

**KARAKTERISASI BAKTERI YANG BERASOSIASI DENGAN
Elaeidobius kamerunicus SERTA POTENSINYA SEBAGAI
ENTOMOPATOGEN DAN PELARUT FOSFAT**

(Skripsi)

Oleh

**Muhammad Naufal Hafidz
2214191064**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

KARAKTERISASI BAKTERI YANG BERASOSIASI DENGAN *Elaeidobius kamerunicus* SERTA POTENSINYA SEBAGAI ENTOMOPATOGEN DAN PELARUT FOSFAT

Oleh

Muhammad Naufal Hafidz

Penelitian ini dilakukan berdasarkan pentingnya peran *Elaeidobius kamerunicus* sebagai serangga penyerbuk utama kelapa sawit serta potensinya sebagai bakteri asosiasi yang dapat dimanfaatkan sebagai agens hayati ramah lingkungan. Penelitian bertujuan untuk mengeksplorasi, mengisolasi, dan mengkarakterisasi bakteri yang berasosiasi dengan *E. kamerunicus* serta mengevaluasi potensinya sebagai entomopatogen dan pelarut fosfat. Penelitian dilaksanakan pada Agustus 2025 hingga Januari 2026 di Gedung Pusat Kajian Cassava, Kelapa Sawit, Tebu, Kopi, Lada, dan Kakao, serta Laboratorium Bioteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Sampel serangga dikoleksi dari Sumatera Barat, Sumatera Utara, Sumatera Selatan, dan Lampung. Bakteri diisolasi pada media YPA dan dikarakterisasi melalui pengamatan morfologi, uji Gram, oksidatif/fermentatif, hipersensitif, soft rot, hipovirulen, serta kemampuan melarutkan fosfat pada media Pikovskaya. Uji patogenisitas dilakukan terhadap larva *Tenebrio molitor*. Hasil penelitian menunjukkan diperolehnya 177 isolat bakteri dengan keragaman morfologi tinggi. Sebagian besar isolat tergolong Gram positif (71,75%) dan bersifat fermentatif (61%). Sebanyak 65,53% isolat mampu melarutkan fosfat, sedangkan hanya 1,69% isolat yang menunjukkan reaksi hipersensitif. Uji soft rot menunjukkan 33% isolat bersifat pektinolitik dan sebagian besar tergolong hipovirulen. Beberapa isolat menunjukkan aktivitas entomopatogenik terhadap larva *T. molitor* dengan mortalitas tertinggi mencapai 26,6%. Secara keseluruhan, bakteri asosiasi *E. kamerunicus* memiliki keragaman karakteristik serta dan berpotensi dikembangkan sebagai sumber agens hayati multifungsi untuk mendukung pengendalian hayati berkelanjutan.

Kata kunci: bakteri asosiasi, biokontrol, *Elaeidobius kamerunicus*, entomopatogen, pelarut fosfat.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF BACTERIA ASSOCIATED WITH ELAEIDOBIOUS KAMERUNICUS AND THEIR POTENTIAL AS ENTOMOPATHOGENS AND PHOSPHATE-SOLUBILIZING BACTER

By:

Muhammad Naufal Hafidz

*This study was conducted based on the important role of *Elaeidobius kamerunicus* as the primary oil palm pollinating insect and the potential of its associated bacteria as environmentally friendly biological agents. The study aimed to explore, isolate, and characterize bacteria associated with *E. kamerunicus* and to evaluate their potential as entomopathogenic and phosphate-solubilizing bacteria. The research was carried out from August 2025 to January 2026 at the Cassava, Oil Palm, Sugarcane, Coffee, Pepper, and Cocoa Research Center Building and the Biotechnology Laboratory, Faculty of Agriculture, University of Lampung. Insect samples were collected from West Sumatra, North Sumatra, South Sumatra, and Lampung. Bacteria were isolated on YPA medium and characterized through morphological observation, Gram staining, oxidative/fermentative, hypersensitivity, soft rot, hypovirulence, and phosphate-solubilization tests on Pikovskaya medium. Pathogenicity tests were conducted using *Tenebrio molitor* larvae. The results showed that 177 bacterial isolates with high morphological diversity were obtained. Most isolates were Gram-positive (71.75%) and fermentative (61%). A total of 65.53% of the isolates were capable of solubilizing phosphate, while only 1.69% exhibited a positive hypersensitivity reaction. The soft rot test indicated that 33% of the isolates were pectinolytic, and most were classified as hypovirulent. Several isolates exhibited entomopathogenic activity against *T. molitor* larvae, with the highest mortality reaching 26.6%. Overall, bacteria associated with *E. kamerunicus* exhibited diverse characteristics and have the potential to be developed as multifunctional biological control agents to support sustainable biological pest management.*

Keywords: *Elaeidobius kamerunicus*, associated bacteria, entomopathogen, phosphate-solubilizing bacteria, biological control.

**KARAKTERISASI BAKTERI YANG BERASOSIASI DENGAN
Elaeidobius kamerunicus SERTA POTENSINYA SEBAGAI
ENTOMOPATOGEN DAN PELARUT FOSFAT**

Oleh

Muhammad Naufal Hafidz

Skripsi

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

pada

**Jurusan Proteksi Tanaman
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul Skripsi : **Karakterisasi Bakteri yang Berasosiasi dengan *Elaeidobius kamerunicus* serta Potensinya sebagai Entomopatogen dan Pelarut Fosfat**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Naufal Hafidz**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2214191064**

Jurusan : **Proteksi Tanaman**

Fakultas : **Pertanian**



Prof. Yuyun Fitriana, S.P., M.P., Ph.D.
NIP 198108152008122001

Ni Kadek Emi Sintha Dewi, S.P., M.P.
NIP. 199809022024062001

2. Ketua Jurusan Proteksi Tanaman

Dr. Tri Maryono, S.P., M.Si
NIP. 198002082005011002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

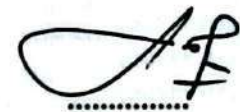
Ketua : Prof. Yuyun Fitriana, S.P., M.P., Ph.D.



Sekretaris : Ni Kadek Emi Sintha Dewi, S.P., M.P.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Prof. Dr. Ir. I Gede Swibawa, M.S.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP. 196411181989021002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 29 April 2026

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Karakterisasi Bakteri yang Berasosiasi dengan *Elaeidobius kamerunicus* serta Potensinya sebagai Entomopatogen dan Pelarut Fosfat” merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil karya orang lain. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 2026

Penulis



Muhammad Naufal Hafidz
NPM. 2214191064

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Muhammad Naufal Hafidz dengan nama panggilan Naufal. Penulis lahir pada tanggal 06 September 2004 di Kota Bandar Lampung, Lampung. Penulis merupakan anak keempat dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Khairuddin Semenguk dan Ibu Nurhidayah. Penulis telah menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar pada tahun 2016 di SDIT Muhammadiyah Gunung Terang, kemudian pada tahun 2019 menyelesaikan pendidikan di SMPN 10 Bandar Lampung, dan pada tahun 2022 penulis menyelesaikan pendidikan di SMKN 8 Bandar Lampung. Sejak Agustus 2022 penulis tercatat sebagai mahasiswa di Program Studi Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Penulis telah melakukan kegiatan Praktik Pengenalan Pertanian di Desa Karya Mulya Sari, Kecamatan Candipuro, Kabupaten Lampung Selatan pada tahun 2023. Penulis melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Penengahan, Kecamatan Penengahan, Kabupaten Lampung Selatan pada tahun 2025. Pada tahun yang sama juga penulis melaksanakan kegiatan Praktik Umum (PU) di PT Tunas Baru Lampung Terbanggi Besar, Lampung Tengah. Selama menjalani perkuliahan penulis pernah menjadi asisten dosen pada Responsi Bahasa Inggris dan Praktikum Hama dan Patogen Terbawa Tanah. Penulis juga aktif dalam organisasi Himpunan Proteksi Tanaman (HIMAPROTEKTA) sebagai anggota bidang Eksternal pada periode 2023/2024. Kemudian penulis juga aktif sebagai Kabid Eksternal dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Proteksi Tanaman pada periode 2024/2025, serta aktif sebagai anggota bidang Hubungan Luar pada organisasi Dewan Perwakilan Mahasiswa Keluarga Besar Mahasiswa Universitas Lampung (DPM U KBM UNILA) pada periode 2024.

PERSEMBAHAN

Puji Syukur atas kehadiran Tuhan yang Maha Kuasa, Maha Pengasih dan Maha Penyayang, saya persembahkan karya tulis yang saya banggakan ini sebagai wujud ungkapan rasa syukur, cinta, bakti, kasih dan sayang.

Kepada:

Kedua orang tua tercinta, Bapak Khairuddin Semenguk dan Ibu Nurhidayah. Atas izin Tuhan Yang Maha Kuasa, serta doa yang tak pernah putus dan dukungan yang tulus dari Ayah dan Ibu, penulis dapat menyelesaikan studi ini sampai selesai. Setiap langkah yang penulis jalani tidak lepas dari kasih sayang, kesabaran, dan pengorbanan kalian. Terima kasih telah menjadi doa, kekuatan, dan motivasi terbesar dalam hidup penulis.

Kakak – kakakku tersayang, Aprizal Darius, Yulisa Khairida, dan Bihikmi Semenguk. Terima kasih atas doa, dukungan, semangat, dan kebersamaan yang selalu diberikan kepada penulis dalam setiap proses hingga studi ini dapat diselesaikan.

Sahabat dan Teman yang membantu penulis. Terima kasih atas doa yang selalu terucap sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis ini, serta selalu mendukung selama ini.

Serta

Almamaterku Tercinta, Universitas Lampung, Terima kasih karena saya banyak mendapat pembelajaran yang saya dapatkan di sini.

MOTTO

“Be Yourself and Never Surrender.”

Jadilah dirimu sendiri dan jangan pernah menyerah.

“Bismillahirrahmanirrahim”.

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.

“Janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah.”

(QS. Az-Zumar: 53)

“Because maybe the only value of life is in the way it ends”

(N-Buna)

“If i’m not chosen, just be the one to choose”

(Aimer)

SANWACANA

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa sumber kasih dan hikmat yang tak berkesudahan. Berkat penyertaan dan anugerah-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “**Karakterisasi Bakteri yang Berasosiasi dengan *Elaeidobius kamerunicus* serta Potensinya sebagai Entomopatogen dan Pelarut Fosfat**”. Skripsi ini disusun dan diajukan untuk memenuhi syarat gelar Sarjana Pertanian di Universitas Lampung. Dalam penulisannya, penulis mendapat bimbingan, bantuan, kritik, dan saran dari berbagai pihak, sehingga segala kesulitan dapat diatasi. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M. P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, yang telah memberikan fasilitas kepada mahasiswa Fakultas Pertanian Universitas Lampung untuk melaksanakan penelitian.
2. Bapak Dr. Tri Maryono, S. P., M. Si., selaku Ketua Jurusan Proteksi Tanaman Fakultas Pertanian Universitas Lampung atas ilmu dan arahan yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
3. Ibu Prof. Yuyun Fitriana, S. P., M.P., Ph.D., selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan banyak ilmu, motivasi, semangat, kritik, dan saran serta selalu membimbing dengan penuh kesabaran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik,
4. Ibu Ni Kadek Emi Sintha Dewi, S.P., M.P., selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan masukan, kritik, dan saran serta memotivasi sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik,
5. Bapak Prof. Radix Suharjo, S. P., M.Agr., Ph.D, atas ilmu yang telah diberikan serta bimbingan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.

6. Bapak Prof. Dr. Ir. I Gede Swibawa, M.S., atas ilmu dan bimbingan yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
7. Kedua orang tua tercinta, Khairuddin Semenguk dan Nurhidayah yang dengan doa, kasih yang tak pernah putus, serta dukungan moral dan materi, telah menjadi sumber kekuatan dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan dan skripsi dengan baik,
8. Kakak-kakakku tersayang, Aprizal Darius, Yulisa Khairida, dan Bihikmi Semenguk yang dengan doa, dukungan, semangat, dan kebersamaan yang selalu diberikan kepada penulis dalam setiap proses hingga dapat menyelesaikan pendidikan dan skripsi dengan baik, dan
9. Seluruh Rekan, teman-teman bimbingan, teman: Rupa, Toga, Gani, Wira, Ketut, Wida, Syifa, Hafidz, Lutfi, Richo, Zulfans dan Leony serta teman-teman penghuni Laboratorium Bioteknologi, dan Laboratorium Ilmu Hama Tumbuhan, Gedung Pusat Kajian Cassava, Kelapa sawit, Tebu, Kopi, Lada dan Kakao, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Bandar Lampung, April 2026

Muhammad Naufal Hafidz
NPM. 2214191064

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Kerangka pemikiran	3
1.5 Hipotesis penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 <i>Elaeidobius kamerunicus</i>	7
2.2 Bakteri Simbion Serangga.....	8
2.3 Potensi Entomopatogen.....	8
2.4 Bakteri Pelarut Fosfat.....	9
III. METODOLOGI PENELITIAN	11
3.1 Waktu dan Tempat	11
3.2 Alat dan bahan.....	11
3.3 Pelaksanaan Penelitian	12
3.3.1 Pengambilan sampel.....	12
3.3.2 Penyiapan media.....	12
3.3.2.1 Media Yeast Peptone Agar (YPA)	12
3.3.2.2 Media Potato Peptone Glucose Agar (PPGA).....	12
3.3.2.3 Media Oksidatif Fermentatif (O/F)	13
3.3.2.4 Media Pikovskaya	13

3.3.3 Isolasi Bakteri dari <i>Elaeidobius kamerunicus</i>	13
3.3.4 Karakterisasi Bakteri	13
3.3.4.1. Uji Gram.....	13
3.3.4.2. Uji <i>Soft rot</i>	14
3.3.4.3. Uji Kemampuan Bakteri sebagai Pelarut fosfat	14
3.3.4.4. Uji Hipersensitif	15
3.3.4.5. Uji Oksidatif/Fermentatif (O/F)	15
3.3.4.6. Uji Hipovirulen.....	16
3.3.4.7. Uji Patogenisitas terhadap Serangga Uji	17
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Hasil Penelitian.....	19
4.1.2 Karakterisasi Bakteri	21
4.1.2.1 Uji Gram.....	21
4.1.2.2 Uji kemampuan sebagai Pelarut Fosfat	23
4.1.2.3 Uji Hipersensitif	24
4.1.2.4 Uji Oksidatif/Fermentatif	25
4.1.2.5 Uji <i>Soft Rot</i>	27
4.1.2.6 Uji Hipovirulen.....	28
4.1.2.7 Uji Patogenisitas terhadap Serangga Uji.....	29
4.2 Pembahasan	31
V. SIMPULAN DAN SARAN	36
5.1 Simpulan.....	36
5.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN	42

DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
1. Skor keparahan penyakit.....	17
2. Jumlah isolat bakteri yang berasosiasi dengan <i>Elaedobius kamerunicus</i> berdasarkan asal wilayah.....	19
3. Data prakiraan iklim di keempat provinsi tahun 2025-2026.....	21
4. Sepuluh isolat dengan efektivitas tertinggi dalam menyebabkan mortalitas larva <i>T. molitor</i>	31

DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
1. Morfologi koloni beberapa isolat bakteri yang berasosiasi dengan <i>E. kamerunicus</i>	20
2. Uji Gram bakteri menggunakan metode KOH.....	22
3. Diagram batang hasil uji Gram isolat bakteri	22
4. Isolat bakteri yang berasosiasi dengan <i>E. kamerunicus</i>	23
5. Diagram batang hasil uji pelarut fosfat.	24
6. Uji Hipersensitif pada daun tembakau.	24
7. Diagram batang hasil uji hipersensitif.....	25
9. Uji Oksidatif/fermentatif.....	26
10. Diagram batang hasil uji oksidatif/fermentatif	26
11. Uji soft rot pada umbi kentang.....	27
12. Diagram batang hasil uji soft rot.....	28
13. Uji Hipovirulen	29
14. Diagram batang hasil uji Hipovirulen.....	29
15. Respon larva <i>T. molitor</i> yang diaplikasikan bakteri.....	30
16. Diagram batang hasil uji patogenisitas.	30

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Elaeidobius kamerunicus (Coleoptera: Curculionidae) merupakan kumbang penyerbuk utama pada tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) yang diperkenalkan dari Kamerun ke kawasan Asia Tenggara pada awal 1980-an untuk meningkatkan efektivitas penyerbukan. Secara taksonomi, serangga ini termasuk dalam ordo Coleoptera dan famili Curculionidae yang dikenal sebagai kumbang berbelalai dengan adaptasi morfologis khusus untuk berinteraksi dengan bunga kelapa sawit. Struktur alat mulut yang memanjang memungkinkan serangga menjangkau bagian dalam bunga sekaligus membawa serbuk sari dari bunga jantan ke bunga betina, sehingga meningkatkan peluang fertilisasi. Selain itu, *E. kamerunicus* memiliki siklus hidup holometabolous (telur, larva, pupa, dewasa) yang sebagian besar berlangsung di dalam infloresensi jantan tanaman (Gintoron *et al.*, 2023).

Keberhasilan *E. kamerunicus* berperan penting dalam meningkatkan produktivitas tanaman kelapa sawit. Sejak dikenalkan di Indonesia pada tahun 1982 serangga ini terbukti mampu meningkatkan fruit set secara signifikan, bahkan hingga dua kali lipat dalam kondisi tertentu (Nurindah, 2015). Oleh karena itu, keberadaan serangga ini tidak hanya penting dalam ekologis, tetapi juga memiliki nilai ekonomis yang tinggi dalam industri kelapa sawit

Peran penting tersebut tidak hanya berkaitan dengan aktivitas penyerbukan secara langsung, tetapi juga dapat dipengaruhi oleh faktor biologis internal yang melekat pada serangga tersebut. Selain berperan sebagai penyerbuk, serangga diketahui memiliki komunitas mikroba simbiosis yang beragam. Mikroba simbiosis, termasuk bakteri, dapat berperan penting dalam fisiologi inang, meningkatkan daya tahan

terhadap patogen, serta berpotensi sebagai agen hayati. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa bakteri berasosiasi pada serangga mampu menghasilkan metabolit sekunder dengan aktivitas antibakteri, antijamur, maupun aktivitas entomopatogenik (Da Silva *et al.*, 2020). Hal ini membuka peluang untuk mengeksplorasi bakteri yang berasosiasi dengan *E. kamerunicus* sebagai sumber baru agens pengendali hayati.

Pengendalian organisme pengganggu tumbuhan dengan memanfaatkan agens hayati berbasis bakteri semakin banyak diterapkan dalam sistem pertanian modern karena dinilai lebih aman bagi lingkungan dibandingkan penggunaan pestisida kimia sintetis. Beberapa bakteri seperti *Bacillus thuringiensis* dan spesies lainnya telah dimanfaatkan sebagai bioinsektisida untuk mengendalikan beragam hama serangga dan patogen tanaman. Mekanisme kerjanya umumnya melalui produksi senyawa toksin atau protein spesifik yang bersifat selektif terhadap organisme target, sehingga mampu menekan populasi hama tanpa menimbulkan dampak berarti terhadap organisme non-target maupun keseimbangan ekosistem (Tomar dkk., 2024).

Pengendalian hayati menggunakan mikroorganisme antagonis memiliki keunggulan karena mampu memberikan perlindungan jangka panjang selama populasi antagonis masih bertahan di lingkungan. Selain itu, metode ini ramah lingkungan, mendukung sistem pertanian berkelanjutan, serta dapat mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia (Fitriana dkk., 2022). Dalam konteks ini, eksplorasi bakteri yang berasosiasi dengan *E. kamerunicus* menjadi langkah strategis untuk menemukan kandidat entomopatogen baru yang berpotensi diaplikasikan dalam pengendalian hama secara biologis.

1.2 Rumusan masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah bakteri yang berasosiasi dengan *E. kamerunicus* dapat diisolasi?
2. Bagaimana karakteristik fisiologi bakteri yang berasosiasi dengan *E. kamerunicus*?

3. Apakah bakteri yang berasosiasi tersebut memiliki potensi sebagai entomopatogen terhadap serangga uji?
4. Apakah bakteri yang berasosiasi tersebut memiliki potensi sebagai pelarut fosfat?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengisolasi bakteri yang berasosiasi dengan *E. kamerunicus*,
2. Mengkarakterisasi bakteri yang diperoleh,
3. Mengevaluasi potensi bakteri yang berasosiasi dengan *E. kamerunicus* sebagai entomopatogen, dan
4. Mengevaluasi potensi bakteri yang berasosiasi dengan *E. kamerunicus* sebagai pelarut fosfat.

1.4 Kerangka pemikiran

Bakteri yang berasosiasi dengan serangga merupakan bakteri yang hidup pada atau di dalam tubuh serangga inang, mencakup mikroba yang terdapat pada kutikula, hemolimfa, usus, serta sel khusus yang disebut miketosit. Bakteri simbiosis pada serangga umumnya memiliki keragaman spesies yang tinggi dan berperan penting dalam proses nutrisi, pertumbuhan dan perkembangan, sistem imun, reproduksi, serta berbagai aktivitas fisiologis lainnya dari inang (Douglas, 2015). Hubungan antara serangga dan mikroba berasosiasi merupakan hasil proses ko-evolusi jangka panjang. Dalam banyak sistem, bakteri berasosiasi berkembang tidak hanya sebagai penunjang nutrisi, tetapi juga sebagai sistem pertahanan biologis inang. Komunitas mikroba pada serangga membentuk sistem multiorganisme yang berfungsi mempertahankan stabilitas fisiologis dan ekologis inang (Douglas, 2015). Dalam konteks ini, bakteri berasosiasi sering kali menghasilkan metabolit sekunder dengan aktivitas antimikroba atau insektisidal sebagai bagian dari mekanisme kompetisi dan proteksi.

Contoh klasik adalah genus *Xenorhabdus* dan *Photorhabdus* yang hidup bersimbiosis dengan nematoda entomopatogen dan menghasilkan toksin kompleks untuk membunuh serangga inang target. Hal ini menunjukkan bahwa mikroba yang berasosiasi dengan organisme lain dapat menjadi sumber molekul bioaktif yang sangat selektif (Da Silva *et al.*, 2020). Eksplorasi bakteri yang berasosiasi dengan *E. kamerunicus* dalam penelitian ini tidak dimaksudkan untuk mengendalikan populasi serangga polinator tersebut, melainkan untuk mengidentifikasi potensi metabolik bakteri yang mungkin memiliki aktivitas entomopatogen terhadap serangga hama lainnya. Pendekatan ini sejalan dengan konsep bioprospeksi mikroba, yaitu pemanfaatan sumber daya hayati untuk menemukan agen biologis yang lebih selektif dan ramah lingkungan dibandingkan pestisida sintetis (Lacey *et al.*, 2015). Oleh karena itu, setiap kandidat isolat yang berpotensi sebagai entomopatogen tetap memerlukan uji spesifisitas inang dan uji keamanan hayati sebelum diaplikasikan dalam sistem pertanian.

Salah satu serangga yang telah dilaporkan memiliki bakteri simbiosis adalah *Nilaparvata lugens* (Susanti dkk., 2024). Kajian mengenai struktur komunitas mikrobioma yang berasosiasi dengan *E. kamerunicus* masih sangat terbatas. Penelitian sebelumnya umumnya menggunakan pendekatan molekuler dibandingkan karakterisasi fenotipik konvensional Putri dkk. (2022) melaporkan isolasi bakteri kultur dari tubuh imago *E. kamerunicus* menggunakan media pertumbuhan umum, kemudian identifikasi dilakukan berdasarkan analisis gen 16S rRNA. Hasil penelitian menunjukkan keberadaan berbagai bakteri yang didominasi oleh genus *Bacillus* dan *Lysinibacillus*, serta beberapa bakteri Gram positif lainnya. Selain itu, Rushidi dkk. (2023) melaporkan penelitian yang berfokus pada deteksi dan karakterisasi molekuler endosimbion seperti *Wolbachia* melalui penanda genetik spesifik. Namun demikian, laporan yang secara rinci memaparkan karakterisasi fenotipik melalui uji biokimia konvensional seperti uji Gram, katalase, oksidase, dan fermentasi karbohidrat masih sangat terbatas.

Metabolit sekunder yang dihasilkan oleh bakteri dari genus *Xenorhabdus* dan *Photorhabdus* diketahui memiliki peran penting dalam meningkatkan tingkat patogenesis terhadap serangga inang. Berdasarkan analisis menggunakan metode

kromatografi gas–spektrometri massa (GC-MS), senyawa yang teridentifikasi mencakup berbagai golongan kimia, seperti senyawa aromatik dan fenolik (misalnya benzyl alcohol dan derivat fenol), senyawa indole seperti indole dan tryptophol, senyawa amida seperti phenethylamide, serta kelompok asam lemak seperti asam oktanoat dan asam heksadekanoat. Selain itu, juga ditemukan senyawa heterosiklik yang mengandung unsur nitrogen dan sulfur, seperti benzothiazole dan turunan pyrrolo-pyrazine, yang memiliki aktivitas biologis yang tinggi. Senyawa-senyawa tersebut bekerja secara sinergis, bukan secara individual, dalam menekan sistem imun serangga melalui penghambatan enzim phospholipase A₂ (PLA₂), yang berperan penting dalam jalur biosintesis eikosanoid sebagai mediator utama respons imun. Akibat terhambatnya jalur tersebut, kemampuan pertahanan serangga terhadap infeksi menurun secara signifikan, sehingga memungkinkan bakteri berkembang lebih cepat di dalam tubuh inang dan pada akhirnya menyebabkan kematian (Mollah *et al.*, 2020).

Oleh karena itu, penelitian yang mengombinasikan pendekatan isolasi kultur, uji biokimia, dan analisis molekuler diperlukan untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai keragaman dan potensi fungsional bakteri yang berasosiasi dengan *E. kamerunicus*. Identifikasi bakteri yang hidup di dalam tubuh *E. kamerunicus*, terutama pada fase imago, menjadi penting mengingat peran serangga ini dalam keberhasilan penyerbukan tanaman kelapa sawit. Selain itu, kajian terhadap potensi fungsional bakteri tersebut, khususnya dalam bidang pertanian, dapat menjadi dasar dalam pengembangan formulasi agens hayati yang ramah lingkungan.

1.5 Hipotesis penelitian

Berdasarkan kerangka pemikiran yang telah dikemukakan di atas, hipotesis pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bakteri yang berasosiasi dengan *E. kamerunicus* memiliki keragaman karakteristik morfologi dan fisiologi yang dapat dibedakan melalui uji biokimia,

2. Bakteri yang berasosiasi dengan *E. kamerunicus* memiliki kemampuan melarutkan fosfat, dan
3. Bakteri yang berasosiasi dengan *E. kamerunicus* memiliki potensi sebagai entomopatogen.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Elaeidobius kamerunicus*

E. kamerunicus (Coleoptera: Curculionidae) merupakan kumbang penyerbuk utama kelapa sawit. Serangga ini berasal dari Kamerun, Afrika Barat, dan diperkenalkan ke Indonesia pada tahun 1982 untuk meningkatkan efisiensi penyerbukan kelapa sawit (Hutauruk dkk., 1982). Kehadirannya terbukti mampu meningkatkan *fruit set* serta produksi minyak sawit secara signifikan. Klasifikasi, *E. kamerunicus* adalah Kingdom Animalia, Filum Arthropoda, Kelas Insecta, Ordo Coleoptera, Famili Curculionidae, Genus *Elaeidobius*, dan Spesies *Elaeidobius kamerunicus*. Famili Curculionidae dikenal sebagai kelompok kumbang moncong (weevil) yang memiliki ciri khas berupa rostrum memanjang, antena bertipe genikulat (berbentuk siku), serta tubuh yang kompak dengan elytra yang menutupi abdomen. Karakter morfologi tersebut menjadi dasar penting dalam proses identifikasi dan penentuan kekerabatan spesies, baik melalui pendekatan taksonomi konvensional maupun analisis filogenetik berbasis morfologi dan molekuler (Efendi, 2022).

Genus *Elaeidobius* terdiri atas beberapa spesies yang umumnya berasosiasi dengan tanaman palma. Namun, *E. kamerunicus* merupakan spesies yang paling banyak dikaji karena perannya sebagai polinator utama kelapa sawit. Serangga ini tergolong monofag, yaitu hanya mampu berkembang secara optimal pada satu jenis tanaman inang, khususnya bunga jantan kelapa sawit (Sholehana, 2010). Spesifisitas tersebut menjadikan *E. kamerunicus* sangat efektif dalam meningkatkan keberhasilan pembuahan tanaman kelapa sawit. Selain perannya sebagai penyerbuk, *E. kamerunicus* juga berpotensi menjadi reservoir mikroba simbiosis yang dapat memberikan manfaat tambahan. Mikroba yang berasosiasi dengan serangga penyerbuk berpotensi menghasilkan metabolit bioaktif yang

dapat dimanfaatkan sebagai kandidat agens pengendali hayati. Oleh karena itu, eksplorasi mikroba yang berasosiasi dengan *E. kamerunicus* menjadi penting untuk mengetahui potensi fungsionalnya dalam mendukung sistem pertanian berkelanjutan.

2.2 Bakteri yang Berasosiasi dengan Serangga

Serangga memiliki hubungan erat dengan berbagai mikroorganisme simbion, termasuk bakteri, yang dapat ditemukan di saluran pencernaan, kutikula, maupun organ reproduksi. Bakteri simbion tersebut dapat memberikan berbagai keuntungan bagi inang, antara lain membantu pencernaan, meningkatkan daya tahan terhadap patogen, menyediakan nutrisi tambahan, serta memproduksi senyawa bioaktif (Douglas, 2015).

Hubungan antara serangga dan bakteri simbion merupakan hasil proses ko-evolusi jangka panjang yang memungkinkan terbentuknya interaksi mutualistik. Dalam beberapa kasus, bakteri simbion mampu menghasilkan senyawa yang melindungi inang dari infeksi patogen. Pada serangga penyerbuk, bakteri simbion juga berperan dalam mempertahankan kesehatan inang melalui produksi metabolit antimikroba dan kompetisi dengan mikroorganisme patogen (Kaltenpoth and Flórez, 2020).

Beberapa bakteri simbion diketahui memiliki kemampuan sebagai antagonis jamur patogen tanaman maupun sebagai entomopatogen bagi serangga hama (Fitriana dkk., 2022). Hal ini menunjukkan bahwa bakteri simbion serangga tidak hanya berperan dalam fisiologi inang, tetapi juga memiliki potensi aplikasi dalam pengendalian hayati. Oleh karena itu, eksplorasi bakteri simbion serangga menjadi salah satu pendekatan penting dalam menemukan sumber baru agens hayati yang ramah lingkungan.

2.3 Potensi Entomopatogen

Entomopatogen merupakan mikroorganisme yang mampu menyebabkan penyakit pada serangga. Kelompok entomopatogen meliputi bakteri, jamur, virus, dan

nematoda (Lacey *et al.*, 2015). Penggunaan entomopatogen sebagai agens pengendali hayati telah banyak diteliti karena sifatnya yang ramah lingkungan, selektif terhadap serangga target, serta mampu mengurangi ketergantungan pada insektisida kimia.

Beberapa bakteri entomopatogen yang telah dikenal luas antara lain *Bacillus thuringiensis*, *Photorhabdus* sp., dan *Xenorhabdus* sp. Bakteri tersebut menghasilkan toksin atau metabolit bioaktif dengan aktivitas insektisidal yang mampu menyebabkan kematian pada serangga target (Raymond *et al.*, 2010). Mekanisme kerja bakteri entomopatogen umumnya melibatkan produksi toksin yang merusak jaringan usus serangga, menyebabkan septisemia, atau menghambat sistem imun serangga. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa bakteri simbion yang berasal dari tubuh serangga lain juga dapat berfungsi sebagai entomopatogen. Hal ini membuka peluang eksplorasi bakteri terhadap simbion *E. kamerunicus* sebagai kandidat baru agens pengendali hayati. Dengan demikian, isolasi dan karakterisasi bakteri yang berasosiasi dengan serangga penyerbuk ini berpotensi menghasilkan sumber entomopatogen baru yang lebih selektif dan ramah lingkungan.

2.4 Bakteri Pelarut Fosfat

Bakteri pelarut fosfat merupakan mikroorganisme yang mampu mengubah fosfat tidak larut menjadi bentuk yang tersedia bagi tanaman. Proses ini terjadi melalui berbagai mekanisme, antara lain pembentukan khelat, produksi asam organik, serta sekresi enzim fosfatase (Wibowo *et al.*, 2022). Produksi asam organik oleh bakteri dapat menurunkan pH lingkungan sehingga melarutkan fosfat yang terikat dengan kation logam seperti Al, Fe, dan Ca (Sugianto *et al.*, 2018).

Meskipun fosfor banyak tersedia di dalam tanah, sebagian besar berada dalam bentuk tidak larut sehingga sulit diserap tanaman. Sekitar 75% fosfor dari pupuk dapat berikatan dengan partikel tanah dan menjadi tidak tersedia bagi tanaman. Tanaman hanya dapat menyerap fosfor dalam bentuk ion H_2PO_4^- atau HPO_4^{2-} . Keberadaan logam dalam tanah juga dapat menghambat ketersediaan fosfor. Bakteri endofit berperan penting dalam meningkatkan ketersediaan fosfor melalui

berbagai mekanisme, seperti pengasaman, pengikatan logam, pertukaran ion, produksi asam organik, serta sekresi enzim fosfatase yang melepaskan fosfor dari senyawa organik. (Soesanto dan Mugiastuti, 2023).

Ketersediaan fosfor yang cukup tidak hanya mendukung pertumbuhan tanaman, tetapi juga dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan hama. Pada tanaman kentang, fosfor mampu menurunkan tingkat kesesuaian tanaman sebagai inang melalui perubahan metabolit sekunder seperti fenolik dan terpen.

Akumulasi senyawa fenolik, misalnya tanin dan lignin dapat berfungsi sebagai penghalang makan (antifeedant) atau bahkan bersifat insektisida bagi serangga herbivor (Facknath dan Lalljee, 2005).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2025 hingga Januari 2026. Kegiatan dilakukan di Gedung Pusat Kajian Cassava, Kelapa Sawit, Tebu, Kopi, Lada dan Kakao, Fakultas Pertanian serta Laboratorium Bioteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi autoklaf, *laminar air flow* (LAF), mikropipet, pinset, cawan petri, gelas beker, tabung erlenmeyer, tisu, spidol, batang drigalski, plastik wrap, nampan, jarum ose, kaca preparat, tabung reaksi beserta raknya, lampu bunsen, kapas, gelas ukur, pembakar bunsen, bor gabus, *rotamixer*, *microwave*, timbangan digital, *magnetic stirrer*, penggaris, *aluminium foil*, plastik tahan panas, gunting, karet gelang, pisau, kertas label, polibag, toples, tabung mikro (microtube), serta alat tulis.

Bahan yang digunakan meliputi serangga *E. kamerunicus*, media *potato dextrose agar* (PDA), *yeast peptone agar* (YPA), *water agar* (WA), media Pikovskaya, *potato peptone glucose agar* (PPGA), media oksidatif/fermentatif (O/F), agar, kentang, tisu, alkohol 70%, spiritus, air steril, larutan klorok, PBS (*phosphate buffered saline*), asam laktat, daun tembakau, glukosa, yeast extract pepton, benih mentimun, dan larva *Tenebrio molitor*.

3.3 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian meliputi pengambilan sampel yang dilakukan oleh orang lain, isolasi bakteri, karakterisasi bakteri, pengujian kemampuan pelarut fosfat, serta uji patogenisitas terhadap serangga indikator.

3.3.1 Pengambilan sampel

Sampel *E. kameruncius* diambil dari empat provinsi berbeda, yaitu Provinsi Sumatera Barat (Kabupaten Pasaman Barat), Provinsi Sumatera Utara (Kabupaten Asahan, Serdang Bedagai dan Simalungun), Provinsi Sumatera Selatan (Kabupaten Banyuasin dan Muara Enim), dan Provinsi Lampung (Kabupaten Lampung Selatan, Lampung Tengah, dan Pesawaran). Serangga sampel dikoleksi menggunakan aspirator steril dan dimasukkan ke dalam wadah steril untuk selanjutnya dibawa ke laboratorium.

3.3.2 Penyiapan media

3.3.2.1 Media YPA

Media YPA digunakan untuk isolasi bakteri. Komposisi media terdiri atas 10 g pepton, 5 g yeast extract, 20 g agar batang, dan 1000 mL akuades. Seluruh bahan dicampurkan dalam tabung erlenmeyer, kemudian ditutup dengan aluminium foil dan disterilkan menggunakan autoklaf pada suhu 121°C dengan tekanan 1 atm selama 15 menit.

3.3.2.2 Media PPGA

Media PPGA digunakan untuk peremajaan isolat bakteri. Komposisi media terdiri dari 200 g kentang, 3 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 3 g NaCl, 0,5 g KH_2PO_4 , 5 g glukosa, 20 g agar, dan 1000 mL akuades. Seluruh bahan dimasukkan ke dalam tabung erlenmeyer, ditutup dengan aluminium foil, kemudian dipanaskan menggunakan microwave hingga larut. Setelah homogen, media dituangkan ke dalam tabung reaksi dan disterilkan menggunakan autoklaf pada suhu 121°C dengan tekanan 1 atm selama 15 menit.

3.3.2.3 Media Oksidatif Fermentatif (O/F)

Media O/F digunakan untuk melakukan uji oksidatif-fermentatif (OF) pada bakteri. Pembuatan media dilakukan dengan mencampurkan 9,38 g OF basal medium, 10 g glukosa, dan 1000 mL akuades. Media kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan dipanaskan menggunakan microwave hingga larut. Selanjutnya, media dituangkan ke dalam tabung reaksi masing-masing sebanyak 4 mL, dan disterilkan menggunakan autoklaf pada suhu 121°C dengan tekanan 1 atm selama 15 menit.

3.3.2.4 Media Pikovskaya

Media Pikovskaya digunakan untuk uji pelarut fosfat. Sebanyak 31,3 g media Pikovskaya dilarutkan dalam 1000 mL akuades, dan 2 g agar batang ke dalam erlenmeyer, kemudian disterilkan menggunakan autoklaf pada suhu 121°C dengan tekanan 1 atm selama 15 menit.

3.3.3 Isolasi Bakteri dari *E. kamerunicus*

Serangga dimasukkan ke dalam tabung mikro 1,5 mL yang berisi 500 µL PBS steril. Dua individu serangga digerus secara aseptik menggunakan pinset steril, kemudian diinkubasi selama 15 menit. Suspensi bakteri diambil menggunakan ose steril dan digoreskan pada media YPA dengan metode gores tiga kuadran hingga diperoleh koloni tunggal. Koloni tunggal yang terbentuk kemudian dimurnikan pada media PPGA.

3.3.4 Karakterisasi Bakteri

3.3.4.1 Uji Gram

Uji Gram dilakukan menggunakan metode KOH 3%. Satu ose isolat bakteri berumur 24 jam diletakkan pada kaca preparat, kemudian ditambahkan 10 µL larutan KOH 3% dan diaduk selama satu menit. Apabila terbentuk lendir, bakteri dikategorikan Gram negatif, jika tidak terbentuk lendir, dikategorikan Gram positif (Kurnia dkk., 2016).

3.3.4.2. Uji Soft rot

Uji *soft rot* dilakukan untuk mengetahui apakah isolat bakteri merupakan penyebab busuk lunak. Umbi kentang dipotong setebal ± 1 cm, lalu dicuci dengan air mengalir selama 30 menit. Potongan kentang ditempatkan di dalam cawan petri beralas tisu lembap. Isolat bakteri berumur 24 jam digoreskan menggunakan pada permukaan kentang dan diinkubasi selama 24 jam. Terbentuknya pelunakan jaringan menunjukkan hasil positif (Suharjo et al., 2022).

3.3.4.3. Uji Kemampuan Bakteri sebagai Pelarut fosfat

Pengujian ini bertujuan untuk menilai kemampuan bakteri yang berasosiasi dengan *E. kamerunicus* dalam melarutkan fosfat dengan menggunakan media Pikovskaya. Cawan petri yang telah berisi media diberi garis pembatas pada bagian bawahnya sehingga terbagi menjadi empat bagian. Pada masing-masing bagian diinokulasikan satu ose isolat bakteri. Pengamatan dilakukan selama tujuh hari dengan mencatat terbentuknya zona bening di sekitar koloni bakteri. Zona bening tersebut dijiplak menggunakan plastik transparan dan spidol, kemudian luasnya diukur dengan bantuan kertas milimeterblok. Semakin besar diameter zona bening yang muncul, semakin tinggi pula kemampuan bakteri dalam melarutkan fosfat (Suartini dkk., 2015).

Indeks pelarutan fosfat (PSI) ditentukan dengan rumus yang dikemukakan (Sharon et al., 2016) sebagai berikut:

$$PSI = \frac{dk+dzb}{dk}$$

Keterangan:

PSI = *Phosphate solvent indeks*,

dk = diameter koloni, dan

dzb = diameter zona bening.

Efisiensi pelarutan kemudian diklasifikasikan berdasarkan nilai PSI. Menurut Marra et al. (2012), bakteri dikategorikan memiliki kemampuan rendah apabila $PSI < 2$, sedang jika $2 < PSI < 4$, dan tinggi apabila $PSI > 4$.

3.3.4.4. Uji Hipersensitif

Uji hipersensitif dilakukan untuk mengetahui apakah isolat bakteri bersifat patogen pada tanaman. Prosedur pengujian dimulai dengan mengambil satu ose isolat bakteri berumur 24 jam, kemudian disuspensikan dalam 0,5 mL air steril di dalam tabung eppendorf 1,5 mL dan dihomogenkan menggunakan rotamixer. Selanjutnya, sebanyak 0,5 mL suspensi bakteri diinokulasikan pada daun tembakau dengan cara disuntikkan di antara lapisan epidermis menggunakan jarum suntik 1 cc. Daun yang telah diinokulasi diberi label dan diinkubasi selama 24 jam.

Reaksi hipersensitif ditunjukkan dengan munculnya gejala nekrosis pada area daun yang diinokulasi (Saadah dan Rahmadhini, 2023). Sebaliknya, jika tidak terbentuk nekrosis, maka uji dinyatakan negatif, yang berarti bakteri tersebut tidak berpotensi sebagai patogen tanaman (Marsaoli dkk., 2019).

3.3.4.5. Uji Oksidatif/Fermentatif (O/F)

Uji O/F (Oksidatif/Fermentatif) dilakukan untuk mengetahui apakah isolat bakteri bersifat aerob atau anaerob. Pengujian menggunakan media O/F (basal medium) yang dibuat dari campuran 9,8 g bubuk O/F Basal Medium, 10 g D-glukosa 1%, dan 1000 mL akuades. Media tersebut kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi masing-masing 4 mL, lalu disterilisasi.

Isolat bakteri berumur 24 jam diambil dengan jarum ent dan diinokulasikan dengan cara ditusukkan hingga dasar tabung, lalu jarum diangkat perlahan. Pada salah satu tabung ditambahkan 1 mL minyak parafin steril, sedangkan tabung lainnya dibiarkan tanpa penambahan parafin. Pengamatan dilakukan selama 7–14 hari. Apabila medium yang ditutup parafin berubah menjadi kuning, hal ini menandakan bakteri mampu memanfaatkan karbohidrat dalam kondisi anaerob melalui fermentasi, sehingga digolongkan sebagai bakteri fermentatif. Sebaliknya, jika perubahan warna kuning hanya terjadi pada medium tanpa parafin, maka bakteri memanfaatkan karbohidrat dalam kondisi aerob melalui oksidasi, sehingga bersifat oksidatif (Arfiandi dan Tumbol, 2020).

3.3.4.6. Uji Hipovirulen

Pengujian hipovirulen dilakukan dengan menggunakan tanaman mentimun sebagai tanaman indikator. Benih mentimun terlebih dahulu direndam dalam air hangat bersuhu ± 40 °C selama 30 menit untuk memisahkan benih hampa dari yang sehat. Selanjutnya, benih disterilisasi dengan perendaman dalam alkohol 70% selama 10 detik, kemudian dibilas tiga kali menggunakan akuades steril. Benih steril dikecambahkan di atas nampan berisi kertas merang lembap, yang ditutup dengan plastik wrap, dan dibiarkan selama dua hari hingga berkecambah. Setelah berkecambah, tiga kecambah dipindahkan ke dalam setiap cawan petri berisi media *Water Agar* (WA) dan diinkubasi selama satu hari.

Suspensi bakteri disiapkan dengan mencampurkan satu ose isolat bakteri berumur 24 jam ke dalam 1 mL air steril di dalam tabung eppendorf, lalu dihomogenkan. Sebanyak 10 μ L suspensi bakteri tersebut diteteskan pada bagian hipokotil masing-masing kecambah, dengan tiga kali ulangan. Pengamatan dilakukan setiap hari selama 14 hari untuk melihat perkembangan gejala penyakit pada hipokotil. Tingkat keparahan penyakit dihitung dengan menggunakan rumus Indeks Keparahannya Penyakit (DSI) (Supriyanto dkk., 2009):

$$DSI = \frac{\sum N}{Z}$$

Keterangan:

DSI : *Disease Severity Index* (Indeks Keparahannya Penyakit),

N : Nilai tingkat keparahan penyakit pada masing-masing individu, dan

Z : Jumlah individu yang diamati.

Apabila gejala yang timbul pada kecambah hanya sedikit ($DSI \leq 2,0$) (Tabel 1) maka isolat tersebut termasuk sebagai isolat yang hipovirulen atau bakteri yang tidak termasuk patogen atau bakteri yang memiliki virulensi rendah (Suharjo *et al.*, 2018).

Tabel 1. Skor keparahan penyakit

Skor	Gejala
0	Sehat, tidak ada infeksi pada hipokotil
1	Satu atau dua bercak coklat muda berukuran $\leq 0,25$ cm
2	Bercak coklat terang (ukuran 0,25-0,5 cm) luas daerah basah pada kecambah $\leq 10\%$
3	Bercak coklat terang sampai gelap (ukuran ≥ 1 cm) luas daerah basah pada kecambah 10-100%
4	Bercak hitam pada hipokotil, daun layu dan bibit mati

3.3.4.7. Uji Patogenisitas terhadap Serangga Uji

Uji patogenisitas dilakukan untuk mengetahui kemampuan isolat bakteri dalam menginfeksi dan menyebabkan kematian pada serangga. Serangga indikator yang digunakan adalah larva *T. molitor* dengan ukuran seragam dan digunakan 60 larva per 1 isolat bakteri. Menurut (Risdiyanti *et al.*, 2022), *T. molitor* termasuk ordo Coleoptera dan dikenal sebagai salah satu inang alternatif bagi entomopatogen. Sementara itu, Canteri de Souza *et al.* (2018) menyebutkan bahwa *T. molitor* memiliki sejumlah keunggulan sebagai organisme model dalam mempelajari interaksi mikroba patogen. Pertama, larva ini dapat dipelihara pada suhu 37°C, yang penting untuk menginduksi faktor virulensi banyak patogen. Kedua, ukurannya relatif besar sehingga memungkinkan pengambilan hemolimfa dalam volume yang cukup (5–10 μL /larva). Ketiga, larva yang terinfeksi dan mati akan berubah warna menjadi coklat akibat proses melanisasi, sehingga gejala kematian mudah dikenali. Selain itu, *T. molitor* mudah diperoleh, dipelihara, dan sering digunakan sebagai serangga indikator dalam uji awal potensi entomopatogen.

Metode uji dilakukan dengan cara penyemprotan. Suspensi bakteri berumur 24 jam disiapkan dengan kepadatan sekitar 10^7 CFU/mL. Isolat bakteri terlebih dahulu ditumbuhkan dalam 5 mL media YP Broth dan diinkubasi menggunakan shaker selama 24 jam. Kultur tersebut kemudian dipindahkan ke 5 mL media YP

Broth dan kembali diinkubasi dengan shaker selama 6 jam. Suspensi hasil perbanyakan dimasukkan ke dalam botol semprot, lalu diaplikasikan sebanyak 1,5 mL pada larva uji dengan jarak semprot 5–10 cm. Setiap isolat diuji dalam tiga kali ulangan, masing-masing dengan sepuluh ekor larva. Setelah perlakuan, larva diberi pakan dan dipelihara hingga 14 hari untuk diamati tingkat mortalitasnya. Larva yang mati selama periode pengamatan dianggap menunjukkan adanya potensi patogenitas dari bakteri yang diuji. Kemudian untuk perlakuan kontrol, larva disemprotkan menggunakan air steril.

Persentase mortalitas larva dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{ Mortalitas} = \left(\frac{\text{serangga mati}}{\text{serangga uji}} \right) \times 100\%$$

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

1. Diperoleh bakteri yang berasosiasi dengan imago *E. kamerunicus* dari empat provinsi yang berbeda sebanyak 177 isolat telah berhasil diisolasi.
2. Bakteri yang berasosiasi dengan *E. kamerunicus* mampu melarutkan fosfat terbukti dengan hasil uji pelarut fosfat sebanyak 116 isolat mampu melarutkan fosfat dengan tingkat PSI yang variative, dan
3. Bakteri yang berasosiasi dengan *E. kamerunicus* mampu menyebabkan mortalitas pada serangga uji terbukti dengan hasil uji patogenisitas sebanyak 115 isolat mampu menyebabkan mortalitas dengan persentase yang variatif dan 10 isolat terbaik dapat menyebabkan mortalitas >15%.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperlukan uji lanjut mengenai isolat-isolat bakteri yang diperoleh seperti menguji isolat tersebut ke hama-hama kelapa sawit seperti *Oryctes rhinoceros*, *Sethotosea asigna*, dan *Metisa plana* dan pengujian ke serangga *E. kamerunicus* sendiri serta mengidentifikasi isolat bakteri tersebut agar dapat menambah riset dan pengembangan perkebunan kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M., Amimartha, F. A., & Puspita, F. 2023. Uji antagonisme isolat jamur endofit tanaman pinang terhadap ganoderma boninense Pat. Penyebab penyakit busuk pangkal batang kelapa sawit. *Jurnal AGROHITA: Jurnal Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Tapanuli Selatan*. 8(1): 17-27.
- Asrul, A., Arwiyanto, T., Hadisutrisno, B., dan Widada, J. 2019. Karakterisasi patogen hawar daun bakteri secara fenotipik pada bawang merah (*Allium cepa* L. kelompok Aggregatum). *Agroland: Jurnal Ilmu-ilmu Pertanian*. 26(1): 58-68.
- Arfiandi, T. R. dan Tumbol, R.A. 2020. Isolasi dan identifikasi bakteri patogen pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang dibudidayakan di Kecamatan Dimembe Kabupaten Minahasa Utara tahun 2019. *Budidaya Perairan*. 8(1): 19-26.
- Berry, C. 2012. The bacterium, *Lysinibacillus sphaericus*, as an insect pathogen. *Journal of Invertebrate Pathology*, 109(1): 1-10.
- Canteri de Souza, P., Custódio Caloni, C., Wilson, D., dan Sergio Almeida, R. 2018. An invertebrate host to study fungal infections, mycotoxins and antifungal drugs: *Tenebrio molitor*. *Journal of Fungi*. 4(4): 125-137.
- Collmer, A., Badel, J. L., Charkowski, A. O., Deng, W. L., Fouts, D. E., Ramos, A. R., Rehm, A. H., Anderson, D. M., Schneewind, O., van Dijk, K., and Alfano, J. R. 2000. *Pseudomonas syringae* type III secretion system and effector proteins. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 97(16): 8770–8777.
- Da Silva, W. J., Pilz-Júnior, H. L., Heermann, R., and da Silva, O. S. 2020. The great potential of entomopathogenic bacteria *Xenorhabdus* and *Photorhabdus* for mosquito control: A review. *Parasites & Vectors*.13: 376.
- Douglas, A. E. 2015. Multiorganismal insects: diversity and function of resident microorganisms. *Annual Review of Entomology*. 60: 17-34.
- Efendi, S. 2022. Dinamika populasi *Elaeidobius kamerunicus* Faust (Coleoptera: Curculionidae) pada kelapa sawit aksesori kamerun dan angola. *Agrisaintifika: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*. 6(1): 7-8.
- Engel, P. and Moran, N. A. 2013. The gut microbiota of insects diversity in structure and function. *FEMS Microbiology Reviews*, 37(5): 699–735.

- Facknath, S. and Lalljee, B. 2005. Effect of soil-applied complex fertiliser on an insect–host plant relationship: *Liriomyza trifolii* on *Solanum tuberosum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 115(1): 67-77.
- Fitriana, Y., Tampubolon, D. A. T., Suharjo, R., Lestari, P., and Swibawa, I. G. 2022. *Lysinabacillus fusiformis* and *Paenibacillus alvei* obtained from the internal of revealed their ability as antagonist of plant pathogenic fungi. *The Plant Pathology Journal*. 38(5): 449.
- Gintoron, C. S., Mohammed, M. A., Sazali, S. N., Deka, E. Q., Ong, K. H., Shamsi, I. H., and King, P. J. H. 2023. Factors affecting pollination and pollinators in oil palm plantations: a review with an emphasis on the *Elaeidobius kamerunicus* weevil (Coleoptera: Curculionidae). *Insects*. 14(5): 454.
- Hafsari, A. R. dan Pertiwi, V. D. 2017. Isolasi dan identifikasi kapang pelarut fosfat dari fosfat guano gua pawon. *Biota: Biologi dan Pendidikan Biologi*. 10(2): 165-180.
- Hutauruk, C. H., Sipayung, A., dan Soedharto, P. S. 1982. *Elaeidobius kamerunicus* Faust: hasil uji kekhususan inang dan peranannya sebagai penyerbuk kelapa sawit. *Buletin Pusat Penelitian Marihat*. 3(2): 7-21.
- Kaltenpoth dan Flórez, L. V. M. 2020. Versatile and dynamic symbioses between insects and Burkholderia bacteria. *Annual Review of Entomology*. 65(1): 145-170.
- Klement, Z. 1963. Rapid detection of the pathogenicity of phytopathogenic *pseudomonads*. *Nature*. 199(4890): 299-300.
- Kurnia, K. 2016. Isolasi bakteri heterotrof di situ cibuntu, jawa barat dan karakterisasi resistensi asam dan logam. *Al-Kauniyah: Jurnal Biologi*. 9(2): 74-79.
- Lacey, L. A., Grzywacz, D., Shapiro-Ilan, D. I., Frutos, R., Brownbridge, M., and Goettel, M. S. 2015. Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *Journal of Invertebrate Pathology*. 132: 1-41.
- Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. M., & Stahl, D. A. 2018. *Brock biology of microorganisms*. 15th Global Edition. Boston, US: Benjamin Cummins, 1, 1391-1407.
- Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. M., and Stahl, D. A. 2021. *Brock Biology of Microorganisms* (16th ed.). Pearson.
- Marra, L. M., Soares, C. R. F. S., Oliviera, S. M., Ferreira, P. A. A., Soares, B. L., Carvalho, R. F., Lima, J. M., dan Moreira, F. M. S. 2012. Biological nitrogen fixation and phosphate solubilization by bacteria isolated from tropical soils. *Plant and Soil*. 357: 289-307.
- Marsaoli, F., Matinahoru, J. M., dan Leiwakabessy, C. 2019. Isolasi, seleksi, dan uji antagonis bakteri endofit diisolasi dari Salawaku (*Falcataria mollucana*) dalam menekan pertumbuhan cendawan patogen *Cercospora* spp. *Agrologia*. 8(2): 44-54.

- Mollah, M. M. I., dan Kim, Y. 2020. Virulent secondary metabolites of entomopathogenic bacteria genera, *Xenorhabdus* and *Photorhabdus*, inhibit phospholipase A2 to suppress host insect immunity. *BMC microbiology*. 20(1): 359.
- Morales-Salmerón, L., Fernández-Boy, E., Herrador, B., León, R., and Domínguez, M. T. 2025. Does an enhanced microbial diversity promote the resistance of soil multifunctionality against drought events in amended soils?. *Biology and Fertility of Soils*. 61(6): 1013-1031.
- Nurindah. 2015. *Elaeidobius kamerunicus: Penyerbukan dan Fruit Set*. pp. 5–7. Kampus IPB Dramaga, Bogor.
- Pérombelon, M. C. M. 2002. Potato diseases caused by soft rot erwinias: An overview of pathogenesis. *Plant Pathology*. 51(1): 1-12.
- Putri, A. A., Sugiharti, M., Michael, A., Meryandini, A., and Suwanto, A. 2023. Microbiome Structure Analysis of Oil Palm Pollinator *Elaeidobius kamerunicus* (Coleoptera; Curculionidae). *HAYATI Journal of Biosciences*. 30(6): 1155-1166.
- Raymond, B., Wyres, K. L., Sheppard, S. K., Ellis, R. J., and Bonsall, M. B. 2010. Environmental factors determining the epidemiology and population genetic structure of the *Bacillus cereus* group in the field. *PLoS Pathogens*. 6(5): 1-2.
- Ruii, L. 2015. Insect pathogenic bacteria in integrated pest management. *Insects*. 6(2): 352-367.
- Risdiyanti, R. L., Widayati, W., dan Suryaminarsih, P. 2022. *Exploration and identification of the entomopathogenic fungus Metarhizium anisopliae in corn plants in Sebandung Village, Sukorejo, Pasuruan*. NST Proceedings. pp. 8-13.
- Rushidi, M. N. A., Azhari, M. L. H., Yaakop, S., and Hazmi, I. R. 2023. Detection and characterisation of endosymbiont *Wolbachia* (Rickettsiales: Anaplasmataceae) in *Elaeidobius kamerunicus* (Coleoptera: Curculionoidea), pollinating agent of oil palm, and its relationships between populations. *Tropical Life Sciences Research*. 34(3): 95-111.
- Saputra, R., Puspita, F., Hamzah, A., Irfandri, & Suryani, E. (2022). Morphological characterization of *Trichoderma spp.* isolated from the oil palm rhizosphere in peat soils and its potential as a biological control for *Ganoderma boninense* in vitro. *Jurnal Ilmiah Pertanian*. 19(2): 56-68.
- Schnepf, E., Crickmore, N., Van Rie, J., Lereclus, D., Baum, J., Feitelson, J., and Dean, D. 1998. *Bacillus thuringiensis* and its pesticidal crystal proteins. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 62(3): 775-806.
- Soesanto, L. dan Mugiastuti, E. 2023. *Eksplorasi, Potensi, dan Pemanfaatan Mikroba Endofit Bagi Kesehatan Tanaman dan Manusia serta Keuntungan Ekonomi*. CV Andi Offset. Yogyakarta.

- Susanti, R., Widiyanti, F., dan Dono, D. 2024. Identifikasi molekuler isolat bakteri entomopatogen, uji keamanan hayati serta potensinya untuk pengendalian serangga hama. *Agricoltura*. 35(3): 459-472.
- Sharon, J. A., Hathwaik, L. T., Glenn, G. M., Imam, S. H., dan Lee, C. C. 2016. Isolation of efficient phosphate solubilizing bacteria capable of enhancing tomato plant growth. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 16(2): 525-536.
- Sholehana, A. 2010. *Demografi Kumbang Penyerbuk Kelapa Sawit, Elaeidobius kamerunicus (Coleoptera: Curculionidae)*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Suartini, N. L. P. E. S., Darmayasa, I. B. G., dan Ardhana, I. P. G. 2015. Uji keberadaan dan karakterisasi mikroba pelarut fosfat pada berbagai merek pupuk organik. *Jurnal Biologi*. 17(2): 42-46.
- Sugianto, S. K., Shovitri, M., dan Hidayat, H. 2018. Potensi rhizobakteri sebagai pelarut fosfat. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 7(2): 71-74.
- Suharjo, R., Aeny, T. N., Hasanudin, U., Sukmaratri, T. E., Krisno, R., Khoironi, T., and Safitri, D. A. 2018. Potential of endophytic bacteria as plant growth promoter and antagonist against pineapple-fungal plant pathogen in Indonesia. *Proceedings of the International Symposium on Innovative Crop Protection for Sustainable Agriculture 2018*. Gifu. Gifu University.
- Supriyanto, S., Priyatmojo, A., dan Arwiyanto, T. 2009. Penapisan PGPF untuk pengendalian penyakit busuk lunak lidah buaya (*Aloe vera*) di tanah gambut. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 15(2): 71-82.
- Tanada, Y. and Kaya, H. K. 2012. *Insect Pathology*. Academic Press.
- Tambunan, V. B., Sahari, B., Buchori, D., and Hidayat, P. 2020. Pollen load and distribution on the body of *Elaeidobius kamerunicus* Faust (Coleoptera: Curculionidae) within oil palm plantations. *Jurnal Entomologi Indonesia*. 17(2): 81-88.
- Tomar, P., Thakur, N., Jhamta, S., Chowdhury, S., Kapoor, M., Singh, S., and Yadav, A. N. 2024. Bacterial biopesticides: Biodiversity, role in pest management and beneficial impact on agricultural and environmental sustainability. *Heliyon*. 10(11): 2-3.
- Umadi, S. S., Ilyas, S., dan Widyastuti, R. 2023. Karakterisasi dan viabilitas bakteri penambat nitrogen dan bakteri pelarut fosfat dalam media pembawa biochar. *Jurnal Ilmu Tanah Lingkungan*. 25(2): 40-45.
- Wibowo, R. H., Sembiring, S. R., Sipriyadi, S., Darwis, W., Supriyati, R., Hidayah, T., dan Yudha, S. P. 2022. Kemampuan bakteri endofit pelarut fosfat dari tumbuhan akar kuning (*Arcangelisia flava* (L.) Merr) Asal Pulau Enggano, Provinsi Bengkulu. Al-Kauniyah: *Jurnal Biologi*. 15(2): 171-181.

- Wu, L., Shang, H., Wang, Q., Gu, H., Liu, G., and Yang, S. 2016. Isolation and characterization of antagonistic endophytes from *Dendrobium candidum* Wall ex Lindl., and the biofertilizing potential of a novel *Pseudomonas saponiphila* strain. *Applied Soil Ecology*. 105: 101-108.
- Yatni, Y., Tuhumury, G. N., dan Leiwakabessy, C. 2018. Potensi bakteri endofitdari tanaman sagu (*Metroxylon* spp.) sebagai agens pemacu pertumbuhan tanaman padi. *Jurnal Budidaya Pertanian*. 14(2): 75-80.