

Bakteri PGPR Rizosfer Bambu Sebagai Agens Biokontrol Penyakit Moler

The PGPR Bacteria from Bamboo Rhizosphere as a Biocontrol Agent for Moler Disease

Herni Susanti, Fadjar Rianto*, Edy Syahputra

Program Studi Magister Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Tanjungpura.
Jalan Prof. Hadari Nawawi, Pontianak, Kalimantan Barat. 78121

(diterima Maret 2024, disetujui September 2024)

ABSTRAK

Plant growth promoting rhizobacteria banyak dimanfaatkan sebagai agens hayati, baik terhadap *F. oxysporum* ataupun patogen lainnya. PGPR dari perakaran bambu berpotensi dimanfaatkan untuk pengendalian penyakit moler pada bawang merah. Penelitian ini bertujuan melakukan penilaian potensi PGPR dari perakaran bambu, sebagai agens antagonis terhadap *F. oxysporum*. Sampel rizosfer bambu diambil dari beberapa lokasi di Kalimantan Barat dan diisolasi menggunakan metode tuang sebar pada medium *nutrient agar*. Isolat-isolat yang diperoleh dilakukan penilaian sebagai agens antagonis terhadap *F. oxysporum* secara *in vitro*. Hasil eksplorasi diperoleh 30 isolat, 19 isolat di antaranya mempunyai daya hambat terhadap *F. oxysporum*. Pada uji produksi HCN, diperoleh tujuh isolat terindikasi menghasilkan gas HCN dan menghambat *F. oxysporum* melebihi 50%, yaitu isolat PY.01, ST.02, PY.03, S2.05, PR.01, PR.02, dan ST.03. Isolat tersebut juga dapat menurunkan produksi konidium. Pengujian anticendawan dari metabolit yang terlarut dalam supernatan diperoleh 12 isolat menunjukkan sifat anticendawan dan mampu menghambat pertumbuhan *F. oxysporum*. Metabolit sekunder dari isolat PR.01 memiliki indeks penghambatan tertinggi, yaitu 73.08. Isolat ST.02, PR.02, dan S2.05 menunjukkan keunggulan dalam menghambat *F. oxysporum*, menghasilkan gas HCN dan metabolit.

Kata kunci: antagonis, daya hambat, *Fusarium oxysporum*, metabolit sekunder

ABSTRACT

Plant growth promoting rhizobacteria are often used as biological agents, either against *F. oxysporum* or other pathogens. PGPR from bamboo roots have the potential to be used to control Moler disease in shallots. The objective of this study is to evaluate the potential of PGPR from bamboo roots as an antagonist against *F. oxysporum*. Samples were collected from the rhizosphere of bamboo in different locations in West Kalimantan and isolated using the plating method on nutrient agar. The isolates obtained were tested *in vitro* as antagonists against *F. oxysporum*. The results of the test revealed 30 isolates, 19 of which showed inhibition against *F. oxysporum*. Seven isolates namely isolates PY.01, ST.02, PY.03, S2.05, PR.01, PR.02 and ST.03 were found to produce HCN gas and inhibit *F. oxysporum* by more than 50%. These isolates were also able to reduce conidia production. Antagonism was also evaluated by the production of metabolites. The antifungal tests of the metabolites of 12 isolates dissolved in the supernatant showed antifungal properties and were able to inhibit the growth of *F. oxysporum*. The secondary metabolites of isolate PR.01 had the highest inhibition index of 73.08. Isolates ST.02, PR.02 and S2.05 were superior in inhibiting *F. oxysporum* and produced HCN gas and metabolites.

Keywords: antagonis, *Fusarium oxysporum*, HCN gas, inhibition, secondary metabolites

*Alamat korespondensi: Program Studi Magister Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Tanjungpura.
Jalan Prof. Hadari Nawawi, Pontianak, Kalimantan Barat. 78121.
Surel: fajar.rianto@faperta.untan.ac.id

PENDAHULUAN

Penyakit moler pada bawang merah disebabkan oleh *Fusarium oxysporum*, umumnya menginfeksi akar dan umbi lapis, bahkan sampai pada bagian daun. Gejala khas terlihat pada daun tua yang menguning dan terpilin. Infeksi lanjut menyebabkan tanaman layu dan mudah dicabut karena umbi mengalami pembusukan. Hasil penelitian Riki (2021) menunjukkan rata-rata tingkat infeksi patogen pada umbi bawang merah yang di tanam pada tanah gambut di rumah kaca berkisaran antara 32%-97.5%.

Penggunaan fungisida sintetik untuk mengendalikan *F. oxysporum* telah banyak dilakukan. Amini dan Sidovich (2010) melakukan pengujian 6 jenis fungisida—benomyl, carbendazim, prochloraz, fludioxonil, bromuconazole dan azocystrobin—menggunakan beberapa konsentrasi terhadap *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* baik *in vitro* ataupun *in vivo*. Hasil yang diperoleh terlihat adanya efek penghambatan terhadap pertumbuhan miselium patogen. Pengendalian secara kimia yang dilakukan secara terus menerus dikhawatirkan akan menimbulkan residu bahan aktif yang berdampak negatif bagi lingkungan. Oleh karena itu diperlukan alternatif pengendalian yang ramah lingkungan, salah satunya ialah menggunakan bakteri *plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR).

Bakteri *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus* spp., dan *Serratia* spp. umum digunakan sebagai PGPR dan agens hayati karena kemampuannya memproduksi gas HCN dan menghasilkan senyawa anticendawan (Sutariati *et al.* 2010). Eksplorasi terhadap PGPR lokal perlu dikembangkan untuk melihat kemampuan adaptasi dan kompatibilitasnya di lingkungan setempat. Penelitian ini bertujuan menentukan karakter antagonis dari PGPR asal rizosfer bambu di Kalimantan Barat terhadap *F. oxysporum*, penyebab penyakit moler pada bawang merah.

BAHAN DAN METODE

Isolasi *Plant Growth Promoting Rhizobacteria*

Eksplorasi PGPR dilakukan pada tanah perakaran bambu di daerah Sintang, Punggur, Pinyuh, dan Ketapang di Provinsi Kalimantan Barat. Sebanyak 2 kg sampel tanah diambil dari masing-masing perakaran bambu. Sampel tanah dikompositkan, lalu diambil sebanyak 100 g untuk disuspensikan dalam 900 mL air steril. Suspensi tanah digoyang selama 30 menit pada kecepatan 120 rpm, kemudian dilakukan pengenceran berseri hingga 10^{-7} . Sebanyak 1 mL suspensi tanah dari semua tingkat pengenceran disebar pada medium *nutrient agar* (NA). Koloni tunggal bakteri—yang membentuk zona bening di sekitar koloni-koloni bakteri lainnya diindikasikan sebagai antagonis—dimurnikan untuk selanjutnya digunakan dalam uji lanjut, yaitu antibiosis (daya hambat), produksi HCN, dan senyawa anticendawan dari metabolit.

Pengujian Daya Hambat

Uji daya hambat isolat PGPR menggunakan metode kultur ganda (Seema dan Devaki 2012) pada medium agar-agar dekstrosa kentang (ADK). Isolat PGPR di uji terhadap *F. oxysporum* isolat Hn05 yang diisolasi dari tanaman bawang merah bergejala moler dan telah diuji patogenisitasnya. Isolat *F. oxysporum* Hn05 merupakan koleksi lab. Penyakit Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Tanjung Pura. Daya hambat isolat PGPR dihitung menggunakan rumus:

$$DH = \frac{r_1 - r_2}{r_1} \times 100\%, \text{ dengan}$$

DH, daya hambat pertumbuhan *F. oxysporum* (%); r_1 , jari-jari koloni *F. oxysporum* yang menjauhi bakteri antagonis (mm); dan r_2 , jari-jari koloni *F. oxysporum* ke arah bakteri (mm).

Produksi Senyawa Metabolit dan Uji Anticendawan

Isolat PGPR terpilih ditumbuhkan dalam 100 mL medium dekstrosa kentang cair.

Isolat PGPR tersebut diinkubasi pada suhu ruang selama 48 jam dan disentrifugasi pada kecepatan 12 000 rpm selama 15 menit untuk mengambil metabolit yang terlarut dalam supernatan. Supernatan yang terbentuk disaring menggunakan kertas saring *milipore* 20 μm sehingga terbebas dari sel bakteri, lalu diuji aktivitas anticendawannya. Kertas saring cakram dicelupkan dalam supernatan dan diletakkan pada medium ADK yang telah dicampur 1 mL suspensi konidium *F. oxysporum* konsentrasi 10^9 mL^{-1} (Senaen *et al.* 2022). Sebagai kontrol, kertas saring direndam dalam akuades steril. Aktivitas anticendawan diamati melalui penghambatan yang menggunakan rumus:

$$\text{IS} = \frac{\text{øa} - \text{øb}}{\text{øa}} \times 100\%, \text{ dengan}$$

IS, indeks penghambatan metabolit; øa, diameter zona bening kontrol; dan øb, diameter koloni bakteri perlakuan.

Produksi Gas HCN dan Daya Hambatnya terhadap *F. oxysporum*.

Isolat PGPR yang mempunyai daya hambat pada uji kultur ganda diujikan kemampuannya dalam menghasilkan HCN. Deteksi produksi HCN dilakukan menggunakan kertas filter yang dijenuhi asam pikrat 0.5% (Elsoud *et al.* 2021). Sebelum diberi asam pikrat 0.5%, kertas cakram dicelupkan dalam larutan Na_2CO_3 2%. Kertas cakram ditempelkan di bagian atas tabung reaksi bagian dalam dan diinkubasi selama 7 hari. Indikasi bahwa bakteri memproduksi HCN ialah kertas filter berubah menjadi cokelat atau kecokelatan. Selanjutnya, isolat bakteri penghasil HCN ditumbuhkan pada medium NA yang ditambah larutan glisin 4.4 g L^{-1}

Pengujian daya hambat HCN terhadap pertumbuhan miselium patogen dilakukan dengan menumbuhkan secara bersama isolat PGPR penghasil HCN dan *F. oxysporum* pada medium NA di cawan petri bersekat yang masih memungkinkan gas yang dihasilkan pindah ke sisi ruang lainnya. Satu sisi diinokulasikan bakteri dan sisi lainnya diinokulasikan oleh *F. oxysporum*. Sebagai kontrol *F. oxysporum* yang ditumbuhkan pada

medium ADK pada kedua sisi cawan petri yang bersekat. Perlakuan diinkubasi selama 7 hari kemudian diamati penghambatannya. Persentase penghambatan dihitung menggunakan rumus:

$$\text{AC} = \frac{\text{DK} - \text{DP}}{\text{DK}} \times 100\%, \text{ dengan}$$

AC, daya hambat gas HCN terhadap koloni *F. oxysporum*; DK, diameter *F. oxysporum* pada kontrol; dan DP, diameter *F. oxysporum* pada perlakuan (Anand *et al.* 2020).

Gas HCN yang dihasilkan isolat bakteri diujikan juga kemampuannya menghambat produksi konidium *F. oxysporum*. Sebanyak 10 mL air steril dituangkan pada koloni *F. oxysporum*, kemudian cawan petri digoyang agar konidium terlepas. Pengerjaan ini diulang 3 kali. Air hasil penyapuan konidium ditampung dalam gelas baker dan ditambahkan air steril agar volume suspensi konidium mencapai 50 mL. Konsentrasi suspensi konidium dihitung menggunakan haemositometer. Daya hambat produksi konidium dihitung menggunakan rumus:

$$\text{JK} = \frac{\text{PK} - \text{PP}}{\text{PK}} \times 100\%, \text{ dengan}$$

JK, Daya hambat gas HCN terhadap produksi konidium *F. oxysporum*; PK, produksi konidium pada kontrol; dan PP, produksi konidium pada perlakuan.

Analisis Data

Seluruh pengujian dirancang menggunakan rancangan acak lengkap. Data daya hambat dianalisis menggunakan ANOVA dan dilanjutkan dengan uji beda nyata Tukey. Analisis dilakukan menggunakan program MTB 21. Data lainnya hanya ditabulasi.

HASIL

Sebanyak 30 isolasi bakteri PGPR diperoleh dari Sintang, Ketapang, Punggur, dan Sungai Pinyuh, tetapi hanya 19 isolat yang menunjukkan penghambatan terhadap *F. oxysporum* (Tabel 1, Gambar 1). Daya hambat yang dihasilkan berkisar antara 50.68% hingga 85.61% (Tabel 1).

Tabel 1 Karakter morfologi dan daya hambat isolat PGPR asal rizosfer bambu
 Table 1 Morphological characters and inhibition of PGPR isolates from bamboo rhizosphere

Lokasi (Location)	Isolat (Isolate)	Jumlah individu (Number of individuals)	Karakter morfologi (Morphological characters)					Daya hambat (Inhibition (%))
			Bentuk (Shape)	Kemiringan (Slope)	Tepian (Edge)	Permukaan (Surface)	Warna (Colour)	
Sintang	ST.01	101	<i>Irregular</i>	<i>Raised</i>	<i>Undulate</i>	<i>Smooth</i>	Putih susu (miky white)	73.4
	ST.02	192	<i>Fuctiform</i>	<i>Convex</i>	<i>Entire</i>	<i>Smooth</i>	Putih susu (miky white)	85.61
	ST.03	170	<i>Circular</i>	<i>Flat</i>	<i>Entire</i>	<i>Smooth</i>	Putih susu (miky white)	80.47
	ST.04	80	<i>Irregular</i>	<i>Flat</i>	<i>Undulate</i>	<i>Smooth</i>	Putih susu (miky white)	80.52
	ST.05	85	<i>Irregular</i>	<i>Raised</i>	<i>Entire</i>	<i>Smooth</i>	Putih susu (miky white)	0.00
	ST.06	175	<i>Circular</i>	<i>Convex</i>	<i>Entire</i>	<i>Smooth</i>	Putih susu (miky white)	0.00
	ST.07	75	<i>Irregular</i>	<i>Flat</i>	<i>Undulate</i>	<i>Smooth</i>	Putih susu	76.63
	ST.08	77	<i>Irregular</i>	<i>Convex</i>	<i>Undulate</i>	<i>Coutoured</i>	Putih susu (miky white)	77.63
	S2.01	81	<i>Circular</i>	<i>Flat</i>	<i>Entire</i>	<i>Smooth</i>	Putih susu (miky white)	0.00
	S2.02	97	<i>Functiform</i>	<i>Flat</i>	<i>Undulate</i>	<i>Contoured</i>	Putih susu (miky white)	0.00
	S2.03	78	<i>Irregular</i>	<i>Raised</i>	<i>Entire</i>	<i>Smooth</i>	Putih susu (miky white)	0.00
	S2.04	81	<i>Irregular</i>	<i>Convex</i>	<i>Undulate</i>	<i>Smooth</i>	Putih susu (miky white)	0.00
	S2.05	85	<i>Circular</i>	<i>Raised</i>	<i>Undulate</i>	<i>Smooth</i>	Kuning (Yellow)	75.58
	S2.06	101	<i>Functiform</i>	<i>Raised</i>	<i>Entire</i>	<i>Cuntoured</i>	Putih susu (miky white)	69.67
	S2.07	121	<i>Functiform</i>	<i>Fulvinate</i>	<i>Erose</i>	<i>Smooth</i>	Putih susu (miky white)	73.73
	S2.08	77	<i>Circular</i>	<i>Convex</i>	<i>Entire</i>	<i>Smooth</i>	Putih susu (miky white)	0.00
	S2.09	80	<i>Irregular</i>	<i>Raised</i>	<i>Entire</i>	<i>Contoured</i>	Putih susu (miky white)	0.00
Punggur	PR.01	101	<i>Circular</i>	<i>Flat</i>	<i>Erose</i>	<i>Smooth</i>	Kuning (Yellow)	68.37
	PR.02	97	<i>Funciform</i>	<i>Raised</i>	<i>Entire</i>	<i>Smooth</i>	Putih susu (miky white)	83.96
	PR.03	99	<i>Functiform</i>	<i>Convex</i>	<i>Entire</i>	<i>Smooth</i>	Putih susu (miky white)	81.92
	PR.04	87	<i>Filemantous</i>	<i>Flat</i>	<i>Undulate</i>	<i>Smooth</i>	Putih susu (miky white)	66.58
Pinyuh	PY.01	101	<i>Functiform</i>	<i>Fulvinate</i>	<i>Entire</i>	<i>Smooth</i>	Putih susu (miky white)	85.47
	PY.02	98	<i>Circular</i>	<i>Convex</i>	<i>Erose</i>	<i>Smooth</i>	Putih susu (miky white)	50.68
	PY.03	95	<i>Rhizoid</i>	<i>Rhizoid</i>	<i>Lobate</i>	<i>Contoured</i>	Putih susu (miky white)	85.40

.... lanjutan (*continued*)

Tabel 1 Karakter morfologi dan daya hambat isolat PGPR asal rizosfer bambu

Table 1 Morphological characters and inhibition of PGPR isolates from bamboo rhizosphere

Lokasi (Location)	Isolat (Isolate)	Jumlah individu (Number of individuals)	Karakter morfologi (Morphological characters)					Daya hambat (Inhibition (%))
			Bentuk (Shape)	Kemiringan (Slope)	Tepian (Edge)	Permukaan (Surface)	Warna (Colour)	
Ketapang	KI.01	95	<i>Irregular</i>	<i>Raised</i>	<i>Lobate</i>	<i>Contoured</i>	Putih susu (milkly white)	0.00
	KI.02	111	<i>Functiform</i>	<i>Raised</i>	<i>Entire</i>	<i>Smooth</i>	Putih susu (milkly white)	0.00
	KI.03	85	<i>Circular</i>	<i>Convex</i>	<i>Erose</i>	<i>Smooth</i>	Putih susu (milkly white)	73.41
	KI.04	87	<i>Irregular</i>	<i>Umbonate</i>	<i>Entire</i>	<i>Smooth</i>	Putih susu (milkly white)	67.38
	KI.05	90	<i>Functiform</i>	<i>Raised</i>	<i>Erose</i>	<i>Smooth</i>	Putih susu (milkly white)	0.00
	KI.06	95	<i>Functiform</i>	<i>Pulvinate</i>	<i>Entire</i>	<i>Smooth</i>	Putih susu (milkly white)	75.52

Keterangan : *circular* = bulat; *convex* = cembung; *flat* = datar; *entire* = rata; *undululate* = bergelombang; *smooth* = halus; *irregular* = tidak teratur; *contoured* = bergelombang; *functiform* = bulat kecil; *raised* = meninggi; *entire* = melengkung rata; *lobate* = lekuk menyebar tidak teratur; *pulvinate* = mengembung; *umbonate* = cembung dengan bagian tengah menonjol; *erose* = bergerigi.



Gambar 1 Daya hambat isolat PGPR terhadap koloni *Fusarium oxysporum*. Isolat PGPR ditumbuhkan di antara koloni *F. oxysporum*.

Figure 1 Inhibition of PGPR isolates against *Fusarium oxysporum* colonies. PGPR isolates were grown alongside *F. oxysporum* colonies.

Metabolit Sekunder dan Penghambatannya terhadap *F. oxysporum*.

Hasil uji daya hambat metabolit menghasilkan 12 isolat yang memiliki kemampuan membentuk zona bening di sekeliling kertas cakram. Di antara 12 isolat, isolat PR.01 memiliki indeks penghambatan tertinggi, yaitu 73.08. Ada 8 isolat bakteri lain memiliki kemampuan penghambatan yang sama baiknya dan tidak berbeda nyata dengan isolat PR.01. Isolat ST.07 memperlihatkan indeks penghambatan terendah, tetapi tidak berbeda dengan isolat ST.01, S2.05, PY.01, ST.04, PY.03, S2.07, dan KI.06. (Tabel 2).

Daya Hambat Gas HCN terhadap *F. oxysporum*.

Dari 19 isolat yang diujikan, terdapat 7 isolat yang terindikasi dapat memproduksi gas HCN. Tingkat kualitas produksi HCN yang dihasilkan oleh bakteri PGPR tampak dari perubahan warna pada kertas filter, yaitu dari kuning menjadi kecokelatan. Semakin gelap warna yang terbentuk mengindikasikan gas HCN yang dihasilkan semakin banyak. Gas HCN yang dihasilkan tujuh isolat tersebut mampu menghambat produksi konidium *F. oxysporum* (Tabel 3).

Aktivitas penghambatan gas HCN tertinggi dihasilkan oleh isolat PY.01, yaitu 78.13. Pada uji supernatan isolat tersebut memperlihatkan indeks penghambatan sebesar 47.62. Hal ini menandakan selain menghasilkan gas HCN isolat tersebut juga dapat menghasilkan metabolit yang bersifat anticendawan. Hal yang berbeda tampak pada isolat ST.02, pada uji HCN memperlihatkan indeks penghambatan tergolong tinggi, yaitu 73.82%, namun tidak menghasilkan metabolit yang bersifat anticendawan (Tabel 3 dan Tabel 2). Isolat yang lain ada yang tidak memiliki senyawa anticendawan dan HCN dalam mekanisme menghambat *F. oxysporum*, tetapi memperlihatkan daya antagonis.

Isolat PY.01 dan ST.02 mempunyai daya hambat yang sama dan tertinggi terhadap koloni *F. oxysporum*. Sebagian besar gas HCN yang dihasilkan mampu menghambat koloni *Fusarium* lebih dari 50% (Tabel 3). Konidium yang dihasilkan dari koloni *F. oxysporum* yang terpapar HCN menunjukkan hasil yang lebih rendah dan berbeda nyata dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Isolat ST.02 memperlihatkan daya hambat pertumbuhan yang cukup besar dan jumlah konidium terendah. Produksi konidium yang rendah juga diperlihatkan oleh isolat ST.03

yang ternyata daya hambat koloninya terkecil (Tabel 3).

PEMBAHASAN

Produksi senyawa anticendawan oleh PGPR berupa senyawa metabolit dapat menghambat pertumbuhan cendawan. Senyawa anticendawan melepaskan gas volatil.

Pada penelitian ini, isolat PGPR terbukti menghasilkan gas HCN dan senyawa metabolit. Beberapa isolat PGPR yang diperoleh membentuk zona penghambatan

Tabel 2 Indeks penghambatan metabolit sekunder isolat PGPR terhadap koloni *Fusarium oxysporum*
Table 2 Inhibition index of secondary metabolites of PGPR isolates against *Fusarium oxysporum* colonies

Isolat (Isolate)	Indeks penghambatan (Inhibition index) (%)
KI.03	65.07 ab
KI.04	61.4 ab
KI.06	40.17 bc
PR.01	73.08 a
PY.01	47.62 abc
PY.03	43.76 abc
S2.05	50.09 abc
S2.06	58.34 ab
S2.07	40.33 bc
ST.01	52.06 abc
ST.04	43.90 abc
ST.07	23.31 c

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda berdasarkan uji Tukey 5%.

(Note: Numbers followed by the same letters are not different based on Tukey 5% test)

Tabel 3 Penghambatan senyawa HCN yang dihasilkan oleh isolat PGPR terhadap koloni dan produksi konidia *Fusarium oxysporum*

Table 3 Inhibition of HCN compounds produced by PGPR isolates on *Fusarium oxysporum* colonies and conidia production

Isolat (Isolates)	Daya hambat koloni (Colony inhibition) (%)	Jumlah konidium (Number of conidia) (10 ⁹ konidia. mL ⁻¹)
Kontrol (control)	-	6.66 a
PR.01	66.40 c	5.35 bc
PR.02	52.58 d	4.10 bc
PY.01	78.13 a	5.93 b
PY.02	69.58 b	5.79 bc
S2.05	70.94 c	5.36 bc
ST.02	73.82 a	3.86 c
ST.03	49.97 e	3.33 c

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda berdasarkan uji Tukey 5%.

(Note: Number followed by the same letters are not different based on Tukey 5% test).

sehingga *F. oxysporum* tidak mampu tumbuh mendekati koloni PGPR. Penekanan pertumbuhan cendawan *F. oxysporum* oleh isolat PGPR terjadi sebagai akibat senyawa metabolit yang dihasilkan. Metabolit yang dihasilkan oleh isolat PR.01, KI.03, KI.04, S2.06, ST.01, dan S2.05 memperlihatkan indeks penghambatan di atas 50%.

Adanya penghambatan mengindikasikan bahwa metabolit ini mengandung senyawa bioaktif yang bersifat anticendawan. Mariastuti *et al.* (2018) melaporkan bahwa isolat aktinomiset dari perakaran kedelai menghasilkan metabolit yang mengandung tujuh senyawa bioaktif yang bersifat anticendawan. Metabolit yang dihasilkan tersebut mampu menghambat *F. oxysporum* sebesar 38.69%-73.50%, sedangkan ekstrak medium tumbuhnya memiliki penghambatan 19% hingga 54.09%.

Gas HCN yang dihasilkan oleh isolat PGPR dalam penelitian ini mampu menghambat sporulasi *F. oxysporum*. Penghambatan yang dihasilkan oleh tujuh isolat PGPR berbeda nyata dibandingkan dengan kontrol. Isolat PY.01 menghasilkan penghambatan koloni yang tidak berbeda dengan ST.02, namun penekannya pada sporulasi *F. oxysporum* tampak berbeda nyata. Gas HCN yang diproduksi oleh bakteri PGPR merupakan inhibitor potensial terhadap sitokrom C oksidase dan beberapa metaloenzim lainnya yang dapat menguraikan dinding sel cendawan (Blumer dan Haas 2000). Penghambatan pertumbuhan *F. oxysporum* yang dilakukan bakteri penghasil HCN terjadi melalui mekanisme menahan proses rantai respirasi melalui oksidase sitokrom C (Azeem *et al.* 2022). Gas HCN menunda oksidasi sitokrom dengan cara menghambat kerja enzim yang memiliki kofaktor berupa ion logam seperti Cu^{2+} pada sitokrom C oksidase. Bakteri sianogenik dari genus *Pseudomonas* seperti *P. putida* dan *chlororaphis* dapat menghasilkan HCN yang menghambat pertumbuhan zoospora *Phytophthora infestans* sampai 57% dan 80% (Anand *et al.* 2020).

Bakteri *Citrobacter youngae* dapat menghambat *F. oxysporum* sebesar 73.5%

(Khaing *et al.* 2021), *P. fluorescens* menghambat pertumbuhan cendawan *Macrophomina phaseolina* (Reetha *et al.* 2014). Kedua bakteri tersebut diketahui memproduksi HCN. Menurut Wijayanti (2018), kelompok rhizobakteria yang memiliki kemampuan produksi HCN yang tinggi berasal dari genus *Pseudomonas* spp., *Azotobacter* spp., dan *Bacillus* spp.

Hasil isolasi PGPR dari perakaran bambu diperoleh 19 isolat berpotensi sebagai antagonis terhadap patogen *F. oxysporum*. Karakter sebagai agens antagonis ditentukan berdasarkan kemampuan produksi metabolit dan gas HCN. Isolat yang memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai agens hayati terhadap patogen *F. oxysporum* ialah isolat ST.02, S2.05 dan PR.02.

DAFTAR PUSTAKA

- Amini J, Sidovich DF. 2010. The Effect of fungicide on *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* associated with fusarium wilt of tomato. Journal of Plant Protection Research. 50(2):172–178. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10045-010-0029-x>
- Anand A, Chinchilla D, Tan C, Mène-Saffrané L, L'Haridon F, Weisskopf L. 2020. Contribution of hydrogen cyanide to the antagonistic activity of *Pseudomonas* strains against *Phytophthora infestans*. Mikroorganisms. 8(8):1–10. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms8081144>
- Azeem S, Agha SI, Jamil L, Tabassum B, Ahmed S, Raheem A, Jahan N, Ali N, Khan A. 2022. Characterization and survival of broad-spectrum biocontrol agents against phytopathogenic fungi. Revista Argentina de Microbiología. 54(2):233–242. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ram.2021.10.005>
- Blumer C, Haas D. 2000. Mechanism, regulation, and ecological role of bacterial cyanide biosynthesis. Archives of Microbiology. 173:170–177. DOI: <https://doi.org/10.1007/s002039900127>
- Elsoud MMA, Abdelhamid SA, Abdelnasser SM. 2021. Role and mechanism of soil fertilization by microorganisms.

- Exploratory Biotechnology Research. 1(1): 22–35. DOI: <https://doi.org/10.47204/EBR.1.1.2021.22-35>.
- Khaing A, Theint WT, Thi OK, Fu P. 2021. Antagonistic activity of indigenous rhizobacteria through biosynthesis of indole-3-acetic acid (IAA), hydrogen cyanide (HCN), and siderophores. *Austin Journal of Biotechnology and Bioengineering*. 8(1):1–7. DOI: <https://doi.org/10.26420/austinjbiotechnolbioeng.2021.1110>.
- Mariastuti HD, Listiyowati S, Wahyudi AT. 2018. Antifungal activity of soybean rhizosphere actinomycetes producing bioactive compounds against *Fusarium oxysporum*. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 19(6):2127–2133. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d190619>.
- Reetha AK, Pavani SL, Mohan S. 2014. Hydrogen cyanide production ability by bacterial antagonist and their antibiotics inhibition potential on *Macrophomina phaseolina* (Tassi.) Goid. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*. 3(5):172–178.
- Riki W. 2021. Pengendalian penyakit moler pada bawang merah dengan fungi mikoriza arbuskular (FMA) dan pupuk organik di tanah gambut. [Tesis]. Pontianak (ID): Universitas Tanjungpura.
- Seema M, Devaki NS. 2012. In vitro evaluation of biological control agent against *Rhizoctonia solani*. *Journal of Agriculture Technology*. (8):233–240.
- Senaen JC, Prasetyaningsih A, Madyaningrana K. 2022. Potensi biofungisida ekstrak akar, batang dan daun mentimun (*Cucumis sativus* L.) terhadap *Fusarium oxysporum*. *Sciscitatio: Journal for Biological Science*. 3(2):100–108. DOI: <https://doi.org/10.21460/sciscitatio.2022.32.96>.
- Sutariati GA, Wahab A. 2010. Isolasi dan uji kemampuan rhizobakteri indegenus sebagai agensia pengendali hayati penyakit pada tanaman cabai. *Jurnal Hortikultura*. 20(1):86–95.
- Wijayanti KS. 2018. Pemanfaatan rizobakteria untuk mengendalikan nematoda puru akar (*Meloidogone* spp.) pada kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.). *Buletin Tanaman Tembakau, Serat Minyak Industri*. 10(2):90–99. DOI: <https://doi.org/10.21082/btsm.v10n2.2018.90-99>.