

POTENSI *STREPTOMYCES VIOLACEUSNIGER* DAN *TRICHODERMA KONINGII* SEBAGAI AGENSIA HAYATI TERHADAP *FUSARIUM OXYSPORUM F.SP. TUBEROSI*

Ida Bagus Gde Pranatayana*¹, Khamdan Khalimi²

¹Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Udayana, Jalan P.B. Sudirman, Denpasar, Bali, 80235, Indonesia

²Program Studi Magister Bioteknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Udayana, Jalan P.B. Sudirman, Denpasar, Bali, 80235, Indonesia

* Corresponding Author: pranatayana@unud.ac.id

Abstrak : *Fusarium oxysporum* merupakan salah satu spesies jamur kosmopolit yang dapat menyebabkan penyakit layu pada berbagai tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui aktivitas antijamur *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii* terhadap *F. oxysporum* dan mengidentifikasi senyawa antijamur yang dihasilkan oleh *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii*. Uji antagonis *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii* terhadap *F. oxysporum* dilakukan secara dual culture. Penentuan aktivitas antijamur ekstrak *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii* terhadap pertumbuhan *F. oxysporum* dilakukan dengan metode difusi cakram kertas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii* mampu menghambat pertumbuhan koloni *F. oxysporum* dengan persentase penghambatan berkisar antara 92,93% hingga 93,92%. Ekstrak *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii* memiliki aktivitas antijamur dengan diameter zona hambat yang terbentuk dikategorikan sebagai zona hambat kuat, yaitu berkisar antara 19,3 mm hingga 24,5 mm. Ekstrak *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii* mengandung sebelas senyawa yang memiliki aktivitas antijamur, yaitu asam siklopropanekarboksilat; 2-nonanon; 2,3-butanadiol; 2-heptanon; asetoin; 2,3-dimetilpirazin; asam karbamat, ester fenil; piridin, 2,3,4,5-tetrahidro; 2-furancarboxaldehid, 5-metil; caryophyllene; dan 1,2, asam benzenedikarboksilat. Hasil penelitian ini memberikan informasi bahwa *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii* dapat digunakan sebagai agensia hayati untuk mengendalikan penyakit layu pada tanaman pisang, vanili, tomat, dan cabai.

Kata Kunci : Agensia hayati, *Fusarium oxysporum f.sp. tuberosi*, *Streptomyces violaceusniger*, *Trichoderma koningii*

PENDAHULUAN

Jamur *F. oxysporum f.sp. tuberosi* merupakan patogen penyebab penyakit layu pada tanaman kentang. Menurut Warman dan Aitken (2018) melaporkan bahwa penyebab penyakit layu pada tanaman pisang adalah *F. oxysporum f.sp. cubense*.

Saat ini, pengendalian penyakit layu fusarium masih menggunakan fungisida sintetis. Song *et al.* (2003) melaporkan bahwa fungisida dengan bahan aktif prochloraz, carbendazim, thiram, toclofos methyl, hymexazol, azoxystrobin, dan

carboxin efektif dalam mengendalikan penyakit layu fusarium. Namun demikian, penggunaan fungisida sintetis secara terus menerus dapat mempengaruhi kesehatan tanah. Menurut Roman *et al.* (2021) bahwa penggunaan fungisida dosis tinggi dapat mempengaruhi komunitas mikroorganisme dalam tanah sehingga menyebabkan berkurangnya populasi mikroorganisme tanah. Salah satu usaha dalam mengurangi penggunaan fungisida sintetis adalah dengan menggunakan agensia hayati *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii*.

Mekanisme *S. violaceusniger* dan *T. koningii* dalam mengendalikan populasi jamur patogen adalah dengan cara menghasilkan senyawa antijamur. Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji aktivitas antijamur *S. violaceusniger* dan *T. koningii* terhadap jamur *F. oxysporum fsp. tuberosi* serta mengidentifikasi senyawa antijamur yang dihasilkan *S. violaceusniger* dan *T. koningii*.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Ilmu Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Udayana dan Laboratorium Forensik Polda Bali dari bulan Mei sampai Juli 2023. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah jamur *F. oxysporum fsp. tuberosi*, agensia hayati *S. violaceusniger* Java23, *S. violaceusniger* Java88, *T. koningii* Bw55 dan *T. koningii* Bw76, media *Potato Dextrose Agar* (PDA). Alat yang digunakan adalah tabung reaksi, pipet mikro, timbangan digital, jarum Ose, mikroskop, *laminar flow cabinet*, dan Gas Chromatography Mass Spectrometry (GCMS).

Uji Antagonistik *S. violaceusniger* dan *T. koningii* terhadap Jamur *F. oxysporum fsp. tuberosi* secara in vitro

Uji antagonistik *S. violaceusniger* Java23, *S. violaceusniger* Java88, *T.*

koningii Bw55 dan *T. koningii* Bw76 terhadap jamur *F. oxysporum fsp. tuberosi* secara in vitro dilakukan berdasarkan metode Khalimi dan Wirya (2009). Uji aktivitas antijamur *S. violaceusniger* Java23, *S. violaceusniger* Java88, *T. koningii* Bw55 dan *T. koningii* Bw76 terhadap pertumbuhan jamur *F. oxysporum fsp. tuberosi* diawali dengan menyiapkan media tumbuh dengan cara menuangkan 10 ml media PDA pada cawan petri. Selanjutnya jamur *F. oxysporum fsp. tuberosi* diinokulasikan ditengah cawan petri yang sudah berisi media PDA, selanjutnya masing-masing *S. violaceusniger* Java23, *S. violaceusniger* Java88, *T. koningii* Bw55 dan *T. koningii* Bw76 diinokulasikan pada 4 posisi mengapit jamur *F. oxysporum fsp. tuberosi* dengan jarak 2 cm. Rancangan yang digunakan pada penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 5 perlakuan dan 5 ulangan.

Penentuan persentase daya hambat agensia hayati terhadap pertumbuhan jamur ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Daya hambat} = \frac{\text{Luas koloni kontrol} - \text{Luas koloni perlakuan}}{\text{Luas koloni kontrol}} \times 100\%$$

Laju pertumbuhan koloni jamur ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Laju pertumbuhan koloni} = \frac{\text{Luas koloni pada pengamatan terakhir}}{\text{Selang waktu}}$$

Uji Aktivitas Antijamur Ekstrak *S. violaceusniger* dan *T. koningii* terhadap Jamur *F. oxysporum fsp. tuberosi* secara in vitro

Ekstrak *S. violaceusniger* Java23, *S. violaceusniger* Java88, *T. koningii* Bw55 dan *T. koningii* Bw76 diperoleh dari kultur *S. violaceusniger* Java23, *S. violaceusniger* Java88, *T. koningii* Bw55, *T. koningii* Bw76. Selanjutnya dimaserasi selama 48 jam dan ekstraksi dilakukan dengan menggunakan Vacuum Rotary Evaporator (Model HEA-02). Pengujian aktivitas antijamur ekstrak *S. violaceusniger* Java23, *S. violaceusniger* Java88, *T. koningii* Bw55 dan *T. koningii* Bw76 terhadap pertumbuhan jamur *F. oxysporum fsp. tuberosi* dilakukan dengan metode difusi kertas cakram. Pengujian diawali dengan menyiapkan media tumbuh dengan cara menuangkan 1 ml suspensi masing-masing jamur *F. oxysporum fsp. tuberosi* pada cawan petri. Selanjutnya 10 ml media PDA dituangkan pada cawan petri. Setelah media memadat, inokulasikan kertas cakram berdiameter 6 mm yang sebelumnya direndam dalam ekstrak *S. violaceusniger* Java23, *S. violaceusniger* Java88, *T. koningii* Bw55 dan *T. koningii* Bw76. Daerah yang terlihat tidak ditumbuhi oleh jamur disebut sebagai zona hambat. Menurut

Tendencia (2004) bahwa zona hambat yang terbentuk pada pengujian dengan metode difusi disk dapat dikategorikan ke dalam tiga kategori, yaitu: (1) zona hambat yang terbentuk kurang dari 14 mm dikategorikan daya hambat lemah (2) zona hambat yang terbentuk 15-18 mm dikategorikan daya hambat sedang (3) zona hambat yang terbentuk lebih dari 18 mm dikategorikan daya hambat kuat.

Identifikasi Senyawa Antijamur dari Ekstrak *S. violaceusniger* dan *T. koningii*

Senyawa antijamur dari ekstrak *S. violaceusniger* Java23, *S. violaceusniger* Java88, *T. koningii* Bw55 dan *T. koningii* Bw76 dianalisis menggunakan GCMS (7890A GC-system 5975C inert XL E1/C1 MSD model G3174A, Agilent Technologies, Wilmington, DE, USA) menurut metode Ahamed dan Ahring (2011). Larutan sampel ekstrak *S. violaceusniger* Java23, *S. violaceusniger* Java88, *T. koningii* Bw55 dan *T. koningii* Bw76 sebanyak 2 µl diinjeksikan ke GCMS. Suhu injektor dipertahankan pada 240 °C selama 26 menit. Identifikasi senyawa antijamur dari ekstrak *S. violaceusniger* Java23, *S. violaceusniger* Java88, *T. koningii* Bw55 dan *T. koningii* Bw76 dilakukan melalui perbandingan perpustakaan database NIST dan nama kimia hasil analisis ini mengikuti nomenklatur database NIST.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Antagonistik *S. violaceusniger* dan *T. koningii* terhadap Jamur *F. oxysporum fsp. tuberosi* secara in vitro

Hasil uji antagonistik *S. violaceusniger* Java23, *S. violaceusniger* Java88, *T. koningii* Bw55 dan *T. koningii* Bw76 terhadap jamur *F. oxysporum fsp. tuberosi* secara in vitro menunjukkan bahwa *S. violaceusniger* Java23, *S. violaceusniger* Java88, *T. koningii* Bw55 dan *T. koningii* Bw76 mampu menghambat pertumbuhan koloni jamur *F. oxysporum fsp. tuberosi* dengan persentase daya hambat berkisar antara 92,93% sampai 93,92% (Tabel 1).

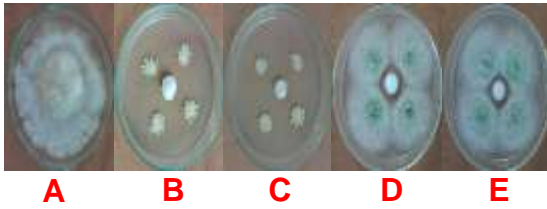
Tabel 1.
Hasil uji Antagonistik *S. violaceusniger* dan *T. koningii* terhadap jamur *F. oxysporum fsp. tuberosi* secara in vitro

Perlakuan	Luas koloni jamur (mm ²)	Laju pertumbuhan koloni (mm ² /hari)	Daya hambat (%)
<i>F. oxysporum fsp. tuberosi</i>	4013,11 a [*]	802,62 a	-
Java23 + <i>F. oxysporum fsp. tuberosi</i>	283,36 b	56,67 b	92,93
Java88 + <i>F. oxysporum fsp. tuberosi</i>	254,34 b	50,86 b	93,92
Bw55 + <i>F. oxysporum fsp. tuberosi</i>	268,66 b	53,73 b	93,91
Bw76 + <i>F. oxysporum fsp. tuberosi</i>	298,49 b	59,69 b	93,29

^{*}Nilai pada kolom yang sama diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata ($p > 0,05$) menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5%.

Koloni jamur *F. oxysporum fsp. cubense*, *F. oxysporum fsp. vanilae*, *F. oxysporum fsp. lycopersici*, *F. oxysporum fsp. capsici* pada perlakuan kontrol tumbuh secara normal dengan laju pertumbuhan koloni berkisar antara 802,62 mm²/hari sampai dengan 890,20 mm²/hari (Gambar 1). Sedangkan koloni jamur pada perlakuan *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii*

pertumbuhannya terhambat. Hal ini terlihat pada rendahnya nilai luas koloni jamur yang merupakan manifestasi dari pertumbuhan jamur. Semakin rendah nilai luas koloni jamur maka semakin tinggi nilai daya hambat bakteri agens hayati terhadap jamur. Pertumbuhan jamur pada perlakuan *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii* terhambat karena adanya senyawa antijamur yang dihasilkan oleh *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii* melalui mekanisme antibiosis. Pertumbuhan jamur pada perlakuan *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii* terhambat dengan laju pertumbuhan koloni berkisar antara 50,86 mm²/hari sampai dengan 59,69 mm²/hari. Hasil penelitian yang dilaporkan Demirci *et al.* (2011) bahwa *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii* ME-7 dapat menghambat pertumbuhan jamur *Rhizoctonia solani* dengan persentase daya hambat sebesar 35%. Sedangkan Agustina *et al.* (2019) melaporkan bahwa *Gliocladium* sp. menghambat pertumbuhan jamur *Botryodiplodia theobrome* dengan persentase daya hambat sebesar 84,56% pada pengujian secara in vitro.

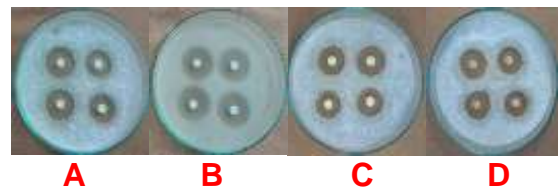


Gambar 1. Hasil uji antagonistik *S. violaceusniger* dan *T. koningii* terhadap jamur *F. oxysporum fsp. tuberosi* secara in vitro. A: Perlakuan Kontrol *F. oxysporum fsp. tuberosi*, B: *S. violaceusniger* Java23 + *F. oxysporum fsp. tuberosi*, C: *S. violaceusniger* Java88 + *F. oxysporum fsp. tuberosi*, D: *T. koningii* Bw55 + *F. oxysporum fsp. tuberosi*, E: *T. koningii* Bw76 + *F. oxysporum fsp. tuberosi*.

Uji Aktivitas Antijamur Ekstrak *S. violaceusniger* dan *T. koningii* terhadap Jamur *F. oxysporum fsp. tuberosi* secara in vitro

Hasil uji aktivitas antijamur ekstrak *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii* terhadap jamur *F. oxysporum* secara in vitro menunjukkan bahwa ekstrak *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii* memiliki aktivitas antijamur terhadap jamur *F. oxysporum fsp. cubense*, *F. oxysporum fsp. vanilae*, *F. oxysporum fsp. lycopersici*, *F. oxysporum fsp. capsici* dengan diameter zona hambat yang terbentuk dikategorikan daya hambat kuat yaitu berkisar antara 19,3 mm sampai 24,5 mm. Ekstrak *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii* mampu menghambat jamur *F. oxysporum fsp. cubense* dengan diameter zona hambat sebesar 19,3 mm, sedangkan diameter zona hambat pada *F. oxysporum fsp.*

capsici, *F. oxysporum fsp. lycopersici*, dan *F. oxysporum fsp. vanilae* berturut-turut sebesar 19,8 mm, 20,2 mm, dan 24,5 mm. Ekstrak *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii* memiliki aktivitas antijamur yang ditunjukkan dengan terbentuknya zona hambat di sekitar kertas cakram (Gambar 2). Adanya zona hambat tersebut disebabkan karena adanya senyawa antijamur yang dihasilkan oleh jamur *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii*. Menurut Ahamed dan Ahring (2011) bahwa identifikasi senyawa kimia dalam ekstrak *Gliocladium* sp. 62724 dengan menggunakan GC-MS-SPME menunjukkan bahwa ekstrak *Gliocladium* sp. 62724 mengandung senyawa benzene, heptane, 1-octene, octane, m-xylene, 3-methylnonane, dodecane, tridecane, hexadecane dan nonadecane.



Gambar 2. Hasil uji aktivitas antijamur ekstrak *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii* terhadap jamur *F. oxysporum* A: *F. oxysporum fsp. cubense*, B: *F. oxysporum fsp. vanilae*, C: *F. oxysporum fsp. lycopersici*, D: *F. oxysporum fsp. capsici*.

Identifikasi Senyawa Antijamur dari Ekstrak *S. violaceusniger* dan *T. koningii*

Berdasarkan hasil analisis GCMS menunjukkan bahwa ekstrak *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii* mengandung sembilan belas senyawa. Sembilan belas senyawa tersebut adalah 2-hexanone; cyclopentanol, 3-methyl; propanal, 2,3-dihydroxy; propanoic acid, 2-hydroxy ethyl ester; propanoic acid, 2-hydroxy ethyl ester; 4-nitro-3-oxobutyric acid, methyl ester; benzene, 1,4-dimethyl; cyclopropanecarboxylic acid; cyclopropanecarboxylic acid; 2-nonanone; 2,3-butanediol; 2-heptanone; acetoin; 2,3-dimethylpyrazine; carbamic acid, phenyl ester; pyridine, 2,3,4,5-tetrahydro; pyridine, 2,3,4,5-tetrahydro; 2-furancarboxaldehyde, 5-methyl; caryophyllene; dan 1,2, benzenedicarboxylic acid (Tabel 2).

Berdasarkan pustaka terhadap hasil analisis GCMS bahwa ekstrak *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii* mengandung sebelas senyawa yang memiliki aktivitas antijamur yaitu cyclopropanecarboxylic acid; 2-nonanone; 2,3-butanediol; 2-heptanone; acetoin; 2,3-dimethylpyrazine; carbamic acid, phenyl ester; pyridine, 2,3,4,5-tetrahydro; 2-furancarboxaldehyde, 5-methyl; caryophyllene; dan 1,2, benzenedicarboxylic acid. Senyawa cyclopropanecarboxylic acid terdeteksi di

puncak 7 dan 8 pada waktu retensi 3,361 menit dan 3,552 menit dengan persentase area sebesar 5,98% dan 5,69%. Senyawa 2-nonanone terdeteksi di puncak 9 pada waktu retensi 3,596 menit dengan persentase area sebesar 11,16%. Senyawa 2,3-butanediol terdeteksi di puncak 10 pada waktu retensi 3,842 menit dengan persentase area sebesar 2,30%. Senyawa 2-heptanone terdeteksi di puncak 11 pada waktu retensi 3,879 menit dengan persentase area sebesar 4,70%.

Tabel 2.
Hasil analisis GC-MS senyawa kimia dalam ekstrak *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii*

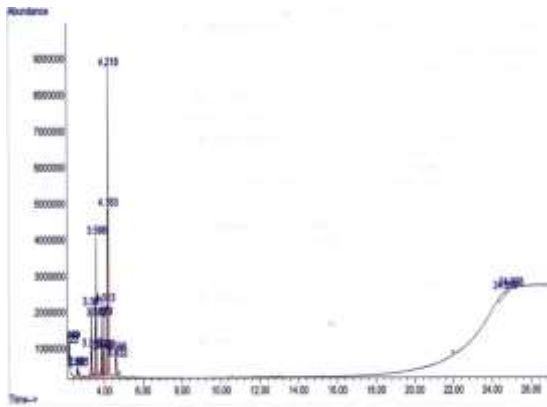
Peak	Waktu Retensi	Area (%)	Senyawa kimia yang teridentifikasi	Rumus Kimia
1	2,122	1,18	2-hexanone	C ₆ H ₁₂ CO
2	2,165	1,46	cyclopentanol, 3-methyl	C ₆ H ₁₂ O
3	2,189	1,64	propanal, 2,3-dihydroxy	C ₃ H ₆ O ₃
4	2,585	1,07	propanoic acid, 2-hydroxy ethyl ester	C ₆ H ₁₀ O ₄
5	2,651	1,11	4-nitro-3-oxobutyric acid, methyl ester	C ₁₁ H ₁₁ NO ₅
6	3,313	2,98	benzene, 1,4-dimethyl	C ₈ H ₁₀
7	3,361	5,98	cyclopropanecarboxylic acid	C ₄ H ₆ O ₂
8	3,552	5,69	cyclopropanecarboxylic acid	C ₄ H ₆ O ₂
9	3,596	11,16	2-nonanone	C ₉ H ₁₈ O
10	3,842	2,30	2,3-butanediol	C ₄ H ₁₀ O ₂
11	3,879	4,70	2-heptanone	C ₇ H ₁₄ O
12	3,976	2,16	acetoin	C ₄ H ₈ O ₂
13	4,013	5,95	2,3-dimethylpyrazine	C ₆ H ₈ N ₂
14	4,183	13,75	carbamic acid, phenyl ester	C ₇ H ₉ NO ₂
15	4,218	26,55	pyridine, 2,3,4,5-tetrahydro	C ₅ H ₉ N
16	4,596	3,64	pyridine, 2,3,4,5-tetrahydro	C ₅ H ₉ N
17	4,632	1,45	2-furancarboxaldehyde, 5-methyl	C ₈ H ₁₀ O ₂
18	24,699	5,24	caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄
19	24,998	2,19	1,2, benzenedicarboxylic acid	C ₈ H ₆ O ₄

Senyawa acetoin terdeteksi di puncak 12 pada waktu 3,976 menit dengan persentase area sebesar 2,16%. Senyawa 2,3-dimethylpyrazine terdeteksi di puncak 13 pada waktu retensi 4,013 menit dengan persentase area sebesar 5,95%. Senyawa carbamic acid, phenyl ester terdeteksi di puncak 14 pada waktu retensi 4,183 menit dengan persentase area sebesar 13,75%. Senyawa pyridine,

2,3,4,5-tetrahydro terdeteksi di puncak 15 dan 16 pada waktu retensi 4,218 menit dan 4,596 menit dengan persentase area sebesar 26,35% dan 3,64%. Senyawa 2-furancarboxaldehyde terdeteksi di puncak 17 pada waktu retensi 4,632 menit dengan persentase area sebesar 1,45%. Senyawa 5-methyl; caryophyllene terdeteksi di puncak 18 pada waktu retensi 24,699 menit dengan persentase area sebesar 5,24%. Senyawa 1,2, benzenedicarboxylic acid terdeteksi di puncak 19 pada waktu retensi 24,998 menit dengan persentase area sebesar 2,19% (Gambar 3).

Beberapa peneliti melaporkan bahwa senyawa cyclopropanecarboxylic acid; 2-nonanone; 2,3-butanediol; 2-heptanone; acetoin; 2,3-dimethylpyrazine; carbamic acid, phenyl ester; pyridine, 2,3,4,5-tetrahydro;2-furancarboxaldehyde, 5-methyl; caryophyllene; dan 1,2, benzenedicarboxylic acid memiliki aktivitas antijamur. Guaranda *et al.* (2023) melaporkan bahwa ekstrak *Trichoderma reesei* (C2A) mengandung senyawa cyclopropanecarboxylic acid yang memiliki aktivitas antijamur terhadap *Moniliophthora perniciosa* dan *Moniliophthora roreri*. Calvo *et al.* (2020) melaporkan bahwa ekstrak *Bacillus velezensis* strains BUZ-14 mengandung senyawa 2-nonanone; 2,3-butanediol; 2-heptanone; acetoin; 2,3-dimethylpyrazine yang memiliki aktivitas

antijamur terhadap jamur *Botrytis cinerea*, *Monilinia fructicola*, *M. laxa*, *Penicillium italicum*, *P. digitatum* dan *P. expansum*. Yaseri *et al.* (2016) melaporkan bahwa ekstrak *Proteus mirabilis* mengandung senyawa 2-furancarboxaldehyde yang memiliki aktivitas antijamur terhadap jamur *Aspergillus terreus*, *Aspergillus flavus*, *Candida albicans*, *Microsporium canis*, dan *Trichophyton mentagrophytes*. Tabarestani *et al.* (2016) melaporkan bahwa ekstrak *Trichoderma virens* mengandung senyawa caryophyllene yang memiliki aktivitas antijamur terhadap jamur *F. oxysporum*. Siddiquee *et al.* (2012) melaporkan bahwa ekstrak *Trichoderma harzianum* strain FA1132 mengandung senyawa 2,3-butanediol, carbamic acid phenyl ester, dan 1,2, benzenedicarboxylic acid yang memiliki aktivitas antijamur terhadap *Fusarium graminearum*, *Rhizoctonia solani* dan *F. oxysporum f.sp. lycopersici*. Dai *et al.* (2011) melaporkan bahwa senyawa 6-alkyl-2,3,4,5-tetrahydropyridine memiliki aktivitas antijamur terhadap jamur *Cryptococcus neoformans*, *Candida albicans*, *Candida glabrata* dan *Candida krusei*. Li *et al.* (2021) melaporkan bahwa ekstrak *Streptomyces* sp. H4 mengandung senyawa 1,2, benzenedicarboxylic acid yang memiliki aktivitas antijamur terhadap jamur *Colletotrichum fragariae*.



Gambar 3. Data representatif kromatografi GC-MS dari ekstrak *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii*

Sebelas senyawa antijamur yang dihasilkan *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii* berkontribusi dalam menghambat pertumbuhan jamur patogen dan senyawa-senyawa tersebut bekerja secara sinergis dalam menghambat pertumbuhan jamur. Senyawa dalam kelompok asam lemak seperti cyclopropanecarboxylic acid, carbamic acid phenyl ester, dan 1,2-benzenedicarboxylic acid bekerja secara simultan dalam menghambat pertumbuhan jamur dengan cara mengganggu permeabilitas membrane sel terutama pada sel yang kandungan sterolnya rendah, menghambat kerja enzim topoisomerase yang berperan penting dalam proses replikasi DNA di nukleus dan proses translasi di ribosom, menghambat pembentukan enzim N-myristoyltransferase yang berperan penting dalam proses translasi di ribosom, menghambat β -oksidasi di mitokondria,

menghambat pembentukan triacylglycerol dan sphingolipid di mitokondria sehingga menyebabkan kerusakan mitokondria (Pohl *et al.*, 2011).

Mekanisme senyawa 2-nonanone, 2,3-butanediol, 2-heptanone, acetoin, 2,3-dimethylpyrazine, pyridine 2,3,4,5-tetrahydro, 2-furancarboxaldehyde 5-methyl, dan caryophyllene dalam menghambat pertumbuhan jamur adalah diduga dengan cara menginduksi terjadinya apoptosis, menyebabkan kerusakan DNA, menyebabkan kerusakan mitokondria (Prasath *et al.*, 2020), menghambat kerja enzim nitric oxide dioxygenase (Helmick *et al.*, 2005), menghambat biosintesis ergosterol (Hori *et al.*, 2000), menghambat pembentukan membrane sel jamur dengan cara memetilasi sterol dan sterol ester (Ozdemir *et al.*, 2010), menghambat pembentukan dinding sel jamur dengan cara menghambat sintesis β -glucan dan kitin (Chudzik *et al.*, 2019), dan menyebabkan kematian sel dengan cara menghambat kerja enzim yang berperan dalam sintesis DNA maupun RNA didalam sel jamur (Pippi *et al.*, 2017).

SIMPULAN DAN SARAN

Jamur *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii* mampu menghambat pertumbuhan koloni jamur *F. oxysporum* dengan dikategorikan daya

hambat kuat. Selain itu, ekstrak *Streptomyces violaceusniger* dan *Trichoderma koningii* mengandung sebelas senyawa yang memiliki aktivitas antijamur yaitu cyclopropanecarboxylic acid; 2-nonanone; 2,3-butanediol; 2-heptanone; acetoin; 2,3-dimethylpyrazine; carbamic acid, phenyl ester; pyridine, 2,3,4,5-tetrahydro; 2-furancarboxaldehyde, 5-methyl; caryophyllene; dan 1,2-benzenedicarboxylic acid.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, D., Triasih, U., Dwiastuti, M.E., Wicaksono, R.C. 2019. Potensi jamur antagonis dalam menghambat pertumbuhan jamur *Botryodiplodia Theobromae* penyebab penyakit busuk batang pada tanaman jeruk. *Jurnal Agronida* 5(1): 1-6.
- Ahamed, A., Ahring, B.K. 2011. Production of hydrocarbon compounds by endophytic fungi *Gliocladium* species grown on cellulose. *Bioresource Technology* 102: 9718- 9722.
- Baayen, R.P., Donnell, K., Bonants, P.J., Cigelnik, E., Kroon, L.P.N.M., Roebroek, J.A., Waalwijk, C. 2000. Gene Genealogies and AFLP Analyses in the *Fusarium oxysporum* Complex Identify Monophyletic and Nonmonophyletic Formae Speciales Causing Wilt and Rot Disease. *Ecology and Population Biology* 90(8): 891-900.
- Calvo, H., Mendiara, I., Arias, E., Gracia, A.P., Blanco, D., Venturini, M.E. 2020. Antifungal activity of the volatile organic compounds produced by *Bacillus velezensis* strains against postharvest fungal pathogens. *Postharvest Biology and Technology* 166(111208): 1-10.
- Chudzik, B., Katarzyna, B., Wojciech, D., Daniel, P., Andrzej, N., Alina, O., Bozena, P., Mariusz, G. 2019. Antifungal effects of a 1,3,4-thiadiazole derivative determined by cytochemical and vibrational spectroscopic studies. *Plos One* 30: 1-32.
- Dai, L., Jacob, M.R., Khan, S., Khan, I.A. Clark, A.M., Li, X.C. 2011. Synthesis and Antifungal Activity of Natural Product-Based 6-Alkyl-2,3,4,5-tetrahydropyridines. *Journal of Natural Products* 74: 2023–2026.
- Demirci, E., Dane, E., Eken, C. 2011. In vitro antagonistic activity of fungi isolated from sclerotia on potato tubers against *Rhizoctonia solani*. *Turkish Journal of Biology* 35: 457-462.
- Gabrekiristos, E., Demiyo, T. 2020. Hot Pepper *Fusarium* Wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *capsici*):

- Epidemics, Characteristic Features and Management Options. *Journal of Agricultural Science* 12(10): 347-360.
- Guaranda, I.C., Lozano, F.E., Araujo, D.R., Romero, C., Manzano, P., Galarza, L., Sosa, D. 2023. Chemical Characterization of *Trichoderma* spp. Extracts with Antifungal Activity against Cocoa Pathogens. *Molecules* 28(3208): 1-14.
- Helmick, R.A., Arin, E. F., Anne, M. G., Christopher, R. G., Angela, N.H., Michael, C.G., Paul, R.G. 2005. Imidazole antibiotics inhibit the nitric oxide dioxygenase function of microbial flavohemoglobin. *Antimicrobial agents and chemotherapy* 49(5): 1837-1843.
- Hori, K., Akira, S., Michinari, K., Koichi, I., Yuri, A., Yuso, Y. 2000. Structure-activity relationships of a new antifungal imidazole, AFK-108, and related compounds. *Chem. Pharm. Bull.* 48(1): 60-64.
- Khalimi, K., Wirya, G.N.A. 2009. Pemanfaatan plant growth promoting rhizobakteria untuk biostimulan dan bioprotektan. *ECOTROPIC* 4(2): 131-135.
- Li, X., Jing, T., Zhou, D., Zhang, M., Qi, D., Zang, X., Zhao, Y., Li, K., Tang, W., Chen, Y., Qi, C., Wang, W., Xie, J. 2021. Biocontrol efficacy and possible mechanism of *Streptomyces* sp. H4 against postharvest anthracnose caused by *Colletotrichum fragariae* on strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology* 175(111401): 1-11.
- Mosqueda, M.A.R., Andreu, L.G.I., Silva, J.A.T., Rodriguez, M.L., Carrazana, J.C.N., Aguilar, J.R.B., Ovalle, O.R.L., Gonzalez, J.M. 2019. In vitro selection of vanilla plants resistant to *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanilla*. *Acta Physiologiae Plantarum* 41(40): 1-8.
- Ozdemir, A.O., Gulhan, T.Z., Zafer, A.K., Gokalp, I., Shabana, K., Fatih, D. 2010. Synthesis and the selective antifungal activity of 5,6,7,8-tetrahydroimidazo[1,2-a]pyridine derivatives. *European Journal of Medicinal Chemistry* 45: 2080-2084.
- Pohl, C.H., Kock, J.L.F., Thibane, V.S. 2011. Antifungal free fatty acids: A Review. *Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances* 60-71.
- Pippi, B., Paula, R., Gabriella, R.M.M., Vanessa, Z. B., Daiane, F.D.L., Mario, L.T., Lucas, L.F., Ricardo, J.A., Saulo, F.A., Alexandre, M.F.

2017. Evaluation of 8-Hydroxyquinoline Derivatives as Hits for Antifungal Drug Design. *Medical Mycology* 0: 1–11.
- Prasath, K.G., Tharani, H., Mourya, S.K., Shunmugiah, K.P. 2020. Palmitic acid inhibits the virulence factors of *Candida tropicalis*: biofilms, cell surface hydrophobicity, ergosterol biosynthesis, and enzymatic activity. *Frontiers in Microbiology* 11(864): 1-21.
- Roman, D.L., Voiculescu, D.I., Filip, M., Ostafe, V., Isvoran, A. 2021. Effects of Triazole Fungicides on Soil Microbiota and on the Activities of Enzymes Found in Soil: A Review. *Agriculture* 11(893): 1-18.
- Song, W., Zhou, L., Yang, C., Cao, X., Zhang, L., Liu, X. 2003. Tomato Fusarium wilt and its chemical control strategies in a hydroponic system. *Crop Protection* 23: 243–247.
- Siddiquee, S., Cheong, B.E., Taslima, K., Kausar, H., Hasan, M.M. 2012. Separation and Identification of Volatile Compounds from Liquid Cultures of *Trichoderma harzianum* by GC-MS using Three Different Capillary Columns. *Journal of Chromatographic Science* 50:358–367.
- Srinivas, C., Devi, D.N., Murthy, K.N., Mohan, C.D., Lakshmeesha, T.R., Singh, B., Kalagatur, N.K., Niranjana, S.R., Hashem, A., Alqarawi, A.A., Tabassum, B., Abdallah, E.F., Nayaka, S.C., Srivastava, R.K. 2019. *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* causal agent of vascular wilt disease of tomato: Biology to diversity– A review. *Saudi Journal of Biological Sciences* 26: 1315–1324.
- Srinivasa, N., Sriram, S., Singh, C., Shivashankar, K.S. 2017. Secondary Metabolites Approach to Study the Bio-Efficacy of *Trichoderma asperellum* Isolates in India. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci* 6(5): 1105-1123.
- Tabarestani, M. S., Rahnama, K., Jahanshahi, M., Nasrollahnejad, S., Fatemi, M. H. 2016. Identification of volatile organic compounds of *Trichoderma* spp. using static headspace gas chromatography-mass spectrometry. *Mycologia Iranica* 3(1): 47-55.
- Tendencia, E.A. 2004. Disk diffusion method. In Laboratory manual of standardized methods for antimicrobial sensitivity tests for bacteria isolated from aquatic animals and environment. Hal 13-29.

Warman, N.M., Aitken, E.A.B. 2018. The movement of *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* (sub-tropical Race 4) in susceptible cultivars of banana. *Frontier in Plant Science* 9 (1748): 1-9.

Yaseri, A., Kadhim, W.A., Hameed, I.H. 2016. Detection of volatile compounds emitted by *Proteus mirabilis* isolated from UTI patients and its anti-fungal potential. *Der Pharma Chemica* 8(19):671-678.