

Pengaruh Aplikasi *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW Terhadap Infeksi *Fusarium oxysporum* Schlecht f. sp. *cubense* (FOC) dan Pertumbuhan Tanaman Pisang (*Musa acuminata*) var. Cavendish

Effect of *Bacillus* sp. 140-B and *Streptomyces* sp. L.3.1-DW Application on *Fusarium oxysporum* Schlecht f. sp. *cubense* (Foc's) Infection and Banana Plant (*Musa acuminata*) var. Cavendish Growth

Nur Laili¹, Sarjiya Antonius² & Andi Salamah³

^{1,2}Bidang Mikrobiologi, Pusat Penelitian Biologi-LIPI, Cibinong Science Center, Jl. Raya Jakarta-Bogor Km 46, Cibinong

³Jurusan Biologi FMIPA Universitas Indonesia.

E-mail: lie_azzahra@yahoo.co.id

Memasukkan: Juli 2014, Diterima: November 2014

ABSTRACT

Fusarium oxysporum Schlecht f. sp. *cubense* (Foc) is the causal pathogen of wilt disease of banana. Abilities of biocontrol agents *Bacillus* sp. 140-B and *Streptomyces* sp. L.3.1-DW to control Foc infection in banana were studied. Application of *Bacillus* sp. 140-B and *Streptomyces* sp. L.3.1-DW as single isolate or their combination in banana were tested under greenhouse conditions for 30 days. The aims of this study were to evaluate the potential of *Bacillus* sp. 140-B and *Streptomyces* sp. L.3.1-DW as biocontrol agents in banana. Treatments of biocontrol showed significant effect on the reduction of foc infection diseases of banana, compared to control. The lowest disease severity was found on the treatment of single isolate *Streptomyces* sp.L.3.1-DW with infection degree of 29,33%. *Streptomyces* sp. L.3.1-DW could suppress Foc population ($6,25 \times 10^5$ CFU/ml) in rhizosphere area after 30 days inoculation. *Bacillus* sp. 140-B and *Streptomyces* sp. L.3.1-DW were also act as *plant growth-promoting rhizobacteria* (PGPR), that indicated by improvement of banana growth, in which *Streptomyces* L.3.1-DW caused the highest growth of banana either with or without Foc infection. This study indicated that *Bacillus* sp. 140-B and *Streptomyces* sp. L.3.1-DW have potential as alternative solutions to control *Fusarium* wilt in banana var. Cavendish.

Keywords: *Bacillus* sp. 140-B, banana, biocontrol, Foc, PGPR, *Streptomyces* sp. L.3.1-DW.

ABSTRAK

Fusarium oxysporum Schlecht f. sp. *cubense* (Foc) merupakan kapang patogen yang menyebabkan penyakit layu pada tanaman pisang. Dalam penelitian ini dilakukan studi kemampuan agen biokontrol *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW dalam mengendalikan infeksi Foc di tanaman pisang. *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW diaplikasikan sebagai isolat tunggal dan kombinasinya pada tanaman pisang di rumah kaca selama 30 hari. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW sebagai agen biokontrol di tanaman pisang. Perlakuan biokontrol menunjukkan pengaruh yang signifikan dalam menurunkan tingkat infeksi penyakit Foc pada tanaman pisang dibandingkan dengan kontrol. Serangan penyakit Foc terendah ditemukan pada perlakuan isolat tunggal *Streptomyces* sp.L.3.1-DW dengan tingkat infeksi sebesar 29,33%. *Streptomyces* sp.L.3.1-DW mampu menekan populasi Foc di area rizosfer tanaman pisang sebesar $6,25 \times 10^5$ CFU/ml selama 30 hari inokulasi. *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW juga dapat berperan sebagai pemacu pertumbuhan tanaman (PGPR), yang diindikasikan dengan peningkatan pertumbuhan tanaman pisang, di mana perlakuan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW memiliki rata-rata pertumbuhan tanaman pisang tertinggi, baik tanpa maupun dengan infeksi Foc. Penelitian ini mengindikasikan bahwa *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW memiliki potensi sebagai alternatif untuk mengendalikan penyakit layu *Fusarium* pada tanaman pisang var. Cavendish.

Kata Kunci: *Bacillus* sp. 140-B, biokontrol, Foc, PGPR, pisang, *Streptomyces* sp. L.3.1-DW.

PENDAHULUAN

Perkebunan pisang merupakan salah satu usaha perkebunan terpenting di dunia, sebagai sumber pendapatan dan komoditas ekspor utama di beberapa negara di wilayah Amerika Latin, Afrika dan Asia (Dita *et al.* 2010). Perkebunan pisang di Indonesia tersebar dari Aceh sampai Papua, di mana sekitar 66,56% terdapat di Jawa dan Provinsi Lampung (Jumjunidang *et al.* 2012). Salah satu kultivar pisang untuk industri perkebunan yang banyak dibudidayakan adalah pisang Cavendish, karena memiliki beberapa sifat unggul, antara lain rasa, aroma, warna, tekstur serat dan kandungan nutrisinya (Kumar *et al.* 2010). Seiring dengan perkembangan perkebunan pisang, penyakit yang menyerang tanaman pisang juga berkembang dan menjadi permasalahan global yang mengancam kelangsungan produksi pisang. Salah satu penyakit tersebut adalah penyakit layu *Fusarium* yang disebabkan oleh kapang patogen *Fusarium oxysporum* Schlecht f. sp. *cubense*, atau lebih dikenal dengan *Panama disease* (Perez-Vicente 2004; Saravanan *et al.* 2004; Ploetz 2006; Saravanan & Muthusamy 2006; Dita *et al.* 2010; Jumjunidang *et al.* 2012). Tanaman yang terinfeksi *Foc* akan menunjukkan gejala daun menguning dan layu pada daun yang paling bawah dan diikuti oleh daun di atasnya sampai akhirnya tanaman akan mati (Leong *et al.* 2009; Dita *et al.* 2010). Gejala internal menunjukkan adanya diskolorisasi pada rizoma dan pembuluh xylem di pseudostem mengalami nekrosis (Ploetz 2006; Dita *et al.* 2010).

Penggunaan biokontrol merupakan alternatif untuk pengendalian infeksi *Foc* pada tanaman pisang (Ploetz 2006). Biokontrol didefinisikan sebagai organisme alami, hasil rekayasa genetik, dan gen atau produk gen, yang digunakan untuk mengurangi efek penyakit pada organisme inang yang menguntungkan manusia, serta tidak berbahaya bagi lingkungan (Monte & Llobell 2003). Bakteri rizosfer seperti *Bacillus* sp. dan *Streptomyces* sp. berpotensi sebagai agen

biokontrol untuk mengendalikan infeksi patogen *Foc* dan memiliki beberapa keuntungan. Beberapa keuntungan dari bakteri rizosfer *Bacillus* sp. dan *Streptomyces* sp. antara lain bersifat non-patogen sehingga cukup aman untuk diaplikasikan dan dapat meningkatkan produktivitas tanaman, mampu mensekresikan enzim hidrolase, seperti protease dan kitinase yang berpotensi dalam melisis dinding sel jamur patogen *Foc*, sehingga pertumbuhan *Foc* pada tanaman pisang akan terhambat (Asaka & Shoda 1996; Gomes *et al.* 2000; Basha & Ulaganathan 2002; de Azaredo *et al.* 2004; Rodas-Junco *et al.* 2009).

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi bakteri *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW sebagai agen biokontrol untuk mengendalikan serangan patogen *Foc* pada tanaman pisang Cavendish. Isolat bakteri *Bacillus* sp.140-B diisolasi dari perkebunan nanas PT. Great Giant Pinapple Company (GGPC), sedangkan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW diisolasi dari perkebunan pisang Cavendish PT. Nusantara Tropical Fruit (NTF), Provinsi Lampung. Kajian dilakukan secara terpadu dengan mengamati pengaruh pemberian agen biokontrol pada tanaman pisang terhadap tingkat infeksi *Foc*, populasi *Foc* di area rizosfer, dan pengamatan pertumbuhan tanaman pisang.

BAHAN DAN CARA KERJA

Uji aktivitas biokontrol pada tanaman pisang Cavendish dilakukan dengan menggunakan metode *Double Tray* yang dikembangkan oleh Mak *et al.* 2004. Tanaman pisang yang digunakan dalam uji rumah kaca berusia dua bulan dengan ketinggian 12 – 15 cm. Penelitian disusun dengan rancangan acak lengkap (RAL) dengan tujuh perlakuan dan empat ulangan.

Bakteri *Bacillus* sp. 140-B ditumbuhkan dalam media NB dan diinkubasi pada *rotary shaker* dengan kecepatan 100 rpm selama 16 jam. Bakteri *Streptomyces* sp. L.3.1-DW ditumbuhkan pada media ISP 2 dan diinkubasi pada *rotary shaker* dengan kecepatan 100 rpm selama 72 jam.

Selanjutnya kultur bakteri disentrifus pada kecepatan 9500 rpm selama 25 menit. Setelah sentrifus, supernatannya dibuang dan peletnya dilarutkan dengan media Hoagland, kemudian diukur kepadatan sel bakteri hingga mencapai 10^8 CFU/ml.

Kapang patogen *Foc* ditumbuhkan pada media PDB dan diinkubasi pada *rotary shaker* pada suhu 28 °C selama lima hari. Kemudian diukur kepadatan sporanya menggunakan *haemocytometer* dan diperoleh kepadatannya sebesar 5×10^6 CFU/ml. Pada percobaan sebelumnya diketahui bahwa *Foc* dengan kepadatan spora 5×10^6 CFU/ml memiliki virulensi dan dapat mengakibatkan tanaman pisang terinfeksi layu *Fusarium*. Kemudian kultur *Foc* difiltrasi menggunakan kertas saring Whatman® No. 41 diameter 125 mm yang diletakkan pada corong Buchner yang sudah terpasang dengan pompa vakum. Setelah proses filtrasi, pelet *Foc* dilarutkan dengan aquades steril.

Tanaman pisang yang berumur dua bulan dibersihkan bagian akarnya dari media tanamnya, kemudian direndam dalam ember yang berisi larutan bakteri agen biokontrol selama 1 jam. Setelah proses perendaman, bibit tanaman pisang ditanam ke dalam pot yang berisi media pasir steril. Selanjutnya dilakukan penyiraman dengan media Hoagland yang berisi larutan bakteri biokontrol. Setelah 48 jam, kultur *Foc* yang telah dilarutkan dengan akuades disiramkan ke daerah perakaran tanaman. Pada perlakuan kontrol negatif hanya disiram dengan media Hoagland, sedangkan pada kontrol positif disiram dengan kultur *Foc* dan media Hoagland. Penyiraman media Hoagland pada tanaman dilakukan dengan sedikit mengaduk media pasir dan dilakukan 2 hari sekali selama masa percobaan. Selanjutnya dilakukan pengamatan terhadap pertumbuhan tanaman pisang selama 30 hari sehingga dapat diketahui besarnya pengaruh dan respon tanaman pisang terhadap pemberian agen biokontrol. Waktu penelitian selama 30 hari mengacu pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Mak, *-et al.* (2004).

Pengamatan parameter pada tanaman pisang percobaan di rumah kaca

Aplikasi bakteri biokontrol *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW akan memberikan dampak pada tanaman pisang yang diinfeksi *Foc* pada tanaman pisang. Oleh karena itu dilakukan pengamatan terhadap beberapa parameter yang berhubungan dengan aplikasi biokontrol pada tanaman pisang di rumah kaca. Parameter-parameter tersebut antara lain tingkat infeksi *Foc*, populasi *Foc* di area rizosfer, aktivitas enzim PAL dan TAL, serta pertumbuhan tanaman pisang.

Untuk mengetahui dampak pemberian biokontrol pada tanaman pisang, maka dilakukan penghitungan tingkat infeksi *Foc*. Penghitungan tingkat infeksi *Foc* pada tanaman pisang dilakukan berdasarkan metode yang dilaporkan oleh Anitha dan Rabeeth (2009), yaitu persentase jumlah daun yang mengalami gejala terinfeksi *Foc* per jumlah total daun pada setiap tanaman. Hervas *et al.* (1997) mengelompokkan gejala infeksi *Foc* pada tiap-tiap tanaman pada skala 0 sampai 4 berdasarkan persentase tingkat infeksi *Foc* pada tanaman, yaitu: 0 = 0% tingkat infeksi; 1 = 1 – 33% tingkat infeksi; 2 = 34 – 66% tingkat infeksi; 3 = 67 – 100% tingkat infeksi; 4 = tanaman mati.

Tingkat infeksi *Foc* pada tanaman pisang akan berdampak pada populasi *Foc* di area rizosfernya, sehingga perlu dilakukan penghitungan populasi *Foc*. Penghitungan populasi *Foc* dilakukan dengan mengambil sampel tanah di area rizosfer tanaman, kemudian diukur dengan metode pengenceran bertingkat dan *Total Plate Count* (TPC) pada media PDA. Penghitungan populasi *Foc* dilakukan pada hari ke-14 dan 30 setelah tanam. Hal tersebut dilakukan untuk membandingkan populasi *Foc* pada perlakuan tanpa bakteri agen biokontrol dan perlakuan dengan pemberian bakteri agen biokontrol.

Untuk mengetahui dampak pemberian biokontrol pada pertumbuhan tanaman pisang, maka dilakukan pengukuran tinggi tanaman pisang Cavendish pada hari ke-0, 14 dan 30

setelah penanaman.

Analisis data menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) dan dilanjutkan dengan uji Tukey pada taraf kepercayaan 95% untuk mengetahui perbedaan hasil uji bakteri agen biokontrol secara *in vivo* pada tingkat infeksi *Foc*, populasi *Foc*, aktivitas PAL dan TAL pada tanaman pisang yang diinfeksi *Foc*, serta tinggi tanaman pisang percobaan di rumah kaca.

HASIL

Pengukuran tingkat infeksi *Foc* pada tanaman pisang

Aplikasi bakteri agen biokontrol pada tanaman pisang berpengaruh terhadap infeksi patogen *Foc*, di mana perlakuan biokontrol menunjukkan gejala infeksi *Foc* lebih rendah dibandingkan dengan kontrol positif. Pada tanaman kontrol positif, infeksi *Foc* menyebabkan kematian tanaman, sedangkan pada tanaman yang diberi bakteri biokontrol, gejala *Fusarium* ditunjukkan dengan adanya daun yang layu dan menguning (Gambar 1). Gejala daun layu dan menguning pada tanaman pisang mulai muncul pada daun terbawah sekitar 2 minggu setelah tanaman diinfeksi *Foc*. Gejala infeksi *Foc* kemudian menyebar ke beberapa daun di atasnya dan pada

hari ke-30 ditemukan tanaman kontrol positif yang mati.

Aplikasi agen biokontrol *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW sebagai isolat tunggal maupun kombinasinya berpengaruh terhadap tingkat infeksi *Foc* pada tanaman pisang. Persentase tingkat infeksi *Foc* Pada tanaman pisang yang diberi agen biokontrol lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan kontrol (Gambar 2).

Pemberian bakteri biokontrol memberikan dampak yang signifikan terhadap penurunan infeksi *Foc* pada tanaman pisang dibandingkan dengan kontrol positif. Berdasarkan hasil perhitungan persentase infeksi *Foc* pada tanaman pisang, maka dapat ditentukan klasifikasi tingkat infeksi *Foc* berdasarkan Hervas *et al.* (1997) yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil penelitian di rumah kaca diketahui *Streptomyces* sp. L.3.1-DW memiliki kecenderungan menekan infeksi *Foc* lebih baik tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan biokontrol lainnya. Hal tersebut ditunjukkan dengan persentase tingkat infeksi terendah, kemudian diikuti oleh perlakuan *Bacillus* sp. 140-B dan kombinasi kedua bakteri. Besarnya persentase infeksi *Foc* pada tanaman pisang dalam penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan bakteri biokontrol sebagai isolat tunggal



Gambar 1. Morfologi tanaman pisang di rumah kaca Keterangan : a. Kontrol negatif; b. *Bacillus* sp. 140-B; c. *Streptomyces* sp. L.3.1-DW; d. Kontrol positif; e. *Bacillus* sp. 140-B + *Foc*; f. *Streptomyces* sp. L.3.1-DW + *Foc*; g. *Bacillus* sp. 140-B + *Streptomyces* sp. L.3.1-DW + *Foc*

memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan kombinasi.

Pengukuran populasi *Foc* pada area rizosfer tanaman pisang setelah pemberian agen biokontrol

Pengukuran populasi *Foc* di area rizosfer tanaman pisang dilakukan dengan sampling tanah pada saat tanaman pisang berumur 14 dan 30 hari. Hasil penelitian aplikasi biokontrol pada tanaman pisang di rumah kaca menunjukkan bahwa bakteri *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW serta kombinasinya mampu menurunkan populasi *Foc* di area rizosfer tanaman pisang. Berdasarkan hasil *plate count* dan penghitungan koloni, populasi *Foc* tertinggi ditemukan di area rizosfer tanaman pisang kontrol positif yang tidak diberi bakteri biokontrol (Tabel 2).

Berdasarkan Tabel 2, diketahui bahwa populasi *Foc* mengalami penurunan pada semua perlakuan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *Streptomyces* sp. L.3.1-DW cenderung memiliki kompetisi dengan patogen *Foc* lebih baik dibandingkan *Bacillus* sp. 140-B dan kombinasinya. Area rizosfer tanaman pisang yang diberi *Streptomyces* L.3.1-DW memiliki populasi *Foc* paling sedikit, kemudian diikuti dengan perlakuan pemberian agen biokontrol *Bacillus* sp. 140-B dan kombinasinya. Pengukuran populasi *Foc* pada hari ke-14 menunjukkan hasil perlakuan *Bacillus* sp. 140-B dan kombinasi *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* L.3.1-DW tidak berbeda

Tabel 1. Klasifikasi tingkat infeksi *Foc* pada tanaman pisang Cavendish.

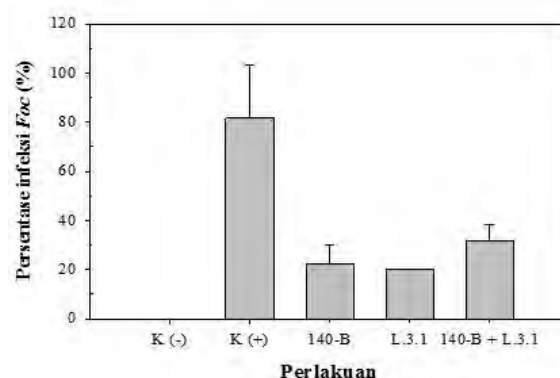
Perlakuan	Tingkat infeksi (%)	Skala klasifikasi
Kontrol negatif	0,00 ^a	0
Kontrol positif	81,67 ^c	3
140-B + <i>Foc</i>	22,50 ^{a,b}	1
L.3.1-DW + <i>Foc</i>	20,00 ^a	1
140-B + L.3.1-DW + <i>Foc</i>	31,73 ^b	1

Keterangan: Angka dengan huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan beda nyata dengan uji Tukey (P= 0.05).

signifikan dengan perlakuan kontrol. Namun, pada hari ke-30, pemberian biokontrol mampu menekan populasi *Foc* di area rizosfer tanaman, dan menunjukkan hasil yang berbeda signifikan terhadap perlakuan kontrol.

Pengukuran tinggi tanaman pisang Cavendish

Pengukuran tinggi tanaman pisang dilakukan pada hari ke-0, 14 dan 30 setelah penanaman pisang. Pemberian agen biokontrol *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* L.3.1-DW sebagai isolat tunggal maupun kombinasinya berpengaruh pada pertumbuhan tanaman. Tanaman pisang tanpa infeksi *Foc* yang diberi agen biokontrol memiliki rata-rata tinggi tanaman yang lebih tinggi dibandingkan tanaman kontrol (Gambar 3).



Gambar 2. Persentase infeksi *Foc* pada tanaman pisang Cavendish

Tabel 2. Populasi *Foc* di area rizosfer tanaman pisang Cavendish

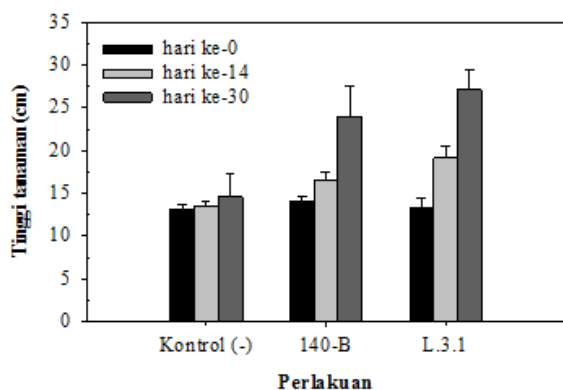
Perlakuan	Populasi <i>Foc</i> (10 ⁵ CFU/ml)		
	0	14	30
Kontrol (+)	50,00 ^a	28,75 ^b	21,25 ^b
140-B + <i>Foc</i>	50,00 ^a	10,00 ^{a,b}	7,50 ^a
L.3.1-DW + <i>Foc</i>	50,00 ^a	8,75 ^a	6,25 ^a
140-B + L.3.1-DW + <i>Foc</i>	50,00 ^a	10,00 ^{a,b}	8,75 ^a

Keterangan: Angka dengan huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan beda nyata dengan uji Tukey (P= 0.05).

Tanaman pisang tanpa infeksi *Foc* yang diberi agen biokontrol *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* L.3.1-DW memiliki rata-rata tinggi yang berbeda signifikan dengan tanaman kontrol setelah perlakuan pada hari ke-14 dan 30 (Tabel 3). *Streptomyces* sp. L.3.1-DW memiliki kecenderungan meningkatkan pertumbuhan tanaman lebih baik dibandingkan perlakuan lainnya. Tanaman dengan perlakuan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW memiliki tinggi tanaman tertinggi, yaitu 24,00 cm, kemudian diikuti oleh perlakuan *Bacillus* sp. 140-B dan kontrol.

Hasil yang sama juga ditunjukkan pada tanaman pisang yang diinfeksi *Foc*, di mana tanaman pisang yang diberi agen biokontrol memiliki rata-rata tinggi yang lebih tinggi dibandingkan tanaman kontrol (Gambar 4). Aplikasi *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW sebagai isolat tunggal maupun kombinasinya mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman pisang.

Tanaman pisang yang diinfeksi *Foc* dan



Gambar 3. Tinggi tanaman pisang Cavendish dengan aplikasi bakteri biokontrol tanpa infeksi *Foc*

Tabel 3. Tinggi tanaman pisang tanpa inokulasi *Foc*

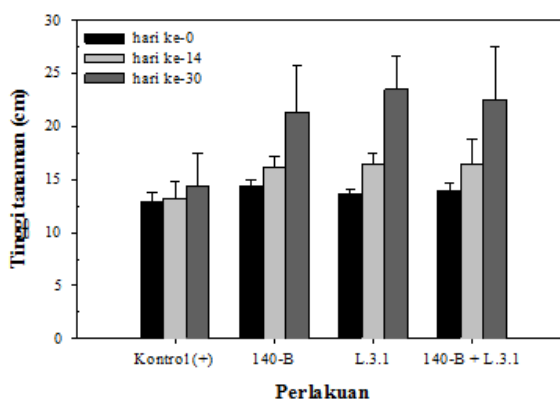
Perlakuan	Populasi <i>Foc</i> (10^5)	
	0	14
Kontrol (+)	50,00 ^a	28,75 ^b
140-B + <i>Foc</i>	50,00 ^a	10,00 ^{a,b}
L.3.1-DW + <i>Foc</i>	50,00 ^a	8,75 ^a

Keterangan: Angka dengan huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan beda nyata dengan uji Tukey (P= 0.05).

diberi agen biokontrol *Streptomyces* L.3.1-DW memiliki rata-rata tinggi yang berbeda signifikan dengan tanaman kontrol setelah perlakuan pada hari ke-30, sedangkan perlakuan dengan *Bacillus* sp. 140-B dan kombinasi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap kontrol (Tabel 4). *Streptomyces* sp. L.3.1-DW memiliki kecenderungan meningkatkan pertumbuhan tanaman lebih baik dibandingkan perlakuan lainnya. Tanaman dengan perlakuan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW memiliki tinggi tanaman tertinggi, yaitu 23,50 cm, kemudian diikuti oleh perlakuan kombinasi, *Bacillus* sp. 140-B dan kontrol.

PEMBAHASAN

Infeksi kapang patogen *Foc* pada tanaman pisang Cavendish dalam penelitian ini menunjukkan gejala daun layu dan menguning, serta menyebabkan



Gambar 4. Tinggi tanaman pisang Cavendish dengan aplikasi bakteri biokontrol dan diinfeksi *Foc*

Tabel 4. Tinggi tanaman pisang yang diinfeksi *Foc*

Perlakuan	Hari ke-		
	0	14	30
Kontrol (+)	12,88 ^a	13,25 ^a	14,38 ^a
140-B + <i>Foc</i>	14,38 ^b	16,13 ^a	21,38 ^{a,b}
L.3.1 + <i>Foc</i>	13,63 ^{a,b}	16,38 ^a	23,5 ^b
140-B + L.3.1 + <i>Foc</i>	14,00 ^{a,b}	16,38 ^a	22,5 ^{a,b}

Keterangan: Angka dengan huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan beda nyata dengan uji Tukey (P= 0.05).

kematian tanaman pada perlakuan kontrol positif setelah pengamatan hari ke-30. Daly *et al.* (2006) melaporkan bahwa perkembangan gejala infeksi *Foc* pada tanaman pisang melalui suatu proses yang kompleks, dimulai dengan pengenalan sinyal *Foc* oleh akar tanaman, kemudian spora *Foc* bergerminasi dan tumbuh di dekat akar tanaman pisang. Selanjutnya *Foc* menyerang permukaan akar dan melakukan penetrasi hifanya ke dalam jaringan akar melalui pembuluh xylem. Hifa tersebut akan masuk ke jaringan korteks dan mendegradasi sistem pertahanan di jaringan akar. Hifa *Foc* selanjutnya akan berploriferasi dan menghasilkan mikrokonidium dalam jaringan xylem, serta mensekresikan toksin dan enzim hidrolisis yang menyebabkan kerusakan jaringan akar tanaman pisang (Salerno *et al.* 2000; Di Pietro *et al.* 2003; Mak *et al.* 2004). Ketika terjadi infeksi *Foc*, tanaman pisang membentuk mekanisme pertahanan diri untuk mencegah penyebaran infeksi ke seluruh jaringan tumbuhan. Tanaman akan mensekresikan gel yang diikuti dengan pembentukan tylose dalam saluran pembuluhnya yang telah terinfeksi hifa *Foc*. Akibatnya, jaringan xylem tertutup oleh hifa *Foc* dan tylose yang menyebabkan *Foc* mensekresikan enzim dan asam fusaric. Hal tersebut akan menghalangi pergerakan air ke bagian atas tanaman dan memicu munculnya gejala *Foc* pada tanaman pisang, yaitu daun menguning, layu, dan pada akhirnya tanaman akan mati (Salerno *et al.* 2000; Daly *et al.* 2006; Leong *et al.* 2009).

Kemampuan *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* L.3.1-DW dalam mengendalikan infeksi *Foc* pada tanaman pisang dipengaruhi oleh kemampuan beradaptasi yang baik di tempat mereka diaplikasikan. *Bacillus* sp. dan *Streptomyces* sp. merupakan bakteri yang menghasilkan spora yang tahan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim dan miskin nutrisi (Basha & Ulaganathan 2002; Madigan & Martinko 2011; Earl *et al.* 2008). *Bacillus* sp. dan *Streptomyces* sp. yang diaplikasikan ke tanaman akan cepat berkolonisasi dengan jaringan perakaran tanaman, kemudian masuk menuju pembuluh stele dan menginduksi sistem pertahanan untuk melawan patogen *Foc*.

Kedua bakteri tersebut juga diketahui mampu mensekresikan enzim hidrolase, seperti protease dan kitinase yang berpotensi dalam melisis dinding sel jamur patogen *Foc*, sehingga pertumbuhan *Foc* pada tanaman pisang akan terhambat (Gomes *et al.* 2000; de Azaredo *et al.* 2004; Rodas-Junco *et al.* 2009). Dalam mengendalikan infeksi *Foc* pada tanaman pisang, *Bacillus* sp. dan *Streptomyces* sp. juga menghasilkan senyawa antifungal yang dapat menghidrolisis asam fusaric yang dihasilkan oleh *Foc* (Getha & Vikineswary 2002; Compant *et al.* 2005). Berdasarkan karakterisasi yang telah kami lakukan, *Bacillus* sp. 140-B memiliki aktivitas enzim protease, sedangkan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW mampu mensekresikan enzim protease dan kitinase.

Potensi *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW untuk menghambat pertumbuhan dan menurunkan populasi *Foc* dipengaruhi oleh kemampuannya untuk berkompetisi dengan patogen *Foc* di area rizosfer tanaman pisang. Kompetensi *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW sebagai agen biokontrol terhadap *Foc* meliputi kemampuan kolonisasi pada akar tanaman secara efektif dan dikombinasikan dengan kemampuan untuk bertahan hidup dan berproliferasi selama masa pertumbuhan akar tanaman. Aktivitas antagonisme bakteri biokontrol terhadap *Foc* di tanaman dilakukan dengan beberapa mekanisme, antara lain: 1). kompetisi nutrisi, oksigen, dan habitat; 2). parasitisme, dengan menghasilkan enzim hidrolase seperti kitinase, protease yang berperan dalam melisis dinding sel jamur patogen; 3). sekresi senyawa antibiotik atau senyawa antifungal lainnya yang dapat menghambat pertumbuhan *Foc*; 4). menginduksi sistem ketahanan tanaman (Gomes *et al.* 2000; Getha & Vikineswary 2002; de Azaredo *et al.* 2004; Monteiro *et al.* 2005; Nourozian *et al.* 2006; Prapagdee *et al.* 2008; Rodas-Junco *et al.* 2009). Kemampuan kompetisi antara bakteri biokontrol *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW didukung oleh kemampuan kedua bakteri dalam menghasilkan spora, sehingga mampu bertahan dengan baik di dalam tanah dan menghambat pertumbuhan *Foc*.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa isolat bakteri *Streptomyces* sp. L.3.1-DW memiliki kemampuan menekan infeksi patogen *Foc* lebih baik dibanding perlakuan lainnya. *Streptomyces* sp. memiliki keunggulan dalam mengendalikan infeksi patogen dikarenakan bakteri tersebut memiliki kemampuan khusus untuk bertahan hidup di lingkungan yang kompetitif dengan menghasilkan antibiotik yang turut berperan dalam menghambat pertumbuhan patogen *Foc* di perakaran tanaman pisang (Miyadoh 1993; Tanaka & Omura 1993; Suzuki 2000; Berdy 2005; Khamna *et al.* 2009). *Streptomyces* sp. juga dapat membentuk hifa yang sangat baik di tanah dan area rizosfer yang berperan penting untuk melindungi perakaran tanaman terhadap infeksi *Foc* (Reponen *et al.* 1998; Benizri *et al.* 2001; de Vasconcellos & Cardoso 2009). *Streptomyces* sp. L.3.1-DW memiliki hifa yang mampu mengabsorpsi nutrisi lebih banyak dibandingkan *Bacillus* sp. 140-B sehingga memiliki kemampuan berkompetisi yang lebih baik terhadap patogen *Foc* di area rizosfer tanaman. Kemampuan absorpsi nutrisi yang lebih baik tersebut dikarenakan hifa dari *Streptomyces* sp. L.3.1-DW memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan sel bakteri *Bacillus* sp. 140-B.

Berdasarkan hasil pengamatan pertumbuhan tanaman pisang, diketahui bahwa *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW juga berpotensi dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman pisang. Pertambahan tinggi tanaman yang diberi perlakuan biokontrol lebih baik dibandingkan tanaman kontrol. Kemampuan untuk memacu pertumbuhan tanaman didukung oleh kemampuan beradaptasi yang baik di media pasir. Bakteri biokontrol mampu bertahan hidup dan berkompetisi dengan patogen, kemudian masuk ke jaringan tanaman dan berperan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman pisang. *Bacillus* sp. dan *Streptomyces* sp. diketahui memiliki kemampuan dalam memacu pertumbuhan tanaman karena adanya rangsangan dari eksudat akar tanaman. Bakteri rizosfer seperti *Bacillus* sp. dan *Streptomyces* sp. memanfaatkan eksudat akar tanaman untuk

pertumbuhannya dan mensintesis senyawa antifungal untuk melawan patogen tanaman (Tokala *et al.* 2002; Abd-Allah *et al.* 2007).

Bacillus sp. 140-B dan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW memiliki kemampuan menghasilkan hormon tumbuh *indole acetic acid* (IAA) yang berperan penting dalam memacu pertumbuhan tanaman. Hal tersebut mengindikasikan bahwa kedua bakteri tersebut dapat berperan sebagai *plant growth-promoting bacteria* (PGPR). PGPR merupakan kolonisasi bakteri dengan akar tanaman yang sangat efektif dalam mempertahankan tanaman dari infeksi patogen dan meningkatkan pertumbuhan tanaman (Akhtar *et al.* 2008). Kolonisasi PGPR dengan perakaran tanaman memberikan dampak menguntungkan bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman melalui beberapa mekanisme. Mekanisme-mekanisme tersebut antara lain dengan menghasilkan fitohormon, seperti IAA, giberelin, sitokinin dan etilen; kemampuan fiksasi N₂ bebas; melawan patogen dengan mensintesis antibiotik, produksi enzim-enzim, senyawa antifungal dan siderofor yang berperan mengatasi keterbatasan unsur Fe di lingkungan; kemampuan melarutkan mineral fosfat dan nutrisi lainnya; dan memacu tanaman dalam pengambilan nutrisi di lingkungan (Bharathi *et al.* 2004; Jeun *et al.* 2004; Ahmad *et al.* 2006; Salantur *et al.* 2006; Shaharoon *et al.* 2006; Siddiqui 2006; Egamberdiyeva 2007; Ashrafuzzaman *et al.* 2009). PGPR memberikan dampak pada pertumbuhan tanaman dengan meningkatkan siklus nutrisi, menekan patogen dan menghasilkan senyawa biologi aktif (Khalid *et al.* 2004). Peran PGPR sangat menguntungkan bagi tanaman dalam melawan patogen, karena menghasilkan senyawa antifungal yang dapat meningkatkan resistensi tanaman terhadap infeksi patogen meskipun dalam kondisi lingkungan yang kurang nutrisi (Sid Ahmed *et al.* 2000; Ramamoorthy *et al.* 2001; Dey *et al.* 2004; Compant *et al.* 2005; Herman *et al.* 2008; Minorsky *et al.* 2008).

KESIMPULAN

Aplikasi agen biokontrol *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW serta kombinasinya pada percobaan di rumah kaca memiliki dampak yang signifikan dalam menurunkan tingkat infeksi kapang patogen *Foc*, menurunkan populasi *Foc* di area rizosfer tanaman, serta meningkatkan pertumbuhan tanaman yang lebih baik dibandingkan dengan tanaman kontrol. Pemberian *Streptomyces* sp. L.3.1-DW sebagai isolat tunggal menunjukkan kecenderungan sebagai agen biokontrol yang lebih baik dibandingkan dengan *Bacillus* sp. 140-B maupun kombinasi keduanya. Persentase infeksi *Foc* di tanaman pisang yang paling rendah ditunjukkan pada perlakuan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW, yaitu 20,00%, kemudian diikuti oleh perlakuan *Bacillus* sp. 140-B sebesar 22,50% dan kombinasi keduanya sebesar 31,73%. *Streptomyces* sp. L.3.1-DW menurunkan populasi *Foc* paling baik dibandingkan perlakuan biokontrol lainnya, yaitu $6,25 \times 10^5$ CFU/ml. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW juga berpotensi meningkatkan pertumbuhan tanaman pisang, di mana perlakuan dengan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW memiliki rata-rata tinggi tanaman paling besar dibandingkan perlakuan lainnya, yaitu 23,50%. Perlakuan pemberian bakteri biokontrol *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW sebagai isolat tunggal memberikan dampak yang lebih baik dibandingkan dengan kombinasinya. Hal ini mengindikasikan bahwa kedua isolat tersebut tidak saling sinergi dalam mengendalikan serangan patogen *Foc*. Isolat bakteri *Bacillus* sp. 140-B dan *Streptomyces* sp. L.3.1-DW memiliki keunggulan, selain berpotensi sebagai agen biokontrol, juga berpotensi sebagai agen *Plant-Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Dana DIPA Kompetitif LIPI Tahun Anggaran 2011-2012. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Ibu Dwi Agustiyani, M.Eng sebagai koordinator

kegiatan dan seluruh tim peneliti dan teknisi laboratorium Ekofisiologi Mikroba, Bidang Mikrobiologi, serta tim dari PT. NTF Lampung untuk penggunaan bibit pisang var. Cavendish.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd-Allah, EF., SM. Ezzat & MR. Tohamy. 2007. *Bacillus subtilis* as an alternative biologically based strategy for controlling *Fusarium* wilt disease in tomato: A histological study. *Phytopathology*. 35(5): 474-478.
- Ahmad, F., I. Ahmad & MS. Khan. 2006. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiology Research*. 36: 1-9.
- Akhtar, MS., U. Shakeel & ZA. Siddiqui. 2008. Biocontrol of *Fusarium* wilt by *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas alcaligenes*, and *Rhizobium* sp. on lentil. *Turkey Journal Biology*. 34: 1-7.
- Anitha, A. & M. Rabeeth. 2009. Control of *Fusarium* wilt of tomato by bioformulation of *Streptomyces griseus* in green house condition. *African Journal of Basic and Applied Sciences*. 1(1-2): 9-14.
- Asaka, O. & M. Shoda. 1996. Biocontrol of *Rhizoctonia solani* damping-off of tomato with *Bacillus subtilis* RB14. *Applied and Environmental Microbiology*. 62(11): 4081-4085.
- Ashrafuzzaman, M., FA. Hossen, MR. Ismail, MA. Hoque, MZ. Islam, SM. Shahidullah & S. Meon. 2009. Efficiency of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) for the enhancement of rice growth. *African Journal of Biotechnology*. 8(7): 1247-1252.
- Basha, S. & K. Ulaganathan. 2002. Antagonism of *Bacillus* species (strain BC121) towards *Curvularia lunata*. *Current Science*. 82 (12): 1457-1463.
- Benizri, E., E. Baudoin & A. Guckert. 2001. Root colonization by inoculated plant growth-

- promoting rhizobacteria. *Biocontrol Science Technology*. 11: 557-574.
- Berdy, J. 2005. Bioactive microbial metabolites. *Journal Antibiotic*, 58:1-26.
- Bharathi, R., R. Vivekananthan, S. Harish, A. Ramanathan & R. Samiyappan. 2004. Rhizobacteria-based bio-formulation for the management of fruit rot infection in chillies. *Crop Protection*. 23: 835-843.
- Compant, S., B. Duffy, J. Nowak, C. Clement & EA. Barka. 2005. Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant disease: Principles, mechanisms of action, and future prospect. *Applied and Environmental Microbiology*. 71(9): 4951-4959.
- Daly, A., G. Walduck, & Darwin. 2006. *Fusarium* wilt of bananas (Panama disease). *Northern Territory Government*, 151: 1-5.
- de Vasconcellos, RLF. & EJBN. Cardoso. 2009. Rhizospheric streptomycetes as potential biocontrol agents of *Fusarium* and *Armillaria* pine rot and as PGPR for *Pinus taeda*. *Biocontrol*. 54: 807-816.
- Dey, R., KK. Pal, DM. Bath & SM. Chauhan. 2004. Growth promotion and yield enhancement of peanut (*Arachis hypogaea* L.) by application of plant growth-promoting rhizobacteria. *Microbiology Research*. 159: 371-394.
- Dita, MA., C. Waalwijk, IW. Buddenhagen, MT. Souza & GHJ. Kema. 2010. A molecular diagnostic for tropical race 4 of the banana *Fusarium* wilt pathogen. *Plant Pathology*. 10: 1-10.
- Di Pietro, A., MP. Madrid, Z. Caracuel, J. Delgado-Jarana & MIG. Roncero. 2003. *Fusarium oxysporum*: exploring the molecular arsenal of a vascular wilt fungus. *Molecular Plant Pathology*. 4: 315-325.
- Earl, AM., R. Losick & R. Kolter. 2008. Ecology and genomics of *Bacillus subtilis*. *Trends in Microbiology*. 16(6): 269-275.
- Egamberdiyeva, D. 2007. The effect of plant growth-promoting bacteria on growth and nutrient uptake of maize in two different soils. *Applied Soil Ecology*. 36: 184-189.
- Getha, K. & S. Vikineswary. 2002. Antagonistic effects of *Streptomyces violaceusniger* strain G10 on *Fusarium oxysporum* f.sp. *ubense* race 4: Indirect evidence for the role of antibiosis in the antagonistic process. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*. 28: 303-310.
- Gomes, RC., LTAS. Semedo, RMA. Soares, C.S. Alviano, L.F. Linhares & R.R.R. Coelho. 2000. Chitinolytic activity of actinomycetes from a cerrado soil and their potential in biocontrol. *Letter Applied Microbiology*. 30: 146-150.
- Herman, MAB., BA. Nault & CD. Smart. 2008. Effects of plant growth-promoting rhizobacteria on bell pepper production and green peach aphid infestations in New York. *Crop Protection*. 27: 996-1002.
- Hervas, A., B. Linda & RM. Jimenez-Diaz. 1997. Influence of chickpea genotype and *Bacillus* sp. on protection from *Fusarium* wilt by seed treatment with nonpathogenic *Fusarium oxysporum*. *European Journal Plant Pathology*. 103: 631-642.
- Jeun. YC., KS. Park, CH. Kim, WD. Fowler & JW. Kloepper. 2004. Cytological observations of cucumber plants during induced resistance elicited by rhizobacteria. *Biological Control*. 29: 34-42.
- Jumjunidang, Riska & A. Soemargono. 2012. Identification and distribution of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* isolates through analysis of vegetative compatibility group in Lampung Province, Indonesia. *ARPJN Journal of Agriculture and Biological Science*. 7(4): 279-284.
- Khalid, A., M. Arshad & ZA. Zahir. 2004. Screening plant growth-promoting rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. *Journal of Applied Microbiology*. 96: 473-480.
- Khamna, S., A. Yokota, JF. Peberdy & S. Lumyong. 2009. Antifungal activity of *Streptomyces* spp. Isolated from rizhosphere Thai medicinal

- plants. *International Journal of Integrative Biology*. 6(3): 143-147.
- Kumar, HB., ACU. Shankar, SC. Nayaka, KR. Kini, HS. Shetty & HS. Prakash. 2010. Biochemical characterization of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* isolates from India. *African Journal of Biotechnology*. 9 (4): 523-530.
- Leong, SK., Z. Latiffah & S. Baharuddin. 2009. Molecular characterization of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* of banana. *American Journal of Applied Sciences*. 6 (7): 1301-1307.
- Madigan, M.T. & J.M. Martinko. 2011. *Brock Biology of Microorganism*. Pearson Prentice Hall, USA: xxv + 992 hlm.
- Mak, C., AA. Mohamed, KW. Liew & YW. Ho. 2004. Early screening tehcnique for *Fusarium* wilt resistance in banana micropropagated plants. Banana improvement. *FAO Corporate Document Respiratory*.
- Minorsky, PV. 2008. On the side. *Plant Physiology*. 146: 323-324.
- Miyadoh, S. 1993. Research on antibiotic screening in Japan over the last decade: A producing microorganisms approach. *Actinomycetologica*. 7: 100-106.
- Monte, E. & A. Llobell. 2003. *Trichoderma* in organic agriculture. *Proceedings V World Avocado Congress 2003*. 725-733.
- Monteiro, L., RdLR. Mariano & AM. Santo-Maior. 2005. Antagonism of *Bacillus* spp. againts *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. *Brazilian Archives of Biology and Technolgy*. 48 (1): 23-29.
- Nourozian, J., HR. Etebarian & G. Khodakaramian. 2006. Biological control of *Fusarium graminearum* on wheat by antagonistic bacteria. *Songklanakarin Journal Science Technology*. 28 (1): 29-38.
- Perez-Vicente, L. 2004. *Fusarium* wilt (Panama disease) of bananas: An updating review of the current knowledge on the disease and its causal agent. *XVI Reunion Internacional Acorbat*. Playa, Cuba: 1-15.
- Ploetz, RC. 2006. *Fusarium* wilt of banana is caused by several pathogens referred to as *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. *The American Phytopathological Society*. 96 (6): 653-656.
- Prapagdee, B., C. Kuekulvong & S. Mongkolsuk. 2008. Antifungal potential of extracellular metabolites produced by *Streptomyces hygroscopicus* against phytopathogenic fungi. *International Journal of Biological Sciences*. 4(5): 330-337.
- Ramamoorthy, V., R. Viswanathan, T. Raguchander, V. Prakasan & R. Samiyappan. 2001. Induction of systemic resistance by plant growth promoting rhizobacteria in crop plants against pest and disease. *Crop Protection*, 20: 1-11.
- Reponen, TA., SV. Gazenko, AS. Grinshpun, K. Willeke & EC. Cole. 1998. Characteristic of airborne actinomycetes spores. *Applied Environmental Microbiology*. 64: 3807-3812.
- Rodas-Junco, BA., HF. Magana-Sevilla, JM. Tun-Suarez & A. Reyes-Ramirez. 2009. Antifungal activity in vitro of native *Bacillus* sp. strains against *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. *Research Journal of Biological Sciences*. 4(9): 985-989.
- Salantur, A., A. Ozturk & S. Akten. 2006. Growth and yield response of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to inoculation with rhizobacteria. *Plant Soil Environment*. 52 (3): 111-118.
- Salerno, MI., S. Gianinazzi & V. Gianinazzi-Pearson. 2000. Effects on growth and comparison of root tissue colonization pattern of *Eucalyptus viminalis* and non-pathogenic strains of *Fusarium oxysporum*. *Phytopathology*. 146: 317-324.
- Saravanan, T., M. Muthusamy & T. Marimuthu. 2004. Effect of *Pseudomonas fluorescens* on *Fusarium* wilt pathogen in banana rhizosphere. *Journal of Biological Sciences*. 4(2): 192-198.

- Saravanan, T. & M. Muthusamy. 2006. Influence of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (E.F. Smith) Snyder and Hansen on 2,4-diacetylphloroglucinol production by *Pseudomonas fluorescens* migula in banana rhizosphere. *Journal of Plant Protection Research*. 46(3): 241-254.
- Shaharoon, B., M. Arshad, Z.A. Zahir & A. Khalid. 2006. Performance of *Pseudomonas* spp. containing ACC-diaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. *Soil Biology and Biochemistry*, 38: 2971-2975.
- Sid Ahmed, A., C. Perez & ME. Candela. 2000. Evaluation of induction of systemic resistance in pepper plants (*Capsici annuum*) to *Phytophthora capsici* using *Trichoderma harzianum* and its relation with capsidiol accumulation. *European Journal of Plant Pathology*. 106: 817-824.
- Siddiqui, Z.A. 2006. PGPR: Prospective biocontrol agents of plant pathogens. In: Siddiqui, Z.A (ed.). 2006. *Biocontrol and Biofertilization*. Springer, Amsterdam. 111-142.
- Suzuki, S. 2000. Selective isolation and distribution of *Actinomyces rugatobispora* strains in soil. *Actinomycetologica*. 14(2): 27-33.
- Tanaka Y.T. & S. Omura. 1993. Agroactive compounds of microbial origin. *Annual Revised Microbiology*. 47: 57-87.
- Tokala, R.K., J.L. Strap, C.M. Jung, D.L. Crawford, M.H. Salove, L.A. Deobald, J.F. Bailey & M.J. Morra. 2002. Novel plant-microbe rhizosphere interaction involving *Streptomyces lydicus* WYEC108 and the pea plant (*Pisum sativum*). *Applied and Environmental Microbiology*. 68: 2161-2171.