

**UJI AKTIVITAS ANTIJAMUR ISOLAT *Bacillus thuringiensis* TERHADAP  
*Fusarium* sp. SECARA *IN VITRO***

**(Skripsi)**

**Oleh**

**APRIANSYAH TREE SAPUTRA**

**2117021092**



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

**UJI AKTIVITAS ANTIJAMUR ISOLAT *Bacillus thuringiensis* TERHADAP  
*Fusarium* sp. SECARA *IN VITRO***

**Oleh  
APRIANSYAH TREE SAPUTRA**

**(SKRIPSI)  
Sebagai Salah Satu Syarat Mencapai Gelar  
SARJANA SAINS  
Pada**

**Jurusan Biologi  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



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

## ABSTRAK

### UJI AKTIVITAS ANTIJAMUR ISOLAT *Bacillus thuringiensis* TERHADAP *Fusarium* sp. SECARA *IN VITRO*

Oleh

APRIANSYAH TREE SAPUTRA

Kerugian ekonomi yang signifikan di sektor pertanian terjadi akibat penyakit layu *Fusarium*, yang menyerang lebih dari 150 jenis tanaman pangan dan hortikultura. Meskipun efektif dan cepat, penggunaan fungisida kimia sebagai agen pengendali konvensional terhadap infeksi *Fusarium* sp. telah menimbulkan banyak dampak negatif, diantaranya pencemaran lingkungan, penurunan keanekaragaman hayati, resistensi patogen, degradasi kesuburan tanah, dan toksisitas pada manusia serta hewan. Oleh karena itu, diperlukan solusi alternatif berupa agen pengendali hayati *Fusarium* sp. untuk meningkatkan efisiensi pengendalian penyakit layu *Fusarium* dengan dampak negatif yang relatif minim. Tujuan penelitian ini adalah menyeleksi 7 isolat *Bacillus thuringiensis* yang memiliki aktivitas antijamur terhadap *Fusarium* sp. (berpotensi sebagai agen pengendali hayati *Fusarium* sp.) dan menentukan konsentrasi hambat minimum (KHM) dari isolat *B. thuringiensis* hasil seleksi. Isolat *B. thuringiensis* diseleksi aktivitas antijamurnya dengan metode *dual culture* pada media agar, sehingga diketahui persentase penghambatan (%). Penentuan KHM (%) isolat *B. thuringiensis* hasil seleksi terhadap *Fusarium* sp. dengan metode *dual culture* pada media *broth*, disertai dilusi bertingkat. Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 2 dari 7 isolat *B. thuringiensis* (Bt2<sub>TMA26</sub> dan Bt3<sub>BP14</sub>) memiliki aktivitas antijamur terhadap *Fusarium* sp., dengan persentase rata-rata penghambatan masing-masing sebesar 12,23% dan 27,41%. Isolat *B. thuringiensis* Bt3<sub>BP14</sub>, dengan aktivitas antijamur terbaik, diketahui memiliki KHM sebesar 90% (setara dengan kerapatan sel  $1,35 \times 10^6$  sel mL<sup>-1</sup>) terhadap *Fusarium* sp. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, diketahui bahwa isolat *B. thuringiensis* Bt3<sub>BP14</sub> berpotensi sebagai agen pengendali hayati *Fusarium* sp., untuk pengendalian penyakit layu *Fusarium* yang minim dampak negatif.

**Kata kunci:** aktivitas antijamur, *Bacillus thuringiensis*, *Fusarium* s

## ABSTRACT

### ***IN VITRO* ANTIFUNGAL ACTIVITY OF *Bacillus thuringiensis* AGAINST *Fusarium* sp.**

By

**APRIANSYAH TREE SAPUTRA**

Significant economic losses in the agricultural sector occur due to *Fusarium* wilt disease, which attacks more than 150 types of food and horticultural crops. The use of instant-kill chemical fungicides as conventional control agents for *Fusarium* sp. infections has caused many negative impacts, including environmental pollution, decreased biodiversity, pathogen resistance, degradation of soil fertility, and toxicity to humans and animals. Therefore, an alternative solution is needed in the form of *Fusarium* sp. biological control agents to increase the efficiency of *Fusarium* wilt disease control with minimal negative impacts. This research aimed to select 7 *Bacillus thuringiensis* isolates with antifungal activity against *Fusarium* sp. (potential as biological control agents for *Fusarium* sp.) and determine the minimum inhibitory concentration (MIC) of the selected *B. thuringiensis* isolate. *B. thuringiensis* isolates were selected for their antifungal activity using the dual culture method on agar media, allowing for the determination of the percentage of inhibition (%). Determination of MIC (%) of selected *B. thuringiensis* isolate against *Fusarium* sp. with the dual culture method on broth media, with the serial dilution. Quantitative descriptive analysis was used to interpret the data. The results showed that 2 out of 7 *B. thuringiensis* isolates (Bt2<sub>TMA26</sub> dan Bt3<sub>BP14</sub>) had antifungal activity against *Fusarium* sp., with an average inhibition percentages of 12,23% and 27.41%, respectively. *B. thuringiensis* isolate Bt3<sub>BP14</sub>, with the best antifungal activity, had an MIC of 90% (equivalent to  $1,35 \times 10^6$  cells mL<sup>-1</sup> cell density) against *Fusarium* sp. Based on the results, *B. thuringiensis* isolate Bt3<sub>BP14</sub> has the potential as a biological control agent for *Fusarium* sp., in the *Fusarium* wilt disease control with minimal negative impacts.

**Keywords:** antifungal activity, *Bacillus thuringiensis*, *Fusarium* sp.

Judul Skripsi : **UJI AKTIVITAS ANTIJAMUR ISOLAT**  
*Bacillus thuringiensis* TERHADAP *Fusarium* sp.  
**SECARA IN VITRO**

Nama Mahasiswa : **Apriansyah Tree Saputra**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2117021092

Jurusan/Program Studi : Biologi/S1 Biologi

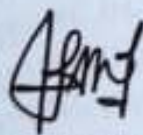
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

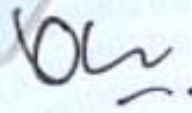


**MENYETUJUI,**  
Komisi Pembimbing

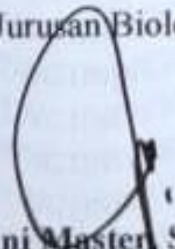
Pembimbing I

Pembimbing II

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

  
**Dr. Danarsi Diptaningsari, S. P., M. Si**  
NIP. 198001242006042001

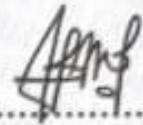
Ketua Jurusan Biologi FMIPA

  
**Dr. Jani Master, S.Si., M.Si.**  
NIP. 19830131200812

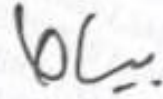
## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

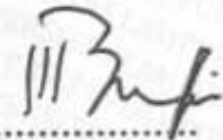
Ketua : **Dr. Kusuma Handayani, M. Si.**

.....  


Sekretaris : **Dr. Danarsi Diptaningsari, S. P., M. Si.** .....



Anggota : **Prof. Dr. Bambang Irawan, M. Sc.**

.....  


### 2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **06 Agustus 2025**



## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Apriansyah Tree Saputra  
NPM : 2117021092  
Jurusan : Biologi  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul:

**“Uji Aktivitas Antijamur Isolat *Bacillus thuringiensis* Terhadap *Fusarium* sp.  
Secara *In Vitro*”**

Baik data, hasil analisis, dan kajian ilmiah adalah benar hasil karya yang saya susun sendiri dengan berpedoman pada etika akademik dan penulisan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sadar dan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 11 Agustus 2025

Yang Menyatakan,



**Apriansyah Tree Saputra**  
NPM. 2117021092

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Apriansyah Tree Saputra yang lahir pada tanggal 24 April 2003 di Teluk Betung, Bandar Lampung. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Saipin dan Ibu Juarsih.

Penulis menempuh pendidikan Taman Kanak-Kanak (TK) Qurrota A'yun tahun 2008-2009, Sekolah Dasar (SD)

Negeri 1 Keteguhan tahun 2009-2015, Sekolah Menengah Pertama (SMP)

Negeri 3 Bandar Lampung tahun 2015-2018, dan Sekolah Menengah Atas

(SMA) Negeri 4 Bandar Lampung tahun 2018-2021. Penulis menjadi

mahasiswa Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan

Alam, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan

Tinggi Negeri (SBMPTN) pada tahun 2021.

Selama melanjutkan pendidikan akademik di jurusan Biologi, penulis telah melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Philips Seafood Indonesia Lampung Plant pada tahun 2024 dengan judul “Analisis Kontaminasi Cemarkan Bakteri *Vibrio cholerae* Terhadap Keamanan Pangan Produk *Value Added* di PT. Phillips Seafoods Indonesia Lampung Plant”. Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten praktikum Zoologi Invertebrata, Mikrobiologi Umum, Fisiologi Mikroba serta Mikrobiologi Pangan Dan Industri. Penulis juga telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di desa Negeri Agung, Kecamatan Gunung Pelindung, Kabupaten Lampung Timur pada Juni-Agustus tahun 2024. Penulis menyusun skripsi pada bulan Oktober



2024-Juli 2025 dengan judul “ Uji Aktivitas Antijamur Isolat *Bacillus thuringieinsis* Terhadap *Fusarium* sp. Secara *In Vitr*

## **PERSEMBAHAN**

Dengan mengucap Alhamdulillah dan syukur kepada Allah SWT atas nikmat serta hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat pada waktunya. Dengan rasa syukur dan Bahagia, saya persembahkan rasa terimakasih saya kepada kedua orang tua

### **Bapak Saipin dan Ibu Juarsih**

Terima kasih karena senantiasa telah memberikan doa, kasih sayang, dukungan serta kepercayaannya selama ini sehingga saya dapat menyelesaikan pendidikan sarjana di Universitas Lampung.

Kepada Bapak dan Ibu dosen yang telah membimbing, memberikan motivasi serta memberikan ilmu yang berharga kepada mahasiswanya sehingga dapat menyelesaikan pendidikan dan mendapatkan gelar sarjana;

Teman-teman seperjuangan yang selalu menemani, memberikan bantuan, dukungan, semangat, motivasi serta doa-doa baik dalam hal apapun. Terima kasih telah tumbuh dan berproses bersama- sama selama masa perkuliahan.

Almamater tercinta yang menjadi tempat saya menempuh pendidikan hingga mendapat gelar sarjana.

Tiada lembar paling indah dalam laporan skripsi ini kecuali lembar persembahan. Skripsi ini saya persembahkan sebagai tanda bukti kepada orang tua tercinta, sahabat dan teman-teman yang selalu memberikan support untuk menyelesaikan skripsi ini

## **MOTTO**

Tugas kita bukanlah untuk berhasil, tugas kita adalah untuk mencoba karena didalam mencoba itulah kita menemukan kesempatan untuk berhasil.

**(Buya Hamka)**

Untuk mengetahui batas maksimal segala kemungkinan, kamu harus mencoba melakukan apa yang orang anggap tak mungkin.

**(The Conqueror of Constantinople)**

Tidak ada ujian yang tidak bisa diselesaikan. Tidak ada kesulitan yang melebihi batas kesanggupan. Karena Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya.

**(Q.S. Al-Baqarah: 286)**

Dan bersabarlah kamu, sesungguhnya janji Allah adalah benar.

**(Q.S. Ar Rum: 60)**

Melamban bukanlah hal yang tabu, Kadang itu yang kau butuh bersandar  
hibahkan bebanmu, Tak perlu kau berhenti kurasi ini hanya sementara,  
Bukan ujung dari rencana, Jalanmu kan sepanjang niatmu.

**(33x-Perunggu)**

Man jadda wa jada.

## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Uji Aktivitas Antijamur Isolat *Bacillus thuringiensis* Terhadap *Fusarium sp.* Secara *In Vitro*”**. Tak lupa pula shalawat serta salam yang selalu kita sanjung agungkan kepada junjungan kita nabi besar Muhammad SAW menjadi suri tauladan bagi kita semua. Dalam proses penyusunan skripsi ini, banyak pihak yang telah membantu memberikan bimbingan, dukungan, arahan, motivasi serta saran sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
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. Ibu Dr. Kusuma Handayani, M.Si., selaku Ketua Program Studi S1-Biologi, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
6. Ibu Dr. Endah Setyaningrum, M. Biomed. selaku Pembimbing Akademik penulis yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.

7. Ibu Dr. Kusuma Handayani, M.Si., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, dukungan, masukan, serta bantuan kepada penulis selama melaksanakan penelitian.
8. Ibu Dr. Danarsi Diptaningsari, S.P., M.Si., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan masukan kepada penulis.
9. Bapak Prof. Dr. Bambang Irawan, M. Sc., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan masukan yang membangun kepada penulis.
10. Seluruh Bapak dan Ibu dosen Jurusan Biologi atas ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama menuntut ilmu.
11. Ibu Oni Mastuti, S.Si., selaku Laboran Mikrobiologi, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung atas dedikasi dan kepedulian yang telah diberikan kepada seluruh rekan-rekan peneliti mikrobiologi, serta arahan dan masukan yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian.
12. Orang tua tercinta, Bapak Saipin dan Ibu Juarsih untuk segala bentuk cinta yang sudah diberikan, baik dalam bentuk materi, perkataan, perhatian maupun perlakuan. Terima kasih senantiasa memberikan semangat, dukungan, kasih sayang, dan doa yang tiada hentinya kepada penulis. Terima kasih atas kepercayaan yang telah diberikan kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan pendidikan Sarjana ini dengan baik. Terimakasih atas semua usaha yang engkau berikan kepada penulis sehingga tidak ada kata lain yang lebih pantas selain ungkapan terimakasih yang terdalem dari penulis.
13. Tete dan kakak tersayang, Eka Rosfi Ulfiah dan Dwi Nugraha Fajar Rhomadhan terimakasih untuk segala bentuk semangat, dukungan materi, maupun doa yang diberikan kepada penulis, terima kasih sudah mengusahakan banyak hal untuk adik kecilnya ini.
14. Rekan seperjuangan serta sahabat sejak masa sekolah, Anom, Arif, Bagas, Darma, Govin, Lutfi, Ryon, dan Riski, terimakasih karena sudah menemani penulis hingga sampai ditahap ini serta memberikan dukungan satu sama lain selama masa penulisan skripsi ini. Terimakasih atas semua kebaikan dan bantuan yang kalian berikan selama kita berteman dan memberikan

memori indah kepada penulis. Semoga persahabatan ini terus tumbuh melampaui batas waktu dan ruang.

15. Rekan seperjuangan selama masa masa perkuliahan, Elisabeth Dian Anggraini, Harlina Elo Azizah, Muhammad Alif Nugroho, Muhammad Altaz Surya Rivai, Nelarasi Sigalingging, Renaldy Hernawan, dan Shifa Nur Auliyah, yang setia menemani setiap proses perkuliahan yang dilalui oleh penulis dengan memberikan begitu banyak semangat untuk pantang menyerah, dan memberikan banyak kenangan indah semasa perkuliahan untuk penulis serta terimakasih telah menjadi pelabuhan yang aman di tengah badai perkuliahan.
16. Rekan asisten praktikum selama masa perkuliahan, Afifah Mutiara Ratri, Shifa Nur Auliyah, Yasmin Fadia Hafizah dan Yasminia Friska Saputra, terima kasih telah menjadi rekan seperjalanan yang tak hanya berbagi ilmu dan tanggung jawab, tetapi juga menjadi pendengar yang baik yang memberikan masukan dan saran bagi penulis. Terimakasih sudah membuka mata penulis dengan kenangan indah yang akan selamanya tertanam dalam perjalanan penulis, semoga ikatan persahabatan yang terjalin akan terus tumbuh melampaui masa-masa perkuliahan.
17. Kak Ahmad Bintang Pamela dan kak Fathiyah Mustina serta seluruh kating bidang mikro yang telah dengan tulus memberikan bimbingan, arahan dan ilmu pengetahuan serta pengalaman yang berharga. Setiap diskusi dan saran yang diberikan telah memperkaya wawasan peneliti dan memberikan perspektif baru dalam memandang permasalahan penelitian.
18. Semua pihak yang terlibat, terimakasih teman-teman yang membantu penulis selama penyusunan skripsi ini yang mungkin tidak dapat penulis sebutkan namanya satu persatu.
19. Kepada setiap insan yang pernah menyinggahi perjalanan hidup penulis, baik yang hadir sejenak seperti embun pagi maupun yang menetap lama seperti akar yang menghujam dalam. Penulis sampaikan rasa terima kasih karena sudah menjadi bagian perjalanan penulis yang mengajarkan arti kebahagiaan dalam setiap tawa yang terbagi, kesabaran dalam setiap tantangan yang dihadapi, dan kekuatan dalam setiap momen perpisahan



sekaligus menjadi bagian yang menyenangkan namun menyakitkan dari proses pendewasaan, sehingga penulis menjadi pribadi yang lebih baik sebagai proses penempatan menghadapi dinamika kehidupan. Kepada setiap jiwa yang masih mendampingi penulis, terimakasih telah memilih untuk tetap berdiri di sisi penulis saat penyusunan perjalanan hidup ini; kepada yang telah melanjutkan perjalanan di jalan berbeda, terimakasih telah mengajarkan bahwa setiap pertemuan memiliki makna dan setiap perpisahan mengajarkan penulis untuk menghargai waktu yang ada.

20. Pada akhir perjalanan panjang ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada satu sosok yang tak pernah lelah berdiri dibalik layar kehidupan, seorang jiwa yang berlayar dalam samudra mimpi dengan kapal sederhana namun hati yang teguh. Terima kasih kepada penulis skripsi ini yaitu diriku sendiri, Apriansyah Tree saputra. Anak bungsu yang berusia 22 tahun yang dikenal keras kepala namun sesungguhnya hanya sedang belajar membentuk jati diri diantara pusaran dunia yang tak kenal lelah. Terima kasih telah turut hadir di dunia ini, telah bertahan sejauh ini, dan terus berjalan melewati segala tantangan yang semesta hadirkan. Terima kasih karena tetap berani menjadi dirimu sendiri. Aku bangga atas setiap langkah kecil yang kau ambil, atas semua pencapaian yang mungkin tak selalu dirayakan orang lain. Walau terkadang harapanmu tidak sesuai dengan apa yang semesta berikan, tetaplah belajar menerima dan mensyukuri apapun yang kamu dapatkan. Jangan pernah lelah untuk tetap berusaha, berbahagialah dimanapun kamu berada. Rayakan apapun dalam dirimu dan jadikan dirimu bersinar dimanapun tempatmu bertumpu. Aku berdoa, semoga langkah dari kaki kecilmu selalu diperkuat, dikelilingi oleh orang-orang yang hebat, serta mimpimu satu persatu akan terjawab.

Bandar Lampung, 11 Agustus 2025

**Apriansyah Tree Saputra**  
NPM. 2117021092

## DAFTAR ISI

|                   |    |
|-------------------|----|
| DAFTAR TABEL..... | ix |
|-------------------|----|

|                    |   |
|--------------------|---|
| DAFTAR GAMBAR..... | x |
|--------------------|---|

|                                                                                                          |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <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 .....                                                                                      | 6         |
| <b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>                                                                         | <b>7</b>  |
| 2.1 Agen Pengendali Hayati .....                                                                         | 7         |
| 2.2 <i>Bacillus thuringiensis</i> .....                                                                  | 8         |
| 2.2.1 Klasifikasi <i>Bacillus thuringiensis</i> .....                                                    | 9         |
| 2.2.2 Morfologi Bakteri <i>Bacillus thuringiensis</i> .....                                              | 9         |
| 2.2.3 Mekanisme aktivitas Antijamur .....                                                                | 11        |
| 2.3 <i>Fusarium</i> sp.....                                                                              | 12        |
| 2.3.1 Klasifikasi <i>Fusarium</i> sp.....                                                                | 13        |
| 2.3.2 Morfologi <i>Fusarium</i> sp.....                                                                  | 13        |
| 2.4 Uji Antijamur .....                                                                                  | 15        |
| <b>III. METODE PENELITIAN.....</b>                                                                       | <b>17</b> |
| 3.1 Waktu dan Tempat .....                                                                               | 17        |
| 3.2 Alat dan Bahan.....                                                                                  | 17        |
| 3.3 Rancangan Penelitian.....                                                                            | 18        |
| 3.4 Prosedur Kerja .....                                                                                 | 19        |
| 3.4.1 Peremajaan Isolat <i>Fusarium</i> sp. ....                                                         | 19        |
| 3.4.2 Peremajaan Isolat <i>Bacillus thuringiensis</i> .....                                              | 20        |
| 3.4.3 Pembuatan Kultur Cair Isolat Bakteri <i>Bacillus thuringiensis</i> dan<br><i>Fusarium</i> sp. .... | 20        |
| 3.4.4 Uji Pendahuluan .....                                                                              | 21        |

|                                                                                                                                              |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4.4.1 Uji Difusi Agar Metode <i>Dual Culture</i> .....                                                                                     | 22        |
| 3.4.4.2 Uji Dilusi Penentuan Kadar Hambat Minimum (KHM) .....                                                                                | 23        |
| 3.5 Analisis Data .....                                                                                                                      | 25        |
| 3.6 Diagram Alir Penelitian .....                                                                                                            | 26        |
| <b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>                                                                                                        | <b>27</b> |
| 4.1 Uji Aktivitas Antijamur Isolat <i>Bacillus thuringiensis</i> Terhadap.....                                                               | 27        |
| 4.2 Uji Konsetrasi Kadar Hambat Minimum (KHM) Isolat <i>Bacillus</i><br><i>thuringiensis</i> terhadap <i>Fusarium</i> sp. Metode Dilusi..... | 34        |
| <b>V. KESIMPULAN .....</b>                                                                                                                   | <b>39</b> |
| 5.1 Simpulan .....                                                                                                                           | 39        |
| 5.2 Saran .....                                                                                                                              | 39        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                                                                                                  | <b>40</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                                                                                                                         | <b>48</b> |

## DAFTAR TABEL

| Tabel                                                                                                                                                                                                        | Halaman |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Susunan Perlakuan Isolat <i>B. thuringiensis</i> dan <i>Fusarium</i> sp. ....                                                                                                                             | 19      |
| 2. Data hasil pengukuran luas diameter koloni <i>Fusarium</i> sp. pada isolat<br>Bt2 <sub>TMA26</sub> dan Bt3 <sub>BP14</sub> .....                                                                          | 29      |
| 3. Hasil uji T <i>two-tailed</i> ( $\alpha$ 5%) terkait aktivitas antijamur isolat <i>Bacillus</i><br><i>thuringiensis</i> (Bt2 <sub>TMA26</sub> dan Bt3 <sub>BP14</sub> ) terhadap <i>Fusarium</i> sp. .... | 30      |

## DAFTAR GAMBAR

| Gambar                                                                                                                                                           | Halaman |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Morfologi sel <i>Bacillus thuringiensis</i> ; (KP) Kristal Protein, (S) Spora, (SV) Sel Vegetatif .....                                                       | 10      |
| 2. Sel-sel bakteri <i>Bacillus thuringiensis</i> (Perbesaran 1000 X) .....                                                                                       | 10      |
| 3. Morfologi <i>Fusarium</i> sp. secara makroskopis dan mikroskopis A).....<br>Hifa; B) Makrokonidia; C) Mikrokonidia perbesaran 400x .....                      | 14      |
| 4. Skema uji pendahuluan .....                                                                                                                                   | 22      |
| 5. Skema uji <i>dual culture</i> antara inokulasi <i>Bacillus thuringiensis</i> dengan<br><i>Fusarium</i> sp.....                                                | 23      |
| 6. Diagram alir .....                                                                                                                                            | 26      |
| 7. Hasil uji aktivitas antijamur <i>Bacillus thuringiensis</i> Bt2 <sub>TMA26</sub> dan Bt3 <sub>BP14</sub>                                                      | 28      |
| 8. Kurva Uji t <i>Two-Tailed</i> .....                                                                                                                           | 31      |
| 9. Malformasi hifa <i>Fusarium</i> sp. perbesaran 40x isolat Bt3 <sub>BP14</sub> (A,B) hifa<br>normal dan (C,D) hifa abnormal. ....                              | 32      |
| 10. Hasil uji konsentrasi kadar hambat minimum (KHM) isolat Bt3 <sub>BP14</sub><br>terhadap <i>Fusarium</i> sp.....                                              | 34      |
| 11. Uji pendahuluan Bt1 <sub>TBA4</sub> , Bt2 <sub>TMA26</sub> , Bt3 <sub>BP14</sub> , Bt4 <sub>TSR6</sub> terhadap<br><i>Fusarium</i> sp. tampak depan .....    | 49      |
| 12. Uji pendahuluan Bt1 <sub>TBA4</sub> , Bt2 <sub>TMA26</sub> , Bt3 <sub>BP14</sub> , Bt4 <sub>TSR6</sub> terhadap<br><i>Fusarium</i> sp. tampak belakang ..... | 49      |
| 13. Uji pendahuluan Bt5 <sub>TB5</sub> , Bt6 <sub>TB7</sub> , Bt7 <sub>TBA7</sub> terhadap <i>Fusarium</i> sp.<br>tampak depan .....                             | 49      |
| 14. Uji pendahuluan Bt5 <sub>TB5</sub> , Bt6 <sub>TB7</sub> , Bt7 <sub>TBA7</sub> terhadap <i>Fusarium</i> sp.<br>tampak belakang .....                          | 49      |

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| 15. Kontrol 1 .....                          | 50 |
| 16. Kontrol 2 .....                          | 50 |
| 17. Bt2 <sub>TMA26</sub> U1 .....            | 50 |
| 18. Bt2 <sub>TMA26</sub> U2 .....            | 50 |
| 19. Bt2 <sub>TMA26</sub> U3 .....            | 50 |
| 20. Bt2 <sub>TMA26</sub> U4 .....            | 50 |
| 21. Kontrol U1 (K+ & K-) .....               | 51 |
| 22. Dilusi U1 (K+, K- & Kons 10%-100%) ..... | 51 |
| 23. Dilusi U1 (K+, K- & Kons 10%-100%) ..... | 51 |
| 24. Dilusi U1 (K+ & Kons 60%-100%).....      | 51 |
| 25. Dilusi U1 (K- & Kons 10%-50%) .....      | 52 |
| 26. Dilusi U1 (K- & Kons 60%-100%) .....     | 52 |
| 27. Kontrol U2 (K+ & K-) .....               | 52 |
| 28. Dilusi U2 (K+, K- & Kons 10%-100%) ..... | 52 |
| 29. Dilusi U2 (K+ & Kons 10%-50%).....       | 52 |
| 30. Dilusi U2 (K+ & Kons 60%-100%).....      | 52 |
| 31. Dilusi U2 (K- & Kons 10%-50%) .....      | 53 |
| 32. Dilusi U2 (K- & Kons 60%-100%) .....     | 53 |
| 33. Kontrol U1 (K+ & K-) .....               | 53 |
| 34. Dilusi U1 (K+, K- & Kons 10%-100%) ..... | 53 |
| 35. Dilusi U1 (K+ & Kons 10%-50%).....       | 54 |
| 36. Dilusi U1 (K+ & Kons 60%-100%).....      | 54 |
| 37. Dilusi U1 (K+ & Kons 60%-100%).....      | 54 |
| 38. Dilusi U1 (K- & Kons 60%-100%) .....     | 54 |
| 39. Kontrol U3 (K+ & K-) .....               | 54 |
| 40. Dilusi U3 (K+, K- & Kons 10%-100%) ..... | 54 |
| 41. Dilusi U3 (K+ & Kons 10%-50%).....       | 55 |
| 42. Dilusi U3 (K+ & Kons 60%-100%).....      | 55 |
| 43. Dilusi U3 (K- & Kons 10%-50%) .....      | 55 |
| 44. Dilusi U3 (K- & Kons 60%-100%) .....     | 55 |
| 45. Kons 10% U1, U2 & U3 .....               | 56 |
| 46. Kons 20% U1, U2 & U3 .....               | 56 |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 47. Kons 30% U1, U2 & U3 .....  | 56 |
| 48. Kons 40% U1, U2 & U3 .....  | 56 |
| 49. Kons 50% U1, U2 & U3 .....  | 57 |
| 50. Kons 60% U1, U2 & U3 .....  | 57 |
| 51. Kons 70% U1, U2 & U3 .....  | 57 |
| 52. Kons 80% U1, U2 & U3 .....  | 57 |
| 53. Kons 90% U1, U2 & U3 .....  | 58 |
| 54. Kons 100% U1, U2 & U3 ..... | 58 |

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sektor pertanian memegang peranan vital dalam mendukung pembangunan ekonomi, sosial, dan lingkungan hidup, karena sektor ini krusial terhadap ketersediaan pangan bagi 9,7 miliar penduduk dunia di tahun 2050 (World Bank, 2022). Namun, produktivitas pertanian menghadapi ancaman serius dari serangan organisme pengganggu tanaman (OPT) seperti jamur patogen, bakteri, nematoda, virus, dan hama serangga yang telah menyebabkan kerusakan mencapai 15-20% setiap musim tanam tiap tahunnya (Mahanani *et al.*, 2020). Menghadapi permasalahan tersebut, sebagian besar petani memilih pendekatan praktis dengan bergantung pada pestisida kimia tanpa mempertimbangkan risiko jangka panjang yang mungkin timbul. Data menunjukkan bahwa 95,29% petani di Indonesia menggunakan pestisida sintesis karena dianggap sebagai cara yang efektif, mudah diterapkan, dan memberikan keuntungan ekonomi secara langsung. Tingginya intensitas penggunaan pestisida ini berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan yang signifikan, sekaligus meninggalkan residu berbahaya pada hasil pertanian. Mengonsumsi produk pertanian yang mengandung residu pestisida dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan pada manusia, termasuk penurunan sistem kekebalan tubuh, kerusakan fungsi ginjal dan hati, peningkatan risiko kanker, serta gangguan pada sistem saraf (Hasyim *et al.*, 2015).



Jamur menjadi salah satu penyebab berbagai penyakit yang menyerang tanaman budidaya dan menimbulkan kerugian ekonomi yang signifikan di sektor pertanian. Salah satu jenis jamur patogen yang menyerang tanaman hortikultura adalah jamur *Fusarium* sp. yang dapat menyebabkan penyakit layu *Fusarium* pada tanaman (Sholilah *et al.*, 2019). Jamur ini merupakan jamur patogen tular tanah yang tergolong dalam ordo Hypocreales yang dapat menyebabkan penyakit pada lebih dari 150 jenis tanaman pangan dan hortikultura. Selain itu, *Fusarium* sp. juga mampu menghasilkan mikotoksin yang memiliki potensi berbahaya bagi manusia dan hewan (Karim, *et al.*, 2020).

*Fusarium* sp. dapat menginfeksi tanaman melalui akar yang terluka kemudian menyerang jaringan batang sehingga menyebabkan pengeringan dan perubahan warna menjadi kecoklatan. Infeksi ini juga mengakibatkan perubahan warna daun menjadi kuning tua, layu, dan kerusakan pada pangkal tangkai daun (Bukhari & Nuryulsen, 2018). Gejala lain dari serangan cendawan ini dapat dilihat dari batangnya, jika dibelah akan terlihat gejala internal berupa nekrotik berwarna coklat (*browning*) disepanjang pembuluh *xylem* (Annura *et al.*, 2021). Menurut De Lamo & Takken (2020), melaporkan bahwa patogen *Fusarium* sp. dapat mengakibatkan penurunan sistem pertahanan hingga kematian sel. Dampak dari penyakit ini tidak hanya mempengaruhi produktivitas panen, melainkan juga menurunkan mutu buah yang berdampak pada penurunan nilai ekonomis sehingga dapat merugikan kesejahteraan petani.

Dalam upaya menanggulangi serangan hama, terdapat beragam metode yang dapat diterapkan, salah satunya menggunakan pestisida sintetis untuk mengendalikan penyakit, penggunaan pestisida sintetis banyak digunakan karena menghasilkan pengendalian penyakit yang cepat dan efektif serta meningkatkan produktivitas hasil panen. Namun, penggunaan pestisida sintetis secara intensif dan berulang dalam pertanian telah menimbulkan dampak negatif seperti pencemaran lingkungan, mengurangi keanekaragaman

hayati, meningkatnya perkembangan hama dan patogen yang resistan, menurunnya kesuburan tanah, serta toksisitas pada hewan termasuk manusia (Hassaan & El Nemr, 2020). Menurut Sudantha (2023), juga menekankan bahwa mengingat dampak negatif penggunaan pestisida sintetis tidak hanya terhadap organisme target, melainkan juga berdampak pada ekosistem secara keseluruhan serta kesehatan manusia. Oleh sebab itu, dibutuhkan solusi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Pemanfaatan mikroorganisme sebagai Agen Pengendali Hayati (APH) merupakan suatu alternatif untuk mengurangi hingga menghilangkan ketergantungan pada penggunaan pestisida sintetis. Pengendalian hayati merupakan alternatif pengendalian yang ramah lingkungan, dapat dilakukan karena tidak berdampak negatif terhadap lingkungan (Darotin, 2024). Menurut Mugiastuti *et al.* (2019), pengendalian hayati dengan menggunakan genus *Bacillus* sp. seperti *Bacillus thuringiensis* merupakan bakteri antagonis yang dapat menjadi alternatif pengendalian yang potensial dan ramah lingkungan, dimana mampu menekan intensitas penyakit, meningkatkan kandungan fenol tanaman seperti tanin, saponin dan glikosida, serta meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Serta, menurut Saxena *et al.* (2020), genus *Bacillus* memiliki kemampuan antagonisme secara langsung untuk menghambat pertumbuhan hama dan patogen melalui produksi senyawa antimikroba, enzim, atau toksin. Metabolit yang dihasilkan oleh *Bacillus* memainkan peran penting dalam mengontrol dan mengurangi populasi organisme yang merugikan ini.

Berdasarkan penelitian Masyitah *et al.* (2023), perlakuan bakteri *B. thuringiensis* dapat menekan serangan *F. oxysporum* pada pembibitan melon dengan menghasilkan senyawa antibiosis dalam menekan serangan patogen, penelitian ini juga didukung oleh Rizki *et al.* (2024), *B. thuringiensis* memiliki rata-rata persentase daya hambat dengan hasil 34,71% terhadap *Fusarium* sp., Suwarno & Masnilah (2020), menyatakan bahwa pengaplikasian *Bacillus* sp. dengan dosis 50 mL/tanaman dapat

menekan keparahan penyakit layu *Fusarium* pada tanaman melon sebesar 66,25%. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Maulidia *et al.* (2021), benih tomat yang direndam *B. thuringiensis* sebanyak 50 mL/cawan petri selama 72 jam dapat menekan serangan *F. oxysporum* sebesar 50,7%. *Bacillus thuringiensis* ini merupakan agen hayati dengan kemampuannya dalam bersaing dalam memperoleh nutrisi serta dapat menghasilkan senyawa metabolit sekunder dan senyawa bioaktif dalam menekan serangan patogen (Diarta *et al.*, 2016; Maulidia *et al.*, 2021).

## 1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian permasalahan latar belakang di atas, tujuan dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Menyeleksi isolat *Bacillus thuringiensis* yang berpotensi memiliki aktivitas antijamur terhadap *Fusarium* sp.
2. Menguji aktivitas antijamur isolat *Bacillus thuringiensis* terpilih berdasarkan luas hambatan pertumbuhan koloni *Fusarium* sp.
3. Menentukan konsentrasi hambat minimum isolat *Bacillus thuringiensis* terhadap *Fusarium* sp.

## 1.3 Kerangka Pikir

Pertanian merupakan bidang yang berperan penting dalam menyediakan pangan bagi populasi dunia yang terus meningkat dan diproyeksikan mencapai 9,7 miliar jiwa pada tahun 2050. Namun, sektor pertanian menghadapi tantangan serius berupa serangan hama dan penyakit yang dapat menyebabkan kerusakan mencapai 15-20% setiap musim tanam tiap tahunnya. Salah satu penyakit yang menjadi ancaman utama adalah jamur *Fusarium* sp., yang menyebabkan penyakit layu *Fusarium*. Jamur ini menyerang tanaman melalui akar yang terluka, sehingga dapat menyebabkan

tanaman menjadi layu, perubahan warna kecoklatan pada batang, dan pada akhirnya tanaman bisa mati. Selain menurunkan hasil panen, serangan *Fusarium* sp. juga dapat menghasilkan senyawa yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan hewan.

Untuk mengatasi masalah ini, petani umumnya mengandalkan pestisida kimia karena hasilnya yang cepat dan terbukti dalam meningkatkan hasil panen. Namun, penggunaan pestisida kimia secara berlebihan dan berkelanjutan dapat menimbulkan berbagai dampak negatif yang serius. Oleh sebab itu, perlunya pengembangan alternatif pengendalian yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Pengendalian hayati menggunakan mikroorganisme yang memiliki aktivitas antijamur muncul sebagai solusi alternatif yang menjanjikan untuk menggantikan atau mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia. *Bacillus thuringiensis* merupakan salah satu bakteri antagonisme dengan menghambat pertumbuhan hama dan patogen melalui mekanisme produksi senyawa antimikroba, enzim, atau toksin sehingga berpotensi tinggi sebagai agen pengendali hayati yang dapat menghasilkan berbagai senyawa bioaktif serta metabolit sekunder dalam menghambat pertumbuhan patogen. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas *B. thuringiensis* sebagai agen kontrol hayati dalam mengendalikan penyakit layu *Fusarium*, dengan harapan dapat memberikan alternatif pengendalian yang efektif, aman, dan berkelanjutan bagi sektor pertanian.

## 1.4 Hipotesis

Hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah

1. Beberapa isolat *Bacillus thuringiensis* memiliki potensi aktivitas antijamur yang mampu menghambat pertumbuhan *Fusarium* sp. secara *in vitro*
2. Isolat *Bacillus thuringiensis* terpilih mampu membentuk zona hambat terhadap pertumbuhan koloni *Fusarium* sp.
3. Terdapat konsentrasi hambat minimum isolat *Bacillus thuringiensis* yang efektif menghambat pertumbuhan *Fusarium* sp.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Agen Pengendali Hayati

Pengendalian hayati merupakan suatu pendekatan yang memanfaatkan organisme hidup untuk menekan populasi hama dan penyakit tanaman. Metode ini menjadi alternatif yang semakin penting di tengah keprihatinan global terhadap dampak negatif pestisida kimia pada lingkungan dan kesehatan manusia (Barratt *et al.*, 2018). Penggunaan agen hayati dalam pengendalian patogen tanaman merupakan alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan dibandingkan dengan penggunaan fungisida sintetis.

Menurut Herlinda & Irsan (2015), menyatakan bahwa pengendalian hayati memiliki berbagai keunggulan yaitu, tidak memiliki efek samping yang merugikan terhadap produk pertanian, tidak membahayakan serangga dan hewan berguna lainnya serta lingkungan, bersifat spesifik terhadap inang atau mangsa (Parasitoid, predator, dan entomopatogen), relatif lebih murah untuk jangka panjang dan areal yang luas, dapat berkembang dengan mandiri dan berkelanjutan tanpa campur tangan manusia, serta tidak menimbulkan resistensi hama terhadap musuh alami. Adapun kelemahan dari metode ini yaitu, membatasi penggunaan pestisida sintetis, daya kerja lambat dalam mematikan serangga, relatif lebih mahal untuk jangka pendek dan areal yang sempit, dan keberhasilannya sulit diprediksi dibandingkan pestisida kimia. Pemanfaatan mikroorganisme bakteri dalam pengendalian hayati telah banyak dilaporkan efektif dalam mengendalikan berbagai patogen tanaman. Beberapa kelompok bakteri yang paling banyak digunakan diantaranya *Pseudomonas*

(*P. putida* dan *P. fluorescens*), *Bacillus* spp., *Streptomyces* spp. serta sebagian kecil dari familia Enterobacteriaceae (Mishra & Arora, 2018). Genus *Bacillus* menjadi pilihan utama karena kemampuannya membentuk endospora dan memiliki beragam mekanisme antagonistik yang efektif. Genus *Bacillus* memiliki keragaman spesies dan tingkat kemelimpahan pada agroekosistem yang lebih tinggi dibandingkan dengan genus bakteri lainnya (Saxena *et al.*, 2020). Tingkat keberlangsungan daya hidup yang tinggi dan kemampuan beradaptasi terhadap berbagai stres lingkungan atau pada kondisi cekaman tertentu juga merupakan keunggulan lainnya (Gingichashvili *et al.*, 2019). Bakteri ini mampu menghasilkan berbagai senyawa metabolit yang beragam dan potensial sebagai antibiotik (Sumi *et al.*, 2015).

## 2.2 *Bacillus thuringiensis*

*Bacillus thuringiensis* merupakan bakteri bersifat Gram-positif, aerob, saprofit pembentuk endospora yang terdapat di tanah, air, dan di permukaan tumbuhan (Nair *et al.*, 2018). Berbagai jenis isolat dan subspecies *B. thuringiensis* sangat dikenal sebagai sumber yang bernilai untuk biopestisida penting komersial. Bakteri ini memenuhi syarat sebagai agen pengendali mikrobiologi terhadap hama dan vektor penyakit tumbuhan sehingga aplikasi biopestisida ini cepat tersebar. *Bacillus thuringiensis* salah satu spesies bakteri yang memiliki potensi sebagai agen antijamur karena kemampuannya dalam menghasilkan berbagai senyawa metabolit sekunder yang dapat menghambat perkembangan jamur patogen tanaman. *Bacillus* memiliki kemampuan dalam memproduksi berbagai senyawa yang dapat menghambat pertumbuhan jamur patogen, diantaranya enzim kitinase yang berperan dalam mendegradasi dinding sel jamur. Selain itu, senyawa metabolit seperti basilin, basitrasin, basilomisin, difisidin, oksidifisidin, lesitinase, subtilisin, dan fengymycin berkontribusi dalam mengubah

permeabilitas membran sel, inhibitor enzim jamur, dan menghambat sintesis protein (Florianus *et al.*, 2020).

### 2.2.1 Klasifikasi *Bacillus thuringiensis*

Menurut Wick (2013), Klasifikasi bakteri *B. thuringiensis* adalah sebagai berikut.

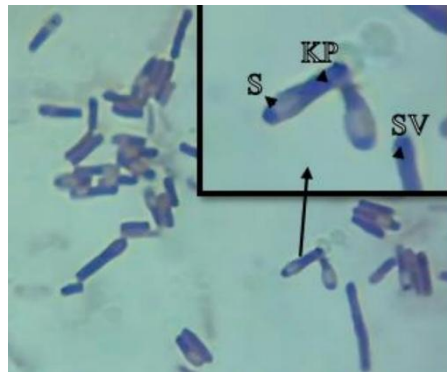
|          |   |                               |
|----------|---|-------------------------------|
| Kerajaan | : | Eubacteria                    |
| Filum    | : | Furmicutes                    |
| Kelas    | : | Bacilli                       |
| Bangsa   | : | Bacillales                    |
| Suku     | : | Bacillaceae                   |
| Marga    | : | <i>Bacillus</i>               |
| Jenis    | : | <i>Bacillus thuringiensis</i> |

### 2.2.2 Morfologi Bakteri *Bacillus thuringiensis*

*Bacillus thuringiensis* termasuk Gram positif berbentuk batang dengan lebar 1-1,2 mikrometer dan panjang 3-5 mikrometer, bergerak aktif (motil) dengan *flagella peritrich* (di seluruh dinding sel), bersifat fakultatif aerob dan termasuk bakteri termofilik yang dapat tumbuh pada suhu minimum 10-15°C dan suhu pertumbuhan maksimum 40–45°C, dengan suhu optimum antara 26-37°C (Habibi *et al.*, 2020), dengan kisaran pH pertumbuhan antara 5,5 sampai 8,5 dengan pH optimum antara 6,5 sampai 7,5. Spora berbentuk oval berwarna hijau kebiruan, berukuran 1,0 – 1,3 µm dengan posisi terminal, sedangkan protein kristal berukuran 0,6 sampai 2,0 µm bergantung dari tipe-nya masing-masing. *Bacillus thuringiensis* memiliki kemampuan membentuk endospora dalam lingkungan ekstrim, Maka bakteri *B. thuringiensis* mampu bertahan pada suhu tinggi (Bahri *et al.*, 2021). *Bacillus thuringiensis* dapat diisolasi dari berbagai habitat, antara lain dari tanah, serangga mati, dan daun. Bakteri ini juga dapat ditemukan



pada berbagai jenis tanaman, termasuk sayuran, kapas, tembakau, dan tanaman hutan. Namun yang lebih banyak ditemukan adalah di tanah. Keberadaan *B. thuringiensis* dalam tanah dipengaruhi beberapa faktor antara lain tipe tanah, kemampuan spora untuk germinasi dan kondisi geografi. Tanah dengan kisaran pH 6,0–6,5 lebih baik untuk ketahanan spora dibandingkan dengan pH 4,0–4,9. Kemampuan spora untuk germinasi tidak dipengaruhi oleh pH tanah melainkan dipengaruhi oleh kelembaban tanah (Khairiyati *et al.*, 2021). Morfologi sel *Bacillus thuringiensis* dan sel-sel bakteri *B. thuringiensis* dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.



**Gambar 1.** Morfologi sel *Bacillus thuringiensis*; (KP) Kristal Protein, (S) Spora, (SV) Sel Vegetatif (Indra, 2023).



**Gambar 2.** Sel-sel bakteri *Bacillus thuringiensis* (Perbesaran 1000 X) (Elqowiyya, 2015).

### 2.2.3 Mekanisme aktivitas Antijamur

*Bacillus thuringiensis* dapat menekan pertumbuhan jamur patogen karena memiliki kemampuan antagonisme bagi jamur patogen melalui senyawa penghambat pertumbuhan yang dihasilkan. Fungsi dari senyawa penghambat adalah mendegradasi dinding sel jamur, mempengaruhi permeabilitas membran sel, inhibitor enzim jamur dan menghambat sintesis protein. Apabila terjadi kontak antara bakteri antagonis dengan jamur patogen maka bakteri antagonis akan menyerang dengan menghasilkan senyawa yang dapat menyebabkan pembengkakan pada hifa. Hal ini membuktikan bakteri mampu menghasilkan senyawa penghambat bagi jamur patogen dengan terbentuknya jarak pemisah antara bakteri antagonis dan jamur patogen (Widiantini *et al.*, 2018).

Bakteri *Bacillus* sp. menghambat pertumbuhan jamur dengan mengeluarkan enzim kitinase serta bakteri *Bacillus* sp. juga dapat menghasilkan metabolit sekunder yang dapat menghambat pertumbuhan jamur patogen. Hal ini sesuai dengan penelitian Indriani *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa *Bacillus* sp. memiliki kemampuan untuk menghasilkan berbagai senyawa antimikroba yang efektif menghambat pertumbuhan jamur patogen. Enzim kitinase yang diproduksi oleh bakteri *Bacillus* sp. berperan dalam degradasi kitin, komponen utama dinding sel jamur. Selain itu, metabolit sekunder yang dihasilkan oleh *Bacillus* sp. dapat mengganggu permeabilitas membran sel jamur, menghambat aktivitas enzim esensial, dan menghambat sintesis protein, sehingga mengganggu proses metabolisme sel jamur. Hal ini sesuai dengan Abidin *et al.* (2015) yang menyatakan bahwa bakteri golongan *Bacillus* sp. memiliki mekanisme antagonis berupa antibiosis dengan memproduksi senyawa antifungi yang dapat mengakibatkan pertumbuhan hifa menjadi abnormal (malformasi). Selain itu, juga akibat aktivitas enzim kitinase yang menyebabkan dinding sel jamur mengalami lisis.

### 2.3 *Fusarium* sp.

*Fusarium* merupakan salah satu patogen yang sangat merugikan komoditi pertanian di Indonesia karena dapat menyerang pembuluh tanaman. Cendawan ini tersebar luas di daerah Afrika, Asia, Australia, Amerika Tengah, dan Amerika Selatan yang dapat mematikan tanaman yang terserang jamur ini (Sari *et al.*, 2018). Menurut Hausufa (2018), *Fusarium* sp. dapat menyebabkan penyakit di persemaian atau pada tanaman dewasa. Penyakit ini dapat memperpendek umur produksi dari 10 kali panen menjadi dua kali, dan menyebabkan mutu buah menjadi rendah, serta sampai menggagalkan hasil panen sebesar 80% (Pardede *et al.*, 2022).

Gejala awal dari penyakit yang disebabkan oleh *Fusarium* sp. yaitu ditandai dengan pucat tulang-tulang daun terutama daun-daun atas kemudian diikuti dengan menggulungnya daun yang lebih tua (epinasti) karena merunduknya tangkai daun dan akhirnya tanaman menjadi layu keseluruhan. Pada tanaman muda yang terserang penyakit layu *Fusarium* dapat menyebabkan tanaman mati secara mendadak, karena pada pangkal batang terjadi kerusakan. Sedangkan tanaman dewasa yang terinfeksi sering kali dapat bertahan dan membentuk buah, akan tetapi hasilnya sedikit dan buah yang kecil (Nurzannah *et al.*, 2014). *Fusarium* dapat menghasilkan senyawa asam fusarat, yaitu antibiotik beserta racun yang bisa larut dalam air. Toksin ini akan mengganggu permeabilitas membran sehingga mengganggu kebutuhan air pada tanaman, terhambatnya pergerakan air ini akan menyebabkan layu hingga kematian pada tanaman. Gejala luar yang khas yaitu daun menguning, terjadinya layu sepihak atau keseluruhan, batang bawah berubah warna menjadi kecoklatan dan bila batang dibelah secara membujur maupun melintang terlihat jaringan *xylem* berwarna coklat, kemerahan, kehitaman ataupun kekuningan (Hidayat *et al.*, 2020). Tanaman yang terserang akan terlihat layu, daun berwarna kuning, dan bagian dalam batang semu (*pseudostem*) menunjukkan diskolorasi berwarna cokelat kemerahan (Maryani, 2018). *Fusarium* sp. merupakan jamur tular tanah (*soilborne*) yang

mudah menyebar melalui tanah, air, alat pertanian yang terkontaminasi, dan tanaman yang terinfeksi.

### 2.3.1 Klasifikasi *Fusarium* sp

Menurut menurut Hibbet (2007), jamur *Fusarium* sp. sebagai penyebab penyakit layu dan diklasifikasikan sebagai berikut:

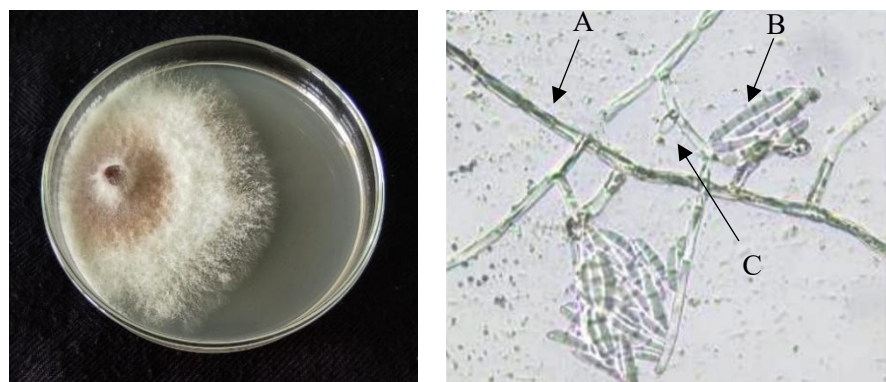
Kerajaan : Fungi  
 Filum : Ascomycota  
 Kelas : Sordariomycetes  
 Bangsa : Hypocreales  
 Suku : Netriceae  
 Marga : *Fusarium*  
 Jenis : *Fusarium* sp.

### 2.3.2 Morfologi *Fusarium* sp.

*Fusarium* sp. termasuk ke dalam jenis fungi saprofitik dengan filamen yang tersebar luas pada tanaman dan tanah, menurut penelitian yang dilakukan olen azwin (2016), infeksi yang disebabkan oleh *Fusarium* sp. mampu menurunkan kemampuan sel dan jaringan dalam menjalankan fungsi fisiologisnya. Ciri untuk mengidentifikasi jamur *Fusarium* ini yaitu terdapatnya makrospora, yaitu alat reproduksi aseksual yang berada pada kondiospora, memiliki struktur halus, terbentuk dari fialid, dan terdiri dari 2 sel atau lebih yang memiliki dinding sel tebal (Sari, 2016). Jamur *Fusarium* sp. umumnya mempunyai 3 alat reproduksi yaitu Makrokonidium, Mikrokonidium, dan Klamidospora. Makrokonidium merupakan organ aseksual dalam siklus hidup *Fusarium* sp., selain sebagai alat infeksi sebagai patogen tumbuhan, makrokonidium penting dalam penyebaran propagul *Fusarium* sp. dengan bentuk menyerupai bulan sabit. Mikrokonidium sama halnya dengan makrokodium, mikrokonidium merupakan alat reproduksi aseksual dalam sistem reproduksi sekunder pada daur hidup

*Fusarium* sp. dengan karakteristik berbentuk bulat halus seperti telur dibagian tengah makrokonidium (Lelana *et al.*, 2015). *Fusarium* sp. dapat tumbuh pada media PDA dengan membentuk koloni berwarna putih dapat diamati langsung oleh mata. Pertumbuhan koloni cepat, berwarna putih, kuning sampai kecoklatan.

Ciri-ciri morfologi sel *Fusarium* sp. yaitu mempunyai bentuk konidia yang lonjong seperti bulan sabit dengan hifa bersepta dan warna koloni bagian bawahnya putih sedangkan bagian atasnya krem atau putih kekuningan (Kumalasari *et al.*, 2021). *Fusarium* sp. memiliki dua jenis konidia meliputi makrokonidia dan mikrokonidia. Makrokonidia bentuknya seperti bulan sabit yang meruncing pada setiap ujungnya memiliki panjang antara 40-70 nm, lebar 15-20 nm dan memiliki 3-6 sekat sedangkan mikrokonidia bentuknya oval, memiliki panjang antara 20-25 nm dan lebarnya 15-20 nm serta memiliki misellium bersekat (Wakhidah *et al.*, 2021). Jamur *Fusarium* sp. ini dapat tumbuh pada suhu tanah 25-30°C dengan kelembaban tanah mencapai 80-100 % sedangkan kelembaban udara 70-90% serta pH untuk pertumbuhan *Fusarium* sp. adalah 5,5- 6,5 (Wildan *et al.*, 2021). Jamur *Fusarium* sebagai patogen memiliki persebaran inang yang sangat luas yang dapat menyebabkan kerugian hingga 80%.



**Gambar 3.** Morfologi *Fusarium* sp. Secara Makroskopis dan Mikroskopis A) Hifa; B) Makrokonidia; C) Mikrokonidia Perbesaran 400x (Sastrahidayat *Et Al.*, 2010).

## 2.4 Uji Antijamur

Uji aktivitas antijamur adalah uji untuk mengetahui apakah suatu senyawa uji dapat membunuh maupun menghambat pertumbuhan jamur dengan mengukur respon pertumbuhan populasi mikroorganisme (jamur) terhadap agen antijamur (Alioes, 2018). Beberapa metode uji antimikroba diantaranya adalah metode difusi dan metode dilusi. Metode difusi merupakan salah satu metode yang sering digunakan dalam uji antimikroba. Prinsip kerja metode difusi adalah terdifusinya senyawa antijamur ke dalam media padat. Hasil pengamatan yang diperoleh berupa ada atau tidaknya zona hambat pada pertumbuhan jamur (Balouiri *et al.*, 2016). Metode difusi dapat dilakukan 3 cara yaitu metode silinder, lubang, dan cakram kertas. Metode silinder yaitu meletakkan beberapa silinder yang terbuat dari gelas atau besi tahan karat di atas media agar yang telah diinokulasi dengan jamur. Tiap silinder ditempatkan sedemikian rupa hingga berdiri di atas media agar, diisi dengan larutan yang akan diuji dan diinkubasi. Metode lubang (sumuran) yaitu membuat lubang pada agar padat yang telah diinokulasi dengan jamur. Jumlah dan letak lubang disesuaikan dengan tujuan penelitian, kemudian lubang diisi dengan larutan yang akan diuji. Metode cakram kertas yaitu meletakkan cakram kertas yang telah direndam larutan uji di atas media padat yang telah diinokulasi dengan jamur.

Sedangkan metode dilusi merupakan teknik pengujian aktivitas antijamur dengan cara mencampurkan agen uji ke dalam media pertumbuhan dengan berbagai konsentrasi. Metode ini dibedakan menjadi metode difusi agar dan difusi *broth*. Metode dilusi agar, agen uji dengan berbagai konsentrasi dicampurkan ke dalam media agar sebelum dipadatkan, kemudian diinokulasi dengan jamur target. Konsentrasi terendah yang dapat menghambat pertumbuhan jamur disebut sebagai Konsentrasi Hambat Minimum (KHM). Metode dilusi *broth*, metode ini dilakukan dengan mencampurkan agen uji dengan berbagai konsentrasi ke dalam media cair yang telah diinokulasi dengan jamur target. Pertumbuhan jamur diamati dari kekeruhan media.

Konsentrasi terendah yang tidak menunjukkan kekeruhan (pertumbuhan jamur) ditetapkan sebagai KHM.

Metode dilusi biasanya digunakan untuk menentukan kadar hambat minimum (KHM) dan kadar bunuh minimum (KBM). Prinsip dari metode dilusi menggunakan satu seri tabung reaksi yang diisi medium cair dan sejumlah tertentu sel mikroba yang diuji. Selanjutnya masing-masing tabung diisi dengan jamur, kemudian seri tabung diinkubasi pada suhu 37°C selama 5-7 hari dan diamati terjadinya kekeruhan konsentrasi terendah bahan antimikroba pada tabung yang ditunjukkan dengan hasil biakan yang mulai tampak jernih (tidak ada pertumbuhan jamur merupakan konsentrasi hambat minimum). Biakan dari semua tabung yang jernih ditumbuhkan pada medium agar padat, diinkubasi selama 7 hari, dan diamati ada tidaknya koloni jamur yang tumbuh. Konsentrasi terendah bahan antimikroba pada biakan medium padat yang ditunjukan dengan tidak adanya pertumbuhan jamur merupakan konsentrasi bunuh minimum terhadap jamur uji (Tortora *et al.* 2001).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat

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

#### 3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *autoclave* untuk sterilisasi, *Biological Safety Cabinet* (BSC) untuk isolasi bakteri, cawan petri, *Laminar Air Flow* (LAF) untuk kultur jamur, neraca analitik, tabung sub kultur, tabung reaksi, rak tabung, *orbital shaker* untuk inkubasi pada media cair, *haemocytometer* untuk menghitung kepadatan sel bakteri, mikroskop, mikropipet, pipet volumetrik, bulb, jarum ose bulat, jarum ose jarum, erlenmeyer, gelas ukur, *beaker glass*, *hot plate stirrer* untuk memasak media, busen, spatula, jar, sedotan kertas, karet gelang, alat tulis, dan alat dokumentasi.

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 7 isolat bakteri *B. thuringiensis* asal Kebun Raya Liwa (KRL) yang diberi kode isolat Bt1<sub>TBA4</sub>, Bt2<sub>TMA26</sub>, Bt3<sub>BP14</sub>, Bt4<sub>TSR6</sub>, Bt5<sub>TB5</sub>, Bt6<sub>TB7</sub>, Bt7<sub>TBA7</sub>, isolat jamur *Fusarium* sp. koleksi Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang berasal dari pertanaman pisang PT Great Giant Pineapple (GGP), *aquades*, media



*nutrient broth* (NB), media *nutrient agar* (NA), media *Potato Dextrose Broth* (PDB), media *Potato Dextrose Agar* (PDA), *methylen blue*, alkohol 70%, kapas, kain kasa, benang, kertas bekas, plastik tahan panas, *plastic wrap*, aluminium foil, dan tisu.

### 3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan 7 isolat bakteri *B. thuringiensis* asal Kebun Raya Liwa (KRL) yang diberi kode isolat Bt1<sub>TBA4</sub>, Bt2<sub>TMA26</sub>, Bt3<sub>BP14</sub>, Bt4<sub>TSR6</sub>, Bt5<sub>TB5</sub>, Bt6<sub>TB7</sub>, Bt7<sub>TBA7</sub>, penentuan isolat bakteri yang akan digunakan didasarkan pada uji pendahuluan yang telah dilakukan untuk mengetahui isolat bakteri *B. thuringiensis* yang memiliki aktivitas antijamur paling efektif dalam menghambat pertumbuhan *Fusarium* sp. dengan metode *dual culture*. kemudian dilanjutkan dengan metode dilusi untuk melihat konsentrasi hambat minimum (KHM). Penelitian terkait uji aktivitas antijamur isolat *B. thuringiensis* terhadap *Fusarium* sp. dianalisis dengan uji T sampel bebas (*Independent sample T-Test*) pada taraf signifikansi 5% ( $\alpha = 0,05$ ) untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan yang signifikan antar kelompok perlakuan serta dengan deskriptif kuantitatif. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 2 faktor yaitu isolat *B. thuringiensis* dan *Fusarium* sp.

Berdasarkan hasil uji pendahuluan yang sudah dilakukan, didapati bahwa 2 dari 7 isolat *B. thuringiensis* memiliki aktivitas antijamur yaitu isolat Bt2<sub>TMA26</sub> dan Bt3<sub>BP14</sub>, selanjutnya kedua isolat tersebut diseleksi dengan metode difusi untuk membandingkan isolat mana yang memiliki kemampuan aktivitas antijamur yang paling efektif dalam menghambat pertumbuhan *Fusarium* sp. dan dilanjutkan dengan metode dilusi. Pada perlakuan dengan metode difusi dilakukan 4 kali pengulangan dan 2 kontrol sehingga terdapat 10 perlakuan dan pada metode dilusi dilakukan 3 kali pengulangan. Susunan perlakuan setiap percobaan disajikan dalam Tabel 1.

**Tabel 1.** Susunan Perlakuan Isolat *B. thuringiensis* dan *Fusarium* sp.

|                         |                        |                         |                         |
|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Bt <sub>2TMA26</sub> U3 | Bt <sub>3BP14</sub> U1 | Bt <sub>2TMA26</sub> U4 | Bt <sub>2TMA26</sub> U1 |
| Bt <sub>3BP14</sub> U3  | Bt <sub>3BP14</sub> U4 | Bt <sub>3BP14</sub> U2  | Bt <sub>2TMA26</sub> U2 |

Keterangan :

Bt : *Bacillus thuringiensis*

U : Ulangan

### 3.4 Prosedur Kerja

Adapun prosedur kerja yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

#### 3.4.1 Peremajaan Isolat *Fusarium* sp.

Peremajaan *Fusarium* sp. diremajakan pada media *Potato Dextrose Agar* (PDA). Media PDA bubuk dengan konsentrasi yaitu 39 gram/1000 ml, maka ditimbang media PDA sebanyak 3,9 gram kemudian dilarutkan dengan *aquadest* sebanyak 100 ml di dalam *Beaker Glass*, kemudian dipanaskan Setelah itu, dihomogenkan dengan batang pengaduk diatas penangas air atau *Hot Plate Magnetic Stirrer* hingga mendidih. Media dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan disterilkan dalam autoklaf pada suhu 121°C selama 20 menit, tekanan 2 atm. Kemudian setelah media steril dan didinginkan sampai suhu  $\pm 45-45^{\circ}\text{C}$ . Selanjutnya, dituangkan ke dalam 3 cawan petri sebanyak 20 ml dan dibiarkan hingga memadat (Handayani, 2015). Setelah media dalam cawan petri padat diinokulasikan isolat 1 ose *Fusarium* sp. kemudian ditutup dengan rapat menggunakan *plastic wrap* dan dibungkus dengan kertas lalu diinkubasi pada suhu ruang selama 7 hari.

### 3.4.2 Peremajaan Isolat *Bacillus thuringiensis*

Isolat bakteri *B. thuringiensis* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan koleksi dari Laboratorium Mikrobiologi, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung yang diisolasi dari tanah yang berasal dari Kebun Raya Liwa, Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung. Terdapat 7 jenis isolat *B. thuringiensis* yang digunakan dalam penelitian ini, masing-masing diberi kode 1 hingga 7. Proses sub kultur isolat bakteri *B. thuringiensis* dilakukan dengan metode *streak* tunggal pada media *Nutrient Agar* (NA) miring. Media NA bubuk dengan konsentrasi yaitu 20 gram/1000 ml, maka ditimbang sebanyak 2 gram, kemudian dilarutkan dalam 100ml akuades di dalam *Beaker glass*, kemudian dipanaskan setelah itu, dihomogenkan dengan batang pengaduk diatas penangas air atau *Hot Plate Magnetic Stirrer* hingga mendidih. Setelah itu, media NA dimasukkan kedalam tabung subkultur sebanyak 5 ml, selanjutnya media disterilkan dalam autoklaf pada suhu 121°C selama 20 menit, tekanan 2 atm. Kemudian media yang telah disteril dimiringkan pada *Biological Safety Cabinet* hingga memadat (Handayani, 2015). Untuk melakukan sub kultur atau peremajaan isolat dilakukan dengan cara, diambil 1 ose isolat bakteri *B. thuringiensis* kemudian dilakukan metode *streak* tunggal pada tabung reaksi yang berisi media NA miring lalu diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C di inkubator (Oktavia & Pujiyanto, 2018).

### 3.4.3 Pembuatan Kultur Cair Isolat Bakteri *Bacillus thuringiensis* dan *Fusarium* sp.

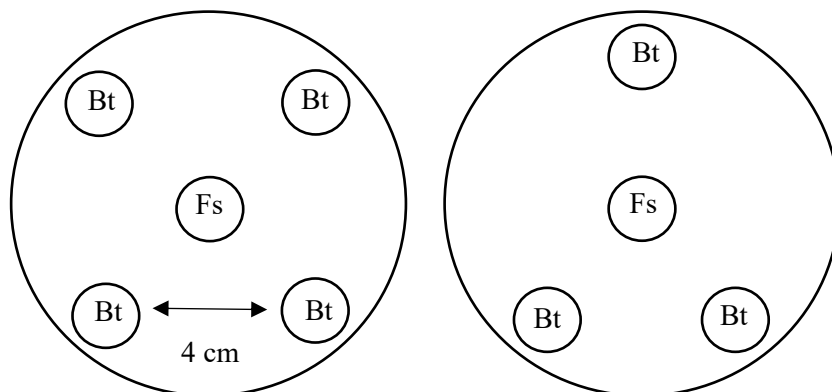
Media *Nutrien Broth* (NB) dengan konsentrasi 13 gram/1000 ml, maka ditimbang sebanyak 0,65 gram, kemudian dilarutkan dengan *aquadest* sebanyak 50 ml di dalam *beaker glass* 100 ml, kemudian dihomogenkan dengan batang pengaduk selanjutnya dimasukkan kedalam erlen meyer steril 250 ml, kemudian media disterilisasi dengan

autoklaf pada suhu 121°C selama 20 menit, tekanan 2 atm. Setelah media disterilisasi, dinginkan media kemudian diinokulasikan isolat bakteri *B. thuringiensis* sebanyak 1 ose kedalam media NB ditutup dengan *plastic wrap* dan diinkubasi selama 3 hari pada *shaker incubator*. Kemudian kultur cair *B. thuringiensis* dihitung kerapatan selnya dengan *haemocytometer* (Pratiwi, 2015).

Pada media *Potato Dextrose Broth* (PDB), dengan konsentrasi 24 gram/1000 ml, maka ditimbang sebanyak 1,2 gram, selanjutnya dilarutkan kedalam *beaker glass* 250 ml yang berisi 50 ml akuades, dihomogenkan dengan batang pengaduk, kemudian dimasukkan kedalam erlenmeyer steril 250 ml. Media PDB disterilisasi dengan *autoclave* pada suhu 121°C selama 20 menit, tekanan 2 atm. Setelah media disterilisasi, dinginkan media kemudian diinokulasikan *Fusarium* sp. sebanyak 1 ose kedalam media PDB dan ditutup dengan *plastic wrap* selanjutnya diinkubasi selama 4 hari pada *shaker incubator*. Kemudian kultur cair *Fusarium* sp. dihitung kerapatan selnya dengan *haemocytometer* (Handayani, 2015).

#### 3.4.4 Uji Pendahuluan

Uji pendahuluan dilakukan untuk mendapatkan isolat *B. thuringiensis* yang efektif dalam menghambat pertumbuhan *Fusarium* sp. dengan metode uji difusi agar. Pengujian ini dilakukan secara in vitro dalam cawan petri dengan diambil isolat *B. thuringiensis* menggunakan ose lalu diletakkan pada cawan petri yang sudah diberi tanda. Selanjutnya, *Fusarium* sp. diambil menggunakan sedotan kertas steril dengan diameter 0,5 cm lalu diletakkan pada bagian tengah cawan petri yang berisi media PDA. Masing masing isolat diberi jarak 3 cm dari patogen dan 4 cm dari tiap isolat *B. thuringiensis*. Selanjutnya, diinkubasi pada suhu ruang selama 7 hari.



**Gambar 4.** Skema uji pendahuluan

Keterangan :

Bt : *Bacillus thuringiensis*

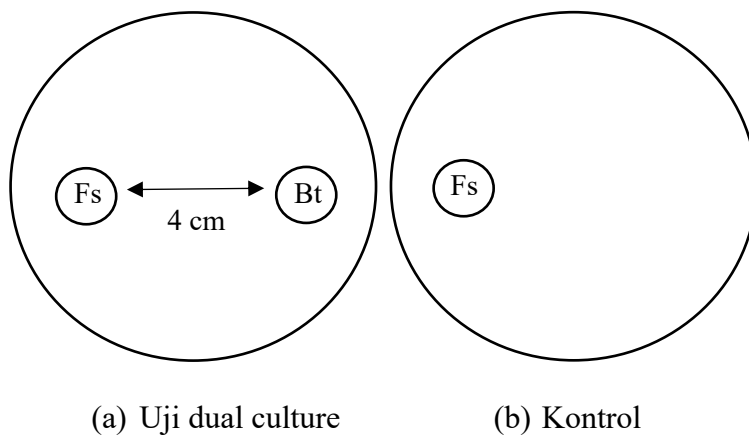
Fs : *Fusarium* sp.

Parameter yang diamati yaitu persentase dari ketujuh isolat *B. thuringiensis* yang efektif dalam menghambat pertumbuhan *Fusarium* sp yang ditandai dengan adanya zona hambat. Isolat yang memiliki aktivitas antijamur yaitu dengan adanya zona hambat selanjutnya dilakukan uji menggunakan metode *dual culture* untuk melihat seberapa besar persentase isolat tersebut dalam menghambat pertumbuhan *Fusarium* sp.

#### 3.4.4.1 Uji Difusi Agar Metode *Dual Culture*

Didapati 2 isolat *B. thuringiensis* yang memiliki aktivitas antijamur yaitu isolat Bt2<sub>TMA26</sub> dan Bt3<sub>BP14</sub>, selanjutnya kedua isolat yang efektif dalam menghambat pertumbuhan *Fusarium* dilakukan uji antagonis dengan metode *dual culture* (Suryanti *et al.*, 2015). Pada perlakuan uji, diambil 1 ose isolat *B. thuringiensis* kemudian diletakkan pada cawan petri yang sudah diberi tanda, selanjutnya *Fusarium* sp. dilubangi dengan bantuan sedotan kertas steril kemudian diletakkan pada cawan petri dengan bantuan pinset. Isolat *B. thuringiensis* diberi jarak 4 cm dari *Fusarium* sp. Pada perlakuan kontrol, *Fusarium* sp. dipotong dengan bantuan sedotan steril dan diletakkan pada

cawan petri sebagai perbandingan antara *Fusarium* sp. yang ditumbuhkan pada cawan uji dan cawan kontrol.



**Gambar 5.** Skema uji *dual culture* antara inokulasi *Bacillus thuringiensis* dengan *Fusarium* sp.

Persentase daya hambat isolat *B. thuringiensis* terhadap *Fusarium* sp. pada hari ke 7 dapat dihitung menggunakan rumus gravimetri sebagai berikut:

$$\text{Luas Koloni Kontrol} = \frac{\text{Bobot Replika Rata-rata Kontrol}}{\text{Bobot Replika 1x1 cm}} \times 1 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas Koloni Uji} = \frac{\text{Bobot Replika Uji}}{\text{Bobot Replika 1x1 cm}} \times 1 \text{ cm}^2$$

$$\% \text{ Luas Koloni Uji} = \frac{\text{Luas Koloni Kontrol} - \text{Luas Koloni Uji}}{\text{Luas Koloni Kontrol}} \times 100$$

#### 3.4.4.2. Uji Dilusi Penentuan Kadar Hambat Minimum (KHM)

Pengujian aktivitas antijamur dengan metode dilusi *broth* dengan memasukkan media *Potato Dextrose Broth* (PDB), kultur cair bakteri *B. thuringiensis* dan kultur cair jamur

*Fusarium* sp. yang hendak diuji dengan ketentuan sebagai berikut :

- a. Tabung reaksi (K-): 5 ml PDB+ 1 ml suspensi jamur
- b. Tabung reaksi (K+): 6 ml PDB
- c. Tabung reaksi kons 10% : 4,5 ml PDB + 0,5 ml suspensi bakteri + 1 ml suspensi jamur
- d. Tabung reaksi kons 20% : 4 ml PDB + 1 ml suspensi bakteri + 1 ml suspensi jamur
- e. Tabung reaksi kons 30% : 3,5 ml PDB + 1,5 ml suspensi bakteri + 1 ml suspensi jamur
- f. Tabung reaksi kons 40% : 3 ml PDB + 2 ml suspensi bakteri + 1 ml suspensi jamur
- g. Tabung reaksi kons 50% : 2,5 ml PDB + 2,5 ml suspensi bakteri + 1 ml suspensi jamur
- h. Tabung reaksi kons 60% : 2 ml PDB + 3 ml suspensi bakteri + 1 ml suspensi jamur
- i. Tabung reaksi kons 70% : 1,5 ml PDB + 3,5 ml suspensi bakteri + 1 ml suspensi jamur
- j. Tabung reaksi kons 80% : 1 ml PDB + 4 ml suspensi bakteri + 1 ml suspensi jamur
- k. Tabung reaksi kons 90% : 0,5 ml PDB + 4,5 ml suspensi bakteri + 1 ml suspensi jamur
- l. Tabung reaksi kons 100% : 5 ml suspensi bakteri + 1 ml suspensi jamur

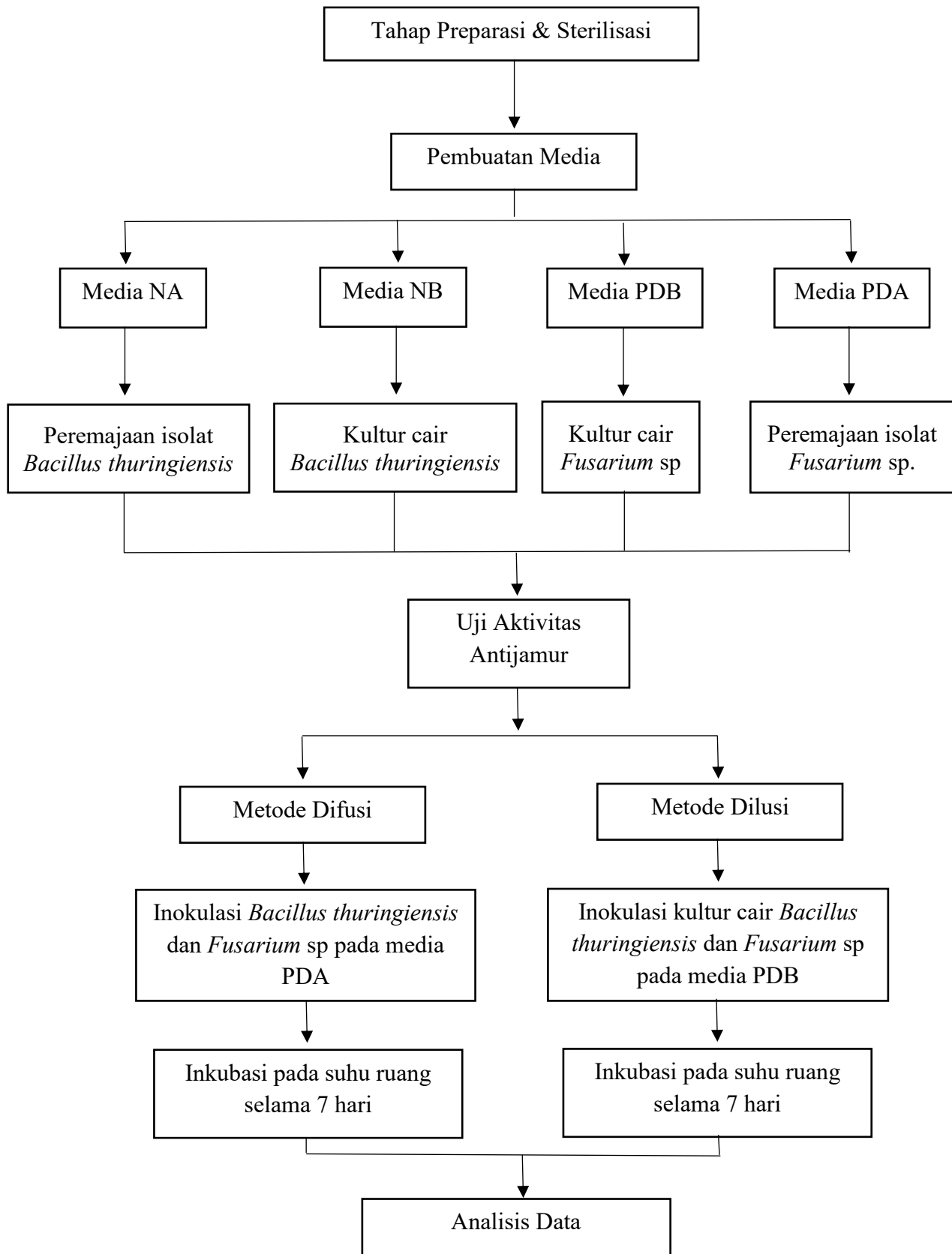
Semua tabung reaksi yang sudah terisi media, suspensi bakteri dan suspensi jamur diwarb, kemudian semua tabung di inkubasi pada suhu ruang selama 7 hari. Setiap tabung diamati dan dibandingkan dengan kontrol negatif dan kontrol positif.

### 3.5 Analisis Data

Data hasil uji aktivitas antijamur yang diperoleh berupa besarnya zona hambat dan nilai Kadar Hambat Minimum (KHM) dianalisis menggunakan dua pendekatan analisis. Analisis statistik dilakukan dengan menggunakan uji T sampel bebas (*Independent sample T-Test*) pada taraf signifikansi 5% ( $\alpha = 0,05$ ) untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan yang signifikan antar kelompok perlakuan. Selain itu, data juga dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai hasil penelitian, dimana data tersebut disajikan dalam bentuk tabel dan gambar untuk mempermudah interpretasi dan pemahaman hasil uji aktivitas antijamur yang telah dilakukan.



### 3.6 Diagram Alir Penelitian



**Gambar 6.** Diagram alir

## V. KESIMPULAN

### 5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. didapati 2 dari 7 isolat *Bacillus thuringiensis* yang menunjukkan aktivitas antijamur terhadap *Fusarium* sp., yaitu isolat Bt2<sub>TMA26</sub> dan Bt3<sub>BP14</sub>
2. isolat *Bacillus thuringiensis* terpilih menunjukkan aktivitas antijamur dengan luas persentase penghambatan *Fusarium* sp. yaitu 12,23% pada isolat Bt2<sub>TMA26</sub> dan 27,41% pada isolat Bt3<sub>BP14</sub>
3. isolat Bt3<sub>BP14</sub> memiliki konsentrasi hambat minimum (KHM) terhadap *Fusarium* sp pada konsentrasi 90% ( $1,35 \times 10^6$  sel mL<sup>-1</sup>) dalam menghambat pertumbuhan *Fusarium* sp.

### 5.2 Saran

Perlu adanya penelitian lanjutan terkait konsentrasi kadar hambat minimum (KHM) pada isolat Bt3<sub>BP14</sub> agar nilai konsentrasi kadar hambat minimum (KHM) relatif lebih rendah, misalnya dengan melakukan optimasi meningkatkan kerapatan sel *B. thuringiensis* serta mengatur kerapatan spora *Fusarium* sp. yang lebih rendah dan dilakukan optimasi kondisi kultur seperti pH, suhu, dan waktu inkubasi agar meningkatkan efektivitas antijamur *B. thuringiensis*, sehingga mendapatkan nilai KHM yang relatif rendah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z., Aini L.Q. & Abadi A.L. (2015). Pengaruh Bakteri *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas* sp. terhadap Pertumbuhan Jamur Patogen *Sclerotium rolfsii* Sacc. Penyebab Penyakit Rebah Semai Pada Tanaman Kedelai. *Jurnal HPT (Hama Penyakit Tumbuhan)*. 3(1):1–10.
- Alioes, Y., Kartika, A., Zain, E. A., & Azzura, V. (2018). Uji potensi antijamur *Candida albicans* Ekstrak Daun Gelinggang (*Cassia alata* L.) dibandingkan dengan Sediaan Daun Sirih yang Beredar Di Pasaran secara *in vitro*. *Jurnal Kimia Riset*. 3(2):108-115.
- Anjarsari, D. T., Prasetyawati, E.T. & Wuryandari, Y. (2022). The Effect of *Bacillus* sp. Against Hifa Malformation of *Phytophthora palmivora* Pathogen. *Agrohita Jurnal Agroteknologi Fakultas Pertanian*. 7(1): 67–73.
- Annura, R.P., Syamsuddin & Halimursyadah. (2021). Karakterisasi Rizobakteri Sebagai Agens Biokontrol Serta Uji *In Vitro* Terhadap Patogen *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* (Sacc.) Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum*) dan Perannya Sebagai Pemacu Pertumbuhan Tanaman. *Jurnal Agrista*. 25(2):50–59.
- Azwin. (2016). Inokulasi *Fusarium* sp. Pada Pohon Karas (*Aquilaria malaccensis* Lamk.) Terhadap Pembentukan Gaharu. *Wahana Foresta: Jurnal Kehutanan*. 11(2):138-153.
- Bahri, S., Lalu, Z., Dewa, A. C. R., & Prapti, S. 2021. Isolation, Purification, and Toxicity Test Of *Bacillus thuringiensis* From Cows Cage Soil Against *Drosophila melanogaster*. *Jurnal Biologi Tropis*. 21(3):1106-1114.
- Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibnsouda, S. K. (2016). Methods for In Vitro Evaluating Antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*. 6(2):71-79.
- Barratt, B. I. P., Moran, V. C., Bigler, F., & Van Lenteren, J. C. (2018). The Status Of Biological Control And Recommendations For Improving Uptake For The Future. *BioControl*. 63:155-167.

- Bawantari, N.K.S., Suprpta D.N., & Khalimi K. (2020). Uji Antagonistik *Bacillus siamensis* dan *Paenibacillus polymyxa* Terhadap *Colletotrichum gloeosporioides* KLCR2 Penyebab Penyakit Antraknosa pada Buah Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.). *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*. 9(3): 187–197.
- Bukhari & Nuryulsen, S. (2018). Pengaruh Pemberian *Trichoderma* sp. Untuk Mengendalikan Penyakit Layu Fusarium Pada Beberapa Jenis Pisang di Lahan yang Telah Terinfeksi. *Jurnal Ilmiah Pertanian* 15(1):23-34.
- Boulahouat, S., Cherif-Silini, H., Silini, A., Bouket, A. C., Luptakova, L., Alenezi, F. N., & Belbahri, L. (2023). Biocontrol Efficiency Of Rhizospheric *Bacillus* Against The Plant Pathogen *Fusarium Oxysporum*: A Promising Approach For Sustainable Agriculture. *Microbiology Research*. 14(3):892-908.
- Darotin, T., Agustiani, R. D., & Ekawandani, N. (2024). Perbanyak Agen Pengendali Hayati pada Media Jagung dan Beras untuk Pertumbuhan *Trichoderma* spp. di UPTD Balai Perlindungan Perkebunan Dinas Perkebunan Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Biosains Medika*. 2(1):1-7.
- De Lamo, F. J., & Takken, F. L. (2020). Biocontrol by *Fusarium Oxysporum* Using Endophyte-Mediated Resistance. *Frontiers in Plant Science*. 11:37.
- Diarta, I.M., Javandira, C. & Widnyana, I.K., (2016). Antagonistik Bakteri *Pseudomonas* spp. dan *Bacillus* sp. terhadap Jamur *Fusarium oxysporum* Penyebab Layu Tanaman Tomat. *Jurnal Bakti Saraswati*. 5(1):70–76.
- Elfina, Y., Sukendi, S., Efriyeldi, E., & Sutikno, A. (2024). Uji Kemampuan *Bacillus* spp. dalam Menghambat *Ganoderma boninense* Pat. Penyebab Penyakit Busuk Pangkal Batang Kelapa Sawit Secara in Vitro. *Agro Bali : Agricultural Journal*. 7(2):575–590.
- Elqowiyya, A. I. (2015). Efikasi Larvaida *Bacillus thuringiensis* Israelensis terhadap Kematian Larva *Culex Quinquefascuatus* dari Daerah Bekasi. (Skripsi). UIN Syarif Hidayatullah: Jakarta.
- Flori, F., Mukarlina, M., & Rahmawati, R. (2020). Potensi Antagonis Isolat Bakteri *Bacillus* spp. Asal Rizosfer Tanaman Lada (*Piper nigrum* L.) Sebagai Agen Pengendali Jamur *Fusarium* sp. Jdf. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar*. 5(1):111-120.
- Gingichashvili, S., Duanis-Assaf, D., Shemesh, M., Featherstone, J. D., Feuerstein, O., & Steinberg, D. (2019). The Adaptive Morphology Of *Bacillus subtilis* Biofilms: A Defense Mechanism Against Bacterial Starvation. *Microorganisms*. 8(1):62.

- Habibi, M., Oetari, A., & Permana, R. C. E. (2020). Identifikasi Penyebab Kerusakan Biologis Gambar Cadas Gua Prasejarah Maros, Sulawesi Selatan. *Jurnal Konservasi Cagar Budaya*. 14(1):22-37.
- Handayani, P. (2015). Isolasi, Seleksi, Dan Uji Aktivitas Antimikroba Kapang Endofit Dari Daun Tanaman Jamblang (*Syzygium Cumini*) terhadap *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans* dan *Aspergillus niger*. Jakarta: Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan.
- Hasyim, A., Setiawati, W., & Lukman, L. (2015). Inovasi Teknologi Pengendalian OPT Ramah Lingkungan Pada Cabai: Upaya Alternatif Menuju Ekosistem Harmonis. *Pengembangan Inovasi Pertanian*. 8(1):1-10.
- Hausufa, A. (2018). Cendawan Patogen pada Beberapa Varietas Jagung di Kabupaten Timor Tengah Utara. *Jurnal Pertanian, Savana Cendana (Jurnal Pertanian Konservasi Lahan Kering International Standard)*. 3(2):2477-7927.
- He, C. N., Ye, W. Q., Zhu, Y. Y., & Zhou, W. W. (2020). Antifungal Activity of Volatile Organic Compounds Produced by *Bacillus methylotrophicus* and *Bacillus thuringiensis* Against Five Common Spoilage Fungi On Loquats. *Molecules*. 25(15):3360.
- Heriyati, S., Prasetyawati, E. T. & Purnawati, A. (2023). Antagonistic Test of *Bacillus* spp. against *Fusarium* sp., the Causal Agent of Wilt Disease of Red Chili Plants. *CROPSAVER - Journal of Plant Protection*. 6(1):26.
- Herlinda, S., & Irsan, C. (2015). *Pengendalian hayati hama tumbuhan*. Unsri Press. Palembang.
- Hibbet, D., Blackwell, M., Bischoff, J. F., & Cannon, P. (2007). A higher-level Phylogenetic Classification Of The Fungi. *Mycological Research*. 111:309-547.
- Hidayah, Nurul & Yulianti, T. (2015). Uji Antagonisme *Bacillus cereus* terhadap *Rhizoctonia solani* dan *Sclerotium rolfsii*. Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat. Malang.
- Hidayat, T., Syauqi, A., & Rahayu, T. (2020). Uji Antagonis Jamur *Gliocladium* sp. dalam Menghambat Pertumbuhan Jamur *Fusarium* sp. Penyebab Penyakit Layu Pada Tanaman Pisang (*Musa paradisiaca* L.): The Antagonist Test of *Gliocladium* sp Fungus on the growth inhibiting of the *Fusarium* sp. that Cause Wilt Diseases in Banana (*Musa paradisiaca* L.). *Jurnal Ilmiah Biosaintropis (Bioscience-Tropic)*. 5(2):59-65.
- Indra, R. N. (2023). Studi Morfologi dan Karakterisasi Kristal Protein Isolat *Bacillus thuringiensis*. (Skripsi). Bandar Lampung: Universitas Lampung.

- Karim, A., Rahmiati & Fauziah, I., (2020). Isolasi dan Uji Antagonis *Trichoderma* Terhadap *Fusarium oxysporum* Secara *In Vitro*. *Jurnal Biosains*. 6(1): 18–22.
- Khairiyati, L., Marlinae, L., Waskito, A., Nur Rahmat, A., Ridha, M. R., & Andiarsa, D. (2021). *Buku Ajar Pengendalian Vektor dan Binatang Pengganggu*. Yogyakarta: Penerbit: CV Mine.
- Kumalasari, A. S., Jahuddin, R., & Anggun. (2021). Uji Antagonis *Trichoderma* sp. Terhadap Penyebab Penyakit Layu *Fusarium* sp. pada Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculantum* Mill). *Tarjih Agricultural System Journal*. 01(01):16–22.
- Laili N, 2012. Karakterisasi dan Aplikasi Bakteri Agen Biokontrol: *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW Terhadap Kapang Patogen *Fusarium oxysporum* Schlecht f. sp. *cubense* Pada Tanaman Pisang (*Musa acuminata*) var. *Cavendish*. Depok. Universitas Indonesia.
- Lelana, EN., Anggraeni, I., & Mindawati, N. (2015). Uji Antagonis *Aspergillus* sp. dan *Trichoderma* spp. Terhadap *Fusarium* sp., Penyebab Penyakit Rebah Kecambah Pada Sengon. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*. 12(1):23-28.
- Lestari, P., Prihatiningsih, N., & Djatmiko, H. A. (2017). Partial Biochemical Characterization of Crude Extract Extracellular Chitinase Enzyme from *Bacillus subtilis* B298. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 172(1):1-8.
- Liang, Z., Ali, Q., Wu, H., Gu, Q., Liu, X., Sun, H., & Gao, X. (2025). Biocontrol Mechanism of *Bacillus thuringiensis* GBAC46 Against Diseases and Pests Caused by *Fusarium verticillioides* and *Spodoptera frugiperda*. *Biomolecules*. 15(4):519.
- Mahanani, A. P., Ramazayandi, R., & Suryana, J. (2020). Pengenalan sistem refugia pada lahan pertanian di Desa Jalaksana, Kabupaten Kuningan. *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat*. 2(4):591-596.
- Maryani N. 2018. *A Complex Relationship: Banana and Fusarium Wilt in Indonesia*. Tesis. Belanda: Wageningen University and Research (WUR).
- Masyitah, N., Oktarina, H., & Chamzurni, T. (2023). Uji Kompatibilitas Kombinasi *Bacillus thuringiensis* dan *Pseudomonas aeruginosa* Untuk Mengendalikan *Fusarium oxysporum* Pada Pembibitan Melon (*Cucumis melo* L.). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*. 8(1):466-482.

- Maulidia, V., Sriwati, R., Soesanto, L., Syamsuddin, Hamaguchi, T. and Hasegawa, K., (2021). Endophytic Bacteria Isolated from Higher Plant in Aceh, Indonesia, and Their Chemical Compounds Activity Against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 31(1):2–7.
- Mishra, J., & Arora, N. K. (2018). Secondary Metabolites Of Fluorescent *pseudomonads* in Biocontrol Of Phytopathogens For Sustainable Agriculture. *Applied Soil Ecology*. 125:35-45.
- Mueller, M., Janngoon, K., Puttipan, R., Unger, F. M., Viernstein, H., & Okonogi, S. (2015) ‘Antiinflammatory, Antibacterial, And Antioxidant Activities Of Thai Medicinal Plants’. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 7(11):123–128.
- Mugiastuti, E. Manan, A. Rahayuniati, F, R. dan Soesanto, L. (2019). Aplikasi *Bacillus* sp. untuk Mengendalikan Penyakit Layu *Fusarium* Pada Tanaman Tomat. *Jurnal Agro*. 6 (2):144-152.
- Mugiastuti, E. ., Rahayuniati, R. F. & Sulistyanto, P. (2012). Pemanfaatan *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas flourescens* Untuk Mengendalikan Penyakit Layu Tomat Akibat Sinergi *Ralstonia solanacearum* dan *Meloidogyne* sp. Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Sumber Daya Pedesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan II. 72 -77.
- Muis, Amran, & Suriani. 2016. Prospek *Bacillus subtilis* sebagai Agen Pengendali Hayati Patogen Tular Tanah pada Tanaman Jagung. *Jurnal Litbang Pert*. 35(1):37-45.
- Nair, K., Al-Thani, R., Al-Thani, D., Al-Yafei, F., Ahmed, T., & Jaoua, S. (2018). Diversity of *Bacillus thuringiensis* strains From Qatar As Shown By Crystal Morphology,  $\Delta$ -Endotoxins And Cry Gene Content. *Frontiers in microbiology*. 9:708.
- Nasiroh U, Isnawati, dan Trimulyono G, 2015. Aktivitas Antifungi *Serratia marcescens* terhadap *Alternaria porri* Penyebab Penyakit Bercak Ungu Secara *in Vitro*. *Lenterabio*. 4(1): 13-18
- Nurzannah, S.E., Lisnawita & Bakti,D. (2014). Potensi Jamur Endofit Asal Cabai Sebagai Agens Hayati Untuk Mengendalikan Layu *Fusarium* (*Fusarium* sp.) pada cabai dan interaksinya. *Jurnal Online Agroekoteknologi*. 2(3):1230-1238.
- Oktavia, N., & Sri Pujiyanto, dan. (2018). 6 Isolasi dan Uji Antagonisme Bakteri Endofit Tapak Dara (*Catharanthus Roseus*, L.) terhadap Bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. *Berkala Bioteknologi*. 1(1), 6–12.

- Ongena, M., & Jacques, P. (2008). *Bacillus lipopeptides: Versatile Weapons For Plant Disease Biocontrol. Trends in Microbiology*. 16(3):115-125.
- Pardede, E.N., Wirya, G.N.A., & Khalimi, K. (2022). Efektivitas *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp. untuk Pengendalian Penyakit Busuk Batang (*Fusarium Oxysporum* sp.) pada Tanaman Vanili (*Vanilla Planifolia*). *Journal on Agriculture Science*. 12(1):63–75.
- Prajawahyudo, T., K. P. Asiaka, F., & Ludang, E. (2022). Peranan Keamanan Pestisida Di Bidang Pertanian Bagi Petani dan Lingkungan. *Journal Socio Economics Agricultural*. 17(1):1–9.
- Pratiwi, A. E. (2015). Isolasi, Seleksi dan Uji Aktivitas Antibakteri Mikroba Endofit Dari Daun Tanaman *Garcinia benthami* Pierre Terhadap *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Shigella dysenteriae*, dan *Salmonella typhimurium*. UIN Syarif Hidayatullah. Program Studi Farmasi. Jakarta: Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan.
- Rachmawaty S. P., Tius, S. E., & Yuninda, K. W. (2015). Enzim Kirinase dan Aplikasi di Bidang Industri. *Chitinase and Aplication*. 3(3):878-887.
- Rizki, H., Hakim, L., & Alfizar, A. (2024). Potensi Agens Hayati Bakteri dalam Menghambat Pertumbuhan dan Perkembangan Cendawan *Fusarium* sp. *In-Vitro*. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*. 9(1):678-686.
- Sari, W., Wiyono, S., Nurmansyah, A., Munif, A., & Poerwanto, R. (2018). Keanekaragaman dan Patogenisitas *Fusarium* spp. Asal Beberapa Kultivar Pisang. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 13(6):216.
- Sastrahidayat, R., Sulistyowati, L., Djauhari, S., Muhibuddin, A., & Saleh, N. (2010). Biocontrol of *Sclerotium rolfii* (Caused Damping-Off Disease) on Soybean Varieties Using *Streptomyces* sp. and Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *In Proceeding of The 8th International Symposium on Biocontrol and Biotechnology*. (83-91).
- Saxena, A. K., Kumar, M., Chakdar, H., Anuroopa, N., & Bagyaraj, D. J. (2020). *Bacillus* species in Soil As A Natural Resource For Plant Health and Nutrition. *Journal of Applied Microbiology*. 128(6):1583-1594.
- Sholihah, Risma Imroatus, 2019. Identifikasi Jamur *Fusarium solani* yang Berasosiasi dengan Penyakit Busuk Batang Pada Tanaman Buah Naga (*Hylocereus* sp.) di Kecamatan Bangorejo, Kabupaten Banyuwangi. *E-Jurnal Agroteknologi Tropika*. 8(1):91-102.
- Singh AK, & Chhatpar HS. (2011). Purification, Characterization And Thermodynamics Of Antifungal Protease From *Streptomyces* sp. A6. *Journal of Basic Microbiology*. 51(4):424–432.



- Sudantha, I. M., Dewi, M., Mujahadah, S., Aldian, M. N., Wihelmina, C., Ariati, D. M., Pratama, A. S., & Ramadhan, Y. (2020). Pemanfaatan Limbah Urine Sapi Sebagai Bionutrisi (Pupuk Organik Cair 'Biourine') Untuk Budidaya Tanaman Holtikultura Dengan Media Hidroponik Di Desa Senteluk, Kecamatan Batu Layar Kabupaten Lombok Barat. *In Prosiding Seminar Nasional Gelar Wicara*. 1(1):132-138).
- Sudewi, S., A. Ala, Baharuddin dan M. Farid. (2020). Keragaman Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) Pada Tanaman Padi Varietas Unggul Baru (Vub) Dan Varietas Lokal Pada Percobaan Semi Lapangan. *Jurnal Agrikultura*. 31(1):15-24.
- Sumi, C. D., Yang, B. W., Yeo, I. C., & Hahm, Y. T. (2015). Antimicrobial Peptides Of The Genus *Bacillus*: A New Era For Antibiotics. *Canadian. Journal of Microbiology*. 61(2):93-103.
- Suryanti, I. A. P., Ramona, Y., & Proborini, M. W. (2015). Isolasi Dan Identifikasi Jamur Penyebab Penyakit Layu dan Antagonisnya Pada Tanaman Kentang yang Dibudidayakan Di Bedugul, Bali. *Jurnal Biologi Udayana*. 17(2).
- Suwardani, N. W., Purnomowati, E. T. Suciarto. (2014). Kajian Penyakit Yang Disebabkan Oleh Cendawan Pada Tanaman Cabai Merah (*Capsicum Annum* L.) Di Pertanaman Rakyat Kabupaten Brebes. *Scripta Biologica*. 1(3):223-226.
- Suwarno, S.J. and Masnilah, R., (2020). Potensi *Bacillus* spp. sebagai Agen Biokontrol untuk Menekan Layu *Fusarium* (*Fusarium oxysporum*) pada Tanaman Melon (*Cucumis melo* L.). *Jurnal Pengendalian Hayati*. 3(1):22–28.
- Tortora GJ, Berdell RF & Chirstine LC. (2001). *Microbiology An Introduction*. Pearson Benjamin Cummings, San Francisco.
- Wakhidah, N., Kasrina, & Bustaman, H. (2021). Keanekaragaman Jamur Patogen dan Gejala yang Ditimbulkan pada Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annum* L.) di Dataran Rendah. *Jurnal Konservasi Hayati*. 17(2):63–68.
- Wick, C. H. (2013). *Identifying Microbes by Mass Spectrometry Proteomics*. New York : Taylor and Francis Group.
- Widiantini, F., Yulia, E., & Nasahi, C. (2018). Potensi Antagonisme Senyawa Metabolit Sekunder Asal Bakteri Endofit dengan Pelarut Metanol terhadap Jamur *G. boninense* Pat. *Jurnal Agrikultura*. 29(1):55-60.

Wildan, M. K., Suryaminarsih, P., & Purnawati, A. (2021). Potensi Asap Cair Tempurung Kelapa untuk Mengendalikan Penyakit Layu *Fusarium* pada Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annuum* L.) In Vivo. *Prosiding Seminar Nasional Agroteknologi*, 34–43. ISBN: 978-623-93261-5-9.

World Bank. (2025, Mei 30). Agriculture and food.  
<https://www.worldbank.org/en/topic/agriculture/overview>