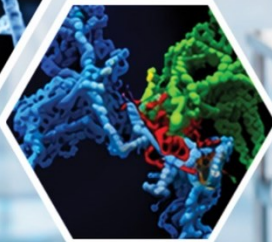


Dr. Drs. Rizal Subahar, M.Biomed.

KEM
INDONESIA

ENTOMOLOGI MOLEKULER

Untuk Biomedik



Editor :

Prof. Dr. Fadilah, S.Si., M.Si.



ENTOMOLOGI MOLEKULER *untuk* **BIOMEDIK**

Dr. Drs. Rizal Subahar, M.Biomed.



PENERBIT KBM INDONESIA adalah penerbit dengan misi memudahkan proses penerbitan buku buku penulis di tanah air Indonesia. Serta menjadi media sharing proses penerbitan buku.

ENTOMOLOGI MOLEKULER UNTUK BIOMEDIK

Copyright @2026 By Dr. Drs. Rizal Subahar, M.Biomed.

All right reserved

Penulis

Dr. Drs. Rizal Subahar, M.Biomed.

Desain Sampul

Eca Art

Tata Letak

Sofitahm

Editor

Prof. Dr. Fadilah, S.Si., M.Si.

Background isi buku di ambil dari <https://www.freepik.com/>

Official

Depok, Sleman-Jogjakarta (Kantor)

Penerbit Karya Bakti Makmur (KBM) Indonesia

Anggota IKAPI/No. IKAPI 279/JTI/2021

081357517526 (Tlpn/WA)

Website

<https://penerbitkbm.com>

www.penerbitbukumurah.com

Email

naskah@penerbitkbm.com

Distributor

<https://penerbitkbm.com/toko-buku/>

Youtube

Penerbit KBM Sastrabook

Instagram

[@penerbit.kbmindonesia](https://www.instagram.com/penerbit.kbmindonesia)

[@penerbitbukujogja](https://www.instagram.com/penerbitbukujogja)

ISBN: 978-634-278-332-0

Cetakan ke-1, April 2026

15,5 x 23 cm, vi + 142 halaman

Isi buku diluar tanggungjawab penerbit
Hak cipta merek KBM Indonesia sudah terdaftar di DJKI-Kemenkumham
dan isi buku dilindungi undang-undang.
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa seizin penerbit karena beresiko sengketa hukum

**Sanksi Pelanggaran Pasal 113
Undang-Undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta**

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga buku Entomologi Molekuler untuk Biomedik ini dapat diselesaikan dengan baik.

Buku ini disusun sebagai respons terhadap pesatnya perkembangan ilmu biologi molekuler yang telah memberikan kontribusi signifikan dalam berbagai bidang ilmu, khususnya dalam kajian biomedik. Integrasi antara biologi molekuler dan entomologi menjadi semakin penting, terutama dalam memahami peran serangga sebagai vektor penyakit, mekanisme molekuler resistensi, serta potensi pengembangan strategi pengendalian berbasis pendekatan molekuler.

Melalui buku ini, penulis berupaya menyajikan konsep-konsep dasar biologi molekuler yang relevan dengan bidang entomologi biomedik secara sistematis dan komprehensif. Materi yang disajikan didukung oleh referensi ilmiah terkini serta dilengkapi dengan gambar dan tabel untuk mempermudah pemahaman pembaca terhadap konsep-konsep yang dibahas.

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada para ilmuwan di bidang biologi molekuler dan entomologi yang karya-karyanya menjadi rujukan dalam penyusunan buku ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi dalam proses penyelesaian buku ini.

Penulis berharap buku ini dapat memberikan manfaat sebagai sumber referensi bagi masyarakat luas di Indonesia, serta

bagi mahasiswa, peneliti, dan praktisi di bidang kedokteran, biologi, dan entomologi biomedik.

Jakarta, 1 April 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii

Bab 1

PENDAHULUAN	1
Latar Belakang	1
1.1. Fondasi Kuno Entomologi	2
1.2. Taksonomi dan Mikroskop	3
1.3. Darwin dan Teori Evolusi	4
1.4. Kemajuan Abad ke-20	5
1.5. Penelitian Kontemporer	6
1.6. Perkembangan Entomologi Molekuler	7
1.7. Entomologi Forensik dan Bidang Tambahan	9
1.8. Ringkasan Perkembangan Entomologi	11
1.9. Penutup	12

Bab 2

DASAR-DASAR MOLEKULER PADA SERANGGA	15
2.1. Serangga	15
2.2. Struktur Genetik Serangga	19
2.3. Deoxyribonucleic Acid (DNA)	20
2.4. Ribonucleic Acid (RNA)	23
2.5. Protein	26
2.6. DNA Spesifik pada Serangga	28
2.7. Gen-Gen Penting pada Serangga Vektor	30
2.8. Interaksi Serangga-Patogen: Virus, Bakteri, Protozoa, dan Cacing	33

Bab **3**

TEKNIK MOLEKULER DASAR DALAM ENTOMOLOGI ---- 41

- 3.1. Teknik Laboratorium Molekuler ----- 41
- 3.2. Pengambilan dan Preparasi Sampel ----- 45
- 3.3. Ekstraksi DNA dari Serangga ----- 49
- 3.4. Prinsip Dasar Ekstraksi DNA Serangga ----- 52
- 3.5. Teknik Identifikasi Molekular Entomologi ----- 53
- 3.6. Prinsip Dasar ----- 54
- 3.7. Real-Time PCR untuk Deteksi Patogen pada Vektor ----- 56
- 3.8. DNA Barcoding dan Analisis Filogenetik ----- 58
- 3.9. Prinsip Dasar DNA Barcoding dan Analisis
Filogenetik ----- 59

Bab **4**

APLIKASI ENTOMOLOGI MOLEKUEL R DALAM

BIOMEDIK ----- 65

- 4.1. Identifikasi Spesies Vektor ----- 66
- 4.2. Deteksi Patogen pada Vektor ----- 71
- 4.3. Teknik Molekuler untuk Diagnosis Dini ----- 75
- 4.4. Studi Resistensi Insektisida dalam Entomologi
Molekuler ----- 79
- 4.5. Populasi Genetik dan Epidemiologi Molekuler ----- 84
- 4.6. Migrasi, Distribusi, dan Hubungan dengan Penyebaran
Penyakit ----- 89

Bab **5**

BIOINFORMATIKA DALAM ENTOMOLOGI

MOLEKULER ----- 99

- 5.1. Database DNA Serangga dalam Entomologi
Molekuler ----- 99
- 5.2. Analisis Filogenetik untuk Studi Evolusi Vektor ----- 105
- 5.3. Software Bioinformatika dalam Entomologi
Molekuler ----- 111

Bab 6

STUDI KASUS ENTOMOLOGI MOLEKUEL	121
6.1. Studi Molekuler Vektor Malaria di Asia Tenggara	122
6.2. Resistensi <i>Ae. aegypti</i> terhadap Insektisida di Indonesia	124
6.3. Deteksi Dini Virus Dengue dalam Nyamuk	125
6.4. Ringkasan Poin Praktis untuk Pemerintah Daerah dan Laboratorium	127

Bab 7

PROSPEK DAN TANTANGAN ENTOMOLOGI MOLEKULER	131
7.1. Aplikasi CRISPR/Cas9 pada Penelitian Serangga Vektor	132
7.2. Gene Drive untuk Pengendalian Nyamuk Malaria	133
7.3. Tantangan Etis dan Regulasi Penelitian Molekuler	134
7.4. Integrasi Teknologi Molekuler dengan Pendekatan Lain	136
7.5. Tantangan Teknis dan Infrastruktur	136
7.6. Prospek Masa Depan	136
7.7. Ringkasan Prospek dan Tantangan	137
PROFIL PENULIS	139



Bab

1

PENDAHULUAN

LATAR BELAKANG

Entomologi merupakan cabang ilmu biologi yang mempelajari serangga secara komprehensif, meliputi aspek morfologi, fisiologi, perilaku, ekologi, serta peranannya bagi manusia dan lingkungan. Serangga merupakan kelompok organisme paling dominan di bumi, mencakup lebih dari 75% spesies hewan yang telah dideskripsikan. Dominasi tersebut menjadikan serangga memiliki peran ekologis dan epidemiologis yang sangat penting, termasuk sebagai vektor berbagai penyakit seperti malaria, dengue, filariasis, dan penyakit arbovirus lainnya (Gullan & Cranston, 2020; Hiebert & Johnson, 2022).

Secara etimologis, istilah *entomologi* berasal dari bahasa Yunani *éntomon* yang berarti “hewan bersegmen”, merujuk pada tubuh serangga yang tersusun atas ruas-ruas. Dengan demikian, entomologi dapat dipahami sebagai cabang zoologi yang secara khusus mempelajari serangga, mulai dari struktur tubuh hingga peran ekologisnya, baik sebagai hama, vektor penyakit, maupun agen pengendali hayati.

Meskipun istilah entomologi baru digunakan secara formal pada awal abad ke-19, ketertarikan manusia terhadap serangga telah muncul sejak zaman kuno. Perkembangan ilmu ini menunjukkan transformasi dari pendekatan deskriptif menuju pendekatan ilmiah modern yang semakin kompleks dan aplikatif, terutama dalam bidang kesehatan, pertanian, dan lingkungan (Hiebert & Johnson, 2022).

Secara historis, kajian ilmiah tentang serangga telah dimulai sejak zaman Yunani kuno. Aristoteles merupakan salah satu tokoh awal yang mendokumentasikan kehidupan serangga, termasuk proses metamorfosis dan klasifikasi sederhana. Pada abad ke-17, penggunaan mikroskop oleh ilmuwan seperti Jan Swammerdam dan Marcello Malpighi membuka wawasan baru tentang anatomi serangga secara lebih rinci. Selanjutnya, sistem klasifikasi biologis modern dikembangkan oleh Carl Linnaeus melalui sistem binomial nomenklatur, yang hingga kini masih menjadi dasar dalam taksonomi (Kumar *et al.*, 2018).

Perkembangan entomologi semakin diperkaya oleh teori evolusi melalui seleksi alam yang dikemukakan oleh Charles Darwin. Teori ini menjelaskan bagaimana organisme, termasuk serangga, beradaptasi dengan lingkungannya melalui proses evolusi, yang kemudian menjadi dasar dalam memahami fenomena seperti mimikri, adaptasi perilaku, dan dinamika populasi (Ellegren, 2016).

1.1. FONDASI KUNO ENTOMOLOGI

Meskipun asal-usul entomologi pada masa kuno belum sepenuhnya bersifat ilmiah, serangga telah memainkan peran penting dalam berbagai peradaban awal, seperti Mesir dan Yunani. Dalam peradaban Mesir kuno, kumbang scarab (*Scarabaeus sacer*) memiliki makna simbolis yang mendalam, diasosiasikan dengan

dewa Khepri yang melambangkan penciptaan, kelahiran kembali, dan siklus matahari. Representasi scarab banyak ditemukan dalam bentuk jimat, segel, dan perhiasan sebagai simbol transformasi dan perlindungan (Ikram, 2018; Wilkinson, 2017).

Sementara itu, bangsa Yunani mulai mengembangkan pendekatan yang lebih sistematis terhadap pengamatan serangga. Aristotle merupakan salah satu tokoh awal yang mendokumentasikan kehidupan serangga secara deskriptif, termasuk proses metamorfosis dari larva hingga dewasa. Ia juga melakukan klasifikasi sederhana serta mengkaji anatomi, perilaku, dan habitat serangga. Karya-karya Aristoteles memberikan fondasi awal bagi perkembangan entomologi sebagai disiplin ilmiah yang lebih terstruktur di masa selanjutnya (Grimaldi & Engel, 2018; Smith, 2016)

1.2. TAKSONOMI DAN MIKROSKOP

Pada abad ke-17, perkembangan mikroskop membuka peluang baru dalam kajian anatomi serangga. Ilmuwan seperti Marcello Malpighi memanfaatkan mikroskop untuk mengamati struktur internal serangga secara rinci, termasuk sistem trakea (pernapasan) dan organ reproduksi. Temuan-temuan tersebut memberikan kontribusi penting terhadap pemahaman morfologi dan fisiologi serangga, yang kemudian menjadi dasar bagi perkembangan entomologi modern (Chapman, 2018; Gullan & Cranston, 2020).

Berdasarkan kemajuan tersebut, Carl Linnaeus mengembangkan sistem klasifikasi biologis pada abad ke-18 melalui penerapan sistem binomial nomenklatur. Sistem ini menggunakan dua nama ilmiah untuk setiap spesies, yaitu genus dan spesies. Sebagai contoh, kupu-kupu raja dikenal sebagai *Danaus plexippus*, di mana *Danaus* menunjukkan genus dan *plexippus* menunjukkan spesies.

Sistem penamaan ini memungkinkan para ilmuwan mengidentifikasi, membedakan, dan mengelompokkan organisme secara konsisten dan universal (Kumar *et al.*, 2018).

Kerangka kerja taksonomi yang dikembangkan oleh Linnaeus memungkinkan pengelompokan spesies berdasarkan kesamaan karakter morfologis dan hubungan kekerabatan. Meskipun sistem ini telah mengalami berbagai penyempurnaan dengan integrasi data molekuler dan filogenetik modern, prinsip dasar binomial nomenklatur tetap menjadi fondasi utama dalam klasifikasi biologi kontemporer (Gullan & Cranston, 2020; Hiebert & Johnson, 2022).

1.3. DARWIN DAN TEORI EVOLUSI

Abad ke-19 menandai periode penting dalam perkembangan entomologi, terutama melalui kontribusi Charles Darwin dengan teori evolusi melalui seleksi alam. Prinsip seleksi alam menyatakan bahwa organisme yang memiliki kemampuan adaptasi terbaik terhadap lingkungannya akan memiliki peluang lebih besar untuk bertahan hidup dan bereproduksi, sehingga sifat-sifat yang menguntungkan akan diwariskan kepada generasi berikutnya (Ellegren, 2016; Futuyma & Kirkpatrick, 2017).

Dalam konteks entomologi, teori ini memberikan landasan untuk memahami berbagai bentuk adaptasi pada serangga, termasuk fenomena mimikri. Mimikri merupakan kemampuan suatu spesies untuk meniru penampilan spesies lain, baik yang beracun maupun tidak disukai predator, sehingga memberikan keuntungan evolusioner berupa perlindungan dari predasi. Contohnya, beberapa spesies serangga tidak berbahaya dapat menyerupai spesies beracun untuk menghindari serangan predator. Adaptasi ini menunjukkan bagaimana tekanan seleksi lingkungan dapat membentuk karakter morfologi dan perilaku serangga secara evolusioner (Ruxton *et al.*, 2018; Sherratt, 2017).

Dengan demikian, teori evolusi Darwin tidak hanya menjelaskan keanekaragaman hayati serangga, tetapi juga menjadi dasar dalam memahami dinamika adaptasi, interaksi ekologis, dan proses spesiasi dalam entomologi modern.

1.4. KEMAJUAN ABAD KE-20

Pada abad ke-20, para ilmuwan dan ahli entomologi mengembangkan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai evolusi serangga melalui integrasi dua kerangka teori utama, yaitu prinsip seleksi alam dari Charles Darwin dan genetika pewarisan sifat dari Gregor Mendel. Hukum pewarisan Mendel menjelaskan bahwa sifat-sifat organisme, seperti warna mata atau pola sayap pada serangga, diturunkan dari induk ke keturunannya melalui unit genetik yang terorganisasi dalam DNA (Futuyma & Kirkpatrick, 2017).

Integrasi kedua teori tersebut melahirkan konsep *modern synthesis* atau sintesis modern evolusi pada pertengahan abad ke-20. Kerangka ini menjelaskan bahwa evolusi terjadi melalui perubahan frekuensi gen dalam populasi dari waktu ke waktu akibat seleksi alam, mutasi, rekombinasi genetik, dan migrasi. Pendekatan ini memberikan dasar kuat bagi pemahaman mekanisme evolusi pada tingkat populasi dan molekuler (Korneliussen *et al.*, 2019; Ellegren, 2016).

Dalam konteks entomologi, konsep ini menjelaskan bagaimana serangga mampu beradaptasi secara genetik terhadap perubahan lingkungan. Salah satu contoh klasik adalah fenomena mimikri pada kupu-kupu viceroy (*Limenitis archippus*) yang menyerupai kupu-kupu raja (*Danaus plexippus*). Adaptasi ini memberikan keuntungan evolusioner karena predator cenderung menghindari organisme dengan pola warna menyerupai spesies beracun. Fenomena tersebut menunjukkan bagaimana tekanan

seleksi dapat membentuk karakter fenotipik melalui mekanisme genetik yang diwariskan (Ruxton *et al.*, 2018; Sherratt, 2017).

Dengan demikian, sintesis modern tidak hanya menyatukan konsep genetika dan evolusi, tetapi juga menjadi landasan penting dalam memahami dinamika adaptasi dan diversifikasi serangga dalam entomologi moder

1.5. PENELITIAN KONTEMPORER

Meskipun taksonomi tradisional masih digunakan sebagai dasar untuk memahami hubungan kekerabatan serangga, perkembangan teknik molekuler modern, khususnya pengurutan DNA (*DNA sequencing*), telah merevolusi pemahaman tentang evolusi dan klasifikasi serangga. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi spesies secara lebih akurat berdasarkan variasi genetik, termasuk dalam kasus *cryptic species* yang sulit dibedakan secara morfologis (Goodwin *et al.*, 2016; Hiebert & Johnson, 2022).

Dalam penelitian molekuler serangga, beberapa tahapan utama yang umum dilakukan meliputi:

- **Ekstraksi DNA**, yaitu isolasi materi genetik dari jaringan serangga, seperti kaki, sayap, atau seluruh tubuh berukuran kecil. Proses ini bertujuan memperoleh DNA berkualitas tinggi untuk analisis lebih lanjut (Moreira *et al.*, 2016).
- **Pengurutan DNA (*DNA sequencing*)**, menggunakan instrumen khusus (*DNA sequencer*) untuk membaca urutan basa nukleotida dalam molekul DNA. Teknologi *next-generation sequencing* (NGS) memungkinkan analisis dalam skala besar dengan kecepatan dan akurasi tinggi (Goodwin *et al.*, 2016).
- **Analisis bioinformatika**, yaitu membandingkan urutan DNA antarspesies untuk menentukan hubungan

filogenetik, asal-usul evolusi, serta tingkat kekerabatan genetik (Ellegren, 2016).

Melalui pendekatan ini, para ilmuwan dapat merekonstruksi sejarah evolusi serangga, mengidentifikasi pola diversifikasi spesies, serta memahami mekanisme adaptasi terhadap lingkungan. Selain itu, teknologi genomik juga berperan penting dalam studi resistensi insektisida, interaksi vektor-patogen, serta pengembangan strategi pengendalian berbasis genetik (Hiebert & Johnson, 2022).

Secara keseluruhan, penelitian kontemporer dalam entomologi menunjukkan transformasi dari pendekatan deskriptif menuju pendekatan berbasis data molekuler dan genomik. Integrasi teknologi seperti NGS dan bioinformatika telah mempercepat eksplorasi keanekaragaman serangga serta meningkatkan akurasi dalam pengambilan keputusan berbasis ilmiah

1.6. PERKEMBANGAN ENTOMOLOGI MOLEKULER

Perkembangan entomologi molekuler merefleksikan transisi paradigmatik dari pendekatan deskriptif menuju analisis berbasis biomolekuler. Pada era pra-molekuler, kajian serangga didominasi oleh pendekatan morfologi dan taksonomi klasik, yang memiliki keterbatasan dalam mengidentifikasi *cryptic species* dengan karakter fenotipik yang serupa. Dengan demikian, pendekatan molekuler menjadi penting untuk meningkatkan resolusi identifikasi spesies dan hubungan filogenetik (Hiebert & Johnson, 2022).

Memasuki akhir abad ke-20, integrasi teknik biokimia seperti elektroforesis protein dan analisis isoenzim memungkinkan deteksi variasi genetik intraspesifik secara lebih presisi. Selanjutnya, perkembangan metode berbasis DNA, termasuk hibridisasi sekuens spesifik dan analisis polimorfisme genetik, secara

signifikan meningkatkan akurasi identifikasi taksonomi. Pendekatan ini terbukti krusial dalam mengkaji kompleks spesies *Anopheles*, yang memiliki implikasi langsung terhadap epidemiologi malaria (Neafsey *et al.*, 2017).

Dalam dekade terakhir, kemajuan teknologi seperti PCR (*Polymerase Chain Reaction*), sekuensing DNA, dan genomika fungsional telah memperluas cakupan entomologi molekuler ke arah pemahaman mekanisme molekuler yang mendasari adaptasi, resistensi insektisida, serta interaksi vektor-patogen. Oleh karena itu, entomologi molekuler kini menjadi pilar utama dalam riset serangga modern yang berorientasi pada kesehatan masyarakat dan pengendalian hayati (Goodwin *et al.*, 2016; Hiebert & Johnson, 2022).

Kemunculan teknik molekuler seperti PCR dan DNA barcoding menandai revolusi besar dalam entomologi molekuler. PCR memungkinkan amplifikasi fragmen DNA spesifik secara eksponensial sehingga meningkatkan sensitivitas dan akurasi analisis genetik. Dalam studi serangga, teknik ini широко digunakan untuk identifikasi spesies melalui penanda molekuler seperti daerah spacer Rdna (ITS1/ITS2), termasuk untuk membedakan spesies dalam kompleks *Anopheles* yang morfologinya sangat mirip (Wilkins *et al.*, 2019).

Selanjutnya, pendekatan DNA barcoding yang menggunakan gen mitokondria COI (*Cytochrome c Oxidase subunit I*) memungkinkan identifikasi spesies secara cepat, akurat, dan terstandarisasi. Metode ini sangat efektif untuk mengungkap *cryptic species* serta mengevaluasi keanekaragaman hayati serangga dalam berbagai ekosistem (Hebert *et al.*, 2016; Ratnasingham & Hebert, 2018).

Memasuki era genomik, penyelesaian genom serangga model seperti *Drosophila melanogaster* dan vektor penyakit seperti *Anopheles gambiae* membuka jalan bagi analisis skala besar berbasis genom. Inisiatif global seperti i5K dan 1KITE mempercepat

eksplorasi genom dan transkriptom serangga. Selain itu, pendekatan *functional genomics*, termasuk RNA interference (RNAi) dan teknologi penyuntingan gen seperti CRISPR-Cas9, memungkinkan peneliti memahami fungsi gen secara langsung serta mengembangkan strategi pengendalian vektor yang lebih spesifik (Hiebert & Johnson, 2022; Thomas *et al.*, 2020).

Aplikasi praktis dari kemajuan ini sangat luas. Dalam bidang kesehatan, teknik molekuler digunakan untuk pemetaan genetik, identifikasi spesies vektor, serta deteksi resistensi insektisida pada populasi nyamuk. Dalam pertanian, data genomik mendukung pengembangan strategi pengendalian hama berbasis target genetik yang lebih ramah lingkungan. Selain itu, dalam entomologi forensik, analisis DNA serangga digunakan untuk estimasi *post-mortem interval* (PMI) dan identifikasi spesies secara akurat. Di bidang ekologi, pendekatan *environmental DNA* (Edna) dan metabarcoding memungkinkan survei keanekaragaman serangga secara cepat, non-invasif, dan berskala besar (Taberlet *et al.*, 2018).

Secara keseluruhan, integrasi PCR, DNA barcoding, dan teknologi genomik telah mentransformasi entomologi menjadi disiplin berbasis data molekuler yang sangat aplikatif dalam kesehatan masyarakat, pertanian, dan konservasi biodiversitas

1.7. ENTOMOLOGI FORENSIK DAN BIDANG TAMBAHAN

Perkembangan entomologi forensik dan bidang tambahan berbasis molekuler telah memperluas peran ilmu serangga dari sekadar taksonomi klasik menuju aplikasi multidisipliner. Dalam konteks forensik, analisis DNA dari serangga—terutama larva lalat (Diptera)—digunakan untuk meningkatkan akurasi estimasi *post-mortem interval* (PMI). Pendekatan ini melengkapi metode konvensional berbasis morfologi dengan memungkinkan

identifikasi spesies secara presisi, bahkan pada stadium perkembangan yang sulit dibedakan (Amendt *et al.*, 2021; Javan *et al.*, 2019).

Selain itu, teknik molekuler juga mampu mendeteksi variasi genetik populasi serangga yang berkaitan dengan kondisi lingkungan di tempat kejadian perkara. Informasi ini dapat memberikan petunjuk tambahan dalam investigasi kriminal, seperti asal-usul geografis dan dinamika populasi serangga yang terkait dengan lokasi kejadian (Amendt *et al.*, 2021).

Di luar bidang forensik, kemajuan dalam ekologi molekuler telah mendorong penggunaan teknologi seperti *environmental DNA* (Edna) dan DNA metabarcoding. Metode ini memungkinkan deteksi keberadaan berbagai spesies serangga melalui jejak DNA yang terdapat di lingkungan (tanah, air, atau udara) tanpa perlu pengambilan spesimen secara langsung. Pendekatan ini terbukti efisien untuk survei keanekaragaman hayati skala besar, pemantauan spesies langka atau invasif, serta evaluasi dampak perubahan lingkungan (Taberlet *et al.*, 2018; Deiner *et al.*, 2017).

DNA metabarcoding juga memungkinkan analisis komunitas serangga secara simultan dengan resolusi taksonomi tinggi, sehingga mempercepat pengumpulan data biodiversitas secara komprehensif. Pendekatan ini semakin banyak digunakan dalam studi ekologi modern karena kemampuannya dalam menghasilkan data dalam jumlah besar secara cepat dan akurat (Deiner *et al.*, 2017).

Secara keseluruhan, integrasi teknik molekuler dalam forensik dan ekologi tidak hanya meningkatkan akurasi identifikasi spesies, tetapi juga memperluas kapasitas analisis dalam memahami dinamika populasi dan interaksi ekologis. Hal ini menjadikan entomologi modern sebagai disiplin yang semakin relevan dalam bidang hukum, konservasi, dan manajemen lingkungan berbasis bukti ilmiah

1.8. RINGKASAN PERKEMBANGAN ENTOMOLOGI

Perkembangan Entomologi menunjukkan transformasi bertahap dari pendekatan deskriptif menuju analisis molekuler dan genomik yang semakin kompleks. Pada fase awal (entomologi klasik-modern), fokus utama terletak pada taksonomi dan morfologi dengan dukungan teknologi mikroskop dan sistem klasifikasi, yang menjadi dasar identifikasi spesies. Memasuki akhir abad ke-20, pendekatan berkembang ke analisis genetik dasar melalui penggunaan isoenzim dan hibridisasi DNA untuk mengungkap variasi genetik yang tidak terlihat secara morfologis.

Pada periode 1980–1990-an, kemunculan PCR menandai era identifikasi molekuler dengan presisi tinggi melalui amplifikasi DNA, termasuk penggunaan penanda RdnA. Selanjutnya, sejak awal 2000-an hingga kini, DNA barcoding berbasis gen COI dan teknologi *Next-Generation Sequencing* (NGS) memungkinkan eksplorasi keanekaragaman serangga secara cepat dan akurat, sekaligus memperluas kajian ke tingkat genom. Perkembangan ini mencapai puncaknya dalam era *functional genomics*, di mana teknologi seperti RNA interference (RNAi) dan CRISPR memungkinkan manipulasi gen untuk memahami fungsi biologis serta mendukung strategi pengendalian hama dan vektor penyakit.

Table 1.1. memperlihatkan evolusi ini mencerminkan pergeseran paradigma dari observasi fenotipik menuju pendekatan berbasis data molekuler dan genomik. Entomologi modern tidak lagi hanya bersifat deskriptif, tetapi juga prediktif dan aplikatif, terutama dalam pengendalian vektor, konservasi, dan bioteknologi. Integrasi teknologi canggih mempercepat inovasi dan meningkatkan ketepatan pengambilan keputusan berbasis ilmiah.

Tabel 1.1. Ringkasan perkembangan Entomologi

Era	Fokus Utama	Teknologi Kunci
Awal entomologi klasik–modern	Taksonomi & morfologi	Mikroskop, klasifikasi
Late 20 th century	Analisis genetik dasar	Isoenzim, hybridisasi DNA
1980–1990-an	Identifikasi molekuler	PCR, marker Rdna
Awal 2000-an hingga kini	Barcoding & genomic	DNA barcoding (COI), Next-Gen Sequencing, genom serangga
Era functional genomics	Kendali genetik & editing	RNAi, CRISPR

1.9. PENUTUP

Entomologi Molekuler telah mengalami transformasi yang mendassar yaitu mulai dari pendekatan morfologi klasik menuju integrasi teknik genetika molekuler hingga era genomik dan penyuntingan gen. Evolusi ini tidak hanya meningkatkan resolusi dalam identifikasi dan klasifikasi spesies, tetapi juga memperdalam pemahaman mengenai mekanisme biologis serangga sebagai vektor penyakit dan hama. Dengan dukungan teknologi mutakhir seperti sekuensing genom dan CRISPR, entomologi molekuler kini menjadi pilar (penyangga) strategis dalam pengembangan metode pengendalian yang lebih efektif, spesifik, dan berkelanjutan. Di masa depan, integrasi data multi-omics dan pendekatan berbasis kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) berpotensi semakin

mempercepat inovasi, menjadikan disiplin ini semakin relevan dalam menjawab tantangan kesehatan global, ketahanan pangan, dan konservasi biodiversitas.

REFERENSI

- Amendt, J., Richards, C. S., Campobasso, C. P., Zehner, R., & Hall, M. J. R. (2021). Forensic entomology: applications and limitations. *Annual Review of Entomology*, 66, 77–94.
- Chapman, R. F. (2018). *The insects: Structure and function* (5th ed.). Cambridge University Press.
- Deiner, K., Bik, H. M., Mächler, E., Seymour, M., Lacoursière-Roussel, A., Altermatt, F., ... Bernatchez, L. (2017). Environmental DNA metabarcoding: transforming how we survey animal and plant communities. *Molecular Ecology*, 26(21), 5872–5895.
- Ellegren, H. (2016). Genome sequencing and population genomics in non-model organisms. *Nature Reviews Genetics*, 17, 1–12.
- Futuyma, D. J., & Kirkpatrick, M. (2017). *Evolution* (4th ed.). Sinauer Associates.
- Goodwin, S., McPherson, J. D., & McCombie, W. R. (2016). Coming of age: next-generation sequencing technologies. *Nature Reviews Genetics*, 17, 333–351.
- Gullan, P. J., & Cranston, P. S. (2020). *The insects: An outline of entomology* (5th ed.). Wiley-Blackwell.
- Hebert, P. D. N., Ratnasingham, S., & deWaard, J. R. (2016). DNA barcoding: a practical tool for species identification. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 371, 20150339.
- Hiebert, T. C., & Johnson, N. S. (2022). Molecular genetics solutions to grand challenges in entomology. *Frontiers in Insect Science*, 2, 1–10.

- Javan, G. T., Finley, S. J., & Can, I. (2019). The role of microbes in forensic entomology. *Forensic Sciences Research*, 4(3), 183–193.
- Korneliussen, T. S., Albrechtsen, A., & Nielsen, R. (2019). ANGSD: Analysis of next generation sequencing data. *BMC Bioinformatics*, 20, 356.
- Kumar, V., Stecher, G., Li, M., Knyaz, C., & Tamura, K. (2018). MEGA X: Molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *Molecular Biology and Evolution*, 35(6), 1547–1549.
- Moreira, L. A., Iturbe-Ormaetxe, I., Jeffery, J. A., et al. (2016). A *Wolbachia* symbiont in *Aedes aegypti* limits infection with dengue virus. *Cell Host & Microbe*, 19(1), 12–21.
- Neafsey, D. E., Waterhouse, R. M., Abai, M. R., et al. (2017). Mosquito genomics. Highly evolvable malaria vectors: The genomes of 16 *Anopheles* mosquitoes. *Science*, 347(6217), 1258522.
- Ratnasingham, S., & Hebert, P. D. N. (2018). BOLD: The Barcode of Life Data System. *Molecular Ecology Notes*, 7, 355–364.
- Ruxton, G. D., Sherratt, T. N., & Speed, M. P. (2018). *Avoiding attack: The evolutionary ecology of crypsis, warning signals and mimicry* (2nd ed.). Oxford University Press.
- Sherratt, T. N. (2017). The evolution of imperfect mimicry. *Behavioral Ecology*, 28(3), 772–779.
- Taberlet, P., Bonin, A., Zinger, L., & Coissac, E. (2018). *Environmental DNA: For biodiversity research and monitoring*. Oxford University Press.
- Thomas, D. D., Donnelly, C. A., Wood, R. J., & Alphey, L. S. (2020). Insect population control using gene drive: CRISPR-based approaches. *Nature Reviews Genetics*, 21, 1–15.
- Wilkins, E. E., Howell, P. I., & Benedict, M. Q. (2019). IMP PCR primers detect single nucleotide polymorphisms for *Anopheles* species identification. *Parasites & Vectors*, 12, 1–1

PROFIL PENULIS



A. DATA PRIBADI

Nama : Dr. Drs. Rizal Subahar, M.Biomed.
NIP : 196302021991031003
Pangkat : Pembina Tk. I
Jabatan : Lektor Kepala IV/c
Tanggal Lahir / Umur : 2 Februari 1963 / 62
Tempat Lahir : Jakarta
Jenis Kelamin : Pria
Agama : Islam
Status Pernikahan : Menikah
Alamat Rumah : Jl. Ujung Gedong RT 10 RW 08 No. 02,
Kel. Gedong, Pasar Rebo, Jakarta Timur
Kode Pos : 13760
No. Telepon Rumah : 021-87795322
No. HP : 08561167964
E-mail : rizal.subahar@ui.ac.id
NPWP : 05.749.841.9.009.000

B. PEKERJAAN

Instansi : Depertemen Parasitologi FKUI
Alamat Kantor : Jl. Salemba 6 Jakarta Pusat
No. Telp/Fax : 021-3102135 / 39832018

C. RIWAYAT PEKERJAAN

1991 – Sekarang : Dosen FK-Universitas Indonesia
2015 – Sekarang : Dosen Mata Kuliah MPKT Universitas
Indonesia

D. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. 1976, SDN Bluntas 2 Ptg, Jakarta Pusat,
2. 1980, SMPN 47 Jakarta Pusat
3. 1983, SMAN 30 Jakarta Pusat
4. 1989, S1-Jurusan Biologi FMIPA-UI, Depok
5. 1996, S2-Biomedik FKUI, Jakarta
6. 2012, S3-Biomedik FKUI, Jaakarta

E. PUBLIKASI

Jumlah Publikasi buku dan artikel ilmiah sebanyak 60.
Sebanyak 7 buku dan 53 makalah ilmiah.

Daftar buku ilmiah tersebut antara lain

1. Buku Penyuluhan Infeksi Cacing Usus, R Subahar, Penerbit Guepedia, Tahun 2022
2. Student Guidebook Medical Ecology Ip Sari, Ta Pakasi, R Winata, R Subahar Medical Education Unit International Class Program Faculty Of Medicine, Tahun 2020
3. Tutor Guidebook Growth And Development Module Ta 2019-2020 H Gunardi, F Soesanti, S Zizlavsky, A Gayatri, Y Devaera, R Adawiyah, ...Medical Education Unit Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia, Tahun 2019
4. Buku Pedoman Kerja Mahasiswa (BPKM) Kki Tumbuh Kembang H Gunardi, F Soesanti, S Zizlavsky, A Gayatri, Y

Devaera, R Adawiyah, .Medical Education Unit Fakultas Kedokteran Universitas Indonesi, Tahun 2019

5. Buku" Mengenal Nyamuk Dan Sifat-Sifatnya Seri Buku Ajar Dan Pedoman Kader Kesehatan" Ta Pakasi, R Winita, R Subahar, I Puspasari, Aa Nu, Tahun 2019.
6. Buku Ajar Komunikasi Kesehatan, R Subahar, EN Hadi, R Kodariah,... UI Publisher, tahun 2025

Daftar Artikel Ilmiah dalam 5 tahun terakhir

1. Subahar, R., A.K.P. Kadarusman, Fatmawaty, N. Sahar, R. Winita, L. Susanto, Yulhasri, N.S. Lubis, Mulyati and N.E. Firmansyah, 2021. Toxic effects of *Mentha piperita* extract on *Culex quinquefasciatus* larvae (Diptera: Culicidae). J. Entomol., 18: 19-28
2. Subahar, R., Susanto, L., Aidilla, R., Aulia, A. P., Yulhasri, Y., Winita, R., Lubis, N. S., & Sari, I. P. (2021). *In vitro* experiments of *Pediculus humanus capitis* (Phthiraptera: Pediculidae) resistance to permethrin and 6-paradol in East Jakarta: Detoxification enzyme activity and electron microscopic changes in lice. *Veterinary world*, 14(11), 3065–3075. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.3065-3075>
3. Subahar, R., Aulia, A. P., Yulhasri, Y., Felim, R. R., Susanto, L., Winita, R., El Bayani, G. F., & Adugna, T. (2022). Assessment of susceptible *Culex quinquefasciatus* larvae in Indonesia to different insecticides through metabolic enzymes and the histopathological midgut. *Heliyon*, 8(12), e12234. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12234>
4. Subahar, R., Hadyansyah, R., Aldilla, R., Yulhasri, Y., Winita, R., Dwira, S., & El Bayani, G. F. (2024). Toxicity of 6-gingerol and *Cymbopogon citratus* against *Pediculus humanus capitis* De Geer (Phthiraptera: Pediculidae): Mortality, detoxifying enzymes, and morphological ultrastructure alterations in

- lice. *Research in veterinary science*, 177, 105364. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2024.105364>
5. Subahar, R., Huang, A., Wijaya, R. S., Nur, L. S. E., Susanto, L., Firmansyah, N. E., Yulhasri, Y., El Bayani, G. F., & Dwira, S. (2024). First report on evaluation of commercial eugenol and piperine against *Aedes aegypti* L (Diptera: Culicidae) larvae: Mortality, detoxifying enzyme, and histopathological changes in the midgut. *Parasitology international*, 98, 102813. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2023.102813>
 6. Subahar, R., Susanto, L., Dwira, S., Astuty, H., Firmansyah, N. E., El Bayani, G. F., Adugna, T., Dewi, S., & Fadillah (2025). Enzymatic mechanisms of insecticide resistance in *Anopheles* sp mosquitoes: Implications for malaria vector control in Indonesia. *Acta tropica*, 268, 107691. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2025.107691>

Buku Entomologi Molekuler untuk Biomedik merupakan karya ilmiah yang menyajikan integrasi antara ilmu entomologi dan biologi molekuler dalam konteks kesehatan masyarakat. Buku ini dirancang untuk memberikan pemahaman komprehensif mengenai peran serangga sebagai vektor penyakit serta pendekatan molekuler yang dapat digunakan untuk mengkaji, mendeteksi, dan mengendalikan penyakit berbasis vektor secara lebih akurat dan modern.

Pembahasan dimulai dengan pengenalan konsep dasar entomologi molekuler, termasuk sejarah perkembangannya serta perbandingan antara pendekatan morfologi dan molekuler dalam identifikasi serangga. Kemudian, buku ini menjelaskan dasar-dasar biologi molekuler pada serangga, mencakup struktur genetik, fungsi gen, serta interaksi kompleks antara serangga dan patogen seperti virus, bakteri, protozoa, dan cacing parasit.

Bagian inti buku ini memfokuskan berbagai teknik molekuler yang umum digunakan, seperti ekstraksi DNA/RNA, PCR, qPCR, RT-PCR, serta teknologi sekuensing DNA. Teknik-teknik ini diaplikasikan dalam berbagai studi biomedik, termasuk identifikasi spesies vektor (misalnya *Anopheles*, *Aedes*, dan *Culex*), deteksi patogen penyebab penyakit seperti malaria, dengue, dan filariasis, serta analisis resistensi insektisida melalui pendekatan genetik.

Selain itu, buku ini juga membahas peran bioinformatika dalam analisis data molekuler, termasuk penggunaan database genetik dan perangkat lunak untuk analisis filogenetik dan epidemiologi molekuler. Berbagai studi kasus, khususnya di kawasan Asia Tenggara dan Indonesia, disajikan untuk memberikan gambaran nyata mengenai penerapan ilmu ini di lapangan.

Pada bagian akhir, buku ini mengulas perkembangan terbaru seperti teknologi CRISPR/Cas9 dan gene drive dalam pengendalian vektor, sekaligus menyoroti tantangan etis dan regulasi yang menyertainya. Secara keseluruhan, buku ini diharapkan menjadi referensi penting bagi mahasiswa, peneliti, dan praktisi di bidang biomedik, biologi, dan entomologi dalam menghadapi tantangan penyakit berbasis vektor di era modern.



PENERBIT KBM INDONESIA
Anggota IKAPI
0813 5751 7526 / (0353) 3234874
Kantor : Maguwoharjo, Depok, Sleman-Yogyakarta
@penerbitbukujogja
@penerbit.kbm

ISBN 978-634-278-332-0

