku belajar tentang kerja keras dan harapan, dengan ilmu, doa, dan ketekunan, aku membuktikan bahwa mimpi anak desa tak pernah mustahil untuk diwujudkan”
(Penulis)

“Mimpi-mimpi hanya bisa terwujud jika kita bersatu,
jika kita optimis dan jika kita percaya diri”
(Joko Widodo)

PERSEMBAHAN

"Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang"

Atas rahmat Allah SWT. dengan mengucapkan

Alhamdulillahirabbil alamin dan dengan segala kerendahan hati, aku persembahkan karya terbaikku ini kepada

Kedua orang tuaku,

Bapak Boimin (Alm) dan Ibu Surahmi tercinta yang telah menyayangi, merawat, mendidik, mengajarkan kebaikan, dan selalu mendoakan keberhasilanku dalam setiap sujud, sehingga putramu dapat menyelesaikan studi ini, serta mengucapkan terimakasih atas segala hal yang sudah diberikan dengan penuh keikhlasan.

Saudara dan sahabat yang telah memberikan perhatian serta support dalam segala hal dari awal perkuliahan hingga tercapainya gelar sarjana ini.

Dengan segala rasa hormat kepada Ibu Dr. Endah Setyaningrum, M.Biomed., Bapak Prof. Bambang Irawan, M.Sc. dan Ibu Dr. Nuning Nurcahyani, M.Sc. serta seluruh Dosen Pengajar yang telah membimbing dan mendidikku sampai menyelesaikan pendidikan Sarjana.

Taklupa untuk semua orang baik yang sudah saya jumpai selama masa perkuliahan, semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan kasihNya.

Almamater Tercinta Universitas Lampung

SANWACANA



Alhamdulillahirrobbil'alamiin. Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala nikmat yang telah menganugerahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam teruntuk Nabi Muhammad SAW, semoga kita termasuk umatnya yang mendapat syafa'at beliau di yaumul akhir kelak, aamiin yarabbal 'alamin.

Skripsi yang berjudul "**Efektivitas Jamur Entomopatogen *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin sebagai Biolarvasida *Anopheles* sp. Vektor Malaria di Desa Hanura, Kabupaten Pesawaran, Lampung**", merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Dalam pelaksanaan dan penulisan skripsi ini tidak lepas dari kesulitan dan rintangan, namun itu semua dapat penulis lalui berkat bantuan, bimbingan, saran dan dorongan semangat dari orang-orang yang telah hadir di kehidupan penulis, Jazakumullahu Khairan Katsiran Wa Jazakumullah Ahsanal Jaza, Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeila Afriani, D.E.A., IPM., selaku Rektor Universitas Lampung.

2. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Jani Master, M.Si. selaku ketua Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung.
4. Ibu Dr. Endah Setyaningrum, M.Biomed. selaku Pembimbing I yang telah memberikan segala ilmu, motivasi, arahan, serta bimbingan terbaiknya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi.
5. Bapak Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc. selaku pembimbing II yang telah memberikan saran, kesabaran, dan keikhlasan selama memberikan bimbingan penelitian.
6. Ibu Dr. Nuning Nurcahyani, M.Sc. selaku Pembahas dalam penelitian atas segala ilmu, masukan, dan nasihat yang telah diberikan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
7. Bapak Prof. Dr. G. Nugroho Susanto, M. Sc. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dari awal penulis belajar hingga menyelesaikan studi di Jurusan Biologi FMIPA Unila.
8. Ibu Dr. Kusuma Handayani, M. Si. selaku Ketua Program Studi Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung.
9. Bapak & Ibu dosen Jurusan Biologi FMIPA Unila atas segala ilmu, nasihat, arahan, motivasi, dan waktu yang telah diberikan selama penulis menempuh perkuliahan.
10. Keluarga besar Biologi angkatan 2022, kenangan yang sudah terbangun selama ini semoga kelak menjadi bagian cerita bahagia dalam kehidupan kita.
11. Keluarga besar di kampung halaman Lampung Tengah yang selalu mendukung dan mendoakanku selama perkuliahan.
12. Sahabat seperjuanganku Winarno, Muqtada, Doni, Fatah, Damar Dedi, Miko, Yahya, terima kasih atas dukungan dan bantuannya selama proses penelitian. Semoga Allah SWT. memberikan balasan kebaikan.

13. Rekan-rekan seperjuanganku kelas Biologi C angkatan 2022, terima kasih atas kebersamaannya selama kuliah di Biologi FMIPA. Semoga Allah SWT memberikan balasan kebaikan.
14. Rekan-rekan Tim Riset *Anopheles*, terimakasih atas kebersamaannya selama melakukan penelitian lapangan.
15. Almamater tercinta, Universitas Lampung. Terima kasih atas kesempatan untuk bisa menempuh studi di sini. Terima kasih atas pengalaman terbaik yang pernah dilalui. Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna. Namun penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna bagi rekan-rekan khususnya mahasiswa/i biologi serta pembaca pada umumnya.

Bandar Lampung, 11 Februari 2026

Penulis

Febrian Cahyadi

DAFTAR ISI

Halaman

SAMPUL DEPAN	i
ABSTRAK.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	ix
MOTTO.....	x
SANWACANA.....	xi
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	5
1.3 Manfaat Penelitian	5
1.3.1 Manfaat secara Teoritis.....	5
1.3.2 Manfaat secara Praktis.....	5
1.4 Kerangka Pemikiran.....	6
1.5 Hipotesis.....	8
II. TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Jamur <i>Metarhizium anisopliae</i>	9
2.1.1 Klasifikasi Jamur <i>Metarhizium anisopliae</i>	10
2.1.2 Morfologi Jamur <i>Metarhizium anisopliae</i>	10
2.1.3 Mekanisme Infeksi Jamur <i>Metarhizium anisopliae</i>	11
2.2 Nyamuk <i>Anopheles</i> sp.	13
2.2.1 Klasifikasi Nyamuk <i>Anopheles</i> sp.	13
2.2.2 Morfologi Nyamuk <i>Anopheles</i> sp.	13
2.2.3 Siklus Hidup Nyamuk <i>Anopheles</i> sp.	15
2.3 Penyakit Malaria	19
2.4 Biolarvasida.....	20
2.4.1 Larvasida Alami.....	21

2.4.2 Larvasida Sintetik	22
2.5 Analisis Probit	22
III. METODE PENELITIAN	24
3.1 Waktu dan Tempat	24
3.2 Alat dan Bahan	24
3.2.1 Alat.....	24
3.2.2 Bahan	25
3.3 Rancangan Penelitian	26
3.4 Prosedur Kerja.....	27
3.4.1 Pembuatan Media	27
3.4.2 Subkultur Jamur <i>Metarhizium anisopliae</i>	27
3.4.3 Pembuatan Suspensi Jamur <i>Metarhizium anisopliae</i>	27
3.4.4 Pemeliharaan larva instar III <i>Anopheles</i> sp.	28
3.4.5 Uji Larvasida.....	28
3.4.6 Analisis Data.....	29
3.4.7 Diagram Alir Penelitian.....	30
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Pengaruh Konsentrasi <i>Metarhizium anisopliae</i> terhadap Mortalitas Larva <i>Anopheles</i> sp.....	31
4.2 Nilai LC ₅₀ Suspensi <i>Metarhizium anisopliae</i> terhadap Larva <i>Anopheles</i> ...	34
4.3 Kerusakan Morfologi Larva Instar III <i>Anopheles</i> sp. akibat Paparan <i>Metarhizium anisopliae</i>	35
4.3.1 Mekanisme Kematian Larva <i>Anopheles</i> sp. oleh <i>M. anisopliae</i>	37
V. SIMPULAN DAN SARAN	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN	47

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Mortalitas Larva <i>Anopheles</i> sp. pada Berbagai Konsentrasi <i>Metarhizium anisopliae</i> 72 Jam Pengamatan.....	31
Tabel 2. Rerata kematian larva instar III <i>Anopheles</i> sp. pada uji larvasida suspensi konidia jamur <i>Metarhizium anisopliae</i> Setiap Kelompok Perlakuan (Mean $\pm$ SD)	33
Tabel 3. Hasil Uji Probit Biolarvasida jamur <i>Metarhizium anisopliae</i> terhadap <i>Anopheles</i> sp. Selama 72 Jam.....	35
Tabel 4. Data pengamatan uji larvasida pada waktu yang berbeda.....	47
Tabel 5. Uji Normalitas	47
Tabel 6. Uji Homogenitas.....	47
Tabel 7. Uji Analisis Varians Antar Subjek (<i>Between-Subjects Analysis of Variance</i>	48
Tabel 8. Hasil Analisis Probit setelah 72 jam perlakuan suspensi konidia <i>Metarhizium anisopliae</i> terhadap larva instar III <i>Anopheles</i> sp.....	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. <i>Metarhizium anisopliae</i>	11
Gambar 2. Morfologi Nyamuk Malaria.....	14
Gambar 3. Siklus Hidup Nyamuk <i>Anopheles</i> sp	15
Gambar 4. Telur <i>Anopheles</i> sp	16
Gambar 5. Larva <i>Anopheles</i> sp.....	17
Gambar 6. Pupa <i>Anopheles</i> sp	18
Gambar 7. Nyamuk <i>Anopheles</i> sp Betina.....	19
Gambar 8. Siklus Hidup Plasmodium pada Tubuh Manusia dan Nyamuk.....	20
Gambar 9. Diagram Penelitian	30
Gambar 10. Morfologi larva instar III <i>Anopheles</i> sp. setelah 72 jam	36
Gambar 11. Larva instar III <i>Anopheles</i> sp.....	37
Gambar 12. Morfologi Koloni <i>Metarhizium anisopliae</i>	49
Gambar 13. Pembuatan konsentrasi konidia <i>Metarhizium anisopliae</i>	50
Gambar 14. Pengamatan haemocytometer <i>Metarhizium anisopliae</i>	50
Gambar 15. Pengambilan Larva <i>Anopheles</i> sp. di Tambak terbengkalai.....	51
Gambar 16. Pengambilan Larva <i>Anopheles</i> sp. di bak tambak.....	51
Gambar 17. Aklimasi Larva <i>Anopheles</i> sp. di Baskom.....	52
Gambar 18. Seleksi Larva Instar III <i>Anopheles</i> sp.	52
Gambar 19. Larva Instar III <i>Anopheles</i> sp. di wadah uji.....	52
Gambar 20. Pemberian tiap konsentrasi Jamur <i>M. anisopliae</i> kewadah uji	53
Gambar 21. Larva Instar III <i>Anopheles</i> sp. yang mati.....	53
Gambar 22. Larva instar III <i>Anopheles</i> sp. yang mati ditanam di media PDA	54
Gambar 23. Setelah dinkubasi tumbuh jamur <i>Metarhizium anisopliae</i>	54
Gambar 24. Spora jamur <i>M. anisopliae</i> perbesaran 40 X	55

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Malaria adalah penyakit menular endemis di wilayah tropis, termasuk Indonesia, yang disebabkan *Plasmodium* sp. dan ditularkan oleh nyamuk *Anopheles* sp. Penggunaan insektisida kimia selama beberapa dekade cukup efektif, namun resistensi vektor, dampak lingkungan, dan risiko residu menjadi tantangan utama (WHO, 2024). Indonesia melaporkan 443.530 kasus malaria, dengan 89% berasal dari Papua. Rata-rata morbiditas nasional 3,91 per 1.000 penduduk, sementara Papua mencapai 113 per 1.000 (Kurniawan dkk., 2024). Risiko meningkat pada wilayah dengan sanitasi buruk, tidak memakai kelambu, aktivitas malam di luar rumah, dan kondisi hunian yang mendukung perkembangbiakan nyamuk. Malaria berdampak luas pada kesehatan, produktivitas, dan ekonomi masyarakat (Setiyabudi, 2016). Provinsi Lampung kasus malaria masih ada meski menurun. Data BPS mencatat insiden 0,060 per 1.000 penduduk pada 2021, sedikit di bawah angka nasional. Di Kabupaten Pesawaran, tercatat 700 kasus pada 2023, dengan Teluk Pandan sebagai wilayah tertinggi mencapai 461 kasus (BPS, 2023). Pola spasial tersebut menunjukkan endemisitas malaria lokal yang membutuhkan intervensi efektif dan tepat sasaran. Masalah

utamanya adalah meningkatnya resistensi larva *Anopheles* terhadap insektisida kimia serta terbatasnya alternatif yang terbukti ilmiah di Lampung. Karena itu, penelitian ini sangat mendesak untuk menemukan metode pengendalian vektor yang aman dan efisien. Berbagai pendekatan alternatif telah dikembangkan untuk mengendalikan populasi *Anopheles* sp., terutama untuk mengatasi resistensi insektisida, mengurangi pencemaran lingkungan, dan meminimalkan risiko bagi manusia maupun organisme non-target. Salah satu strategi umum adalah program 4M Plus, yaitu menguras, menutup, mengubur barang bekas, memantau jentik, dan mencegah gigitan nyamuk. Selain itu, kini mulai dikembangkan penggunaan bioinsektisida, yaitu pestisida alami yang ramah lingkungan, mudah terurai, dan tidak meninggalkan residu berbahaya. Bahan aktifnya biasanya berasal dari ekstrak tumbuhan, mikroba, atau jamur entomopatogen. Jamur entomopatogen telah lama digunakan di pertanian sebagai agen hayati, namun penerapannya untuk pengendalian nyamuk vektor seperti *Anopheles* sp. masih jarang dan belum dimanfaatkan optimal dalam kesehatan masyarakat (Indriyati dkk., 2019).

Desa Hanura di Kecamatan Teluk Pandan merupakan wilayah endemik malaria di Kabupaten Pesawaran. Berdasarkan SIPDeskel (2024), desa Hanura berada di kawasan pesisir dengan topografi bervariasi dari dataran rendah hingga perbukitan (10-500 mdpl). Ekosistem pesisir seperti tambak, rawa, dan bekas mangrove, serta area berbukit di bagian barat dan utara, menciptakan habitat potensial bagi *Anopheles* sp. Pesawaran sendiri termasuk daerah dengan kasus malaria tinggi akibat rendahnya pemahaman masyarakat dan belum optimalnya pengendalian vektor (Setyaningrum dkk., 2024).

Pengendalian vektor selama ini masih bergantung pada insektisida kimia seperti pyrethroid dan organofosfat melalui kelambu berinsektisida dan IRS. Namun, resistensi *Anopheles* terhadap pyrethroid telah menurunkan efektivitasnya, sehingga penggunaan insektisida karbamat yang lebih mahal diperlukan (Kafy *et al.*, 2017). Alternatif biologis seperti *Metarhizium anisopliae* menjadi solusi menjanjikan karena mampu menginfeksi serangga melalui kutikula, berkembang dalam tubuh inang, dan menghasilkan toksin destruktif tanpa meninggalkan residu kimia (Solichah dkk., 2022). Dengan karakter tersebut, jamur ini berpotensi besar sebagai biolarvasida ramah lingkungan untuk pengendalian *Anopheles* sp. vektor malaria.

Metarhizium anisopliae merupakan jamur entomopatogen yang banyak dimanfaatkan sebagai bioinsektisida karena memiliki spesifisitas inang yang sempit, aman bagi lingkungan, dan mudah diproduksi massal. Studi Yapa dkk. (2024) menunjukkan bahwa genus *Metarhizium* beradaptasi luas di berbagai habitat, serta telah dioptimalkan untuk pengendalian hama pertanian. Temuan ini memperkuat potensi *Metarhizium anisopliae* untuk mengendalikan vektor penyakit seperti *Anopheles* sp., yang masih didominasi penggunaan insektisida kimia.

Dalam penelitian ini, variabel utama terdiri dari penggunaan jamur *M. anisopliae* (variabel perlakuan) dan mortalitas *Anopheles* sp. (variabel respon). Efektivitas jamur diuji melalui pengukuran parameter LC_{50} (konsentrasi lethality 50%) dan persentase kematian larva. Kajian literatur menunjukkan konsistensi antara kematian vektor dan dosis spora jamur dalam berbagai studi laboratorium (Kurniawan dkk., 2021). Pendekatan ini menggabungkan aspek

biologis dan ekologis untuk mendapatkan pemahaman menyeluruh mengenai mekanisme kerja jamur dibandingkan larvasida kimia.

Pada tahun 2017, penelitian oleh Aryo dkk. mengeksplorasi isolat jamur entomopatogen *Metarhizium sp.* dari berbagai wilayah di Lampung, termasuk dari lokasi Tegineneng di Kabupaten Pesawaran. Isolat diisolasi dari larva Lepidoptera dan diinkubasi di media PDA dan beras untuk mendapatkan kultur murni. Meski penelitian ini tidak menguji efek terhadap *Anopheles*, namun membuka jalan bagi pemanfaatan isolat lokal *Metarhizium* sebagai agen pengendalian hayati.

Penelitian Novitasari *et al.* (2023) dari Universitas Gadjah Mada menguji efektivitas *Metarhizium anisopliae* terhadap larva *Aedes aegypti*, vektor demam berdarah. Meskipun berbeda spesies dengan fokus penelitian ini, studi tersebut tetap relevan karena menggunakan jamur yang sama sebagai agen biolarvasida. Pada konsentrasi tertinggi ($8,18 \times 10^5$ konidia/mL), jamur menyebabkan kematian larva 33,33% dalam tujuh hari, dengan nilai LC_{50} sebesar $1,98 \times 10^6$ konidia/mL, menunjukkan konsentrasi tersebut belum cukup untuk membunuh 50% larva.

Meskipun beberapa penelitian membuktikan efektivitas *M. anisopliae* pada *Anopheles gambiae* dan *Aedes aegypti*, hingga kini belum ada studi di Lampung yang menggunakan jamur ini pada wilayah endemis. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian ini menguji efektivitas spora jamur *M. anisopliae* terhadap larva *Anopheles sp.* di wilayah endemik.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh jamur *Metarhizium anisopliae* terhadap mortalitas larva *Anopheles* sp. pada berbagai konsentrasi.
2. Menentukan nilai LC_{50} (*lethal concentration 50%*) dari suspensi *M. anisopliae* terhadap larva *Anopheles* sp. dalam uji laboratorium.
3. Mengetahui kerusakan morfologi Larva Instar III *Anopheles* sp. yang disebabkan oleh jamur *Metarhizium anisopliae*.

1.3 Manfaat Penelitian

1.3.1 Manfaat secara Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang entomologi kesehatan dan bioteknologi lingkungan, khususnya mengenai potensi jamur entomopatogen sebagai biolarvasida. Hasil penelitian ini akan memperluas cakupan ilmiah penggunaan *Metarhizium anisopliae* sebagai agen pengendali hayati tidak hanya pada hama pertanian, tetapi juga pada vektor penyakit menular seperti *Anopheles* sp. Selain itu, studi ini dapat menjadi referensi bagi penelitian lanjutan tentang formulasi biolarvasida dan efektivitasnya dalam kondisi lingkungan tropis di Indonesia.

1.3.2 Manfaat secara Praktis

Secara praktis, penelitian ini dapat memberikan informasi dasar yang dapat digunakan oleh pemerintah daerah, dinas kesehatan, dan instansi terkait untuk mengembangkan metode pengendalian vektor malaria yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Aplikasi biolarvasida berbasis jamur entomopatogen berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap insektisida kimia yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan ekosistem. Selain itu,

hasil penelitian ini juga dapat digunakan oleh masyarakat di wilayah endemis sebagai strategi pengendalian nyamuk berbasis komunitas yang murah, efektif, dan mudah diaplikasikan.

1.4 Kerangka Pemikiran

Malaria masih menjadi salah satu masalah kesehatan masyarakat yang serius di berbagai daerah tropis dan subtropis, termasuk Indonesia. Penyakit ini disebabkan oleh parasit *Plasmodium* yang ditularkan melalui gigitan nyamuk *Anopheles* betina. Kabupaten Pesawaran, Lampung, merupakan wilayah endemik malaria, seperti Desa Hanura. Kondisi lingkungan yang mendukung, seperti banyaknya genangan air sebagai tempat berkembang biaknya larva *Anopheles*, serta masih kurangnya intervensi efektif di tingkat lokal, menyebabkan angka kasus malaria tetap menjadi perhatian. Pengendalian populasi vektor merupakan langkah strategis yang sangat penting untuk memutus rantai penularan malaria.

Upaya pengendalian nyamuk *Anopheles* selama ini didominasi oleh penggunaan insektisida kimia sintetis. Meskipun efektif dalam jangka pendek, penggunaan terus-menerus insektisida ini telah menyebabkan munculnya resistensi pada populasi nyamuk, pencemaran lingkungan, serta dampak toksik terhadap organisme non-target termasuk manusia. Kondisi ini mendorong perlunya pendekatan alternatif yang lebih berkelanjutan, efektif, dan aman secara ekologis. Salah satu pendekatan yang berkembang adalah dengan penggunaan agen pengendali hayati, atau biolarvasida, berbasis mikroorganisme. Bioinsektisida dari kelompok jamur entomopatogen menjadi fokus karena sifatnya yang selektif, *biodegradable*, dan relatif aman terhadap lingkungan.

Salah satu jenis jamur entomopatogen yang potensial adalah *Metarhizium anisopliae*. Jamur ini telah lama digunakan di bidang pertanian untuk mengendalikan serangga hama tanaman, dan kini mulai dieksplorasi dalam bidang kesehatan masyarakat sebagai agen pengendali vektor penyakit. *M. anisopliae* bekerja dengan menempel pada kutikula serangga, kemudian menginfeksi tubuh inangnya melalui penetrasi spora, menghasilkan enzim dan toksin seperti destruxin yang menyebabkan kerusakan jaringan dan kematian serangga. Potensi jamur ini sebagai biolarvasida terhadap larva nyamuk telah ditunjukkan dalam berbagai penelitian, meskipun sebagian besar masih berfokus pada vektor demam berdarah (*Aedes aegypti*), bukan *Anopheles* sp.

Penelitian ini difokuskan untuk mengkaji efektivitas *Metarhizium anisopliae* terhadap larva nyamuk *Anopheles* sp. sebagai bentuk upaya pengendalian biologis vektor malaria. Fokus penelitian diarahkan untuk mengetahui seberapa besar tingkat mortalitas larva *Anopheles* sp. pada berbagai konsentrasi konidia jamur, serta menentukan nilai LC_{50} (konsentrasi letal 50%) secara kuantitatif. Dengan pendekatan eksperimen laboratorium, penelitian ini diharapkan dapat menguji hubungan antara variabel konsentrasi konidia dan tingkat kematian larva nyamuk secara sistematis dan terukur.

Kerangka konseptual dari penelitian ini mengacu pada teori pengendalian biologis (*biological control theory*), yaitu pemanfaatan musuh alami untuk mengendalikan populasi organisme target. Dalam hal ini, jamur *M. anisopliae* berperan sebagai agen patogen terhadap larva nyamuk *Anopheles* sp. Teori toksikologi juga digunakan untuk mendasari hubungan antara dosis (konsentrasi konidia) dan respon biologis (mortalitas larva). Dengan memanfaatkan analisis Probit,

hubungan antara peningkatan konsentrasi dan persentase kematian larva dapat dianalisis untuk menentukan efektivitas dan potensi jamur ini dalam program pengendalian vektor di wilayah endemis seperti Desa Hanura.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah dalam pengembangan bioinsektisida lokal berbasis *M. anisopliae* yang efektif untuk menekan populasi *Anopheles* sp. Penelitian ini bukan hanya bertujuan menjawab pertanyaan ilmiah, tetapi juga memberikan solusi nyata yang dapat diterapkan di lapangan sebagai bagian dari strategi pengendalian malaria yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Dengan demikian, keseluruhan proses penelitian mulai dari pemilihan agen hayati, desain perlakuan, hingga analisis data dibangun dalam satu alur logis yang terhubung secara teori dan empiris, menjawab langsung rumusan masalah yang telah ditetapkan.

1.5 Hipotesis

Pemberian jamur entomopatogen *Metarhizium anisopliae* meningkatkan mortalitas larva instar III *Anopheles* sp.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jamur *Metarhizium anisopliae*

Jamur *Metarhizium anisopliae* merupakan satu dari diantara jamur yang bersifat entomopatogen. *Metarhizium anisopliae* menjadi salah satu agen pengendali hayati yang mampu menginfeksi serta menimbulkan penyakit pada serangga hama (Trizelia *et al.*, 2011). *Metarhizium anisopliae* umumnya ditemukan di tanah di berbagai wilayah di dunia. Jamur ini dapat menginfeksi serangga melalui spora (konidia) yang menempel lalu menembus kutikula tubuh serangga, berkembang di dalam tubuh hingga menyebabkan kematian, sering disertai produksi toksin destruktif. Saat ini, *M. anisopliae* banyak diteliti sebagai alternatif pengendalian vektor nyamuk malaria, termasuk *Anopheles* (Kurniawan dkk., 2021). Menurut penelitian Kurniawan dkk., (2021) menguji efektivitas dari jamur *Metarhizium anisopliae* terhadap larva *Aedes aegypti* dan menunjukkan bahwa konsentrasi minimal jamur *Metarhizium anisopliae* terhadap tingkat kematian larva minimal 50% (LC₅₀) di laboratorium dan di lapangan adalah sebesar 10⁻¹ artinya, jamur ini cukup efektif dalam kondisi laboratorium.

Prinsip mekanisme jamur ini serupa di semua jenis serangga, yaitu konidia menempel, kemudian tumbuh, menembus tubuh, jamur berkembang biak di dalam tubuh, menghasilkan toksin destruktif dan

terakhir menyebabkan kematian. Dengan kata lain, *M. anisopliae* membunuh larva serangga melalui proses infeksi biologis, bukan melalui toksisitas kimia langsung (Novitasari *et al.*, 2023).

2.1.1 Klasifikasi Jamur *Metarhizium anisopliae*

Klasifikasi *Metarhizium anisopliae* dalam sistematika jamur, menurut Alexopoulos dkk., (1996) adalah sebagai berikut :

Kingdom : Fungi

Divisi : Amastigomycotina

Class : Deuteromycetes

Ordo : Moniliales

Famili : Moniliaceae

Genus : *Metarhizium*

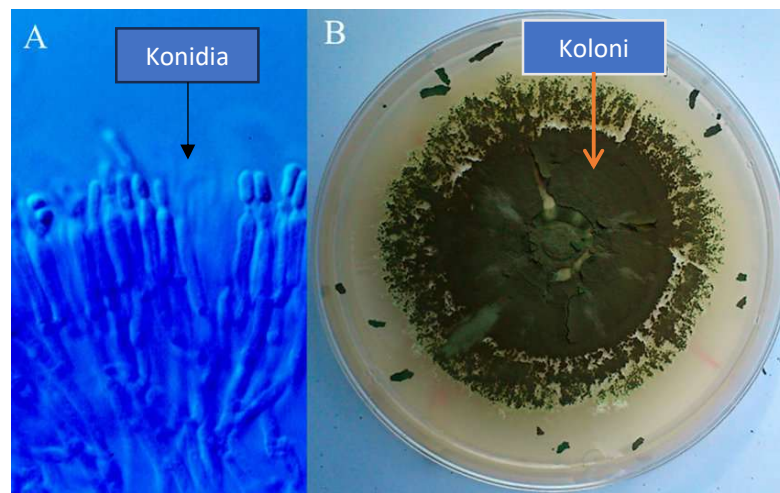
Spesies : *Metarhizium anisopliae*

2.1.2 Morfologi Jamur *Metarhizium anisopliae*

Jamur *Metarhizium anisopliae* merupakan salah satu entomopatogen dari kelompok Deuteromycota yang dikenal luas sebagai agen hayati dalam pengendalian serangga. Pada fase awal pertumbuhannya, koloni jamur *Metarhizium anisopliae* tampak berwarna putih. Namun seiring berjalannya waktu, warna koloni berubah menjadi hijau tua. Struktur miseliumnya memiliki sekat (septat), dengan konidiofor yang tumbuh secara tegak, berlapis, dan bercabang, serta dipenuhi oleh konidia. Spora jamur ini mulai berkecambah pada tingkat kelembapan sekitar 90%. Tingkat infeksi (patogenisitas) meningkat seiring dengan bertambahnya kelembapan udara. Sebaliknya, jika kelembapan menurun hingga mencapai 86%, patogenisitas jamur akan mengalami penurunan (Pracaya, 2004). Konidiofor menghasilkan rangkaian konidia

(spora aseksual) yang membentuk rantai. Konidia berbentuk oval atau silindris, berwarna hijau, halus, dan berdinding tipis.

Diameter konidia berkisar antara 2-5 μm dan tersusun padat, yang merupakan ciri khas identifikasi visual *M. anisopliae*. Jamur ini berkembang secara aseksual melalui pembentukan konidia dan dapat menginfeksi inang serangga dengan menembus kutikula melalui kontak langsung (Solichah dkk., 2022). Warna koloni konidia *M. anisopliae* berubah menjadi hijau tua (Gambar 1).



Gambar 1. *Metarhizium anisopliae* A. Konidia; B. Koloni (Mendoza *et al.*, 2018).

2.1.3 Mekanisme Infeksi Jamur *Metarhizium anisopliae*

Mekanisme infeksi jamur *Metarhizium anisopliae* terhadap larva *Anopheles* sp. dapat melalui beberapa jalur, seperti kontak langsung dengan kutikula dan infeksi melalui spirakel posterior. Jamur ini berkembang secara aseksual melalui pembentukan konidia dan dapat menginfeksi inang serangga dengan menembus kutikula melalui kontak langsung (Solichah dkk., 2022). Menurut penelitian Miranda *et al* (2024) menjelaskan bahwa *Metarhizium*

menggunakan enzim hidrolitik (seperti kitinase, protease) dan tekanan mekanis untuk menembus kutikula serangga, diikuti oleh pertumbuhan di dalam hemocoel, dan akhirnya muncul kembali ke luar tubuh inang untuk sporulasi.

Mekanisme selanjutnya, konidia yang terlarut dalam akuades masuk ke spirakel posterior larva yang berada di permukaan air dan bisa menjadi titik masuk bagi konidia jamur saat larva mengambil oksigen. Konidia yang mencapai saluran pernapasan kemudian berkecambah membentuk hifa. Hifa tersebut memanfaatkan nutrisi dalam saluran pernapasan larva untuk pertumbuhan hingga berkembang menjadi miselium, yang selanjutnya menyumbat saluran pernapasan larva. Hambatan pada saluran pernapasan mengakibatkan pasokan oksigen terhenti dan proses metabolisme larva terganggu, sehingga produksi energi berupa ATP menurun. Kekurangan energi tersebut mengakibatkan aktivitas fisiologis larva menurun hingga akhirnya menyebabkan kematian. Setelah larva mati, hifa *M. anisopliae* keluar melalui spirakel, tumbuh menjadi miselium (Prayitno dan Wahyuni, 2016).

2.2 Nyamuk *Anopheles* sp.

Nyamuk *Anopheles* merupakan salah satu jenis serangga penyebar penyakit malaria yang hingga kini masih menjadi ancaman serius bagi kesehatan masyarakat dunia. Dari total sekitar 537 spesies *Anopheles* yang diketahui tersebar di berbagai belahan dunia, hanya sekitar 30 spesies yang berperan penting sebagai vektor malaria, karena memiliki preferensi menghisap darah manusia guna menunjang proses pematangan telur. Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki keanekaragaman spesies yang tinggi, dengan sekitar 80 spesies *Anopheles* tercatat di wilayahnya, dan 26 di antaranya berpotensi menjadi pembawa parasit penyebab malaria (Lempang dkk., 2023).

2.2.1 Klasifikasi Nyamuk *Anopheles* sp.

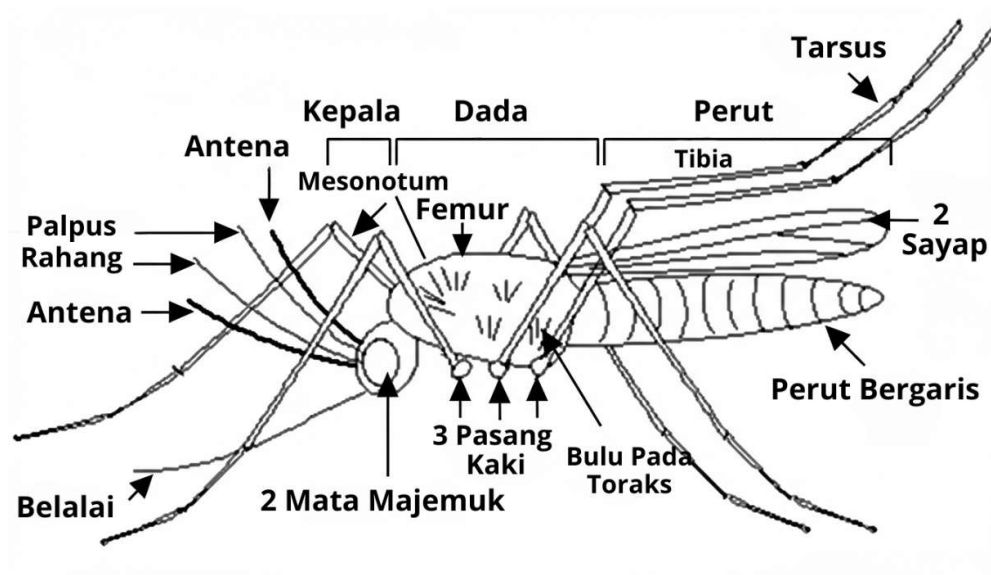
Adapun klasifikasi nyamuk *Anopheles* sp. menurut Borror dkk., (1992) sebagai berikut :

Kingdom : Animal
 Phylum : Arthropoda
 Class : Hexapoda
 Ordo : Diptera
 Famili : Culicidae
 Subfamili : Anopheline
 Genus : *Anopheles*
 Spesies : *Anopheles* sp.

2.2.2 Morfologi Nyamuk *Anopheles* sp.

Nyamuk *Anopheles* sp. dewasa memiliki tubuh yang tersusun dalam tiga segmen utama yaitu kepala, thoraks, dan abdomen yang ditutupi sisik halus memudahkan identifikasi spesies. Menurut Supriyono dkk (2022), kepala *Anopheles aconitus* dilengkapi proboscis panjang dan

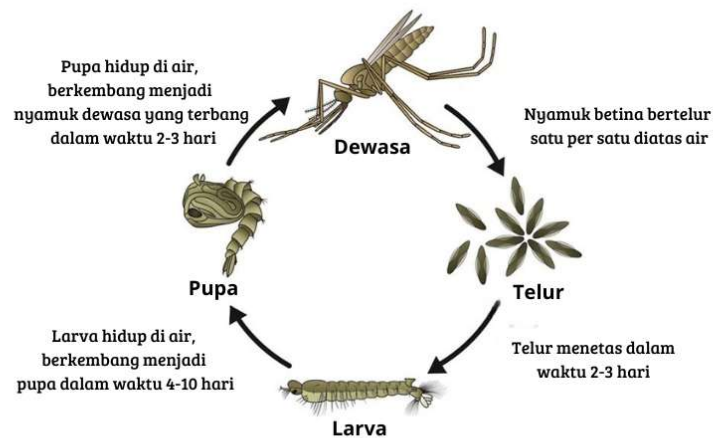
maxillary palpus yang panjangnya hampir menyamai proboscis, suatu karakter diagnostik khas genus ini. Antena terdiri dari 13 segmen, dilapisi sensilla berupa microtrichia dan sensilla trichodea (dengan variasi ujung tajam dan tumpul), yang terdistribusi pada antena, proboscis, dan palpus. Thoraks memegang sepasang sayap dan tiga pasang kaki, sayap *Anopheles* sering ditandai pola sisik gelap dan terang. Scutellum umumnya berbentuk unilobed dan diselubungi sisik serta bulu halus. Kaki ramping, dengan tarsomeres yang dibatasi pita-pita sisik warna terang dan gelap, menjadi ciri tambahan dalam morfologi eksternal. Abdomen berbentuk silindris, bersegmen, biasanya sembilan segmen yang jelas terlihat dan dapat mengembang signifikan setelah pengisapan darah. Abdomen dilapisi sisik, dan pada beberapa spesies memiliki tufts atau bulu lateral yang mencolok. Posisi istirahat dewasa *Anopheles* unik yaitu bersudut 30-45° terhadap permukaan, berbeda dengan nyamuk *Culicinae* yang sejajar. Morfologi nyamuk *Anopheles* sp. dewasa (Gambar 2).



Gambar 2. Morfologi Nyamuk *Anopheles* sp.

2.2.3 Siklus Hidup Nyamuk *Anopheles* sp.

Anopheles sp. mengalami metamorphosis sempurna dalam siklus hidupnya yaitu telur, larva, pupa dan dewasa (Gambar 3). Telur *Anopheles* diletakkan satu per satu di permukaan air, kadang saling menempel di ujungnya. Telurnya berukuran sekitar 0,44 mm dan memiliki sepasang sayap pengapung di sisi panjangnya. Seekor nyamuk betina dapat menghasilkan 2 hingga 168 butir telur, rata-rata sekitar 91 butir, dan menetas dalam waktu 48 jam. Larva *Anopheles* mengapung sejajar permukaan air dan memiliki ciri khas seperti spirakel di bagian belakang abdomen, lempeng tergal di punggung, dan bulu palma di sisi perut. Berbeda dari jenis nyamuk lain, larva ini tidak memiliki siphon. Pupa berbentuk seperti koma, dengan kepala dan dada menyatu membentuk cephalotorax serta abdomen yang melengkung ke bawah. Untuk bernapas, pupa muncul ke permukaan menggunakan sepasang corong napas (*respiratory trumpets*). Setelah beberapa hari, nyamuk dewasa keluar melalui celah di cephalotorax (Dalilah dkk., 2023).

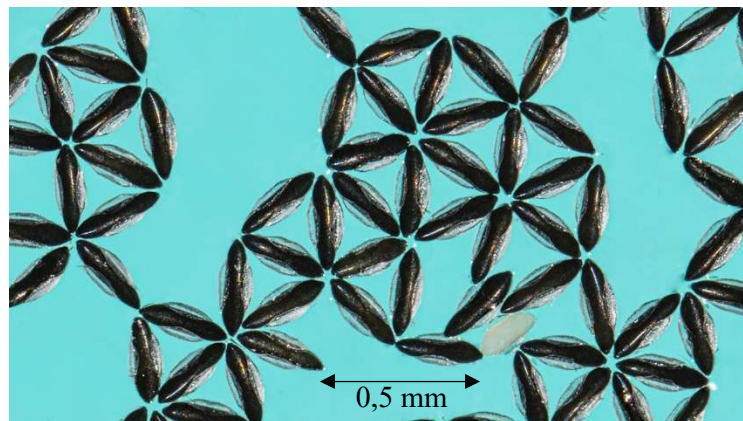


Gambar 3. Siklus Hidup Nyamuk *Anopheles* sp. (CDC, 2024).

Menurut Salim dkk., (2018) siklus hidup nyamuk *Anopheles* sebagai berikut:

1. Telur

Nyamuk biasanya meletakkan telurnya di atas permukaan air, baik secara tunggal maupun berkelompok. Jenis nyamuk seperti *Culex* akan menempatkan telur secara bergerombol menyerupai rakit, sementara *Anopheles* dan *Aedes* cenderung meletakkan telurnya satu per satu. Telur dari *Aedes* sp. dan *Culex* sp. mampu bertahan lama dalam kondisi kering karena dapat mengalami fase dormansi. Namun, jika terdapat air yang cukup, telur biasanya akan menetas dalam waktu 2-3 hari setelah diletakkan. Telur nyamuk *Anopheles* yang unik mengapung di permukaan air (Gambar 4).

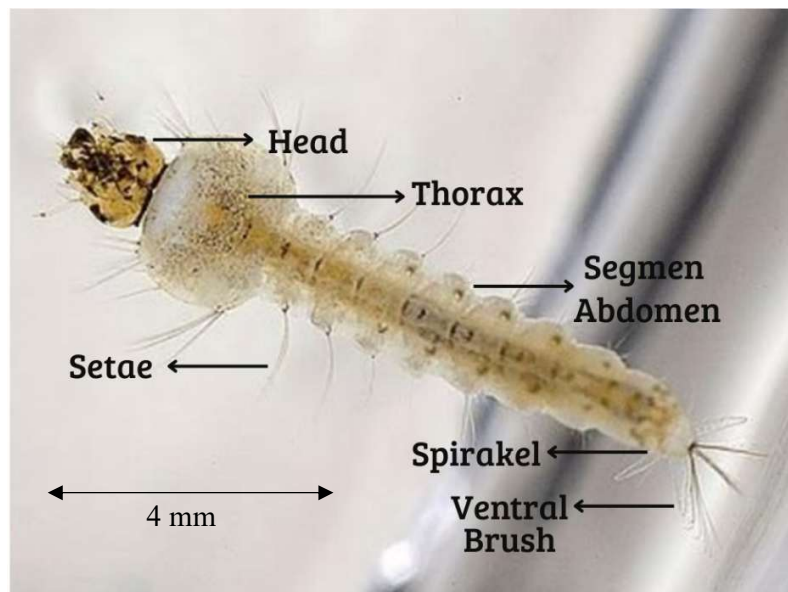


Gambar 4. Telur *Anopheles* sp. (CDC, 2024).

2. Larva

Telur nyamuk akan menetas menjadi larva dengan morfologi meliputi kepala, toraks, dan abdomen yang jelas. Larva umumnya berada di permukaan air, *Culex* dan *Aedes* menggantung dengan siphon untuk bernapas, sedangkan *Anopheles* tidak memiliki siphon dan berbaring sejajar di permukaan air. Fase larva berlangsung sekitar satu minggu dan dipengaruhi suhu, kualitas air, ketersediaan

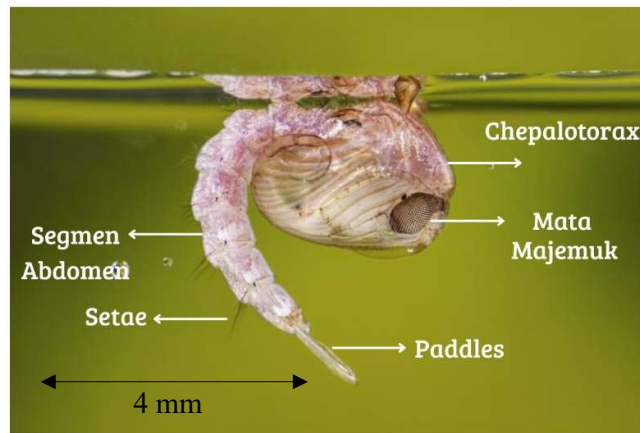
makanan, serta predator. Larva memakan mikroorganisme, berganti kulit hingga empat kali, dan berhenti makan menjelang fase pupa. Dalam penelitian ini menggunakan larva *Anopheles* sp. instar III (Gambar 5) ciri-ciri larva instar III memiliki ukuran sekitar 4-5 mm, tubuhnya langsing, posisinya sejajar permukaan air karena tidak punya sifon pernapasan, punya sikat mulut untuk makan, dan memiliki struktur khas seperti seta palmata (bulu halus bercabang) di lateral abdomen dan lempeng tergal di punggung abdomen untuk menempel di permukaan air dan bernapas melalui spirakel posterior. Selain itu instar III memiliki aktivitas makan tinggi dan kutikula yang cukup berkembang untuk memungkinkan infeksi optimal oleh jamur entomopatogen. Tahap ini dinilai paling responsif terhadap paparan biolarvasida sebelum transisi ke fase pupa, serta sampel penelitian yang menjadi standar dari WHO (Nurhaifah dan Sukesi, 2015).



Gambar 5. Larva *Anopheles* sp. instar III (CDC, 2024).

3. Pupa

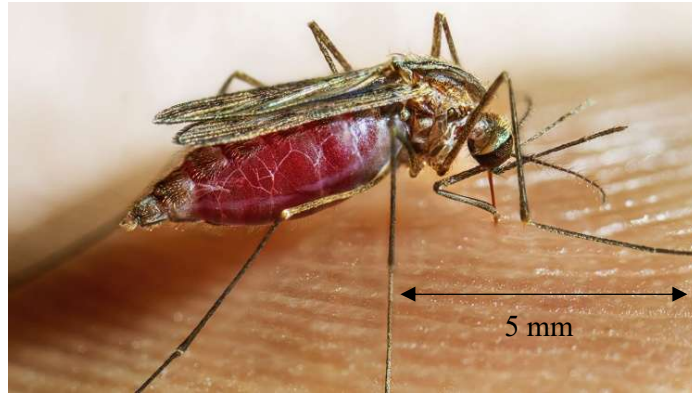
Setelah larva ganti kulit ke empat, selanjutnya masuk ke tahap pupa. Bentuk pupa lebih pendek dan membulat, serta tidak banyak bergerak, kecuali jika terganggu oleh faktor eksternal seperti pemangsa. Pupa akan tetap mengapung di dekat permukaan air (Gambar 6). Jika dalam 2-3 hari perkembangan berlangsung lancar, kulit pupa akan pecah dan nyamuk dewasa akan muncul.



Gambar 6. Pupa *Anopheles* sp. (CDC, 2024).

4. Dewasa

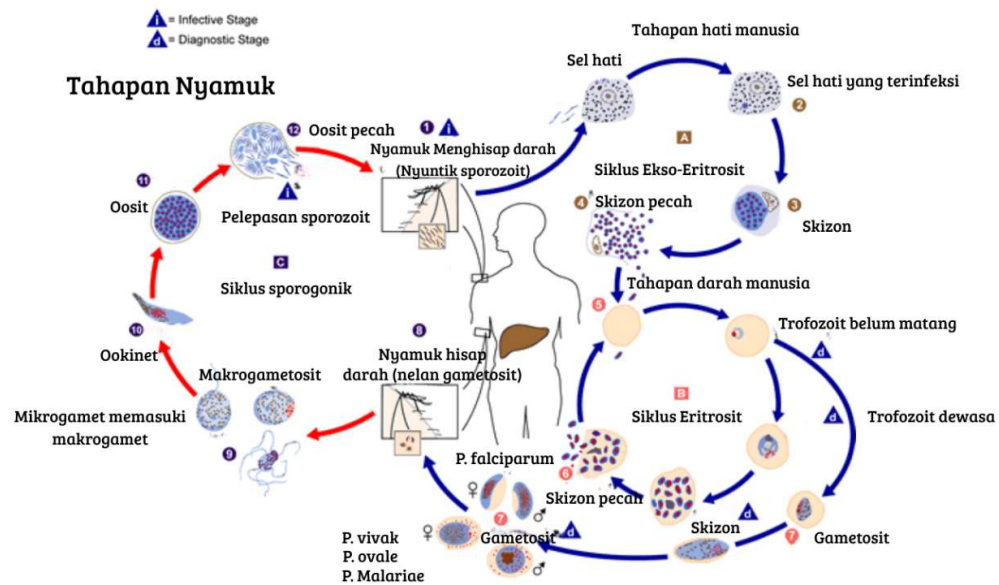
Nyamuk dewasa keluar dari pupa dan istirahat sejenak di atas air untuk mengeringkan tubuh dan mengembangkan sayap. Nyamuk betina yang telah matang akan mulai terbang dan siap mencari makan. *Culex* dan *Aedes* biasanya bertelur dalam posisi vertikal atau condong ke atas, sedangkan *Anopheles* bertelur dalam posisi horizontal. Perbedaan antara jantan dan betina mulai terlihat setelah nyamuk mencapai tahap dewasa sepenuhnya. Nyamuk *Anopheles* betina dewasa menggigit manusia dan hewan, biasanya pada sore atau malam hari. Nyamuk betina membutuhkan darah untuk menghasilkan telur (Gambar 7).



Gambar 7. Nyamuk dewasa *Anopheles* sp. betina (CDC, 2024)

2.3 Penyakit Malaria

Malaria merupakan penyakit infeksi yang disebabkan oleh parasit plasmodium yang hidup di dalam eritrosit atau jaringan tubuh. Jenis protozoa dari genus *Plasmodium* yang paling sering menginfeksi manusia meliputi *P. falciparum*, *P. vivax*, *P. malariae*, dan *P. ovale*, yang penularannya terjadi melalui gigitan nyamuk dari spesies *Anopheles*. Malaria disebabkan oleh lima spesies Plasmodium, yaitu *Plasmodium falciparum*, *Plasmodium vivax*, *Plasmodium malariae*, *Plasmodium ovale*, dan *Plasmodium knowlesi*. Kelima spesies ini menunjukkan gejala klinis malaria yang berbeda, tergantung dari jenis Plasmodiumnya. Plasmodium dapat menginfeksi manusia dan nyamuk (Gambar 8). Gejala yang ditimbulkan bisa sangat bervariasi dan tergantung pada kondisi kesehatan individu serta respon sistem imun tubuh terhadap infeksi. Pada beberapa kasus, seseorang dapat mengalami infeksi campuran (*mixed infection*), yaitu ketika lebih dari satu jenis plasmodium menginfeksi tubuh secara bersamaan. Infeksi seperti ini menyebabkan gejala yang lebih kompleks dan sulit ditangani dibandingkan infeksi oleh satu jenis plasmodium (Setyaningrum, 2024).



Gambar 8. Siklus hidup Plasmodium pada tubuh manusia dan nyamuk (CDC, 2024).

2.4 Biolarvasida

Pengendalian nyamuk vektor malaria menggunakan biolarvasida efektif karena mampu menargetkan larva di habitat perairan secara spesifik tanpa mencemari lingkungan dan tidak menyebabkan resistensi seperti insektisida kimia. Menurut Marcellia dkk (2024) 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. Larvasida secara khusus dirancang untuk membunuh larva serangga, terutama nyamuk, sebelum mereka berkembang menjadi dewasa. Secara praktis, larvasida diterapkan melalui berbagai bentuk, seperti pelet, granul, cairan, bahkan tablet. Produk biologis seperti *mosquito dunks* mengandung Bti dan mudah digunakan oleh masyarakat atas genangan air di lingkungan rumah. Selain itu, larvasida merupakan komponen

penting dalam strategi *Larval Source Management* untuk mengendalikan malaria, terutama di area dengan habitat nyamuk yang mudah ditemukan, seperti kota dengan banyak penampungan air dan musim kemarau (Runge *et al.*, 2021). Efektivitas larvasida sangat tergantung pada pemilihan jenis larvasida yang sesuai dengan jenis nyamuk dan kondisi lingkungan, serta disiplin dalam penerapannya sesuai pedoman WHO. Dengan kontrol pada tahapan larva, larvasida membantu menurunkan populasi nyamuk dewasa dan risiko penularan penyakit seperti malaria secara signifikan.

2.4.1 Larvasida Alami

Larvasida alami atau insektisida nabati merupakan senyawa pengendali hama yang berasal dari bahan-bahan alami dan agen hayati lainnya yang bersifat ramah lingkungan. Jenis larvasida ini biasanya mengandung senyawa aktif seperti alkaloid, flavonoid, saponin, tanin, atau terpenoid dan senyawa toksin lainnya yang bersifat toksik terhadap serangga sasaran, tetapi aman bagi manusia dan organisme non-target lainnya (Saputri dkk., 2021).

Salah satu agen hayati yang berpotensi dalam pengendalian larva nyamuk adalah jamur entomopatogen *Metarhizium anisopliae*. Jamur ini memiliki kemampuan menginfeksi larva serangga dengan menembus kutikula dan menghasilkan toksin yang menyebabkan kematian. Dengan karakteristiknya tersebut, *Metarhizium anisopliae* dianggap sebagai alternatif larvasida alami yang efektif dalam upaya pengendalian populasi nyamuk vektor penyakit seperti *Anopheles* sp. (Kurniawan dkk., 2021).

2.4.2 Larvasida Sintetik

Penggunaan larvasida dapat dilakukan melalui dua pendekatan, yakni dengan insektisida sintetis maupun insektisida berbahan nabati. Insektisida sintetis masih menjadi pilihan umum masyarakat dalam mengatasi vektor penyakit seperti Demam Berdarah Dengue (DBD) dan Malaria. Salah satu bentuk larvasida sintetis yang lazim digunakan adalah abate, atau yang dikenal dengan nama zat aktif temephos. Abate bekerja pada fase larva serangga dan biasa digunakan dalam bentuk butiran pasir (sand granules). Dosis yang disarankan adalah 1 bagian per sejuta (1 ppm), setara dengan 1 gram untuk setiap 10 liter air (Utami dan Porusia, 2023). Insektisida sintetis sering dipilih karena harganya terjangkau, penggunaannya efektif, serta mudah dan praktis diaplikasikan. Meski demikian, penggunaan secara terus-menerus dapat memicu berbagai dampak negatif, seperti kematian organisme non-target, pencemaran lingkungan, serta munculnya resistensi pada larva nyamuk (Koneri dan Pontororing, 2016).

2.5 Analisis Probit

Analisis regresi probit merupakan analisis yang digunakan untuk meneliti hubungan variabel dependen yang bersifat kualitatif dan variabel-variabel independen yang bersifat kualitatif maupun kuantitatif. Model probit adalah model non-linier yang digunakan untuk melihat hubungan antara satu variabel dependen dengan beberapa variabel independen ketika variabel dependennya berbentuk data dikotomis bernilai 0 atau 1 (Anggreni dkk., 2021). Analisis data dilakukan berdasarkan jumlah kematian larva yang diamati dalam kurun waktu tertentu, serta melalui perhitungan nilai LC_{50} (*lethal concentration 50%*) menggunakan metode analisis probit yang dijalankan melalui perangkat

lunak *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS). SPSS merupakan salah satu alat bantu analisis statistik yang banyak digunakan untuk menentukan nilai ambang toksik (LC_{50}), yaitu konsentrasi zat yang menyebabkan kematian pada 50% populasi organisme uji. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Finney pada tahun 1971 dan hingga kini menjadi standar dalam studi toksikologi. Secara umum, analisis probit digunakan untuk mengevaluasi tingkat toksisitas suatu senyawa terhadap organisme hidup, dengan mengamati respon biologis (kematian) pada berbagai tingkat konsentrasi zat yang diuji. Proses analisis ini melibatkan transformasi data mortalitas menjadi nilai probit, yang kemudian diplot terhadap logaritma konsentrasi untuk memperoleh hubungan linier. Grafik yang dihasilkan dari regresi linier ini digunakan untuk menentukan titik konsentrasi yang dapat menyebabkan kematian 50% individu uji, yaitu dengan menarik garis horizontal dari nilai probit 5,0 (setara dengan 50% mortalitas) hingga memotong kurva, lalu menurunkannya ke sumbu konsentrasi (Jelita dkk., 2020).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September sampai November 2025. Pengambilan sampel larva instar III *Anopheles* sp. di Desa Hanura, Kabupaten Pesawaran. Persiapan isolasi dan pembuatan konsentrasi sampel jamur *Metarhizium anispoliae* dilaksanakan di Laboratorium Botani, Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Lampung. Pengujian larvasida dilaksanakan di Laboratorium Zoologi, Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

1. Pembuatan Media

Alat yang digunakan untuk membuat media pertumbuhan jamur adalah gelas beaker, neraca analitik, sendok, gelas ukur, erlenmeyer 250 mL, *hot plate*, lemari pendingin, dan autoklaf.

2. Subkultur Jamur *Metarhizium anispoliae*

Alat yang digunakan untuk subkultur jamur *Metarhizium anispoliae* adalah ose lancip, bunsen, cawan petri, inkubator, dan *laminar air flow*.

3. Pembuatan Suspensi Jamur *Metarhizium anispoliae*

Alat yang digunakan adalah spatula steril, kasa steril, botol vial, mikropiprt, tip, vortek dan *haemocytometer*.

4. Pemeliharaan Larva Instar III *Anopheles* sp.

Alat yang digunakan untuk pemeliharaan larva adalah gayung, nampan plastik, baskom, pipet tetes dan cawan petri.

5. Uji Larvasida

Alat yang digunakan untuk uji larvasida adalah cawan petri ukuran 90 mm, pipet tetes, dan mikroskop digital.

3.2.2 Bahan

1. Pembuatan Media

Bahan yang digunakan untuk membuat media pertumbuhan jamur adalah, media *Potato Dextrose Agar* (PDA) dan akuades.

2. Subkultur Jamur *Metarhizium anisopliae*

Bahan yang digunakan untuk subkultur adalah jamur *Metarhizium anisopliae*, media *Potato Dextrose Agar* (PDA), alkohol 70% kertas tisu dan plastik *wrap*.

3. Pembuatan Suspensi Jamur *Metarhizium anisopliae*

Bahan yang digunakan adalah campuran aquades steril

4. Pemeliharaan Larva Instar III *Anopheles* sp.

Bahan yang digunakan untuk pemeliharaan larva adalah nampan, aquades, pakan larva pelet ikan.

5. Uji Larvasida

Bahan yang digunakan untuk uji larvasida adalah larva instar III *Anopheles* sp, suspensi jamur *Metarhizium anisopliae*, dan air.

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis eksperimen laboratorium. Rancangan penelitian menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang dilakukan dengan 7 perlakuan, yaitu 6 variasi hasil pengenceran konidia jamur dan 1 kontrol negatif, yang masing-masing diulang sebanyak tiga kali dengan 10 ekor larva instar III per ulangan. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah konsentrasi suspensi *Metarhizium anisopliae*, sedangkan variabel terikatnya adalah tingkat mortalitas larva *Anopheles* sp.

Larva yang digunakan sebagai larva uji adalah larva instar III, adapun perlakuan adalah sebagai berikut:

P1: Kontrol Negatif (Aquades)

P2: Konsentrasi *M. anisopliae* pengenceran 10^{-1}

P3: Konsentrasi *M. anisopliae* pengenceran 10^{-2}

P4: Konsentrasi *M. anisopliae* pengenceran 10^{-3}

P5: Konsentrasi *M. anisopliae* pengenceran 10^{-4}

P6: Konsentrasi *M. anisopliae* pengenceran 10^{-5}

P7: Konsentrasi *M. anisopliae* pengenceran 10^{-6}

3.4 Prosedur Kerja

3.4.1 Pembuatan Media

Media PDA digunakan sebagai media pertumbuhan jamur *Metarhizium anisopliae*, dibuat dengan memasukkan 19,5 g PDA bubuk ke dalam gelas beaker yang berisi 500 ml akuades. Media dihomogenkan dan dipanaskan menggunakan *hot plate* dan *stirrer*. Setelah homogen media dimasukkan ke erlenmeyer 500 ml, ditutup aluminium foil dan di sterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit (Novitasari dkk., 2023).

3.4.2 Subkultur Jamur *Metarhizium anisopliae*

Isolat *Metarhizium anisopliae* berasal dari *marketplace* online. Isolat jamur *Metarhizium anisopliae* disubkultur dengan menggunakan metode titik (*spot inoculation*) pada cawan petri. Metode titik (*spot inoculation*) digunakan untuk melihat jamur tumbuh menyebar (radial) membentuk miselium, mempertahankan kemurnian dan vigor. Media PDA dituang sebanyak 20 ml ke dalam cawan petri. Setelah media padat, diambil masing-masing 1 ose isolat *Metarhizium anisopliae*. Kemudian di titikan isolat pada permukaan media. Setelah selesai, cawan petri dilapisi dengan plastic *wrap* dan dibungkus dengan kertas. Inkubasi pada suhu 25–28 °C selama 7-10 hari hingga terbentuk koloni penuh spora berwarna hijau tua (Novitasari dkk., 2023).

3.4.3 Pembuatan Suspensi Jamur *Metarhizium anisopliae*

Pembuatan suspensi jamur dilakukan setelah masa inkubasi selama 7-10 hari, dengan memanen konidia dari permukaan koloni *Metarhizium anisopliae* yang telah tumbuh sempurna. Proses panen dilakukan dengan cara mengikis permukaan media kultur menggunakan spatula steril atau goyang perlahan untuk melepaskan, kemudian ditambahkan larutan steril berupa aquades sebagai media pelarut. Untuk memisahkan konidia dari fragmen hifa dan kotoran lain, suspensi disaring

menggunakan kain kasa steril hingga diperoleh suspensi konidia murni (larutan stok). Suspensi yang diperoleh selanjutnya dipindahkan ke dalam tabung vial berukuran 15 mL, dan dilakukan pengenceran bertingkat dengan seri konsentrasi 10^{-1} hingga 10^{-6} . Konsentrasi konidia dihitung menggunakan *haemocytometer* di bawah mikroskop cahaya, dengan perhitungan kerapatan rata-rata dilakukan berdasarkan jumlah konidia yang teramati dalam ruang hitung.

Jumlah konidia/mL = $n \times 10^4$ dengan n adalah jumlah rata-rata konidia dari empat kotak hitung (Novitasari dkk., 2023).

3.4.4 Pemeliharaan larva instar III *Anopheles* sp.

Larva instar III diambil dari tambak di Desa Hanura. Sebelum perlakuan larva *Anopheles* sp. di aklimatisasi selama 3 jam (Murphy *et al.*, 2021). Larva dipelihara dalam nampan ukuran sedang berisi air payau yang berasal dari tambak dan diberi pakan pelet secukupnya (Novitasari dkk., 2023). Kondisi inkubasi dijaga pada suhu 25-28 °C. Setelah 3 jam aklimatisasi, larva sudah bisa dipindahkan ke wadah uji.

3.4.5 Uji Larvasida

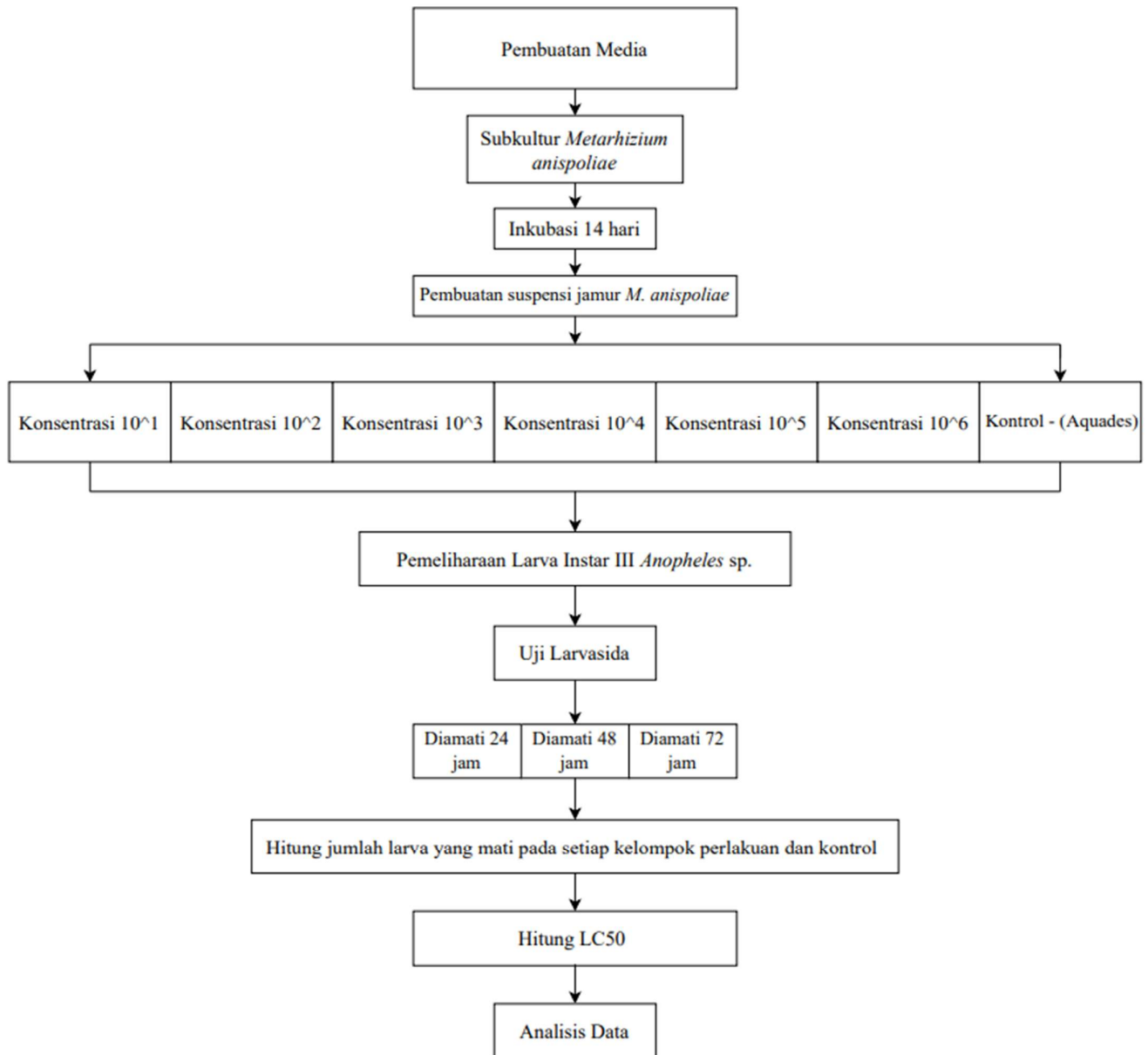
Uji larvasida dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas suspensi konidia jamur *Metarhizium anisopliae* terhadap larva instar III *Anopheles* sp. yang telah dipelihara yang terdiri dari tujuh perlakuan konsentrasi suspensi konidia dan satu kontrol negatif. Dalam penelitian ini, rasio antara jumlah larva dan volume akuades yang digunakan adalah 1:2, yaitu dengan menempatkan 10 ekor larva ke dalam 20 mL akuades. Rasio tersebut digunakan sebagai standar dalam uji bioassay (Novitasari dkk., 2023). Pengujian dilakukan dengan menambahkan 2 mL suspensi konidia *Metarhizium anisopliae* menggunakan pipet tetes dari masing-masing konsentrasi pengenceran (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6}) dan satu kontrol (akuades tanpa konidia) kedalam cawan

petri ukuran 9 mm berisi larva instar III. Larva diamati setiap 12, 24, 48 dan 72 jam untuk dihitung jumlah larva yang mati.

3.4.6 Analisis Data

Data berupa jumlah larva *Anopheles* sp yang mati dianalisis dengan probit untuk mengetahui efektivitas menghitung nilai LC_{50} (*lethal concentration* 50%). Untuk mengetahui perbedaan jumlah larva yang mati pada tiap konsentrasi *Metarhizium anisopliae* dianalisis menggunakan ANOVA. Bila antar perlakuan ada perbedaan signifikan jumlah larva yang mati, maka dilanjutkan ke uji Tukey.

3.4.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 9. Diagram Alir Penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, maka dapat disimpulkan:

1. Jamur *Metarhizium anisopliae* terbukti memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap mortalitas larva *Anopheles* sp. pada berbagai tingkat konsentrasi.
2. Berdasarkan analisis probit, nilai LC_{50} suspensi *Metarhizium anisopliae* terhadap larva *Anopheles* sp. berada pada konsentrasi 10^5 spora/mL, yang menunjukkan bahwa konsentrasi tersebut efektif mampu menyebabkan kematian 50% populasi larva dalam kondisi uji laboratorium.
3. Jamur *Metarhizium anisopliae* menyebabkan kerusakan morfologi pada larva instar III *Anopheles* sp. secara sistemik (hemolimfa, pencernaan dan pernapasan).

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini konsentrasi hanya sampai 10^6 , perlu dilakukan uji lanjutan untuk ditingkatkan konsentrasinya sekitar 10^{11} agar mencapai mortalitas 100% dan perlu ditentukan formulasi biolarvasida yang efektif diaplikasikan di habitat alami *Anopheles* sp.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggreni, Y., Kusnandar, D. & Martha. 2021. Analisis Faktor Yang Mempengaruhi Masa Studi Mahasiswa FMIPA UNTAN Menggunakan Model Probit. *Buletin Ilmiah Mat. Stat. dan Terapannya (Bimaster)*. 10(2): 251-256.
- Aryo, K., Purnomo, Wibowo, L. & Aeny, T.N. 2017. Virulensi beberapa isolat *Metarhizium anisopliae* terhadap ulat grayak (*Spodoptera litura* F.) di laboratorium. *Jurnal Agrotek Tropika* 5(2): 96-101.
- Alexopoulos, C. & Mims, C., 1996. *Introductory Mycology*. 4th ed. John Wiley & Sons, Inc, Canada.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung. 2021. *Kejadian Malaria di Lampung*. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTM5MyMy/kejadian-malaria-per-1000-orang.html>
- Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung. 2023. *Jumlah Kasus Malaria di Kabupaten Pesawaran*. <https://pesawarankab.bps.go.id/id/statistics-table/2/MzA0IzI=/jumlah-kasus-malaria-di-kabupaten-pesawaran.html>
- Borror, D. J., C. A. Triplehorn & N. F. Johnson. 1992. *Pengenalan Pelajaran Serangga*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Brunner-Mendoza, C., Reyes-Montes, M. D., Moonjely, S., Bidochka, M. J., & Toriello, C. 2018. A review on the genus *Metarhizium* as an entomopathogenic microbial biocontrol agent with emphasis on its use and utility in Mexico. *Biocontrol Science and Technology*. 29(1): 83-102.
- Bukhari, T., Middelmann, 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): 1-15.

- Center Of Disease Control and Prevention. 2024. Siklus Hidup Nyamuk *Anopheles*. <https://www.cdc.gov/mosquitoes/about/life-cycle-of-anopheles-mosquitoes.html>
- Center Of Disease Control and Prevention. 2024. Siklus Hidup Plasmodium pada Manusia dan Nyamuk *Anopheles* <https://www.cdc.gov/dpdx/malaria/index.html>
- Dalilah., Anwar, C., Saleh, I., & syafuruddin, D. 2023. *Buku Monograf Aspek Morfologi Bionomik dan Molekuler Nyamuk Kompleks Anopheles dan Anopheles vagus*. Bening Media Publishing. Palembang.
- Indriyati, L., Salamiah, Fatah, L., Suhartono, E., Ridha, M. R., Fadily, A., Paisal, & Andiarsa, D. (2019). Aplikasi IJEN (Infeksi Jamur Entomopatogen pada Nyamuk) : Jamur *M. anisopliae* pada Nyamuk *A. aegypti*. *Jurnal Vektor Penyakit*. 13(1): 33 - 48.
- Jelita, S.F., Gita, W.S., Michelle, F., Ade, Z., & Sandra, M. 2020. Uji toksisitas infusa *Acalypha siamensis* Dengan metode Brine Shrimp Lethality Test (BSLT). *Farmaka*. 18(1): 14-22.
- 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): 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): 1-15.
- Kementerian Kesehatan republik Indonesia. 2024. *Kasus Malaria di Indonesia*. Kementerian Kesehatan RI. Jakarta.
- Kim, H. (2014). Analysis of variance (ANOVA) comparing means of more than two groups. *Restorative Dentistry & Endodontics*. 39(1): 74.
- Koneri, R. & Pontororing, H. H. 2016. Uji Ekstrak Biji Mahoni (*Swietenia macrophylla*) terhadap Larva *Aedes aegypti* Vektor Penyakit Demam Berdarah. *Media Kesehatan Masyarakat Indonesia The Indonesian Journal of Public Health*. 12(4): 216-223.

- 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): 64-73.
- Lempang, M. E., Permana, D. H., Asih, P. B., Wangsamuda, S., Dewayanti, F. K., Rozi, I. E., Syahrani, L., Setiadi, W., Malaka, R., Muslimin, L., & Syafruddin, D. 2023. Diversity of *Anopheles* sp. species and zoonotic malaria vector of the Buton Utara wildlife sanctuary, Southeast Sulawesi, Indonesia. *Malaria Journal*. 22(1): 1-10.
- 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(1): 1-13.
- 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): 2444-2453.
- Mendoza, C., Reyes-Montes, M. D., Moonjely, S., Bidochka, M. J., & Toriello, C. 2018. A review on the genus *Metarhizium* as an entomopathogenic microbial biocontrol agent with emphasis on its use and utility in Mexico. *Biocontrol Science and Technology*. 29(1): 83-102.
- Miranda, R. P., Soares, T. K., Castro, D. P., & Genta, F. A. 2024. General aspects, host interaction, and application of *Metarhizium* 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 Larvicide Efficacy. <https://innovationtoimpact.org/wp-content/uploads/2018/10/Field-Evaluation-of-Microbial-Mosquito-Larvicide-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): 1-7.
- Nurhaifah, D., & Sukesu, T. W. 2015. Efektivitas air Perasan Kulit Jeruk manis sebagai Larvasida Nyamuk *Aedes aegypti*. *Kesmas: National Public Health Journal*. 9(3): 207-212.

- Pracaya. 2004. *Hama dan Penyakit Tanaman*. Penebar Swadaya. Bogor.
- 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): 17-22.
- Ray Wilson, Bird and Wildlife. 2014. Larva of *Anopheles gambiae*.
https://www.raywilsonbirdphotography.co.uk/Galleries/Invertebrates/vectors/Anopholine_mosquitoes.html
- 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): 1260-1270.
- Runge, M., Mapua, S., Nambunga, I., Smith, T. A., Chitnis, N., Okumu, F., & Pothin, E. 2021. Evaluation of different deployment strategies for larviciding to control malaria: a simulation study. *Malaria Journal*. 20(1): 1-14.
- Salaki, C. L., Wungouw, H., & Makal, H. V. (2021). Efektivitas Biolarvasida serai Wangi *Cymbopogon nardus* Dengan Daun Cengkeh *Syzygium aromaticum* L. Terhadap larva *Aedes aegypti*. *JURNAL ILMIAH SAINS*. 21(2): 124-129.
- Salim, L., Oktavian, A., Kawulur, H. S. I., Sandy, S., Ayomi, I., Widiyanti, M., Krismawati, H., Hutapea, H. M. L., Sueb, M. S., Maladan, Y., Sasto, I. H. S., Pardi, M. R., Wike, I., Fauziah, W., Fitriana, E., Karapa, O., Lewier, J., & Sulaiman, M. 2018. *Peta Anopheles di Provinsi Papua, Papua Barat dan Maluku*. Balai Penelitian dan Pengembangan Kesehatan Papua, Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Saputri, G. A., Marcellia, S., & Eldianta, D. O. 2022. Uji Larvasida Ekstrak Etanol batang Pepaya (*Carica papaya* L.) Terhadap larva *Aedes aegypti*. *Jurnal Ilmu Kedokteran dan Kesehatan*. 8(4): 398-405.
- Sentosa, I. G., & Kurniawan, R. A. (2024). Malaria *Falciparum* in pregnancy: A case series from an endemic area. *Jurnal Kedokteran Brawijaya*. 33(1): 65-69.
- Setyabudi, R. 2016. Systematic review faktor risiko malaria sebagai salah satu penyakit menular di Indonesia. *MEDISAINS*. 14(1): 1-14.
- Setyaningrum, E., Kanedi, M., Marcellia, S., Mumtazah, D. F., Santoso, B., Aslina, E., Masherni, E., & Septiani, L. 2024. Pelatihan pengendalian vektor malaria bagi kader malaria di Desa Hanura

- Kecamatan Teluk Pandan Kabupaten Pesawaran. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Ruwa Jurai (JPM Ruwa Jurai)*. 9(1): 100-103.
- Sharma, R., & Sharma, P. 2021. Fungal entomopathogens: A systematic. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 31(1): 1-13.
- Sistem Informasi Pemerintah Desa Kelurahan Hanura. 2024. *Topografi Desa Hanura, Teluk Pandan*. <https://hanura-telukpandan.metadesa.id/pages/articles/artikel.aspx?id=5473>.
- Solichah, C., Poerwanto, M. E., & Wicaksono, D. 2021. *Jamur Metarhizium Sebagai Agen Hayati Pengendalian hama Tanaman*. LPPM UPN Veteran. Yogyakarta.
- Sousa, N. A., Rodrigues, J., Luz, C., dan Humber, R. A. (2022). Exposure of newly deposited *Aedes aegypti* eggs to *Metarhizium humeri* and fungal development on the eggs. *SSRN Electronic Journal*. 184. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4314514>
- Supriyono, S., Soviana, S., Novianto, D., Musyaffa, M. F., Tan, S., & Hadi, U. K. 2022. Morphological characteristic of malaria vector *Anopheles aconitus* (Family: Culicidae) revealed by advanced light and scanning electron microscope. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 23(7): 3546-3552.
- 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): 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): 168-189.
- World Health Organization. 2024. *World Malaria Report 2024*. <https://www.who.int/teams/global-malaria-programme/reports/world-malaria-report-2024>
- Wulandari, E., Hariani, N., & Dharma, B. (2018). Efektifitas Produk Tepung Jamur *Beauveria bassiana* sebagai Larvasida Alami Larva Nyamuk *Aedes aegypti* Linnaeus, 1762. *Jurnal ILMU DASAR*. 19(1): 45-50.
- Yapa, A. T., Thambugala, K. M., Samarakoon, M. C., & De Silva, N. 2024. *Metarhizium* species as bioinsecticides: Potential, progress, applications & future perspectives. *New Zealand Journal of Botany*. 63(2-3): 439-461.
- 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): 24-29. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2021.04.008>