

UJI ANTAGONIS BAKTERI ENDOFIT *Pseudomonas* BERFLUORESEN TERHADAP *RALSTONIA SOLANACEARUM* PENYEBAB LAYU TANAMAN TOMAT DAN NILAM

Laila Mardhiyah Nazri, Dwi Hilda Putri*, Linda Advinda, Fauzi Eka Nuraini, Dezi Handayani, Moralita Chatri

Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang Jl. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Padang, Sumatera Barat, Indonesia

E-mail: dwiildaputri.08@gmail.com

Abstrak

Salah satu penyakit yang menyerang tanaman tomat dan nilam yaitu penyakit layu bakteri disebabkan oleh *R. solanacearum* dan menyebabkan penurunan produktivitas secara signifikan. Upaya pengendalian penyakit ini umumnya masih mengandalkan bakterisida kimia yang berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan. Oleh karena itu, pemanfaatan bakteri endofit sebagai agen pengendali hayati menjadi alternatif yang lebih aman dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan antagonis bakteri endofit *Pseudomonas* berfluoresen yang diisolasi dari akar pisang buai dalam menghambat pertumbuhan *R. solanacearum* penyebab layu pada tanaman tomat dan nilam secara in vitro. Penelitian dilaksanakan pada Agustus–November 2025 di Laboratorium Biologi FMIPA Universitas Negeri Padang. Sebanyak tujuh isolat *Pseudomonas* berfluoresen (PfB32, PfB51, PfB52, PfB305, PfB309, PfB311, dan PfB322) diuji daya antagonisnya menggunakan metode swab pada media Mueller Hinton Agar. Pengamatan dilakukan dengan mengukur diameter zona hambat yang terbentuk di sekitar koloni bakteri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolat *Pseudomonas* berfluoresen memiliki kemampuan antagonis yang berbeda terhadap patogen uji. Isolat PfB309 dan PfB322 menunjukkan zona hambat terbesar terhadap *R. solanacearum* tomat, isolat PfB32, PfB51, dan PfB52 tidak membentuk zona hambat. Di sisi lain, isolat PfB32 dan PfB51, PfB52 mampu membentuk zona hambat terhadap *R. solanacearum* nilam, tetapi isolat lain tidak menunjukkan aktivitas penghambatan. Variasi diameter zona hambat menunjukkan kemampuan masing-masing isolat menghasilkan metabolit sekunder antibakteri yang berbeda-beda, termasuk metabolit volatil (VOCs) dan non-volatil seperti 2,4-diacetylphloroglucinol (DAPG), phenazine, pyrrolnitrin, pyoluteorin, dan siderofor.

Kata Kunci: *Antagonis; endofit; Pseudomonas berfluoresen; R. solanacearum; zona hambat*

Abstract

One of the diseases that attacks tomato and basil plants is bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum*, which significantly reduces productivity. Efforts to control this disease generally still rely on chemical bactericides that have the potential to cause negative impacts on the environment and health. Therefore, the use of endophytic bacteria as biological control agents is a safer and more sustainable alternative. This study aims to determine the antagonistic ability of fluorescent endophytic *Pseudomonas* bacteria isolated from plantain roots in inhibiting the growth of *R. solanacearum*, which causes wilting in tomato and basil plants, in vitro. The study was conducted from August to November 2025 at the Biology Laboratory of the Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Padang State University. Seven fluorescent *Pseudomonas* isolates (PfB32, PfB51, PfB52, PfB305, PfB309, PfB311, and PfB322) were tested for their antagonistic

ability using the swab method on Mueller Hinton Agar medium. Observations were made by measuring the diameter of the inhibition zone formed around the bacterial colonies. The results showed that fluorescent *Pseudomonas* isolates had different antagonistic abilities against the test pathogens. Isolates PfB309 and PfB322 showed the largest inhibition zones against *R. solanacearum* tomato, while isolates PfB32, PfB51, and PfB52 did not form inhibition zones. On the other hand, isolates PfB32, PfB51, and PfPB52 were able to form inhibition zones against *R. solanacearum* in basil, but other isolates did not show any inhibitory activity. The variation in the diameter of the inhibition zone indicates the ability of each isolate to produce different antibacterial secondary metabolites, including volatile metabolites (VOCs) and non-volatile metabolites such as 2,4-diacetylphloroglucinol (DAPG), phenazine, pyrrolnitrin, pyoluteorin, and siderophores.

Keywords: *Antagonist; endophyte; fluorescent Pseudomonas; R. solanacearum; inhibition zone*

1. PENDAHULUAN

Tanaman tomat (*Solanum lycopersicum*) adalah salah satu komoditas hortikultura yang penting karena berfungsi sebagai sumber pangan dan sumber pendapatan bagi petani skala kecil hingga komersial. Buah tomat dimanfaatkan secara luas sebagai sayur segar, bahan olahan, pakan ternak, dan sumber nutrisi fungsional yang kaya vitamin C, likopen, dan antioksidan lainnya (Ahmad et al., 2024). Provinsi Sumatera Barat adalah salah satu daerah yang paling banyak menghasilkan tomat dan nilam di Indonesia (Perkebunan, 2019).

Beberapa daerah yang menghasilkan tomat di Sumatera Barat adalah Kabupaten Solok, Kabupaten Tanah Datar, Kabupaten Agam, Kabupaten Lima Puluh Kota, dan Kabupaten Solok Selatan. Menurut Badan Pusat Statistik (2024) produksi tomat di Sumatera Barat pada tahun 2024 mencapai 85.587 ton. Meskipun permintaan dan produksi tomat relatif tinggi, fluktuasi produksi sering terjadi. Salah satu penyebab penurunan produksi yang signifikan adalah adanya serangan penyakit layu bakteri yang disebabkan oleh *Ralstonia solanacearum*. Berdasarkan data BPS (2024) produktivitas tomat di Sumatera Barat cenderung menurun dari tahun 2020 hingga 2023, dengan angka berturut-turut 29,79 ribu ton, 27,25 ribu ton, 26,04 ribu ton, dan 23,51 ribu ton

Tanaman nilam (*Pogostemon cablin* Benth.) adalah tanaman yang menghasilkan minyak atsiri. Minyak nilam banyak digunakan dalam industri parfum, aromaterapi, farmasi, dan industri kimia (Silalahi, 2019). Beberapa daerah yang membudidayakan nilam adalah Pasaman Barat, Sijunjung, Sawahlunto, dan

Tanah Datar (Hendrita et al., 2021). Menurut Rahayu (2024) produksi nilam tercatat sekitar 2,12 ribu ton pada 2023 dan meningkat moderat menjadi 2,22 ribu ton pada 2024. Namun proyeksi resmi menunjukkan penurunan produksi yang signifikan pada 2025, diperkirakan turun menjadi 1,72 ribu ton (22,8%) (Rahayu, 2024).

R. solanacearum merupakan patogen yang bersifat tular tanah, memiliki rentang inang yang luas, dapat bertahan lama di dalam tanah dan bahan organik, dan dapat menyebabkan kerugian produksi yang signifikan (Kolo et al., 2024). Upaya pengendalian infeksi *R. solanacearum* yang umum dilakukan adalah dengan menggunakan pestisida atau bakterisida sintetis. Namun, penggunaan agen kimia jangka panjang pada tanaman dapat membahayakan lingkungan (Yuliyanti et al., 2017).

Alternatif pengendalian yang mungkin dan aman bagi lingkungan adalah dengan mikroba antagonis. Mikroba antagonis yang banyak digunakan untuk mengendalikan penyakit tanaman salah satunya adalah *Pseudomonas* berfluoresen. Mikroba ini dapat bersaing dan mengkolonisasi perakaran tanaman, menghasilkan toksin, metabolit sekunder, dan siderofor, serta juga dapat berfungsi sebagai *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) (Hamedo & Makhlof, 2016).

Pseudomonas berfluoresen adalah kelompok bakteri Gram-negatif dan sebagai kelompok bakteri yang hidup di rizosfer serta endofit. Bakteri tersebut hidupnya secara berkoloni menyelimuti akar tanaman sehingga memberikan keuntungan bagi tanaman (Sopialena et al., 2023). Selain memiliki kemampuan menghasilkan senyawa pengatur pertumbuhan, *Pseudomonas* berfluoresen juga dapat berperan sebagai agen biokontrol. Kemampuan *Pseudomonas* berfluoresen sebagai agen biokontrol dipengaruhi oleh senyawa aktif yang dihasilkan. *Pseudomonas* berfluoresen memiliki kemampuan untuk menghasilkan berbagai metabolit sekunder yang berperan sebagai senyawa anti mikroba seperti Hidrogen Sianida (HCN), *Phenazines*, *Pyoluteorin*, dan 2,4-Diacetylphloroglucinol (Dilla et al., 2024).

Hasil uji in vitro yang dilakukan oleh Yulianda et al., (2021) menunjukkan bahwa *Pseudomonas* berfluoresen isolat LAHP2 dan PfPj2 (yang diisolasi dari rizosfer pisang) mampu menghambat pertumbuhan patogen *R. solanacearum*

dengan diameter zona hambat 10,61 mm dan 3,94 mm. Studi yang dilakukan oleh Singh & Jagtap (2017) menunjukkan bahwa *Pseudomonas fluorescens*, yang berasal dari Departemen Patologi Tumbuhan, dapat menghambat *R. solanacearum* dengan menghasilkan diameter zona hambat 24,33 mm. Selanjutnya, Advinda et al., (2018) membuktikan isolat *Pseudomonas* berfluoresen PfCas dan PfCas3 yang ditambahkan $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ pada medium tumbuhnya menghasilkan antimikroba asam sianida terbaik.

Berdasarkan uraian diatas belum diketahui kemampuan bakteri endofit *Pseudomonas* berfluoresen pisang buai dalam menghambat pertumbuhan *R. solanacearum* penyebab penyakit layu tanaman tomat dan nilam. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini mengetahui kemampuan antagonis isolat bakteri endofit *Pseudomonas* berfluoresen terhadap *R. solanacearum* penyebab penyakit layu tanaman tomat dan nilam secara in vitro.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus sampai November 2025 di Laboratorium Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

2.2 Bahan dan Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah cawan petri, jarum ose, tabung reaksi, rak tabung reaksi, Erlenmeyer, gelas ukur, magnetic stirrer, oven, autoklaf, bunsen, spektrofotometer, kuvet, timbangan digital, vortex, plastik, alat tulis, beaker glass, kamera handphone dan jangka sorong.

Bahan yang digunakan isolat bakteri endofit *Pseudomonas* berfluoresen koleksi Laboratorium Biologi FMIPA UNP diisolasi dari akar pisang buai yaitu PfB32, PfB51, PfB52, PfB305, PfB309, PfB311, PfB322, *R. solanacearum* tomat dan nilam koleksi Advinda, Aquades, Alkohol 70%, NaCl 0,9%, tisu steril, Gliserol, *Casein Hydrolysate*, Pepton, *Glucose*, Agar, *Tetrazolium Chloride*, plastik wrapping, swab kapas, lidi steril, spiritus, aluminium foil, kertas label, King'S Medium B Base, dan Mueller Hinton Agar (MHA).

2.3 Peremajaan isolat *Pseudomonas berfluoresen*

Kultur bakteri endofit isolat PfB32, PfB51, PfB52, PfB305, PfB309, PfB311, PfB322 diremajakan dengan menginokulasi kultur ke dalam plate replika King's B. Kultur diinkubasi pada suhu ruang selama 2 x 24 jam.

2.4 Peremajaan *R. solanacearum* tomat dan nilam (koleksi Advinda)

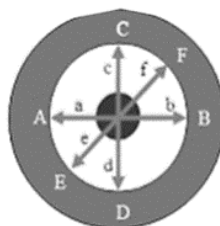
Bakteri uji *R. solanacearum* diremajakan dengan menginokulasi ke dalam media miring TZC menggunakan metode zigzag. Selanjutnya diinkubasi pada suhu ruang selama 1 x 24 jam.

2.5 Uji Antagonis *Pseudomonas berfluoresen*

Uji kemampuan *Pseudomonas berfluoresen* dalam menghambat pertumbuhan *R. solanacearum* diuji dengan cara swab pada medium MHA (Miranda et al., 2022). Masing-masing bakteri patogen dibuat dalam bentuk suspensi dengan cara sebanyak dua ose bakteri disuspensikan di dalam 9 ml NaCl 0,9% steril. Suspensi dihomogenkan dengan vortex. Pengukuran kekeruhan suspensi disetarakan dengan standar Mcfarland's 0,5 dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 600 nm. Suspensi dinyatakan memiliki kekeruhan setara McFarland 0,5 jika diperoleh OD 0,118 (konsentrasi sel bakteri $\pm 10^8$ CFU/sel) (Rosmania & Yanti, 2020). Uji antagonis dilakukan dengan cara swab yaitu mikroba patogen ditumbuhkan pada lapisan atas media MHA menggunakan swab kapas steril, kemudian isolat *Pseudomonas berfluoresen* diinokulasikan titik menggunakan lidi steril ke dalam plate medium MHA. Kultur diinkubasi selama 1 x 24 jam pada suhu ruang. Zona bening yang terbentuk di sekitar koloni bakteri merupakan indikator terbentuknya daya hambat.

2.6 Pengamatan Penelitian

Diameter zona bening diukur menggunakan jangka sorong. Diameter zona bening diukur setiap perwakilan sisi dengan menggunakan rumus:



Gambar 1. Pengukuran diameter zona hambat (Miranda et al., 2022)

Untuk perhitungan zona hambat menggunakan rumus berikut:

$$(d) = \frac{(AB - ab) + (CD - Cd) + (EF - ef)}{3}$$

Keterangan:

- d : Rata-rata diameter zona hambat
- A-B : Diameter zona horizontal
- C-D : Diameter zona horizontal
- E-F : Diameter zona diagonal
- a-b : Diameter koloni horizontal
- c-d : Diameter koloni vertikal
- e-f : Diameter koloni diagonal

2.7 Analisis Data

Data hasil pengukuran diameter zona hambat pada uji antagonis *Pseudomonas* berfluoresen terhadap *R. solanacearum* penyebab penyakit layu tanaman tomat dan nilam dianalisis secara deskriptif dengan analisis kuantitatif yang disajikan dalam bentuk grafik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

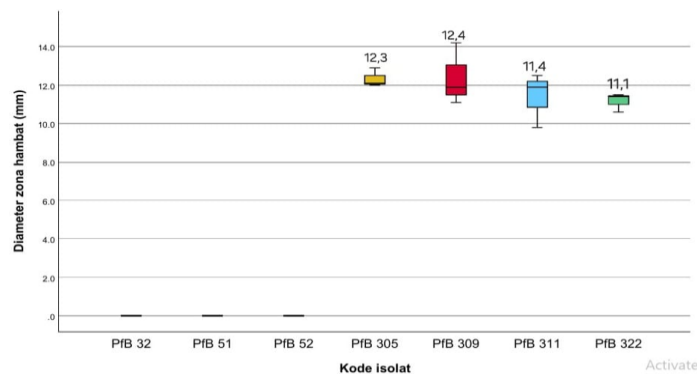
3.1 Hasil Penelitian

Uji antagonis isolat *Pseudomonas* berfluoresen telah dilakukan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa isolat bakteri endofit *Pseudomonas* berfluoresen Pfb32, Pfb51, Pfb52, Pfb305, Pfb309, Pfb311, Pfb322 yang diisolasi dari akar pisang buai, menunjukkan kemampuan yang berbeda-beda dalam menghambat pertumbuhan *R. solanacearum* penyebab penyakit layu pada nilam dan tomat. Gambaran umum diameter zona hambat yang diperoleh dari uji antagonis isolat *Pseudomonas* berfluoresen dalam menghambat *R. solanacearum* tomat dan nilam dapat dilihat pada Gambar 2.



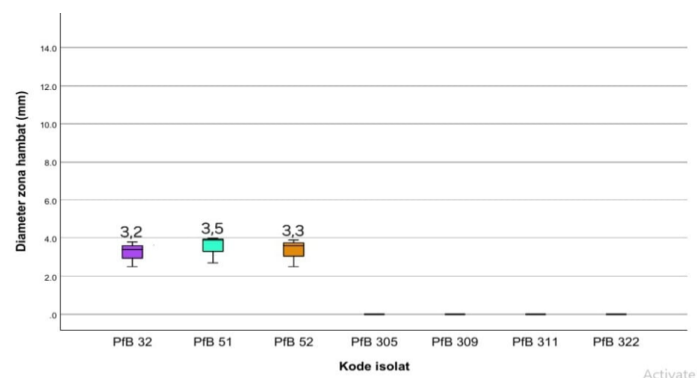
Gambar 2. Gambaran umum diameter zona hambat *Pseudomonas* berfluoresen terhadap *R. solanacearum* (A) Tomat; (B) Nilam

Hasil uji antagonis ke tujuh isolat *Pseudomonas* berfluoresen yang digunakan terhadap *R. solanacearum* penyebab penyakit layu tanaman tomat memperlihatkan diameter zona hambat yang berbeda (Gambar 3.). *Pseudomonas* berfluoresen isolat Pfb32, Pfb51, dan Pfb52 tidak membentuk zona hambat setelah di uji kemampuannya menghambat *R. solanacearum* penyebab penyakit layu tanaman tomat. Sedangkan 4 isolat lainnya membentuk zona hambat dengan diameter yang berbeda.



Gambar 3. Rata-rata diameter zona hambat *Pseudomonas* berfluoresen yang di uji terhadap *R. solanacearum* penyebab penyakit layu tanaman tomat

Uji antagonis tujuh isolat *Pseudomonas* berfluoresen terhadap *R. solanacearum* penyebab penyakit layu tanaman nilam memperlihatkan diameter zona hambat yang berbeda (Gambar 4.). Pada Gambar 4. terlihat perbedaan kemampuan *Pseudomonas* berfluoresen isolat Pfb32, Pfb51, dan Pfb52 dalam menghambat *R. solanacearum* tanaman nilam bila dibandingkan dengan *R. solanacearum* tanaman tomat. Ketiga isolat ini tidak mampu menghambat *R. solanacearum* tanaman tomat, sedangkan ketiganya mampu menghambat *R. solanacearum* penyebab penyakit layu tanaman nilam. Sedangkan 4 isolat *Pseudomonas* berfluoresen lainnya tidak membentuk zona hambat.



Gambar 4. Rata-rata diameter zona hambat *Pseudomonas* berfluoresen yang di uji terhadap *R. solanacearum* penyebab penyakit layu tanaman nilam

3.2 Pembahasan

Uji antagonis menunjukkan bahwa isolat *Pseudomonas* berfluoresen dapat menghambat perkembangan *R. solanacearum*, meskipun masing-masing isolat memiliki tingkat keberhasilan yang berbeda. Zona hambat terhadap *R. solanacearum* tomat mencapai diameter tertinggi 12,4 mm oleh isolat PfpB309 dan terendah 11,2 mm oleh isolat PfpB322, sedangkan zona hambat terhadap *R. solanacearum* nilam berkisar antara 3,2 mm oleh isolat PfpB32 dan 3,5 mm oleh isolat PfpB51.

Adanya zona hambat selama perlakuan menunjukkan adanya aktivitas antagonis yang kuat secara in vitro, menunjukkan bahwa isolat-isolat tersebut dapat dijadikan kandidat dalam pemanfaatan agen biokontrol. Penelitian Soesanto & Mugiastuti (2019) menunjukkan isolat dengan zona hambat yang besar pada uji in vitro cenderung memiliki efek menghambat yang baik pada tanaman tomat yang terinfeksi *R. solanacearum*.

Variasi dalam diameter zona hambat antara isolat *Pseudomonas* berfluoresen menunjukkan bahwa masing-masing isolat memiliki kapasitas yang berbeda untuk menghasilkan metabolit antibakteri yang menunjukkan bahwa isolat tersebut bersaing dengan patogen dalam memperebutkan ruang dan nutrisi. Mehmood et al., (2023) menyatakan bahwa kemampuan masing-masing isolat untuk menghasilkan metabolit sekunder, baik volatil maupun non-volatil, sangat memengaruhi kinerja antagonisme terhadap patogen tular tanah.

Pseudomonas berfluoresen menghasilkan berbagai metabolit sekunder non-volatil. 2,4-Diacetylphloroglucinol adalah salah satu metabolit paling penting dari *Pseudomonas* berfluoresen, memiliki spektrum aktivitas yang luas dan berinteraksi dengan bakteri dan jamur patogen. 2,4-DAPG menempel pada membran sel patogen, mengganggu integritas membran dan meningkatkan pembentukan spesies oksigen reaktif (ROS) dalam sel patogen. Akibatnya, ketika dibebaskan di sekitar zona pertumbuhan patogen, kerusakan DNA dan kematian sel terjadi pada tingkat molekuler. Selain itu, DAPG dapat diproduksi pada tingkat tinggi oleh isolat tertentu yang memiliki gen biosintesis DAPG yang aktif. Gen ini menghasilkan DAPG yang sangat berlawanan dengan *R. solanacearum* (Suresh et al., 2022).

Pyrrolnitrin, pyoluteorin, dan phenazine contoh antibiotik lain. Jalur biosintesis enzimatis yang diatur oleh gen tertentu pada kromosom bakteri menghasilkan sintesis senyawa ini. Phenazine memiliki sifat redoks yang memungkinkan pembentukan radikal bebas di sekitar patogen. Pyrrolnitrin dan pyoluteorin memiliki kemampuan untuk menghentikan pertumbuhan patogen dengan merusak struktur sel atau fungsi fisiologisnya (Mishra & Arora, 2018). Selain itu juga terdapat siderofor, Molekul-molekul ini memiliki afinitas untuk mengikat ion besi (Fe^{3+}) di rizosfer. Siderofor melepaskan besi dari lingkungan, membuat mikroba patogen tidak dapat menemukannya. Kekurangan besi memperlambat atau menghentikan pertumbuhan *R. solanacearum*, karena besi adalah kofaktor penting dalam banyak enzim metabolik (Yulianda et al., 2021).

Metabolit volatil, juga dikenal sebagai *Volatile Organic Compounds* (VOCs), adalah senyawa kecil yang mudah menguap yang diproduksi oleh *Pseudomonas* berfluoresen dan memiliki kemampuan untuk berdifusi melalui medium tanpa ada kontak langsung antara bakteri penghasil dan patogen (Raza et al., 2016) bekerja mengganggu metabolisme internal dan regulasi gen patogen, senyawa volatil dapat mengurangi virulensi patogen. Studi Raza et al., (2016) menunjukkan bahwa VOCs *Pseudomonas* berfluoresen dapat mengubah ekspresi protein patogen, yang termasuk proses metabolisme energi, pembentukan dinding sel, pembentukan biofilm, dan aktivitas enzim detoksifikasi yang mengganggu fisiologi normal patogen, melambatkan atau menghentikan perkembangan.

Spesifisitas isolat terhadap patogen, juga ditunjukkan oleh interaksi antagonis yang diamati. Respon terhadap isolat *R. solanacearum* dari tanaman inang yang berbeda dapat berbeda pada isolat bakteri endofit dari spesies yang sama. Yendyo et al., (2018) menyatakan bahwa keragaman genetik bakteri antagonis dan patogen sangat memengaruhi keberhasilan *Pseudomonas* berfluoresen dalam menghambat *R. solanacearum*. Selain itu, kemampuan fisiologis dan ekologis *Pseudomonas* berfluoresen, termasuk kolonisasi akar, pembentukan biofilm, ketahanan di lingkungan tanah, dan aktivasi mekanisme *Induced Systemic Resistance* (ISR) pada tanaman, menentukan kesuksesannya sebagai agen biokontrol (Cheng et al., 2017). Menurut Chandrasekaran et al., (2016) meskipun isolat tidak selalu menghasilkan

zona hambat yang besar secara *in vitro*, kemampuannya untuk menginduksi ISR dapat membantu melindungi tanaman dari serangan *R. solanacearum*. Oleh karena itu, potensi *Pseudomonas* berfluoresen sebagai agen biokontrol penyakit layu bakteri bergantung pada berbagai mekanisme, termasuk antibiosis, kompetisi nutrisi melalui siderofor, pembentukan VOCs, dan aktivasi ketahanan tanaman.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa isolat *Pseudomonas* berfluoresen dapat menghambat perkembangan *R. solanacearum*, meskipun masing-masing isolat memiliki tingkat keberhasilan yang berbeda. Zona hambat terhadap *R. solanacearum* tomat mencapai diameter tertinggi 12,4 mm oleh isolat PfPB309 dan terendah 11,2 mm oleh isolat PfPB322, sedangkan zona hambat terhadap *R. solanacearum* nilam berkisar antara 3,2 mm oleh isolat PfPB32 dan 3,5 mm oleh isolat PfPB51. Variasi diameter zona hambat menunjukkan kemampuan masing-masing isolat menghasilkan metabolit sekunder antibakteri yang berbeda-beda, termasuk metabolit volatil (VOCs) dan non-volatil seperti 2,4-diacetylphloroglucinol (DAPG), phenazine, pyrrolnitrin, pyoluteorin, dan siderofor. Penelitian ini bersifat strategis untuk mengembangkan pengendalian hayati penyakit layu bakteri pada tanaman tomat dan nilam. Dapat membantu mengurangi penggunaan bakterisida kimia dan mendukung pertanian yang berkelanjutan serta menjadi rujukan untuk penelitian lebih lanjut tentang pembuatan, penerapan, dan uji efikasi *Pseudomonas* berfluoresen sebagai agen biokontrol *R. solanacearum*.

4.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, disarankan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut ke tahap mekanistik dan uji *in planta*. Menggunakan pendekatan bertingkat dari laboratorium hingga lapangan, isolat terpilih berpotensi dikembangkan sebagai strategi pengendalian hayati yang ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk mengatasi penyakit layu bakteri pada komoditas penting seperti nilam dan tomat.

5. REFERENSI

- Advinda, L., Fifendy, M., & Anhar, A. (2018). The Addition Of Several Mineral Sources On Growing Media Of Fluorescent Pseudomonad For The Biosynthesis Of Hydrogen Cyanide. *Iop Conference Series: Materials Science And Engineering*, 335(1).
- Ahmad, M. F., Ahmad, F. A., Alsayegh, A. A., Zeyaulah, M., Alshahrani, A. M., Muzammil, K., Saati, A. A., Wahab, S., Elbendary, E. Y., Kambal, N., Abdelrahman, M. H., & Hussain, S. (2024). Pesticides Impacts On Human Health And The Environment With Their Mechanisms Of Action And Possible Countermeasures. *Heliyon*, 10(7), E29128.
- Bps. (2024). *Produksi Tanaman Sayuran Dan Buah-Buahan Semusim Menurut Provinsi Dan Jenis Tanaman*.
- Bps, P. S. B. (2024). Produksi Tanaman Hortikultura Provinsi Sumatera Barat 2023. In *Bps Provinsi Sumatera Barat* (Vol. 37).
- Chandrasekaran, M., Subramanian, D., Yoon, E., & Kwon, T. (2016). Meta-Analysis Reveals That The Genus Pseudomonas Can Be A Better Choice Of Biological Control Agent Against Bacterial Wilt Disease Caused By Ralstonia Solanacearum. *The Plant Pathology Journal*, 32(3), 216–227.
- Cheng, X., Etalo, D. W., Mortel, J. E. Van De, Dekkers, E., Nguyen, L., Medema, M. H., & Raaijmakers, J. M. (2017). Genome-Wide Analysis Of Bacterial Determinants Of Plant Growth Promotion And Induced Systemic Resistance By Pseudomonas Fluorescens. *Environmental Microbiology*, 19(17), 4638–4656.
- Dilla, A., Advinda, L., Handayani, D., & Chatri, M. (2024). Pseudomonas Fluorescent As A Biocontrol Agent Against Plant Pathogens. *Jurnal Serambi Biologi*, 9(1), 64–69.
- Hamedo, H. A., & Makhoulf, A. H. (2016). Biological Defence Of Some Bacteria Against Tomato Wilt Disease Caused By Ralstonia Solanacearum. *Minia Science Bulletin*, 27(2), 26–40.
- Hendrita, V., Putra, R. A., & Harryadi. (2021). Strategi Pengembangan Usaha Tani Nilam (Pogostemon Cablin Benth). Studi Kasus: Kelompok Tani Rimbun Basamo Di Desa Balai Batu Sandaran, Kecamatan Barangin, Kota Sawahlunto. *Agriland Jurnal Ilmu Pertanian*, 9(3), 252–263.
- Kolo, M. S., Hahuly, M. V, Iburuni, Y. U. R., & Serangmo, D. Y. L. (2024). Pengaruh Mikoriza Terhadap Penyakit Layu Bakteri (Ralstonia Solanacearum) Pada Tanaman Tomat (Lycopersicum Esculentum). *Agrisa*, 13(1), 164–177.
- Mehmood, N., Saeed, M., Zafarullah, S., Hyder, S., Rizvi, Z. F., Gondal, A. S., Jamil, N., Iqbal, R., Ali, B., Ercisli, S., & Kupe, M. (2023). Multifaceted Impacts Of Plant-Beneficial Pseudomonas Spp. In Managing Various Plant Diseases And Crop Yield Improvement. *Acs Omega*, 8(25), 22296–22315.
- Miranda, M., Lestari, M. Dinda, Setiawati, U. N., Setyaningrum, E., Nukmal, N., Arifyianto, A., & Aeny, T. N. (2022). Uji Daya Hambat Pertumbuhan Mikroba Patogen Oleh Streptomyces Sp. Strain I18 Sebagai Agen Biokontrol. *Bioeksperimen*, 8(2), 88–96.
- Mishra, J., & Arora, N. K. (2018). Secondary Metabolites Of Fluorescent Pseudomonads

- In Biocontrol Of Phytopathogens For Sustainable Agriculture. *Applied Soil Ecology*, 125, 35–45.
- Perkebunan, Direktorat Jenderal. (2019). *Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas Kelapa Tahun 2018*.
- Rahayu, I. (2024). *Outlook Nilam*. Pusat Data Dan Sistem Informasi Pertanian Sekretariat Jenderal - Kementerian Pertanian.
- Raza, W., Ling, N., Liu, D., Wei, Z., Huang, Q., & Shen, Q. (2016). Volatile Organic Compounds Produced By *Pseudomonas Fluorescens* Wr-1 Restrict The Growth And Virulence Traits Of *Ralstonia Solanacearum*. *Microbiological Research*, 192, 103–113.
- Rosmania, R., & Yanti, F. (2020). Perhitungan Jumlah Bakteri Di Laboratorium Mikrobiologi Menggunakan Pengembangan Metode Spektrofotometri. *Jurnal Penelitian Sains*, 22(2), 76.
- Silalahi, M. (2019). Botani, Manfaat, Dan Bioaktivitas Nilam *Pogostemon Cablin*. *Edumatsains*, 4(1), 29–40.
- Singh, R., & Jagtap, G. P. (2017). In Vitro Evaluation Of Antibacterial Chemicals And Bioagents Against *Ralstonia Solanacearum* Infecting Bacterial Wilt In Ginger. *International Journal Of Current Microbiology And Applied Sciences*, 6(5), 2034–2045.
- Soesanto, L., & Mugiastuti, E. (2019). Granular Formulation Test Of *Pseudomonas Fluorescens* P60 For Controlling Bacterial Wilt (*Ralstonia Solanacearum*) Of Tomato In Planta. *Agricultural Science*, 41(3), 513–523.
- Sopialena, S., Sila, S., Sofian, S., & S, J. (2023). Mikrobial Pada Plant Growth Promoting Rhizobakteri Bambu, Alang-Alang Dan Pisang. *AgriFor*, 22(1), 55.
- Suresh, P., Rekha, M., Gomathinayagam, S., Ramamoorthy, V., Sharma, M. P., Sakthivel, P., Sekar, K., Valan Arasu, M., & Shanmugaiah, V. (2022). Characterization And Assessment Of 2, 4-Diacetylphloroglucinol (Dapg)-Producing *Pseudomonas Fluorescens* Vsmku3054 For The Management Of Tomato Bacterial Wilt Caused By *Ralstonia Solanacearum*. *Microorganisms*, 10(8).
- Yendyo, S., Ramesh, G. ., & Pandey, B. R. (2018). Evaluation Of *Trichoderma* Spp., *Pseudomonas Fluorescens* And *Bacillus Subtilis* For Biological Control Of *Ralstonia* Wilt Of Tomato. *F1000research*, 6(2028), 1–22.
- Yulianda, S., Advinda, L., Chattri, M., & Handayani, D. (2021). Uji Antagonis *Pseudomonas* Fluoresen Penghasil Siderofor Terhadap *Ralstonia Solanacearum* Penyebab Penyakit Layu Tanaman Nilam. *Prosiding Semnas Bio*, 1785–1790.
- Yuliyanti, T., Hartati, S. Y., & Indrayanti, R. (2017). Uji Ketahanan Nilam Terhadap *Synchytrium Pogostemonis* Penyebab Penyakit Budok Dan Potensi Pengendaliannya Dengan Pestisida Nabati. *Bioma*, 13(2), 31–40.