

**PENGARUH DAN KARAKTERISASI FORMULASI BIOPESTISIDA
DENGAN PENAMBAHAN EKSTRAK PUPA MAGGOT BSF (*Hermetia
illucens*) TERHADAP *Phytophthora* PADA TANAMAN TOMAT**

Skripsi

**Lyra Carisca Tresya
NPM 2217061048**



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

**PENGARUH DAN KARAKTERISASI FORMULASI BIOPESTISIDA
DENGAN PENAMBAHAN EKSTRAK PUPA MAGGOT BSF (*Hermetia
illucens*) TERHADAP *Phytophthora* PADA TANAMAN TOMAT**

Oleh

**Lyra Carisca Tresya
2217061048**

Skripsi

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

Pada

**Program Studi Biologi Terapan
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

PENGARUH DAN KARAKTERISASI FORMULASI BIOPESTISIDA DENGAN PENAMBAHAN EKSTRAK PUPA MAGGOT BSF (*Hermetia illucens*) TERHADAP *Phytophthora* PADA TANAMAN TOMAT

Oleh

Lyra Carisca Tresya
2217061048

Phytophthora merupakan patogen penting yang menyebabkan kerusakan serius pada tanaman tomat dan menurunkan hasil panen secara signifikan. Penggunaan fungisida kimia secara berlebihan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan mendorong resistensi patogen. Biopestisida berbasis mikroorganisme telah digunakan sebagai alternatif ramah lingkungan, namun efektivitasnya masih perlu ditingkatkan. Pupa maggot BSF (*Hermetia illucens*) diketahui mengandung senyawa bioaktif yang berpotensi sebagai agen antimikroba. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi formulasi biopestisida dengan penambahan ekstrak pupa maggot melalui uji senyawa bioaktif serta mengevaluasi efektivitasnya dalam formulasi biopestisida dan konsentrasi yang paling efektif dalam menghambat pertumbuhan *Phytophthora* secara *in vitro* dan *in vivo*. Perlakuan terdiri dari enam perlakuan dengan biopestisida 10% tanpa ekstrak dan konsentrasi ekstrak (2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5%) dalam biopestisida 10% pada masing-masing perlakuan. Uji *in vitro* dilakukan dengan mengukur diameter koloni jamur pada media PDA, sementara uji *in vivo* dilakukan pada tanaman tomat untuk mengamati kejadian dan keparahan penyakit. Data dianalisis menggunakan uji homogenitas dan dilanjutkan dengan uji ANOVA satu arah, jika terdapat perbedaan dilanjutkan dengan uji dengan uji BNJ dengan taraf kepercayaan 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan ekstrak pupa maggot BSF berpengaruh nyata terhadap penghambatan pertumbuhan *Phytophthora*. Konsentrasi 7,5% memberikan penghambatan diameter koloni dan penurunan keparahan penyakit paling optimal, sedangkan konsentrasi 12,5% paling baik dalam menekan kejadian penyakit. Dengan demikian, ekstrak pupa maggot BSF berpotensi dikembangkan sebagai bahan tambahan dalam formulasi biopestisida yang efektif dan ramah lingkungan untuk pengendalian *Phytophthora* pada tanaman tomat.

Kata Kunci: *Phytophthora* spp., Pupa maggot (*Hermetia illucens*.), Biopestisida, *In vitro*, *In vivo*, Senyawa bioaktif.

ABSTRACT

THE EFFECT AND CHARACTERIZATION OF BIOPESTICIDE FORMULATION WITH THE ADDITION OF BSF MAGGOT PUPA EXTRACT (*Hermetia illucens*) ON *Phytophthora* IN TOMATO PLANTS

By
Lyra Carisca Tresya
2217061048

Phytophthora is an important pathogen that causes serious damage to tomato plants and significantly reduces crop yields. Excessive use of chemical fungicides has a negative impact on the environment and encourages pathogen resistance. Microorganism-based biopesticides have been used as an environmentally friendly alternative, but their effectiveness still needs to be improved. Maggot pupae BSF (*Hermetia illucens*) are known to contain bioactive compounds that have the potential as antimicrobial agents. This study aims to characterize the biopesticide formulation with the addition of maggot pupa extract through bioactive compound testing and to evaluate its effectiveness in the biopesticide formulation and the most effective concentration in inhibiting the growth of *Phytophthora* in vitro and in vivo. The treatments consisted of six treatments with biopesticide 10% without extract and extract concentrations (2.5%, 5%, 7.5%, 10%, and 12.5%) in biopesticide 10% in each treatment. In vitro testing was conducted by measuring the diameter of fungal colonies on PDA media, while in vivo testing was conducted on tomato plants to observe disease incidence and severity. Data were analyzed using a homogeneity test followed by a one-way ANOVA. Any differences were further analyzed using the HSD test at a 5% confidence level. The results showed that the addition of BSF maggot pupa extract significantly inhibited *Phytophthora* growth. A concentration of 7.5% provided the most optimal inhibition of colony diameter and reduction in disease severity, while a concentration of 12.5% was the best in suppressing disease incidence. Thus, BSF maggot pupa extract has the potential to be developed as an additive in an effective and environmentally friendly biopesticide formulation for controlling *Phytophthora* in tomato plants.

Keywords: *Phytophthora* spp., Pupa maggot BSF (*Hermetia illucens*.), Biopesticide, *In vitro*, *In vivo*, Bioactive compounds.

Judul Skripsi : **Pengaruh dan Karakterisasi Formulasi
Biopestisida dengan Penambahan Ekstrak Pupa
Maggot BSF (*Hermetia illucens*) terhadap
Phytophthora pada Tanaman Tomat**

Nama Mahasiwa : **Lyra Carisca Tresya**

NPM : 2217061048

Jurusan/ Program Studi : **Biologi/ Biologi Terapan**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



Pembimbing I

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

Pembimbing II

Enur Azizah, S.Si., M.Si.
NIP. 199208062023212026

2. Ketua Jurusan Biologi FMIPA

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc.



Sekretaris : Enur Azizah, S.Si., M.Si.



Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Sri Wahyuningsih, M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **05 Maret 2026**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Lyra Carisca Tresya
NPM : 2217061048
Jurusan : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa skripsi berjudul:

“Pengaruh dan Karakterisasi Formulasi Biopestisida Dengan Penambahan Ekstrak Pupa Maggot (*Hermetia illucens*) Terhadap *Phytophthora* pada Tanaman Tomat”.

Baik gagasan, data, maupun pembahasannya adalah benar asli karya sendiri berdasarkan pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini tidak berisi material yang telah di publikasikan sebelumnya atau dengan kata lain plagiat karya orang lain.

Dengan demikian dapat dipertanggungjawabkan apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ilmiah ini, maka saya bersedia menerima hukuman/sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Bandarlampung, 06 Maret 2026

Penulis,



Lyra Carisca Tresya
NPM. 2217061048

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Gadingrejo, Pringsewu, Lampung, pada tanggal 29 Desember 2003. Penulis merupakan anak ke-8 dari 9 bersaudara anak dari pasangan bapak Rahapto dan ibu Darmini. Penulis menempuh pendidikan di TK Darussalam pada tahun 2008-2010, Pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SDN 4 Gadingrejo pada tahun 2010-2016, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 1 Gadingrejo pada tahun 2016-2019, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 1 Gadingrejo pada tahun 2019-2022.

Pada tahun 2022, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi Biologi Terapan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Penulis aktif menjadi Asisten Laboratorium Botani dan Asisten Praktikum mata kuliah Genetika, Mikrobiologi Bahan Pangan, Fitofarmaka, Parasitologi Klinis, dan Fitopatologi. Penulis juga menerbitkan artikel ilmiah berjudul “ Biopesticides Formulation Of Bsf Pupa Extract (*Hermetia illucens*) For *Phytophthora* Control in Tomato” Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) pada bulan Desember tahun 2024 sampai dengan bulan Januari tahun 2025 di PT. Great Giant Pineapple Provinsi Lampung dan telah menyelesaikan laporan praktik kerja lapangan dengan judul “Efektivitas Formulasi Biopestisida dengan Penambahan Pupa Maggot BSF Terhadap Pertumbuhan *Phytophthora* pada Tanaman Nanas” . Kemudian, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada bulan Juni-Agustus 2025 di Kelurahan Kota Karang, Kecamatan Teluk Betung Timur, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung.

MOTTO

“..... janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah. Sesungguhnya tidak ada yang berputus asa dari rahmat Allah, kecuali kaum yang kafir.”

(Q.S. Yusuf: 87)

“ Bersyukurlah kepada Allah! Siapa yang bersyukur, sesungguhnya dia bersyukur untuk dirinya sendiri. Siapa yang tidak bersyukur (kufur), sesungguhnya Allah Mahakaya lagi Maha Terpuji.”

(Q.S. Al Luqman: 12)

“Allah is not in a hurry, you are. That’s why you’re anxious, stressed, and disappointed. Trust what was meant to be yours, will be yours. Unrush yourself.”

(Aiishadahir)

“The place in which I’ll fit will not exist until I make it”

(James Baldwin)

“Be the person who still tries. After failure, frustration, disappointment, exhaustion, and heartache, be the person who musters up the courage to believe that a new attempt can manifest a new outcome. Be the person who still tries.”

“A skripsi is not about perfection, but completion”

PERSEMBAHAN

*Bismillahirrohmanirohim. Alhamdulillahirabbil'Alamin.
Allahuma sholli ala sayyidina Muhammad, wa 'ala ali sayyidina Muhammad.*

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah Yang Maha Kuasa atas berkat dan ramhat-Nya, saya persembahkan skripsi yang saya kerjakan dengan sepenuh hati ini kepada:

*Kedua Orang Tuaku,
Bapak Rahapto dan Ibu Darmini*

yang telah memberikan doa, cinta, dan kasih sayang tak terhingga serta tak kenal lelah dalam mendidik dan memberikan dukungan kepada saya sehingga skripsi ini dapat selesai lebih cepat.

*Kakak-kakak dan Adikku,
**Indarto, Yudi Prayitno, Epriyanto, Rudyanto, Nia Novelia, Widya Pramitha,
Adi Desta Ramadhan, dan Albert Marshando***

yang selalu memberikan semangat dan dukungan kepada saya hingga saya menyelesaikan pendidikan ini.

*Bapak, Ibu Dosen Pembimbing dan Pembahas,
**Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc., Enur Azizah, S.Si., M.Si.,
Sri Wahyuningsih, M.Si.***

yang sudah sepenuh hati dalam membimbing dan membantu saya selama proses pembuatan skripsi ini hingga selesai.

Kepada sahabat-sahabatku yang selalu memberikan motivasi dan semangat untuk satu sama lain selama masa perkuliahan.

Serta Almamater tercinta Universitas Lampung.

SANWACANA

Alhamdulillahirobbil ‘alamiin, puji syukur kehadiran Allah SWT. yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Pengaruh Dan Karakterisasi Formulasi Biopestisida Dengan Penambahan Ekstrak Pupa Maggot (*Hermetia illucens*) Terhadap *Phytophthora* Pada Tanaman Tomat”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Universitas Lampung.

Dengan terselesaikannya skripsi ini karena ada dukungan baik do’a dan saran dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., ASEAN Eng. Selaku rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Jani Master, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung
4. Ibu Gina Dania Pratami, M.Si. selaku Kepala Program Studi S1 Biologi Terapan.
5. Bapak Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc. selaku dosen pembimbing I skripsi yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran serta memberikan arahan, kritik dan saran yang bermanfaat bagi penulis selama menyusun dan menyelesaikan skripsi ini. xii
6. Ibu Enur Azizah, M.Si. selaku dosen pembimbing II skripsi yang telah yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran serta memberikan arahan, bimbingan dan nasihat kepada penulis selama menyusun dan menyelesaikan skripsi ini.

7. Ibu Dr. Sri Wahyuningsih, M.Si. selaku Pembahas yang telah memberikan banyak kritik dan saran serta nasihat yang bermanfaat bagi penulis agar lebih berkembang menjadi pribadi yang lebih baik.
8. Bapak Priyambodo, S.Pd., M.Sc. selaku Pembimbing Akademik memberikan arahan, kritik dan saran yang bermanfaat bagi penulis.
9. Seluruh Staf Dosen dan staf karyawan Program Studi Biologi Terapan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang telah berjasa selama ini.
10. Kedua orang tuaku tercinta, Bapak Rahapto dan Ibu Darmini, Ketujuh kakakku, Indarto, Yudi Prayitno, Epriyanto, Rudiyanto, Nia Novelia, Widya Pramitha, Adi Desta Ramadhan serta adikku Albert Marshando yang selalu mendoakan, memberikan dukungan, kasih sayang, memberikan masukan dan motivasi terbaiknya, serta pengorbanan tanpa henti untuk penulis untuk mencapai keberhasilan.
11. Orang terbaik yang selalu menemani penulis dan mendukung penulis dalam situasi apapun Rizki Afrido.
12. Sahabat-sahabat penulis Sherly, Jasinta, Via, Pio, Winarno, Anggi dan kelas Bioter C angkatan 2022.
13. Seluruh pihak yang telah memberikan doa dan semangat kepada penulis dalam penyusunan skripsi. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat di kemudian hari.
14. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada diri sendiri karena tidak menyerah dalam menyelesaikan pendidikan ini, yang merupakan salah satu kesempatan dan pengalaman terbaik dalam hidup penulis.

Bandarlampung, 06 Maret 2026

Penulis,

Lyra Carisca Tresya

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	v
RIWAYAT HIDUP.....	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
MOTTO.....	ix
SANWACANA.....	x
DAFTAR ISI.....	xii

I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan.....	3
1.3 Kerangka Pemikiran	4
1.4 Hipotesis Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tanaman Tomat (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	6
2.1.1 Deskripsi	6
2.1.2 Klasifikasi	8
2.1.3 Penyakit Busuk Daun, Akar dan Buah pada Tanaman Tomat.....	9
2.2 <i>Phytophthora</i>	9
2.2.1 Deskripsi	9
2.2.2 Klasifikasi <i>Phytophthora</i> spp.	10
2.3 Biopestisida	11
2.3.1 Pengertian Biopestisida.....	11
2.3.2 Efektivitas Biopestisida dalam Mengendalikan Patogen Tanaman.	12
2.4 Pupa Maggot / <i>Black Soldier Fly</i> (<i>Hermetia Illucens</i>)	12
2.4.1 Deskripsi	12
2.4.2 Klasifikasi Pupa Maggot BSF (<i>Hermetia illucens</i>).....	14
2.5 Formulasi Biopestisida	14
2.6 Pengujian <i>In Vitro</i>	15
2.7 Pengujian <i>In Vivo</i>	15

III. METODE PENELITIAN.....	16
3.1 Waktu dan Tempat	16
3.2 Alat dan Bahan	16
3.3 Rancangan Penelitian	17
3.4 Prosedur Kerja	17
3.4.1 Preparasi Sampel Ekstrak Pupa Maggot	17
3.4.2 Pembuatan Ekstrak Pupa Maggot BSF	18
3.4.3 Skrining Senyawa Bioaktif	18
3.4.4 Pembuatan Formulasi Biopestisida dengan Pupa Maggot	19
3.4.5 Pembuatan Media <i>Potato Dextrose Agar</i> (PDA)	20
3.4.6 Peremajaan Isolat <i>Phytophthora</i> spp.....	20
3.4.7 Pembuatan Suspensi Konidia Jamur <i>Phytophthora</i> spp.....	21
3.4.8 Uji Daya Hambat Pertumbuhan <i>Phytophthora</i> spp. secara <i>In vitro</i> ..	21
3.4.9 Uji Konsentrasi Pupa Maggot dalam Biopestisida secara <i>In Vivo</i> pada Tanaman Tomat.....	22
3.5 Pengamatan	23
3.6 Analisis Data	26
3.7 Diagram Alir Penelitian	27
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Hasil Pengamatan	28
4.1.1 Hasil Uji Kandungan Senyawa Bioaktif Formula Biopestisida	28
4.1.2 Diameter Koloni <i>Phytophthora</i> spp.	31
4.1.3 Persentase Daya Hambat Pertumbuhan <i>Phytophthora</i> spp.	31
4.1.4 Kejadian Penyakit oleh <i>Phytophthora</i> spp. pada Tanaman Tomat (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	33
4.1.5 Keparahan Penyakit oleh <i>Phytophthora</i> spp. pada Tanaman Tomat (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).	34
4.2 Pembahasan	36
4.2.1 Diameter Koloni <i>Phytophthora</i> spp.	37
4.2.2 Persentase Daya Hambat Pertumbuhan <i>Phytophthora</i> spp.	39
4.2.3 Kejadian Penyakit oleh <i>Phytophthora</i> spp. pada Tanaman Tomat (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	41
4.2.4 Keparahan Penyakit oleh <i>Phytophthora</i> spp. pada Tanaman Tomat (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	44
V. KESIMPULAN	49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA.....	50
LAMPIRAN.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Distribusi Perlakuan.....	17
2. Formulasi Biopestisida dengan Pupa Maggot BSF.....	20
3. Persentase Penghambatan.....	24
4. Skoring Kategori Penyakit.....	25
5. Skoring Keparahan Penyakit.....	25
6. Hasil Uji Kandungan Senyawa Bioaktif Formula Biopestisida.....	28
7. Uji BNJ Diameter Koloni <i>Phytophthora</i> spp.....	29
8. Uji BNJ Persentase Daya Hambat <i>Phytophthora</i> spp.....	32
9. Uji BNJ Kejadian Penyakit oleh <i>Phytophthora</i> spp. pada Tanaman Tomat.....	33
10. Uji BNJ Keparahan Penyakit oleh <i>Phytophthora</i> spp. pada Tanaman Tomat....	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Morfologi Tanaman Tomat.....	7
2. Morfologi Bunga Tanaman Tomat.....	7
3. Morfologi Buah Tomat.....	8
4. Tanaman Tomat Terserang <i>Phytophthora</i>	10
5. Pupa Maggot BSF (<i>Hermetia illucens</i>).....	13
6. Skema Pengukuran Diameter <i>Phytophthora</i> spp.....	23
7. Diagram Alir Penelitian.....	27
8. Grafik Rerata Diameter Koloni <i>Phytophthora</i> spp.....	30
9. Morfologi Diameter Koloni <i>Phytophthora</i> spp. pada Media PDA.....	31
10. Grafik Rerata Persentase Daya Hambat Pertumbuhan <i>Phytophthora</i> spp.....	32
11. Grafik Rerata Persentase Kejadian Penyakit oleh <i>Phytophthora</i> spp. pada Tanaman Tomat.....	34
12. Grafik Rerata Persentase Keparahan Penyakit oleh <i>Phytophthora</i> spp. pada Tanaman Tomat.....	35
13. Gejala Penyakit <i>Phytophthora</i> spp. pada Tanaman Tomat	42
14. Penyemaian Bibit Tomat	65
15. Tanaman Tomat	65
16. Pindah Tanam	65
17. Pengeringan Pupa Maggot BSF	65
18. Simplisia Pupa Maggot BSF	65
19. Maserasi Pupa Maggot BSF	65
20. Evaporasi Ekstrak Pupa Maggot BSF.....	65
21. Isolat <i>Phytophthora</i> spp.....	65
22. Pembuatan Media PDA	65
23. Peremajaan Isolat.....	66
24. Pengecekan Spora.....	66

25. Pembuatan Media PDA	66
26. Uji Kandungan Senyawa Bioaktif.....	66
27. Aplikasi <i>In Vivo</i>	66
28. Pengamatan 30 Hari <i>In Vivo</i>	66
29. Perlakuan <i>In Vitro</i>	66
30. Inkubasi.....	66
31. Pengamatan 10 Hari <i>In Vitro</i>	66
32. Uji Alkaloid Mayer.....	67
33. Uji Alkaloid Bouchardat.....	67
34. Uji Alkaloid Dragendorf.....	67
35. Uji Flavonoid.....	67
36. Uji Tanin.....	67
37. Uji Saponin.....	67
38. Uji Fenol.....	67
39. Uji Steroid.....	67
40. Uji Terpenoid.....	67

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanaman tomat merupakan salah satu komoditas hortikultura yang sangat potensial untuk dikembangkan karena mempunyai nilai ekonomi cukup tinggi (Ziladi dkk., 2021). Menurut data terbaru dari Direktorat Jenderal Hortikultura, Kementerian Pertanian dalam publikasi Angka Tetap Hortikultura Tahun 2023, produksi tomat nasional mencapai angka signifikan, dengan Jawa Barat tercatat sebagai provinsi penghasil tomat terbesar yaitu 268.073 ton (Direktorat Jendral Hortikultura, 2024). Data ini diperkuat oleh publikasi Statistik Hortikultura 2023 dari Badan Pusat Statistik (BPS), yang menunjukkan tren positif dalam luas panen dan produktivitas tomat di beberapa wilayah strategis (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2024). Meski demikian, produksi tomat di Indonesia masih menghadapi tantangan serius, terutama dari aspek gangguan organisme pengganggu tanaman (OPT), salah satunya adalah *Phytophthora* spp. yang merupakan patogen utama penyebab penyakit busuk daun dan busuk buah yang dapat menurunkan hasil panen secara drastis pada tanaman tomat (Abad *et al.*, 2023).

Infeksi *Phytophthora* spp. dapat menyebabkan penurunan hasil panen hingga 50–100%, terutama jika tidak dikendalikan dengan baik. Penyakit ini juga dapat menyebar dengan cepat di lahan pertanian, menyebabkan kerugian ekonomi bagi petani (Sihotang *et al.*, 2025). Infeksi *Phytophthora* sering kali diperparah oleh kondisi lingkungan yang lembab, sehingga penyebarannya sulit dikendalikan dengan metode konvensional. Penggunaan fungisida kimia sintetis diketahui efektif dalam menekan perkembangan patogen, namun penggunaannya dalam

jangka panjang dapat memicu resistensi patogen, serta menyebabkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Hartono, 2023).

Seiring dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya pertanian berkelanjutan, penggunaan biopestisida sebagai alternatif yang ramah lingkungan semakin diminati (Yulia dkk., 2020). Penggunaan biopestisida yang ramah lingkungan menjadi alternatif yang menarik untuk mengendalikan penyakit ini, mengingat dampak negatif dari penggunaan pestisida kimia sintetis terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Penggunaan biopestisida telah semakin meningkat sebagai upaya pengendalian penyakit tanaman yang lebih ramah lingkungan dan aman bagi konsumen (Sutriadi dkk., 2019).

PT. Great Giant Pineapple (GGP) adalah sebuah perusahaan yang bergerak dalam bidang perkebunan. PT. GGP berkomitmen untuk menjaga kualitas hasil produksi dengan cara mengendalikan hama patogen tanaman menggunakan biopestisida. Salah satu produk biopestisida dari PT. GGP adalah biopestisida yang berasal dari mikroorganisme. Biopestisida tersebut merupakan formulasi dari mikroorganisme seperti *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp., dan *Pseudomonas* spp. Mikroorganisme biokontrol tersebut telah terbukti efektif dalam menghambat perkembangan patogen melalui kompetisi ruang, produksi senyawa antifungal, serta pemicu mekanisme pertahanan tanaman. Mikroorganisme ini berfungsi sebagai agen biokontrol alami yang dapat meningkatkan efektivitas biopestisida dalam mengendalikan penyakit tanaman (Hanudin dan Marwanto, 2012).

Dalam upaya mengembangkan pertanian berkelanjutan dan ramah lingkungan, pencarian sumber bahan alami yang efektif sebagai agen pengendali hayati terus dilakukan. Serangga, khususnya larva dan pupa maggot dari *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*), telah menarik perhatian karena kandungan nutrisinya yang tinggi serta potensi bioaktifnya yang beragam (Surendra *et al.*, 2016; van Huis, 2020). Penggunaan serangga sebagai sumber senyawa bioaktif dinilai dapat menjadi alternatif inovatif dalam formulasi biopestisida, mengingat kebutuhan

akan solusi pengendalian hama yang lebih aman bagi lingkungan dan kesehatan manusia (Mwaniki *et al.*, 2022).

Pupa maggot BSF diketahui mengandung senyawa bioaktif seperti alkaloid, lipid, dan protein yang berpotensi sebagai agen antimikroba dan penguat sistem pertahanan tanaman (Firdaus dkk., 2023). Pupa maggot BSF, yang dikenal memiliki kandungan enzim dan senyawa aktif, berpotensi sebagai bahan tambahan dalam formulasi biopestisida untuk meningkatkan efektivitasnya. Pupa maggot BSF, sebagai komponen biopestisida dapat meningkatkan efektivitas kontrol penyakit dengan melepaskan enzim atau bahan kimia yang dapat menghancurkan patogen (Wardiman dkk., 2024).

Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk menganalisis karakteristik biopestisida dengan penambahan ekstrak pupa maggot BSF dan mengevaluasi efektivitasnya dalam formulasi biopestisida terhadap *Phytophthora* spp. secara *in vitro* dan *in vivo*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif baru dalam pengelolaan penyakit tanaman yang lebih berkelanjutan serta mendukung pengembangan biopestisida alami di bidang pertanian modern.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Mengkarakterisasi formula biopestisida melalui skrining senyawa bioaktif yang berpotensi sebagai agen biopestisida.
2. Menguji pengaruh penambahan ekstrak pupa maggot BSF dalam formulasi biopestisida secara *in vitro* dan *in vivo* terhadap pertumbuhan *Phytophthora* pada tanaman tomat.
3. Mengetahui konsentrasi terbaik formula biopestisida yang dapat berpengaruh terhadap *Phytophthora* secara *in vitro* maupun *in vivo* pada tanaman tomat.

1.3 Kerangka Pemikiran

Tanaman tomat merupakan komoditas hortikultura yang sangat potensial untuk dikembangkan karena mempunyai nilai ekonomis yang cukup tinggi. Tanaman tomat masih menghadapi tantangan serius dari Organisme Pengganggu Tanaman (OPT), salah satunya adalah ancaman dari jamur *Phytophthora* spp., *Phytophthora* spp. menyebabkan kerusakan serius pada tanaman tomat, termasuk busuk akar, batang dan daun. Tanaman tomat yang mengalami serangan *Phytophthora* spp., menyebabkan penurunan produksi dan kualitas hasil panen. Penggunaan biopestisida berbasis mikroorganisme sudah umum, tetapi formulasi optimal masih perlu dikembangkan. Pupa maggot BSF (*Hermetia illucens*) mengandung senyawa bioaktif yang berpotensi meningkatkan efektivitas biopestisida, namun karakterisasi dan efektivitasnya belum banyak diteliti dalam pengembangan formulasi biopestisida.

Penggunaan fungisida sintetis sering kali menyebabkan resistensi patogen, pencemaran lingkungan, dan dampak negatif terhadap organisme non-target. Mikroorganisme biokontrol yang ada pada biopestisida seperti *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp., dan *Pseudomonas* spp. dapat meningkatkan efektivitas pengendalian patogen melalui kompetisi ruang, produksi senyawa antifungal, serta stimulasi mekanisme pertahanan tanaman. Selain itu, pupa maggot BSF sebagai bioaktivator, mendukung pengendalian patogen dengan meningkatkan bioavailabilitas senyawa bioaktif dan memperbaiki struktur tanah.

Dalam penelitian ini, langkah pertama yang dilakukan adalah karakterisasi senyawa bioaktif, yang bertujuan untuk mengidentifikasi senyawa bioaktif dalam formulasi biopestisida. Skrining senyawa bioaktif dilakukan untuk mengidentifikasi kandungan senyawa bioaktif formulasi biopestisida pupa maggot yang berkontribusi terhadap aktivitas antimikroba. Pupa maggot BSF ditambahkan sebagai bioaktivator untuk meningkatkan efektivitas formulasi biopestisida melalui enzim-enzim yang dapat mengganggu struktur dinding sel patogen.

Uji efektivitas formulasi biopestisida dilakukan melalui uji *in vitro* dan *in vivo*. Uji *in vitro* bertujuan untuk menilai efektivitas biopestisida terhadap pertumbuhan *Phytophthora* spp. secara langsung di laboratorium. Metode *in vivo* dilakukan untuk menilai efektivitas biopestisida dalam melindungi tanaman tomat dari infeksi *Phytophthora* spp. dalam kondisi lapangan.

Oleh karena itu perlu dilakukan karakterisasi untuk mengevaluasi karakteristik dan efektivitas ekstrak pupa maggot BSF dalam formulasi biopestisida berbasis mikroorganisme terhadap *Phytophthora* spp. pada tanaman tomat, baik secara *in vitro* maupun *in vivo*. Dengan mengetahui pengaruh berbagai konsentrasi ekstrak pupa maggot BSF terhadap pertumbuhan patogen dan kesehatan tanaman, penelitian ini diharapkan dapat memberikan inovasi pengendalian penyakit tanaman secara alami dan berkelanjutan di industri pertanian dalam menghambat pertumbuhan jamur *Phytophthora* spp. pada tanaman tomat.

1.4 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Formula biopestisida dengan penambahan pupa maggot BSF memiliki kandungan senyawa bioaktif yang berpotensi sebagai antimikroba terhadap *Phytophthora* spp.
2. Penambahan ekstrak pupa maggot dalam formula biopestisida dapat berpengaruh terhadap *Phytophthora* spp. baik secara *in vitro* maupun *in vivo* pada tanaman tomat.
3. Konsentrasi optimal formula biopestisida dengan penambahan ekstrak pupa maggot BSF dapat berpengaruh dalam meningkatkan ketahanan tanaman tomat dan mengurangi tingkat infeksi patogen *Phytophthora* spp.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum* L.)

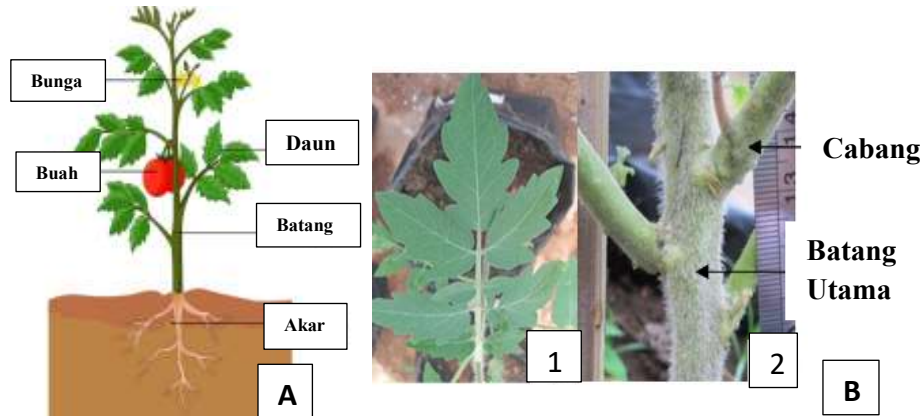
2.1.1 Deskripsi

Tanaman tomat merupakan tanaman yang berasal dari kawasan Amerika Selatan dan Tengah. Tanaman tomat pertama kali disebarluaskan ke berbagai wilayah oleh seorang pelaut Spanyol dan mulai masuk ke Indonesia pada abad ke-18. Indonesia merupakan negara tropis, sehingga tanaman tomat dapat tumbuh dengan subur dan dapat menyebar luas ke berbagai wilayah di Indonesia dengan cepat (Wahyurini dan Lagiman, 2020).

Tanaman tomat termasuk tanaman tahunan atau semusim, yaitu tanaman yang berumur pendek sekitar tiga hingga empat bulan dan akan mati setelah dipanen (Kartika dkk., 2015). Tanaman tomat memiliki sistem perakaran tunggang yang memanjang ke dalam tanah dan menyebar ke samping. Dengan demikian, tanaman ini akan tumbuh dengan baik di lahan yang gembur dan porous (Wahyurini dan Lagiman, 2020). Batang tomat berbentuk bulat, berwarna hijau kecoklatan, beruas-ruas, dan cabangnya memiliki permukaan yang kasar karena memiliki bulu atau berambut halus (Fitriyati dkk., 2014).

Saat tanaman tomat tumbuh dewasa, batangnya menjadi keras dan lunak. Tanaman tomat memiliki batang dengan diameter berkisar antara 0,922-1,240 cm. Jenis percabangan tanaman tomat, sulit dibedakan antara sympodial dan batang utama karena cabang-cabangnya tumbuh lebih cepat

dari batang utama. Daun tanaman tomat berwarna hijau tua dengan bentuk oval, bentuk yang bulat memanjang, pangkal tumpul, ujung runcing, dan permukaan kasar dan berbulu. Daun tomat adalah jenis daun majemuk menyirip dengan anak daun yang sedikit (Trisnawati., 2019). Morfologi tanaman tomat disajikan pada Gambar 1,



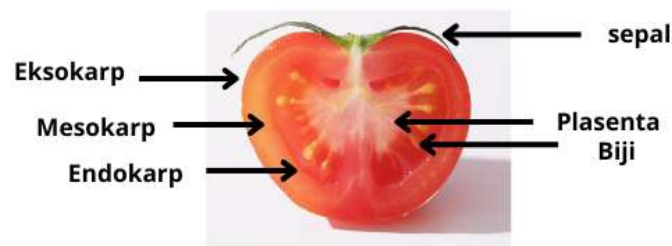
Gambar 1. Morfologi Tanaman Tomat (A) Percabangan (Ar.inspired, 2023) (B1)Daun tanaman tomat dan (B2) Percabangan Tanaman Tomat (Fitriyani *et al.*, 2014)

Pada ujung setiap batang, bunga tomat berkembang menjadi buah yang terdiri dari 5 helai bunga majemuk dengan daun mahkota dan kelopak. Mahkota bunga tomat berwarna kuning, sedangkan kelopaknya berwarna hijau tua (Fitriyati dkk., 2014). Bunga tomat secara keseluruhan berwarna kuning, berdiameter sekitar 2 cm, memiliki benang sari berjumlah 6 buah, dan kepala dan mahkota putik berwarna kuning yang sama. Bunga ini dianggap sebagai bunga sempurna karena memiliki benang sari dan putik yang terdapat dalam satu bunga yang sama (Wahyurini dan Lagiman, 2020). Morfologi bunga tanaman tomat disajikan pada gambar 2.



Gambar 2. Morfologi Bunga Tanaman Tomat. (A) Mahkota bunga (*corolla*), (B) Kelopak bunga (*calyx*), dan (C) Tangkai bunga (*pedicle*) (Dokumentasi pribadi, 2025)

Buah tomat memiliki berbagai bentuk, seperti bulat, lonjong dan bulat pipih (Fitriyati dkk., 2014). Buah tomat memiliki berbagai berat, dengan yang paling kecil 8 g (Wahyurini dan Lagiman, 2020). Buah tomat matang berwarna merah muda atau bahkan hijau tua dengan tekstur yang keras dan sedikit berbulu. Buah tomat yang masih muda, berwarna hijau muda atau bahkan hijau tua dengan tekstur yang lebih lunak dan tidak berbulu (Fitriyati dkk., 2014). Biji tomat memiliki warna putih kekuningan dan berwarna coklat muda. Menurut, Wahyurini dan Lagiman (2020), daging buah akan menyelimuti dan memisahkan biji tomat yang mengelompok dengan panjang 3-5 mm dan lebar 2-4 mm. Morfologi buah tomat disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Morfologi buah tomat (Dokumentasi Pribadi, 2025)

2.1.2 Klasifikasi

Tanaman tomat awalnya diklasifikasikan sebagai *Lycopersicon esculentum* oleh Carl Linnaeus, seorang ahli botani terkenal yang mengembangkan sistem klasifikasi tumbuhan modern. Namun, penelitian lebih lanjut menunjukkan bahwa tomat lebih cocok dimasukkan dalam genus *Solanum*, sehingga nama ilmiahnya di perbarui menjadi *Solanum lycopersicum* L. (Peralta and Spooner, 2000).

Berdasarkan sistem taksonomi tumbuhan, tanaman tomat (*Solanum lycopersicum* L.) memiliki klasifikasi ilmiah yang telah ditetapkan menurut Cronquist (1981); NCBI, Kew Science, Plants of the World Online (2024) adalah sebagai berikut.

Kingdom	: Plantae
Division	: Magnoliophyta
Class	: Magnoliopsida
Order	: Solanales
Family	: Solanaceae
Genus	: <i>Solanum</i>
Species	: <i>Solanum lycopersicum</i> L.

2.1.3 Penyakit Busuk Daun, Akar dan Buah pada Tanaman Tomat

Tanaman tomat rentan terhadap berbagai penyakit yang disebabkan oleh patogen jamur *Oomycetes*, salah satunya adalah *Phytophthora* spp . Patogen ini dapat menyebabkan busuk daun, busuk akar, dan busuk buah, yang berdampak signifikan terhadap produktivitas tanaman tomat (Sastrahidayat, 2011). Penyakit ini dapat menyebar melalui spora yang terbawa air, tanah, dan angin, serta berkembang pesat dalam kondisi suhu optimal sekitar 15–25°C dengan kelembaban tinggi (Sastrahidayat, 2011).

2.2 *Phytophthora*

2.2.1 Deskripsi

Phytophthora adalah patogen yang dapat menyebabkan berbagai penyakit pada tanaman, termasuk *black rot* (busuk hitam) pada tomat. Penyakit ini dapat merusak buah dan akar tanaman, mengurangi kualitas dan kuantitas hasil panen (Kuswinati *et al.*, 2023). Tanaman tomat yang terinfeksi *Phytophthora* spp. disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Tanaman Tomat Terserang *Phytophthora* spp. (Istock, 2025)

Menurut Drenth and Guest (2004) ada sekitar 60 spesies dalam genus *Phytophthora* yang menjadi patogen tanaman dan jamur ini diberi julukan oleh ahli patogen tanaman sebagai "*plant destroyer*" atau penghancur tanaman. Hal ini karena jamur *Phytophthora* adalah salah satu genus yang paling merusak tanaman di daerah beriklim sedang dan tropis yang menyebabkan kerugian hingga miliaran dollar. Penyakit yang disebabkan oleh jamur *Phytophthora* spp. telah diteliti dengan baik pada beberapa iklim di dunia sejak kentang terserang penyakit busuk daun yang disebabkan oleh *Phytophthora* spp. Salah satu spesies yang paling dikenal dari genus ini adalah *Phytophthora infestans*, yang merupakan penyebab penyakit busuk daun pada kentang dan tomat, serta *Phytophthora palmivora*, yang dapat menyerang nanas dan kakao (Abad *et al.*, 2023).

Penyakit busuk pada tanaman tomat ini disebabkan oleh jamur *Phytophthora* spp. Penyakit ini menyebar dengan cepat melalui tanah dan air, dan sangat sulit dikendalikan tanpa penggunaan pestisida. Gejala tanaman yang terkena *Phytophthora* sp. ditandai dengan ciri seperti penurunan pertumbuhan, perubahan warna daun menjadi merah atau coklat seperti busuk, terjadi busuk daun, batang, buah hingga ke akar. Penyakit ini masuk melalui akar kemudian menyebar ke seluruh bagian (Sihotang *et al.*, 2025).

2.2.2 Klasifikasi *Phytophthora* spp.

Berdasarkan sistem taksonomi, *Phytophthora* memiliki klasifikasi ilmiah menurut Linnaeus (1758) adalah sebagai berikut.

Kingdom	: Chromista (Juga dikenal sebagai <i>Stramenopiles</i>)
Filum	: Oomycota
Class	: Oomycetes
Order	: Peronosporales
Family	: Pythiaceae
Genus	: <i>Phytophthora</i>
Species	: <i>Phytophthora</i> sp.

2.3 Biopestisida

2.3.1 Pengertian Biopestisida

Biopestisida adalah pestisida yang terbuat dari organisme hidup atau senyawa alami, digunakan untuk mengendalikan hama dan penyakit tanaman secara ramah lingkungan (Kusmaningtyas dkk., 2018). Jenis biopestisida terdiri atas pestisida nabati yang berasal dari tumbuhan dengan kandungan senyawa bioaktif, serta pestisida hayati yang berasal dari mikroorganisme seperti bakteri, cendawan, dan virus yang berfungsi menghancurkan patogen atau mengganggu siklus hidup hama (Kumar *et al.*, 2021).

Penggunaan biopestisida semakin diminati karena lebih aman bagi manusia dan lingkungan, tidak meninggalkan residu berbahaya, serta mampu menjaga keseimbangan ekosistem dengan mempertahankan predator alami (Borges *et al.*, 2021). Meskipun memiliki banyak keunggulan, biopestisida juga menghadapi tantangan seperti stabilitas dan viabilitas selama penyimpanan maupun aplikasi, serta membutuhkan waktu lebih lama untuk menunjukkan efektivitas dibandingkan pestisida kimia yang bekerja lebih cepat (Ula dan Mizani, 2022).

2.3.2 Efektivitas Biopestisida dalam Mengendalikan Patogen Tanaman

Beberapa penelitian telah menunjukkan kemampuan dari biopestisida dalam mengendalikan patogen tanaman dan hama. Beberapa biopestisida juga dibuat dari bakteri, virus, jamur, dan ekstrak tumbuhan telah terbukti efektif dalam mengendalikan berbagai jenis patogen tanaman (Fenibo *et al.*, 2021).

Dalam beberapa penelitian, biopestisida yang menggunakan agen hayati seperti *Pseudomonas fluorescens* dan *Trichoderma* spp. telah terbukti dalam menghambat pertumbuhan *Phytophthora* sp. riset menunjukkan bahwa *Pseudomonas fluorescens* 4RS1 dapat meningkatkan viabilitas dan daya hambat *Phytophthora palmivora*, patogen yang menyebabkan busuk kelopak pada kakao (Iqbal *et al.*, 2023). Sementara itu, *Trichoderma* spp. berhasil menghambat pertumbuhan *Phytophthora infestans* yang menyebabkan busuk daun pada kentang melalui mekanisme antagonis.

Penggunaan biopestisida berbasis agen hayati seperti *Pseudomonas fluorescens* dan *Trichoderma* spp., menjadi solusi yang ramah lingkungan yang memiliki kemampuan dalam menghambat penyakit *Phytophthora* spp., sekaligus mengurangi dampak negatif penggunaan pestisida kimia pada kesehatan manusia dan lingkungan (Matumwabirhi, 2020).

2.4 Pupa Maggot / *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*)

2.4.1 Deskripsi

Lalat tentara hitam / *Black Soldier Fly* adalah serangga dari famili *Stratiomyidae* yang banyak digunakan dalam proses biokonversi limbah organik dan sebagai sumber protein alternatif. Larva *Black Soldier Fly* (BSF), juga dikenal sebagai maggot, biasanya berukuran mencapai 27 mm panjang dan 6 mm lebar pada stadium larva terakhir. Beratnya dapat mencapai 220 mg. Selama fase larva awal hingga akhir, pupa maggot BSF

bewarna pucat atau putih kusam. Maggot BSF berbentuk panjang dan sering memulai makan secara intensif selama dua hingga empat minggu selama siklus hidupnya. Maggot segar biasanya berwarna putih atau krem pucat, tetapi ketika mereka mengering, mereka bisa menjadi lebih gelap, tergantung pada bagaimana mereka mengering (Idris *et al.*, 2024).

Maggot kering dengan perlakuan khusus media dapat mencapai panjang rata-rata 2,34 cm dengan warna yang lebih cerah dalam penelitian khusus, sementara maggot kering yang tidak mendapatkan perlakuan khusus media cenderung berukuran sekitar 2,25 cm dengan warna yang lebih gelap (Fitri, 2024). Maggot BSF disajikan pada gambar 5.



Gambar 5. Pupa Maggot BSF (*Hermetia illucens*) (BioSupplies, 2025).

Pupa maggot BSF, khususnya dari lalat hitam telah dikenal memiliki potensi sebagai komponen biopestisida (Firdaus dkk., 2023). Pupa maggot mengandung enzim proteolitik dan senyawa bioaktif yang dapat menghambat pertumbuhan patogen tanaman serta memiliki efek antimikroba yang signifikan terhadap berbagai patogen tanaman, menjadikannya bahan tambahan yang efektif dalam formulasi biopestisida (Idris *et al.*, 2024).

Larva BSF ini mengandung nutrisi yang baik berupa protein, protein 44,26%, lemak 29,65%, dan beberapa mineral Mn, Zn, Cu, P, Ca, Mg, Na, dan K (Wardana, 2016). Maggot BSF ini juga mengandung komponen biologis lain selain protein dan lemak yaitu bersifat antioksidan, antimikroba, dan modulator kekebalan pada hewan (Rabani *et al.*, 2019).

Pupa maggot mengandung minyak yang berasal dari larva maggot yang mengandung asam laurat, dimana asam laurat ini menunjukkan aktivitas antibakteri. Selain itu, pupa maggot juga memiliki zat bioaktif yang potensial dari ekstrak air maggot yang dapat meningkatkan ekspresi *peptide antimicroba* (*antimicrobial peptide*/ AMP) (Muller *et al.*, 2017).

2.4.2 Klasifikasi Pupa Maggot BSF (*Hermetia illucens*)

Berdasarkan sistem taksonomi hewan, klasifikasi lalat hitam / BSF menurut Sheppard *et al.*, (1994) adalah sebagai berikut.

Kingdom	: Animalia
Filum	: Arthropoda
Class	: Insecta
Order	: Diptera
Family	: Stratiomyidae
Genus	: <i>Hermetia</i>
Species	: <i>Hermetia illucens</i>

2.5 Formulasi Biopestisida

Formulasi biopestisida umumnya melibatkan pencampuran bahan aktif dengan pembawa atau aditif untuk meningkatkan stabilitas, penyimpanan, serta efektivitas aplikasi. Penambahan bahan tambahan, seperti pupa maggot, terbukti mampu memperkuat daya guna biopestisida dalam mengendalikan patogen, karena mengandung senyawa bioaktif yang dapat menghambat pertumbuhan organisme penyebab penyakit tanaman, termasuk *Phytophthora* spp. (Butu *et al.*, 2022; Devi *et al.*, 2020).

Selain itu, kombinasi bahan bioaktif dengan pembawa seperti tepung tapioka atau molase juga dilaporkan meningkatkan efektivitas dan stabilitas biopestisida. Formulasi yang baik dengan menggabungkan komponen

biopestisida dan bahan tambahan bernilai aktif dapat menjadikan biopestisida lebih kompetitif dibandingkan pestisida kimia (Mulyani dkk., 2022). Namun demikian, pengembangan formulasi biopestisida menghadapi sejumlah tantangan, antara lain pemilihan bahan yang tepat, kualitas bahan yang konsisten, biaya produksi, serta metode pencampuran yang sesuai agar produk yang dihasilkan efektif dan aplikatif di lapangan (Devi *et al.*, 2020).

2.6 Pengujian *In Vitro*

Pengujian *in vitro* dilakukan di laboratorium untuk mengamati aktivitas antimikroba biopestisida terhadap *Phytophthora* spp. Uji ini melibatkan penanaman patogen pada media kultur dan pemberian biopestisida untuk menilai efektivitasnya dalam menghambat pertumbuhan patogen. Metode ini memberikan gambaran awal tentang potensi biopestisida sebelum diuji pada tanaman hidup (Elnahal *et al.*, 2022).

2.7 Pengujian *In Vivo*

Pengujian *in vivo* dilakukan pada tanaman tomat secara langsung untuk mengevaluasi efektivitas biopestisida dalam kondisi alami. Uji ini melibatkan aplikasi biopestisida pada tanaman yang telah terinfeksi *Phytophthora* spp. dan memantau perkembangan penyakit serta kesehatan tanaman. Pengujian *in vivo* memberikan data yang lebih akurat tentang efektivitas biopestisida dalam kondisi lapangan (Elnahal *et al.*, 2022).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan September sampai bulan November 2025.

Peremajaan isolat dan perlakuan dilakukan di Laboratorium Botani, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah cawan petri, tabung reaksi, jarum ose, labu *Erlenmeyer* 250 mL dan 500 mL, *backer glass* 1000 mL gelas ukur, corong, pipet tetes, mikropipet, cawan petri, pinset, bunsen, stirrer, *rotary evaporator*, kertas saring, mikroskop, *cork border*, neraca analitik, *vorteks mix*, kompor listrik, autoklaf, inkubator, lemari es, aluminium foil, penggaris, korek api, oven, *polybag*, alat tulis, dan *laminar air flow cabinet*.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah kultur murni *Phytophthora* spp., biopestisida yang diperoleh dari PT. Great Giant Pineapple Lampung, pupa maggot BSF (*Hermetia illucens*), *Potato Dextrose Agar* (PDA), *ethanol* 96%, *ethanol* 70%, aquades, spiritus, dan bibit tanaman tomat.

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan perlakuan yang digunakan adalah beberapa konsentrasi ekstrak pupa maggot. Perlakuan menggunakan biopestisida sebanyak 10% dengan penambahan konsentrasi ekstrak pupa maggot dengan masing-masing 4 ulangan. Tabel distribusi perlakuan berdasarkan Rancangan Acak Lengkap (RAL) disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Distribusi Perlakuan

P3	P0	P5	P2	P1	P4
P2	P4	P1	P5	P0	P3
P1	P2	P0	P4	P3	P5
P5	P1	P3	P0	P4	P2

Keterangan:

P0= Kontrol Biopestisida 10%.

P1= Biopestisida 10% + Pupa maggot 2,5%

P2= Biopestisida 10% + Pupa maggot 5%

P3= Biopestisida 10% + Pupa maggot 7,5%

P4= Biopestisida 10% + Pupa maggot 10%

P5= Biopestisida 10% + Pupa maggot 12,5%

3.4 Prosedur Kerja

3.4.1 Preparasi Sampel Ekstrak Pupa Maggot

Pupa maggot BSF dikumpulkan sebanyak 3 kg, kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari selama kurang lebih 1 minggu. Setelah kering, pupa maggot BSF dimasukkan ke dalam oven agar kadar air nya benar-benar hilang selama 3 hari pada suhu 50°C. Selanjutnya pupa maggot BSF yang sudah kering, dihaluskan hingga diperoleh simplisia pupa maggot (Praktikto *et al.*, 2024).

3.4.2 Pembuatan Ekstrak Pupa Maggot BSF

Sebanyak 100 gr simplisia pupa maggot BSF dilarutkan dengan menggunakan aquades sebanyak 700 mL di dalam *beaker glass*. Campuran tersebut dimaserasi dilakukan selama 3 hari, sambil sesekali diaduk, kemudian hasil maserasi disaring dengan menggunakan kertas saring dan diuapkan dengan *rotary vacuum evaporator* pada suhu 60°C sampai didapatkan ekstrak pekatnya (Budikania dkk., 2021). Sebelum ekstrak digunakan terlebih dahulu ekstrak disimpan dalam lemari pendingin dengan suhu 5 °C agar kualitas dari ekstrak terjaga (Suganda dkk., 2019).

3.4.3 Skrining Senyawa Bioaktif

Skrining senyawa bioaktif dilakukan untuk mengidentifikasi suatu senyawa yang terkandung dalam formulasi biopestisida dengan penambahan pupa maggot BSF (*Hermetia illucens*), dalam uji senyawa bioaktif yang di uji adalah formula P3, sebagai berikut :

1. Uji Flavonoid

Sebanyak 0,5 mL larutan formula biopestisida dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan ditambahkan 0,5 gr serbuk Mg dan 0,5 mL HCl pekat (setetes demi setetes), apabila terjadi perubahan menjadi warna merah, kuning atau jingga menandakan positif mengandung flavonoid (Anggraini, 2018).

2. Uji Saponin

Sebanyak 0,5 mL larutan formulasi biopestisida ditambah 5 mL aquades kemudian dikocok kuat sampai timbul busa, apabila busa stabil maka positif mengandung senyawa saponin (Anggraini, 2018).

3. Uji Tanin

Sebanyak 0,5 mL formulasi biopestisida dimasukkan ke dalam tabung reaksi lalu ditambah 10 mL air panas, kemudian ditetesi dengan larutan FeCl₃ 1%. Jika terbentuk warna hijau kehitaman menandakan positif mengandung senyawa tanin (Ningsih dkk., 2020).

4. Uji Alkaloid

Sebanyak 0,5 mL larutan formulasi biopestisida dimasukkan ke dalam tabung reaksi, kemudian dengan 5 tetes kloroform ditambah 0,25 mL pereaksi Mayer (1 g KI dilarutkan dalam 20 mL aquades, ditambahkan 0,271 g HgCl_2 hingga larut) terbentuknya endapan putih kecoklatan menunjukkan adanya senyawa alkaloid (Anggraini, 2018).

5. Uji Terpenoid

Sebanyak 0,5 mL larutan formulasi biopestisida dimasukkan ke dalam tabung reaksi lalu ditambahkan 2 mL H_2SO_4 . Larutan dikocok perlahan dan dibiarkan beberapa menit. Jika warna sampel berubah jadi merah kecoklatan maka positif mengandung terpenoid (Ningsih dkk., 2020).

6. Uji Steroid

Sebanyak 0,5 mL larutan formulasi biopestisida dimasukkan ke dalam tabung reaksi kemudian dilarutkan dengan aquades 5 mL, lalu ditambahkan 2 mL H_2SO_4 . Larutan dikocok perlahan dan dibiarkan beberapa menit. Bila warna sampel berubah menjadi biru, atau hijau menandakan adanya senyawa steroid (Ningsih dkk., 2020).

7. Uji Fenolik

Sebanyak 1 mL sampel formulasi ditambah dengan larutan FeCl_3 1%. Hasil ditunjukkan dengan terbentuknya warna hijau, merah, ungu, biru tua, biru, biru kehitaman, atau hijau kehitaman.

3.4.4 Pembuatan Formulasi Biopestisida dengan Pupa Maggot

Pembuatan formulasi dilakukan dengan mencampurkan biopestisida sebanyak 10% dan ditambahkan ekstrak pupa maggot sebanyak 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% dan dilarutkan dalam aquades lalu *dishaker* selama 30 menit- 1jam, dengan volume perlakuan 25 mL per tanaman, sehingga total ada 100 mL per perlakuan sekali aplikasi (Hoque *et al.*, 2021).

Pembuatan Formula biopestisida dengan pupa maggot dalam dilihat pada **Tabel 2.**

Tabel 2. Formulasi Biopestisida dengan Pupa Maggot BSF

Perlakuan	Konsentrasi Ekstrak	Volume Biopestisida 10% (mL)	Volume Ekstrak Pupa Maggot (mL)	Volume Pelarut (Air) (mL)
P0	0%	40 mL	0 mL	360 mL
P1	2,5%	40 mL	$2,5\% \times 400 = 10 \text{ mL}$	350 mL
P2	5%	40 mL	$5\% \times 400 = 20 \text{ mL}$	340 mL
P3	7,5%	40 mL	$7,5\% \times 400 = 30 \text{ mL}$	330 mL
P4	10%	40 mL	$10\% \times 400 = 40 \text{ mL}$	320 mL
P5	12,5%	40 mL	$12,5\% \times 400 = 50 \text{ mL}$	310 mL

Keterangan: Volume biopestisida tetap (40 mL), sementara volume ekstrak pupa maggot yang bervariasi.

3.4.5 Pembuatan Media *Potato Dextrose Agar* (PDA)

Sebanyak 39 gram media PDA dilarutkan dalam 1000 mL aquades dan dipanaskan hingga homogen dengan menggunakan *hotplate* dan *stirrer magnetic*. Selanjutnya, media dituang dalam labu *Erlenmeyer* dan disterilkan dengan autoklaf pada tekanan 1 atm dengan suhu 121°C selama 15 menit. Setelah disterilkan, ditambahkan *chloramphenicol* untuk mencegah terjadinya kontaminasi pada kontrol. Kemudian media PDA didinginkan di dalam lemari pendingin untuk penggunaan selanjutnya (Putri dkk., 2019).

3.4.6 Peremajaan Isolat *Phytophthora* spp.

Isolat *Phytophthora* spp. diperoleh dari PT. Great Giant Pineapple Lampung. Kemudian isolat tersebut dilakukan peremajaan dengan cara mengkultur ulang pada media PDA. Isolat yang sudah murni diinokulasi pada media PDA selama 7 hari, hingga koloni jamur memenuhi cawan petri (Yulis *et al.*, 2023).

3.4.7 Pembuatan Suspensi Konidia Jamur *Phytophthora* spp.

Jamur *Phytophthora* spp. yang telah dibudidayakan selama 7 hari pada media PDA (*Potato Dextrose Agar*) diambil menggunakan ose steril, kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 10 mL akuades steril. Suspensi dikocok atau dihomogenkan menggunakan *vortex* selama beberapa menit untuk melepaskan spora dari permukaan koloni. Kepadatan suspensi spora dihitung menggunakan *hemocytometer*, kemudian dilakukan pengenceran bertingkat hingga diperoleh konsentrasi spora sebesar 10^5 spora/mL sebagai standar inokulasi pada uji *in vivo* (Latifah *et al.*, 2018).

3.4.8 Uji Daya Hambat Pertumbuhan *Phytophthora* spp. secara *In vitro*

Uji daya hambat *Phytophthora* spp. dilakukan dengan menggunakan media PDA yang telah dibuat sebelumnya. Pada metode ini dilakukan dengan mencampurkan formulasi biopestisida 10% dengan ekstrak pupa maggot (2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5%) sebanyak 1 mL per 25 ml media PDA, dilanjutkan dengan menginokulasikan jamur *Phytophthora* spp. ke tengah media.

Prosedur *in vitro* ini dilakukan dengan mengukur diameter koloni jamur pada media PDA yang telah dicampur dengan formulasi biopestisida. Kontrol digunakan *aquades* steril. Uji daya hambat dilakukan dengan meletakkan 6 mm/ 0,6 cm isolat *Phytophthora* spp., pada bagian tengah media formulasi, kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 5-10 hari (Sakr, 2022). Hasil pengamatan yang diperoleh berupa diameter tumbuh jamur *Phytophthora* spp. pada media.

3.4.9 Uji Konsentrasi Pupa Maggot dalam Biopestisida secara *In Vivo* pada Tanaman Tomat

Benih tomat yang sudah steril ditanam pada bak persemaian yang telah diisi media semai yang diberi lubang dan dari setiap lubang dimasukkan 1-2 benih kemudian lubang ditutup kembali. Media tanam dimasukkan ke dalam bak semai dan benih ditanam dalam bak semai selama 18 hari (Nazari dkk., 2020) sampai memiliki 4-5 helai daun (Zebua dkk., 2019).

Bibit tomat yang ditanam selama 18 hari dan telah memiliki 4-5 helai daun, dipindahkan ke dalam *polybag* berukuran 30×30 cm dilakukan pada pagi hari dan setiap *polybag* berisi satu bibit, tanaman tomat yang telah dipindahkan ke *polybag* diaklimatisasi selama 7 hari pada media tanam *polybag* (Nazari dkk., 2020). Inokulasi patogen dilakukan pada hari ke 25 Hari Setelah Tanam (HST) dengan cara disemprotkan pada bagian atas permukaan tanaman, sekaligus aplikasi biopestisida dilakukan setelah jamur patogen diinokulasi pada tanaman tomat pada hari yang sama. Penyiraman tanaman tomat dilakukan dua kali sehari yaitu pada pagi dan sore hari. Jika media tanam sudah cukup lembab, maka penyiraman dilakukan satu kali dalam satu hari (Kartika dkk., 2015).

Aplikasi formulasi biopestisida pada tanaman tomat diberikan sebanyak satu kali dengan rentang waktu aplikasi setiap tujuh hari sekali selama 4 minggu, hari ke 7, 14, dan 21 Hari Setelah Inokulasi (HSI) awal (Mare dkk., 2023). Aplikasi formulasi biopestisida ini diberikan pada sore hari menggunakan botol semprot dengan cara menyemprotkan ke seluruh bagian atas permukaan tanaman, setiap larutan mengandung formulasi biopestisida sebanyak 10% dan ekstrak pupa maggot (2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5%) sekali aplikasi, sehingga total 25mL per tanaman sehingga total 100 mL per perlakuan (4 tanaman) (Hoque *et al.*, 2021)

3.5 Pengamatan

Parameter yang diamati sebagai berikut:

1. Karakterisasi Formula Biopestisida

Skrining senyawa bioaktif formulasi biopestisida dianalisis kandungan senyawa alkaloid, flavonoid, saponin, tannin, fenol, steroid, dan terpenoid.

2. Diameter Koloni *Phytophthora* spp.

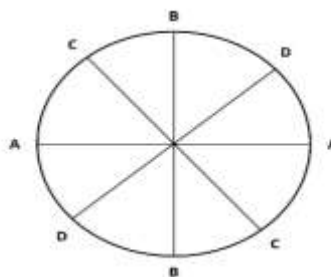
Pengukuran diameter koloni jamur dilakukan dengan membuat garis vertikal dan horizontal yang bersinggungan tepat pada tengah koloni jamur pada cawan petri. Menurut Nawawi (2001) rumus yang digunakan yaitu,

$$d = \frac{(AA) + (BB) + (CC) + (DD)}{4}$$

Keterangan:

- d = Diameter koloni jamur *Phytophthora* spp. (cm)
- AA = Diameter horizontal koloni jamur *Phytophthora* spp. (cm)
- BB = Diameter vertikal koloni jamur *Phytophthora* spp. (cm)
- CC dan DD = Diameter diagonal koloni jamur *Phytophthora* spp. (cm)

Skema pengukuran laju pertumbuhan diameter jamur *Phytophthora* spp. disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema Pengukuran Diameter *Phytophthora* spp. (Nawawi, 2001).

3. Persentase Daya Hambat

Rumus persentase daya hambat terhadap pertumbuhan dari jamur *Phytophthora* spp., menurut Yulis *et al.*, (2023) Yaitu:

$$P = \frac{Dk - Dp}{Dk} \times 100\%$$

Keterangan:

P = Persentase daya hambat (%)

Dk = Diameter koloni kontrol (cm)

Dp = Diameter koloni perlakuan (cm)

Kriteria kemampuan menghambat isolat jamur antagonis berdasarkan kajian yang dilakukan (Otten *et al.*, 2024). Menurut Yulia *et al.*, (2022), Kategori persentase penghambatan dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Persentase Penghambatan

Kategori	Persentase Hambatan
Rendah	0-29%,
Sedang	30-59%,
Tinggi	60-100%

4. Kejadian penyakit

Kejadian penyakit adalah jumlah tanaman yang terserang penyakit per jumlah total tanaman yang diamati. Ini menggambarkan proporsi per tanaman dalam suatu populasi yang menunjukkan gejala penyakit tertentu selama periode tertentu selama penelitian. Rumus Persentase Kejadian Penyakit (KP) menurut Nindias dkk., (2020) sebagai berikut.

$$KP = \frac{n}{N} \times 100\%$$

Keterangan:

KP = Kejadian Penyakit (%).

N = Jumlah seluruh tanaman yang diamati.

n = jumlah tanaman cabai yang terinfeksi *Phytophthora* spp.

5. Keparahan penyakit

Keparahan penyakit *Phytophthora* dihitung berdasarkan skor luas bercak, kemudian diidentifikasi berdasarkan kriteria ketahanan tanaman terhadap penyakit menurut Efri (2010). yaitu :

$$KP = \frac{\sum(n \times v)}{Z \times N} \times 100\%$$

Keterangan:

KP = Keparahan Penyakit.

n = Jumlah bercak yang ditimbulkan.

v = Nilai skor setiap kelas bercak.

N = Jumlah buah yang diamati.

Z = Nilai skor kelas luas bercak yang tertinggi.

Penentuan kategori serangan melalui skoring modifikasi dari Efri (2010),

dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Skoring kategori penyakit

Skala	Luas Bercak
0	Tidak ada bercak atau gejala
1	>0-20%
2	>20-40%
3	>40-60%
4	>60-80%
5	>80%

Sedangkan kriteria ketahanan tanaman berdasarkan intensitas serangan

Phytophthora berdasarkan modifikasi Efri (2010), dapat dilihat pada

Tabel 5.

Tabel 5. Skoring Keparahan Penyakit

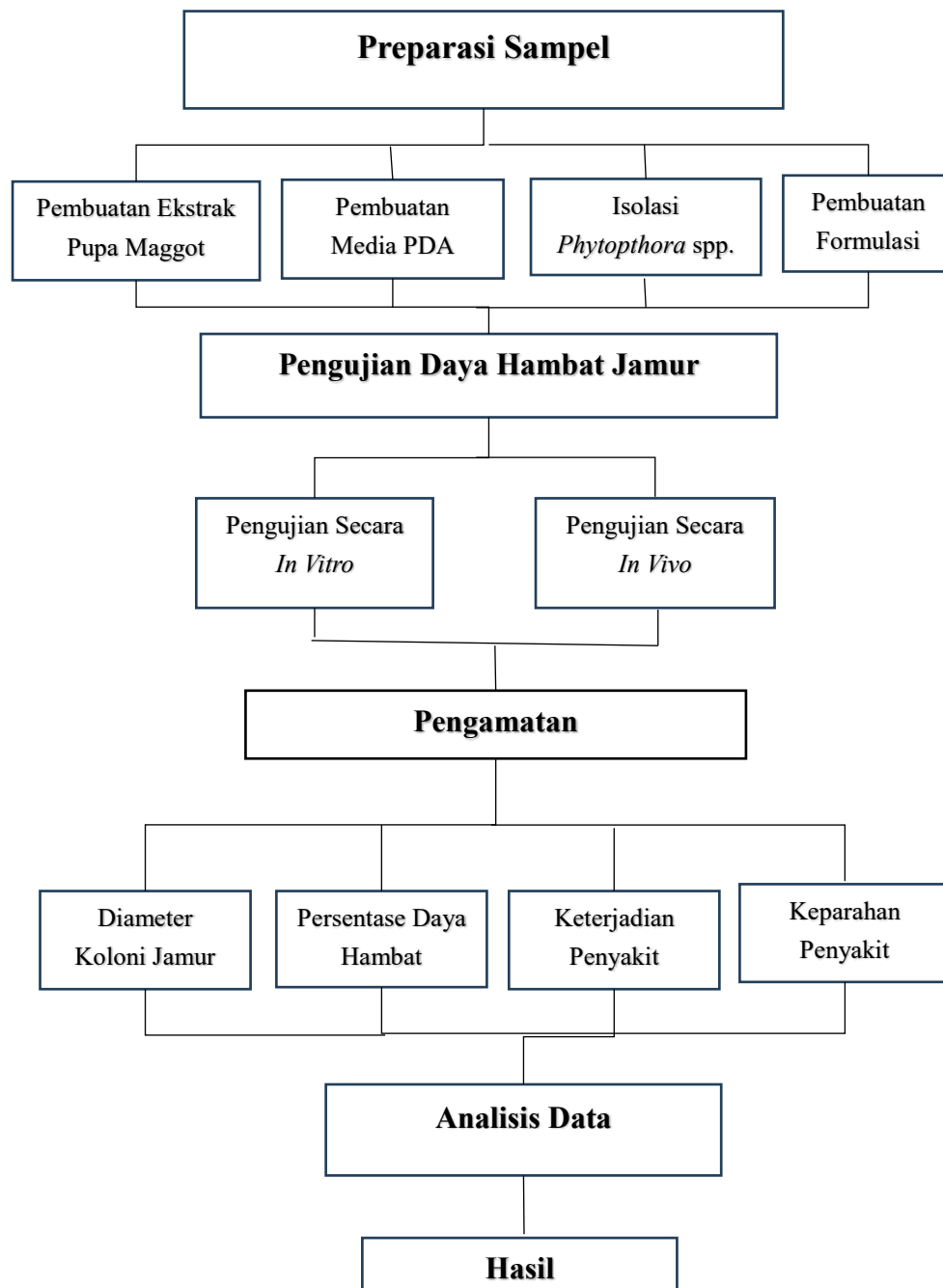
Kriteria	Intensitas Serangan (%)
Imun (i)	0
Sangat Tahan (st)	$0 < IS < 5$
Tahan (t)	$5 < IS < 10$
Rentan (r)	$10 < IS < 30$
Sangat Rentan (sr)	$30 < IS < 100$

3.6 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan analisis statistik terhadap diameter koloni jamur, kejadian penyakit, dan keparahan penyakit. Sebelum dianalisis dengan ANOVA dilakukan uji homogenitas dan dilakukan analisis ragam dengan uji ANOVA satu arah. Apabila terdapat perbedaan tiap perlakuan, maka diuji lanjut dengan uji Beda Nyata Jujur (BNJ) dengan taraf kepercayaan 5% ($\alpha = 5\%$). Uji homogenitas dilakukan untuk melihat variasi keragaman data pada uji. Uji ANOVA satu arah digunakan untuk melihat adanya perbedaan signifikan antar perlakuan, sementara uji BNJ digunakan untuk menentukan perlakuan mana yang memiliki efek nyata. Kombinasi kedua uji ini memastikan validitas hasil penelitian, sehingga dapat menentukan konsentrasi ekstrak pupa maggot yang paling efektif dalam formulasi biopestisida terhadap *Phytophthora* spp. pada tanaman tomat.

3.7 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. hasil skrining senyawa bioaktif menunjukkan bahwa formula biopestisida tersebut mengandung senyawa bioaktif seperti alkaloid, flavonoid, tanin, saponin, fenol, steroid, dan terpenoid.
2. penambahan ekstrak pupa maggot BSF terbukti berpengaruh menekan pertumbuhan *Phytophthora* baik secara *in vitro* (diameter koloni dan persentase daya hambat) maupun *in vivo* (kejadian penyakit dan keparahan penyakit).
3. konsentrasi biopestisida 10% + pupa maggot 7,5% (P3) merupakan konsentrasi terbaik yang berpengaruh terhadap pertumbuhan *Phytophthora* secara *in vitro* dan mampu menurunkan keparahan penyakit secara *in vivo*.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian ini adalah diperlukan pengujian toksisitas terhadap tanaman dan organisme non-target, termasuk serangga menguntungkan dan mikroba tanah, untuk memastikan keamanan biopestisida sebelum digunakan secara langsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Abad, z.g., Burgess, T.I., Bourret, T., Bensch K., Cacciola, S.O., Scanu,B., and Redford, A.J. 2023. *Phytophthora*: Taxonomi and Phylogenetic Revision Of The Genus. *Studies in Mycology*. 106(1): 259-348.
- Akhmad, N.A., Rahman, A.M., Haryuti, F.R.N., Apriliyani, F., Ramadhan, A.Y.P., dan Widiayani, N. 2021. Efektivitas Limbah Puntung Rokok Sebagai Biopestisida Pembasmi Kutu Putih (*Paracoccus Marginatus*) dengan Teknik Nozzle Pada Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum Frutescens* L.). *Jurnal Agrivigor*. 12(2): 48-54.
- Almeida, C., Murta, D., Nunes, R., Baby, A. R., Fernandes, Â., Barros, L., and Rosado, C. 2022. Characterization of lipid extracts from the *Hermetia illucens* larvae and their bioactivities for potential use as pharmaceutical and cosmetic ingredients. *Heliyon*. 8(5).
- Anggraini, N. 2018. Efektivitas Kulit Buah Rambutan (*Nephelium Lappaceum* L) Sebagai Larvasida Terhadap Larva Nyamuk *Aedes aegypti* (Sebagai Sumber Belajar Biologi Submateri Pencemaran Lingkungan Pada Peserta Didik Sma Kelas X Semester Ganjil). (*Doctoral Dissertation, UIN Raden Intan Lampung*).
- Ar.Inspiredpencil. 2023. <https://ar.inspiredpencil.com/pictures-2023/akar-tanaman-tomat>. (Diakses 17 september 2025, pukul 21.30).
- Arbai, M., Yusuf, N., dan Rahim, A. 2020. Efektivitas biopestisida nabati terhadap perkembangan penyakit *Phytophthora* pada tanaman hortikultura. *Jurnal Proteksi Tanaman*. 12(3): 221–230.
- Astika, N., Fitriyanti, D., dan Aidawati, N. 2023. Uji efektivitas ekstrak kulit jengkol (*Pithecellobium jiringa*) dalam menghambat penyakit antraknosa (*Colletotrichum* sp.) pada tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.). *Jurnal Proteksi Tanaman Tropika*. 6(1): 606-612.

- Auza, M., Nasution, H. M., Pulungan, A. F., dan Rani, Z. 2025. Skrining Fitokimia dan Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Etanol Dedak Padi (*Oryza sativa* L.) terhadap Kebocoran Membran Bakteri *Staphylococcus aureus*. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*. 1177-1193.
- Badan Pusat Statistik Indonesia. 2024. *Statistik Hortikultura 2023*. Jakarta: BPS.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., and Idaomar, M. 2008. Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology*. 46(2): 446–475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>.
- Bassani, I., Larousse, M., Tran, Q.D., Attard, A., and Galiana, E. 2020. *Phytophthora zoospores: From Perception of Environmental Signal to Inoculum Formation on The Host-root Surface*. *Computation and Structural Biotechnology Journal*. 18: 3766-3773. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2020.10.045>.
- Bharti, V., and Ibrahim, S. 2020. Biopesticides: Production, formulation and application systems. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci*. 9(10): 3931-3946.
- BioSupplies, 2025. <https://biosupplies.net.au/house-fly-pupae/>. (Diakses 17 September 2025, Pukul 22.00).
- Borges, S., Alkassab, A. T., Collison, E., Hinarejos, S., Jones, B., and McVey, E. 2021. Overview of the testing and assessment of effects of microbial pesticides on bees: strengths, challenges and perspectives. *Apidologie*. 52: 1256–1277. doi: 10.1007/s13592-021-00900-7.
- Borges, A., Ferreira, C., Saavedra, M. J., and Simões, M. 2013. Antibacterial activity and mode of action of ferulic and gallic acids against pathogenic bacteria. *Microbial Drug Resistance*. 19(4): 256–265. <https://doi.org/10.1089/mdr.2012.0244>.
- Budikania, T. S., Herawati, H., dan Nasution, A. F. 2021. Karakteristik Fitokimia dan Aktivitas Antioksidan Ekstrak Pupa Black Soldier Fly (BSF). *Warta Akab*. 45(2).

- Butu, M., Rodino, S., and Butu, A. 2022. *Biopesticide formulations-current challenges and future perspectives*. In *Biopesticides* (pp. 19-29). Woodhead Publishing.
- Calabrese, E. J. and Baldwin, L. A. 2003. Hormesis: The dose–response revolution. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*. 43: 175–197. <https://doi.org/10.1146/annurev.pharmtox.43.100901.140223>.
- Cowan, M. M. 1999. Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*. 12(4): 564–582. <https://doi.org/10.1128/CMR.12.4.564>.
- Cronquist, A. 1981. *An Integrated System of Classification of Flowering Plants*. New York: Columbia University Press.
- Daglia, M. 2012. Polyphenols as antimicrobial agents. *Current Opinion in Biotechnology*. 23(2),174–181. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.08.007>.
- Devi, L., Roswanjaya, Y. P., Saryanah, N. A., Suhendra, A., and Putri, A. L. 2020. Formulasi Biopestisida *Trichoderma asperellum* Samuels, Liecfc dan Nirenberg. *AGROSCRIPT: Journal of Applied Agricultural Sciences*. 2(2): 91-104.
- Dewi, F., dan Salim, A. 2022. Mekanisme penghambatan senyawa steroid dan terpenoid terhadap patogen tanaman. *Journal of Agricultural Biology*. 10(1): 14–22.
- Direktorat Jenderal Hortikultura. 2024. *Angka Tetap Hortikultura Tahun 2023*. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- Efri, E. 2010. Pengaruh ekstrak berbagai bagian tanaman mengkudu (*Morinda citrifolia*) terhadap perkembangan penyakit antraknosa pada tanaman cabe (*Capsicum annuum* L.). *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika*. 10(1): 52-58.
- Elnahal, A. S., El-Saadony, M. T., Saad, A. M., Desoky, E. S. M., El-Tahan, A. M., Rady, M. M., and El-Tarabily, K. A. 2022. The use of microbial inoculants

for biological control, plant growth promotion, and sustainable agriculture: A review. *European Journal of Plant Pathology*. 162(4): 759-792.

- Firdaus, M. F., Sigiro, R. H., Nawangsih, A. A., Purwanto, U. M. S., dan Andrianto, D. 2023. Potensi ekstrak maggot lalat tentara hitam *Hermetia illucens* (Linnaeus) dalam regulasi mekanisme antioksidan selular dan antiradang. In silico study. *Jurnal Entomologi Indonesia*. 20(3): 223-223.
- Fitri, R. A. 2024. Pemberlakuan Khusus Media Budidaya Maggot Terhadap Kualitas Fisik Dan Kimia Maggot Kering. *Journal Article*. <https://eprints.unram.ac.id/43402/2/JURNAL-%20Rizka%20Aidatul%20Fitri%20-%20B1D019236.pdf>.
- Fitriyati, F., Ellyzarti, E., dan Lande, M. L. 2014. Studi variasi morfologi tanaman tomat gunung (*Lycopersicum esculentum* Mill. Var. *Cerasiforme*) di Bandar Lampung. *Jurnal Ilmiah Biologi Eksperimen dan Keanekaragaman Hayati (J-BEKH)*. 2(1): 20-25.
- Francis, G., Kerem, Z., Makkar, H. P. S., and Becker, K. 2002. The biological action of saponins in plant systems. *British Journal of Nutrition*, 88(6): 587–605.
- Fry, W. E. 2008. *Phytophthora infestans*: The plant (and R gene) destroyer. *Molecular Plant Pathology*. 9(3): 385–402. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00465>.
- Hanudin, H. dan Marwoto, B. 2012. Prospek Penggunaan Mikroba Antagonis sebagai agens pengendali hayati penyakit utama pada tanaman hias dan sayuran. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. 31(1): 30898.
- Hardham, A. R. 2001. The cell biology behind *Phytophthora* pathogenicity. *Australasian Plant Pathology*. 30(2): 91–98. <https://doi.org/10.1071/AP01006>
- Harte, S. J., Bray, D. P., Nash-Woolley, V., Stevenson, P. C., and Fernández-Grandon, G. M. 2024. Antagonistic and additive effect when combining biopesticides against the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Scientific Reports*. 14(1): 6029.

- Harborne, J. B. 2008. Phytochemical methods: A guide to modern techniques of plant analysis. *Chapman and Hall*.
- Harborne, J. B. 1998. *Phytochemical Methods: A Guide to Modern Techniques of Plant Analysis*. Springer.
- Hariana, A. 2007. *Tumbuhan Obat dan Khasiatnya*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Hartono, D. 2023. Perubahan iklim dan dampaknya pada Indonesia. *Jurnal Mirai Management*. 8(2).
- Hoque, T. S., Abedin, Md. A., Kibria, M. G., Jahan, I., and Hossain, M. A. 2021. Application of Moringa Leaf Extract Improves Growth and Yield of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and Indian Spinach (*Basella alba*). *Plant Science Today*. 9 (1): 137-143.
- Idris, M., Rismayani, D., Aulia, A., Nopiyanti, T., and Rahayu, R. 2024. Biology of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) and Utilization of its Waste (Maggot Frass) For Plant Growth: A Literature Review. *Jurnal Biologi Tropis*. 24(3): 273-291.
- Iqbal, O., Li, C., and Lodhi, A. M. 2023. *Antagonistic Pseudomonas: alternative to chemical fungicides for the management of phytopathogens*. In *Biofungicides: Eco-Safety and Future Trends* (pp. 216-246). CRC Press.
- Isman, M. B. 2006. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annual Review of Entomology*. 51: 45–66.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151146>.
- Istock, 2025. <https://www.istockphoto.com/id/foto/tanaman-tomat-dan-tomat-mentah-terinfeksi-dengan-hawar-terlambat-yang-disebabkan-oleh-gm1334798957-416782277>. (Diakses 17 september 2025, pukul 20.00).
- Judelson, H. S., and Blanco, F. A. 2005. The spores of *Phytophthora*: Weapons of the plant destroyer. *Nature Reviews Microbiology*. 3(1): 47–58.
<https://doi.org/10.1038/nrmicro1064>.

- Kartika, E., Yusuf, R., and Syakur, A. 2015. Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.) pada Berbagai Persentase Naungan. *E-Jurnal Agrotekbis*. 3(6): 717-724.
- Kew Science, Plants of the World Online. (n.d.). *Solanum lycopersicum* L. <https://powo.science.kew.org/taxon/urn%3Apsid%3Aipni.org%3Anames%3A316947-2>.
- Kumar, J., Ramlal, A., Mallick, D., and Mishra, V. 2021. An overview of some biopesticides and their importance in plant protection for commercial acceptance. *Plants*. 10(6): 1185. <https://doi.org/10.3390/plants10061185>.
- Kurnia, T., Herlina, L., dan Putra, A. 2020. Hubungan konsentrasi ekstrak nabati dan stabilitas antifungal. *Journal of Applied Biology*. 12(1): 33–41.
- Kursa, W., Jamiołkowska, A., Wyrostek, J., and Kowalski, R. 2022. Antifungal Effect of Plant Extracts on the Growth of the Cereal Pathogen *Fusarium* spp.—An In Vitro Study. *Agronomy*. 12(12): 3204. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123204>
- Kusumaningtyas, R.D., Suyitno, H., dan Wulansarie, R. 2018. Pengolahan Limbah Kulit Durian di Wilayah Gunungpati Menjadi Biopestisida yang Ramah Lingkungan. *Rekayasa: Jurnal Penerapan Teknologi dan Pembelajaran*. 15(1): 38-43.
- Kuswinati, T., Patandjengi, B., Melina., and Hardina, N. 2023. Morphological and Molecular Characterization of *Phytophthora palmivora* Isolates and Their Virulence Test on Cocoa Clone Sulawesi 2. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 19(4).
- Latifah, M., Kamaruzaman, S., Zainal Abidin, M. A., and Nusaibah, S. A. 2018. Identification of *Phytophthora* spp. from perennial crops in Malaysia, its pathogenicity and cross-pathogenicity. *Sains Malaysiana*, 47(5), 909–921. [https://www.ukm.my/jsm/pdf_files/SM-PDF-47-5-2018/06%20M.%20Latifah.pdf](https://www.ukm.my/jsm/pdf_files/SM-PDF-47-5-2018/06%20M.%20Latifah.pdf).
- Li, Y., Ping, C., Yao, M., Chen, L., Su, S., Zhu, Q., and Yan, W. 2025. *Antimicrobial and herbicidal secondary metabolites from insect-*

associated fungus *Leptosphaeria* sp. FZN28 in *Mecopoda elongata*. *Agronomy*. 15(12): 2673. <https://doi.org/10.3390/agronomy15122673>.

Linnaeus, C. 1758. *Systema Naturae per Regna Tria Naturae, Secundum Classes, Ordines, Genera, Species, cum Characteribus, Differentiis, Synonymis, Locis. Holmiae (Laurentii Salvii)*.

Mare, T. W., Gresinta, E., dan Noer, S. 2023. Efektivitas Pupuk Organik Cair Daun Kelor (*Moringa oleifera*) terhadap Pertumbuhan Tanaman Bawang Daun (*Allium fistulosum* L.). *Biological Science and Education Journal*. 3 (1): 47-51.

Matumwabirhi, K. 2020. *Effectiveness of Trichoderma Spp., Bacillus Spp. And Pseudomonas Fluorescens in the Management of Early Blight of Tomatoes* (Doctoral dissertation, University of Nairobi).

Maulida, M. N., and Fatmawati, U. 2025. Antifungal, hydrolytic enzyme activity, and identification of gut bacterial in feces of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *AL-KAUNIYAH: Jurnal Biologi*. 18(1): 122–133. <https://journal.uinjkt.ac.id/kauniyah/article/view/37354>

Muller A, Wolf D, and Gutzeit HO. 2017. The black soldier fly, *Hermetia illucens*—A promising source for sustainable production of proteins, lipids and bioactive substances. *Zeitschrift fur Naturforschung. C, Journal of Biosciences*. 72: 351–363. DOI: <https://doi.org/10.1515/znc2017-0030>.

Mulyani, R. B., Melhanah, M., Supriati, L., dan Kresnatita, S. 2022. Pelatihan Pembuatan Biopestisida Secara Sederhana pada Kelompok Tani di Kota Palangka Raya sebagai Solusi Efisiensi Biaya di Masa Pandemi Covid 19. *Bubungan Tinggi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*. 4(2): 467-477.

Mwaniki, S. W., Khamis, F. M., Ekesi, S., and Tanga, C. M. 2022. Insects for sustainable food, feed and non-food applications in Africa: Current status and future perspectives. *Journal of Insects as Food and Feed*. 8(1): 1-20. <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0112>.

Nawawi, G, 2001. *Mengukur Jarak dan Sudut, Modul Program Keahlian Mekanisme Pertanian*. Departemen Pendidikan Nasional. Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan. Jakarta.

- Nazari, A. P. D., Rusdiansyah, Siregar, A. P. M., dan Rahmi, A. 2020. Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.) pada Pemberian Pupuk Zn dan Jarak Tanam yang Berbeda. *Ziraa 'ah*. 45 (3): 241-253.
- NCBI Taxonomy. 2024. *Solanum lycopersicum* Linnaeus, 1753. *National Center for Biotechnology Information*.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?id=4081>.
- Nindias, O.W., Nirwanto, H., Harijani, W.S., dan Imanadi, L. 2020. Model Perkembangan Penyakit Bulai dengan Variabel Budidaya diKecamatan Puri Kabupaten Mojokerto. *Jurnal Plumula*. 8(1): 23-33.
- Ningsih, S. D., Henri., Roanisca, O., dan Mahardika, G.R. 2020. Skrining Fitokimia Dan Penetapan Kandungan Total Fenolik Ekstrak Daun Tumbuhan Sapu-Sapun (*Barckea frutescens*). *Journal Of Tropical Biologi*. 8(3). DOI: 10.21776/ub.biotropika.2020.008.03.06.
- Ortuño, A., Bassam, M., and Rubio, P. 2011. Phenolic compounds as defense molecules against fungal pathogens. *Plant Protection Science*. 7(2): 76–87.
- Peralta, I. E., and Spooner, D. M. 2000. Classification of wild tomatoes: a review. *Kurtziana*, 28(1), 45-54. *CABI Compendium*. (n.d.). *Solanum lycopersicum* (tomato). CABI.
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.1079/cabicompendium.31837>.
- Putri, D. R., Asri, M. T., dan Ratnasari, E. 2019. Aktivitas antifungi ekstrak buah pare (*Momordica charantia* L.) dalam menghambat pertumbuhan jamur *Fusarium oxysporum*. *Lentera Bio: Berkala Ilmiah Biologi*. 8(2).
- Rabani V, Cheatsazan H, and DavaniS. 2019. Proteomics and lipidomics of black soldier fly (Diptera: *Stratiomyidae*) and blow fly (Diptera: *Calliphoridae*) larvae. *Journal of Insect Science*. 19: 1–9. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iez050>.
- Sabhira, A. R., Fadiah, L. H., and Umami, M. 2025. Analisis Senyawa Fitokimia dari Ekstrak Maggot Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*). *Zoologi*:

Jurnal Ilmu Peternakan, Ilmu Perikanan, Ilmu Kedokteran Hewan. 3(2): 51-63. <https://doi.org/10.62951/zoologi.v3i2.202>.

Sakr, N. 2022. In vitro Methodology to Assess Quantitative Resistance in Plant-fungus Pathosystems. *The Open Agriculture Journal*.
<https://doi.org/10.2174/18743315-v16-e221020-2022-ht14-3623-4>.

Sasmi, J., Mahdi, N., dan Kamal, S. 2017. Jenis tanaman yang digunakan untuk obat tradisional di kecamatan Kluet Selatan. *BIOTIK: Jurnal Ilmiah Biologi Teknologi dan Kependidikan*. 5(1): 36-59.

Sastrahidayat, I. R. 2011. *Fitopatologi: Ilmu Penyakit Tumbuhan*. Universitas Brawijaya Press.

Scalbert, A. 1991. Antimicrobial properties of tannins. *Phytochemistry*, 30(12): 3875–3883. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(91\)83426-L](https://doi.org/10.1016/0031-9422(91)83426-L).

Sheppard, D. C., Newton, G. L., Thompson, S. A., and Savage, S. 1994. A value added manure management system using the black soldier fly. *Bioresource Technology*. 50(3): 275–279. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(94\)90102-3](https://doi.org/10.1016/0960-8524(94)90102-3).

Sihotang, D. R., Syafitri, D., and Septianingrum, P. A. 2025. Identification of Pests and Diseases in Tomato Plants in Jeprono Village, Karangbangun District, Karanganyar Regency. *Jurnal Biologi Tropis*. 25(1): 381-393.

Suganda, T., Simarmata, I.N.C., Supriyadi, Y. dan Yulia, E., 2019. Uji *In-Vitro* Kemampuan Ekstrak Metanol Bunga dan Daun Tanaman Kembang Telang (*Clitoria ternatea* L.) dalam Menghambat Pertumbuhan Jamur *Fusarium oxysporum f.sp. cepae*. *Agrikultura*. 30(3): 109–116.
<https://doi.org/10.24198/agrikultura.v30i3.24031>.

Sundari, N. 2024. Dampak Penerapan Teknologi Biopestisida pada Pengendalian Hama Tanaman. *literacy notes*. 2(1).

Surendra, K. C., Olivier, R., Tomberlin, J. K., and Khanal, S. K. 2016. Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. *Renewable Energy*. 98: 197-2022.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.022>.

- Sutriadi, M.T., Harsanti, E.S., Wahyuni, S., dan Wihardjaka, A. 2019. Pestisida Nabati: Prospek Pengendali Hama Ramah Lingkungan. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 13(2): 89-101.
- Taufik, D., Rahmawati, S., dan Nugroho, A. 2022. Efektivitas ekstrak maggot dalam formulasi pestisida organik. *Journal of Plant Protection Research*.
- Trease, G. E., and Evans, W. C. 2002. *Pharmacognosy (15th ed.)*. Saunders Elsevier.
- Trisnawati, D., Nugroho, dan Efi, T.T. 2019. Pengaruh Ekstrak Daun Sirih Dan Metode Ekstraksinya Dalam Menghambat Penyakit Antraknosa Pada Cabai Pascapanen. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 15(6): 213-227.
- Ula,a. dan Mizani, Z.M. 2022. Pemanfaatan Limbah Kulit Bawang Putih Menjadi Biopestisida Alami Pada Kelompok Tani di Desa Klorogan, Kec. Geger, Kab. Madiun. *Jurnal Tadris IPA Indonesia*. 2(11): 111-120.
- Van Huis, A. 2020. Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: A review. *Journal of Insects as Food and Feed*. 6(1): 27-44.
<https://doi.org/10.3920/JIFF2019.0044>.
- Wahyurini, E. dan Lagiman. 2020. *Teknik Budidaya dan Pemuliaan Tanaman Tomat. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat*. Yogyakarta.
- Wardana, A.H. 2016. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) sebagai sumber protein alternatif untuk pakan ternak. *WARTAZOA*. 26: 69–78. DOI:
<https://doi.org/10.14334/wartazoa.v26i2.1327>.
- Wardiman, B., Fitriyani, E., Heriyani, S., Ashar, J.R., dan Panga, N.J. 2024. *Pertanian Keberlanjutan*. Tohar Media.
- Widodo. 2007. Penyakit hawar daun (late blight) pada tomat dan pengendaliannya. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 13(2): 67–73.

- Yulia, E., Widiyanti, F., dan Susanto, A. 2020. Manajemen Aplikasi Pestisida Tepat dan Bijaksana Pada Kelompok Tani Padi dan Sayuran di SLPP Arjasari. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 3(2): 310-324.
- Zebua, M. J., Suharsi, T. K., dan Syukur, M. 2019. Studi Karakter Fisik dan Fisiologi Buah dan Benih Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) Tora IPB. *Bul. Agrohorti*. 7 (1): 69-75.
- Ziladi, A. R., Hendarto, K., Ginting, Y. C., dan Karyanto, A. 2021. Pengaruh Jenis Pupuk Organik Dan Aplikasi pupuk Hayati Terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum* Mill) Di Desa Sukabanjar Kecamatan Gedong Tataan. *Jurnal Agrotek Tropika*. 9(1): 145-151.