

**EFEKTIVITAS DAN KARAKTERISASI FORMULASI BIOPESTISIDA
PUPA MAGGOT DENGAN PENAMBAHAN EKSTRAK DAUN BIDARA
(*Ziziphus mauritiana* Lam.) TERHADAP *Phytophthora* sp. PADA
TANAMAN CABAI MERAH BESAR (*Capsicum annuum* L.)**

(Skripsi)

Oleh

Frudent Aulia Anjani Surahman

2217061032



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

ABSTRAK

EFEKTIVITAS DAN KARAKTERISASI FORMULASI BIOPESTISIDA PUPA MAGGOT DENGAN PENAMBAHAN EKSTRAK DAUN BIDARA (*Ziziphus mauritiana* Lam.) TERHADAP *Phytophthora* sp. PADA TANAMAN CABAI MERAH BESAR (*Capsicum annuum* L.)

Oleh

Frudent Aulia Anjani Surahman

2217061032

Penyakit busuk batang dan buah akibat *Phytophthora* sp. menjadi penyebab utama penurunan produksi cabai merah besar (*Capsicum annuum* L.). Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi senyawa aktif serta mengevaluasi efektivitas formulasi biopestisida pupa maggot (*Hermetia illucens*) dengan penambahan ekstrak etanol daun bidara (*Ziziphus mauritiana* Lam.) dalam menghambat pertumbuhan *Phytophthora* sp. secara *in vitro* dan *in vivo*. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan enam perlakuan, yaitu kontrol dan formulasi biopestisida 10% dengan variasi konsentrasi ekstrak daun bidara 0,5–2,5% serta konsentrasi ekstrak pupa maggot tetap 2,5%. Parameter yang diamati meliputi skrining senyawa aktif, pertumbuhan koloni jamur, daya hambat, kejadian penyakit, dan keparahan penyakit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa formulasi biopestisida mengandung alkaloid, flavonoid, saponin, tanin, fenol, terpenoid, dan steroid. Seluruh perlakuan mampu menekan pertumbuhan *Phytophthora* sp. dibandingkan kontrol. Perlakuan P1 (0,5%) dan P2 (1%) menunjukkan efektivitas terbaik dengan penurunan diameter koloni, kejadian penyakit, dan keparahan penyakit secara signifikan. Formulasi biopestisida pupa maggot dengan penambahan ekstrak daun bidara berpotensi dikembangkan sebagai pengendali hayati ramah lingkungan terhadap *Phytophthora* sp.

Kata kunci: Biopestisida, Cabai Merah Besar, *Hermetia illucens*, Pengendalian Hayati, *Phytophthora* sp., *Ziziphus mauritiana*

ABSTRACT

EFFECTIVENESS AND CHARACTERIZATION OF MAGGOT PUPA-BASED BIOPESTICIDE FORMULATION WITH THE ADDITION OF SIDR LEAF EXTRACT (*Ziziphus mauritiana* Lam.) AGAINST *PHYTOPHTHORA* SP. ON RED CHILI PEPPER (*capsicum annum* L.)

By

Frudent Aulia Anjani Surahman

2217061032

Large red Stem and fruit rot disease caused by *Phytophthora* sp. is a major factor contributing to yield losses in large red chili (*Capsicum annum* L.). This study aimed to identify active compounds and evaluate the effectiveness of a maggot pupae (*Hermetia illucens*) biopesticide formulation supplemented with ethanol extract of bidara leaves (*Ziziphus mauritiana* Lam.) in inhibiting the growth of *Phytophthora* sp. under in vitro and in vivo conditions. The experiment was arranged in a Completely Randomized Design with six treatments, consisting of a control and a 10% biopesticide formulation with varying concentrations of bidara leaf extract (0.5–2.5%) and a fixed concentration of maggot pupae extract at 2.5%. Observed parameters included phytochemical screening, fungal colony growth, inhibition rate, disease incidence, and disease severity. The results showed that the biopesticide formulation contained alkaloids, flavonoids, saponins, tannins, phenols, terpenoids, and steroids. All treatments significantly suppressed the growth of *Phytophthora* sp. compared to the control. Treatments P1 (0.5%) and P2 (1%) exhibited the highest effectiveness by significantly reducing colony diameter, disease incidence, and disease severity. The maggot pupae biopesticide formulation supplemented with bidara leaf extract has strong potential to be developed as an environmentally friendly biological control agent against *Phytophthora* sp.

Key words: Biopesticide, Biological Control, *Hermetia illucens*, Large Red Chili, *Phytophthora* sp., *Ziziphus mauritiana*

**EFEKTIVITAS DAN KARAKTERISASI FORMULASI BIOPESTISIDA
PUPA MAGGOT DENGAN PENAMBAHAN EKSTRAK DAUN BIDARA
(*Ziziphus mauritiana* Lam.) TERHADAP *Phytophthora* sp. PADA
TANAMAN CABAI MERAH BESAR (*Capsicum annuum* L.)**

Oleh

Frudent Aulia Anjani Surahman

2217061032

SKRIPSI

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

Pada

Jurusan Biologi

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



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

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : Efektivitas Dan Karakterisasi Formulasi Biopestisida Pupa Maggot Dengan Penambahan Ekstrak Daun Bidara (*Ziziphus mauritiana* Lam.) Terhadap *Phytophthora* sp. Pada Tanaman Cabai merah besar (*Capsicum annum* L.)

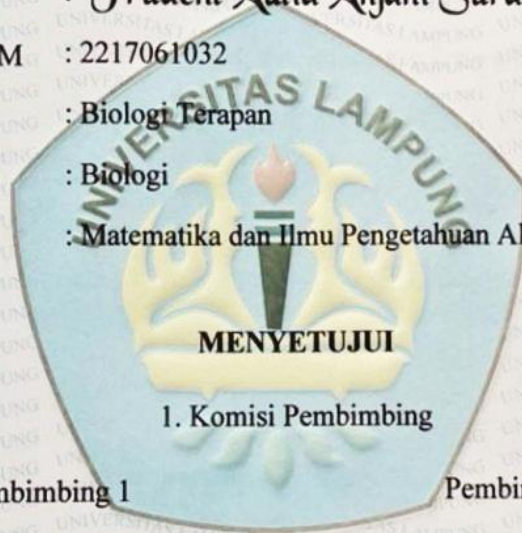
Nama : **Frudent Aulia Anjani Surahman**

Mahasiswa NPM : 2217061032

Program Studi : Biologi Terapan

Jurusan : Biologi

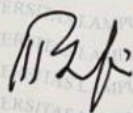
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

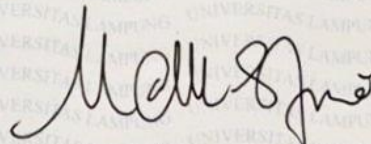
Pembimbing 1

Pembimbing II



Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc.

NIP 196503031992031006



Dr. Mahfut, S.Si., M. Sc.

NIP 198109092014041001

2. Ketua Jurusan Biologi FMIPA



Dr. Jani Mastet, S. Si., M. Si

NIP 198301312008121001

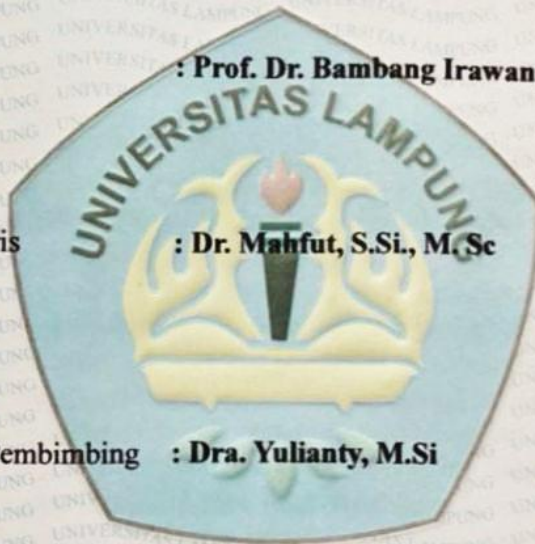
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

Sekertaris : Dr. Mahfut, S.Si., M. Sc

**Penguji
Bukan Pembimbing : Dra. Yulianty, M.Si**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

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



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 25 Mei 2026

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Nama : Frudent Aulia Anjani Surahman
NPM : 2217061032
Jurusan : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa skripsi saya yang berjudul :

“Efektivitas dan Karakterisasi Formulasi Biopestisida Pupa Maggot dengan penambahan Ekstrak Daun Bidara (*Ziziphus mauritiana* Lam.) terhadap *Phytophthora* sp. Pada Tanaman Cabai Merah Besar (*Capsicum annuum* L.).”

Baik gagasan, metode, hasil, pembahasan dan analisisnya adalah benar karya saya sendiri berdasarkan pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Skripsi ini saya susun dengan mengikuti pedoman dan norma akademik yang berlaku dan saya memastikan bahwa karya ini tidak berisi material yang telah dipublikasi sebelumnya atau plagiat dari orang lain. Demikian pernyataan ini saya buat. Apabila di kemudian hari dalam karya ilmiah ini ditemukan adanya kecurangan, maka saya siap mempertanggung jawabkannya.

Bandar Lampung, 2 Maret 2026
Yang Menyatakan,



Frudent Aulia Anjani S.
2217061032

RIWAYAT HIDUP



Frudent Aulia Anjani, biasa disapa Aulia, lahir di Bandar Lampung, 18 November 2004. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara, dari pasangan Bapak Ali dan Ibu Nur. Penulis mulai menempuh pendidikan di TK Islam Fatimah pada tahun 2010, dilanjutkan pendidikan dasar di SD Muhammadiyah Islam Fatimah tahun 2010-2016, lalu penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Sumbawa tahun 2016-2018 dan melanjutkan pendidikan menengah di SMP Negeri 1 Sembawa, pada tahun 2018-2021. Kemudian, penulis diterima sebagai mahasiswi Perguruan Tinggi melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) pada Program Studi S1 Biologi Terapan, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) pada tahun 2022. Selama menempuh pendidikan di Perguruan Tinggi, penulis aktif mengikuti berbagai aktivitas eksternal dan internal di kampus. Penulis ikut andil dalam akademik dengan menjadi asisten laboratorium botani, asisten praktikum dalam beberapa mata kuliah (Keterampilan Kerja Laboratorium, Teknik Biomolekuler, Genetika Molekuler, Mikrobiologi Lingkungan, Pengantar Rekayasa Genetika, Mikroteknik Tumbuhan, dan Teknik Kultur In-vitro). Selain itu, penulis aktif mengikuti organisasi internal kampus seperti Himpunan Mahasiswa Biologi (HIMBIO) sebagai anggota KOMINHUM, dan eksternal seperti Lampung Freediving Club, Mountainerring Climbing Lampung, dan aktif sebagai Volunteer di Sekolah Rakyat Busa Pustaka, Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT Great Giant Foods yang berada di Lampung Tengah pada bulan Desember-Januari 2024. Penulis telah menyelesaikan laporan akhir PKL dengan judul “Efektifitas Formulasi Biopestisida GGP Dengan Penambahan

Ekstrak Pupa Maggot 10% Terhadap *Phytophthora* Sp. Secara *In-Vitro* Dan *In-Planta* Di PT. Great Giant Pineapple Lampung”. Kemudian, pada bulan Juli-Agustus 2025 penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kecamatan Kemiling, Kota Bandar Lampung Prov. Lampung.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Puji syukur kepada Allah Subhannahu Wata'ala atas segala nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan karya tulis ini.

Saya persembahkan karya tulis ini kepada Ibu saya yang telah memberikan isi dunia kepada saya. Teruntuk mamah Nur selaku wanita hebat dan kuat yang ada di alam semesta ini. Mah, terimakasih untuk apapun yang telah dikorbankan kepada penulis, terimakasih untuk segala bentuk dukungan baik secara material maupun non-material, terimakasih untuk selalu menerima keputusan penulis, terimakasih untuk segala hal yang bahkan kedua tangan ini tidak bisa mengetikkan satu-persatu.

Saya ucapkan terimakasih banyak kepada Bapak dan Ibu Dosen atas segala ilmu yang telah diberikan. Terutama kepada pembimbing dan pembahas penulis, Bapak Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc, Bapak Dr. Mahfut, S.Si., M. Sc., Ibu Dra. Yulianty, M.Si.

Segenap teman-teman Jurusan Biologi dan Jurusan lainnya, terimakasih telah kebersamai sedari awal sampai akhir perkuliahan.

Almamater tercinta, Universitas Lampung yang selalu menjadi kebanggaan penulis.

MOTTO

سَهْلًا شِئْتُ إِذَا الْحَزْنَ تَجْعَلُ سَهْلًا وَأَنْتَ جَعَلْتَهُ مَا لَا سَهْلًا لِأَلَّهِمَّ

“Ya Allah, tidak ada kemudahan kecuali yang Engkau buat mudah, dan Engkau menjadikan kesedihan (kesulitan), jika Engkau kehendaki pasti akan menjadi mudah”.

(HR. Ibnu Hibban [3/255])

SANWACANA

Puji syukur kepada Allah Subhannahu Wata`ala yang telah memberikan segala nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan judul “EFEKTIVITAS DAN KARAKTERISASI FORMULASI BIOPESTISIDA PUPA MAGGOT DENGAN PENAMBAHAN EKSTRAK DAUN BIDARA (*Ziziphus mauritiana* lam.) TERHADAP *Phytophthora* sp. PADA TANAMAN CABAI MERAH BESAR (*Capsicum annuum* l.)” yang dibuat sebagai bentuk pertanggungjawaban penulis dan sebagai salah satu syarat untuk mendapat gelar Sarjana Sains di Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa selama proses penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Dalam proses penyusunan skripsi ini tidak luput dari arahan, kritik, saran, maupun dukungan dari berbagai pihak sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc, selaku pembimbing I atas semua saran, masukan, dukungan, dan ilmu-ilmu yang bermanfaat
2. Bapak Dr. Mahfut, S.Si., M. Sc., selaku pembimbing II yang telah membimbing penulis, serta meluangkan waktunya dengan sepuh hati.
3. Ibu Dra. Yulianty, M.Si selaku Pembahas yang telah banyak memberikan ilmu, nasihat, kritik, dan saran yang sangat membangun kepada penulis.
4. Ibu Gina Dania Pratiwi, S.Si., M.Si selaku pembimbing akademik dan Ketua Program S1-Biologi Terapan
5. Bapak Jani Master, S.Si., M.Si selaku Ketua Jurusan Biologi, FMIPA, Unila.

6. Bapak dan Ibu dosen di lingkungan FMIPA, Unila khususnya Jurusan Biologi yang telah memberikan seluruh ilmu-ilmu yang bermanfaat pada saat perkuliahan berlangsung.
7. Ibu penulis, Ibu Nur yang selalu mendukung penuh penulis dalam keadaan apapun, dan selalu berkoban untuk penulis.
8. Adik penulis, Alindiaz Fitrah Surahman. Terimakasih untuk segala bentuk dukungan kepada penulis.
9. Mba Dhiny Suntya Putri, M. P selaku laboran di Laboratorium Botani. Terimakasih mba untuk semua ilmu, dukungan, saran, kritik, masukkan, motivasi kepada penulis.
10. Lyra Carisca, Astry Wasuhaya, Debi Nur , Intan Banafsyah, Doni Adrian, Syafa Dinarda, Wulan Meri, Dhika Taufan Hidayat Terimakasih untuk segala kenangan dari awal perkuliahan berlangsung, untuk semua suka dan duka, dan segala bentuk dukungan yang menjadikan warna baru dalam kehidupan penulis.
11. Affla Adhi Chandra terimakasih untuk segala bentuk dukungan dan cinta selama perjalanan hidup penulis.
12. Seluruh Asisten Laboratorium Botani, teman seangkatan, teman-teman The Buddies Freedive yang namanya tidak bisa penulis tuliskan satu persatu terimakasih untuk semua pengalaman yang kita lakukan.
13. Almamater tercinta penulis, Universitas Lampung.
14. Frudent Aulia Anjani, terimakasih untuk diri sendiri yang sudah bertahan sampai sejauh ini. Mari lanjutkan rencana-rencana baik dan berkelana keliling dunia.

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRAK	iii
MOTTO	x
SANWACANA	xi
LEMBAR PENGESAHAN	xiii
DAFTAR ISI.....	xiv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Kerangka Teoritis	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Bidara (<i>Ziziphus mauritiana Lam.</i>)	6
2.1.1 Morfologi dan Taksonomi Bidara	6
2.1.2 Kandungan Senyawa Aktif	8
2.2 Cabai merah besar (<i>Capsicum annuum L.</i>)	9
2.2.1 Morfologi dan Taksonomi Cabai merah besar	10
2.3 <i>Phytophthora</i> sp.	12
2.3.1 Morfologi	13
2.4 Karakteristik Gejala Infeksi <i>Phytophthora</i> sp. pada tanaman	14
2.5 Biopestisida	15
2.6 Pupa Maggot Sebagai Bahan Aktif Biopestisida.....	16
2.7 Karakterisasi Senyawa Aktif	17
III. METODE PENELITIAN	19
3.1 Waktu dan Tempat.....	19
3.2 Alat dan Bahan	19
3.3 Rancangan Penelitian	20
3.4 Prosedur Kerja	22
3.4.1 Pembuatan Ekstrak Etanol Daun Bidara.....	22

3.4.2 Pembuatan Ekstrak Pupa Maggot	22
3.4.3 Pembuatan Formulasi Biopestisida.....	23
3.4.4 Pembuatan media PDA.....	24
3.4.5 Karakterisasi Jamur <i>Phytophthora</i> sp.	24
3.4.6 Skrining Senyawa Aktif.....	25
3.4.7 Uji Daya Hambat Secara <i>in Vitro</i>	27
3.4.8 Uji Daya Hambat Secara <i>in Vivo</i>	28
3.5 Analisis Data.....	30
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Hasil Pengamatan.....	31
4.1.1 Skrining Senyawa Aktif.....	31
4.1.2 Pengaruh Formulasi Terhadap Pertumbuhan Koloni Jamur <i>Phytophthora</i> sp.	33
4.1.3 Pengaruh Formulasi Terhadap Kejadian Penyakit Jamur <i>Phytophthora</i> sp.	36
4.1.4 Pengaruh Formulasi Terhadap Keparahan Penyakit Jamur <i>Phytophthora</i> sp.	38
4.2 Pembahasan.....	39
4.2.1 Skrining Senyawa Aktif.....	39
4.2.2 Pengaruh Formulasi Terhadap Pertumbuhan Koloni Jamur <i>Phytophthora</i> sp.	41
4.2.3 Pengaruh Formulasi Terhadap Kejadian Penyakit Jamur <i>Phytophthora</i> sp.	43
4.2.4 Pengaruh Formulasi Terhadap Keparahan Penyakit Jamur <i>Phytophthora</i> sp.	46
V. KESIMPULAN DAN SARAN	48
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Formulasi Biopestisida Pupa Maggot dengan penambahan Daun Bidara	24
2. Hasil skrining senyawa aktif formulasi biopestisida.....	33
3. Rerata diameter koloni jamur Phytophthora sp. setelah diberi perlakuan Formulasi biopestisida pupa maggot dengan penambahan daun bidara	34
4. Persentase rerata daya hambat koloni jamur Phytophthora sp. setelah diberi perlakuan Formulasi biopestisida pupa maggot dengan penambahan daun bidara	35
5. Rerata persentase kejadian penyakit jamur Phytophthora sp. pada cabai merah besar.....	36
6. Rerata persentase keparahan penyakit jamur Phytophthora sp. pada cabai merah besar.....	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Akar Bidara.....	8
2. Batang Bidara.....	8
3. Morfologi <i>Phytophthora</i>	13
4. Diagram ukur daya hambat pertumbuhan <i>Phytophthora</i> sp.....	29
5. Hasil skrining senyawa aktif formulasi biopestisida pupa maggot dengan penambahan ekstrak daun bidara <i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.....	34
6. Pertumbuhan koloni jamur <i>Phytophthora</i> sp. setelah diberi perlakuan Formulasi biopestisida pupa maggot dengan penambahan daun bidara	34
7. Keparahan Penyakit pada Cabai Merah Besar Keterangan: P0 (Biopestisida 10%), P1(0,5%), P2(1%), P3(1,5%), P4(2%), dan P5(2,5%).....	45
8. Proses kering angin daun Bidara.....	61
9. Meringkakan pupa maggot dengan oven	61
10. Proses Penyemaian benih cabai merah besar.....	62
12. Proses maserasi Pupa maggot dengan aquades.....	62
13. Proses evaporasi.....	62
14. Hasil ekstrak kental daun Bidara	62
15. Pembuatan Formulasi biopestisida untuk uji <i>In-Vivo</i>	62
16. Pembuatan Konsentrasi untuk uji <i>In-Vitro</i>	62
17. Screening Fitokimia formulasi Biopestisida.....	62
18. Pembuatan Media PDA.....	63
19. Uji <i>In vitro</i>	63
20. Inkubasi dengan suhu 25-27°C	63
21. Kultur jamur <i>Phytophthora</i> sp.	63
22. Pembuatan suspensi patogen <i>Phytophthora</i> sp.....	63
23. Tanaman cabai merah besar	63
24. Tanaman cabai Terserang <i>Phytophthora</i>	63
25. Tanaman cabai mati layu terserang <i>Phytophthora</i>	63

DAFTAR LAMPIRAN

1. Data Pengamatan dan Analisis Ragam.	58
2. Uji Lanjut BNJ.....	58
3. Tabel Analisis Ragam Anova	59
4. Uji Lanjut BNJ	59
5. Analisis Ragam Kejadian Penyakit Hari ke-17 HSI	59
6. Uji BNJ Taraf 1%	60
8. Hasil Uji BNJ Keparahan Penyakit Hari ke-19 (HSI)	60
9. Uji Homogenitas Ragam.....	61
10. Dokumentasi Penelitian	61

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Cabai merah besar (*Capsicum annuum* L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura unggulan yang memiliki nilai ekonomi tinggi serta kandungan gizi yang baik, seperti vitamin A, vitamin C, protein, dan lemak. Kualitas cabai merah besar dapat mengalami penurunan apabila terserang patogen berupa jamur, bakteri, virus, maupun nematoda sehingga menurunkan hasil produksi (Saxena et al., 2024). Produksi dan kualitas cabai merah besar sering mengalami penurunan akibat serangan patogen, salah satunya adalah jamur *Phytophthora* sp. Patogen ini menyebabkan penyakit busuk pangkal batang, layu, hingga busuk buah pada tanaman cabai merah besar. Penyakit ini sangat merugikan petani karena dapat menyebabkan kehilangan hasil hingga 100% pada kondisi lingkungan yang mendukung (Simanjuntak dan Nasution, 2020).

Pengendalian *Phytophthora* sp. umumnya dilakukan secara kimiawi dan terbukti efektif. Namun, penggunaan fungisida sintesis secara berlebihan dapat menimbulkan residu berbahaya, resistensi patogen, serta dampak negatif terhadap lingkungan (Salsabila dan Abadi, 2023). Oleh karena itu, diperlukan alternatif pengendalian yang lebih aman dan berkelanjutan melalui pemanfaatan bahan alami yang memiliki kandungan antijamur serupa dengan bahan aktif hayati, seperti pupa maggot dan daun bidara. Kedua bahan tersebut diketahui mengandung senyawa antimikroba, enzim, serta metabolit sekunder yang berpotensi menghambat pertumbuhan *Phytophthora* sp.

Penggunaan biopestisida juga telah diterapkan di sektor industri pertanian. PT. Great Giant Pineapple (GGP) merupakan perusahaan yang bergerak di bidang perkebunan dan berkomitmen menjaga kualitas hasil produksi melalui pengendalian hama dan patogen tanaman menggunakan biopestisida. Salah satu produk biopestisida yang digunakan berasal dari mikroorganisme, seperti *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp., dan *Pseudomonas* spp. Mikroorganisme tersebut terbukti efektif menghambat perkembangan patogen melalui kompetisi ruang, produksi senyawa antifungal, serta pemicu mekanisme pertahanan tanaman. Agen biokontrol alami ini berperan dalam meningkatkan efektivitas pengendalian penyakit tanaman (Larasati dkk, 2023).

Daun bidara (*Ziziphus mauritiana* Lam.) diketahui mengandung berbagai senyawa metabolit sekunder seperti flavonoid, saponin, alkaloid, tanin, dan terpenoid. Senyawa-senyawa tersebut memiliki aktivitas antifungi, antibakteri, serta antioksidan sehingga dapat meningkatkan efektivitas dalam formulasi biopestisida nabati (Ardinimia., 2023). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa ekstrak daun bidara mampu menghambat pertumbuhan jamur patogen seperti *Fusarium oxysporum* dan *Aspergillus niger* melalui mekanisme kerusakan membran sel dan penghambatan sintesis enzim (Rahmawati dkk., 2020). Hal ini menunjukkan bahwa daun bidara berpotensi digunakan sebagai bahan alami dalam pengendalian penyakit tanaman.

Selain itu, pupa maggot *Hermetia illucens* diketahui mengandung senyawa antimikroba alami, peptida antimikroba, serta enzim kitinase yang berperan dalam merusak dinding sel jamur dan menghambat pertumbuhan *Phytophthora* sp. (Guarnieri *et al.*., 2022). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa serangga *Hermetia illucens* menghasilkan peptida antimikroba yang efektif melawan patogen tanaman dan mikroorganisme patogen lainnya (Park *et al.*, 2015; Vogel *et al.*, 2018). Hal ini membuktikan bahwa pupa maggot berpotensi digunakan sebagai bahan aktif biopestisida berbasis hayati.

Kombinasi pupa maggot dan ekstrak daun bidara berpotensi memberikan efek sinergis dalam mengendalikan serangan *Phytophthora* sp. pada tanaman cabai merah besar (Tiwari *et al.*, 2017). Senyawa antimikroba dari pupa maggot dapat bekerja merusak struktur sel patogen, sedangkan senyawa metabolit sekunder dari daun bidara berperan menghambat pertumbuhan dan perkembangan jamur. Dengan demikian, kombinasi kedua bahan alami tersebut diharapkan mampu meningkatkan efektivitas pengendalian penyakit secara ramah lingkungan (Rachmawati dan Fitriani, 2024).

Namun demikian, hingga saat ini penelitian yang secara khusus memanfaatkan pupa maggot sebagai bahan aktif biopestisida, terutama dalam kombinasi dengan ekstrak daun bidara untuk mengendalikan *Phytophthora* sp. pada cabai merah besar, masih sangat terbatas dan belum banyak dilakukan. Hal ini menunjukkan adanya peluang penelitian baru yang dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan strategi pengendalian hayati yang inovatif dan ramah lingkungan. Berdasarkan uraian tersebut, maka ekstrak etanol daun bidara berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan aktif biopestisida pupa maggot dalam menghambat pertumbuhan jamur *Phytophthora* sp. secara *in vitro* maupun *in vivo* penyebab penyakit pada cabai merah besar.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Mengetahui senyawa aktif pada formulasi biopestisida pupa maggot dengan penambahan ekstrak daun bidara (*Ziziphus mauritiana* Lam.) yang menghambat pertumbuhan jamur *Phytophthora* sp.
2. Mengetahui efektivitas konsentrasi formulasi biopestisida pupa maggot dengan penambahan ekstrak daun bidara (*Ziziphus mauritiana* Lam.) yang

efektif dalam menghambat pertumbuhan jamur *Phytophthora* sp. pada pengujian *in vitro* dan *in vivo*

1.3 Kerangka Teoritis

Cabai merah besar (*Capsicum annum* L.) merupakan komoditas hortikultura penting di Indonesia yang rentan terserang penyakit, salah satunya oleh *Phytophthora* sp., patogen penyebab penyakit busuk batang dan buah yang dapat menurunkan hasil panen secara signifikan. Pengendalian umum menggunakan fungisida sintesis sering menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan serta memicu resistensi patogen, sehingga diperlukan alternatif ramah lingkungan seperti pestisida nabati.

Daun bidara (*Ziziphus mauritiana*) mengandung senyawa aktif seperti flavonoid, alkaloid, tanin, dan saponin yang memiliki sifat antijamur. Senyawa-senyawa ini terbukti mampu menghambat pertumbuhan berbagai patogen tanaman. Selain itu, pupa maggot (*Hermetia illucens*) juga mengandung peptida antimikroba dan asam lemak rantai sedang yang berpotensi sebagai agen penghambat pertumbuhan jamur. Kombinasi ekstrak daun bidara dan pupa maggot dalam formulasi biopestisida diharapkan mampu memberikan efek sinergis dalam menghambat pertumbuhan *Phytophthora* sp. Pengujian efektivitasnya dilakukan melalui metode *in vitro* dan *in vivo* pada tanaman cabai merah besar.

1.4 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dari penelitian ini, adalah:

1. Terdapat berbagai macam senyawa aktif yang terkandung dalam formulasi biopestisida pupa maggot dan ekstrak etanol daun Bidara yang mampu menghambat pertumbuhan jamur *Phytophthora* sp.
2. Terdapat konsentrasi Formulasi Biopestisida pupa maggot dengan penambahan ekstrak etanol daun Bidara yang efektif dalam menghambat pertumbuhan jamur *Phytophthora* sp. yang teruji secara *in vitro* dan *in vivo*

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bidara (*Ziziphus mauritiana Lam.*)

Bidara (*Ziziphus mauritiana Lam.*) merupakan tanaman dari keluarga Rhamnaceae yang dikenal memiliki banyak manfaat, termasuk sebagai obat tradisional dan sumber senyawa fitokimia. Daun bidara telah dilaporkan memiliki aktivitas antimikroba, antioksidan, dan antifungi, sehingga berpotensi sebagai bahan aktif biopestisida.

2.1.1 Morfologi dan Taksonomi Bidara

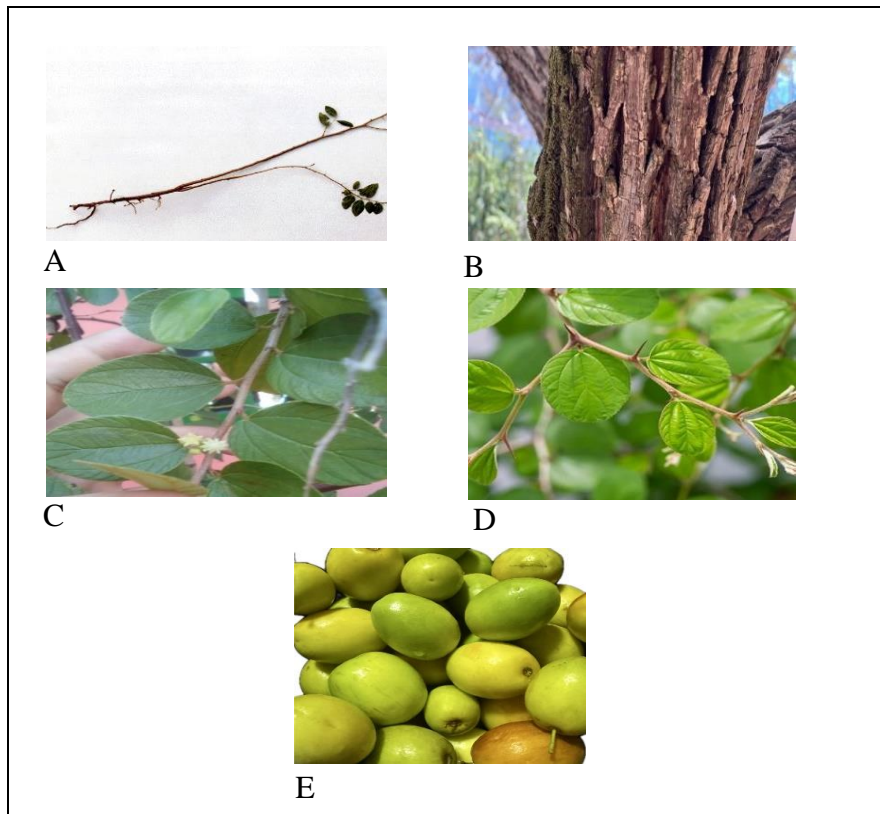
Akar bidara termasuk jenis akar tunggang yang kuat, bercabang-cabang, tebal dan dalam sehingga tanaman ini dapat dengan mudah menyerap air dan nutrisi dari lapisan tanah dalam yang berfungsi menopang tanaman di lingkungan kering dan tandus (Pimentel, 2023).

Adaptasi ini sangat penting dalam mempertahankan hidup tanaman pada kondisi lingkungan ekstrem. Akar tunggang juga memberikan kestabilan mekanis yang baik bagi tanaman. Warna akar bidara coklat muda sesuai dengan usianya. Tekstur akar cenderung kasar. (Rahajeng dan Masliyah, 2020). . Secara lengkap morfologi akar Bidara ditampilkan pada **Gambar 1**.

Batang bidara berwarna coklat, dengan tekstur yang kasar dan permukaan yang penuh dengan rongga sesuai dengan usianya, Batang mudanya berduri, berwarna coklat kehijauan, bercabang banyak, dan bertekstur kasar, Batang tanaman bidara juga menyimpan cadangan air dalam jaringan kayunya. Struktur batang yang kuat dan bercabang mendukung pertumbuhan tajuk yang lebat. (Rahajeng dan Masliyah, 2020). Secara lengkap morfologi batang Bidara ditampilkan pada **Gambar 1**.

Daun berbentuk bulat telur dengan ujung runcing dan tepi rata. Daunnya mengkilap di bagian atas dan berbulu halus di bagian bawah. Struktur daun ini memungkinkan efisiensi penyerapan cahaya matahari untuk fotosintesis. Daun bidara sering dimanfaatkan dalam pengobatan tradisional dan sebagai bahan dasar ekstrak biopestisida karena mengandung senyawa aktif (Yulianti dan Astuti, 2019). Kandungan senyawa bioaktif tersebut memberikan efek antimikroba dan antifungi. Secara lengkap morfologi daun Bidara ditampilkan pada **Gambar 1**.

Bunga tanaman bidara berukuran kecil, berwarna kuning kehijauan, dan tumbuh secara berkelompok. Bunga ini biasanya muncul di ketiak daun dan memiliki aroma yang khas. Struktur bunganya sederhana namun efektif dalam proses penyerbukan. Penyerbukan dapat terjadi secara alami dengan bantuan serangga. Mekanisme reproduksi ini mendukung kelangsungan populasi tanaman di alam (Ulyah dan Ferniah, 2020). Secara lengkap morfologi bunga Bidara ditampilkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Morfologi Bidara (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025)
Ket : A(Akar Bidara), B (Batang Bidara), C (Daun Bidara), D (Bunga Bidara), E (Buah Bidara)

2.1.2 Kandungan Senyawa Aktif

Menurut Nurjanah dkk. (2020), daun bidara (*Ziziphus mauritiana*) mengandung berbagai senyawa metabolit sekunder seperti flavonoid, saponin, dan tanin yang berperan penting dalam aktivitas antimikroba. Salah satu senyawa dominan yang ditemukan adalah flavonoid, yang diketahui mampu merusak struktur membran mikroba sehingga menyebabkan kematian sel. Kandungan senyawa aktif ini bervariasi tergantung pada metode ekstraksi dan bagian tanaman yang digunakan. Ekstrak daun bidara umumnya memiliki warna hijau tua hingga kecokelatan dan bersifat larut dalam pelarut polar seperti etanol dan metanol.

Penelitian oleh Siregar dkk. (2021) menunjukkan bahwa ekstrak daun bidara mengandung senyawa aktif seperti alkaloid, flavonoid, terpenoid, tanin, dan fenolik. Senyawa-senyawa tersebut memiliki mekanisme kerja dalam menghambat pertumbuhan jamur, salah satunya dengan merusak dinding sel jamur dan mengganggu aktivitas enzimatik. Selain itu, ekstrak daun bidara menunjukkan potensi sebagai antifungal terhadap berbagai jenis jamur patogen, termasuk *Phytophthora*. Studi oleh Wulandari dkk (2022) juga melaporkan bahwa senyawa aktif yang dominan berperan sebagai antijamur pada daun bidara adalah flavonoid, tanin, dan saponin, yang bekerja secara sinergis dalam menghambat sporulasi dan pertumbuhan miselium jamur. Klasifikasi bidara menurut Cronquist (1981) adalah sebagai berikut.

Kerajaan	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Bangsa	: Rosales
Suku	: Rhamnaceae
Marga	: <i>Ziziphus</i>
Jenis	: <i>Ziziphus mauritina</i> Lam.

2.2 Cabai merah besar (*Capsicum annuum* L.)

Cabai merah besar termasuk salah satu jenis sayuran yang banyak dibudidayakan oleh masyarakat di Indonesia. Selain dimanfaatkan sebagai bumbu dapur, cabai merah besar juga digunakan dalam pengobatan tradisional dan sebagai tanaman hias. Kandungan gizinya cukup penting, seperti vitamin A dan C, serta memiliki sifat sebagai antioksidan alami (Sharma dan Prasad, 2022).

2.2.1 Morfologi dan Taksonomi Cabai merah besar

Tanaman cabai merah besar memiliki morfologi akar yang sebagian besar terdiri dari akar serabut, beberapa akar tumbuh vertikal ke arah bawah dan membentuk struktur yang mirip dengan akar tunggang. Akar tunggang akan membentuk percabangan akar yang lebih halus dan memiliki jaringan akar yang rapat dalam tanah untuk memperluas penyerapan nutrisi. Biasanya terdapat nodul akar pada akar cabai merah besar yang mengindikasikan adanya hubungan simbiosis dengan mikroorganisme (Lagiman dan Supriyanta, 2021). Sedangkan menurut Prajnanta (2007) tanaman cabai merah besar memiliki akar tunggang yang terdiri atas akar utama (primer) dengan panjang berkisar 35-50 cm dan akar lateral (sekunder) dengan panjang 35-45 cm. Morfologi secara visual dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Batang tanaman cabai merah besar cenderung lunak dan tidak berkayu yang memiliki tinggi mencapai 2 m bahkan lebih, diameter batang berkisar antara 1-1,5 cm dengan warna hijau tua atau hijau muda. Pangkal batang yang telah tua akan mengalami lignifikasi yaitu proses penguatan jaringan parenkim yang akan berwarna coklat seperti kayu (Zhang *et al.*, 2022). Morfologi batang secara visual dapat dilihat pada. Morfologi batang secara visual dapat dilihat pada **Gambar 2**.

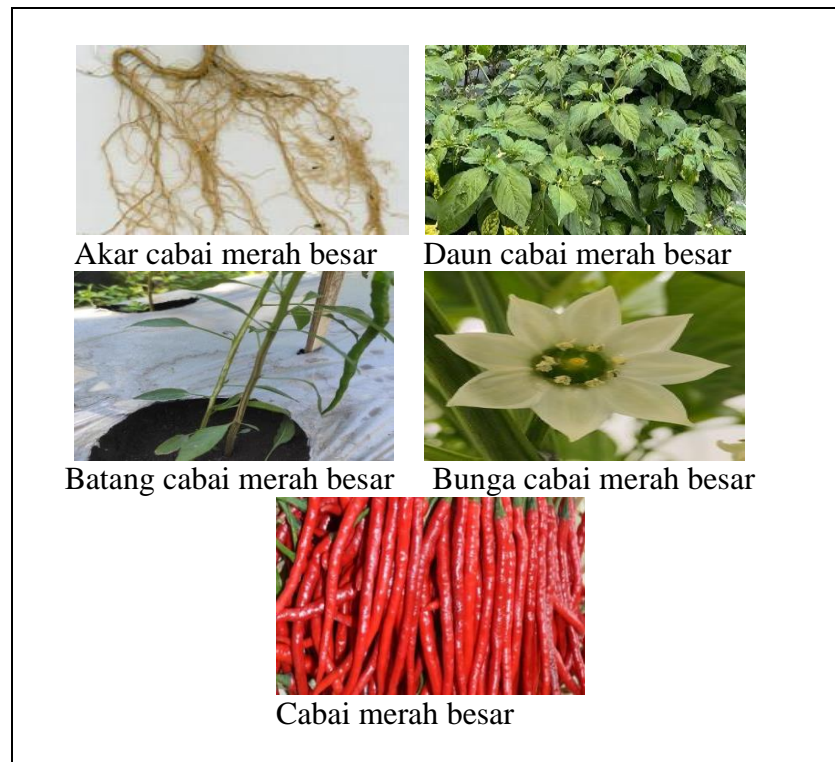
Daun cabai merah besar berbentuk oval, lonjong, berwarna hijau gelap pada bagian atas permukaan daun dan berwarna hijau muda pada bagian bawah permukaan daun. Permukaan daun kasar karena terdapat bulu, namun terdapat pula yang berkerut. Daun tanaman cabai merah besar memiliki ukuran panjang 3-11 cm dengan lebar antara 1-5 cm (Lagiman dan Supriyanta, 2021). Susunan daun berseling dengan bentuk daun yang meruncing pada bagian pangkalnya. Tangkai daun berwarna hijau tua dan memiliki

panjang 4-5 cm. Tepi daun rata dengan jumlah tulang daun samping berkisar antara 3-6 buah (Agustina dkk., 2014). Morfologi daun secara visual dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Bunga pada tanaman cabai merah besar umumnya berukuran kecil dengan diameter berkisar antara 5 hingga 20 mm, dan tampilannya menyerupai bentuk bintang, yang menjadi ciri khas dari subkelas Asteridae. Biasanya, bunga muncul secara tunggal atau dalam kelompok kecil berjumlah 2–3 kuntum (Lagiman dan Supriyanta, 2021). Mahkota bunga terdiri dari 5-8 helai dan berwarna putih kehijauan atau ungu muda. Bunga ini tumbuh menggantung ke bawah, sementara kelopak bunganya berwarna hijau (Agustina dkk., 2021). Morfologi bunga secara visual dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Buah cabai merah besar memiliki permukaan yang licin, daging buah yang padat dengan ujung meruncing. Panjang buah berkisar antara 20-23 cm dan diameter 1-1,5 cm. Perubahan warna buah terjadi seiring dengan kematangannya, dari hijau tua menjadi coklat kemerah besaran dan akhirnya menjadi merah besar saat sudah matang. Biji cabai merah besar berbentuk pipih tidak beraturan seperti oktagon dengan diameter sekitar 3-4 mm, ketebalan 0,2-1 mm, dan berwarna putih kekuningan. Morfologi buah secara visual dapat dilihat pada **Gambar 2**. Sistem klasifikasi tanaman cabai merah besar menurut Cronquist (1981) adalah sebagai berikut.

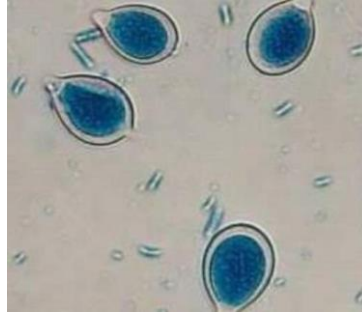
Kerajaan	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Bangsa	: Solanales
Suku	: Solanaceae
Marga	: <i>Capsicum</i>
Jenis	: <i>Capsicum annuum</i> L.



Gambar 2. Morfologi Cabai Merah Besar
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

2.3 *Phytophthora* sp.

Phytophthora sp. Merupakan jenis jamur patogen yang sangat merugikan tanaman karena mampu menyerang berbagai jenis tanaman baik berkayu maupun herba. Jamur ini banyak ditemukan di wilayah tropis, namun beberapa spesies juga dapat berkembang di daerah beriklim sedang. *Phytophthora* sp. dikenal sebagai ancaman utama bagi tanaman sereal seperti jagung, tebu, dan sorgum di Afrika. Karena dampaknya yang signifikan, *Phytophthora* sp. termasuk dalam kelompok jamur patogen tanaman yang paling berbahaya di dunia (Kurniawan dkk., 2018). Secara visual morfologi *Phytophthora* sp. dapat dilihat pada **Gambar 9**.



Gambar 3. Morfologi Phytophthora

(Sumber: Rahman *et al.*, 2024)

Menurut Hibbet *et al.*, (2007) dan Alexopoulos *et al.*, (1996). klasifikasi jamur *Phytophthora* sp. sebagai berikut.

Kerajaan	: Chromista
Filum	: Oomycota
Kelas	: Oomycetes
Bangsa	: Peronosporales
Suku	: Peronosporaceae
Marga	: <i>Phytophthora</i>
Jenis	: <i>Phytophthora</i> sp.

2.3.1 Morfologi

Setiap spesies *Phytophthora* memiliki karakteristik koloni dan morfologi yang berbeda (Lourenco *et al.*, 2020). *Phytophthora infestans* membentuk koloni yang tumbuh cepat dengan warna putih keabuan serta tampak berbulu, sementara sporanginya berbentuk oval dengan leher panjang sedangkan *Phytophthora sojae*, koloni berwarna putih krem dengan tekstur menyerupai kapas, dan sporanginya berbentuk elips dengan leher yang lebih pendek (Pawar *et al.*, 2024). Spesies *Phytophthora capsici* menunjukkan koloni berwarna putih hingga krem dengan permukaan yang halus, serta sporanginya berbentuk oval berdinding tipis. Berbeda dengan itu,

Phytophthora palmivora memiliki koloni yang tampak kasar dengan warna putih hingga kuning keabu-abuan, serta menghasilkan sporangia berukuran besar berbentuk elips. Sedangkan *Phytophthora cinnamomi* ditandai dengan koloni berwarna putih hingga krem, bertekstur kapas, dan sporanginya berbentuk bulat hingga oval.

Phytophthora sp. dikenal menghasilkan berbagai enzim yang berperan penting dalam proses infeksi tanaman. Enzim-enzim ini berfungsi untuk mengurai komponen struktural jaringan tanaman, seperti pektin dan selulosa, yang memungkinkan patogen untuk menembus dan menyebar dalam jaringan inang. Beberapa enzim utama yang dihasilkan antara lain pektinase, poligalakturonase, dan glukonase. Enzim-enzim tersebut membantu degradasi dinding sel tanaman dan memfasilitasi perkembangan infeksi (Sleigh, 1989).

2.4 Karakteristik Gejala Infeksi *Phytophthora* sp. pada tanaman

Phytophthora sp. merupakan genus patogen penting yang banyak ditemukan menyerang tanaman hortikultura, termasuk cabai merah besar. Patogen ini dapat menyebabkan berbagai penyakit, di antaranya busuk pangkal batang, busuk buah, busuk akar, serta hawar daun (Elnahal *et al.*, 2022). Infeksi yang terjadi pada bagian batang umumnya diawali dengan munculnya luka berwarna cokelat gelap yang kemudian meluas ke jaringan sekitarnya. Seiring perkembangan penyakit, jaringan yang terinfeksi mengalami pembusukan sehingga mengganggu kemampuan tanaman untuk menopang diri (Erwin and Ribeiro, 1996).

Gejala serangan pada daun biasanya ditandai dengan kelayuan akibat sistem perakaran yang rusak. Akar tanaman yang terinfeksi menjadi rapuh dan mudah terlepas dari tanah, sehingga tidak mampu menyerap air dan nutrisi

secara optimal (Kuswinati dkk., 2023). Selain itu, daun yang terinfeksi sering memperlihatkan perubahan warna menjadi pucat, diikuti dengan munculnya bercak busuk pada bagian bawah permukaan daun. Jika infeksi berlangsung parah, pertumbuhan tanaman cabai merah besar akan terhambat secara signifikan dan hasil panen berkurang drastis. Dengan demikian, serangan *Phytophthora* sp. dapat berdampak pada penurunan produktivitas tanaman cabai merah besar baik secara kualitas maupun kuantitas (Elnahal *et al.*, 2022).

2.5 Biopestisida

Biopestisida merupakan salah satu alternatif pengendalian hama dan penyakit yang berbasis ramah lingkungan (Symon dan Purdie, 2020). Produk ini berasal dari organisme hidup maupun senyawa alami yang dapat menekan pertumbuhan patogen, misalnya dari mikroorganisme antagonis, ekstrak tumbuhan, serta bahan organik tertentu (Dharmadewi dan Suryatini, 2020). Keunggulan biopestisida antara lain tidak meninggalkan residu berbahaya pada tanaman maupun tanah, serta berkontribusi dalam menjaga keseimbangan ekosistem pertanian. Selain itu, penggunaan biopestisida juga terbukti mampu meningkatkan kesehatan tanah melalui perbaikan aktivitas mikroba tanah yang menguntungkan (Tarukallo dkk., 2016).

Meskipun demikian, biopestisida memiliki beberapa keterbatasan dalam penggunaannya. Efektivitasnya sering kali dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, misalnya suhu, kelembapan, serta intensitas sinar matahari. Selain itu, masa simpan biopestisida relatif singkat, sehingga penyimpanan dan distribusinya perlu dilakukan dengan baik agar tidak mengurangi potensi aktivitasnya. Efek pengendalian biopestisida juga cenderung lebih lambat dibandingkan pestisida kimia, sehingga aplikasi harus dilakukan secara rutin dan sesuai dosis agar optimal (Butu dkk., 2022). Oleh karena itu,

pemanfaatan biopestisida dalam sistem pertanian berkelanjutan perlu disertai strategi aplikasi yang tepat agar efisiensi dan efektivitasnya dapat tercapai.

2.6 Pupa Maggot Sebagai Bahan Aktif Biopestisida

A). Kandungan Nutrisi dan Senyawa Aktif Pupa Maggot

Pupa maggot, yang merupakan tahap perkembangan larva lalat tentara hitam (*Hermetia illucens*), memiliki kandungan nutrisi yang tinggi, termasuk protein, lemak, dan senyawa bioaktif yang mampu meningkatkan ekspresi peptida antimikroba (*antimicrobial peptide*, AMP) (Sulistiyani dkk., 2022).

Kandungan penting pupa maggot adalah kitin dan enzim kitinase. Kitinase berfungsi memecah kitin, yang menjadi komponen utama dinding sel patogen jamur, termasuk *Phytophthora* sp. (Firdaus dkk., 2023). Kandungan ini memberikan kemampuan pupa maggot untuk bertindak sebagai agen antifungi yang efektif, memperlambat pertumbuhan dan sporulasi patogen. Selain itu, protein antimikroba dan lipid bioaktif yang ditemukan dalam pupa maggot juga berkontribusi dalam menghambat berbagai patogen tanaman lainnya (Vogel *et al.*, 2018).

B). Pemanfaatan Pupa Maggot dalam Pengendalian *Phytophthora*

Pupa maggot dari *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*) berpotensi sebagai biopestisida dalam pengendalian *Phytophthora* sp. (Firdaus dkk., 2023). Kitosan yang diekstraksi dari pupa maggot memiliki aktivitas antifungal terhadap *Phytophthora* sp., patogen penyebab antraknosa pada pepaya yang mengindikasikan potensi kitosan berbasis pupa maggot dalam mengendalikan patogen jamur lainnya, termasuk *Phytophthora* sp. (Xia dan Yao., 2021). Penggunaan agen hayati seperti *Trichoderma viridae* terbukti efektif dalam mengendalikan penyakit

busuk buah yang disebabkan oleh *Phytophthora* sp. (Samsudin, 2019). Peluang kombinasi pupa maggot dengan agen hayati lain juga berguna meningkatkan efektivitas pengendalian *Phytophthora* sp (Idris dkk., 2024). Kitinase yang diekstrak dari pupa maggot berperan dalam mendegradasi dinding sel patogen dan menginduksi resistensi sistemik pada tanaman. Bakteri dalam feses maggot memiliki aktivitas antifungi terhadap *Phytophthora* sp. (Fatmawati, 2025).

Kitinase yang dihasilkan dari pupa maggot berperan dalam menghambat pertumbuhan *Phytophthora* sp. Dengan cara mendegradasi dinding selnya. Selain itu, kitinase juga mempengaruhi mikroba tanah bermanfaat seperti *Trichoderma* dan *Pseudomonas*, yang berperan dalam pengendalian patogen serta meningkatkan kesuburan tanah (Bulone dan latge, 2024). Interaksi ini menghasilkan efek ganda berupa pengendalian patogen yang lebih efektif dan perbaikan struktur tanah, sehingga ekosistem mikroba tetap seimbang. Pemanfaatan biopestisida berbasis pupa maggot dapat menjadi strategi ramah lingkungan dalam mengurangi ketergantungan terhadap fungisida kimia yang berisiko menyebabkan resistensi patogen (Dharmadewi dan Suryatini, 2020). Dengan demikian, penggunaan pupa maggot sebagai agen hayati berpotensi untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap infeksi *Phytophthora* sp. secara berkelanjutan.

2.7 Karakterisasi Senyawa Aktif

Skrining senyawa aktif menjadi tahap awal untuk mengidentifikasi kandungan senyawa aktif pada suatu tumbuhan (Sulistyarini dkk., 2020). Skrining kualitatif dilakukan menggunakan reagen yang nantinya bereaksi secara spesifik terhadap senyawa tertentu seperti alkaloid, flavonoid, tanin, saponin, terpenoid, dan lain-lain. Senyawa aktif yang terdapat secara alami

pada tumbuhan memiliki aktivitas berupa respons biologis, seperti sebagai antimikroba dan antijamur (Akhmadi dkk., 2022).

Alkaloid merupakan golongan senyawa organik nitrogen yang mengandung satu atom nitrogen heterosiklik paling sedikit. Reagen Mayer, Dragendorff, dan Bouchardat digunakan sebagai pereaksi sekaligus indikator keberadaan senyawa aktif pada ekstrak tanaman. Pereaksi Mayer merupakan salah satu pereaksi yang digunakan untuk mengidentifikasi senyawa alkaloid. Pereaksi ini mengandung ion tetraiodomerkurat (II) yang akan bereaksi dengan nitrogen pada molekul alkaloid membentuk ikatan kovalen koordinasi. Senyawa kompleks yang terbentuk bersifat sukar larut sehingga menghasilkan endapan berwarna putih kekuningan sebagai indikator adanya alkaloid (Svehla, 1990).

Pereaksi Dragendorff juga digunakan untuk mendeteksi alkaloid. Ion tetraiodobismutat (III) dalam pereaksi ini berinteraksi dengan atom nitrogen pada molekul alkaloid sehingga terbentuk kompleks yang tidak larut. Reaksi tersebut ditunjukkan dengan terbentuknya endapan berwarna coklat jingga (Sangi dkk., 2022). Uji flavonoid biasanya dilakukan dengan penambahan serbuk Mg dan HCl pekat. Reaksi ini mereduksi struktur benzopiron sehingga menghasilkan garam flavylum yang ditandai dengan perubahan warna merah besar (La dkk., 2021). Senyawa saponin dapat diidentifikasi melalui kemampuannya membentuk busa stabil dalam air. Hal ini berkaitan dengan sifat amfipatik saponin yang dapat membentuk misel (Makalalag dkk., 2019).

Uji tanin dilakukan dengan penambahan FeCl_3 yang menghasilkan warna hijau akibat interaksi gugus fenol dengan ion besi, sekaligus kemampuannya membentuk kopolimer dengan protein (Sulistyarini dkk., 2020). Senyawa fenol juga dapat bereaksi dengan FeCl_3 dan ditandai dengan perubahan warna menjadi biru kehitaman (Treutter, 2010). Sementara itu, terpenoid dan steroid dapat dibedakan melalui reaksi dengan pereaksi Liebermann-Burchard. Terpenoid memberikan warna jingga kemerah besaran, sedangkan steroid menunjukkan warna hijau, yang keduanya dihasilkan dari pembentukan ikatan rangkap terkonjugasi dalam suasana asam (Sulistyarini dkk., 2020).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober sampai bulan Desember 2025. Pengujian secara *in vitro* dan *in vivo* dilakukan di Laboratorium Botani, Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, mikroskop, tabung reaksi dan rak, kaca arloji, corong, gelas piala, *rotary evaporator*, oven, *hot plate*, autoklaf, *waterbath*, inkubator, cawan petri, cawan penguap jarum ose, gelas ukur, neraca analitik, penggaris, pipet volumetrik, erlenmeyer, *Laminar Air Flow*, gelas benda dan gelas penutup, batang pengaduk, spatula, mikropipet dan mikrotip, *magnetic stirrer*, *hemocytometer*, vortex, gunting, dan *polybag*

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain daun bidara, benih cabai merah besar(F1), etanol 96%, media PDA, pupa maggot BSF, Biopestisida PT. GGP, aquadest, kultur murni *Phytophthora* spp., dan spiritus

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri atas 6 perlakuan, yaitu P0 (Biopestisida 10%), P1(0,5%), P2(1%), P3(1,5%), P4(2%), dan P5(2,5%). Setiap perlakuan diulang sebanyak 4 kali, sehingga total tanaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah 24 tanaman. Peta peletakan plot penanaman (RAL, 6 perlakuan \times 4 ulangan = 24 Tanaman).

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

Keterangan :

P0 = Biopestisida 10%

P1 = Biopest 10% + pupa maggot 2,5% + ekstrak daun bidara 0,5%

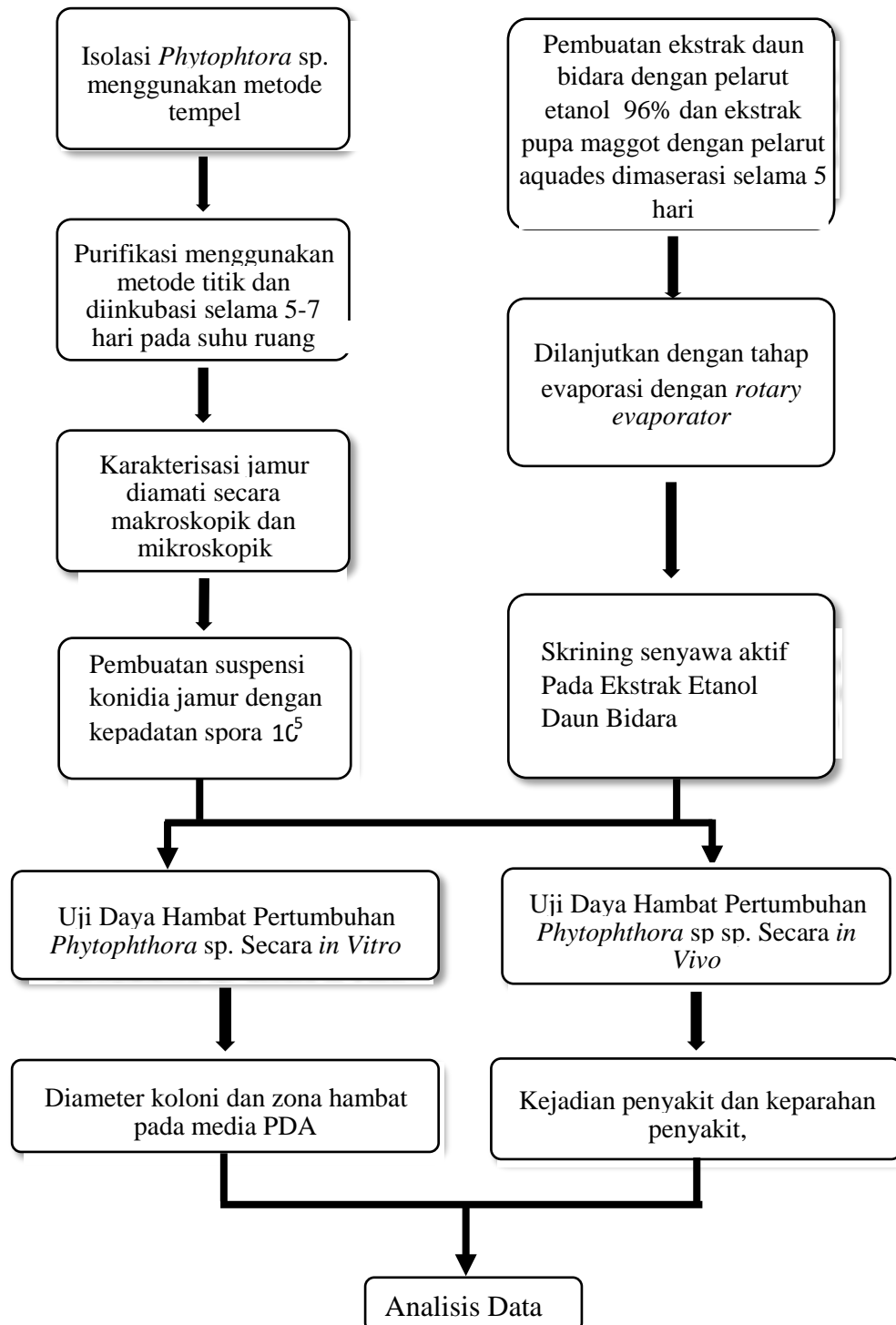
P2 = Biopest 10% + pupa maggot 2,5% + ekstrak daun bidara 1%

P3 = Biopest 10% + pupa maggot 2,5% + ekstrak daun bidara 1,5%

P4 = Biopest 10% + pupa maggot 2,5% + ekstrak daun bidara 2%

P5 = Biopest 10% + pupa maggot 2,5% + ekstrak daun bidara 2,5%

Tahapan penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut:



3.4 Prosedur Kerja

3.4.1 Pembuatan Ekstrak Etanol Daun Bidara

Sebelum dilakukan pengestrakan diawali dengan memilih daun bidara tua yang bersih, sehat dan tidak terkena penyakit. Daun dicuci bersih untuk menghilangkan kotoran dan dikering anginkan selama 3 hari, kemudian dilanjutkan pengeringan oven di suhu 50°C dalam 3 hari. Setelah itu daun dihaluskan sampai menjadi serbuk. Sebanyak 500 gram serbuk daun bidara dimasukkan ke dalam *beaker glass* berisi 2000 ml etanol 96% (1:4 w/v) dan dimaserasi selama 5 hari. Maserat diaduk setiap hari. Setelah maserasi selesai, dilakukan evaporasi dengan *rotary evaporator* untuk menguapkan pelarut sehingga didapat ekstrak kental daun bidara (Al-farabi, 2022).

3.4.2 Pembuatan Ekstrak Pupa Maggot

Pupa maggot kering sebanyak 3 kg dihaluskan hingga menjadi serbuk, kemudian simplisia sebanyak 100 gr dilarutkan dalam 700 ml aquades dan di maserasi selama 5 hari dengan pengadukan berkala untuk mengoptimalkan proses ekstraksi (Nisa, 2024). Pelarut air dipilih karena kandungan kitin dan senyawa bioaktif pada pupa maggot bersifat sensitif terhadap pelarut organik polar yang berpotensi menurunkan aktivitas antifungi (Elouali *et al.*, 2025).

Larutan hasil maserasi selanjutnya disaring dengan kertas saring, dan filtrat yang diperoleh dikental pekatkan melalui proses evaporasi pada suhu 60°C untuk mengurangi kandungan air tanpa merusak senyawa bioaktif. Ekstrak pupa maggot yang dihasilkan kemudian disimpan di lemari pendingin dengan suhu 5°C untuk menjaga

kualitas saat digunakan dalam pembuatan formulasi biopestisida sesuai perlakuan penelitian.

3.4.3 Pembuatan Formulasi Biopestisida

Perlakuan terdiri atas kontrol (P0, tanpa biopestisida) dan lima formulasi biopestisida (P1–P5) berbasis kombinasi ekstrak pupa maggot dan daun bidara dengan konsentrasi formulasi 10% (40 ml). Konsentrasi ekstrak pupa maggot dibuat tetap sebesar 2,5% (10 ml), sedangkan ekstrak daun bidara divariasikan bertingkat yaitu P1 (0,5%), P2 (1%), P3 (1,5%), P4 (2%), dan P5 (2,5%). Konsentrasi formulasi 10% dipilih karena umum digunakan dalam pengujian biopestisida berbahan alam dan dinilai mampu menyediakan senyawa bioaktif yang cukup stabil untuk menunjukkan perbedaan respons antar perlakuan (Elsevier *et al.*, 2025).

Pemilihan konsentrasi ekstrak pupa maggot 2,5% didasarkan pada hasil penelitian pendahuluan penulis yang menunjukkan bahwa konsentrasi lebih tinggi (10–15%) tidak meningkatkan efektivitas penghambatan patogen secara signifikan. Meskipun hingga saat ini belum ditemukan laporan penelitian yang secara spesifik menggunakan ekstrak pupa maggot sebagai biopestisida, berbagai penelitian pada bahan alam lain melaporkan bahwa konsentrasi 2–3% ekstrak nabati telah efektif dalam menghambat pertumbuhan jamur patogen tanaman secara *in vitro* (Putri dkk., 2023). Pembuatan Formulasi Biopestisida Pupa Maggot dengan penambahan Daun Bidara dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Formulasi Biopestisida Pupa Maggot dengan penambahan Daun Bidara

Perlakuan	Volume Biopestisida 10% (ml)	EkstrakPupa Maggot Berat (ml)	Ekstrak Daun Bidara Berat (gr)	Voulme Pelarut (Air) (ml)
P0	40 ml	-	-	360 ml
P1	40 ml	2,5% = 10 ml	0,5% = 2 gr	360 ml
P2	40 ml	2,5% = 10 ml	1% = 4 gr	360 ml
P3	40 ml	2,5% = 10 ml	1,5% = 6 gr	360 ml
P4	40 ml	2,5% = 10 ml	2% = 8 gr	360 ml
P5	40 ml	2,5% = 10 ml	2,5% = 10gr	360 ml

Keterangan : Volume perlakuan 25 ml pertanaman, 1 perlakuan

terdapat 4 tanaman, sehingga dalam sekali aplikasi dibutuhkan 100 ml formulasi biopest

3.4.4 Pembuatan media PDA

Media PDA (*Potato Dextrose Agar*) yang digunakan adalah media dalam bentuk kemasan. Sebanyak 39 g/L media PDA bubuk dilarutkan dalam *aquadest* 1000 ml dan dimasukkan ke dalam *autoclave* dengan suhu 121°C selama 15 menit (Sigma dan Aldrich, 2022).

3.4.5 Karakterisasi Jamur *Phytophthora* sp.

Karakterisasi isolat jamur dilakukan berdasarkan ciri makroskopik dan mikroskopik. Isolat murni yang telah diperoleh dari proses purifikasi kemudian dikarakterisasi pada tiap koloni. Menurut Mukhlis dkk., (2018) dan Suhartina dkk., (2018), pengamatan makroskopik meliputi warna permukaan koloni, tekstur, dan elevasi koloni jamur. Pengamatan mikroskopik dilakukan dengan mengambil sedikit bagian hifa dan spora, kemudian ditetaskan pewarna *lactophenol cotton blue*, lalu diamati menggunakan mikroskop cahaya untuk melihat bentuk sporangium, zoospora, dan struktur hifa jamur *Phytophthora* sp. (Wulandari, 2024).

3.4.6 Pembuatan Suspensi Konidia Jamur *Phytophthora* sp.

Jamur *Phytophthora* sp. yang telah dibudidayakan selama 7 hari pada media PDA 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 (Avin, 2019).

3.4.7 Skrining Senyawa Aktif

Skrining senyawa aktif pada formulasi biopestisida dilakukan berdasarkan panduan dari Departemen Kesehatan RI (1989), yang mencakup identifikasi golongan senyawa metabolit sekunder seperti alkaloid, flavonoid, saponin, tanin, dan steroid/triterpenoid dengan metode uji tabung secara kualitatif yaitu :

1. Uji Alkaloid

Sebanyak 0,5 ml larutan formulasi biopestisida dilarutkan dengan 6 ml HCl 2 N dalam tabung reaksi. Larutan dibagi menjadi 3, masing-masing ditetesi pereaksi Mayer, Dragendorf, dan Bouchardat. Indikator positifnya yaitu perubahan warna berturut-turut, yaitu endapan putih atau kuning, endapan jingga, dan endapan coklat atau hitam (Harahap, 2023).

2. Uji Flavonoid

Sebanyak 0,5 ml larutan formulasi biopestisida dimasukkan dalam tabung reaksi dan ditambahkan etanol 96% lalu dihomogenkan dan dipanaskan dalam penangas selama 5 menit,

setelah itu disaring. Filtrat yang didapat ditambahkan serbuk Mg sebanyak 0,2 gr dan 3 tetes HCl pekat, campuran dikocok dan dibiarkan memisah. Hasil positif menunjukkan perubahan warna kuning, merah besar, atau jingga (Harahap, 2023).

3. Uji Saponin

Sebanyak 0,5 ml larutan formulasi biopestisida dimasukkan dalam tabung reaksi lalu ditambahkan 5 ml air panas dan didiamkan sejenak, lalu dikocok selama 10 detik. Indikator positifnya yaitu terdapatnya busa stabil selama 5 menit setinggi 1-5 cm dan tidak hilang dengan penambahan 1 tetes HCl 2 N (Syahputra, 2023).

4. Uji Tanin

Sebanyak 0,5 ml larutan formulasi biopestisida dimasukkan dalam tabung reaksi, ditambahkan 2 ml aquadest, dan dipanaskan dalam penangas selama 15 menit. Filtrat yang dihasilkan ditambahkan 3 tetes FeCl_3 . Indikator positifnya yaitu perubahan warna menjadi biru kehitaman atau hijau kehitaman (Sumantri dkk., 2020).

5. Uji Steroid dan Terpenoid

Sebanyak 0,5 ml larutan formulasi biopestisida ditambahkan dengan reagen *Lieberman-Bouchard* sebanyak 2 – 3 tetes. Indikator positifnya yaitu adanya perubahan warna merah besar pada larutan lalu akan berubah menjadi biru kehijauan (Syahputra, 2023).

6. Uji Fenol

Sebanyak 0,5 ml larutan formulasi biopestisida dimasukkan dalam tabung reaksi, ditambahkan 10 ml metanol dan ditambahkan 3 tetes FeCl_3 . Indikator positifnya yaitu ditandai perubahan warna biru tua kehitaman (Sumantri dkk., 2020).

3.4.8 Uji Daya Hambat Secara *in Vitro*

Metode pengujian daya hambat dilakukan mengikuti metode yang digunakan Andriyani dan Purwantisari, (2019) yang telah dimodifikasi. Biopestisida diformulasikan dalam bentuk larutan 10% yang terdiri dari ekstrak pupa maggot (dengan konsentrasi tetap 2,5%, dan ekstrak etanol daun bidara dengan konsentrasi 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5%. Masing-masing formulasi ditambahkan ke 25 ml cawan petri berisi media PDA steril kemudian dihomogenkan hingga merata. Setelah media memadat, 1 ose biakan jamur *Phytophthora* sp. diinokulasikan pada bagian tengah media dalam cawan petri, kemudian diinkubasi pada suhu ruang selama 5-10 hari.

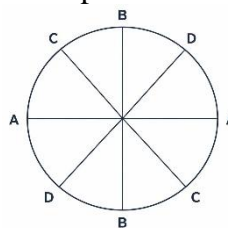
Parameter yang diamati yaitu pertumbuhan diameter koloni jamur *Phytophthora* sp. dan daya hambat secara *in vitro* pada media PDA (Syaifudin dkk., 2023). Pengukuran pertumbuhan diameter koloni dilakukan dengan mengukur secara vertical, horizontal dan diagonal yang berpotongan tepat pada titik tengah jamur yang terdapat pada cawan petri. Pengukuran pertumbuhan diameter koloni menurut (Rahmawati, 2025), menggunakan rumus:

$$\text{Diameter koloni} = \frac{(\text{AA}) + (\text{BB}) + (\text{CC}) + (\text{DD})}{4}$$

Keterangan:

AA : Diameter horizontal koloni
 BB : Diameter vertikal koloni
 CC dan DD : Diameter diagonal koloni

Diagram untuk mengukur laju pertumbuhan diameter jamur *Phytophthora* spp. ditunjukkan pada **Gambar 4**



Gambar 4. Diagram ukur daya hambat pertumbuhan *Phytophthora* sp.

Menurut Nurhayati (2024), data pertumbuhan diameter koloni jamur *Phytophthora* sp. dapat digunakan sebagai dasar dalam menghitung persentase zona hambat dari perlakuan biopestisida, termasuk formulasi pupa maggot yang dikombinasikan dengan ekstrak etanol daun bidara terhadap pertumbuhan jamur *Phytophthora* sp. Daya hambat terhadap pertumbuhan jamur dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Zona hambat} = \frac{k - p}{k} \times 100\%$$

Keterangan:

k : diameter koloni pada media kontrol

p : diameter koloni pada media perlakuan

3.4.9 Uji Daya Hambat Secara *in Vivo*

Pengujian *in vivo* dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas formulasi biopestisida pupa maggot dengan penambahan ekstrak daun bidara terhadap infeksi *Phytophthora* sp. Langkah-langkah pelaksanaan:

Persiapan Bibit

Benih cabai merah besar (*Capsicum annuum* L.) yang steril ditanam pada *polybag* berisi media tanam, benih cabai merah besar dipelihara hingga berumur 28 hari di media tanah steril hingga tumbuh 5-6 helai daun (Butu dkk., 2022).

Inokulasi Patogen

Setelah bibit siap, dilakukan inokulasi patogen menggunakan suspensi *Phytophthora* sp. dengan konsentrasi 10^5 spora/ml. Inokulasi dilakukan dengan menyemprotkan 10 ml suspensi ke area

perakaran masing-masing bibit. Seluruh perlakuan diinokulasi kecuali P0 (Katoch and Singh, 2021).

Aplikasi Biopestisida

Aplikasi formulasi biopestisida diberikan sesuai perlakuan dan sebanyak satu kali dalam satu minggu, aplikasi dilakukan setelah bibit berusia 28 hari. Aplikasi dilakukan dengan cara menyiramkan larutan formulasi biopestisida ke bagian permukaan tanaman, volume penyiraman 1 tanaman yaitu 25 ml per tanaman, dalam 1 perlakuan terdapat 4 tanaman, jadi digunakan larutan formulasi biopes sebanyak 100 ml dalam sekali aplikasi, Aplikasi dilakukan selama 4 minggu, perminggu 1x aplikasi sehingga total ± 400 ml larutan formulasi yang digunakan dalam satu bulan. Agriculture and Horticulture Development Board. (2020).

Inkubasi dan pemeliharaan

Selama masa perlakuan, bibit diletakkan pada ruang tanam dengan kondisi suhu 25–30°C dan kelembapan 70–80%. Penyiraman dilakukan menggunakan air steril sesuai kebutuhan (Butu dkk., 2022).

Parameter yang diamati

Persentase jumlah tanaman yang menunjukkan gejala penyakit seperti layu, bercak daun, atau kematian. Kejadian penyakit dan Keparahan penyakit pada cabai merah besar dapat ditentukan menggunakan rumus yang digunakan oleh Cruz-Rodriguez *et al.*, (2020) sebagai berikut.

1. Kejadian Penyakit

$$KP = n / N \times 100\%$$

Keterangan:

- KP : Persentase Penyakit
- n : Jumlah tanama yang menunjukkan gejala sakit
- N : Jumlah total tanaman yang diamati

2. Keparahan Penyakit

$$\text{KeP} = \frac{\sum (n - v)}{N \cdot V} \times 100\%$$

Keterangan:

KeP : keparahan penyakit
 n : jumlah tanaman terserang pada setiap kategori
 v : skor setiap kategori
 N : total jumlah tanaman yang diamati
 V : skor maksimum pada skala keparahan

Skor atau skala yang dinilai untuk setiap kategori dinilai dengan skala sebagai berikut:

0: Tanaman sehat, tidak menunjukkan gejala
 1: Gejala ringan di sebagian kecil daun (0 – 10%)
 2: Gejala menyebar di sebagian besar daun (11 – 30%)
 3: Daun mulai rontok, tanaman mulai layu (31 – 50%)
 4: Hampir seluruh bagian menunjukkan gejala (51 – 75%)
 5: Tanaman mati seluruhnya (76 – 100%)

3.5 Analisis Data

Data yang diperoleh dalam penelitian ini berupa data kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif berupa deskripsi hasil pengamatan yang telah dilakukan, sedangkan data kuantitatif meliputi diameter koloni, persentase daya hambat, kejadian penyakit, dan keparahan penyakit. Data kuantitatif diuji homogenitas ragam menggunakan uji Levene dan Bartlett, kemudian dianalisis dengan ANOVA satu arah pada taraf 5% dan 1%. Jika hasil berbeda nyata, dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur (BNJ) untuk mengetahui perbedaan antarperlakuan. Data kejadian penyakit ditransformasi menggunakan rumus $\sqrt{(x+0,5)}$ sebelum analisis agar memenuhi asumsi statistic (Lestari dkk, 2025).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan dan pembahasan pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa

1. Senyawa aktif yang terkandung dalam Formulasi Biopestisida Pupa maggot dengan penambahan ekstrak daun bidara adalah alkaloid, flavonoid, saponin, tanin, fenol, Steroid dan terpenoid yang mampu menghambat pertumbuhan jamur *Phytophthora* sp.
2. Formulasi biopestisida pupa maggot dan ekstrak daun bidara efektif menghambat pertumbuhan *Phytophthora* sp. secara *In-Vitro* dan *In-vivo*, ditunjukkan penurunan diameter koloni, peningkatan daya hambat, serta menurunnya kejadian dan keparahan penyakit perlakuan terbaik secara *in vitro* diperoleh pada P3 (1,5%) diameter koloni terendah dan P4 (2%) daya hambat tertinggi, sedangkan secara *in vivo* perlakuan paling efektif diperoleh pada P1 (0,5%) dan P2 (1%) dalam menekan kejadian penyakit, serta P2 (1%) sebagai perlakuan terbaik dalam menekan keparahan penyakit.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah perlu adanya uji menggunakan buah selain cabai atau buah yang sering terserang patogen *Phytophthora* sp. serta perlu adanya uji lanjut untuk menentukan jenis jamur *Phytophthora* sp.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, E., Andiarna, F., dan Hidayati, I., dan Kartika, V. F. 2021. Uji Aktivitas Antijamur Ekstrak *Black Garlic* Terhadap Pertumbuhan Jamur *Candida albicans*. *Jurnal Ilmiah Biologi*. 1 (1): 117-125.
- Agriculture and Horticulture Development Board. 2020. Application and Management of Biopesticides for Efficacy and Reliability (AMBER): Grower summary – fourth annual report (*Project CP 158*). AHDB Horticulture. 4(2):25-27.
- Agustina, S., Widodo, P., dan Hidayah, H., A. 2014. Analisis Fenetik Kultivar Cabai merah besar *Capsicum annum* L. dan Cabai merah besar Kecil *Capsicum frutescens* L. *Scripta Biologica*. 1 (1): 117-125.
- Akhmadi, C., Utami, W., dan Annisa, E. 2022. Narrative Review: Senyawa Fitokimia dan Aktivitas Farmakologi *Family Basellaceae* Sebagai Obat Luka. *Journal of Research in Pharmacy*. 2 (2): 77-85.
- Alexopoulos, C. J., Mims, C. W., and Blackwell, M. 1996. *Introductory Mycology*, 4th Edition. John Wiley and Sons. New York. 2(2):15-29.
- Andriyani, F. dan Purwantisari, S. 2019. Uji Potensi Ekstrak Daun Suren dalam Menghambat Pertumbuhan Jamur *Phytophthora capsici* secara *in vitro*. *Jurnal Akademika Biologi*. 8 (1): 35-39.
- Antasionasti, R., dan Jayanto, I. 2021. Aktivitas tanin sebagai senyawa antifungi dan antioksidan pada tanaman. *Jurnal Proteksi Tanaman*. 9(2):55–62.
- Ardinimia, S. D., Putri, A., Putra, Y. M. R., Dzakiyyah, N. P. H., dan Lumbu'u, P. G. 2023. Review bioaktivitas daun bidara (*Ziziphus mauritiana* Lam.). *Indonesian Chemistry and Application Journal*. 6(2):12-15.
- Avin, F. A. 2019. *Easy way to count spores and prepare spore suspension by Hemocytometer* . Otis L. Floyd Nursery Research Center. 1(4):12-15
- Bulone, V., and Latgé, J. P. 2024. Analyses of extracellular carbohydrates in oomycetes unveil the cell wall composition of *Phytophthora* species. *Frontiers in Microbiology*. 15(13):632-722.

- Butu, M., Rodino, S., and Butu, A. 2022. Biopesticide formulations-current challenges and future perspectives. In *Biopesticides* (pp. 19-29). Woodhead Publishing.
- Cronquist, A. 1981. *An Integrated System of Classification of Flowering Plants*. Columbia University Press. New York. 2(1):32-34.
- Cruz-Rodríguez, R.I., Cruz-Salomón, A., Ruiz-Lau, N., Pérez-Villatoro, J.I., Esquinca-Avilés, H.A., and Meza-Gordillo, R. 2020. Potential application of *Crotalaria longirostrata* Branch Extract to Seduce the Severity of Disease Caused by *Fusarium*. *Agronomy*. 10 (4): 524.
- Darmadi, A., Prabowo, H., dan Lestari, N. 2022. Pemanfaatan senyawa bioaktif tanaman sebagai penghambat pertumbuhan jamur patogen. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 18(1):23–31.
- Departemen Kesehatan Republik Indonesia. 1989. *Materi Medika Indonesia*. Edisi ke- 4. Departemen Kesehatan Republik Indonesia. Jakarta. 5(2):22-25.
- Dewi, R. K., dan Wuryandari, R. 2019. Mekanisme kerja alkaloid sebagai senyawa antifungi pada patogen tanaman. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 23(2):101–109.
- Dharmadewi, A.A.I.M., dan Suryatini, K.Y. 2020. Potensi biopestisida dalam pengendalian hama dan penyakit pada tanaman pangan: Suatu kajian pustaka. *Prosiding Seminar Nasional Biologi dan Pendidikan Biologi (SEMBIO)*. 5: 145–152.
- Elouali, S., Ait Hamdan, Y., Benali, S., Lhomme, P., Gosselin, M., Raquez, J.-M., and Rhazi, M. 2025. Extraction of chitin and chitosan from *Hermetia illucens* breeding waste: A greener approach for industrial application. *International Journal of Biological Macromolecules*. 285(1):138-302.
- 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 Microbia Inoculants For Biological Control, Plant Growth Promotion, And Sustainable Agriculture: A Review. *European Journal Of Plant Pathology*, 162(4), 759-792.
- Elsevier Saha, S., Sachivkina, N., Gurina, R., Neborak, E., Zhabo, N., Avdonina, M., and Molchanova, M. 2025. An overview of the mechanistic approaches of antifungal nanomaterials. *Frontiers in Pharmacology*. 16(1): 14-16.
- Erwin, D. C., and Ribeiro, O. K. 1996. *Phytophthora diseases worldwide*. St. Paul, MN: APS Press.

- Fitriyah, N., Rahmawati, D., dan Kurniawan, A. 2023. Aktivitas ekstrak daun tanaman terhadap penghambatan pertumbuhan jamur patogen secara in vitro. *Jurnal Agroteknologi Tropika*. 11(1):45–53.
- Guarnieri, A., Triunfo, M., Scieuzo, C., Ianniciello, D., Tafi, E., Hahn, T., Zibek, S., Salvia, R., De Bonis, A., and Falabella, P. 2022. Antimicrobial properties of chitosan from different developmental stages of the bioconverter insect *Hermetia illucens*. *Scientific Reports*.1(12): 80-84.
- Harahap, S. 2023. Alkaloid and Flavonoid Phytochemical Screening on Balakka Leaves (*Phyllanthus Emblica L.*). *Formosa Journal of Science and Technology*. 2(8):2069–2082.
- Hersila, D., Nuryanti, S., dan Rahmawati, D. (2023). Antifungal activity of secondary metabolites from plant extracts against phytopathogenic fungi and their mechanism of action. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 24(3):1456–1464.
- Hibbet, D., Binder M., Bischoff, J., Blackwell, M., Cannon, P., Eriksson, O., Huhndorf, S., James, T., Kirk, P., Lücking, R., Thorsten, L. H., Lutzoni, F., Matheny, P., McLaughlin, D., Powell, M., Redhead, S., Schoch, C., Spatafora, J., Stappers, J., Vilgalys, R., Aime, M., Aptroot, A., Bauer, R., Begerow, D., Benny, G., Castlebury, L., Crous, P., Dai, Y., Gams, W., Geiser, D., Griffith, G., Gueidan, C., Hawksworth, D., Hestmark, G., Hosaka, K., Humber, R., Hyde, K., Ironside, J., Miadlikowska, J., Miller, A., Moncalvo, J., Mozley-Standridge, S., Oberwinkler, F., Parmasto, E., Reeb, V., Rogers, J., Roux, C., Ryvarden, L., Sampaio, J., Schüßler, A., Sugiyama, J., Thorn, R., Tibell, L., Untereiner, W., Walker, C., Wang, Z., Weir, A., Weiss, M., White, M., Winka, K., Yao, Y., and Zhang, N. 2007. A Higher-Lever Phylogenetic Classification of The Fungi. *Mycological Research*. 111(5):509-547
- iNaturalist contributors, iNaturalist. 2025. iNaturalist Research-grade Observations. iNaturalist.org. Occurrence dataset.on. 20(5):02-19.
- Katoch, S., and Singh, A. 2021. Screening of capsicum germplasm for resistance against *Phytophthora capsici* causing leaf blight and root rot. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 9(2):627–630.
- Kurniawan, H., Sulastrini, I. Suganda, T., 2018. Uji Ketahanan Klon Kentang Hasil Persilangan Atlantic X Repita Terhadap Penyakit Hawar Daun *Phytophthora Infestans*. *Jurnal Agrikultura*. 29(2):100-104.
- Kuswinati, A., Zulkarnain, dan Mulyati. 2023. Edukasi reproduksi tumbuhan untuk meningkatkan pemahaman siswa terhadap pelestarian tanaman. *Jurnal PEPADU*. 1(3): 210–216.

- Kumar, O., and Tata, S. 2009. Ascorbic Acid Contents in Chili Peppers (*Capsicum L.*). *Notule Scientia Biologicae*. 1 (1): 50-52
- La, E. O. J., Sawiji, R. T., dan Yuliani, N. M. R. 2021. Identifikasi Kandungan Metabolit Sekunder dan Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak n-Heksana Kulit Jeruk Bali (*Citrus maxima* Merr.). *Jurnal Surya Medika*. 6(2): 185-200
- Lagiman., dan Supriyanta, B. 2021. *Karakterisasi Morfologi dan Pemuliaan Tanaman Cabai merah besar*. LPPM UPN Veteran. Yogyakarta. 2(1):15-19.
- Larasati, D., Widodo, S., dan Pramudya, A. 2023. Potensi *Trichoderma harzianum* dan bakteri rizosfer sebagai agen hayati pengendali penyakit tanaman pada sistem perkebunan berkelanjutan. *Jurnal Proteksi Tanaman Tropika*. 11(2):85–94.
- Lestari, A. W., Marlita, Z., Sefiya, V., dan Prasetyo, I. A. 2025. Analisis varian (ANOVA): Konsep, langkah-langkah dan penerapannya dalam analisis data. *Jurnal Sintesis: Penelitian Sains, Terapan dan Analisisnya*. 6(1):25-30.
- Lourenço, D., Branco, I., and Choupina, A. 2020. Phytopathogenic Oomycetes: A Review Focusing On *Phytophthora Cinnamomi* And Biotechnological Approaches. *Molecular Biology Reports*. 47(11):9179–9188.
- Lozada, D. N., 2024. *Insights into the genetic architecture of Phytophthora capsici root rot resistance in chile pepper (Capsicum spp.) from multi-locus genome-wide association study*. *BMC Plant Biology*.7(2): 24-41
- Magi, G., Marini, E., Mingoia, M., Pugnali, A., and Facinelli, B. 2015. Antimicrobial and Anti-Virulence Activity of Capsaicin Against Erythromycin-Resistant, Cell-invasive Group A Streptococci. *Frontiers in Microbiology*. 6(165):1-8.
- Makalalag, A. K., Sangi, M., dan Kumaunang, M. 2019. Skrining Fitikomia dan Uji Toksisitas Ekstrak Etanol dari Daun Turi (*Sesbania grandiflora* Pers.). *Chemistry Progress*. 8 (1):38-46.
- Mukhlis, D., Rozirwan., dan Hendri, M. 2018. Isolasi dan Aktivitas Antibakteri Jamur Endofit pada Mangrove *Rhizophora apiculata* dari Kawasan Mangrove Tanjung Api-Api Kabupaten Banyuasin Sumatera Selatan. *Maspari Journal*. 10 (2): 151-160.
- Nada, A. F. 2021. Peran senyawa fenolik sebagai antioksidan dan antimikroba pada tanaman obat. *Jurnal Biologi Terapan*, 5(2):77–85.

- Nisa, H. I. A. 2024. *Extraction of Sonneratia alba leaves using 96 % ethanol with 5-day maceration and periodic stirring* (Journal of Nutraceuticals and Herbal Medicine, Vol. 5 Iss. 1, Feb 2024). *Journal of Nutraceuticals and Herbal Medicine*. 5(1):120-135
- Ningsih, S. R., Hidayat, T., dan Pratiwi, E. 2023. Karakteristik flavonoid sebagai pigmen alami dan senyawa bioaktif pada tanaman. *Jurnal Biokimia Pertanian*. 6(1):12–20.
- Nurhayati. 2024. Efektivitas Ekstrak Daun Sirih Terhadap Infeksi *Phytophthora capsici* Pada Cabai merah besar. *Dhramapala*. 3(2):54-59.
- Nurlita, D., Sari, R. P., Handayani, S., dan Pratama, A. R. 2025. Flavonoid, alkaloid, dan terpenoid sebagai metabolit sekunder tumbuhan dan perannya dalam perlindungan tanaman. *Prosiding Seminar Nasional Biologi*. 2(2):7-9.
- Nugroho, A. P., Santosa, B., dan Wibowo, R. 2021. Mekanisme aktivitas flavonoid sebagai antifungi dan antioksidan pada patogen tanaman. *Jurnal Mikologi Indonesia*. 15(2):88–96.
- Octora, M., Lestari, D. A., dan Putra, R. 2024. Aktivitas terpenoid dalam menghambat pertumbuhan miselium jamur patogen tanaman. *Jurnal Fitokimia Indonesia*. 4(1):1–9.
- Park, S.-I., Kim, J.-W., and Yoe, S. M. 2015. Purification and characterization of a novel antibacterial peptide from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Developmental and Comparative Immunology*. 52(1):98–106.
- Pawar, S. S., Bharude, N. V., Sonone, S.S., Deshmukh, R.S., Raut, A. K., and Umalkar, A. R. 2021. Chillies as Food, Spice and Medicine: A Perspective. *International Journal of Pharmacy and Biological Sciences*. 1 (3):11-18.
- Penaud, L., Martin, G., and Roche, P. 2025. Plant-derived biopesticides and their physiological effects on host–pathogen interactions. *Plant Protection Science*. 61(1):14–22.
- Pimentel, C. 2023. *Contrasting adaptations to drought stress in field-grown Ziziphus mauritiana Lam. and Prunus persica trees: Water relations, osmotic adjustment and carbon isotope composition*. 1(3):15-17).
- Putaporntip, C., Jongwutiwes, S., and Thongkamngam, T. 2023. Disease progress and infection dynamics of *Phytophthora* spp. in horticultural crops. *Plant Pathology Journal*, 39(2):120–129.

- Putri, A. D., Wulandari, S., dan Permatasari, N. 2023. Aktivitas saponin sebagai antifungi dan perannya dalam pengendalian patogen tanaman. *Jurnal Agroindustri Hayati*. 10(2):66–74.
- Prajnanta, F. 2007. *Agribisnis Cabai merah besar Hibrida*. Penebar Swadaya. Jakarta. 2(1):12-17.
- Rafiq, M., Hasan, M., and Yusuf, A. 2025. Colonization inhibition of plant pathogenic fungi by botanical extracts. *Journal of Plant Protection Research*. 65(1):33–41.
- Rahajeng, S. W., dan Masliyah, A. 2020. Identifikasi morfologi bidara (*Ziziphus mauritiana* L.) di wilayah Sidoarjo. *Jurnal Farmasi Indonesia Afamedis*, 1(2):79–88.
- Rahmawati, D., Supriyadi, S., dan Mulyani, T. 2020. Uji aktivitas antijamur ekstrak daun bidara terhadap *Fusarium oxysporum* dan *Aspergillus niger*. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 9(3):211–218.
- Rahmawati, M. 2025. Uji pertumbuhan koloni jamur *B. theobromae* dan perhitungan diameter koloni berdasarkan empat arah. *Jurnal Proteksi Agrikultura*. 2(2):165–71.
- Rachmawati, D., dan Fitriani, N. 2024. Aktivitas antibakteri ekstrak daun bidara (*Ziziphus mauritiana*) terhadap bakteri patogen. *Borneo Journal of Medical Laboratory Technology*. 6(2):24-29.
- Santoso, B. 2023. Peran metabolit sekunder tanaman dalam menghambat infeksi jamur patogen. *Jurnal Proteksi Tanaman Tropika*. 7 (1):21–29.
- Salsabila, M., dan Abadi, A. L. 2023. Efikasi biofungisida berbahan aktif *Trichoderma* sp. terhadap penyakit hawar daun (*Phytophthora infestans*) pada tanaman kentang. *Jurnal Universitas Brawijaya*. 2(1): 110–115.
- Setiari, N., Wicaksono, D., dan Puspitasari, R. 2019. Faktor-faktor yang memengaruhi efektivitas ekstrak tanaman terhadap pertumbuhan jamur patogen. *Jurnal Agroteknologi Indonesia*. 14(2):95–103.
- Sangi, M. S., Momuat, L. I., dan Kumaunang, M., 2022. Uji Toksisitas dan Skrining Fitokimia Tepung Gegabah Pelepah Aren (*Arenga pinnata*). *Jurnal Ilmiah Sains*. 12 (2): 127-134.
- Saxena, A., Raghuwaanshi, R., Gupta, V., and Singh, H. 2024. Chili Antrachnose: The Epidemiology and Management. *Frontiers in Microbiology*. Hal 18.
- Sharma, A., and Prasad, K. 2022. *Antioxidant, Anti-Obesity, Nutritional and Other Beneficial Effects of Different Chili Pepper: A Review*. *Antioxidants*, Retrieved from PMC.

- Sigma-Aldrich. 2022. *Potato dextrose agar (PDA): Technical data sheet*. EMD Millipore. Hal 13.
- Siregar, R. A., Lestari, I. C., Rangkuti, I. Y., dan Sari, S. K. 2023. Uji Efektivitas Antibiotik Ekstrak Etanol Daun Bidara (*Zizipus Mauritiana*) Terhadap *Staphylococcus aureus* Secara *in Vitro*. *Jurnal Kedokteran STM (Sains dan Teknologi Medik)*. 6 (2): 143-151.
- Sleigh, M.A. 1989. *Protozoa And Other Protists*. Edward Arnold. London. Hal 332
- Subaryanti, A., Lestari, P., and Wibowo, A. (2023). Bioactive compounds of botanical extracts as antifungal agents against *Phytophthora* spp.: In vitro evaluation and mode of action. *Journal of Plant Protection Research*. 63(2):210–219.
- Suhartina., Febby, E., dan Marina, F. 2018. Isolasi dan Identifikasi Jamur Endofit Pada Tumbuhan Paku *Asplenium nidus*. *Jurnal MIPA Unsrat*. 7 (2):24-28.
- Sulistiyarini, I., Sari, D. A., dan Wicaksono, T. A. 2020. Skrining Fitokimia Senyawa Metabolit Sekunder Batang Buah Naga (*Hylocereus polyrhizus*). *Jurnal Ilmiah Cendekia Eksakta*. 5 (1): 56-62.
- Sumantri, I. B., Wahyuni, H. S., and Mustanti, L. F. 2020. Total Phenolic, Total Flavonoid and Phytochemical Screening by FTIR Spectroscopic of Standardized Extract of Mikania micrantha Leaf. *Pharmacognosy Journal*, 12(6):1395–1401.
- Sutarman, E. 2021. Pengaruh konsentrasi biopestisida nabati terhadap efektivitas pengendalian penyakit tanaman. *Jurnal Perlindungan Tanaman*, 25(1):1–8.
- Svehla, G. 1990. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*. Edisi Kelima. Diterjemahkan oleh Setiono L. dan Pudjaatmaka A. H. Media Pustaka. Jakarta. Hal 60-72.
- Syahputra, H. 2023. Phytochemical Screening and Determination of Phenolic and Flavonoid Contents in Ethanol Extract of Phyllanthus emblica L. Fruit. *Indonesian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 7(2):30-42.
- Syaifudin, E., Akhsan, N., dan Aryubi, A. 2023. Efektivitas Ekstrak Gulma dalam Menghambat Penyakit (*Phytophthora* sp.) Tanaman Cabai merah besar (*Capsicum annum* L.) secara *In Vitro*. *Jurnal Agroteknologi Tropika Lembab*. 5 (2): 136-142.
- Symon, D. E., and Purdie, R. W. 2020. *Capsicum annum*, in (ed.). *Flora of Australia. Australian Biological Resources Study. Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water: Canberra*. 2(3):24-32.

- Tiwari, R., Latheef, S. K., Ahmed, I., Iqbal, H. M. N., Bule, M. H., Dhama, K., and Alagawany, M. 2017. Herbal immunomodulators A remedial panacea for designing and developing effective therapeutics. *International Journal of Pharmacology*. 13(7):701–715.
- Ulya, H., Darmanti, S., dan Ferniah, R.S. 2020. Respons fisiologi tanaman cabai terhadap infeksi *Fusarium oxysporum* pada umur tanaman yang berbeda. *Berkala Bioteknologi*. 3(1): 1–6.
- Treutter, D. 2010. Managing Phenol Contents in Crop Plants by Phytochemical Farming and Breeding-Visions and Constraints. *International Journal Molecular Sciences*. 11 (3): 807-857.
- Vakili-Ghartavol, R., Mohammadi, A., and Rezaei, S. 2025. Evaluation of mycelial growth inhibition as an indicator of antifungal activity of botanical biopesticides. *Journal of Fungi*. 11(1):45.
- Vogel, H., Muller, A., Heckel, D. G., Gutzeit, H., and Vilcinskas, A. 2018. Nutritional immunology: Diversification and diet-dependent expression of antimicrobial peptides in the black soldier fly *Hermetia illucens*. *Developmental and Comparative Immunology*. 7(8):141–148.
- Wulandari, Y., 2024. *Karakterisasi makroskopis dan mikroskopis jamur*. Cahaya Media Makassar. Hal 23-25.
- Xia, J., Ge, C., and Yao, H. 2021. Antimicrobial peptides from black soldier fly (*Hermetia illucens*) as potential antimicrobial factors representing an alternative to antibiotics in livestock farming. *Animals*. 11(7): 1937.
- Zhang, M., Zhang, Q., Cheng, L., Li, Q., He, X., Wang, K., Liu, J., and Li, F. 2022. Pepper (*Capsicum annuum*) xylogen-like arabinogalactan protein (XYLP) 1 and XYLP2 promote synthesis of lignin during stem development to cope with stresses. *Journal Vegetable Research*. 27 (4): 807-857.