

**UJI ANTAGONIS ISOLAT *Bacillus thuringiensis* SEBAGAI PENGENDALI  
JAMUR *Colletotrichum* sp. PENYEBAB PENYAKIT ANTRAKNOSA  
PADA BUAH CABAI MERAH (*Capsicum annuum*)**

**Skripsi**

**Oleh**

**Yasminia Friska Saputra**

**2117021085**



**JURUSAN BIOLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2025**

**UJI ANTAGONIS ISOLAT *Bacillus thuringiensis* SEBAGAI PENGENDALI  
JAMUR *Colletotrichum* sp. PENYEBAB PENYAKIT ANTRAKNOSA  
PADA BUAH CABAI MERAH (*Capsicum annuum*)**

Oleh

**YASMINIA FRISKA SAPUTRA**

**Skripsi**

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

Pada

Jurusan Biologi  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2025**

## ABSTRAK

### UJI ANTAGONIS ISOLAT *Bacillus thuringiensis* SEBAGAI PENGENDALI JAMUR *Colletotrichum* sp. PENYEBAB PENYAKIT ANTRAKNOSA PADA BUAH CABAI MERAH (*Capsicum annuum*)

Oleh

**YASMINIA FRISKA SAPUTRA**

Penurunan kuantitas dan kualitas cabai pascapanen disebabkan karena adanya infeksi jamur patogen *Colletotrichum* sp. Infeksi *Colletotrichum* sp. pada cabai dapat dikendalikan dengan agen hayati. Salah satu agen hayati yang dapat digunakan yaitu bakteri *Bacillus thuringiensis*. Tujuan dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui kemampuan antagonis *Bacillus thuringiensis* dalam menghambat pertumbuhan *Colletotrichum* sp. serta untuk mengetahui efektivitas *Bacillus thuringiensis* dalam mengurangi keparahan penyakit akibat *Colletotrichum* sp. pada buah cabai merah. Penelitian ini dilakukan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 7 isolat *Bacillus thuringiensis* yang diujikan secara *in vitro*. Persentase penghambatan paling besar di ujikan secara *in vivo* sebanyak 9 ulangan dengan parameter pengamatan persentase keparahan penyakit. Kontrol positif uji *in vivo* menggunakan buah cabai merah yang dilukai dan diberi suspensi konidia jamur *Colletotrichum* sp. Data persentase keparahan penyakit dianalisis menggunakan uji *One-Way ANOVA* dan dilanjutkan dengan uji beda nyata terkecil taraf 5%. Hasil uji *in vitro* didapati 3 isolat *Bacillus thuringiensis* memiliki persentase penghambatan yang besar yakni isolat kode Bt2, Bt3, dan Bt6 dengan nilai 76,76%, 60,96% dan 100%. Hasil uji *in vivo* menunjukkan adanya perbedaan signifikan persentase keparahan penyakit antara isolat kode Bt2 dan Bt3 dengan Bt6. Isolat kode Bt6 mampu menekan pertumbuhan jamur *Colletotrichum* sp. dengan melilit hifa jamur yang menandakan adanya interaksi kompetisi dan mikroparasitisme antara jamur dengan bakteri. Selain itu, isolat kode Bt6 efektif digunakan sebagai agen hayati dalam menghambat pertumbuhan *Colletotrichum* sp.

**Kata Kunci:** Antraknosa, *Bacillus thuringiensis*, Cabai Merah, *Colletotrichum* sp., Uji Antagonis

## ABSTRACT

### ANTAGONIST TEST OF *Bacillus thuringiensis* ISOLATES AS A CONTROL OF FUNGUS *Colletotrichum* sp. CAUSING ANTHRACNOSE DISEASE IN RED CHILI (*Capsicum annuum*)

By

**YASMINIA FRISKA SAPUTRA**

The decrease in quantity and quality of post-harvest chili is caused by infection with the pathogenic fungus *Colletotrichum* sp. *Colletotrichum* sp. infection in chili can be controlled with biological agents. One of the biological agents that can be used is the bacterium *Bacillus thuringiensis*. The purpose of this study was to determine the ability of the antagonist *Bacillus thuringiensis* in inhibiting the growth of *Colletotrichum* sp. and to determine the effectiveness of *Bacillus thuringiensis* in reducing the severity of disease caused by *Colletotrichum* sp. in red chili fruit. This study was conducted using a Completely Randomized Design (CRD) with 7 isolates of *Bacillus thuringiensis* tested in vitro. The largest percentage of inhibition was tested in vivo with 9 replications with the observation parameter of the percentage of disease severity. The positive control of the in vivo test used injured red chili fruit and was given a suspension of *Colletotrichum* sp. conidia of the fungus. Data on the percentage of disease severity were analyzed using the One-Way ANOVA test and continued with the smallest significant difference test at a level of 5%. The results of the in vitro test found 3 isolates of *Bacillus thuringiensis* that had a large percentage of inhibition, namely isolates code Bt2, Bt3, and Bt6 with values of 76.76%, 60.96% and 100%. The results of the in vivo test showed a significant difference in the percentage of disease severity between isolates code Bt2 and Bt3 with Bt6. Isolate code Bt6 was able to suppress the growth of *Colletotrichum* sp. by wrapping around the fungal hyphae indicating the interaction of competition and microparasitism between fungi and bacteria. In addition, isolate code Bt6 is effective as a biological agent in inhibiting the growth of *Colletotrichum* sp.

**Keyword:** Anthracnose, *Bacillus thuringiensis*, Red Chili, *Colletotrichum* sp.,  
Antagonist test

Judul Skripsi

: UJI ANTAGONIS ISOLAT *Bacillus thuringiensis*

SEBAGAI PENGENDALI JAMUR *Colletotrichum* sp.

PENYEBAB PENYAKIT ANTRAKNOSA PADA

BUAH CABAI MERAH (*Capsicum annuum*)

Nama Mahasiswa

: Yasminia Friska Saputra

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2117021085

Program Studi

: Biologi/S-1 Biologi

Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

Dr. Kusuma Handayani, S.Si., M.Si.  
NIP. 197808192008012018

Wawan Abdullah Setiawan, S.Si., M.Si.  
NIP. 197912302008121001

2. Ketua Jurusan Biologi FMIPA

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



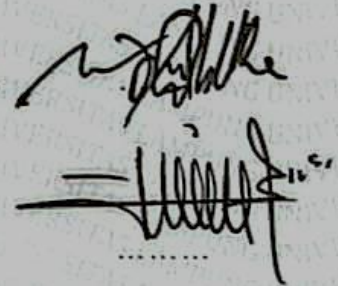
## MENGESAHKAN

Tim Penguji

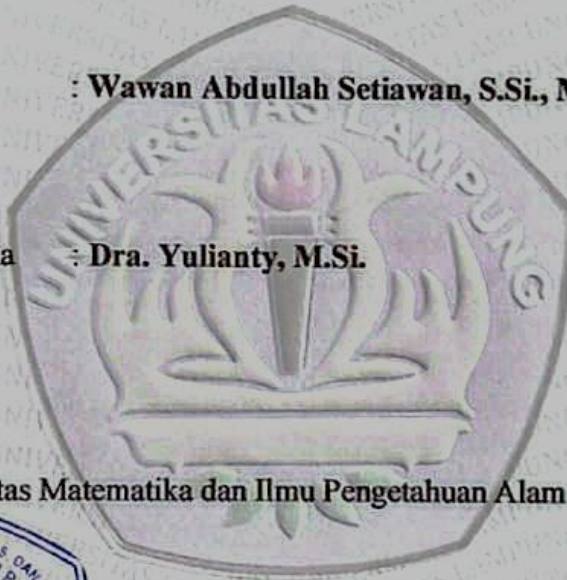
Ketua : Dr. Kusuma Handayani, S.Si., M.Si.



Anggota : Wawan Abdullah Setiawan, S.Si., M.Si.



Penguji utama : Dra. Yulianty, M.Si.



Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 11 Juli 2025

SURAT PERNYATAAN  
KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yasminia Friska Saputra

NPM : 2117021085

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul:

**“Uji Antagonis Isolat *Bacillus thuringiensis* Sebagai Pengendali Jamur *Colletotrichum* sp. Penyebab Penyakit Antraknosa Pada Buah Cabai Merah (*Capsicum annuum*)”**

Baik data, hasil analisis dan kajian ilmiah adalah benar hasil karya yang saya susun sendiri berdasarkan riset ilmiah dan ilmu pengetahuan melalui arahan dari komisi pembimbing dan pembahas. Skripsi ini disusun dengan berpedoman pada etika akademik dan penulisan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan atau pernyataan yang tidak benar mengenai skripsi saya, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 20 Juli 2025

Yang Menyatakan,



Yasminia Friska Saputra  
NPM. 2117021085

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Yasminia Friska Saputra lahir pada tanggal 3 Juli 2003 di Lampung Timur. Penulis merupakan anak bungsu dari dua bersaudara pasangan Bapak Prapto Bangun Saputro dan Ibu Endah Retno Widianingsih. Penulis mempunyai seorang kakak bernama Yosua Eka Saputra. Penulis memulai pendidikan pertamanya di TK Pamerdisiwi tahun 2009 dan melanjutkan pendidikan di sekolah dasar di SD Kristen 3 Bandarjaya. Penulis menempuh pendidikan lanjutan di SMPN 3 Terbanggi Besar dan lulus ditahun 2018. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas di SMAN 1 Kotagajah dan lulus pada tahun 2021.

Penulis aktif dalam klub basket di masa sekolah menengah dan meraih berbagai prestasi dibidang olahraga tersebut. Selain itu, penulis juga aktif mengikuti berbagai kompetisi non-akademik di masa sekolah menengah. Penulis melanjutkan pendidikan pada tahun 2021 sebagai mahasiswi di Jurusan Biologi Universitas Lampung. Selama masa kuliah penulis aktif bergabung dalam organisasi Unit Kegiatan Mahasiswa Kristen sebagai anggota divisi 3 pada tahun 2023. Ditahun yang sama, penulis aktif menjadi asisten praktikum di Laboratorium Mikrobiologi.

Penulis melaksanakan Pratik kerja lapangan di UPTD Laboratorium Kesehatan Daerah Kota Tangerang pada bulan Januari – Februari 2024. Penulis juga sudah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata di Desa Braja Asri, Kecamatan Way Jepara, Lampung Timur pada bulan Juni - Agustus 2024. Penulis pernah mengikuti pertukaran Mahasiswa Biologi di Institut Teknologi Sumatera selama semester 7. Pengalaman tersebut merupakan pengalaman berharga yang tidak akan pernah dilupakan oleh penulis.



## **PERSEMBAHAN**

Terpujilah Allah Tritunggal, Bapa, Putra dan Roh kudus

atas berkat, kasih karunia dan penyertaan-Nya yang selalu ada untukku,  
kupersembahkan karya ini dengan penuh ucapan syukur untuk kemuliaan Tuhan  
dan rasa bangga kepada :

Kedua Orang Tuaku:

**Bapak Prapto Bangun dan Ibu Endah Retno**

Terimakasih atas segala kasih sayang serta motivasi yang telah diberikan  
kepadaku sehingga dapat menyelesaikan pendidikan sarjana di Universitas  
Lampung;

Kepada Bapak dan Ibu dosen yang sudah mengajar, membimbing dan  
memberikan ilmu kepada mahasiswanya sehingga dapat menyelesaikan  
pendidikan dan mendapatkan gelar sarjana;

Teman-teman seperjuangan yang telah menemani selama masa perkuliahan,  
memberikan semangat dan menjadi pendengar yang baik. Terimakasih telah  
berproses bersama dengan saya dan memberikan banyak kenangan manis yang  
tidak akan pernah saya lupakan seumur hidup saya;

Almamater tercinta yang menjadi tempat saya menuntut ilmu dan mendapatkan  
gelar sarjana yang akan selalu saya banggakan dimanapun saya berada,

**Universitas Lampung**

## **MOTTO**

“Kuatkan dan teguhkanlah hatimu, janganlah takut dan jangan gemetar karena mereka, sebab Tuhan, Allahmu, Dialah yang berjalan menyertai engkau; Ia tidak akan membiarkan engkau dan tidak akan meninggalkan engkau”

(Ulangan 31:6)

“Tuhan ada dalam setiap proses yang terjadi dalam hidupmu, memberkati dan menyertai engkau, biarlah Tuhan yang menjawab sesuai dengan waktu-Nya”

“Maka jadilah padaku seturut dengan kehendak-Mu”

“Bersukacitalah senantiasa. Tetaplah berdoa. Mengucap syukurlah dalam segala hal, sebab itulah yang dikehendaki Allah di dalam Kristus Yesus bagi kamu”

(1 Tesalonika 5: 15-18)

“Karena masa depan sungguh ada dan harapan tidak akan hilang”

(Amsal 23:18)

## SANWACANA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Uji Antagonis Isolat *Bacillus thuringiensis* Sebagai Pengendali Jamur *Colletotrichum* sp. Penyebab Penyakit Antraknosa Pada Buah Cabai Merah (*Capsicum annuum*)”**. Penulis menyadari bahwa selama menyelesaikan skripsi tidak lepas dari bantuan, dukungan, bimbingan, motivasi serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus, atas kasih karunia, perlindungan dan kekuatan yang diberikan kepada penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini, sebab Firman Tuhan berkata “Janganlah takut, sebab Aku menyertai engkau, janganlah bimbang, sebab Aku ini Allahmu; Aku akan meneguhkan, bahkan akan menolong engkau; Aku akan memegang engkau dengan tangan kanan-Ku yang membawa kemenangan”;
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeila Afriani, D.E.A., IPM., selaku Rektor Universitas Lampung;
3. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung;
4. Bapak Dr. Jani Master, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung;
5. Bapak Prof. Dr. Sutyarso, M.Biomed., selaku Pembimbing Akademik penulis yang telah memberikan bimbingan kepada penulis;
6. Ibu Dr. Kusuma Handayani, M.Si., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, dukungan, serta masukan kepada penulis selama melaksanakan penelitian;

7. Bapak Wawan Abdullah Setiawan, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan dan masukan serta dukungan mental kepada penulis;
8. Ibu Dra. Yulianty, M.Si., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan arahan dan bantuan selama penulis melaksanakan penelitian;
9. Seluruh Bapak dan Ibu dosen Jurusan Biologi atas ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama menuntut ilmu;
10. Ibu Oni Mastuti, S.Si., selaku Laboran Mikrobiologi FMIPA Universitas Lampung atas motivasi dan arahan yang telah diberikan kepada seluruh peneliti;
11. Kedua orangtua penulis Bapak Prapto dan Ibu Endah tercinta serta keluarga. Terimakasih karena selalu menjadikan penulis sebagai putri kecil kesayangannya sehingga tidak pernah merasa kekurangan kasih sayang dan cinta, terimakasih selalu mengusahakan yang terbaik, memberikan dukungan mental dan motivasi untuk penulis sehingga dapat menyelesaikan satu langkah kecil dalam hidup;
12. Rekan seperjuangan selama masa perkuliahan, Nabila, Annisa Rahma, Hana Dipa C. Saragih, Ribka Debora dan Nency Septina yang selalu menemani setiap proses yang dilalui, memberikan dukungan, kekuatan, berbagi cerita suka duka dan pengalaman serta kenangan manis dengan penulis, kiranya hubungan baik ini terus terjaga hingga di masa depan;
13. Rekan seperjuangan selama di laboratorium Mikrobiologi; Yasmin Fadia, Afifah Mutiara dan Apriansyah yang telah memberikan kekuatan secara mental dan teman-teman lain yang juga ikut membantu dan mendukung penulis selama melaksanakan proses penelitian;
14. Rekan berkeluh kesah, Tantri Pratiwi yang telah menemani penulis selama masa KKN, semoga pertemanan yang sedikit unik ini terus terjaga hingga seterusnya;
15. Asma Ayu Fadilah, kakak sekaligus teman yang jauh disana, terimakasih selalu memberikan dukungan dan semangat kepada penulis di kala sulit dan senang;
16. Seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang telah berperan selama penulis hidup hingga dan dapat menyelesaikan skripsi ini;



17. Terakhir, kepada Yasminia Friska Saputra. Terimakasih karena sudah berjuang dan bertahan untuk mengusahakan yang terbaik dalam setiap proses mudah dan sukar yang telah dilalui. Tetaplah menjadi pribadi yang rendah hati dan terus menjadi pelaku Firman Tuhan dimanapun berada.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis terbuka untuk setiap saran dan kritik yang diberikan kepada penulis agar menjadi evaluasi dan perbaikan kedepannya sehingga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua, Amin.

Bandar Lampung, 11 Juli 2025  
Penulis,

Yasminia Friska Saputra

## DAFTAR ISI

Halaman

|                                                                                  |             |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                                        | <b>viii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                                                        | <b>ix</b>   |
| <b>I. PENDAHULUAN .....</b>                                                      | <b>1</b>    |
| 1.1. Latar Belakang .....                                                        | 1           |
| 1.2. Tujuan Penelitian .....                                                     | 4           |
| 1.3. Kerangka Pikir .....                                                        | 4           |
| 1.4. Hipotesis .....                                                             | 5           |
| <b>II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>                                                | <b>6</b>    |
| 2.1. Morfologi dan Klasifikasi Cabai Merah .....                                 | 6           |
| 2.1.1. Akar .....                                                                | 7           |
| 2.1.2. Batang.....                                                               | 8           |
| 2.1.3. Daun .....                                                                | 8           |
| 2.1.4. Bunga.....                                                                | 9           |
| 2.1.5. Buah.....                                                                 | 10          |
| 2.2. Penyakit Antraknosa .....                                                   | 11          |
| 2.3. Klasifikasi dan Morfologi <i>Colletotrichum</i> sp. ....                    | 12          |
| 2.4. Klasifikasi <i>Bacillus thuringiensis</i> .....                             | 13          |
| 2.5. Morfologi <i>Bacillus thuringiensis</i> .....                               | 14          |
| 2.6. <i>Bacillus thuringiensis</i> sebagai Pengendali Hayati .....               | 15          |
| <b>III. METODE PENELITIAN .....</b>                                              | <b>18</b>   |
| 3.1. Waktu dan Tempat .....                                                      | 18          |
| 3.2. Alat dan Bahan.....                                                         | 18          |
| 3.3. Rancangan Penelitian .....                                                  | 18          |
| 3.4. Prosedur Penelitian .....                                                   | 20          |
| 3.4.1. Sterilisasi Alat .....                                                    | 20          |
| 3.4.2. Pembuatan Akuades Steril, Media NA, PDA, dan media Ko-<br>kultivasi ..... | 20          |
| 3.4.3. Peremajaan <i>Bacillus thuringiensis</i> .....                            | 21          |

|                                                          |           |
|----------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4.4. Peremajaan <i>Colletotrichum</i> sp.....          | 22        |
| 3.4.5. Pembuatan suspensi.....                           | 22        |
| 3.4.6. Uji Antagonis secara <i>in vitro</i> .....        | 22        |
| 3.4.7. Uji Antagonis secara <i>in vivo</i> .....         | 23        |
| 3.5. Parameter Pengamatan.....                           | 24        |
| 3.5.1. Parameter Pengamatan uji <i>In vitro</i> .....    | 24        |
| 3.5.2. Parameter Pengamatan uji <i>In vivo</i> .....     | 24        |
| 3.6. Analisis Data .....                                 | 25        |
| 3.7. Diagram Alir Penelitian .....                       | 26        |
| <b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>                     | <b>27</b> |
| 4.1. Hasil Pengamatan.....                               | 27        |
| 4.1.1. Hasil Uji Antagonis secara <i>in vitro</i> .....  | 27        |
| 4.1.2. Hasil Uji Antagonis secara <i>in vivo</i> .....   | 28        |
| 4.2. Pembahasan.....                                     | 29        |
| 4.2.1. Perubahan Morfologi Jamur secara Mikroskopis..... | 32        |
| 4.2.2. Perubahan Kerusakan Buah Cabai Merah.....         | 33        |
| <b>V. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>                      | <b>27</b> |
| 5.1. Kesimpulan .....                                    | 27        |
| 5.2. Saran .....                                         | 27        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                               | <b>36</b> |

## DAFTAR TABEL

| Tabel                                                                    | Halaman |
|--------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Rancangan Penelitian.....                                             | 19      |
| 2. Tata letak percobaan .....                                            | 20      |
| 3. Nilai skor kerusakan pada buah cabai merah.....                       | 25      |
| 4. Persentase kerusakan dan tingkan serangan .....                       | 25      |
| 5. Hasil Uji Antagonis secara <i>in vitro</i> masa inkubasi 7 hari. .... | 27      |
| 6. Rerata keparahan penyakit pada buah cabai merah .....                 | 29      |
| 7. Hasil Pengukuran Zona Hambat uji <i>in vitro</i> .....                | 43      |
| 8. Nilai Skorsing Keparahen Penyakit pada Buah Cabai Merah .....         | 43      |
| 9. Data Pengamatan Serangan Penyakit pada Buah Cabai Merah .....         | 43      |
| 10. Persentase Keparahen Penyakit Pada Buah Cabai Merah .....            | 48      |
| 11. Uji Homogenitas Ragam dengan <i>Bartlett's test</i> .....            | 48      |
| 12. Uji <i>One-way</i> ANOVA Keparah Penyakit pada Buah Cabai.....       | 48      |
| 13. Uji Beda Nyata Terkecil 5% .....                                     | 49      |
| 14. Perubahan morfologi buah cabai.....                                  | 51      |

## DAFTAR GAMBAR

| Gambar                                                      | Halaman |
|-------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Morfologi tanaman cabai merah .....                      | 7       |
| 2. Akar tanaman cabai merah.....                            | 8       |
| 3. Batang tanaman cabai merah .....                         | 8       |
| 4. Bentuk daun cabai merah .....                            | 9       |
| 5. Bunga tanaman cabai merah .....                          | 10      |
| 6. Bentuk buah .....                                        | 10      |
| 7. Gejala awal penyakit antraknosa .....                    | 11      |
| 8. Penyakit antraknosa pada buah cabai.....                 | 12      |
| 9. Morfologi <i>Colletotrichum</i> sp. ....                 | 13      |
| 10. Morfologi <i>Bacillus thuringiensis</i> .....           | 15      |
| 11. Skema uji <i>dual culture</i> antagonis.....            | 23      |
| 12. Pengamatan hifa jamur <i>Colletotrichum</i> sp.....     | 32      |
| 13. Perubahan morfologi buah cabai merah.....               | 34      |
| 14. Pengujian <i>in vivo</i> .....                          | 49      |
| 15. Pengujian <i>in vitro</i> .....                         | 49      |
| 16. Jamur <i>Colletotrichum</i> sp. ....                    | 50      |
| 17. Isolat <i>Bacillus thuringiensis</i> .....              | 50      |
| 18. Pengamatan konidia jamur <i>Colletotrichum</i> sp. .... | 50      |

## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1.Latar Belakang**

Cabai merupakan tanaman hortikultura yang memiliki nilai ekonomi tinggi karena kaya akan nutrisi dan gizi sehingga permintaan terhadap cabai semakin hari semakin meningkat. Permintaan produksi cabai yang semakin meningkat membuat petani harus melakukan penanaman secara terus menerus. Keberhasilan penanaman cabai dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti tingkat kesuburan tanah, kelembaban udara, suhu udara, tingginya penguapan air, ada atau tidaknya serangan penyakit dan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) (Polii dkk., 2019). Beberapa OPT yang dapat mengganggu pertumbuhan tanaman cabai seperti keberadaan hama ulat, gangsir, kutu daun, wereng, dan gulma. Salah satu serangan penyakit dapat disebabkan oleh infeksi dari jamur patogen baik pada masa tanam maupun pascapanen (Inaya dkk., 2022)

Serangan penyakit akibat jamur patogen dapat berpengaruh terhadap cabai baik selama masa tanam maupun pascapanen. Kerusakan pascapanen pada buah cabai yang dipengaruhi oleh adanya serangan penyakit dapat menyebabkan kuantitas dan kualitas buah pascapanen menurun. Selain itu, kondisi suhu dan kelembaban udara di lingkungan yang sesuai untuk pertumbuhan dan perkembangan patogen dapat memicu semakin banyaknya kerusakan pada pascapanen cabai (Ramdan dkk., 2019).



Penyakit antraknosa merupakan salah satu penyakit yang menyerang tanaman cabai baik selama proses penanaman maupun pascapanen. Penyakit antraknosa pada cabai disebabkan oleh jamur *Colletotrichum gloeosporioides*, *Colletotrichum acutatum*, *Colletotrichum dematium*, *Colletotrichum coccodes*, dan *Colletotrichum capsici*. Berbagai spesies dari genus *Colletotrichum* dapat menginfeksi bagian yang berbeda-beda dari tanaman cabai (Astuti dkk., 2014). Seperti *C. gloeosporioides* yang menginfeksi batang dan daun tanaman cabai sedangkan *C. capsici* dapat menyebabkan infeksi baik pada tanaman maupun buah cabai merah (Prihatiningsih dkk., 2020). Tanaman cabai yang terserang penyakit antraknosa mengalami gejala awal berupa kematian di bagian pucuk tanaman yang kemudian merambat ke bagian bawah atau akar tanaman cabai. Pada tanaman dewasa daun, ranting dan cabang tanaman akan mulai mengering dan berubah warna menjadi coklat kehitaman, sedangkan pada batang cabai akan terlihat adanya tonjolan yang merupakan aservulus jamur (Herwidyarti dkk., 2013).

Buah cabai yang mulai terserang penyakit antraknosa ditandai dengan timbulnya bercak berwarna hitam yang sedikit mengkilap dan terbenam, buah akan tampak basah atau berair, berwarna kuning kehitaman dan akan membesar dengan cepat sehingga menyebabkan kebusukan buah (Ramdan dkk., 2019). Infeksi akibat jamur *Colletotrichum* sp. ini tidak hanya menyerang buah cabai yang masih berada di pohon, tetapi juga menyerang buah cabai yang sudah dipetik (pascapanen) (Kirana dkk., 2014).

Kerusakan pada tanaman cabai akibat penyakit antraknosa akan meningkat ketika musim hujan berlangsung. Sekitar 5 – 65% bagian pada tanaman cabai baik daun, batang, dan akarnya akan mengalami perubahan warna, layu bahkan kematian tanaman. Kerusakan yang disebabkan oleh penyakit antraknosa dapat menurunkan hasil panen buah cabai hingga mencapai 65% (Salim, 2012). Kerusakan akibat penyakit antraknosa pada cabai dapat dikendalikan dengan menggunakan fungisida. Penggunaan fungisida

kimia menjadi solusi paling efektif guna menurunkan angka kerugian akibat penyakit antraknosa yang menyerang tanaman cabai. Namun jika fungisida kimia digunakan berkelanjutan akan memberikan dampak negatif bagi lingkungan dan manusia. Tidak hanya itu, penggunaan fungisida kimia dengan dosis dan frekuensi terus menerus dapat menyebabkan jamur *Colletotrichum* sp. resisten terhadap fungisida. (Kirana dkk., 2014).

Penggunaan fungisida kimia dapat digantikan dengan memanfaatkan agen hayati dalam upaya pengendalian penyakit antraknosa pada cabai. Agen hayati yang dapat digunakan untuk mengendalikan penyakit antraknosa pada cabai berasal dari kelompok bakteri kitinolitik karena memiliki kemampuan untuk menghambat pertumbuhan jamur patogen. Beberapa bakteri yang termasuk ke dalam kelompok bakteri kitinolitik yaitu *Aeromonas*, *Serratia*, *Vibrio*, *Streptomyces*, dan *Bacillus* (Syahfitri dkk., 2018). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Gargita dan Khalimi (2023), beberapa spesies bakteri *Bacillus* dapat dimanfaatkan sebagai agen hayati untuk mengendalikan jamur patogen penyebab penyakit pada berbagai jenis tanaman. Spesies bakteri tersebut yaitu *B. subtilis*, *B. cereus*, *B. coagulans*, *B. thuringiensis*, *B. mycoides*, *B. pseudomycoides*, *B. bingmayongensis*.

Beberapa penelitian terdahulu menyatakan bahwa kelompok bakteri *Bacillus* dapat dimanfaatkan untuk mengendalikan jamur patogen penyebab penyakit antraknosa pada cabai merah. Penelitian yang dilakukan oleh Prihatiningsih dkk (2020) menyatakan bahwa bakteri *Bacillus cereus* mampu menghambat pertumbuhan jamur *Colletotrichum* sp. dengan cara menghasilkan enzim kitinase yang dapat menyebabkan terjadinya pembengkakan pada hifa jamur. Menurut Lestari dkk (2017), bakteri *Bacillus subtilis* mampu mengendalikan pertumbuhan *Colletotrichum* sp. dengan cara menghasilkan enzim yang dapat mendegradasi dinding sel jamur. Sedangkan pada penelitian yang

dilakukan oleh Yanti *et al.* (2023) menyatakan bahwa bakteri *Bacillus thuringiensis* 93,34% efektif dalam mengendalikan keparahan penyakit antraknosa yang disebabkan oleh *Colletotrichum capsici*. Penelitian lain menyatakan bahwa *Bacillus thuringiensis* mampu menghambat pertumbuhan *Colletotrichum capsici* dengan persentase penghambatan mencapai 37,5% (Nurdin *et al.*, 2015). Berdasarkan hal tersebut, maka penulis mengajukan penelitian ini untuk mengetahui efektivitas *Bacillus thuringiensis* dalam menghambat *Colletotrichum* sp. penyebab penyakit antraknosa pada buah cabai merah.

## 1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui kemampuan antagonisme isolat *Bacillus thuringiensis* dalam menghambat pertumbuhan *Colletotrichum* sp. melalui daya hambat yang terbentuk dan;
2. Mengetahui efektivitas *Bacillus thuringiensis* dalam menghambat pertumbuhan *Colletotrichum* sp. pada buah cabai merah secara *in vivo*.

## 1.3. Kerangka Pikir

Jamur *Colletotrichum* sp. yang menyerang tanaman cabai dapat menyebabkan penurunan hasil produksi cabai yang berakibat pada kerugian ekonomi pada petani cabai. Jamur ini dapat menyerang tanaman cabai selama masa tanam ataupun pascapanen dengan cara menginfeksi pucuk tanaman lalu merambat ke bagian bawah tanaman hingga merusak buah cabai yang sudah dipetik. Oleh karena itu, banyak petani menggunakan fungisida kimia untuk mengendalikan tanaman cabai yang terserang jamur patogen ini. Namun, fungisida kimia yang digunakan dengan dosis tertentu secara terus menerus dapat memberikan dampak negatif bagi manusia maupun lingkungan. Hal tersebut membuat petani harus mencari alternatif lain untuk mengendalikan serangan jamur *Colletotrichum* sp. agar hasil produksi cabai tetap optimal.

Penggunaan agen hayati dapat menjadi alternatif untuk mengendalikan serangan jamur *Colletotrichum* sp. Salah satu agen hayati yang banyak digunakan yaitu kelompok bakteri *Bacillus*. Bakteri *Bacillus* mampu menghambat pertumbuhan patogen dan sudah banyak dimanfaatkan sebagai agen pengendali hayati untuk berbagai macam jamur patogen yang menyerang tanaman. Beberapa penelitian terdahulu telah membuktikan bahwa kelompok bakteri *Bacillus* mampu menghambat pertumbuhan jamur *Colletotrichum* sp. yang menjadi penyebab penyakit antraknosa pada tanaman cabai. Namun, penelitian tersebut tidak spesifik menggunakan *Bacillus thuringiensis* sebagai agen hayati yang digunakan untuk menghambat pertumbuhan *Colletotrichum* sp. Oleh karena itu, penggunaan bakteri *Bacillus thuringiensis* sebagai pengendali jamur patogen penyebab penyakit antraknosa pada cabai harus terus dikembangkan.

#### **1.4.Hipotesis**

Hipotesis dalam penelitian ini adalah *Bacillus thuringiensis* memiliki kemampuan dalam menghambat pertumbuhan jamur patogen *Colletotrichum* sp. serta mampu mengurangi keparahan penyakit pada buah cabai merah yang terinfeksi jamur patogen *Colletotrichum* sp.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Morfologi dan Klasifikasi Cabai Merah

Cabai merupakan salah satu tanaman hortikultura yang berasal dari benua Amerika dan termasuk kedalam suku Solanaceae serta tergolong kedalam angiospermae. Tanaman cabai berbentuk perdu dengan tinggi tanaman hanya sekitar 70-110 cm dan tergolong sebagai tanaman semusim.

Tanaman cabai dapat tumbuh di dataran rendah maupun dataran tinggi dengan kondisi pH tanah antara 5,5-6,5. Pertumbuhan tanaman cabai berlangsung melalui 2 fase yakni fase vegetatif dan fase generatif. Pada fase vegetatif, pertumbuhan tanaman lebih mengarah pada perkembangan batang dan akar, namun pada fase generatif pertumbuhannya cenderung mengarah pada proses pembungaan, pembuahan, perkembangan dan pematangan buah (Wahyudi dan Topan, 2011).

Tanaman cabai umumnya dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai bumbu untuk menambah citarasa pada masakan. Cabai menghasilkan rasa pedas ketika dikonsumsi karena mengandung senyawa capsaicin. Capsaicin pada cabai berguna sama seperti insektisida dan rodentisida yang mampu mengusir hama. Selain capsaicin, cabai juga mengandung protein, lemak, karbohidrat, kalori, kalsium serta vitamin A, B1, dan C (Ikpeme *et al.*, 2014). Dalam genus *Capsicum*, ada 5 spesies cabai yang saat ini banyak dibudidayakan oleh petani dari total 20-30 spesies cabai yang ada. Adapun 5 spesies cabai tersebut yaitu cabai merah, cabai rawit, cabai hijau, cabai jawa dan cabai putih. Cabai merah atau *Capsicum annuum* merupakan salah satu tanaman cabai yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat

*Capsicum annuum* memiliki karakteristik yang khas, baik dari batang, bunga, maupun buahnya. Menurut Cronquist (1981) klasifikasi tanaman cabai yakni sebagai berikut:

Kerajaan : Plantae  
 Divisi : Magnoliophyta  
 Kelas : Magnoliopsida  
 Bangsa : Solanales  
 Suku : Solanaceae  
 Marga : *Capsicum*  
 Jenis : *Capsicum annuum* L.



Gambar 1. Morfologi tanaman cabai merah (sumber: Alif, 2017)

#### 2.1.1.Akar

Tanaman cabai memiliki sistem perakaran tunggang semu dengan pertumbuhan yang agak menyebar. Fungsi akar pada tanaman cabai yaitu untuk menyerap air, unsur hara dan mineral dari dalam tanah, memperkokoh tubuh tanaman serta sebagai penopang tanaman. Akar tanaman cabai terdiri atas akar utama (primer) dan akar lateral (sekunder). Akar utama tanaman cabai memiliki panjang sekitar 35-50 cm sedangkan akar lateral akan menyebar pertumbuhannya dengan panjang sekitar 35-45 cm. Akar lateral akan membantu dalam proses penyerapan nutrisi yang kemudian akan disalurkan menuju tempat berlangsungnya fotosintesis (Harpenas dan Dermawan, 2010).



Gambar 2. Akar tanaman cabai merah (sumber: Alif, 2017)

### 2.1.2. Batang

Batang tanaman cabai berkayu dengan diameter mencapai 1,5-2,5 cm dan panjang sekitar 20-28 cm. Batang tanaman memiliki percabangan yang bersifat dikotomi (menggarpu) dan berkesinambungan. Batang tanaman berwarna hijau muda hingga hijau tua, namun ada pula yang berwarna kecoklatan yang menandakan bahwa batang tersebut sudah tua. Warna coklat pada batang tua merupakan bentuk kayu semu pengerasan dari jaringan parenkim pada batang (Pratama dkk., 2017).

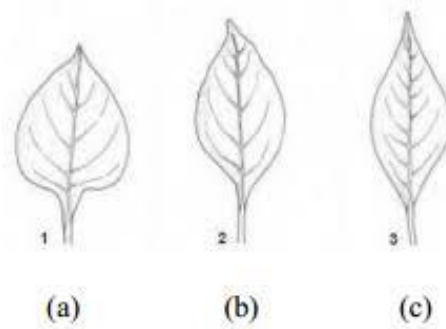


Gambar 3. Batang tanaman cabai merah (sumber: inspirasipertanian.com)

### 2.1.3. Daun

Daun tanaman cabai memiliki panjang sekitar 3-11 cm dan lebar sekitar 1-5 cm dengan bentuk yang bervariasi, yaitu lonjong, oval

dan lanset. Warna daun umumnya hijau muda hingga hijau tua dan kuning bila sudah menua (Lagiman dan Supriyanta, 2021). Bagian ujung daun akan meruncing dengan tepian rata serta tulang daun menyirip. Jumlah helaian daun berbeda-beda pada tiap percabangan, tetapi umumnya berkisar antara 5-15 helaian (Agromedia, 2007).



Gambar 4. Bentuk daun cabai merah;  
(a) *Lanceolate*, (b) *Ovate*, (c) *Broadelliptic* (sumber: IPGRI, 1995)

#### 2.1.4. Bunga

Bentuk bunga pada tanaman cabai seperti terompet dan merupakan bunga lengkap yang terdiri dari kelopak bunga, mahkota bunga, benang sari dan putik. Bunga akan tumbuh disekitar ketiak daun dan bersifat tunggal dalam tandan. Umumnya, dalam satu tandan terdapat 2-3 bunga. Tanaman cabai mampu melakukan penyerbukan sendiri (*selfing*) karena memiliki bunga sempurna yang berarti dalam satu tanaman terdapat bunga betina dan bunga jantan. Namun, tanaman cabai juga dapat melakukan penyerbukan silang (*crossing*) dengan bantuan dari serangga atau angin. Bunga tanaman cabai akan mekar pada usia 23-31 hari pasca tanam (Syukur dkk., 2013).

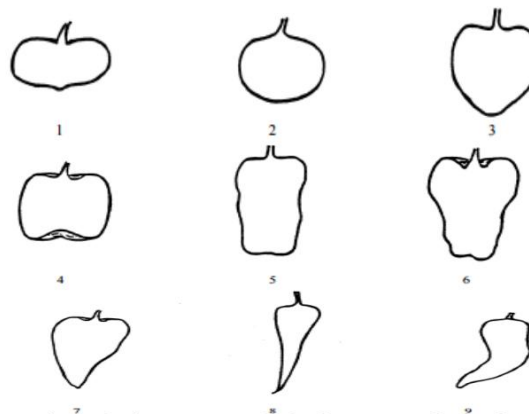




Gambar 5. Bunga tanaman cabai merah (sumber: Kompas.com)

#### 2.1.5. Buah

Buah terbentuk dari adanya penyerbukan sendiri ataupun penyerbukan silang di umur 29-40 hari setelah tanam. Warna buah cabai bervariasi antara hijau, kuning, dan merah dengan ukuran buah sekitar 3-8 cm. Buah yang masih muda akan berwarna putih hingga kehijauan dan bila sudah masak akan berwarna kuning kecoklatan hingga merah. Di dalam buah terdapat biji yang berbentuk pipih yang melekat pada plasenta buah (Alif, 2017). Selain warna, bentuk buah cabai juga bervariasi, ada yang memanjang, bulat, segitiga, kotak meruncing hingga kotak menyerupai persegi (Lagiman dan Supriyanta, 2021).



Gambar 6. Bentuk buah: 1) *Oblate*, 2) *Circular* (bulat), 3) *Codate* (bentuk hati), 4) *Square* (kotak), 5) *Rectangular* (persegi panjang), 6) *Trapezoidal* (trapesium), 7) *Moderately triangular* (agak segitiga), 8) *Narrowly triangular* (sedikit segitiga), 9) *Hornshaped* (tanduk) (Sumber: IPGRI, 1995)

## 2.2. Penyakit Antraknosa

Penyakit antraknosa merupakan salah satu penyakit yang dapat menyerang tanaman dan menyebabkan kerugian hingga mencapai 20% hingga 90% tergantung musim pada masa tanam (Aisyah dkk., 2023). Penyakit ini dikenal juga dengan sebutan penyakit pathek (Herwidyarti dkk., 2013). Penyakit antraknosa disebabkan oleh spesies jamur *Colletotrichum* spp. Menurut De Silva *et al.* (2019) ada beberapa jamur *Colletotrichum* yang menyerang tanaman di wilayah Asia Tenggara termasuk juga Indonesia diantaranya yaitu *Colletotrichum endophyticum*, *C. fruticola*, *C. tropicale*, *C. karstii*, *C. plurivorum*, *C. scovillei*, *C. siamense*, *C. truncatum*, *C. magnum*, *C. javanense*, dan *C. makassarensense* dengan 3 spesies utama yang menyerang tanaman cabai yaitu *C. gloeoporioides*, *C. acutatum*, *C. capsici*. Jamur *Colletotrichum* sp. dapat ditemukan secara alami pada tanah. Tanaman dapat terinfeksi oleh jamur patogen ini karena tanah yang menyentuh bagian batang, daun, atau buah melalui penggunaan alat pertanian yang tidak bersih atau adanya cipratan air yang mengenai tanaman (Islam *et al.*, 2020). Gejala awal tanaman yang terserang penyakit antraknosa adalah terjadinya kematian pada pucuk tanaman yang berlanjut ke bagian bawah tanaman. Selain itu, daun dan batang tanaman akan kering dan berubah warna menjadi coklat kehitaman. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Elfina dkk. (2015) yang menyatakan bahwa tanaman yang diinokulasikan dengan jamur patogen penyebab antraknosa mula-mula timbul bintik kecil berwarna kehitaman serta berlekuk. Daun tanaman yang masih muda akan lebih rentan terkena penyakit antraknosa bila dibandingkan dengan daun tanaman yang sudah tua.



Gambar 7. Gejala awal penyakit antraknosa (Putro dkk., 2014).

Gejala penyakit antraknosa pada buah cabai mulai terlihat ketika terjadi perubahan warna menjadi coklat dan kemudian menghitam pada jaringan nekrotik cekung dengan cincin konsentris (Gambar 7.). Perubahan warna ini disebabkan mulai terbentuknya seta dan sklerotia. Spora jamur dapat jatuh dan menyebar ke bagian tanaman yang lain lalu menyebabkan terjadinya infeksi laten. Infeksi laten dapat terjadi sejak tahap pembungaan hingga pembuahan dan menjadi semakin parah ketika cuaca dingin dan lembab atau pada saat musim hujan (Islam *et al.*, 2020). Tanaman cabai yang terinfeksi jamur *Colletotrichum* sp. dapat dibedakan berdasarkan stadium pertumbuhan tanaman. Batang dan daun tanaman cabai terinfeksi oleh *C. coccodes* dan *C. dematium* sedangkan buah cabai terinfeksi oleh *C. acutatum* dan *C. gloeosporioides* (Mongkolporn and Taylor, 2018). Cabai merah yang terinfeksi oleh jamur *C. capsici* dapat dilihat pada Gambar 8. (Prihatiningsih dkk., 2020).



Gambar 8. Penyakit antraknosa pada buah cabai

### 2.3. Klasifikasi dan Morfologi *Colletotrichum* sp.

Klasifikasi jamur *Colletotrichum* sp. menurut Hibbet (2007) sebagai berikut :

|          |                             |
|----------|-----------------------------|
| Kerajaan | : Fungi                     |
| Filum    | : Ascomycota                |
| Kelas    | : Pyrenomycetes             |
| Bangsa   | : Sphaeriales               |
| Suku     | : Polystigmataceae          |
| Marga    | : <i>Colletotrichum</i> sp. |

*Colletotrichum* sp. merupakan jamur patogen yang memiliki miselium padat, berserabut dan bersepta. *Colletotrichum* sp. memiliki aservuli berwarna coklat tua, dengan bentuk bulat memanjang yang akan membentuk konidiofor pendek dan konidia. Seta berwarna coklat tua kehitaman dengan struktur seperti jarum panjang. Memiliki konidia yang tebal dan banyak hialin serta tidak berinti dengan bentuk seperti bulan sabit dengan ujung sedikit meruncing berukuran 5-15 $\mu$ m.

Keberadaan aservulus dibawah epidermis pada tumbuhan inang dan epidermis akan pecah jika konidia sudah dewasa. Konidia keluar sebagai percikan berwarna putih, kuning, jingga, dan hitam atau warna lain dengan pigmen yang dikandung konidia. *Colletotrichum* sp. memiliki miselium yang halus dan berwarna merah muda keputihan serta tampak berkilau. *Gloeosporium* dan *Colletotrichum* merupakan bagian dari bangsa Melanoconiales yang memiliki konidia berwarna cerah (Prajapati *et al.*, 2020).



Gambar 9. Morfologi *Colletotrichum* sp. (sumber: forestryimages.org)

#### 2.4. Klasifikasi *Bacillus thuringiensis*

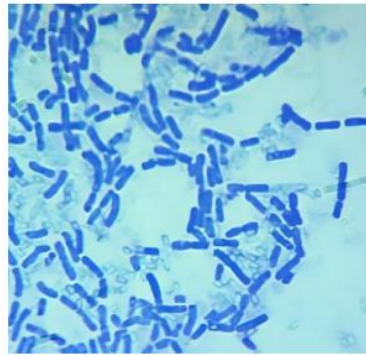
Menurut Barliner (1915) menyebutkan klasifikasi dari bakteri *Bacillus thuringiensis* yaitu sebagai berikut.

|         |                                 |
|---------|---------------------------------|
| Kingdom | : Bacteria                      |
| Filum   | : Firmicutes                    |
| Kelas   | : Bacilli                       |
| Bangsa  | : Bacillales                    |
| Suku    | : Bacillaceae                   |
| Marga   | : <i>Bacillus</i>               |
| Jenis   | : <i>Bacillus thuringiensis</i> |

Berdasarkan pada serotipe dari flagelanya, *Bacillus thuringiensis* dibagi menjadi 67 subspecies. Ciri khas dari *Bacillus thuringiensis* yaitu memiliki kemampuan untuk membentuk kristal paraspora yang berdekatan dengan endospora selama fase sporulasi III dan IV. Kristal paraspora ini merupakan protein yang dikode oleh jenis gen *Cry* yang spesifik. Gen *Cry* termasuk ke dalam protein kristal kelas endotoksin delta yang apabila dimakan oleh serangga dapat menyebabkan kematian pada serangga tersebut. Selama masa pertumbuhan vegetatifnya, bakteri ini mampu menghasilkan bermacam-macam senyawa seperti, antibiotik, enzim, metabolit dan toksin yang dapat merugikan bagi organisme lain (Wahyuni dan Wirawan, 2017).

## **2.5.Morfologi *Bacillus thuringiensis***

*Bacillus thuringiensis* termasuk ke dalam bakteri gram positif berbentuk batang dengan ukuran panjang 3-5  $\mu\text{m}$  dan lebar 1-1,2  $\mu\text{m}$ . Bakteri ini dapat membentuk suatu rantai yang terdiri dari 5-6 sel. *Bacillus thuringiensis* memiliki kemampuan untuk membentuk endospora ketika keadaan di lingkungannya ekstrim. Spora yang dihasilkan berbentuk oval berwarna hijau kebiruan dan berukuran 1-1,3  $\mu\text{m}$ . Spora *Bacillus thuringiensis* mengandung asam dipikolinik dan terbentuk dengan cepat pada suhu 35-37°C. Bakteri ini juga memiliki sel vegetatif yang berbentuk batang serta memiliki flagela yang membantu proses pergerakannya. *Bacillus thuringiensis* dapat tumbuh optimum di suhu 40°-75°C di kisaran pH 5,5-8,5 (Bahri *et al.*, 2021). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rahmat (2023) menyatakan bahwa koloni bakteri *Bacillus thuringiensis* berbentuk bulat dan berwarna putih krem hingga putih kekuningan dengan pinggiran koloni berbentuk elevasi dan licin (Gambar 10.)



Gambar 10. Morfologi *Bacillus thuringiensis* (sumber: Rahmat, 2023).

Bakteri *Bacillus thuringiensis* termasuk ke dalam bakteri anaerob fakultatif yang dapat ditemukan di air, tanah dan permukaan tanaman. *Bacillus thuringiensis* termasuk ke dalam kelompok bakteri kitinolitik yang mampu menghasilkan enzim kitinase. Enzim kitinase yang dihasilkan oleh bakteri dapat menyebabkan terjadinya lisis pada dinding sel jamur patogen. *Bacillus thuringiensis* memiliki kemampuan untuk mendegradasi dinding sel pada jamur dan menghambat pertumbuhan misellium. Selain itu, *Bacillus thuringiensis* mampu mensintesis banyak zat kimia, seperti zat antimikroba  $\beta$ -eksotoksin, antibiotik, enzim degradatif, bakteriosin, dan molekul sinyal yang terlibat dalam sistem *quorum-sensing* bakteri. Berdasarkan hal itu, *Bacillus thuringiensis* banyak dimanfaatkan sebagai agen biokontrol untuk mengendalikan berbagai jamur patogen penyebab penyakit pada tanaman (Oktarina *et al.*, 2024).

## 2.6. *Bacillus thuringiensis* sebagai Pengendali Hayati

Pengendalian hayati merupakan suatu upaya yang dilakukan untuk mengurangi potensi penyakit yang disebabkan oleh adanya Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) dengan memanfaatkan organisme hidup sebagai agen pengendali alami. Pengendalian hayati dengan menggunakan makhluk hidup lain masih terus dikembangkan dalam bidang pertanian untuk membantu mengurangi penggunaan pestisida kimia serta efek samping yang ditimbulkan (Lantang dan Mawardi, 2022). Mekanisme

agen hayati dalam pengendalian penyakit tanaman dibedakan menjadi dua, yaitu mekanisme langsung dan mekanisme tidak langsung. Mekanisme langsung yaitu agen hayati menghasilkan senyawa antibiotik dan antimikroba, enzim dan siderofor serta bersaing untuk memperebutkan nutrisi dan ruang. Mekanisme tidak langsung yakni melalui induksi resistensi tanaman. Contohnya pada bakteri endofit yang menginduksi resistensi tanaman dengan cara memproduksi senyawa metabolik yang berperan dalam resistensi tanaman, termasuk enzim pertahanan (Nurbalis *et al.*, 2023). Melalui mekanisme antagonis, agen hayati dapat mengendalikan pertumbuhan organisme patogen. Menurut Palmiere *et al.* (2022) ada 3 jenis interaksi antagonis yaitu interaksi antibiosis, kompetisi, dan mikoparasitisme. Interaksi antibiosis terjadi oleh adanya senyawa metabolit yang berperan sebagai toksin yang mampu menghambat pertumbuhan mikroba patogen. Interaksi kompetisi terjadi karena adanya perebutan nutrisi, ruang tumbuh, dan faktor pertumbuhan lainnya. Interaksi mikoparasitisme dapat terjadi secara langsung dengan agen hayati menyerang atau memparasitkan mikroba patogen sehingga tidak dapat melakukan pertumbuhan.

Salah satu agen hayati yang mulai dikembangkan dari kelompok bakteri yaitu penggunaan *Bacillus* spp. *Bacillus* sp. memiliki kemampuan untuk mengkolonisasi akar dan bersporulasi serta memiliki kemampuan untuk memproduksi banyak jenis antibiotik sehingga efektif untuk digunakan sebagai agen pengendali hayati. Diketahui juga bahwa kelompok *Bacillus* spp. merupakan produser lipopeptida (LPs) yang dapat memberikan hasil penghambatan pertumbuhan patogen serta meningkatkan kemampuan penyebaran agen biokontrol dan potensial ketahanan tanaman. *Bacillus thuringiensis* dikenal sebagai agen pengendali hayati yang mampu mengendalikan serangan serangga pada tanaman dan berbagai penyakit tanaman yang disebabkan oleh jamur patogen (Yanti *et al.*, 2017). *Bacillus thuringiensis* memiliki aktivitas antagonis yang kuat serta memiliki viabilitas yang tinggi dalam menghambat berbagai serangan

jamur patogen. *Bacillus thuringiensis* yang bersifat antagonis ini menghambat patogen dengan cara bersaing untuk mendapatkan ruang dan nutrisi, melepaskan enzim pengurai dinding sel, menghasilkan antibiotik, melarutkan nutrisi tanah anorganik, serta menghasilkan berbagai senyawa antimikroba lainnya (Chowdary *et al.*, 2024).

*Bacillus thuringiensis* merupakan kelompok bakteri kitinolitik yang mampu menghasilkan enzim kitinase yang menyebabkan lisis pada dinding sel jamur patogen. Mekanisme antagonis dari *Bacillus thuringiensis* yakni dengan cara pelepasan enzim kitinase yang dapat merusak dinding sel jamur yang mengandung kitin sehingga kandungan kitin pada jamur lisis dan jamur patogen terhambat pertumbuhannya (Aisyah dkk., 2023). Jamur patogen penyebab penyakit pada tanaman yang dapat dikendalikan dengan *Bacillus thuringiensis* sebagai agen hayati yaitu *Fusarium* sp. dan *Colletotrichum* sp. (Gargita dan Khalimi, 2023).



### **III. METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Waktu dan Tempat**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari sampai Mei 2025 di Laboratorium Mikrobiologi, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

#### **3.2. Alat dan Bahan**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu cawan petri, tabung reaksi, rak tabung reaksi, Erlenmeyer, jarum ose, pinset, lampu spritus, gelas beker, gelas ukur, mikrotip, mikropipet, *hot plate and magnetic stirrer*, *autoclave*, *incubator*, *Biological Safety Cabinet*, *Laminar Air Flow*, wadah berukuran 500 mL, jangka sorong, alat tulis dan alat dokumentasi.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu isolat murni *Bacillus thuringiensis*, isolat murni *Colletotrichum* sp., media *Nutrien Agar* (NA), media *Potato Dextrose Agar* (PDA), akuades, alkohol 70%, sedotan kertas, aluminium foil, *tissue*, plastik *wrap*, dan kertas pembungkus.

#### **3.3. Rancangan Penelitian**

Penelitian yang dilakukan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Bakteri yang digunakan terdiri atas 7 jenis isolat *Bacillus thuringiensis* koleksi laboratorium Mikrobiologi FMIPA, Universitas Lampung.

Bakteri tersebut diisolasi dari tanah Kebun Raya Liwa, Kabupaten Lampung Barat, Lampung yang diberi kode isolat *Bacillus thuringiensis* (Bt1), *Bacillus thuringiensis* (Bt2), *Bacillus thuringiensis* (Bt3), *Bacillus thuringiensis* (Bt4), *Bacillus thuringiensis* (Bt5), *Bacillus thuringiensis* (Bt6), *Bacillus thuringiensis* (Bt7), yang di ujikan secara *in vivo* dan *in vitro* dengan isolat jamur *Colletotrichum* sp. (JC) dengan pengulangan sebanyak 4 kali untuk pengujian secara *in vitro* dan 9 pengulangan untuk pengujian secara *in vivo*. Parameter pengamatan dari penelitian ini yaitu strain *Bacillus thuringiensis* yang paling efektif untuk di ujikan dengan jamur patogen *Colletotrichum* sp.

Adapun bentuk rancangan penelitian yang dilakukan sebagai berikut :

- K(-) = Buah cabai yang dilukai  
 K(+) = Buah cabai dengan suspensi konidia jamur *Colletotrichum* sp.  
 P1 = Buah cabai dengan suspensi *Bacillus thuringiensis* 2  
 P2 = Buah cabai dengan suspensi *Bacillus thuringiensis* 3  
 P3 = Buah cabai dengan suspensi *Bacillus thuringiensis* 6

Tabel 1. Rancangan Penelitian

| No. | Perlakuan (P) | Uraian                                                                                                                                                                           | Keterangan         |
|-----|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1.  | K(-)          | Buah cabai dilukai pada 2 titik berbeda                                                                                                                                          | Kontrol negatif    |
| 2.  | K(+)          | Buah cabai dilukai dan diberi 0,01 ml suspensi konidia jamur <i>Colletotrichum</i> sp.<br>Buah cabai dilukai dan diberi 0,01 ml suspensi konidia jamur <i>Colletotrichum</i> sp. | Kontrol positif    |
| 3.  | P1            | dan 0,01 ml suspensi <i>Bacillus thuringiensis</i> 2                                                                                                                             | Perlakuan 1 (Bt 2) |
| 4.  | P2            | Buah cabai dilukai dan diberi 0,01 ml suspensi konidia jamur <i>Colletotrichum</i> sp.<br>dan 0,01 ml suspensi <i>Bacillus thuringiensis</i> 3                                   | Perlakuan 2 (Bt 3) |

| No | Perlakuan (P) | Uraian                                                                                                                                      | Keterangan         |
|----|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 5. | P3            | Buah cabai dilukai dan diberi 0,01 ml suspensi konidia jamur <i>Colletotrichum</i> sp. dan 0,01 ml suspensi <i>Bacillus thuringiensis</i> 6 | Perlakuan 3 (Bt 6) |

Adapun tata letak dari percobaan secara *in vivo* adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Tata letak percobaan

| Ulangan |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| U1      | U2  | U3  | U4  | U5  | U6  | U7  | U8  | U9  |
| Bt6     | Bt2 | Bt2 | Bt2 | Bt3 | Bt2 | Bt2 | Bt3 | Bt6 |
| Bt3     | Bt6 | Bt3 | Bt3 | Bt3 | Bt2 | Bt2 | Bt3 | Bt6 |
| Bt3     | Bt6 | Bt6 | Bt2 | Bt2 | Bt6 | Bt3 | Bt6 | Bt6 |

### 3.4. Prosedur Penelitian

Prosedur kerja dari penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.

#### 3.4.1. Sterilisasi Alat

Alat gelas yang digunakan dalam penelitian di bungkus dengan kertas dan plastik tahan panas lalu di sterilisasi dalam *autoclave* bertekanan 1 atm dengan suhu 121°C selama 20 menit. Alat logam yang akan digunakan disterilisasi dalam oven atau dengan menggunakan lampu spirtus.

#### 3.4.2. Pembuatan Akuades Steril, Media NA, PDA, dan media Ko-kultivasi

Akuades steril dibuat dengan cara memasukkan 100 mL akuades ke dalam Erlenmeyer dan kemudian disterilisasi dengan *autoclave* selama 20 menit dengan suhu 121°C pada tekanan 1 atm.

Media *Nutrien Agar* (NA) dibuat dengan cara mencampurkan 20 gram bubuk media dengan 1 liter akuades dan dihomogenkan dengan bantuan *magnetic stirrer* diatas *hot plate* hingga mendidih. Selanjutnya media *Potato Dextrose Agar* (PDA) dibuat dengan cara mencampurkan 39 gram bubuk media dengan 1 liter akuades dan dihomogenkan dengan bantuan *magnetic stirrer* diatas *hot plate* hingga mendidih. Media yang sudah dimasak dipindahkan dalam Erlenmeyer untuk di sterilisasi dalam *autoclave* bertekanan 2 atm pada suhu 121°C selama 20 menit.

Media NA yang telah steril dituang ke dalam tabung reaksi masing-masing kurang lebih 7 ml untuk selanjutnya dimiringkan sebagai media peremajaan isolat *Bacillus thuringiensis*, sedangkan media PDA dituangkan ke dalam cawan petri dengan volume masing-masing 20-25 mL sebagai media peremajaan *Colletotrichum* sp.

Media ko-kultivasi dibuat dengan cara mencampurkan komposisi antara media PDA dan media NA dengan perbandingan 3:1 dari jumlah total volume media yang dibutuhkan untuk pengujian antagonis. Kemudian media dilarutkan dengan akuades dan dihomogenkan dengan bantuan *magnetic stirrer* diatas *hot plate* hingga mendidih. Media ko-kultivasi yang sudah masak dipindahkan ke dalam Erlenmeyer untuk kemudian disterilisasi dalam *autoclave* dengan tekanan 2 atm pada suhu 121°C selama 20 menit.

### 3.4.3. Peremajaan *Bacillus thuringiensis*

Peremajaan isolat bakteri *Bacillus thuringiensis* menggunakan metode *streak* di media agar miring dalam tabung untuk mendapatkan koloni tunggal dari bakteri. Masing-masing isolat bakteri diambil 1 ose dan digoreskan secara zigzag diatas media agar miring lalu diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C.

#### 3.4.4. Peremajaan *Colletotrichum* sp.

Peremajaan isolat *Colletotrichum* sp. dilakukan dengan menggunakan metode inokulasi titik (*spot inoculation*). Isolat koleksi *Colletotrichum* sp. diambil dengan menggunakan ose runcing dan kemudian di pindahkan ke media baru untuk selanjutnya di inkubasi selama  $\pm 7$  hari pada suhu ruang.

#### 3.4.5. Pembuatan suspensi *Bacillus thuringiensis* dan *Colletotrichum* sp.

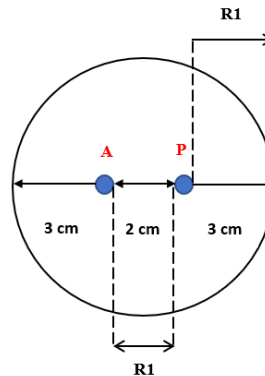
Suspensi bakteri dibuat dengan menggunakan akuades steril yang ditambahkan dengan isolat *Bacillus thuringiensis* lalu dihomogenkan dengan *vortex* kemudian dibandingkan dengan McFarland 0,5 atau sekitar  $1,5 \times 10^8$  CFU/mL. Jika kekeruhan sudah sama, suspensi sudah dapat digunakan untuk uji antagonis secara *in vivo*

Suspensi jamur dibuat menggunakan akuades steril yang ditambahkan dengan isolat *Colletotrichum* sp, lalu dihomogenkan dengan *vortex*. Suspensi jamur kemudian diambil sebanyak 1 mL untuk dan dipindahkan ke dalam tabung reaksi berisi 9 mL akuades steril sehingga menghasilkan pengenceran  $10^{-2}$ , demikian seterusnya hingga ke pengenceran bertingkat yang menghasilkan kerapatan spora  $1 \times 10^5$  konidia/mL. Jika sudah mendapatkan kerapatan yang dibutuhkan, maka suspensi sudah siap digunakan untuk uji antagonis secara *in vivo*.

#### 3.4.6. Uji Antagonis *Bacillus thuringiensis* dengan *Colletotrichum* sp. secara *in vitro*

Uji antagonis dilakukan dengan menggunakan metode *dual culture* pada media ko-kultivasi. Isolat *Bacillus thuringiensis* diambil sebanyak 1 ose dan kemudian dititikkan diatas media ko-kultivasi dengan jarak 3 cm dari pinggir cawan petri. Selanjutnya diambil isolat *Colletotrichum* sp. dan diletakkan diatas media ko-kultivasi dalam cawan petri yang sama dengan jarak 3 cm dari pinggir cawan petri. Perlakuan kontrol dibuat dengan menginokulasi *Colletotrichum* sp.

pada media ko-kultivasi tanpa bakteri *Bacillus thuringiensis*. Selanjutnya, diinkubasi pada suhu ruang selama 7 hari dan diamati pertumbuhannya setiap hari.



Gambar 11. Skema uji *dual culture* antagonis *Bacillus thuringiensis* terhadap *Colletotrichum* sp. secara *in vitro*.  
Keterangan; **A**= *Bacillus thuringiensis*, **P**= *Colletotrichum* sp.

#### 3.4.7. Uji Antagonis *Bacillus thuringiensis* dengan *Colletotrichum* sp. secara *in vivo*

Uji antagonis secara *in vivo* dilakukan dengan menggunakan cabai segar yang diaplikasikan langsung dengan isolat bakteri *Bacillus thuringiensis* kemudian diamati mekanisme penghambatan agen hayati dalam menghambat jamur patogen. Uji antagonis secara *in vivo* dilakukan dengan memberikan 0,01 mL suspensi *Bacillus thuringiensis* dan 0,01 mL suspensi konidia jamur patogen *Colletotrichum* sp. pada buah cabai dalam wadah yang diberi luka pada 2 titik untuk selanjutnya diamati perubahan yang terjadi selama 7 hari. Selanjutnya diamati intensitas keparahan penyakit akibat jamur patogen setelah adanya penghambatan oleh agen hayati. Perlakuan kontrol positif dilakukan dengan membuat luka pada 2 titik buah cabai segar dan diberi 0,01 mL suspensi konidia jamur *Colletotrichum* sp (Rani dkk., 2022).

### 3.5. Parameter Pengamatan

#### 3.5.1. Parameter Pengamatan uji *In vitro*

Parameter pengamatan pada uji antagonis dilakukan dengan melakukan perhitungan zona hambat yang terbentuk dan interaksi antagonis yang terjadi. Perhitungan presentase penghambatan dari uji antagonis ini dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Wulansari *et al.*, 2017).

$$PP = \left( \frac{R1 - R2}{R1} \right) \times 100\%$$

Keterangan:

PP= Penghambatan pertumbuhan (%)

R1= jari-jari koloni patogen yang menjauhi agen antagonis (mm)

R2= jari-jari koloni patogen yang mendekati agen antagonis (mm)

#### 3.5.2. Parameter Pengamatan uji *In vivo*

Parameter pengamatan dari uji antagonis secara *in vivo* yaitu dengan melihat keparahan penyakit setelah 7 hari masa inkubasi setelah perlakuan. Perhitungan intensitas keparahan penyakit dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Masnilah dkk., 2020) :

$$IP = \left( \frac{\sum n.v}{N.Z} \right) \times 100\%$$

Keterangan:

IP = Intensitas Penyakit

n = Jumlah buah yang mengalami serangan

v = nilai skala kerusakan pada buah

N = jumlah total buah yang diamati (2 buah tiap perlakuan)

Z = skala kerusakan tertinggi pada buah

Pengamatan dilakukan pada salah satu titik luka buah cabai dengan menggunakan tabel skor menurut Sulastri dkk., (2014) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai skor kerusakan pada buah cabai merah

| Skor Kerusakan | Keterangan                  |
|----------------|-----------------------------|
| 0              | Tidak ada kerusakan         |
| 1              | Tingkat kerusakan > 0-20%   |
| 2              | Tingkat kerusakan > 20-40%  |
| 3              | Tingkat kerusakan > 40-65%  |
| 4              | Tingkat kerusakan > 65-80%  |
| 5              | Tingkat kerusakan > 80-100% |

Menurut Muzalifah dkk., (2022) skor kerusakan pada Tabel 4. memiliki kriteria kerusakan sebagai berikut :

Tabel 4. Persentase kerusakan dan tingkan serangan

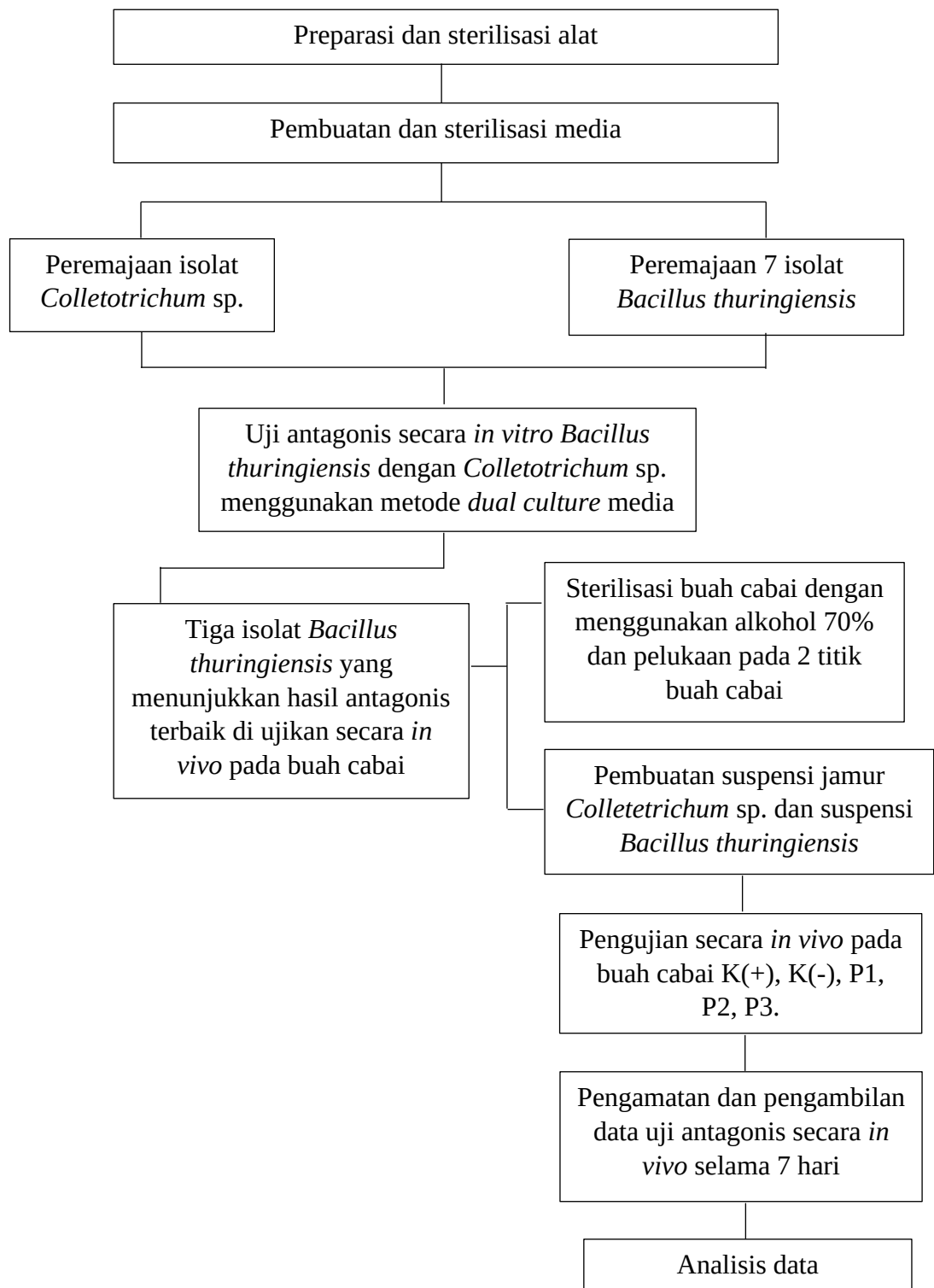
| Presentase kerusakan | Keterangan            |
|----------------------|-----------------------|
| 0%                   | Tidak ada serangan    |
| 1-20%                | Serangan ringan       |
| 21-40%               | Serangan agak berat   |
| 41-60%               | Serangan cukup berat  |
| 61-80%               | Serangan berat        |
| 81-100%              | Serangan sangat berat |

### 3.6. Analisis Data

Hasil yang diperoleh dari uji antagonis *Bacillus thuringiensis* terhadap jamur patogen *Colletotrichum* sp. dilanjutkan dengan melakukan analisis homogenasi data, dilanjutkan dengan *Analysis of Variance* (ANOVA) yang disajikan dalam bentuk tabel. Jika berbeda nyata, dilanjutkan dengan uji beda nyata terkecil 5%.



### 3.7. Diagram Alir Penelitian



## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1.Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapat dari penelitian ini yaitu:

1. *Bacillus thuringiensis* yang memiliki kemampuan dalam menghambat pertumbuhan *Colletotrichum* sp. terdapat pada isolat dengan kode Bt2, Bt3, dan Bt6 dengan persentase penghambatan berturut-turut 76,76%, 60,96% dan 100%.
2. Isolat dengan kode Bt6 memiliki rata-rata keparahan penyakit terendah dengan nilai 4,34. Hal ini berarti bahwa isolat *Bacillus thuringiensis* dengan kode Bt6 efektif dalam menghambat pertumbuhan *Colletotrichum* sp. baik secara *in vitro* maupun *in vivo*.

### 5.2.Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan oleh peneliti dari penelitian ini yaitu:

1. Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut mengenai kandungan senyawa yang terdapat pada isolat *Bacillus thuringiensis* yang dapat menghambat pertumbuhan jamur patogen dan perubahan morfologi yang terjadi,
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai efektivitas isolat *Bacillus thuringiensis* dalam menghambat pertumbuhan jamur patogen dari genus lain.

## DAFTAR PUSTAKA

- AgroMedia, Redaksi. 2007. *Kunci Sukses Memperbanyak Tanaman*. Agromedia Pustaka. Jakarta Selatan.
- Aisyah, Nurfauziah, Z., Nursidik, A., Sukiya, A.F., Munthe, D.T.A., dan Benatar, G.V. 2023. Potensi Bakteri Kitonolitik Sebagai Agensi Hayati Pengendali Fitopatogen *Colletotrichum* spp. Penyebab Penyakit Antraknosa Pada Tanaman Hortikultura: Literatur Review. *Seminar Nasional Ketahanan Pangan*. 1:1280137.
- Aktuganov, G.E., Melentiev, A.I., and Varlamov, V.P. 2019. Biotechnological Aspects of The Enzymatic Preparation of Bioactive Chitooligosaccharides. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 55(4): 323-343.
- Alif, S.M. 2017. *Kiat Sukses Budidaya Cabai Rawit*. Bio Genesis. Yogyakarta.
- Astuti, Y.F., Maryono, T., Prasetyo, J., dan Ratih, S. 2014. Pengaruh Fungisida Propineb Terhadap *Colletotrichum* spp. Penyebab Penyakit Antraknosa Pada Cabai Merah. *Jurnal Agrotek Tropika*. 2(1):144-148.
- Bahri, S., Zulkifli, L., Rasmi, D.A.C., and Sedijani, P. 2021. Isolation, Purification, and Toxycity of *Bacillus thuringiensis* From Cows Cage Soil Against *Drosophila melanogaster*. *Jurnal Biologi Tropis*. 21(3): 1106-1114.
- Berliner, E. 1915. Über die Schlafsucht der Mehlmottenraupe (*Ephestia kühniella* Zell.) und ihren Erreger *Bacillus thuringiensis* n. sp. *Zeitschrift für angewandte Entomologie*. 2(1): 29-56.
- Cesar Calderon. *Colletotrichum gloeosporioides*. <https://www.forestryimages.org/browse/image/5499449> [Diakses pada 21 Juni 2025].
- Chowdary, M., Kumar, S.R., and Ruban, S. 2024. In Vitro Antagonistic Potential of Bacterial Endophytes Against Chili Anthracnose Pathogen *Colletotrichum acutatum*. *Indian Journal of Experimental Biology*. 62: 824-833.

- Cronquist, A. 1981. *An Integrated System of Classification of Flowering Plants*. Columbia University Press. New York. 248-250
- De Silva, D., Groenewald, J.Z., Crous, P.W., Peter, K.A., Nasruddin, A., Mongkolporn, O., and Taylor. 2019. Identification, Prevalence and Pathogenicity of *Colletotrichum* Species Causing Anthracnose of *Capsicum annuum* In Asia. *IMA Fungus*. 10(8):2-32.
- Elfina, Y., Ali, M., dan Aryanti, L. 2015. Uji Beberapa Konsentrasi Ekstrak Tepung Daun Sirih Hutam (*Piper aduncum* L.) untuk Mengendalikan Penyakit Antraknosa Pada Buah Cabai Merah Pasca Panen. *Jurnal Sagu*. 14(2): 18-27.
- Gargita, I.W.D., dan Khalimi, K. 2023. Uji Aktivitas Antijamur *Bacillus* spp. Terhadap *Colletotrichum scovilei* Penyebab Antraknosa Cabai Rawit. *Journal of Sustainable Dryland Agriculture*. 16(1): 65-75.
- Harpenas, A., dan Dermawan, R. 2010. *Budidaya Cabai Unggul, Cabai Besar, Cabai Keriting, Cabai Rawit, dan Paprika*. Niaga Swadaya. Jakarta.
- Herwidyarti, K.H., Ratih, S., dan Sembodo, D.R.J. 2013. Keparahen Penyakit Antraknosa Pada Cabai (*Capsicum annuum* L.) dan Berbagai Jenis Gulma. *Jurnal Agrotek Tropika*. 1(1): 102-106.
- Herwindati dan Tri, Y. 2006. *Hortikultura*. Universitas Terbuka. Jakarta.
- Hibbet, D.S., Binder, M., Boschoff, J.F., Blackwell, M., Cannon, P.F., Eriksson, O.E., Huhndorf, S., James, T., Kirk, P.M., Lucking, R., Thorsten Lumbsch, H., Lutzoni F., Brandon Matheny, P., McLaughlin, D.J., Powell, M.J., M.C., Aptroot, A., Bauer, R., Begerow D., Benny G.L., Castlebury, L.A., Crous P.W., Dai, Y.C., Gams, W., Geiser D.M., Griffith G. W., Gueidan, C., Hawksworth D.L., Hestmark, G., Hosaka, K., Humber R.A., Hyde, K.D., Ironside, J.E., Koljalg, U., Kurtzman, C.P., Larsson, K.H., Lichtwardt, R., Longcore, J., Miadlikowska J., Miller, A., Moncalvo J.M., Mozley-Standridge S., Oberwinkler F., Parmasto E., Reeb V., Rogers J.D., LeRoux C., Ryvarden L., Sampaio J.P., Schussler A., Sugiyama J., Thorn R G., Tibell L., Untereiner W.A., Walker C., Wang Z., Weir A., Weiss M., White M.M., Winka, K., Yao, Y.J., and Zhang, N. 2007. *A Higher-level Phylogenetic Classification of the Fungi*. *Mycological research*. 111(5): 509-547.
- Ikpeme, C.E., Henry, P., and Okiri, O.A. 2014. Comparative Evaluation of The Nutritional, Phytochemical and Microbiological Quality of Three Pepper Varieties. *Journal Food Nutrition Science*. 2(3):74-80.
- Inaya, N., Meriem, S., dan Masriany. 2022. Identifikasi Morfologi Penyakit Tanaman Cabai (*Capsicum* sp.) yang Disebabkan oleh Patogen dan

- Serangan Hama Lingkup Kampus UIN Alauddin Makassar. *Filogeni: Jurnal Mahasiswa Biologi*. 2(1): 8-14.
- IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute). 1995. *Descriptors for Capsicum (Capsicum spp.)*. Roma. ITA: International Plant Genetic Resources Institute.
- Islam, A.H.M.S., Schreinemachers, P., and Kumar, S. 2020. Farmer's Knowledge, Perception and Management of Chili Pepper Anthracnose Disease In Bangladesh. *Crop Protection*. 133: 1-7.
- Janah, S.M. 2022. Potensi *Bacillus* sp. Asal Tanah Kebun Raya Liwa Kabupaten Lampung Barat Sebagai Agen Biokontrol Terhadap Serangga. (Skripsi). Universitas Lampung. Lampung.
- Kirana, R., Kusmana, Hasyim, dan Sutarya, R. 2014. Persilangan Cabai Merah Tahan Penyakit Antraknosa (*Colletotrichum acutatum*). *Jurnal Hortikultura*. 24(3): 189-195.
- Kumampung, D.R. 2021. Cara Mudah Menanam Cabai Dalam Ruangan. <https://www.kompas.com/>
- Lagiman, dan Supriyanta, B. 2021. *Karakterisasi Morfolgi dan Pemuliaan Tanaman Cabai*. LPPM UPN "Vetera" Yogyakarta. Yogyakarta.
- Lantang, D., dan Mawardi, A. 2022. *Biokontrol*. Samudra Biru. Yogyakarta.
- Lestari, P., Prihatiningsih, N., dan Djatmiko, H.A. 2017. Aktivitas Siderofor *Bacillus subtilis* Sebagai Pemacu Pertumbuhan dan Pengendalian Patogen Tanaman Terung. *Jurnal HPT Tropika*. 17(2): 170-178.
- Lubis, F.A. 2021. *Strategi Pengembangan Agribisnis Cabai Merah*. UMSU Press. Medan.
- Masnilah, R., Wahyuni, W.S., Dwi, S., Majid, A., Addy, H.S., dan Wafa, A. 2020. Insiden dan Keparahan Penyakit Penting Tanaman Padi di Kabupaten Jember. *Agritrop*. 18(1):1-12.
- Mongkolporn, O., and Taylor, P.W.J. 2018. Chili Anthracnose: *Colletotrichum* Taxonomy and Pathogenicity. *Plant Pathology*. 67: 1255-1263.
- Muliani, Y., dan Srimurni, R.R. 2022. *Agensia Pengendali Hayati*. CV Jejak. Jawa Barat.
- Muszevska, A., Pilsyk, S., Perlinska-Lenart, U., and Kruszevska, J.S. 2017. Diversity of Cell Wall Related Proteins in Human Pathogenic Fungi. *Journal of Fungi*. 4(1):6.

- Muzalifah., Sahputra, H., dan Subandar, I. 2022. Kejadian dan Keparahan Penyakit Busuk Batang (*Erwinia* sp.) Pada Tanaman Buah Naga (*Hylocereus costaricensis*) di Lembah Seulawah, Aceh Besar. *Jurnal Agrium*. 19(1): 61-69.
- Nurbalis, Yanti, Y., Resti, Z., Djamaan, A., and Rahayu, S.D. 2023. Consortia of Endophytic Bacteria for Controlling *Colletotrichum gloeosporioides* causing Anthracnose Disease in Chili Plant. *Biodiversitas*. 24(6): 3503-3511.
- Nurdin, G.M., Mubarik, N.S., and Sudirman, L.I. 2015. Selection of Chitinolytic Bacteria as Biocontrol of *Colletotrichum capsici*. *Malay Journal Microbiol*. 12(1):35-42.
- Oktarina, H., Husna, A., Nafida, J.T., Pramayudi, N., and Cahmzurni, T. 2023. A Study on The Potential of *Bacillus thuringiensis* AK08 to Control Pathogenic Associatied with Chili Plant. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 1-8.
- Palmieri, D., Ianiri, G., Grosso, C.D., Barone, G., Curtis, F. D., Castoria, R., and Lima, G. 2022. Advances and Prespectives in the Use of Biocontrol Agents against Fungal Plant Disease. *Horticulurae*. 8(577): 1-34.
- Paramita, N.P.R. 2021. Identifikasi Jamur pada Beberapa Bumbu Dapur Secara Makroskopis dan Mikroskopis. *Jurnal Bioshell*. 10(1):25-31.
- Polii, M.G.M., Sondakh, T.D., Raitung, J.S.M., Doodoh, B., dan Titah, T. 2019. Kajian Teknik Budidaya Tanaman Cabai (*Capsicum annuum* L.) Kabupaten Minahasa Tenggara. *Jurnal Euglena*. 25(3): 72-77.
- Prajapati, M.K., Rawat, D.S., Singh, P., and Shankar, K. 2020. Cultural and Morphological Characterization of *Colletotrichum capsici* causing Anthracnose of Chili (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 9(3): 1985-1989.
- Pratama, E., Murniati., dan Nurbaiti. 2017. Pengaruh Pemberian Kompos dan Arang Aktif dari Hasil Pengolahan Sampah Pasar Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Cabai Merah (*Capsicum annuum* L.). *Jom Faperta*. 4(1): 1.
- Prihatiningsih, N., Djatmiko, H.A., dan Erminawati. 2020. Komponen Epidemi Penyakit Antraknosa Pada Tanaman Cabai di Kecamatan Baturraden Kabupaten Banyumas. *Jurnal Agro*. 7(2): 203-212.
- Putro, N.S., Aini, L.Q., dan Abadi, A.L. 2014. Pengujian Konsorsium Mikroba Antagonis untuk Mengendalikan Penyakit Antraknosa Pada Cabai Merah Besar (*Capsicum annuum* L.) *Jurnal HPT*. 2(4):44-53.

- Rahmat, N.I. 2023. Studi Morfologi dan Karakterisasi Kristal Protein Isolat *Bacillus thuringiensis*. (Skripsi). Universitas Lampung. Lampung.
- Ramdan, E.P., Arti, I.M., dan Risnawati. 2019. Identifikasi dan Uji Virulensi Penyakit Antraknosa Pada Pascapanen Buah Cabai. *Jurnal Pertanian Presisi*. 3(1): 67-76.
- Rani, S., Prasetyawati, E.T., dan Nirwanti, H. 2022. Potensi Bakteri *Bacillus* spp. dalam Menghambat *Colletotrichum capsici* Penyebab Penyakit Antraknosa Pada Cabai Merah Secara In Vitro. *Jurnal Plumula*. 10(1): 18-28.
- Ro, N.Y., Sebastian, R., Hur, O.S., Cho, G.T., Geum, B., Lee, Y.J., and Kang, B.C. 2021. Evalutioan of Anthracnose Resistance in Pepper (*Capsicum* spp.) Genetic Resources. *Horticulturae*. 7(460):16
- Salim, M.A. 2012. Pengaruh Antraknosa (*Colletotrichum capsici* dan *Colletotrichum acutatum*) Terhadap Respons Ketahanan Delapan Belas Genotipe Buah Cabai Merah (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Sunan Gunung Djati Islamic University*. 6(1-2):182-187
- Saparso, dan Haryanto. 2018. Pertumbuhan dan Hasil Cabai Merah pada Berbagai Metode Irigasi dan Pemberian Pupuk Kandang di Wilayah Pesisir Pantai. *Seminar Nasional UNS*. 2(1):247-257.
- Sari, R. D., Lunggani, A.T., dan Purwantisari, S. 2024. Uji Aktivitas Antijamur Ekstrak Etanol, Aseton, dan Kloroform Buah Cabai Merah (*Capsicum annuum* L.) Terhadap *Fusarium oxysporum*. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*. 26(2):100-110.
- Setiaji, A., Annisa, R.R.R., dan Rahmandias, D.T. 2023. Bakteri *Bacillus* sebagai Agen Kontrol Hayati dan Biostimulan Tanaman. *Jurnal Rekayasa*. 16(1): 96-106.
- Sudarmi, K., Darmayasa, I.B.G., dan Muksin, I.K. 2017. Uji Fitokimia dan Daya Hambat Ekstrak Daun Juwet (*Syzygium cumini*) Terhadap Pertumbuhan *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus* ATCC. *Jurnal Simbiosis*. 5(2):47-51.
- Sulastri, S., Ali, M., dan Puspita, F. 2014. Identifikasi Penyakit yang Disebabkan oleh Jamur dan Intensitas Serangannya Pada Tanaman Cabai (*Capsicum annuum* L.) di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Riau. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Pertanian*. 1(1): 1-14.
- Syahfitri, D., Mubarik, N.R., dan Manaf, L.A. 2018. Penggunaan Bakteri Kitonolitik Sebagai Pengendali Hayati *Colletotrichum capsici* Pada Tanaman Cabai. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 14(4): 120-128.

- Syukur., dan Muhamad. 2013. *Cabai Prospek Bisnis dan Teknologi Mancanegara*. Swadaya. Bogor.
- Wahyudi, dan Topan, M. 2011. *Panen Cabai di Pekarangan Rumah*. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Wahyuni dan Wirawan, H. P. 2017. Bioinsektisida Bakteri/Mikroba dan Virus. *Diagnosa Veteriner*. 16(2): 9-23.
- Welideniya, W.A., Rienzie, K.D.R.C, Wickramaarachchi, W.A.R.T., and Aruggoda, A.G.B. 2019. Characterization of Fungal Pathogens Causing Anthracnose in Capsicum pepper (*Capsicum annuum* L.) and Their Seed Borne Nature. *Ceylon Journal of Science*. 43(3): 261-269.
- Wulansari, N.K., Prihatiningsih, N., dan Djatmiko, H.A. 2017. Mekanisme Antagonis Lima Isolat *Bacillus subtilis* Terhadap *Colletotrichum capsici* dan *C. gloeosporioides* In Vitro. *Agrin*. 21(2):127-139.
- Yanti, Y., Habazar, T., dan Resti, Z. 2017. Formulasi Padat Rhizobakteria Indigenus *Bacillus thuringiensis* TS2 dan Waktu Penyimpanan Untuk Mengendalikan Penyakit Pustule Bakteri *Xanthomonas axonopodis* PV. *Glycines. Jurnal HPT Tropika*. 17(1):9-18.
- Yanti, Y., Hamid, H., Reflin, and Yaherwandi. 2023. The Ability of Chitinoly Bacteria to Control *Colletotrichum capsici* in Chili Plants. *IOP Conf. Se. Earth and Environmental Science*. 1-9.