

**EKSPLORASI BAKTERI ENDOFIT CABAI DAN *FREE CELL*
SUPERNATANT SEBAGAI PEMACU PERTUMBUHAN DAN MENEKAN
PERKEMBANGAN PENYAKIT KUNING CABAI**

SKRIPSI

Oleh

**Desma Nadiyanti
2214191091**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

EKSPLORASI BAKTERI ENDOFIT CABAI DAN *FREE CELL SUPERNATANT* SEBAGAI PEMACU PERTUMBUHAN DAN MENEKAN PERKEMBANGAN PENYAKIT KUNING CABAI

Oleh

DESMA NADIYANTI

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi bakteri endofit tanaman cabai dan *free cell supernatant* (FCS) yang berpotensi sebagai pemacu pertumbuhan tanaman dan menekan perkembangan penyakit kuning. Penelitian ini dilakukan pada April 2025 – Maret 2026 di Laboratorium Bioteknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung dan di lahan percobaan, Kecamatan Rajabasa, Lampung Selatan. Sebanyak 67 isolat bakteri berhasil diisolasi dari daun, batang, dan akar tanaman cabai sehat. Tiga isolat terpilih, yaitu B2P1.3, B2P1.4, dan B2P1.5, dipilih berdasarkan kemampuan melarutkan fosfat tinggi dan memproduksi siderofor, kemudian diuji lebih lanjut sebagai *plant growth promoting bacteria* (PGPB) serta kemampuannya sebagai agen biokontrol penyakit kuning cabai di lapangan. Pengujian lapangan dilakukan menggunakan sel hidup bakteri dan FCS. Hasil uji di lapangan menunjukkan bahwa ketiga isolat bakteri endofit tersebut menunjukkan kecenderungan positif dalam memacu pertumbuhan tanaman serta berpotensi menekan perkembangan penyakit kuning tanaman lainnya, seperti bercak daun dan antraknosa. Hasil identifikasi menggunakan gen pengkode 16S rDNA menunjukkan bahwa dua diantara tiga isoat tersebut (isolat B2P1.3 dan B2P1.5) termasuk ke dalam spesies *Pseudomonas oryzyhabitans*.

Kata kunci: Bakteri endofit, biokontrol, cabai, *free cell supernatant*, penyakit kuning.

ABSTRACT

EXPLORATION OF CHILI ENDOPHYTIC BACTERIA AND THEIR FREE CELL SUPERNATANT AS PLANT GROWTH PROMOTERS AND SUPPRESSORS OF CHILI YELLOW DISEASE DEVELOPMENT

By

DESMA NADIYANTI

This study aimed to explore endophytic bacteria isolated from chili plants and their free cell supernatant (FCS) for their potential to promote plant growth and suppress the development of chili yellow disease. The study was conducted from April 2025 to March 2026 at the Agricultural Biotechnology Laboratory, Faculty of Agriculture, Universitas Lampung, and at an experimental field in Rajabasa District, South Lampung. A total of 67 bacterial isolates were successfully obtained from the leaves, stems, and roots of healthy chili plants. Three selected isolates, namely B2P1.3, B2P1.4, and B2P1.5, were chosen based on their high phosphate-solubilizing ability and siderophore production. These isolates were further evaluated for their potential as plant growth-promoting bacteria (PGPB) and as biological control agents against chili yellow disease under field conditions. Field experiments were conducted using both viable bacterial cells and their FCS. The results demonstrated that all three endophytic bacterial isolates showed positive potential to enhance plant growth and suppress the development of chili yellow disease, as well as other plant diseases, including leaf spot and anthracnose. Molecular identification based on the 16S rDNA gene revealed that two of the three selected isolates (B2P1.3 and B2P1.5) belonged to the species *Pseudomonas oryzae*.

Keywords: biological control, chili, endophytic bacteria, free cell supernatant, plant growth-promoting bacteria, yellow disease.

**EKSPLORASI BAKTERI ENDOFIT CABAI DAN *FREE CELL*
SUPERNATANT SEBAGAI PEMACU PERTUMBUHAN DAN MENEKAN
PERKEMBANGAN PENYAKIT KUNING CABAI**

Oleh

DESMA NADIYANTI

Skripsi

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

pada

**Jurusan Proteksi Tanaman
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul Skripsi

: **EKSPLORASI BAKTERI ENDOFIT CABAI
DAN *FREE CELL SUPERNATANT* SEBAGAI
PEMACU PERTUMBUHAN DAN MENEKAN
PERKEMBANGAN PENYAKIT KUNING
CABAI**

Nama Mahasiswa

: **Desma Nadiyah**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2214191091

Fakultas

: Pertanian



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Prof. Dr. Radix Suharjo, S.P., M.Agr.
NIP. 198106212005011003

Selvi Holina, S.P., M.Sc.
NIP. 198809282024212001

2. Ketua Jurusan Proteksi Tanaman

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Prof. Dr. Radix Suharjo, S.P., M.Agr.**



Sekretaris : **Selvi Helina, S.P., M.Sc.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. R. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.

NIP 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **3 Juni 2026**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "**Eksplorasi Bakteri Endofit Cabai dan *Free Cell Supernatant* sebagai Pemacu Pertumbuhan dan Menekan Perkembangan Penyakit Kuning Cabai**" merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan hasil karya orang lain. Semua hasil yang tertulis dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 3 Juli 2026
Penulis



Desma Nadiyanti
NPM. 2214191091

RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir di Way Kanan, 19 Desember 2004 sebagai anak keempat dari Bapak Mispan dan Ibu Eti Tri Lestari. Riwayat pendidikan penulis dimulai di PAUD Kasih Ibu, kemudian dilanjutkan ke Sekolah Dasar di SD Negeri 1 Lembasung, Kecamatan Blambangan Umpu, Kabupaten Way Kanan, Lampung dan lulus pada tahun 2016. Pendidikan Sekolah Menengah Pertama ditempuh di SMP Negeri 1 Blambangan Umpu, Kecamatan Blambangan Umpu, Kabupaten Way Kanan, pada tahun 2019. Selanjutnya, penulis menyelesaikan Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Blambangan Umpu, Kecamatan Blambangan Umpu, Kabupaten Way Kanan, pada tahun 2022. Pada tahun yang sama, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, melalui jalur SBMPTN.

Tahun 2023, penulis melaksanakan Praktik Pengenalan Pertanian (P3) di Desa Karya Mulya Sari, Kecamatan Candipuro, Lampung Selatan. Pada tahun 2025, penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Way Lunik, Kecamatan Abung Selatan, Kabupaten Lampung Utara, dan Praktik Umum (PU) di Balai Penerapan Modernisasi Pertanian (BRMP) Banten. Selama menjalani perkuliahan penulis aktif mengikuti program penelitian bersama dosen dan menjadi asisten praktikum pada praktikum Dasar-Dasar Perlindungan Tanaman, Dasar-Dasar Ilmu Tanah, Bakteriologi Tumbuhan, dan Pengantar Genetika Proteksi Tanaman. Selain itu, penulis juga mengikuti Unit Kegiatan Mahasiswa Forum Studi Islam Fakultas Pertanian (UKMF FOSI FP) sebagai anggota Biro Badan Semi Otonom Bimbingan Baca Qur'an pada periode 2023 dan Bendahara Umum pada periode 2024.

PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur dan segala kerendahan hati, karya tulis ini penulis persembahkan sebagai ungkapan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, almarhum Bapak Mispan dan Ibu Eti Tri Lestari, yang senantiasa memberikan restu, doa, dukungan, dan kasih sayang yang tiada henti kepada penulis sedari penulis kecil serta menjadi salah satu alasan terbesar penulis untuk terus semangat dalam mengejar dan mewujudkan mimpinya,
2. Kakak-kakak penulis, Julia Chandra Wibowo, Masyamah, dan Ria Usmiyati, atas segala dukungan, baik materi maupun *nonmateri*, serta perhatian yang selalu diberikan kepada penulis,
3. Kim Junmyeon, Kim Jongin, dan Choi Seungcheol, yang kehadirannya telah memberikan pengaruh besar kepada penulis dalam dunia pendidikan, dan
4. Diri penulis sendiri, Desma Nadiyanti, atas segala perjuangan, ketekunan, dan semangat yang tidak pernah padam dalam menuntaskan janji serta meraih cita-cita.

MOTTO

“Jangan takut, sesungguhnya Aku bersama kalian berdua, Aku mendengar dan
Aku melihat.”

-QS Thaha: 46-

“Never let anyone, including yourself, belittle your dreams”

-Joshua Hong-

“The person who you can rely on the most is yourself”

-So Junghwan-

“It’s your first time living in this world, so it’s okay to make mistakes.”

-Hoshi-

“Get your diploma!”

-SEVENTEEN’s and CARATs’ Leader-

SANWACANA

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji Syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan berkat, rahmat, karunia dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis yang berjudul **“Eksplorasi Bakteri Endofit Cabai dan Free Cell Supernatant sebagai Pemacu Pertumbuhan dan Menekan Perkembangan Penyakit Kuning Cabai”**. Sholawat serta salam tidak lupa selalu penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW, yang syafaat-Nya senantiasa dinantikan di Yaumul akhir kelak. Karya tulis ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Pertanian di Universitas Lampung. Penyusunan karya tulis ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, yang telah memberikan fasilitas kepada penulis dalam menjalani perkuliahan serta melaksanakan penelitian,
2. Dr. Tri Maryono, S.P., M.Si., selaku Ketua Jurusan Proteksi Tanaman Universitas Lampung,
3. Prof. Radix Suharjo, S.P., M.Agr., Ph.D., selaku pembimbing utama dan pembimbing akademik, yang telah memberikan bimbingan, saran, motivasi, nasihat, arahan, dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian dan karya tulis ini,
4. Ibu Selvi Helina, S.P., M.Sc., selaku pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, dukungan, saran, motivasi, dan semangat selama proses penelitian dan penulisan karya tulis ini hingga selesai,
5. Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P., selaku penguji, yang telah memberikan arahan dan saran dalam pelaksanaan penelitian serta penyempurnaan karya

tulis ini hingga dapat diselesaikan,

6. Kedua orang tua penulis, almarhum Bapak Mispan dan Ibu Eti Tri Lestari yang selalu memberikan doa, dukungan, kasih sayang, dan semangat kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan di Universitas Lampung,
7. Mba Amah dan Mba Yaya, yang telah memberikan doa, dukungan, dan semangat kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan penulis di Universitas Lampung,
8. Mba Tari, Mba Lydia, Mba Fauziah, Mba Fitri, Mba Mei, dan Mba Dyah, yang telah membantu penulis selama melakukan penelitian di laboratotium,
9. Tika, Amel, Anggun, Puspa, Wida, Putri, Nocha, Vanes, Rupa, Erin, Gani, Toga, Apief, Hengki, Naufal, selaku teman satu bimbingan yang telah membantu penulis selama penelitian,
10. Sifa, Tika, Nadia, Bening, Dinta, Dina, Firda, almarhumah Sava, Mba Lina, Tika, Dwi, Nadya, Jesica, dan Feta selaku sahabat tercinta yang selalu memberikan doa, dukungan, dan semangat selama penulis menyelesaikan pendidikan di Universitas Lampung,
11. Teman-teman pimpinan UKMF FOSI FP Unila periode 2024, khususnya pimpinan akhwat, yang selalu menjadi rumah untuk penulis dan selalu memberikan doa, dukungan, semangat, serta motivasi selama penulis menyelesaikan pendidikan di Universitas Lampung,
12. Teman-teman Jurusan Proteksi Tanaman angkatan 2022 yang telah menemani penulis dari awal hingga akhir pendidikan di Jurusan Proteksi Tanaman, dan
13. Kim Junmyeon, Kim Minseok, Zhang Yixing, Byun Baekhyun, Park Chanyeol, Kim Jongdae, Doh Kyungsoo, Kim Jongin, Oh Sehun, Choi Seungcheol, Yoon Jeonghan, Joshua Hong, Wen Junhui, Kwon Soonyoung, Jeon Wonwoo, Lee Jihoon, Lee Seokmin, Kim Mingyu, Xu Minghao, Boo Seungkwan, Vernon Chwe, Lee Chan, Choi Hyunsuk, Park Jihoon, Kanemoto Yoshinori, Kim Junkyu, Takata Mashiho, Yoon Jaehyuk, Hamada Asahi, Bang Yedam, Kim Doyoung, Watanabe Haruto, Park Jeongwoo, dan So Junghwan karena telah menjadi salah satu alasan penulis untuk selalu bahagia. Terima kasih telah mengajarkan arti kerja keras dan pantang menyerah. Melihat

dedikasi kalian dalam meraih mimpi, memotivasi penulis untuk tidak menyerah dalam menyelesaikan pendidikan ini.

Dengan tulus, penulis mengucapkan terima kasih atas doa, dukungan, saran, semangat, dan motivasi yang telah diberikan. Semoga karya tulis ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca dan terkhusus kepada penulis.

Bandar Lampung, 3 Juli 2026
Penulis

Desma Nadiyanti
NPM. 2214191091

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
 I. PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Kerangka Pemikiran.....	3
1.4 Hipotesis.....	5
 II. TINJAUAN PUSTAKA	 6
2.2 Tanaman Cabai Merah	6
2.2 Penyakit Kuning.....	7
2.3 Bakteri Endofit	7
2.3.1 Kajian Hubungan Bakteri Endofit dengan Tanaman	7
2.3.2 Mekanisme Bakteri Endofit sebagai Agen Biokontrol	8
2.4 <i>Free Cell Supernatant</i> (FCS).....	8
 III. METODE PENELITIAN	 10
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	10
3.2 Alat dan Bahan	10
3.3 Pelaksanaan Penelitian	11
3.3.1 Sampel Tanaman Cabai	11
3.3.2 Pengambilan Tanaman Cabai	11
3.3.3 Isolasi Bakteri Endofit	12

3.3.4 Karakterisasi Isolat Bakteri Endofit	13
3.3.5 Uji Kemampuan Bakteri Endofit	16
3.3.6 Pembuatan Suspensi Bakteri	20
3.3.7 Pembuatan <i>Free Cell Supernatant</i> (FCS)	20
3.3.8 Aplikasi Bakteri Endofit Terpilih dan FCS di Lahan	21
3.3.9 Pengamatan	21
3.3.10 Identifikasi Molekuler Isolat Bakteri Endofit Terpilih	24
3.3.11 Analisis Data	26
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Hasil Penelitian	28
4.1.1 Hasil Isolasi Bakteri Endofit dari Tanaman Cabai	28
4.1.2 Karakterisasi Bakteri Endofit	29
4.1.3 Uji Kemampuan Bakteri Endofit	33
4.1.4 Aplikasi Bakteri Endofit Terpilih dan FCS di Lahan	40
4.1.5 Identifikasi Molekuler Isolat Bakteri Endofit Terpilih	50
4.2 Pembahasan	51
V. SIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Simpulan	59
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	69

DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
1. Skor keparahan penyakit pada bibit mentimun dalam uji hipovirulen	15
2. Perlakuan aplikasi bakteri endofit dan FCS pada tanaman cabai	21
3. Skor keparahan penyakit	22
4. Isolat bakteri dari tanaman cabai berdasarkan bagian tanaman dan tempat pengambilan sampel.....	28
5. Nilai DSI hasil uji hipovirulen isolat bakteri	32
6. Hasil uji pelarut fosfat dan uji produksi siderofor tiga isolat terpilih	34
7. Keterjadian dan keparahan penyakit kuning di lapangan	41
8. Keterjadian dan Keparahahan penyakit lain yang ditemukan di lapangan.....	47
9. Data tinggi tanaman mentimun	70
10. Analisis ragam tinggi tanaman mentimun.....	70
11. Data jumlah daun tanaman mentimun.....	70
12. Analisis ragam jumlah daun tanaman mentimun	70
13. Data kandungan klorofil daun tanaman mentimun	70
14. Analisis ragam kandungan klorofil daun tanaman mentimun.....	70
15. Data bobot basah tajuk tanaman mentimun	71
16. Analisis ragam bobot basah tajuk tanaman mentimun.....	71
17. Data bobot kering tajuk tanaman mentimun	71
18. Analisis ragam bobot kering tajuk tanaman mentimun.....	71
19. Data bobot basah akar tanaman mentimun	71
20. Analisis ragam bobot basah akar tanaman mentimun.....	71
21. Data bobot kering akar tanaman mentimun	72
22. Analisis ragam bobot kering akar tanaman mentimun.....	72
23. Data panjang akar tanaman mentimun.....	72

24. Analisis ragam panjang akar tanaman mentimun.....	72
25. Data keparahan penyakit kuning cabai	72
26. Analisis ragam keparahan penyakit kuning cabai	73
27. Data keterjadian penyakit kuning cabai	73
28. Data selisih tinggi tanaman cabai.....	73
29. Data selisih jumlah daun tanaman cabai	74
30. Data kandungan klorofil daun tanaman cabai.....	74
31. Data transformasi kandungan klorofil daun tanaman cabai.....	74
32. Analisis ragam kandungan klorofil daun tanaman cabai.....	74
33. Data bobot buah cabai.....	75
34. Analisis ragam bobot buah cabai.....	75
35. Data jumlah buah cabai.....	75
36. Analisis ragam jumlah buah cabai.....	75
37. Data keparahan penyakit bercak daun.....	76
38. Analisis ragam keparahan penyakit bercak daun	76
39. Data keterjadian penyakit bercak daun	76
40. Analisis ragam keterjadian penyakit bercak daun.....	76
41. Data keparahan penyakit antraknosa.....	77
42. Analisis ragam keparahan penyakit antraknosa	77
43. Data keterjadian penyakit antraknosa	77
44. Analisis ragam keterjadian penyakit antraknosa	77
45. Data keparahan penyakit hawar ranting	78
46. Analisis ragam keparahan penyakit hawar ranting.....	78
47. Data keterjadian penyakit hawar ranting.....	78
48. Analisis ragam keterjadian penyakit hawar ranting	78
49. Data keterjadian penyakit layu.....	79
50. Analisis ragam keterjadian penyakit layu	79
51. Seleksi bakteri endofit.....	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
1. Skema uji pelarut fosfat isolat bakteri.....	16
2. Skor gejala penyakit kuning: a) Skor 0, b) Skor 1, c) Skor 2, d) Skor 3, dan e) Skor 4.	23
3. Sampel tanaman cabai: a) Daun, b) Batang, dan c) Akar.	26
4. Sebagian isolat bakteri endofit tanaman cabai.	29
5. Uji Gram dengan KOH 3%: a) Kelompok bakteri Gram negatif, dan b) Kelompok bakteri Gram positif.	29
6. Uji soft rot pada umbi kentang: a) <i>Soft rot</i> negatif, dan b) <i>Soft rot</i> positif.	30
7. Uji hipersensitif pada tanaman tembakau menunjukkan reaksi negatif.....	30
8. Uji oksidatif/fermentatif: a) Kelompok bakteri oksidatif, dan b) Kelompok bakteri fermentatif.....	31
9. Uji hipovirulen pada tanaman mentimun: a) Kecambah menunjukkan gejala bercak coklat dan kebasahan, dan b) Kecambah sehat atau tidak menunjukkan gejala penyakit.....	31
10. Isolat bakteri endofit tanaman cabai: a) Mampu melarutkan fosfat, dan b) Tidak mampu melarutkan fosfat.	33
11. Uji siderofor: a) Reaksi negatif pada uji siderofor tipe hidroksamat, dan b) Reaksi positif pada uji siderofor tipe katekolat dengan ditunjukkan adanya perubahan warna dari bening (B) ke merah muda (P).	34
12. Pengaruh beberapa isolat bakteri endofit terhadap tinggi tanaman mentimun pada uji PGPB.....	35
13. Perbandingan tinggi tanaman hasil uji PGPB bakteri endofit tanaman cabai: a) Isolat B2P1.4, b) Isolat B2P1.3, c) Kontrol, dan d) Isolat B2P1.5.....	35
14. Pengaruh beberapa isolat bakteri endofit terhadap jumlah daun tanaman mentimun pada uji PGPB.	36

15. Pengaruh beberapa isolat bakteri endofit terhadap kandungan klorofil daun tanaman mentimun pada uji PGPB.	37
16. Pengaruh beberapa isolat bakteri endofit terhadap bobot basah tajuk tanaman mentimun pada uji PGPB.	37
17. Pengaruh beberapa isolat bakteri endofit terhadap bobot basah akar tanaman mentimun pada uji PGPB.	38
18. Pengaruh beberapa isolat bakteri endofit terhadap bobot kering tajuk tanaman mentimun pada uji PGPB.	38
19. Pengaruh beberapa isolat bakteri endofit terhadap bobot kering akar tanaman mentimun pada uji PGPB.	39
20. Pengaruh beberapa isolat bakteri endofit terhadap panjang akar tanaman mentimun pada uji PGPB.	40
21. Perbandingan panjang akar hasil uji PGPB bakteri endofit tanaman cabai: a) Kontrol, b) Isolat B2P1.3, c) Isolat B2P1.5, dan d) Isolat B2P1.4.....	40
22. Gejala penyakit akibat patogen virus di lapangan: a) Warna daun tidak seragam dan <i>interveinal chlorosis</i> , b) Daun berukuran kecil pada bagian pucuk, c) Mosaik, daun bergelombang dan ukuran daun relatif kecil, dan d) Tanaman kerdil, daun kecil, keriting, dan mengkerut.....	42
23. Pengaruh isolat dan bakteri dan FCS terhadap penambahan tinggi tanaman cabai.....	43
24. Pengaruh isolat bakteri dan FCS terhadap penambahan jumlah daun tanaman cabai.....	44
25. Pengaruh isolat bakteri endofit dan FCS terhadap kandungan klorofil daun tanaman cabai.....	44
26. Pengaruh isolat bakteri dan FCS terhadap bobot buah cabai.....	45
27. Perbandingan bobot buah cabai antar perlakuan: a) Kontrol, b) FCS B2P1.3, c) FCS B2P1.4, d) Isolat B2P1.5, e) Isolat B2P1.3, f) Isolat B2P1.4, dan g) Isolat B2P1.5.	45
28. Pengaruh isolat bakteri dan FCS terhadap jumlah buah cabai.....	46
29. Gejala penyakit: a) Bercak daun, b) Hawar ranting, c) Antraknosa, dan d) Layu.	48
30. Pengaruh isolat bakteri dan FCS terhadap populasi kutu daun.....	48
31. Pengaruh isolat bakteri dan FCS terhadap populasi kutu putih.	49
32. Pengaruh isolat bakteri dan FCS terhadap populasi kutu kebul.....	50
33. Serangga yang ditemukan di lapangan: a) Kutu daun, b) Kutu daun, c) Kutu daun, d) Kutu kebul, dan e) Kutu putih.....	50

34. Pohon filogenetik hasil sekuens 16S rDNA yang dibuat menggunakan metode <i>Maximum Likelihood Tree</i> menunjukkan isolat B2P1.3 dan B2P1.5 berada dalam satu kelompok dengan <i>Pseudomonas oryzihabitans</i>	51
--	----

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanaman cabai merah (*Capsicum annuum* L.) merupakan tanaman hortikultura yang tergolong kedalam famili Solanaceae (Agustina dkk., 2014). Cabai merah banyak dibudidayakan dan berkontribusi penting dalam perekonomian di Indonesia (Dzikrillah dkk., 2023). Menurut data Badan Pusat Statistik (2024) produksi cabai merah di Indonesia periode 2021-2023 telah mencapai 4,39 juta ton dan menempati posisi ketiga produksi tanaman hortikultura terbesar setelah bawang merah dan cabai rawit.

Cabai diketahui menjadi salah satu komoditas yang berperan sebagai kontributor inflasi. Hal ini dikarenakan daya beli konsumen dan kestabilan pendapatan petani cabai dipengaruhi oleh harga cabai yang sering mengalami fluktuasi (Sarki dkk., 2022). Pada Agustus 2022, cabai merah dicatat sebagai penyumbang utama inflasi sebesar 156,61% *year-on-year* (Adana dkk., 2023). Salah satu penyebab terjadinya fluktuasi harga cabai ialah tidak stabilnya ketersediaan cabai yang dipengaruhi oleh faktor cuaca, seperti curah hujan, kekeringan, dan gangguan dari organisme pengganggu tanaman (OPT) (Zahra dkk., 2024).

Virus merupakan salah satu patogen yang sangat merusak pada tanaman cabai. Kerusakan yang disebabkan oleh infeksi virus tidak hanya menyebabkan penurunan kualitas pada buah, tetapi juga berpengaruh terhadap kuantitas buah. Hannum dkk. (2019) melaporkan kerugian akibat infeksi virus dari kelompok *Begomovirus* dapat mencapai 100% yang ditandai dengan gejala daun menggulung serta tulang daun menjadi transparan. Gejala yang ditimbulkan oleh

infeksi virus bervariasi tergantung dari interaksi antara jenis virus dengan inangnya, serta interaksi antar jenis virus yang berbeda (Taufik dkk., 2023).

Pengendalian penyakit akibat infeksi virus umumnya lebih sulit dilakukan karena virus tidak dapat dikendalikan secara langsung. Oleh karena itu, petani mengendalikan serangga vektor sebagai penyebar virus menggunakan insektisida yang diaplikasikan secara rutin dan terjadwal (Gunaeni, 2015). Namun, penggunaan insektisida yang berlebih dilaporkan dapat menimbulkan berbagai risiko, seperti resistensi serangga vektor, pencemaran lingkungan, dan kematian hewan *nontarget* (Sari, 2019). Kondisi tersebut mendorong perlunya alternatif pengendalian yang lebih ramah lingkungan. Salah satu alternatif pengendalian yang saat ini sedang banyak diteliti dan dikembangkan adalah pemanfaatan agen biokontrol berbasis mikroba (Chaudhary dkk., 2024). Salah satunya adalah bakteri endofit *indigenous*.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa bakteri endofit memiliki potensi dalam menekan perkembangan penyakit akibat infeksi virus tanaman. Kemampuan tersebut berkaitan dengan produksi metabolit sekunder antivirus, kompetisi ruang dan nutrisi di dalam jaringan tanaman, serta kemampuannya dalam menginduksi sistem pertahanan tanaman (Sorokan dkk., 2020). Interaksi antara bakteri endofit dan tanaman inang dapat meningkatkan toleransi tanaman terhadap infeksi virus sehingga gejala penyakit menjadi lebih ringan dan perkembangan virus dapat terhambat. Selain itu, beberapa bakteri endofit dilaporkan mampu menghasilkan fitohormon, siderofor, lipopeptida, dan metabolit bioaktif lainnya yang berperan dalam menghambat replikasi maupun penyebaran virus di dalam jaringan tanaman (Zhao dkk., 2024).

Bakteri endofit didefinisikan sebagai mikroorganisme yang mengkolonisasi jaringan tanaman hidup tanpa merusak dan menimbulkan penyakit bagi tanaman (Anantha dkk., 2017). Bakteri endofit dilaporkan dapat berperan sebagai *Plant Growth Promoting Bacteria* (PGPB) dengan cara meningkatkan efisiensi nutrisi tanaman melalui berbagai mekanisme, seperti fiksasi nitrogen, pelarut fosfor dan zat besi dalam tanah, produksi fitohormon, serta induksi ketahanan sistemik

tanaman (*Induced Systemic Resistance*, ISR) (Ramirez dkk., 2024). Salah satu mekanisme penting bakteri endofit dalam menekan penyakit tanaman adalah melalui induksi ketahanan sistemik atau ISR. ISR merupakan mekanisme pertahanan tanaman yang dipicu oleh mikroorganisme menguntungkan sehingga tanaman menjadi lebih siap dalam menghadapi serangan patogen. Aktivasi ISR melibatkan jalur sinyal jasmonat dan etilen yang mampu meningkatkan produksi senyawa pertahanan, memperkuat dinding sel, serta mengaktifkan enzim-enzim pertahanan tanaman. Mekanisme ini tidak bekerja secara langsung membunuh patogen, tetapi meningkatkan kemampuan alami tanaman dalam menekan perkembangan penyakit, termasuk penyakit yang disebabkan oleh virus (Pieterse dkk., 2014).

Senyawa metabolit yang dikeluarkan oleh bakteri endofit juga dilaporkan mampu menekan infeksi virus tanaman. Bakteri endofit yang diisolasi dari daun tanaman kentang dan gandum dilaporkan mengeluarkan senyawa yang dapat berperan sebagai perisai terhadap infeksi virus kentang Y (PVY), virus kentang S (PVS), dan virus kentang M (PVM) pada tanaman kentang (Sorokan dkk., 2020). Kemampuan tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan bakteri endofit beserta senyawa metabolitnya berpotensi dikembangkan sebagai agen biokontrol yang ramah lingkungan dalam pengendalian penyakit kuning pada tanaman cabai.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi bakteri endofit cabai dan *free cell supernatant* (FCS) yang berpotensi untuk meningkatkan ketahanan tanaman cabai terhadap penyakit kuning dan sebagai pemacu pertumbuhan tanaman.

1.3 Kerangka Pemikiran

Salah satu agen hayati yang berpotensi sebagai biokontrol berasal dari kelompok mikroba endofit. Pengendalian berbasis mikroba endofit merupakan salah satu metode pengendalian yang ramah lingkungan. Salah satu mikroba endofit yang banyak ditemukan di lapangan adalah bakteri endofit (Harrison dan Griffin, 2021).

Bakteri endofit berasal dari rizosfer yang kemudian masuk ke dalam tanaman melalui luka pada akar, stomata, lentisel, titik tumbuh akar lateral dan radikula yang sedang berkecambah (Santoyo dkk., 2016). Bakteri endofit umumnya berada di antara sel-sel tanaman. Meskipun hidup di dalam jaringan tanaman, bakteri endofit tidak dapat menimbulkan penyakit bagi tanaman (Narayanan dan Glick, 2022).

Bakteri endofit diketahui dapat memberikan keuntungan bagi tanaman yaitu sebagai PGPB dan agen biokontrol. Penggunaan bakteri endofit sebagai agen biokontrol dipercaya dapat melindungi tanaman dari infeksi patogen, seperti virus, bakteri, dan jamur (Shahzad dkk., 2022). Christina dkk. (2013) melaporkan bahwa beberapa spesies bakteri endofit telah dikonfirmasi mampu menghasilkan senyawa metabolit sekunder berupa fitohormon, enzim, siderofor, antibiotik, dan senyawa dengan berat molekul rendah. Senyawa-senyawa bioaktif tersebut berperan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman secara langsung melalui produksi fitohormon dan peningkatan ketersediaan unsur hara, serta melindungi tanaman secara tidak langsung melalui penghambatan patogen dan induksi ketahanan sistemik (Narayanan dan Glick, 2022).

Sihombing dkk. (2019) melaporkan bahwa bakteri endofit mampu menghambat pertumbuhan jamur *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici*. Penelitian Kavino dkk. (2007) menunjukkan bahwa pemanfaatan bakteri endofit mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman pisang dan mengurangi kerusakan yang disebabkan oleh infeksi *Banana bunchy top virus*. Shahzad dkk. (2022) juga melaporkan bakteri endofit sebagai PGPB memiliki kemampuan dalam menekan infeksi virus *Cymbidium ring spot virus* (CymRSV) dan *Cucumber mosaic virus* (CMV) melalui induksi sistemik ketahanan tanaman (ISR) pada tanaman inang *Nicotiana benthamiana*.

Penggunaan FCS dari bakteri endofit merupakan strategi baru yang dikembangkan saat ini. FCS adalah cairan kultur bakteri yang telah disentrifugasi dan difiltrasi untuk menghilangkan sel hidup tetapi mengandung zat bioaktif seperti enzim, antibiotik, dan metabolit sekunder (Naamala dkk., 2023) yang berpotensi

menghambat infeksi patogen tanaman. Li dkk. (2019) melaporkan FCS dari *Bacillus subtilis* GLB191 mampu menekan infeksi penyakit *downy mildew* pada tanaman anggur. Selain itu, penelitian oleh Elsharkawy dkk. (2013) telah membuktikan FCS yang dihasilkan dari *Trichoderma asperillum* SKT-1 dapat menginduksi ketahanan sistemik tanaman mentimun terhadap infeksi CMV. Dengan demikian, pemanfaatan bakteri endofit dan FCS dalam pengendalian penyakit tanaman merupakan alternatif yang ramah lingkungan dan berpotensi meningkatkan efektivitas biokontrol, namun pemanfaatannya masih jarang dilaporkan sehingga perlu dikaji lebih lanjut.

1.4 Hipotesis

Bakteri endofit yang berasal dari tanaman cabai dan *free cell supernatant* (FCS) mampu menghambat perkembangan penyakit kuning pada tanaman cabai dan mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman cabai.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.2 Tanaman Cabai Merah

Cabai merah merupakan tanaman hortikultura yang tergolong ke dalam famili Solanaceae. Tanaman ini berasal dari wilayah Peru, Amerika Selatan, dan telah menyebar luas ke negara-negara yang ada di benua Amerika, Eropa, dan Asia. Tanaman ini memiliki berbagai nama di berbagai negara, seperti *chili* dalam bahasa Inggris, *pimenta* dalam bahasa Portugis, dan *chile* dalam bahasa Spanyol. Di Indonesia sendiri, cabai dikenal dengan nama seperti lombok, mengkreng, cengis, dan cengek (Agustina dkk., 2014). Menurut Agriflo (2012) klasifikasi tanaman cabai merah sebagai berikut.

Kingdom : Plantae
Divisi : Spermatophyta
Sub divisi : Angiospermae
Kelas : Dicotyledone
Ordo : Solanales
Famili : Solanaceae
Genus : *Capsicum*
Spesies : *Capsicum annuum* L.

Cabai memiliki daya adaptasi yang tinggi. Cabai dapat tumbuh di dataran rendah, lahan kering, sawah, dan dataran tinggi dengan ketinggian 250 hingga 1.400 meter di atas permukaan laut (Tjahjedi dan Nur, 2010). Pada tanah dengan pH 6-7 dan suhu 20-25°C tanaman cabai akan tumbuh dengan optimum (Tonny dkk., 2014).

2.2 Penyakit Kuning

Penyakit kuning merupakan salah satu penyakit yang disebabkan oleh infeksi virus patogen dan banyak ditemukan pada tanaman Solanaceae. Secara umum, penyakit ini diakibatkan oleh virus dari genus Begomovirus. Penularannya terjadi secara persisten melalui serangga vektor kutu kebul (*Bemisia tabaci*) (Thakur dkk., 2018). Gejala penyakit ini meliputi klorosis pada daun, tepi daun menggulung (*cupping*), keriting, dan menguning (Shingote dkk., 2022).

Keterjadian penyakit kuning di lapangan dapat mencapai 100% dengan tingkat keparahan penyakit berkisar antara 18-87%, sehingga berpotensi menimbulkan kehilangan hasil hingga 80%. Selain menurunkan kuantitas produksi, infeksi virus ini juga memengaruhi kualitas buah akibat terganggunya pertumbuhan tanaman, berkurangnya pembentukan buah, penurunan ukuran buah, serta pada beberapa spesies tanaman dapat menyebabkan perubahan warna buah (Hamdayanty dan Hardina, 2023).

2.3 Bakteri Endofit

2.3.1 Kajian Hubungan Bakteri Endofit dengan Tanaman

Bakteri endofit merupakan bakteri yang ditemukan di dalam jaringan tanaman dan tidak menimbulkan kerusakan, serta dapat menghasilkan senyawa aktif yang serupa dengan tanaman inangnya. Bakteri endofit dapat menyebar ke seluruh organ seperti akar, batang, daun, biji, dan buah serta dapat berasosiasi dengan tanaman secara internal melalui jaringan pembuluh darah atau ruang antar sel (Abedinzadeh dkk., 2019). Menurut Santoyo dkk. (2016) mekanisme masuknya bakteri endofit ke dalam jaringan tanaman dapat melalui berbagai jalur, antara lain melalui stomata, lentisel, luka fisiologis, titik tumbuh akar lateral, radikula yang sedang mengalami pertumbuhan, serta jaringan meristematik akar yang belum mengalami diferensiasi.

Bakteri endofit dan tanaman memiliki hubungan yang bersifat mutualistik, di mana tanaman memiliki peranan sebagai penyedia nutrisi dan lingkungan tumbuh

yang menguntungkan bagi bakteri. Sebaliknya, bakteri endofit memberikan keuntungan bagi tanaman melalui berbagai mekanisme, seperti meningkatkan ketahanan terhadap patogen, memproduksi fitohormon yang mempengaruhi pertumbuhan, dan meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi, terutama untuk mineral esensial. Selain itu, bakteri endofit juga diketahui dapat memacu pertumbuhan tanaman (Suhandono dkk., 2016).

2.3.2 Mekanisme Bakteri Endofit sebagai Agen Biokontrol

Bakteri endofit berperan sebagai agen biokontrol melalui dua mekanisme utama. Mekanisme pertama bersifat langsung dan melibatkan kompetisi untuk mendapatkan zat besi dan nutrisi dari lingkungan serta produksi metabolit sekunder oleh bakteri, termasuk etilen, asam salisilat, enzim litik, siderofor, dan hidrogen sianida (HCN). Mekanisme kedua, yaitu *Induced Systemic Resistance* (ISR), bersifat tidak langsung dengan cara menginduksi ketahanan sistemik pada tanaman inang. ISR adalah jenis interaksi bakteri dan akar tanaman yang meningkatkan pertahanan tanaman terhadap invasi patogen (Sudewi dkk., 2022).

2.4 Free Cell Supernatant (FCS)

FCS merupakan fraksi cair yang diperoleh dari proses sentrifugasi, yang memiliki massa jenis lebih rendah dibandingkan fraksi padat berupa pelet. Proses sentrifugasi menghasilkan dua komponen utama, yaitu supernatan yang berada di bagian atas tabung dan pelet (yang terdiri atas sel bakteri) yang mengendap di dasar tabung (Naufal dkk., 2017; Sari dan Moulina, 2020). Sentrifugasi dilakukan menggunakan tabung-tabung yang berisi larutan, disusun secara seimbang dalam rotor sentrifus. Prinsip dasar dari metode ini adalah penerapan gaya sentrifugal, yaitu gaya yang timbul akibat rotasi horizontal dengan kecepatan dan radius tertentu. Selama proses pemutaran, partikel-partikel dengan massa lebih tinggi terdorong menjauh dari sumbu rotasi dan mengendap di dinding dasar tabung, membentuk pelet, sedangkan partikel yang lebih ringan tetap berada dalam supernatan (Nurhadianty dkk., 2018).

Beberapa senyawa bioaktif yang terkandung dalam FCS memiliki kemampuan untuk menginduksi mekanisme pertahanan tanaman, seperti ISR maupun SAR (*systemic acquired resistance*), sehingga meningkatkan ketahanan tanaman terhadap berbagai tekanan biotik maupun abiotik (Köhl dkk., 2019). Aktivasi sistem pertahanan ini berperan sebagai strategi protektif awal (*preemptive defense*), yang pada akhirnya dapat memperkuat sistem imun tanaman, menekan tingkat infeksi penyakit, dan memperbaiki kondisi fisiologis serta kesehatan tanaman secara keseluruhan (Alori dkk., 2025).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan April 2025-Maret 2026. Sampel tanaman cabai diambil di lahan petani di Desa Sidosari dan Desa Pemanggilan, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan. Isolasi, karakterisasi, skrining, dan pembuatan FCS bakteri endofit dilakukan di Laboratorium Bioteknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Aplikasi bakteri endofit dan FCS dilakukan di lahan percobaan, Rajabasa, Lampung Selatan.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *Laminar Air Flow*, autoklaf, *microwave*, *rotamixer*, *showcase*, mesin *Polymerase Chain Reaction* (PCR), mesin elektroforesis, timbangan elektrik, tabung reaksi, rak tabung, tabung *eppendorf* 1,5 mL, mikropipet, jarum ose, jarum ent, pinset, *scalpel*, cawan petri, gunting, kaca preparat, suntikan 1 mL, sentrifus, mortar, alu, bunsen, *shaker*, *paper disk*, spidol, tisu, plastik *wrap*, aluminium foil, pisau, korek api, karet gelang, dan *cotton bud*.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tanaman cabai sehat, akuades, agar batang, umbi kentang, benih mentimun, larutan kalium hidroksida (KOH) 3%, alkohol 70%, air steril, minyak parafin, spiritus, tanah, tanaman tembakau sebagai tanaman indikator, TE (TrisEDTA) *buffer*, *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS) 10%, larutan NaCl, *Cetyltrimethylammonium bromide* (CTAB) 2%, *Cholorform Isoamyl Alcohol* (CIA), *Phenol Chloroform Isoamyl Alcohol* (PCI), Isopropanol 60%, *Ethidium Bromide* (ETBr), *TrisBorate-EDTA* (TBE), *Marker*

DNA ladder, dan gel agarose 0,5%. Adapun media kultur yang digunakan antara lain *Yeast Peptone Agar* (YPA) dan *Potato Peptone Glucose Agar* (PPGA). Untuk keperluan pengujian, media yang digunakan mencakup Oksidatif/Fermentatif (O/F) Basal Medium, *Yeast Peptone Broth* (YPB) Pikovskaya Agar, *Water Agar* (WA), dan *Nutrient Broth* (NB).

3.3 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini terdiri atas empat tahap. Tahap pertama meliputi isolasi bakteri dari tanaman cabai yang sehat. Tahap kedua mencakup pengujian untuk mengetahui karakteristik dari isolat bakteri yang diperoleh dan skrining bakteri endofit yang diperoleh sebagai pengendali virus tanaman cabai. Tahap ketiga adalah pembuatan suspensi bakteri, pembuatan FCS dan aplikasi bakteri endofit serta FCS di lapangan. Tahap keempat yaitu identifikasi molekuler isolat bakteri endofit menggunakan penanda gen 16S rDNA.

3.3.1 Sampel Tanaman Cabai

Sampel tanaman cabai diperoleh dari tiga lahan pertanian milik petani yang berlokasi di Desa Sidosari dan Desa Pemanggilan, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan. Dari setiap lahan diambil satu tanaman cabai yang dipilih secara acak, yaitu dengan memilih tanaman cabai yang tampak paling sehat atau memiliki pertumbuhan terbaik dibandingkan tanaman lain di lahan yang diketahui endemik terhadap serangan hama atau patogen.

3.3.2 Pengambilan Tanaman Cabai

Sebanyak 27 sampel tanaman cabai merah yang meliputi bagian daun, batang, dan akar, dikumpulkan dari lahan pertanian milik petani di Desa Sidosari dan Desa Pemanggilan. Seluruh sampel tersebut kemudian diisolasi di Laboratorium Bioteknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.3.3 Isolasi Bakteri Endofit

Isolasi bakteri dilakukan dari bagian daun, batang, dan akar tanaman cabai.

3.3.3.1 Isolasi dari Daun

Proses isolasi bakteri dari daun tanaman cabai diawali dengan sterilisasi permukaan daun. Setelah itu, daun dipotong berukuran 1 x 1 cm menggunakan gunting. Dari masing-masing sampel tanaman cabai, diambil tiga potongan daun dan dimasukkan ke dalam tabung eppendorf 1,5 mL yang berisi 0,5 mL air steril. Potongan daun kemudian dihancurkan menggunakan pinset dan dibiarkan selama 5 menit. Suspensi yang dihasilkan kemudian ditumbuhkan pada media YPA menggunakan metode gores kuadran hingga terbentuk koloni tunggal. Koloni tunggal tersebut selanjutnya dipindahkan dan ditumbuhkan pada media PPGA.

3.3.3.2 Isolasi dari Batang

Isolasi bakteri dari batang tanaman cabai diawali dengan membersihkan batang terlebih dahulu. Selanjutnya, lapisan luar batang dikupas dan bagian dalamnya dipotong berukuran 0,5 x 0,5 cm menggunakan skapel. Dari masing-masing sampel, diambil tiga potongan batang, lalu dimasukkan ke dalam tabung *eppendorf* 1,5 mL yang berisi 0,5 mL air steril. Potongan batang tersebut dihancurkan menggunakan pinset dan dibiarkan selama 5 menit. Suspensi yang dihasilkan kemudian diinokulasikan ke media YPA dengan metode gores kuadran hingga terbentuk koloni tunggal. Koloni tunggal tersebut selanjutnya diremajakan ke media PPGA.

3.3.3.3 Isolasi dari Akar

Isolasi bakteri dari akar diawali dengan mencuci akar menggunakan air mengalir kemudian dipotong dengan ukuran 1-2 cm. Akar yang telah dicuci dan dipotong, kemudian permukaannya disterilisasi menggunakan alkohol 70%. Setelah itu, potongan akar tersebut dimasukkan ke dalam tabung *eppendorf* 1,5 mL yang berisi 0,5 mL air steril dan dihaluskan menggunakan pinset dan dibiarkan selama

5 menit. Suspensi yang dihasilkan kemudian digoreskan ke media YPA. Selanjutnya, koloni tunggal bakteri yang didapatkan diremajakan ke media PPGA.

3.3.4 Karakterisasi Isolat Bakteri Endofit

3.3.4.1 Uji Gram

Uji Gram dilakukan untuk mengidentifikasi isolat bakteri tergolong kedalam Gram positif atau Gram negatif. Pengujian dilakukan dengan mengambil 1-2 ose kultur bakteri berumur 24 jam, kemudian diletakkan di atas kaca preparat. Selanjutnya, ditambahkan larutan KOH 3% sebanyak 1-2 tetes dan dihomogenkan menggunakan jarum ose selama ± 1 menit. Setelah itu, jarum diangkat secara perlahan setinggi ± 1 cm. Apabila terbentuk benang lendir tidak terputus, maka isolat bakteri tersebut tergolong ke dalam kelompok bakteri gram negatif (Sanjaya dkk., 2024).

3.3.4.2 Uji *Soft Rot*

Uji *soft rot* dilakukan untuk mendeteksi kemampuan isolat bakteri dalam menyebabkan gejala busuk lunak pada jaringan tanaman. Umbi kentang dipotong setebal ± 1 cm, kemudian dicuci di bawah air mengalir selama 30 menit untuk menghilangkan kontaminan permukaan. Setiap irisan kentang diletakkan dalam cawan petri yang dialasi tisu basah yang dilembapkan dengan akuades steril guna menjaga kelembapan. Inokulasi dilakukan dengan menggoreskan satu ose isolat bakteri berumur 24 jam pada permukaan tengah irisan kentang. Pengamatan terhadap gejala busuk lunak dilakukan setelah 24 jam inkubasi. Reaksi *soft rot* positif ditandai dengan gejala busuk lunak pada umbi (Maghfiroh dkk., 2022).

3.3.4.3 Uji Hipersensitif

Uji hipersensitif bertujuan untuk mengidentifikasi sifat patogenik isolat bakteri melalui induksi respons pertahanan lokal pada jaringan tanaman *noninang*. Isolat bakteri berumur 24 jam diambil sebanyak satu ose dan disuspensikan ke dalam 0,5 mL akuades steril dalam tabung eppendorf 1,5 mL. Suspensi kemudian

dihomogenkan menggunakan *rotamixer*. Selanjutnya sebanyak 0,5 mL suspensi bakteri tersebut diinokulasikan ke jaringan interseluler daun tembakau menggunakan jarum suntik steril berkapasitas 1 mL. Daerah inokulasi diberi penanda, dan tanaman diinkubasi pada kondisi ruang selama 24 jam. Gejala hipersensitif ditunjukkan oleh munculnya klorosis atau nekrosis pada daun tembakau yang teramati dalam rentang waktu 24 hingga 72 jam setelah perlakuan (Fitri dkk., 2023).

3.3.4.4 Uji Oksidatif/Fermentatif (O/F)

Uji Oksidatif/Fermentatif (O/F) dilakukan untuk menentukan karakter metabolisme isolat bakteri, termasuk aerobik (oksidatif) atau anaerobik (fermentatif). Pengujian ini menggunakan media O/F yang disiapkan dari campuran 9,8 g O/F Basal Medium dan 10 g D-glukosa (1%) yang dilarutkan dalam 1000 mL akuades. Media yang telah homogen kemudian dituangkan ke dalam tabung reaksi masing-masing sebanyak 4 mL dan disterilisasi dengan autoklaf. Kultur bakteri berumur 24 jam diambil menggunakan jarum ent dan diinokulasikan secara vertikal ke dalam dua tabung yang berisi media O/F. Salah satu tabung diberikan 1 mL minyak parafin steril untuk menciptakan kondisi anaerob. Perubahan warna medium diamati selama 7 hingga 14 hari sebagai indikator aktivitas metabolik isolat bakteri. Perubahan warna media uji dari hijau menjadi kuning tanpa adanya parafin menunjukkan sifat oksidatif. Sementara itu, perubahan warna dari hijau menjadi kuning pada kedua media menunjukkan sifat fermentatif (Sinubu dkk., 2022).

3.3.4.5 Uji Hipovirulen

Uji hipovirulensi dilakukan untuk menentukan kemampuan patogenik isolat bakteri terhadap tanaman inang dengan menggunakan tanaman mentimun sebagai tanaman indikator. Sebelum perlakuan, benih mentimun direndam dalam air hangat bersuhu 40 °C selama 30 menit untuk mendeteksi benih hampa melalui pengamatan terhadap posisi terapung atau tenggelamnya benih. Selanjutnya, benih disterilisasi permukaannya dengan merendam dalam etanol 70% selama 10 detik,

kemudian dibilas sebanyak tiga kali menggunakan akuades steril. Setelah proses sterilisasi, benih dikecambahkan pada nampan yang dilapisi kertas merang lembap, ditutup rapat menggunakan plastik *wrap*, dan diinkubasi selama dua hari hingga benih berkecambah.

Kecambah yang telah tumbuh dipindahkan ke dalam cawan petri yang berisi media WA, masing-masing tiga kecambah per cawan, lalu diinkubasi selama 24 jam. Kemudian, suspensi bakteri disiapkan dengan mencampurkan satu ose kultur bakteri berumur 24 jam ke dalam 1 mL air steril, kemudian dimasukkan ke dalam tabung *eppendorf* dan dihomogenkan menggunakan *vortex mixer*. Suspensi tersebut kemudian diaplikasikan sebanyak 10 µL ke bagian hipokotil masing-masing kecambah, dan perlakuan diulang sebanyak tiga kali ulangan.

Pengamatan dilakukan selama 14 hari pasca inokulasi dengan melihat gejala yang muncul serta laju pertumbuhan kecambah. Isolat bakteri dikategorikan hipovirulen apabila nilai *disease severity index* (DSI) < 2 (Tabel 1) (Suharjo dkk., 2018).

Indeks keparahan penyakit kemudian dihitung menggunakan rumus yang dikemukakan oleh Worosuryani (2006):

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

Keterangan:

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

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

Z : Jumlah individu yang diamati.

Tabel 1. Skor keparahan penyakit pada bibit mentimun dalam uji hipovirulen

Skor	Keterangan
0	Sehat, tidak ada infeksi penyakit pada hipokotil
1	Satu atau dua bercak coklat muda < 0,25 cm
2	Bercak coklat muda berukuran < 0,5 cm dengan area kebasahan < 10% pada hipokotil
3	Bercak coklat muda sampai tua > 1,0 cm dengan luas daerah kebasahan 10% < x < 100% pada kecambah
4	Bercak hitam pada hipokotil, tunas layu dan mati

(Sumber: Suharjo dkk., 2018).

3.3.5 Uji Kemampuan Bakteri Endofit

3.3.5.1 Uji Kemampuan Bakteri Endofit sebagai Pelarut Fosfat

Uji pelarut fosfat bertujuan untuk mengetahui potensi bakteri dalam melarutkan senyawa fosfat. Isolat bakteri yang telah diremajakan pada media PPGA kemudian ditumbuhkan pada media *Pikovskaya*. Bagian bawah cawan petri yang berisi media dibagi menjadi empat kuadran, dan masing-masing kuadran diinokulasikan dengan satu isolat bakteri (Gambar 1). Kemudian selama 7 hari dilakukan pengamatan pertumbuhan zona bening di sekitar koloni dengan bantuan plastik transparan dengan cara menggambar zona bening di sekitar koloni bakteri. Luas zona bening yang terbentuk kemudian diukur menggunakan kertas milimeter blok. Semakin luas zona bening yang terbentuk, maka semakin tinggi kemampuan bakteri dalam melarutkan fosfat. Sebaliknya, jika semakin kecil zona bening yang terbentuk maka semakin rendah kemampuan bakteri dalam melarutkan fosfat (Sutaryo dkk., 2024). Marra dkk. (2012) mengelompokkan kemampuan bakteri dalam melarutkan fosfat berdasarkan indeks pelarutannya (IP) menjadi 3 kategori, yaitu rendah ($IP < 2$), sedang ($IP 2-4$), dan tinggi ($IP > 4$). Perhitungan indeks pelarutan (IP) menggunakan rumus yang dikemukakan oleh Paul dan Sinha (2016).

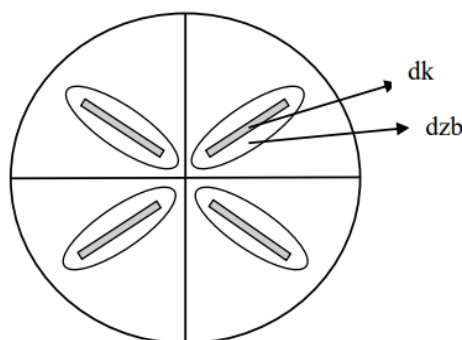
$$IP = \frac{dk + dzb}{dk}$$

Keterangan:

IP = Indeks pelarut,

Dk = Diameter koloni bakteri, dan

dzb = Diameter zona bening.



Gambar 1. Skema uji pelarut fosfat isolat bakteri. (dk: diameter koloni dan dzb: diameter zona bening).

3.3.5.2 Uji Kemampuan Bakteri Endofit sebagai Penghasil Siderofor

Pengujian kemampuan isolat bakteri dalam menghasilkan siderofor dilakukan berdasarkan metode yang digunakan oleh Nurikhsanti dkk. (2024). Untuk mendeteksi siderofor tipe katekolat, satu ose isolat bakteri berumur 24 jam diinokulasikan ke dalam media cair YPB steril, kemudian dihomogenkan menggunakan *shaker* selama 48 jam. Kultur yang diperoleh disentrifugasi pada kecepatan 5000 rpm selama 25 menit untuk memisahkan sel bakteri dari supernatan. Uji produksi siderofor tipe katekolat dilakukan dengan mencampurkan 1 mL supernatan dengan 1 mL HCl 0,5 M, 1 mL larutan nitrit-molibdat, dan 1 mL NaOH 1 M dalam tabung reaksi. Terjadinya perubahan warna dari bening menjadi merah muda menunjukkan bahwa isolat mampu menghasilkan siderofor tipe katekolat. Sementara itu, untuk mendeteksi siderofor tipe hidroksamat, sebanyak 1 mL supernatan ditambahkan 1 mL larutan FeCl_3 2%. Terjadinya perubahan warna dari jingga menjadi kuning menunjukkan bahwa isolat mampu menghasilkan siderofor tipe hidroksamat.

3.3.5.3 Uji Kemampuan Bakteri Endofit sebagai PGPB

Uji PGPB dilaksanakan di lahan percobaan, Kecamatan Rajabasa, Lampung Selatan, dengan menggunakan tanaman mentimun sebagai tanaman indikator. Tahapan pengujian dimulai dengan peremajaan isolat bakteri pada media PPGA dalam tabung reaksi, kemudian diinokulasikan ke dalam media YPB dan diinkubasi selama 48 jam. Selanjutnya, kemampuan bakteri sebagai PGPB diuji menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 4 perlakuan, yaitu isolat bakteri endofit yang memiliki kemampuan tinggi dalam melarutkan fosfat serta mampu menghasilkan siderofor, ditambah satu perlakuan kontrol, dan masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali.

a. Persiapan Media Tanam dan Suspensi Bakteri

Media tanam yang digunakan untuk uji PGPB terdiri atas campuran pasir dan kompos dengan perbandingan volume 1:1 sebanyak 500 g. Campuran media tersebut disterilisasi selama 3 jam. Setelah dingin, media dimasukkan ke dalam

polibag berukuran 0,5 kg. Isolat bakteri yang telah diperbanyak dalam media PPGA dipanen dengan penambahan 10 mL akuades, kemudian dihomogenkan dalam tabung reaksi dan dipindahkan ke dalam labu erlenmeyer yang berisi 290 mL akuades untuk membentuk suspensi bakteri. Suspensi ini kemudian diambil sebanyak 20 mL dan disiramkan ke permukaan media tanam, lalu diinkubasi selama 2 hari sebelum dilakukan penanaman kecambah mentimun.

b. Penyemaian Benih

Benih mentimun direndam dalam air hangat bersuhu sekitar 45°C selama 30 menit guna mempercepat proses perkecambahan. Selanjutnya, benih didesinfeksi dengan merendamnya dalam alkohol 70% selama 1 menit, dilanjutkan perendaman dalam larutan sodium hipoklorit 2% selama 30 detik untuk mencegah kontaminasi oleh mikroorganisme. Setelah proses desinfeksi, benih dibilas menggunakan air steril sebanyak tiga kali guna menghilangkan sisa larutan desinfektan. Benih kemudian disemai pada nampan yang telah dilapisi kertas merang basah dan diinkubasi selama dua hari hingga benih mulai berkecambah.

c. Pindah Tanam dan Pemeliharaan

Kecambah mentimun yang telah tumbuh kemudian ditanam ke dalam polibag dengan jumlah dua kecambah per polibag, di mana setiap perlakuan terdiri atas tiga polibag. Pada umur lima hari setelah tanam (hst), dipilih satu tanaman yang tumbuh lebih optimal, sedangkan tanaman lainnya dicabut sehingga setiap polibag hanya berisi satu tanaman. Pemeliharaan tanaman dilakukan melalui penyiraman rutin dari hari ke-1 hingga hari ke-21 setelah tanam, yang dilakukan pada sore hari.

d. Pengamatan

Pengamatan dilakukan selama 21 hari dengan parameter pengamatan meliputi (Worosuryani dkk., 2006):

1) Tinggi tanaman

Pengukuran tinggi tanaman dilakukan setiap dua hari sekali selama periode 21 hari. Pengukuran dilakukan menggunakan meteran, dengan cara mengukur dari pangkal batang hingga daun tertinggi.

2) Jumlah daun

Penghitungan jumlah daun dilakukan setiap dua hari sekali selama 21 hari. Daun yang dihitung adalah daun yang telah terbuka sempurna dan memiliki struktur yang lengkap.

3) Kandungan Klorofil Daun

Kandungan klorofil daun diukur menggunakan *chlorophyll meter* pada hari terakhir pengamatan. Pengukuran dilakukan pada bagian daun bawah, tengah, dan atas dengan cara menjepit daun pada sensor alat. Hasil pengukuran dari setiap bagian kemudian dirata-ratakan untuk memperoleh nilai kehijauan daun pada masing-masing tanaman sampel.

4) Panjang akar

Pengukuran panjang akar dilakukan pada saat panen, yaitu pada hari ke-21. Setelah akar dibersihkan dan dipisahkan dari batang, pengukuran dilakukan menggunakan meteran dengan mengukur panjang akar dari pangkal hingga ujungnya.

5) Bobot basah tajuk

Bobot basah tajuk ditentukan dengan menimbang seluruh bagian tanaman di atas permukaan tanah setelah tanaman dipanen dan akarnya dipisahkan. Penimbangan dilakukan menggunakan timbangan analitik, dan hasilnya dinyatakan dalam satuan gram (g).

6) Bobot basah akar

Bobot basah akar diperoleh dengan menimbang akar yang telah dipisahkan dari tanaman dan dibersihkan terlebih dahulu. Penimbangan dilakukan menggunakan timbangan analitik, dan hasilnya dinyatakan dalam satuan gram (g).

7) Bobot kering tajuk dan akar

Tajuk dan akar tanaman dipisahkan dan dimasukkan ke dalam amplop berbeda sesuai dengan perlakuan yang diterapkan, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 80 °C selama tiga hari. Setelah proses pengeringan, masing-masing sampel ditimbang menggunakan timbangan analitik. Hasil penimbangan berat kering tajuk dan akar dinyatakan dalam satuan gram (g).

3.3.6 Pembuatan Suspensi Bakteri

Pembuatan suspensi bakteri mengacu pada metode yang dilakukan oleh Rahayu dkk. (2023) dengan sedikit modifikasi. Bakteri berumur 24 jam diambil menggunakan jarum ose, kemudian dimasukkan ke dalam 10 mL media YPB yang mengandung 0,1% Tween 80 dan diinkubasi dengan shaker selama 24 jam. Suspensi yang terbentuk selanjutnya diencerkan menggunakan larutan molase 1% yang juga mengandung 0,1% Tween 80 hingga mencapai kerapatan 10^6 CFU/mL. Setelah itu, suspensi bakteri ditambahkan ke dalam 990 mL media YPB dan kembali diinkubasi menggunakan *shaker* selama 6 jam.

3.3.7 Pembuatan *Free Cell Supernatant* (FCS)

Pembuatan FCS dilakukan dengan mengacu pada metode Febriansyah dkk. (2018) yang dimodifikasi. Isolat bakteri berumur 24 jam diinokulasikan ke dalam tabung reaksi berisi 5 mL media YPB, kemudian dihomogenkan menggunakan vortex selama 1-2 menit. Suspensi yang terbentuk diambil sebanyak 800 μ L dan dimasukkan ke dalam 990 mL media YPB, lalu ditambahkan 10 mL larutan kloroform. Kultur tersebut kemudian di*shaker* dengan kecepatan 120 rpm selama 72 jam. Setelah itu, kultur dipindahkan ke tabung mikrosentrifus 1,5 mL dan

disentrifugasi pada kecepatan 14.000 rpm selama 10 menit untuk memisahkan fraksi sel dari cairan kultur.

3.3.8 Aplikasi Bakteri Endofit Terpilih dan FCS di Lahan

Pengaplikasian disusun dalam percobaan Rancangan Acak Kelompok (RAK) yang terdiri dari 7 perlakuan (Tabel 2). Setiap perlakuan dilakukan sebanyak 4 ulangan dengan masing-masing ulangan terdiri dari 10 tanaman. Aplikasi pertama dilakukan segera setelah pindah tanam dilakukan dengan cara menyemprotkan secara merata pada tanaman cabai. Aplikasi selanjutnya dilakukan seminggu sekali.

Tabel 2. Perlakuan aplikasi bakteri endofit dan FCS pada tanaman cabai

Kode	Perlakuan
P0	Kontrol (tanpa perlakuan)
P1	Aplikasi bakteri endofit isolat 1*
P2	Aplikasi bakteri endofit isolat 2*
P3	Aplikasi bakteri endofit isolat 3*
P4	Aplikasi FCS bakteri endofit isolat 1**
P5	Aplikasi FCS bakteri endofit isolat 2**
P6	Aplikasi FCS bakteri endofit isolat 3**

Keterangan: * Kerapatan 10^6 CFU/mL dan ** Konsentrasi 20 mL/L

3.3.9 Pengamatan

a. Intensitas Penyakit

Intensitas penyakit dapat diamati melalui dua cara, yaitu dengan menghitung keterjadian penyakit dan keparahan penyakit. Pengamatan dilakukan secara berkala setiap 1 minggu sekali. Untuk mengetahui keterjadian penyakit dilakukan dengan mencatat jumlah tanaman cabai yang menunjukkan gejala infeksi virus atau penyakit lainnya. Persentase keterjadian penyakit dihitung menggunakan rumus dari Nelson dkk. (1999) sebagai berikut:

$$\text{Keterjadian Penyakit} = \frac{n}{N} \times 100\%$$

Keterangan:

n : Jumlah tanaman sakit, dan

N : Jumlah tanaman yang diamati.

Keparahan penyakit ditentukan dengan cara memberikan skor atau skala (Tabel 3). Keparahan penyakit dihitung menggunakan rumus yang dikemukakan oleh Nelson dkk. (1999) sebagai berikut:

$$KP = \frac{\sum(n_i \times z_i)}{N \times z} \times 100\%$$

Keterangan:

KP : Keparahan penyakit (%),

n_i : Jumlah tanaman sakit,

z_i : Skor dari setiap kategori tanaman bergejala,

N : Jumlah total tanaman yang diamati, dan

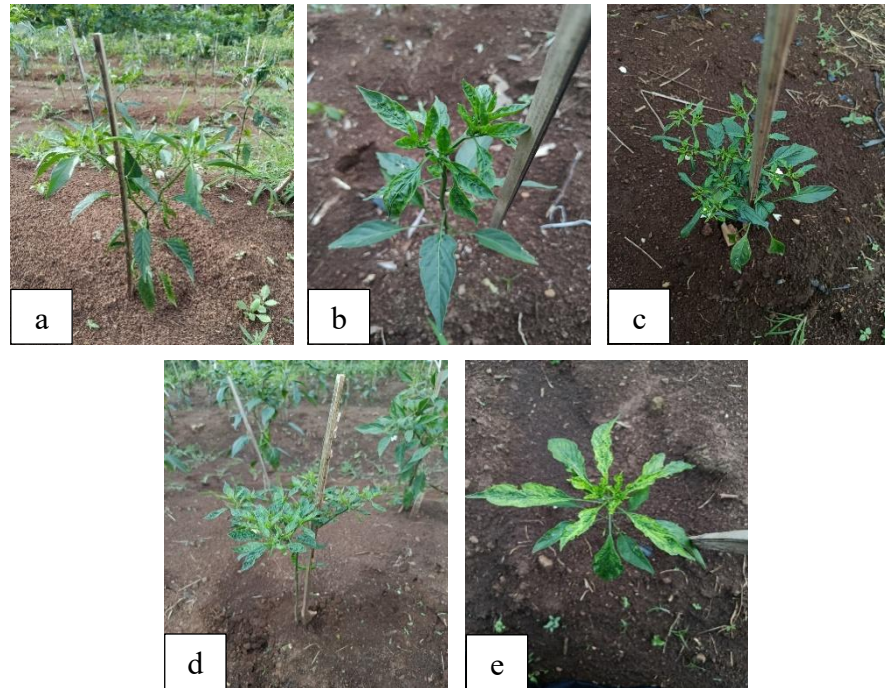
z : Skor dari kategori tanaman bergejala tertinggi.

Tabel 3. Skor keparahan penyakit

Skor	Persentase Gejala (%)	Kategori Keparahan
0	0	Sehat
1	>1 - <25	Ringan
2	>25-50	Sedang
3	>50-75	Berat
4	>75-100	Sangat berat

(Sumber: Nelson dkk., 1999).

Berikut gambar keparahan gejala penyakit kuning di lapangan:



Gambar 2. Skor gejala penyakit kuning: a) Skor 0, b) Skor 1, c) Skor 2, d) Skor 3, dan e) Skor 4.

b. Hama dan Penyakit Tanaman Lainnya

Pengamatan terhadap hama dan penyakit tanaman lainnya dilakukan pada setiap tanaman sampel yang telah ditetapkan untuk masing-masing perlakuan.

Pengamatan dilakukan secara langsung pada tanaman sampel setiap 1 kali seminggu.

c. Tinggi Tanaman

Pengukuran tinggi tanaman dilakukan setiap tiga hari sekali dengan mengukur panjang tanaman dari pangkal batang hingga titik tumbuh teratas. Satuan yang digunakan dalam pengukuran adalah sentimeter (cm).

d. Jumlah Daun

Penghitungan jumlah daun dilakukan setiap tiga hari sekali selama fase vegetatif tanaman. Daun yang dihitung adalah daun yang telah terbuka sempurna dan memiliki struktur yang lengkap.

e. Kandungan Klorofil Daun

Kandungan klorofil daun diukur pada hari terakhir pengamatan menggunakan *chlorophyll meter*. Pengukuran dilakukan pada tiga bagian daun, yaitu bagian bawah, tengah, dan atas, dengan cara menjepitkan daun pada sensor alat. Nilai yang diperoleh dari masing-masing bagian kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai kehijauan daun pada setiap tanaman sampel.

g. Bobot Buah dan Jumlah Buah

Bobot buah diperoleh dengan menimbang seluruh buah dari setiap perlakuan, kemudian dihitung rata-ratanya untuk masing-masing perlakuan. Pengukuran bobot buah dilakukan menggunakan timbangan. Satuan yang digunakan dalam pengukuran bobot buah adalah gram (g). Sementara itu, jumlah buah diperoleh dengan menghitung seluruh buah yang dihasilkan pada setiap perlakuan saat panen pertama. Selanjutnya, dihitung rata-ratanya untuk masing-masing perlakuan.

3.3.10 Identifikasi Molekuler Isolat Bakteri Endofit Terpilih

Identifikasi isolat bakteri endofit secara molekuler dilakukan melalui empat tahap, yaitu ekstraksi DNA, amplifikasi DNA dengan bantuan mesin PCR, elektroforesis dan visualisasi hasil amplifikasi, serta dilanjutkan dengan proses sekuensing dan analisis data hasil sekuensing (Suharjo dkk., 2021).

a. Ekstraksi DNA

Proses ekstraksi bakteri dilakukan secara manual dengan cara mengambil satu ose koloni bakteri berumur 24 jam dari media PPGA, lalu dimasukkan ke dalam

tabung mikro (1,5 mL). Selanjutnya, ditambahkan 20 μL larutan TE menggunakan mikropipet, kemudian ditambah 30 μL larutan SDS 10% dan 3 μL proteinase K, lalu dihomogenkan. Tabung yang berisi campuran tersebut diinkubasi di *waterbath* pada suhu 37°C selama satu jam. Setelah itu, ditambahkan 100 μL larutan NaCl dan dihomogenkan secara perlahan. Kemudian, 80 μL larutan CTAB 2% ditambahkan dan campuran diinkubasi kembali di *waterbath* pada suhu 65°C selama 10 menit.

Setelah inkubasi, ditambahkan 720 μL larutan CI (perbandingan 24:1), dihomogenkan kuat dengan tangan, lalu disentrifugasi dengan kecepatan 14.000 rpm selama 5 menit. Supernatan hasil sentrifugasi diambil dan dipindahkan ke tabung baru, kemudian ditambahkan larutan PCI dengan perbandingan 25:24:1 dalam volume yang sama dengan supernatan. Campuran ini kembali dihomogenkan dan disentrifugasi dengan kecepatan yang sama selama 5 menit, lalu supernatan dipindahkan ke tabung baru.

Setelah itu, supernatan ditambahkan isopropanol 60% dengan volume yang sama, dihomogenkan perlahan, lalu diinkubasi di lemari pendingin selama 10 menit. Setelah inkubasi, dilakukan sentrifugasi kembali pada 14.000 rpm selama 5 menit. Supernatan kemudian dibuang, dan ke dalam tabung ditambahkan 400 μL alkohol 70% dingin. Proses sentrifugasi diulang selama 5 menit dengan kecepatan yang sama. Alkohol kemudian dibuang, dan pelet dibiarkan mengering di suhu ruang selama satu hari. Setelah kering, pelet dilarutkan kembali dengan 20 μL larutan TE. Keberadaan DNA hasil ekstraksi dikonfirmasi melalui elektroforesis dan divisualisasikan menggunakan sistem *Digidoc Imaging*.

b. Amplifikasi DNA dengan Mesin PCR

Proses amplifikasi DNA dilakukan menggunakan PCR dengan mencampurkan 12,5 μL *Red Mix* ke dalam tabung *eppendorf* berkapasitas 100 μL . Selanjutnya, ditambahkan masing-masing 1 μL primer 16S rDNA, yaitu fD1 dan rP2, 1 μL larutan DNA hasil ekstraksi, serta 9,5 μL air steril. Setelah semua komponen dicampurkan, reaksi amplifikasi dijalankan menggunakan mesin PCR. Proses

PCR terdiri atas lima tahapan, yaitu inisiasi, denaturasi, annealing, ekstensi, dan elongasi. Tahap inisiasi dilakukan satu kali pada suhu 95°C selama 5 menit. Berikutnya, tahap denaturasi berlangsung pada suhu 95°C selama 1 menit, diikuti tahap annealing pada suhu 58°C selama 1 menit, dan tahap ekstensi pada suhu 72°C selama 1 menit. Ketiga tahap ini diulang selama 30 siklus. Terakhir, tahap elongasi dilakukan satu kali pada suhu 72°C selama 5 menit.

c. Elektroforesis dan Visualisasi Hasil Amplifikasi

Elektroforesis dilakukan dengan menyiapkan *gel agarose* 0,5% yang telah ditambahkan 1 μ L ETBr. Gel tersebut kemudian dituangkan ke dalam cetakan berukuran 20x16x1 cm³ dan dipasang sisir elektroforesis untuk membentuk sumur. Setelah gel mengeras, diletakkan dalam alat elektroforesis yang telah berisi larutan TBE sebagai *buffer*. Pada sumur pertama, dimasukkan 3 μ L *Marker DNA ladder*, sementara sumur-sumur berikutnya diisi masing-masing dengan 3 μ L hasil amplifikasi DNA. Proses elektroforesis berlangsung selama 60-70 menit pada tegangan 50 volt. DNA hasil PCR dibiarkan bergerak hingga mencapai pertengahan antara baris ketiga dan keempat dari ujung yang berlawanan. Hasil pemisahan DNA kemudian diamati menggunakan *Digidoc Imaging System*. Profil DNA dari masing-masing lokus gen akan tampak sebagai pita terang yang terlihat jelas, dan hasil visualisasi disimpan dalam komputer untuk analisis lebih lanjut.

d. Sekuensing

Hasil PCR yang telah diperoleh kemudian dikirim ke PT Genetika Science Indonesia untuk dilakukan proses sekuensing.

3.3.11 Analisis Data

Seluruh data yang diperoleh, meliputi pertumbuhan tanaman mentimun dan cabai, serta intensitas penyakit dan populasi serangga, terlebih dahulu diuji homogenitas ragam antarperlakuan menggunakan uji Bartlett serta uji aditivitas menggunakan uji Tukey. Apabila kedua asumsi tersebut terpenuhi, data selanjutnya dianalisis

menggunakan Analisis Ragam (ANOVA). Jika hasil menunjukkan perbedaan nyata, maka dilakukan uji lanjut *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf nyata 5%. Sementara itu, data sekuensing dianalisis menggunakan perangkat lunak BioEdit dan MEGA 12.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Isolat bakteri endofit yang berhasil diidentifikasi, yaitu B2P1.3 dan B2P1.5, termasuk dalam spesies *P. oryzihabitans*,
2. Bakteri endofit dan *free cell supernatant* (FCS) yang diuji menunjukkan kemampuan yang berbeda dalam menekan perkembangan penyakit kuning cabai. Perlakuan B2P1.5, FCS B2P1.4, dan FCS B2P1.5 menghasilkan tingkat keparahan penyakit yang lebih rendah dibandingkan perlakuan lainnya, dengan FCS B2P1.4 sebagai perlakuan yang paling efektif dalam menekan perkembangan penyakit kuning cabai,
3. Selain berpotensi menekan penyakit kuning cabai, beberapa isolat bakteri endofit dan FCS juga menunjukkan kemampuan dalam menghambat perkembangan penyakit lain pada tanaman cabai. FCS B2P1.4 efektif menekan penyakit bercak daun, B2P1.3 dan B2P1.4 efektif menghambat perkembangan antraknosa, sedangkan B2P1.5, FCS B2P1.3, dan B2P1.4 efektif menekan penyakit layu,
4. Perlakuan B2P1.4 dan FCS B2P1.4 menunjukkan potensi sebagai pemacu pertumbuhan tanaman cabai, yang ditunjukkan oleh peningkatan parameter pertumbuhan dibandingkan perlakuan lainnya, dan
5. Secara keseluruhan, isolat bakteri endofit cabai dan *free cell supernatant*, khususnya FCS B2P1.4, berpotensi dikembangkan sebagai agen hayati yang berperan ganda sebagai pemacu pertumbuhan tanaman dan penekan perkembangan penyakit kuning cabai.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan uji lapangan yang telah dilakukan, diperlukan upaya optimasi formulasi dan dosis, serta pengujian konsistensi efektivitas pada berbagai kondisi lingkungan untuk mendukung pengembangan sebagai produk biokontrol yang aplikatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Abedinzadeh, M., Etesami, H., dan Alikhani, H. A. 2018. Characterization of rhizosphere and endophytic bacteria from roots of maize (*Zea mays* L.) plant irrigated with wastewater with biotechnological potential in agriculture. *Biotechnology Reports*. 20: 1-12.
- Adana, A. H., Haryanto, L. I., Fitriah, N., dan Soerianda, I. T. 2023. Analisis pengaruh barang substitusi dan komplementer terhadap fungsi permintaan cabai di Indonesia. *JIA (Jurnal Ilmiah Agribisnis): Jurnal Agribisnis dan Ilmu Sosial Ekonomi Pertanian*. 8(1): 18-25.
- Agustina, S., Widodo, P., dan Hidayah, H. A. 2014. Analisis fenetik kultivar cabai besar *Capsicum annuum* L. dan cabai kecil *Capsicum frutescens* L. *Scripta Biologica*. 1(1): 117-125.
- Agriflo, 2012. *Cabai : Prospek Bisnis dan Teknologi Manca Negara*. Penebar Swadaya Grup. Jakarta.
- Alori, E. T., Onaolapo, A. O., dan Ibaba, A. L. 2025. Cell free supernatant for sustainable crop production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 9:1549048.
- Anantha, P. S., John, W. W., Marimuthu, S., Saravanan, P., dan Anand, D. 2017. Isolation of endophytic bacteria, bioactive compounds and its antiviral activity against *Herpes simplex virus* type-1. *Int. J. Pharm. Sci. Drug Res*. 9(3): 113-117.
- AVRDC. 2004. *AVRDC Report 2003*. AVRDC Publication. Shanhuu.
- Badan Pusat Statistik. 2024. *Produksi Tanaman Sayuran*. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NjEjMg==/produksi-tanaman-sayuran.html>. Diakses pada 11 Maret 2025.
- Bianco, C. 2024. Plant-Growth-Promoting Bacteria. *Plants*. 3(10): 1323
- Brown, J. K., Zerbini, F. R., Navas-Castillo, J., Moriones, E., Ramos-Sobrinho, R., Silva, J. C. F., Fiallo-Olove, E., Briddon, R. W., Hernandez-Zepeda, C., Idris, A., Malathi, V. G., Martin, D. P., Rivera-Bustamante, R., Ueda, S., dan Varsani, A. 2015. Revision of Begomovirus taxonomy based on pairwise sequence comparisons. *Archives of Virology*. 160(6): 1593-1619.
- Bu, H., Sun, X., Hu, Y., Gu, G., Yang, Y., dan Yu, W. 2025. Research advances in the regulation of fruit size: an integrated perspective of genetic, hormonal, epigenetic, and environmental control. *Biology (Basel)*. 14(12): 1643.

- Chaudhary, R., Nawaz, A., Khattak, Z., Butt, M. A., Fouillaud, M., Dufosse, L. Munir, M., Haq, I., dan Mukhtar, H. 2024. Microbial bio-control agents: a comprehensive analysis on sustainable pest management in agriculture. *Journal of Agriculture and Food Research*.18: 1-18.
- Chouhan, V., Javed, M., Kumar, S., Mishra, S., S Velmurugan., dan Kumar, A. 2025. Phylloplane-adapted *Pseudomonas oryzihabitans* as a biocontrol agent: omics insights into antibiosis and defense against bacterial blight of pomegranate. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 41(411).
- Christina, A., Christapher, V., dan Bhore, S. J. 2013. Endophytic bacteria as a source of novel antibiotics: An overview. *Pharmacognosy Reviews*. 7(13): 11-16.
- Dzikrillah, I., Syafi'i, M., dan Syukur, M. 2023. Studi korelasi penciri karakter kuantitatif terhadap produksi cabai hibrida IPB di dataran rendah Karawang. *Jurnal Agrosains dan Teknologi*. 8(2): 76-86.
- Elsharkawy, M. M., Shimizu, M., Takahashi, H., Ozaki, K., dan Hyakumachi, M. 2013. Induction of systemic resistance against *Cucumber mosaic virus* in *Arabidopsis thaliana* by *Trichoderma asperellum* SKT-1. *Plant Pathol J*. 29(1): 193-200.
- Febriansyah, E., Saskiawan, I., Mangunwardoyo, W., Sulistiyani, T. R., dan Widhiya, E. W. 2018. Potency of growth promoting bacteria on mycelial growth of edible mushroom *Pleurotus ostreatus* and its identification based on 16S rDNA analysis. *AIP Conference Proceedings*. 1-6.
- Fitri, E., Widiyanti, F., dan Yulia, E. 2023. Kejadian dan uji hipersensitivitas bakteri yang berasosiasi dengan penyakit busuk batang jagung di Sumbawa Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Agrikultura*. 34(2): 210-217.
- Gayathri, M., Sharanya, R., Renukadevi, P., Nakkeeran, S., Saranya, N., Varanavasiappan, S., Raveendran, M., Suhail, A., dan Alkahtani, S. 2024. Deciphering the antiviral nature of endophytic *Bacillus* spp. against groundnut bud necrosis virus in cowpea and tomato. *Frontiers in Microbiology*. 15(1410677): 1-13.
- Gunaeni, N. 2015. Pengelolaan cabai merah dengan fokus pengendalian vektor dan virus mosaik. *Agrin*. 19(2): 125-140.
- Gupta, A. K., Verma, J., Srivastava, A., Srivastava, S., dan Prasad, V. 2021. A comparison of induced antiviral resistance by the phytoprotein CAP-34 and isolate P1f of the rhizobacterium *Pseudomonas putida*. *3 Biotech*. 11(509): 1-13.
- Hamdayanty dan Hardina, N. 2023. Identifikasi virus penyebab penyakit kuning keriting pada cabai di Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. *Jurnal Agrikultura*. 34(3): 427-434.
- Hannum, S., Aceh, R. M., dan Elimasni. 2019. Begomovirus detection on diseased chilli plant (*Capsicum annuum* L.) in Tanah Karo North Sumatera with PCR techniques. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 305(1): 1-7.

- Harrison, J. dan Griffin, E. A. 2024. The diversity and distribution of endophytes across biomes, plant phylogeny and host tissues: how far have we come and where do we go from here?. *Environmental Microbiology*. 22(6): 2107-2123.
- Horuz, S. 2021. *Pseudomonas oryzihabitans*: a potential bacterial antagonist for the management of bacterial fruit blotch (*Acidovorax citrulli*) of cucurbits. *Journal of Plant Pathology*. 103: 751-758.
- Issiki, S., Iwata, N., dan Khan, M. M. R. 2008. ISSR Variation in eggplant (*Solanum melongena* L.) and related *Solanum* species. *Scientia Horticulturae*. 117(3): 186-190.
- Kang, M., Zhang, L., Qin, T., An, J., Wang, C., Wang, S., Ali, F., Liu, B., Liu, L., Tang, L., Cao, W., Zhu, Y., dan Xiao, L. 2025. Bridging chlorophyll content and vertical nitrogen distribution for accurate canopy photosynthesis simulation. *Computers and Electronics in Agriculture*. 239: 110885.
- Katsenios, N., Andreou, V., Sparangis, P., Djordjevic, N., Giannoglou, M., Chanioti, S., Kasimatis, C. K., Kakabouki, I., Leonidakis, D., Danalatos, N., Katsaros, G., dan Efthimiadou, A. 2022. Assessment of plant growth promoting bacteria strains on growth, yield and quality of sweet corn. *Sci Rep*. 12(11598): 1-13.
- Kavino, M., Harish, S., Kumar, N., Saravanakumar, D., Damodaran, T., Soorianathasundaram, K., dan Samiyappan, R. 2007. Rhizosphere and endophytic bacteria for induction of systemic resistance of banana plantlets against *bunchy top virus*. *Soil Biology and Biochemistry*. 39(5): 1087-1098.
- Köhl, J., Kolnaar, R., dan Ravensberg, W. J. 2019. Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: relevance beyond efficacy. *Frontiers in Plant Science*. 10: 1-19.
- Li, Y., Héloir, M. C., Zhang, X., Geissler, M., Trouvelot, S., Jacquens, L., Henkel, M., Su, X., Fang, X., Wang, Q., dan Adrian, M. 2019. Surfactin and fengycin contribute to the protection of a *Bacillus subtilis* strain against grape downy mildew by both direct effect and defence stimulation. *Molecular plant pathology*. 20(8): 1037-1050.
- Listihani, Selangga, D. G. W., dan Sutrawati, M. 2021. Natural infection of *Tobacco mosaic virus* on butternut squash in Bali, Indonesia. *J. HPT Tropika*. 21(2): 116-122.
- Maghfiroh, E. L., Munif, A., Nawangsih, A. A., dan Akhdiya, A. 2022. Karakterisasi bakteri penyebab busuk lunak pada umbi porang (*Amorphophallus muelleri*) menggunakan primer PCR spesifik. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*. 27(3): 463-472.
- Marra, L. M., Soares, C. R. F. S., Oliveira, S. M. D., Ferreira, P. A. A., Soares, B. L., Carvalho, R. D. F., Lima, J. M. D., dan Moreira, S. 2012. Biological nitrogen fixation and phosphate solubilization by bacteria isolate from tropical soils. *Plant Soil*. 257:289-307.

- Naamala, J., Msimbira, L. A., Subramanian, S., dan Smith, D. L. 2023. *Lactobacillus helveticus* EL2006H cell-free supernatant enhances growth variables in *Zea mays* (maize), *Glycine max* L. Merrill (soybean) and *Solanum tuberosum* (potato) exposed to NaCl stress. *Frontiers in Microbiology*. 13:1075633.
- Narayanan, Z., dan Glick, B. R. 2022. Secondary metabolites produced by plant growth-promoting bacterial endophytes. *Microorganisms*. 10(10): 1-18.
- Naufal, A., Kusdiyantini, E., dan Raharjo, B. 2017. Identifikasi jenis pigmen dan uji potensi antioksidan ekstrak pigmen bakteri *Serratia marcescens* hasil isolasi dari sedimen sumber air panas gedong songo. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*. 19(2): 95.
- Nelson, Merrit, R., Orum., Thomas, V., Jaime-Garcia, dan Ramon. 1999. Application of geographic information systems and geostatistics in plant disease epidemiology and management. *Plant Disease*. 83(4): 308-319.
- Noman, A., Aqeel, M., Qari, S. H., Al Surhane, A. A., Yasin, G., Alamri, S., Hashem, M., dan M Al-Saadi, A. 2020. Plant hypersensitive response vs pathogen ingress: death of few gives life to others. *Microbial pathogenesis*. 145(104224): 1-8.
- Nurhadianty, V., Cahyani, C., Nirwana, C. O. W., dan Dewi, K. L. 2018. *Pengantar Teknologi Fermentasi Skala Industri*. UB Press. Malang.
- Nurikhianti, M., Zulkifli, L., Rasmi, D. A. C., dan Sedijani, P. 2024. Antagonistic test of bacteria producing siderophore and protease enzymes from the rhizosphere of peanut plants on the growth of pathogenic fungus *Colletotrichum gloeosporioides*. *Jurnal Biologi Tropis*. 24(1): 100-108.
- Pan, L. dan Cai, B. 2023. Phosphate-solubilizing bacteria: advances in their physiology, molecular mechanisms and microbial community effects. *Microorganisms*. 11(12): 2904.
- Paul, D. dan Sinha, S. N. 2016. Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacterium *Pseudomonas aeruginosa* KUPSB12 with antibacterial potential from river Ganga, India. *Annals of Agrarian Sciences*. 1-7.
- Partiwi, S., Al Idrus, A., Zulkifli, L., Mahrus., dan Sedijani, P. 2023. Isolation and molecular characterization of brotowali (*Tinospora crispa*) rhizosphere bacteria producing siderophore from dry lands of Lombok Island. *Jurnal Biologi Tropis*. 23(2): 275-284.
- Pieterse, C. M. J., Zamioudis, C., Berendsen, R. L., Weller, D. M., Van Wees, S. C. M., dan Bakker, P. A. H. M. 2014. Induced systemic resistance by beneficial microbes. *Annual Review of Phytopathology*. 25: 347-375.
- Qingwei, Z., Lushi, T., Yu, Z., Yu, S., Wanting, W., Jiangchuan, W., Xiaolei, D., Xuejiao, H., dan Bilal, M. 2023. Isolation and characterization of phosphate-solubilizing bacteria from rhizosphere of poplar on road verge and their antagonistic potential against various phytopathogens. *BMC Microbiology*. 23(221): 1-12.

- Radke, K., Rivers, B., Simpkins, M., Hardy, J., dan Schacterle, J. K. 2024. Characterization and genomics of pectinolytic bacteria isolated from soft rot symptomatic produce. *Pathogens*. 13(1096): 1-14.
- Rahayu, S. A., Zahra, F., dan Akmal, T. 2023. Antibacterial activity test of herbal and non herbal bar soap against the growth of *Staphylococcus aureus* ATCC29213. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology*. 5(2): 146-151.
- Ramirez, C., Cardozo, M., Gaston, M. L., Galdeano, E., dan Collavino, M. M. 2024. Plant growth promoting activities of endophytic bacteria from *Melia azedarach* (Meliaceae) and their influence on plant growth under gnotobiotic conditions. *Heliyon*. 10(15): 1-17.
- Rashid, M. I., Mujawar, L. H., Shahzad, T., Almeelbi, T., Ismail, I. M., dan Oves, M. 2016. Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils. *Microbiological research*. 183: 26-41.
- Rinihapsari, E. dan Julianasya, S. 2021. Penggunaan KOH *string test* sebagai alternatif identifikasi awal bakteri gram negatif. *Jurnal Ilmu Kedokteran dan Kesehatan Indonesia*. 1(1): 100-110.
- Ruiz, J. L. dan Salas Sanjuan, M. D. C. 2022. The use of plant growth promoting bacteria for biofertiligation; effects on concentrations of nutrients in inoculated aqueous vermicompost extract and on the yield and quality of tomatoes. *Biological Agriculture & Horticulture*. 38(3): 145–161.
- Saeed, Q., Xiukang, W., Haider, F. U., Kučerik, J., Mumtaz, M. Z., Holatko, J., Naseem, M., Kintl, A., Ejaz, M., Naveed, M., Brtnicky, M., dan Mustafa, A. 2021. Rhizosphere bacteria in plant growth promotion, biocontrol, and bioremediation of contaminated sites: a comprehensive review of effects and mechanisms. *International Journal of Molecular Sciences*. 22(19): 1-41.
- Sanjaya, M. S., Fitriana, Y., Lestari, P., dan Suharjo, R. 2024. Eksplorasi dan identifikasi bakteri simbiosis wereng batang coklat (*Nilaparvata lugens* Stal.) sebagai pendegradasi insektisida imidakloprid. *Jurnal Proteksi Agrikultura*. 1(1): 20-27.
- Santoyo, G., Hagelsieb, G. M., Mosqueda, C. O. M., dan Glick, B. R. 2016. Plant growth-promoting bacterial endophytes. *Microbiological Research*. 183: 92-99.
- Sari, M. 2019. Pengendalian vector larva *Aedes aegypti* dengan menggunakan biji sirsak (*Annona muricata* Linn.) *Menara Ilmu*. 18(6): 137-145.
- Sari, M. dan Moulina, M. A. 2020. Pengaruh variasi waktu perendaman sampel dan jumlah pelarut homogenasi terhadap persentase ekstrak protein daun kelor (*Moringa oleifera*). *AGRITEPA*. 7(1): 51-56.

- Sarki, Y., Novianti, T., Nugraheni, S. R. W., dan Hardjanto, A. 2022. Analisis pendapat, *willingness to pay*, dan faktor penentu adopsi benih bersertifikat petani cabai merah (studi kasus Kecamatan X-Koto, Kabupaten Tanah Datar). *Jurnal Agribisnis Indonesia*. 10(2): 375-388.
- Selangga, D. G. W. dan Listihani. 2021. Molecular identification of *Pepper yellow leaf curl Indonesia virus* on chilli pepper in Nusa Penida Island. *J. HPT Tropika*. 21(2): 97-102.
- Shahzad, G. R., Passera, A., Maldera, G., Casati, P., Marcello, I., dan Bianco, P. A. 2022. Biocontrol potential of endophytic plant-growth-promoting bacteria against phytopathogenic viruses: molecular interaction with the host plant and comparison with chitosan. *International Journal of Molecular Sciences*. 23(13): 1-20.
- Sharma, S. B., Aayyed, R. Z., Trivedi, M. H., dan Gobi, T. A. 2013. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *SpringerPlus*. 2(587): 1-14.
- Shingote, P. R., Wasule, D. L., Parma, V. S., Holkar, S. K., Karkute, S. G., Parlawar, N. D., dan Senanayake, D. M. J. B. 2022. An overview of chilli leaf curl disease: molecular mechanisms, impact, challenges, and disease management strategies in Indian subcontinent. *Frontiers in Microbiology*. 13(899512): 1-18.
- Siddique, M. I., Lee, J. H., Ahn, J. H., Kusumawardhani, M. K., Safitri, R., Harpenas, A., Kwon, J. K., dan Kang, B. C. 2022. Genotyping-by-sequencing-based QTL mapping reveals novel loci for *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV) resistance in *Capsicum annuum*. *PLoS One*. 17(2): 1-17.
- Sihombing, I. H., Pinem, M. I., dan Safni, I. 2019. Pengujian bakteri endofit asal cabai dalam menekan pertumbuhan *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsica* penyebab penyakit layu fusarium pada cabai. *Jurnal Agroekoteknologi FP USU*. 7(2): 339-346.
- Sinubu, W. V., Tumbol, R. A., Undap, S. L., Manoppo, H., dan Kreckhoff, R. L. 2022. Identifikasi bakteri patogen *Aeromonas* sp. pada ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) di Desa Matungkas, Kecamatan Dimembe, Kabupaten Minahasa Utara. *Budidaya Perairan*. 10(2): 109-120.
- Sorokan, A., Cherepanova, E., Burkhanova, G., Veselova, S., Rummyantsev, S., Alekseev, V., Mardanshin, I., Sarvarova, E., Khairullin, R., Benkovskaya, G., dan Maksimov, I. 2020. Endophytic *Bacillus* spp. as a prospective biological tool for control of viral diseases and non-vector *Leptinotarsa decemlineata* Say. in *Solanum tuberosum* L. *Front. Microbiol.* 11(69457): 1-13.
- Suciati, P., Tjahjaningsih, W., Masithah, E. D., dan Pramono, H. 2016. Aktivitas enzimatis isolat bakteri asam laktat dari saluran pencernaan kepiting bakau (*Scylla* spp.) sebagai kandidat probiotik. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. 8(2): 94-108.

- Sudewi, S., Ratnawati., Bangkele, L. I., Idris., Jaya, K., dan Saleh, A. R. 2022. Aktivitas bakteri endofit asal padi lokal kamba dalam menghambat pertumbuhan koloni *Alternaria porri* secara *in vitro*. *Agrovital: Jurnal Ilmu Pertanian*. 7(1): 12-17.
- Suhandono, S., Kusumawardhani, M. K., dan Aditiawati, P. 2016. Isolation and molecular identification of endophytic bacteria from rambutan fruit (*Nephelium lappaceum* L.) cultivar binjai. *Hayati Journal of Biosciences*. 23(1): 39-44.
- Suharjo, R., Aeny, T. N., Hasanudin, U., Sukmaratri, T. E., Krisno, R., Khoironi, T., dan Safitri, D. A. 2018. Potential of endophytic bacteria as plant growth promotor and antagonist against pineapple-fungal plant pathogen in Indonesia. *Proceedings of International Symposium on Innovative Crop Protection for Sustainable Agriculture*, March 7-8, 2018. Gifu University. Japan.
- Suharjo, R., Oktaviana, H. A., Aeny, T. N., Ginting, C., Wardhana, R. A., Nugroho, A., dan Ratdiana, R. 2021. *Erwinia mallotivora* is the causal agent of papaya bacterial crown rot disease in Lampung Timur, Indonesia. *Plant Protect Science*. 57(2): 122-133.
- Sutaryo, S. P. H., Himawan, A., dan Kristalisasi, E. N. 2024. Isolasi dan uji potensi bakteri pelarut fosfat dari rhizosfer tanaman kakao (*Theobroma cacao*). *Agroista: Jurnal Agroteknologi*. 8(1): 66-72.
- Taufik, M., Hasan, A., Hidayat, S. H., Parawansa, A. K., dan Tasrif, A. 2023. Penilaian keparahan gejala virus pada *Capsicum frutescens* berbasis indeks vegetasi dan pengamatan visual di lapangan. *Jurnal Agrotek Tropika*. 11(1): 7-14.
- Thakur, H., Jindal, S. K., Sharma, A., dan Dhaliwal, M. S. 2018. *Chilli leaf curl virus* disease: a serious threat for chilli cultivation. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 125: 239-249.
- Timofeeva, A. M., Galyamova, M. R., dan Sedykh, S. E. 2023 Plant growth-promoting soil bacteria: nitrogen fixation, phosphate solubilization, siderophore production, and other biological activities. *Plants*. 12(24): 4074.
- Tjahjadi dan Nur. 2010. *Bertanam Cabai*. Penerbit Kasinis. Yogyakarta.
- Tonny, K., Laksmiwata, Witona, dan De Putter, H. 2014. *Panduan Praktis Cabai Merah*. Bina Tani Sejahtera. Jakarta. Hal 13.
- Worosuryani, C. 2006. Uji kemampuan berbagai jamur tanah yang diisolasi dari lahan pasir sebagai PGPF dan agen pengendali hayati penyakit layu Fusarium pada semangka. *Tesis*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Xiong, B., Li, L., Li, Q., Mao, H., Wang, L., Bie, Y., Zeng, X., Liao, L., Wang, X., Deng, H., Zhang, M., Sun, G., dan Wang, Z. 2023. Identification of photosynthesis characteristics and chlorophyll metabolism in leaves of *Citrus* cultivar (*Harumi*) with varying degrees of chlorosis. *International journal of molecular sciences*. 24(9): 8394.

- Yang, F., Huang, T., Tong, H., Shi, X., Zhang, R., Gu, W., Li, Y., Han, P., Zhang, X., Yang, Y., Zhou, Z., Wu, Q., Zhang, Y., dan Su, Q. 2024. Herbivore-induced volatiles reduce the susceptibility of neighboring tomato plants to transmission of a whitefly-borne begomovirus. *Journal of Experimental Botany*. 75(20): 663-6675.
- Yang, R., Du, X., Khojasteh, M., Shah, S. M. A., Pengm Y., Zhu, Z., Xu, Z., dan Chen, G. 2025. Green guardians: the biocontrol potential of *Pseudomonas*-derived metabolites for sustainable agriculture. *Biological Control*. 201: 1-13.
- Zahra, S. K., Andini, W., Abdurrahman, M., dan Sebayang, V. Br. 2024. Analisis fluktuasi harga terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas usaha tani cabai merah di Indonesia. *Jurnal Riset dan Inovasi Manajemen*. 2(2): 162-172.
- Zenelt, W., Hoffmann, A., Sadowska, K., dan Krawczyk, K. 2026. Insects as a new source of plant growth promoting bacteria – review. *Microbial Ecology*. 89(58).
- Zulkifli, L., Sedijani, P., Citra Rasmi, D. A., dan Amrullah, L. W. Z. 2020. Screening and molecular identification of phosphate-solubilizing rhizobacteria from mangrove ecosystem of the Lombok Island. *Jurnal Biologi Tropis*. 20(3): 475-484.