

***Streptomyces* spp. sebagai Pengendali Hayati Busuk Fusarium pada Bawang Merah**

Streptomyces spp. as Biocontrol Agents of Fusarium Basal Rot on Shallots

Eka Wijayanti, Abdjad Asih Nawangsih*, Efi Toding Tondok
Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor, 16680

(diterima November 2023, disetujui Maret 2024)

ABSTRAK

Streptomyces spp. telah banyak diteliti sebagai agens pengendali hayati penyakit tanaman karena kemampuannya dalam menghasilkan berbagai jenis antibiotik, terutama senyawa-senyawa anticendawan. Aplikasinya untuk pengendalian *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* penyebab penyakit busuk fusarium pada bawang merah di Indonesia belum dieksplorasi. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas *Streptomyces* spp. dalam mengendalikan *F. oxysporum* f. sp. *cepae* serta senyawa apa saja yang dihasilkan. Pengujian yang dilakukan meliputi uji efektivitas *Streptomyces* spp. terhadap pertumbuhan bawang merah dan insidensi penyakit busuk fusarium, serta analisis senyawa yang dihasilkan oleh *Streptomyces* spp. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *Streptomyces* spp. tidak dapat meningkatkan parameter pertumbuhan. Sementara itu, pemberian *Streptomyces* spp. mampu menekan insidensi penyakit busuk fusarium dan memperpanjang masa inkubasi patogen. Analisis ekstrak kasar *S. lydicus* ABF 59 menunjukkan terdapat lima senyawa dominan yang bersifat anticendawan yaitu, *d-limonene*, *tridecane*, *o-cymene*, *2,4-di-tert-butylphenol* (2,4-DTBP), dan *hexadecanoic acid, methyl ester*.

Kata kunci: antibiotik, busuk umbi, GC-MS, moler

ABSTRACT

Streptomyces spp. have been widely studied as biological control agents of plant diseases because of their ability to produce various types of antibiotics, especially anti-fungal compounds. Its application to control *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* causes fusarium basal rot disease on shallots in Indonesia has not been explored. The tests carried out included testing the effectiveness of *Streptomyces* spp. on shallot growth and fusarium basal rot disease incidence, as well as analyzing the compounds produced by *Streptomyces* spp. The test results show that *Streptomyces* spp. could not increase the growth parameters. Meanwhile, the application of *Streptomyces* spp. able to suppress the incidence of fusarium basal rot disease and prolong the incubation period of the pathogen. Analysis of the crude extract of *S. lydicus* ABF 59 showed that five dominant compounds are antifungal, namely, *d-limonene*, *tridecane*, *o-cymene*, *2,4-di-tert-butylphenol* (2,4-DTBP), and *hexadecanoic acid, methyl ester*.

Keywords: antibiotic, GC-MS, moler, tuber rot

*Alamat penulis korespondensi: Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga Bogor, Jawa Barat 16680.
Tel: +62 251 8629364, Faks: +62 251 8629364, Surel: ryuntania@apps.ipb.ac.id

PENDAHULUAN

Penyakit busuk fusarium merupakan salah satu penyakit tanaman penting pada tanaman bawang merah di Indonesia karena dapat menyebabkan kehilangan hasil hingga 55% (Supyani *et al.* 2022). Supyani *et al.* (2021) melaporkan bahwa keparahan penyakit busuk fusarium akan meningkat hingga 37.14% ketika musim hujan. Patogen utama penyebab penyakit busuk fusarium ialah *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* (Abawi dan Lorbeer (1972). Namun, beberapa publikasi menyebutkan bahwa penyakit busuk fusarium juga disebabkan oleh *F. proliferatum* dan *F. acutatum* (Le *et al.* 2021; Degani *et al.* 2022). Gejala yang ditimbulkan berupa daun melintir, mengerut, terkulai, membusuk, dan akar mengalami pembusukan sehingga mudah tercabut (Sholeh *et al.* 2023). Aprilia *et al.* (2020) melaporkan insidensi penyakit busuk fusarium mencapai 11.43% hingga 100% pada tanaman bawang merah berumur 5 minggu setelah tanam. Faktor-faktor yang memengaruhi perkembangan penyakit busuk fusarium di antaranya ialah kandungan kimia tanah (C-organik dan N-total yang rendah) serta teknik budi daya yang kurang tepat seperti pemupukan yang tidak berimbang, tidak dilakukan rotasi tanaman maupun varietas, serta penggunaan fungisida secara intensif (Poromarto *et al.* 2021; Supriyadi *et al.* 2021).

Pengendalian hayati penyakit busuk fusarium menggunakan beberapa jenis mikroba seperti *Bacillus mycooides*, *Clostridium* sp., *Pseudomonas* sp., *Erwinia* sp., *Pseudomonas* sp., dan *Trichoderma* sp. telah dilaporkan efektif menghambat pertumbuhan *F. oxysporum* f. sp. *cepae* secara *in vitro* (Dinata *et al.* 2021; Pasalo *et al.* 2022). Beberapa spesies *Streptomyces* seperti *S. rameus* ABF 42, *S. lydicus* ABF 59, *S. panaciradicis* ACF 45, *S. seoulensis* AEF 35, dan *S. fuscichromogenes* AEF 45 telah dilaporkan mampu menghambat pertumbuhan *F. oxysporum* f. sp. *cepae* sebesar 3%–53% secara *in vitro* (Wijayanti *et al.* 2021).

Streptomyces dikenal sebagai penghasil senyawa bioaktif terbesar yang telah dimanfaatkan sebagai penghasil antibiotik

seperti streptomisin, sitotetrin, kloramfenikol, eritromisin, kanamisin, nistatin, dan rapamisin (Waksman *et al.* 1946; Berdy *et al.* 1971; Quinn *et al.* 2020). Sebagai agens hayati, *Streptomyces* spp. dapat memarasit cendawan, menghasilkan senyawa antimikrob *azalomycin* RS-22A, *indole-3-acetic acid*, dan *siderophores*, memfiksasi nitrogen, dan melarutkan fosfat, serta menginduksi ketahanan tanaman melalui produksi enzim peroksidase dan senyawa fenol (Sarwar *et al.* 2019; Abo-Zaid *et al.* 2020; Shimizu *et al.* 2022). Meskipun demikian, penelitian mengenai efektivitas *Streptomyces* di lapangan untuk mengendalikan penyakit busuk fusarium belum banyak dipublikasikan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengevaluasi keefektifan *Streptomyces* spp. dalam mengendalikan *F. oxysporum* f. sp. *cepae* secara *in planta*, kemampuannya dalam memacu pertumbuhan tanaman, serta mengidentifikasi senyawa bioaktif yang dihasilkan.

BAHAN DAN METODE

Streptomyces spp.

Sebanyak 5 galur *Streptomyces* spp. yang digunakan pada penelitian ini merupakan koleksi Laboratorium Bakteriologi Tumbuhan, Departemen Proteksi Tanaman, Institut Pertanian Bogor, yaitu *S. rameus* ABF 42, *S. lydicus* ABF 59, *S. panaciradicis* ACF 45, *S. seoulensis* AEF 35, dan *S. fuscichromogenes* AEF 45. Medium yang digunakan ialah agar-agar malt khamir (AMK) (10 g ekstrak malt, 4 g ekstrak khamir, 4 g dekstrosa, 20 g agar-agar, 1000 mL akuades). Inkubasi dilakukan selama 10 hari pada suhu 25 °C.

Fusarium oxysporum f. sp. *cepae*

Fusarium oxysporum f. sp. *cepae* diisolasi dari umbi bawang merah yang menunjukkan gejala busuk fusarium. Umbi yang bergejala disterilisasi permukaan menggunakan NaOCl 1% selama 1 menit, alkohol 70% selama 1 menit, lalu dibilas dengan akuades steril. Potongan jaringan umbi yang bergejala ditumbuhkan pada medium agar-agar dekstrosa kentang (ADK) (20 g dekstrosa, 4 g kentang,

15 g agar-agar, 1000 mL akuades). Inkubasi dilakukan selama 7 hari pada suhu 25 °C.

Pelaksanaan Penelitian

Kegiatan dilakukan menggunakan benih bawang merah *true shallot seed* (TSS) varietas Tuk Tuk yang diproduksi oleh PT East West Seed Indonesia untuk pengujian pemacuan pertumbuhan tanaman menggunakan metode *ragdoll seed germination*. Uji efektivitas *Streptomyces* spp. terhadap penyakit busuk fusarium dilakukan dengan menggunakan umbi bawang merah varietas Bauji. Penelitian disusun dalam rancangan acak lengkap dengan perlakuan lima galur *Streptomyces* dan diulang tiga kali. Galur *Streptomyces* spp. terpilih yang menghasilkan hambatan tertinggi dianalisis kandungan senyawa bioaktif yang dihasilkan.

Efektivitas *Streptomyces* spp. terhadap Pertumbuhan Bawang Merah

Uji efektivitas *Streptomyces* spp. dalam memacu pertumbuhan tanaman menggunakan metode *ragdoll seed germination* (Sreevidya *et al.* 2016). Benih direndam di dalam suspensi sel *Streptomyces* spp. dengan kerapatan 10^8 cfu mL⁻¹ selama 60 menit. Selanjutnya benih digulung menggunakan kertas merang basah. Peubah yang diamati ialah daya berkecambah benih, panjang hipokotil, dan panjang radikula.

Efektivitas *Streptomyces* spp. terhadap Insidensi Penyakit Busuk Fusarium

Benih direndam menggunakan fungisida sintetik berbahan aktif difenokonazol (1 mL L⁻¹) selama satu jam, kemudian dikeringanginkan selama 12 jam. *Streptomyces* sp. pada medium AMK dipanen pada umur 10 hari dengan cara menggenangi medium menggunakan 10 mL NaCl 0.85% untuk melepaskan sel. Sel *Streptomyces* sp. kemudian diencerkan menggunakan *carboxy methyl cellulose* (CMC) 0.5% sebagai bahan pembawa hingga diperoleh kerapatan 10^8 cfu mL⁻¹.

Benih direndam dalam suspensi sel *Streptomyces* sp. selama 60 menit. Selanjutnya benih ditanam dalam pot berisi campuran

tanah steril, pupuk kandang, dan pasir dengan perbandingan bobot (1:1:1). Sebagai kontrol positif, benih direndam dalam fungisida berbahan aktif mankozeb dengan konsentrasi 3 g L⁻¹ selama 60 menit. Sebagai kontrol negatif, benih direndam menggunakan akuades steril selama 60 menit. Inokulasi *F. oxysporum* f. sp. *cepae* dilakukan 2 minggu setelah tanam pada seluruh perlakuan dengan cara menyiram tanaman menggunakan 25 mL konidium *F. oxysporum* f. sp. *cepae* dengan kerapatan 10^6 konidium mL⁻¹.

Pengamatan masa inkubasi patogen dilakukan setiap hari hingga gejala busuk fusarium pertama kali muncul pada setiap perlakuan. Peubah yang diamati ialah insidensi penyakit, jumlah umbi, bobot umbi bawang merah, bobot basah, dan bobot kering tanaman bawang merah. Insidensi penyakit tanaman dihitung menggunakan rumus:

$$IP (\%) = \frac{n}{N} \times 100\%, \text{ dengan}$$

IP, insidensi penyakit; n, jumlah tanaman terinfeksi; dan N, jumlah tanaman yang diamati.

Analisis Senyawa Ekstrak Kasar *Streptomyces* spp.

Galur yang dipilih untuk dianalisis kandungan senyawanya merupakan galur yang memiliki penghambatan tertinggi terhadap *F. oxysporum* f. sp. *cepae*. Galur ini dibiakkan pada medium malt khamir cair selama 10 hari. Ekstraksi kasar dilakukan menggunakan corong pemisah dan *rotary vacum evaporator* dengan pelarut etil asetat perbandingan 1:1 (v/v). Identifikasi kandungan senyawa dalam ekstrak kasar *S. lydicus* ABF 59 menggunakan *gas chromatography-mass spectrometry* (GC-MS). Kolom kapiler yang digunakan ialah HP-5MS (*phenyl methyl siloxane* 5%) dengan dimensi 250 µm × 30 µm × 0.25 µm dengan 1 mL min⁻¹ helium sebagai gas pembawa. Suhu awal kolom sebesar 40 °C selama 10 menit kemudian dilanjutkan dengan kenaikan 3 °C min⁻¹ hingga 250 °C. Suhu diatur secara isothermal selama 5 menit dan MS dioperasikan pada 70 eV.

Analisis Data

Data dilakukan analisis sidik ragam menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel 2021 dan SAS versi 9.0. Selanjutnya, uji Dunnet dilakukan untuk melihat perbedaan nyata masing-masing perlakuan pada selang kepercayaan 95%.

HASIL

Efektivitas *Streptomyces* spp. terhadap Pertumbuhan Bawang Merah

Perendaman benih TSS dengan menggunakan lima galur *Streptomyces* tidak signifikan dalam meningkatkan daya berkecambah benih, panjang hipokotil, dan panjang radikula (Tabel 1).

Daya berkecambah bawang merah dengan pemberian lima galur *Streptomyces* berkisar antara 70% dan 90%. Hasil ini tidak berbeda nyata dibandingkan dengan kontrol yang memiliki daya berkecambah sebesar 73.33%. Pemberian lima galur *Streptomyces* juga tidak menunjukkan hasil yang berbeda nyata pada panjang hipokotil dan panjang radikula dibandingkan dengan kontrol.

Efektivitas *Streptomyces* spp. terhadap Insidensi Penyakit Busuk Fusarium

Pemberian lima galur *Streptomyces* spp. menunjukkan insidensi penyakit busuk fusarium lebih rendah dibandingkan dengan kontrol negatif (Tabel 2). Insidensi penyakit busuk

Tabel 1 Pertumbuhan bawang merah oleh pemberian *Streptomyces* spp. (Table 1 Growth of shallots after application with *Streptomyces* spp.)

| <i>Streptomyces</i> spp. | Daya berkecambah (Germination) (%)* | Panjang hipokotil (Hypocotyl length) (cm)* | Panjang radikula (Radicle length) (cm)* |
|-----------------------------------|-------------------------------------|--|---|
| <i>S. rameus</i> ABF 42 | 77.67 a | 4.91 ab | 2.01 a |
| <i>S. lydicus</i> ABF 59 | 90.00 a | 4.12 b | 1.79 a |
| <i>S. panaciradicis</i> ACF 45 | 70.00 a | 5.87 a | 2.04 a |
| <i>S. seoulensis</i> AEF 35 | 70.00 a | 4.84 ab | 1.31 a |
| <i>S. fuscichromogenes</i> AEF 45 | 73.33 a | 5.60 ab | 2.12 a |
| Kontrol (Control) | 73.33 a | 4.12 ab | 2.17 a |

*Angka pada kolom yang sama diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji Dunnet pada taraf 5%.
 *Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different based on the Dunnet test at the 5% level.

Tabel 2 Insidensi penyakit dan masa inkubasi *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* oleh *Streptomyces* spp. (Table 2 Disease incidence and incubation period of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* after application with *Streptomyces* spp.)

| Perlakuan (Treatment) | Insidensi penyakit (Disease incidence) (%)* | Masa inkubasi (Incubation period) (HSI/DAI) |
|--------------------------------------|---|---|
| <i>S. rameus</i> ABF 42 | 26.67 ± 30.55 b | 7-27 |
| <i>S. lydicus</i> ABF 59 | 26.67 ± 23.09 b | 16-21 |
| <i>S. panaciradicis</i> ACF 45 | 46.67 ± 23.09 a | 21-22 |
| <i>S. seoulensis</i> AEF 35 | 33.33 ± 41.63 a | 8-22 |
| <i>S. fuscichromogenes</i> AEF 45 | 53.33 ± 23.09 a | 16-22 |
| Kontrol positif (Positive control)** | 20.00 ± 00.00 b | 21 |
| Kontrol negatif (Negative control) | 86.67 ± 11.55 a | 7-24 |

*Angka pada kolom yang sama diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji Dunnet pada taraf 5%. (Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different based on the Dunnet test at the 5% level).

**fungisida berbahan aktif mankozeb (fungicide with the active ingredient mancozeb).

HSI: Hari setelah inokulasi (DAI: Days after inoculation).

fusarium tanpa pemberian *Streptomyces* spp. dan fungisida dapat mencapai 86.67%. Pada penelitian ini, pemberian *S. rameus* ABF 42 dan *S. lydicus* ABF 59 secara signifikan mampu menurunkan insidensi penyakit busuk fusarium hingga 26.67% secara berurutan. Hasil ini tidak menunjukkan perbedaan nyata terhadap kontrol positif yang merupakan pemberian fungisida dengan bahan aktif mankozeb. Sementara itu, insidensi penyakit busuk fusarium pada pemberian tiga galur *Streptomyces*, yaitu *S. panaciradicis* ACF 45, *S. seoulensis* AEF 35, dan *S. fuscichromogenes* AEF 45 tidak menunjukkan perbedaan nyata dibandingkan dengan kontrol negatif.

Pemberian *Streptomyces* spp. umumnya memperpanjang masa inkubasi patogen (Tabel 2). Gejala penyakit busuk fusarium pertama kali diamati pada 7 hari setelah inokulasi (HSI), yaitu pada perlakuan kontrol negatif dan pemberian *S. rameus* ABF 42. Gejala pada pemberian *S. lydicus* ABF 59, *S. panaciradicis* ACF 45, *S. seoulensis* AEF 35, dan *S. fuscichromogenes* AEF 45 pada 16, 21, 8, dan 16 HSI secara berurutan. Sementara itu,

gejala pada kontrol positif baru terlihat pada hari ke-21 setelah diinokulasi patogen.

Gejala penyakit busuk fusarium pertama kali diamati meliputi daun tua mengering, daun muda menguning, tanaman mengalami etiolasi, daun mengecil dan menebal, beberapa daun melengkung hingga melintir seperti spiral. Tanaman yang terserang cenderung memiliki banyak anakan dan umbi tidak berkembang. Serangan berat menyebabkan umbi busuk, akar rusak dan tanaman mati. Ketika umbi dibelah secara vertikal, bagian *basal plate* mengalami nekrosis (Gambar 1). Seluruh perlakuan menggunakan lima galur *Streptomyces* spp. tidak signifikan meningkatkan produksi umbi dan biomassa tanaman bawang merah (Tabel 3).

Senyawa Bioaktif dari *Streptomyces* Terpilih

Streptomyces lydicus ABF 59 merupakan galur terpilih karena memiliki insidensi penyakit terendah dan mampu meningkatkan masa inkubasi patogen. Galur ini menghasilkan 50 senyawa yang divisualisasikan dalam bentuk kromatogram dengan area puncak 0.31%-9.33% dan waktu retensi 10.55-31.66 menit.



Gambar 1 Gejala penyakit busuk fusarium; a, daun tua mengering; b, daun menguning; c, etiolasi; d, daun mengecil; e, daun menebal; f, daun melintir; g, akar rusak; h, umbi membusuk; dan i, tanaman sehat.

(Figure 1 Symptoms of fusarium rot disease; a, old leaves dry out; b, yellowing of leaves; c, etiolation; d, leaves shrink; e, thickened leaves; f, twisted leaves; g, damaged roots; h, tuber rot; and i, healthy plants).

Sebanyak 11 senyawa berhasil dideteksi dari ekstrak kasar *S. lydicus* ABF 59. Empat senyawa berdasarkan nilai area puncak tertinggi ialah *d-limonene* sebesar 9.33%, waktu retensi 11.39 menit, dan *similarity index* sebesar 80%, diikuti oleh *ethanol*, *2-butoxy-*, *tridecane* dan *alpha-terpineol* (Tabel 4).

PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini *Streptomyces* spp. tidak meningkatkan daya perkecambahan, panjang

hipokotil dan radikula, yang merupakan peubah pertumbuhan bawang merah. Selain itu pemberian *Streptomyces* spp. juga tidak meningkatkan produksi umbi dan biomasa tanaman bawang merah (Tabel 1).

Streptomyces mampu memacu pertumbuhan tanaman melalui produksi hormon pertumbuhan seperti *indole-3-acetic acid*, *indole-3-pyruvic acid*, asam gibberelat, dan sitokinin (Nassar *et al.* 2003). Wijayanti *et al.* (2021) melaporkan konsentrasi hormon pertumbuhan yang dihasilkan oleh *Streptomyces* spp. berkisar antara

Tabel 3 Produksi umbi bawang merah oleh pemberian *Streptomyces* spp
(Table 3 Production of shallot bulbs after application with *Streptomyces* spp.)

| Perlakuan (Treatment) | Produksi umbi* (Tuber production) | | Biomassa tanaman* (Plant biomass) | |
|------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| | Jumlah (Quantity) | Bobot umbi (Tuber weight) (g) | Bobot basah (Fresh weight) (g) | Bobot kering (Dry weight) (g) |
| <i>S. rameus</i> ABF 42 | 8.26 a | 18.15 a | 59.03 a | 8.85 a |
| <i>S. lydicus</i> ABF 59 | 8.27 a | 18.91 a | 65.18 a | 11.80 a |
| <i>S. panaciradicis</i> ACF 45 | 8.05 a | 13.85 a | 57.17 a | 8.83 a |
| <i>S. seoulensis</i> AEF 35 | 8.93 a | 16.09 a | 61.57 a | 11.07 a |
| <i>S. fuscichromogenes</i> AEF 45 | 6.70 a | 13.87 a | 51.62 a | 8.37 a |
| Kontrol positif (Positive control) | 8.90 a | 21.75 a | 66.41 a | 13.60 a |
| Kontrol negatif (Negative control) | 7.35 a | 17.44 a | 58.38 a | 12.47 a |

*Angka pada kolom yang sama diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji Dunnet pada taraf 5% (Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different based on the Dunnet test at the 5% level).

Tabel 4 Senyawa kimia dominan ekstrak kasar *Streptomyces lydicus* ABF 59
(Table 4 The dominant chemical compounds of *Streptomyces lydicus* ABF 59 crude extract)

| Senyawa kimia (Chemical compounds) | Struktur molekul (Molecular structure) | Waktu retensi (Retention period) (menit/minute) | Area puncak Peak area (%) |
|--|--|---|---------------------------------|
| <i>d-limonene</i> | C ₁₀ H ₁₆ | 11.39 | 9.33 |
| <i>ethanol, 2-butoxy-</i> | C ₆ H ₁₄ O ₂ | 14.1 | 7.96 |
| <i>Tridecane</i> | C ₃ H ₂₈ | 12.76 | 6.76 |
| <i>alpha-terpineol</i> | C ₁₀ H ₁₈ O | 20.40 | 5.21 |
| <i>o-cymene</i> | C ₁₀ H ₁₄ | 12.40 | 4.82 |
| <i>2,4-di-tert-butylphenol</i> | C ₁₄ H ₂₂ O | 28.09 | 4.54 |
| <i>hexadecanoic acid, methyl ester</i> | C ₁₇ H ₃₄ O ₂ | 27.08 | 4.08 |
| <i>cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-</i> | C ₁₀ H ₁₈ | 12.57 | 4.02 |
| <i>9-octadecenoic acid, methyl ester, (E)-</i> | C ₁₉ H ₃₆ O ₂ | 29.88 | 2.33 |
| <i>phytol</i> | C ₂₀ H ₄₀ O | 12.12 | 2.26 |
| <i>eucalyptol</i> | C ₁₀ H ₁₈ O | 11.53 | 2.20 |

24.82 dan 82.88 ppm, sedangkan konsentrasi terbaik untuk meningkatkan pertumbuhan bawang merah, baik peningkatan produksi umbi, bobot umbi, serta bobot basah dan kering tanaman, ialah 200 ppm (Ruslan *et al.* 2023).

Kemampuan *Streptomyces* dalam menekan insidensi penyakit melibatkan mekanisme antibiosis, parasitisme, dan kompetisi ruang maupun nutrisi (Vurukonda *et al.* 2018). *Streptomyces* mampu memproduksi enzim hidrolisis yang dapat mendegradasi dinding sel patogen, seperti kitinase, glukonase, dan peptidase (Fróes *et al.* 2012). *Streptomyces* spp. dilaporkan dalam mengendalikan berbagai penyakit tular tanah oleh *Athelia rolfsii*, *F. oxysporum*, *Plectosphaerella ramiseptata*, *Sclerotinia sclerotiorum*, dan *Verticillium dahlia* (Carlucci *et al.* 2022).

Selain itu *Streptomyces* spp. dilaporkan menghasilkan senyawa bioaktif yang bersifat anticendawan. *Albocycline*, senyawa bioaktif utama yang dihasilkan oleh *Streptomyces* sp. dapat menekan cendawan *Verticillium dahlia* (Calvo-Peña *et al.* 2023). Senyawa bioaktif dominan yang dihasilkan oleh *S. lydicus* ABF 59 bersifat anticendawan bagi *F. oxysporum* f. sp. *cepae*. *Streptomyces rameus* ABF 42 dan *S. lydicus* ABF 59 nyata mampu menekan insidensi penyakit busuk fusarium seperti pada kontrol yang menggunakan fungisida berbahan aktif mankozeb (Tabel 2). Hal tersebut menunjukkan bahwa *S. rameus* ABF 42 dan *S. lydicus* ABF 59 cukup efektif dalam mengendalikan penyakit busuk fusarium secara *in planta*. Dengan demikian dapat disimpulkan senyawa bioaktif yang dihasilkan oleh *S. lydicus* ABF 59 bersifat anticendawan *F. oxysporum* f. sp. *cepae* (Tabel 4).

Streptomyces spp. dilaporkan mampu menginduksi ketahanan tanaman melalui peningkatan aktivitas enzim peroksidase, dismutase superoksida, katalase, dan fenilalanina amonia liase (Zhang *et al.* 2016). Pada penelitian ini, pemberian *S. lydicus* ABF 59, *S. panaciradicis* ACF 45, dan *S. fuscichromogenes* AEF 45 mampu memperpanjang masa inkubasi patogen (Tabel 2). Hal tersebut dapat terjadi apabila tanaman

memiliki ketahanan sistemik terhadap invasi patogen yang kemungkinan diinduksi oleh pemberian *Streptomyces* spp. *Streptomyces* spp. dapat disimpulkan memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai biofungisida untuk pengendalian penyakit busuk fusarium. *Streptomyces lydicus* ABF 59 memiliki senyawa bioaktif, *d-limonene*, *ethanol*, *2-butoxy-*, *tridecane*, dan *alpha-terpineol* yang bersifat anticendawan dan efektif menekan insidensi penyakit busuk fusarium. Formulasi dan uji efektivitas *Streptomyces* spp. di lapangan perlu dilakukan untuk menjadikan sebagai produk agens hayati.

DAFTAR PUSTAKA

- Abawi GS, Lorbeer JW. 1972. Several aspects of the ecology and pathology of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae*. *Phytopathology*. 62 (8):870–876. DOI: <https://doi.org/10.1094/Phyto-62-870>.
- Abo-Zaid GA, Matar SM, Abdelkhalek A. 2020. Induction of plant resistance against tobacco mosaic virus using the biocontrol agent streptomyces cellulosa isolate actino 48. *Agronomy*. 10(11):1–16. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10111620>.
- Akbari A, Gharanjik S, Koobaz P, Sadeghi A. 2020. Plant growth promoting *Streptomyces* strains are selectively interacting with the wheat cultivars especially in saline conditions. *Heliyon*. 6(4):1–10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03445>.
- Aprilia I, Maharijaya A, Wiyono S. 2020. Keragaman genetik dan ketahanan terhadap penyakit layu fusarium (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae*) bawang merah (*Allium cepa* L. var. *aggregatum*) Indonesia. *Jurnal Hortikultura Indonesia*. 11(1):32–40. DOI: <https://doi.org/10.29244/jhi.11.1.32-40>.
- Berdy J, Zsadányi J, Halász M, Horváth I, Magyar K. 1971. Antibiotics produced by *Streptomyces*. VII cytotetrin, a new antitumor antibiotic. *The Journal of Antibiotics*. 24(4):209–214. DOI: <https://doi.org/10.7164/antibiotics.24.209>.
- Calvo-Peña, Carla, Rebeca C, José MS, Ana I, Juan JR, Coque. 2023. Albocycline is

- the main bioactive antifungal compound produced by *Streptomyces* sp. OR6 against *Verticillium dahliae*. *Plants*. 12(20):3612. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12203612>.
- Carlucci, Antonia, Maria LR, Donato C, Francesco L. 2022. *Streptomyces albidoflavus* strain cara17 as a biocontrol agent against fungal soil-borne pathogens of fennel plants. *Plants*. 11(11):1420. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11111420>.
- Degani, Ofir, Dimant E, Gordani A, Graph S, Margalit E. 2022. Prevention and control of *Fusarium* spp., the causal agents of onion (*Allium cepa*) basal rot. *Horticulturae*. 8(11):1071. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8111071>.
- Dinata GF, Ariani N, Purnomo A, Aini LQ. 2021. Pemanfaatan biodiversitas bakteri serasah kopi sebagai solusi pengendali penyakit moler pada bawang merah. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan*. 9(1): 28–34. DOI: <https://doi.org/10.21776/ub.jurnalhpt.2021.009.1.5>.
- Fróes A, Macrae A, Rosa J. 2012. Selection of a *Streptomyces* strain able to produce cell wall degrading enzymes and active against *Sclerotinia sclerotiorum*. *Journal of Microbiology*. 50:798–806. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12275-012-2060-2>.
- Indriani. 2018. Pengaruh zat pengatur tumbuh auksin dan umur panen terhadap produksi dan kualitas *Asystasia gangetica* (L.) T. Anderson [skripsi]. Bogor (ID): IPB University.
- Law JWF, Ser HL, Khan TM, Chuah LH, Pusparajah P, Chan KG, Goh BH, Lee LH. 2017. The potential of *Streptomyces* as biocontrol agents against the rice blast fungus, *Magnaporthe oryzae* (*Pyricularia oryzae*). *Frontiers in Microbiology*. 8(3):1–10. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00003>.
- Le D, Audenaert K, Haesaert G. 2021. *Fusarium* basal rot: profile of an increasingly important disease in *Allium* spp. *Tropical Plant Pathology*. 46:241–253. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40858-021-00421-9>.
- Ling, Ling, Xiaoyang H, Xiao L, Xue Z, Han W, Lida Z, Peng C, Yutong W, Xiangjing W, Junwei Z. 2020. A *Streptomyces* sp. NEAU-HV9: Isolation, identification, and potential as a biocontrol agent against *Ralstonia solanacearum* of tomato plants. *Microorganisms*. 8(3):1–15. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms8030351>.
- Nassar AH, El-Tarabily AK, Sivasithamparam K. 2003. Growth promotion of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by a polyamine-producing isolate of *Streptomyces griseoluteus*. *Plant growth regulation*. 40(2):97–106. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1024233303526>.
- Pasalo NM, Kandou FEF, Singkoh MFO. 2022. Uji Antagonisme jamur *Trichoderma* sp. terhadap patogen *Fusarium* sp. pada tanaman bawang merah *Allium cepa* isolat lokal Tonsewer secara *in vitro*. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*. 13(2):1–7.
- Poromarto SH, Supyani, Supriyadi, Hadiwiyono. 2021. Chemical characters of disease suppressive and conducive soil of moler on shallot in Brebes Central Java. Di dalam: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 905(1):1–5. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/905/1/012057>.
- Pratama NB. 2012. Pengaruh zat pengatur tumbuh NAA dan IBA terhadap pembentukan akar dan tunas stek jeruk pamelon (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) [skripsi]. Bogor (ID): IPB University.
- Quinn GA, Banat AM, Abdelhameed AM, Banat IM. 2020. *Streptomyces* from traditional medicine: Sources of new innovations in antibiotic discovery. *Journal of Medical Microbiology*. 69(8):1040–1048. DOI: <https://doi.org/10.1099/jmm.0.001232>.
- Regia D. 2021. Peningkatan hasil panen tanaman torbangun (*Coleus amboinicus* Lour.) dengan pemberian auksin dan berbagai bioaktivator [skripsi]. Bogor (ID): IPB University.
- Ruslan N, Syam'un E, Haring F. 2023. Production parameters of three varieties of red onion origin of botanical seed applied with auxin. *International Journal of Agriculture System* 11(1):1–11.

- Sarwar A, Latif Z, Zhang S, Hao J, Bechthold A. 2019. A potential biocontrol agent *Streptomyces violaceusniger* AC12AB for managing potato common scab. *Frontiers in Microbiology*. 10(202):1–10. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00202>.
- Shimizu M, Naznin HA, Hieno A. 2022. The significance of mycoparasitism by *Streptomyces* sp. MBCN152-1 for its biocontrol activity against *Alternaria brassicicola*. *Microbes and Environments*. 37(3):1–9. DOI: <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME22048>.
- Sholeh MI, Suhartiningsih D, Nurcahyanti D. 2023. Perkembangan penyakit moler (*Fusarium oxysporum* f.sp *cepae*) pada sentra produksi bawang merah. *Berkala Ilmiah Pertanian*. 6(2):56–62. DOI: <https://doi.org/10.19184/bip.v6i2.35392>.
- Sreevidya M, Gopalakrishnan S, Kudapa H, Varshney RK. 2016. Exploring plant growth-promotion actinomycetes from vermicompost and rhizosphere soil for yield enhancement in chickpea. *Brazilian Journal of Microbiology*. 47(1):85–95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2015.11.030>.
- Suárez-Moreno ZR, Vinchira-Villarraga DM, Vergara-Morales DI, Castellanos L, Ramos FA, Guarnaccia C, Moreno-Sarmiento N. 2019. Plant-growth promotion and biocontrol properties of three *Streptomyces* spp. isolates to control bacterial rice pathogens. *Frontiers in microbiology* 10(290):1–17. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00290>.
- Supriyadi, Supyani, Poromarto SH, Hadiwiyono. 2021. Moler disease and cultivation practiced by shallot farmers in Brebes Central Java. Di dalam: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 883(1):1–6. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/883/1/012083>.
- Supyani, Poromarto SH, Supriyadi, Permatasari FI, Putri DH, Putri DT, Hadiwiyono. 2022. Disease intensity of moler and yield losses of Shallot cv. Bima caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* in Brebes Central Java. Di dalam: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 905:1–6. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/905/1/012049>.
- Supyani, Poromarto SH, Supriyadi, Hadiwiyono. 2021. Moler disease of shallot in the last three years at Brebes Central Java: the intensity and resulting yields losses is increasing. Di dalam: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 810(1):1–6. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/810/1/012004>.
- Vurukonda SSKP, Giovanardi D, Stefani E. 2018. Plant growth promoting and biocontrol activity of *Streptomyces* spp. as endophytes. *International journal of molecular sciences*. 19(4):952. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms19040952>.
- Wahyudi AT, Priyanto JA, Fijrina HN, Mariastuti HD, Nawangsih AA. 2019. *Streptomyces* spp. from rhizosphere soil of maize with potential as plant growth promoter. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 20(9):2547–2553. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200916>.
- Waksman SA, Reilly HC, Johnstone DB. 1946. Isolation of streptomycin-producing strains of *Streptomyces griseus*. *Journal of bacteriology*. 52(3):393–397. DOI: <https://doi.org/10.1128/jb.52.3.393-397.1946>.
- Wijayanti E, Nawangsih AA, Tondok ET. 2021. Screening of liliaceae rhizosphere actinomycetes as biological control agents of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae*. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 17(6):225–232. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.17.6.225-232>.
- Zhang Q, Yong D, Zhang Y, Shi X, Li B, Li G, Wang C. 2016. *Streptomyces rochei* A-1 induces resistance and defense-related responses against *Botryosphaeria dothidea* in apple fruit during storage. *Postharvest Biology and Technology*. 115:30–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.12.013>.