

Keefektifan Isolat Tunggal, Campuran dan Konsorsium Bakteri Endofit terhadap *Fusarium solani* dan *Meloidogyne* spp. secara *in Vitro*

Effectivity of Single Isolates, Mixtures, and Consortium of Endophytic Bacteria Against *Fusarium solani* and *Meloidogyne* spp. *in Vitro*

**Resky Wulandari R. Jahuddin¹, Abdul Munif^{1*},
Bonny Poernomo Wahyu Soekarno¹, Gusmaini²**

¹Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680

²Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat, 16111

ABSTRAK

Fusarium solani dan *Meloidogyne* spp. merupakan dua jenis patogen yang berasosiasi dengan penyakit kuning lada. Pemanfaatan bakteri endofit dalam pengendalian penyakit kuning lada perlu dievaluasi. Oleh karena itu, penelitian dilakukan dengan tujuan mengevaluasi aktivitas biokontrol isolat bakteri endofit yang diaplikasikan secara tunggal (*B. siamensis* dan *B. velezensis*), campuran (*B. subtilis* dan *B. wiedmannii*) dan konsorsium (PTM3) dalam menekan *F. solani* dan *Meloidogyne* spp. secara *in vitro*. Metode penelitian meliputi isolasi *F. solani* dan ekstraksi *Meloidogyne* spp. dari akar tanaman lada, uji patogenisitas, uji dual kultur dan uji mortalitas, serta karakterisasi fisiologi isolat bakteri endofit. Isolat *F. solani* dan *Meloidogyne* spp. terbukti bersifat patogenik pada bibit lada dan menyebabkan munculnya gejala penyakit kuning. Empat isolat bakteri endofit yang diuji mampu menghambat pertumbuhan miselium *F. solani*. Penghambatan tertinggi pada medium TSA ditunjukkan oleh isolat tunggal *B. siamensis*, yaitu sebesar 57.25%; sedangkan pada medium ADK ditunjukkan oleh isolat campuran *B. subtilis* dan *B. wiedmannii*, yaitu sebesar 56.47%. Mortalitas larva juvenil 2 *Meloidogyne* spp. mengalami peningkatan tertinggi pada perlakuan *B. velezensis*, yaitu sebesar 75.24%. Isolat *B. siamensis* dan *B. velezensis* menunjukkan aktivitas protease dan selulase; sedangkan isolat campuran *B. subtilis* dan *B. wiedmannii* serta isolat konsorsium PTM3 menunjukkan aktivitas kitinase, protease dan selulase.

Kata kunci: biokontrol, dual kultur, mortalitas, penyakit kuning lada

ABSTRACT

Fusarium solani and *Meloidogyne* spp. is known as pathogens associated with pepper yellow disease. The use of endophytic bacteria for controlling this disease needs to be evaluated. Therefore, this study was conducted with the aim of evaluating the biocontrol activity of endophytic bacterial isolates applied singly (*B. siamensis* and *B. velezensis*), mixed (*B. subtilis* and *B. wiedmannii*) and consortium (PTM3) in suppressing *F. solani* and *Meloidogyne* spp. *in vitro*. Research methods included the isolation of *F. solani* and extraction of *Meloidogyne* spp. from the roots of infected plant, pathogenicity test, dual culture and mortality test, as well as physiological assay of endophytic bacterial isolates. The isolates of *F. solani* and *Meloidogyne* spp. proven to be pathogenic in pepper seedlings and causing yellow symptoms. Four

Alamat penulis korespondensi: Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Jalan Kamper, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
Tel: 0251-8621267, Faks: 0251-8621267, Surel: munif73@gmail.com

isolates of endophytic bacteria were able to inhibit mycelium growth of *F. solani*. The highest inhibition on TSA medium was shown by a single isolate of *B. siamensis*, i.e. 57.25%; while on PDA medium was shown by mixed isolates of *B. subtilis* and *B. wiedmannii*, i.e. 56.47%. Application of *B. velezensis* caused the highest mortality rate of Juvenile larval 2 *Meloidogyne* spp., i.e. 75.24%. Both *B. siamensis* and *B. velezensis* isolates showed protease and cellulase activity; while mixed isolates of *B. subtilis* and *B. wiedmannii* and the PTM3 consortium isolates showed chitinase, protease and cellulase activity.

Keywords: biocontrol, dual culture, mortality, pepper yellow disease

PENDAHULUAN

Penyakit kuning lada merupakan salah satu penyakit yang menimbulkan kerugian yang cukup besar di daerah sentra lada seperti Bangka Belitung dan Kalimantan Barat (Mustika 2005). Cendawan *Fusarium solani* dan nematoda *Meloidogyne incognita* merupakan patogen yang berasosiasi dengan penyakit kuning pada tanaman lada di Kalimantan Barat (Suryanti *et al.* 2015). Pengelolaan penyakit kuning lada dengan aplikasi agens hayati sampai saat ini masih terbatas pada salah satu patogen seperti nematoda atau cendawan saja. Oleh karena itu dibutuhkan suatu alternatif pengendalian yang efektif dalam menekan interaksi dari dua patogen tersebut, misalnya dengan penggunaan bakteri endofit.

Secara alami bakteri endofit dan patogen berada pada *niche* yang sama dalam jaringan tanaman sehingga bakteri endofit sangat sesuai dijadikan sebagai agens biokontrol yang mampu melawan penyebab penyakit tanaman (Munif *et al.* 2012). Beberapa bakteri endofit dapat hidup bersama dalam *niche* yang sama disebut sebagai konsorsium endofit (Halimah *et al.* 2015) dan atau merupakan gabungan lebih dari satu isolat tunggal (Santoyo *et al.* 2021); sedangkan, isolat campuran bakteri endofit merupakan gabungan dua atau lebih dari isolat bakteri tunggal yang saling kompatibel (Hidayati *et al.* 2014; Stockwell *et al.* 2011).

Asmoro dan Munif (2019) menyebutkan isolat tunggal APE35–(*B. siamensis*), yaitu bakteri endofit yang diisolasi dari tanaman paku terestrial (*Pteris ensiformis*) mampu mengendalikan *Rhizoctonia solani* secara *in vitro*. Selain itu isolat APE35 (*B. siamensis*)

dan EG113 (*B. velezensis*) yang berasal dari kelapa sawit juga efektif dalam menekan pertumbuhan *Ganoderma boninense* (Anggita 2019). Adapun penggunaan isolat konsorsium bakteri endofit seperti PTM3 yang diisolasi dari tanaman putri malu mampu meningkatkan mortalitas *Meloidogyne* spp. pada tanaman tomat (Saputra 2020).

Berdasarkan hal tersebut, penggunaan berbagai jenis bakteri endofit, baik yang bekerja secara tunggal, campuran, maupun konsorsium merupakan hal menarik dan perlu dipelajari potensinya dalam mengendalikan patogen penyakit kuning lada. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan mengevaluasi aktivitas biokontrol isolat tunggal, campuran dan konsorsium bakteri endofit dalam menekan pertumbuhan *F. solani* dan *Meloidogyne* spp. secara *in vitro*.

BAHAN DAN METODE

Patogen yang digunakan pada penelitian ini diisolasi dari sampel tanaman lada yang bergejala penyakit kuning. Tanaman berasal dari areal pertanaman lada di desa Sungai Kunyit Hulu, Kecamatan Sungai Kunyit Kabupaten Mempawah, Kalimantan Barat.

Perbanyakkan Bakteri Endofit

Bakteri endofit yang digunakan pada penelitian ini merupakan isolat koleksi Laboratorium Nematologi, Departemen Proteksi Tanaman, Institut Pertanian Bogor. Isolat tunggal *Bacillus siamensis* strain TSS18 16S dan *B. velezensis* strain Bac57 diperbanyak dengan metode cawan gores pada medium *tryptic soy agar* (TSA). Isolat campuran *B. subtilis* strain VD1 16S + *B. wiedmannii* strain FSL W8-0169 diperoleh dari hasil pengujian

kompatibilitas dengan metode goresan silang (Hidayati *et al.* 2014). Perbanyak isolat campuran dilakukan dengan mengambil masing-masing 1 ose bakteri tunggal *B. subtilis* dan *B. wiedmannii* digabung dan digores bersama pada medium TSA. Adapun isolat konsorsium PTM3 merupakan kumpulan mikroba yang berada di *niche* yang sama dan diperoleh dari hasil isolasi pada akar tanaman putri malu (Saputra 2020). Isolat konsorsium tersebut diperbanyak pada medium cair *tryptic soy broth*, selanjutnya diambil sebanyak 1 ose untuk diperbanyak pada medium TSA steril dengan metode cawan gores.

Isolasi *Fusarium solani*

Isolat *F. solani* diisolasi dari akar tanaman lada yang memiliki gejala penyakit kuning. Sampel akar dicuci dan dipotong antara bagian sakit dan sehat dengan ukuran 1 cm, kemudian disterilisasi permukaan menggunakan NaOCl 1%, alkohol 70% dan dibilas dengan akuades steril. Sampel akar tersebut ditumbuhkan pada medium agar-agar dekstrosa kentang (ADK) dan dinkubasi selama 48 jam. Selanjutnya miselium cendawan yang tumbuh diidentifikasi berdasarkan karakter morfologi (Leslie dan Summerell 2006).

Ekstraksi *Meloidogyne* spp.

Nematoda *Meloidogyne* spp. diekstraksi dari akar tanaman lada dengan metode pengabutan (*mist chamber*) (Luc *et al.* 2005). Sebanyak 10 g sampel akar lada dibersihkan dan dipotong sepanjang 1 cm, lalu diletakkan pada saringan yang di bawahnya terdapat corong dan gelas plastik untuk menampung hasil ekstraksi. Proses pengabutan dilakukan selama 48 jam. Air yang tertampung pada gelas plastik disaring menggunakan penyaring 400 mesh. Nematoda yang tersaring dimasukkan ke dalam botol koleksi untuk pengamatan morfologi dan identifikasi mengacu pada *Root-knot nematodes : Meloidogyne species and races* (Eisenback dan Triantaphyllou 1991).

Adapun perbanyak *Meloidogyne* spp. dilakukan pada bibit tanaman tomat berumur 3–4 minggu dengan cara nematoda hasil

ekstraksi diinfestasikan pada perakaran bibit tomat sehat. Pemeliharaan dilakukan hingga umur 50 hari setelah perlakuan. Akar tomat yang bergejala puru kemudian diekstraksi kembali untuk digunakan pada pengujian mortalitas.

Uji Patogenisitas

Patogen yang diisolasi dan diekstraksi dari tanaman lada selanjutnya diinokulasi pada tanaman lada varietas Natar 1 umur 1 bulan untuk melihat sifat patogenisitasnya. Miselium cendawan *F. solani* umur 6 hari pada medium ADK digerus dan ditambahkan akuades sebanyak 10 mL, kemudian dilakukan pengenceran hingga kepadatan 10^{-6} konidia mL⁻¹. Inokulasi *F. solani* dilakukan dengan menuangkan sebanyak 10 mL suspensi *F. solani* pada perakaran tanaman lada uji. Adapun inokulasi *Meloidogyne* spp. dilakukan dengan cara menginfestasikan nematoda juvenil 2 pada bagian perakaran tanaman lada sebanyak ± 500 ekor per tanaman (Suryanti *et al.* 2017).

Uji Dual Kultur Bakteri Endofit dan *F. solani*

Pengujian antagonis bakteri endofit terhadap *F. solani* dilakukan menggunakan metode dual kultur pada medium ADK dan TSA mengikuti metode Nascimento *et al.* (2015). Pengujian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan 5 perlakuan yaitu isolat tunggal *B. siamensis*, *B. velezensis*, isolat campuran *B. subtilis* dan *B. wiedmannii*, isolat konsorsium PTM3 dan kontrol tanpa bakteri endofit. Miselium cendawan *F. solani* diambil menggunakan *cork borer* (diameter 0.5 cm) dan diletakkan di bagian tengah cawan pada perlakuan kontrol maupun perlakuan bakteri endofit. Isolat bakteri endofit berumur 48 jam digores pada samping kanan, kiri, atas dan bawah berjarak 3 cm dari miselium *F. solani*. Setiap pengujian terdiri atas 3 ulangan. Persentase penghambatan (RI) dihitung pada hari ke-6 setelah inokulasi dengan rumus:

$$RI (\%) = \frac{(R1 - R2)}{R1} \times 100\%, \text{ dengan}$$

R1, jari-jari miselium cendawan kontrol; dan R2, jari-jari miselium cendawan yang diberi perlakuan.

Uji Mortalitas *Meloidogyne* spp.

Uji mortalitas *Meloidogyne* spp. dilakukan dengan metode Yus *et al.* (2014) disusun dalam RAL yang terdiri atas 5 perlakuan dan diulang sebanyak 3 kali. Isolat tunggal *B. siamensis*, *B. velevensis*, isolat campuran *B. subtilis* dan *B. wiedmannii* dan isolat konsorsium PTM3 ditumbuhkan pada medium TSB selama 48 jam. Suspensi bakteri endofit kemudian diencerkan hingga kepadatan 10^7 cfu mL⁻¹. Pengujian dilakukan dengan memasukkan 35 ekor nematoda *Meloidogyne* juvenil 2 (J2) pada cawan hitung yang berisi 3 mL suspensi bakteri. Pengamatan mortalitas dilakukan pada 6 dan 24 jam menggunakan mikroskop stereo. Mortalitas nematoda dihitung berdasarkan jumlah nematoda mati dengan rumus:

$$\text{Mortalitas} = \frac{\sum \text{nematoda yang mati}}{\sum \text{nematoda uji}} \times 100\%$$

Karakterisasi Fisiologi Bakteri Endofit

Uji Kitinase. Masing-masing isolat tunggal, campuran dan konsorsium bakteri endofit diremajakan pada medium TSB selama 48 jam. Pengujian dilakukan menggunakan *paper disk* (0.5 cm) yang direndam dalam suspensi bakteri endofit. Selanjutnya *paper disk* diletakkan pada medium koloidal kitin (medium TSA 100 % yang diperkaya koloidal kitin 0.4%). Isolat diinkubasi selama 48–72 jam pada suhu ruang kemudian diamati pembentukan zona bening disekitar bakteri (Herdyastuti *et al.* 2009).

Uji Protease. Isolat tunggal, campuran dan konsorsium bakteri endofit berumur 48 jam digores pada medium *skim milk agar* (TSB 10 g L^{-1} , skim milk 100 mL L^{-1}) kemudian diinkubasi selama 48 jam di suhu ruang untuk melihat zona bening disekitar bakteri. Zona bening yang terbentuk menandakan isolat tersebut positif protease (Nurkasanah dan Widodo 2015).

Uji Selulase. Masing-masing isolat tunggal, campuran dan konsorsium bakteri endofit digores pada medium *carboxyl methyl cellulose* (CMC 5 g L^{-1} , KH_2PO_4 1 g L^{-1} , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 5 g L^{-1} , dan ekstrak khamir 2 g L^{-1}) dan diinkubasi pada suhu ruang selama

48 jam untuk melihat zona bening yang terbentuk disekitar koloni (Lubis *et al.* 2015).

Uji Senyawa Organik Volatil. Metode yang digunakan, yaitu cawan terpisah dengan isolat tunggal, campuran dan konsorsium bakteri endofit digores pada medium TSA di bagian alas dan *F. solani* (0.5 cm) diletakkan pada medium ADK dibagian penutup. Kedua cawan direkatkan dan dilakukan pengamatan terhadap penghambatan diameter pertumbuhan *F. solani* selama 6 hari (Zhang *et al.* 2020).

Analisi Data

Data hasil penelitian dianalisis menggunakan *analysis of variance* (Anova) dengan perangkat lunak *Microsoft Excel* dan SAS 9.0. Adapun untuk melihat pengaruh tiap perlakuan dilakukan uji lanjut dengan uji Tukey pada taraf 5 %.

HASIL

Patogenisitas *F. solani* dan *Meloidogyne* spp. pada Tanaman Lada

Isolasi cendawan dari tanaman lada mendapatkan *F. solani* dengan ciri koloni pada medium ADK berupa miselium berwarna putih pada permukaan atas dan berwarna krem pada permukaan bawah dengan tekstur halus. Berdasarkan pengamatan mikroskopis ditemukan makrokonidium dengan 3–5 septa, mikrokonidia 0–2 septa, klamidospora berbentuk bulat, memiliki hifa hialin dan berseptata (Leslie dan Summerell 2006). Sementara itu, nematoda yang berhasil diekstrak dari sampel akar tanah ialah *Meloidogyne* spp. dengan ciri-ciri nematoda betina berbentuk bulat menyerupai buah pir, leher pendek, memiliki stilet yang pendek dan menempel pada akar tanaman. Panjang tubuh betina 331.78–486.49 μm dengan lebar 298.79–421.29 μm . Selain itu bentuk juvenil 2 dari nematoda tersebut menyerupai cacing (Suryanti *et al.* 2015).

Inokulasi cendawan *F. solani* dan nematoda *Meloidogyne* spp. pada bibit lada menyebabkan munculnya penyakit dengan gejala daun menguning pada 45 hari setelah inokulasi (HSI). Gejala semakin berkembang

menjadi daun menguning, kaku, dan mudah gugur serta menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat atau kerdil (Gambar 1A dan 1B). Gejala nekrotik terjadi pada bagian pembuluh pangkal batang, yang merupakan ciri infeksi *F. solani* (Gambar 1C). Akar tanaman berwarna hitam dan terjadi kerusakan rambut akar. Selain itu, terjadi pembengkakan atau puru akar yang merupakan ciri infeksi *Meloidogyne* spp. (Gambar 1D dan 1E).

Kemampuan Antagonis Bakteri Endofit terhadap *F. solani* dan *Meloidogyne* spp.

Empat isolat bakteri endofit yang diuji mampu menghambat pertumbuhan miselium *F. solani*. Penghambatan tertinggi pada medium TSA ditunjukkan oleh isolat tunggal *B. siamensis*, yaitu sebesar 57.25% dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Pada medium ADK, penghambatan isolat campuran *B. subtilis* dan *B. wiedmannii* dapat menghambat pertumbuhan *F. solani* sebesar 56.47% tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan isolat tunggal *B. siamensis* dan *B. velezensis* (Tabel 1).

Mortalitas *Meloidogyne* spp. juvenil 2 mengalami peningkatan pada pengamatan 6 jam hingga 24 jam. Mortalitas nematoda tertinggi terjadi pada perlakuan *B. velezensis*

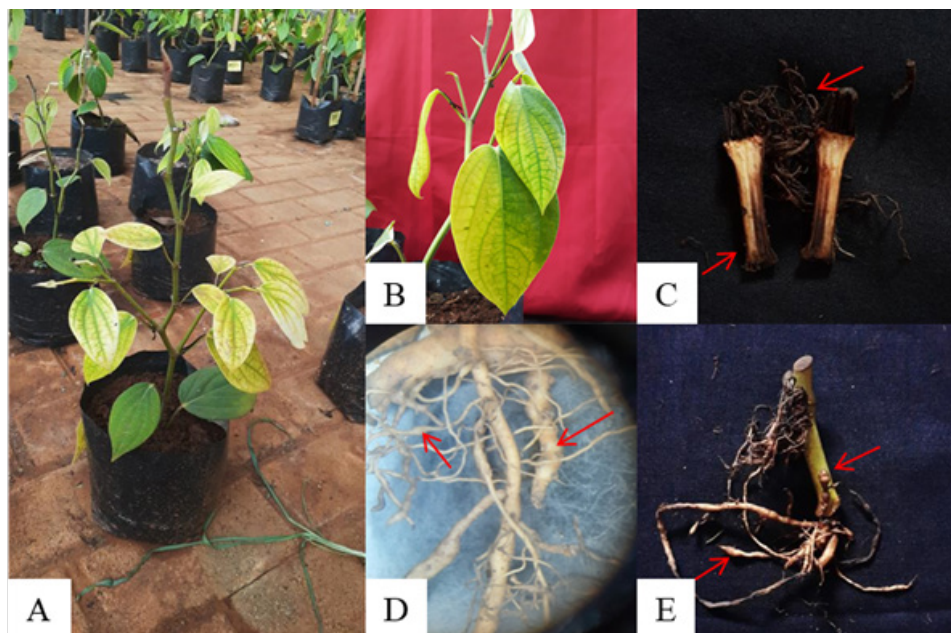
pada pengamatan 24 jam, yaitu sebesar 75.24%; sedangkan mortalitas terendah—72.38%—pada perlakuan isolat tunggal *B. siamensis* dan isolat konsorsium PTM3 (Tabel 2).

Sifat Fisiologi Bakteri Endofit

Dua isolat bakteri endofit, yaitu *Bacillus siamensis* dan *B. velezensis* menunjukkan aktivitas protease dan selulase; sedangkan isolat campuran *B. subtilis* dan *B. wiedmannii* serta isolat konsorsium PTM3 menunjukkan aktivitas kitinase, protease dan selulase yang ditandai dengan adanya zona bening pada medium uji (Tabel 3). Keempat isolat bakteri endofit menghasilkan senyawa volatil yang dapat menghambat pertumbuhan miselium *F. solani* dengan penghambatan tertinggi terjadi pada perlakuan PTM3.

PEMBAHASAN

Patogen yang diisolasi dari akar tanaman lada bergejala penyakit kuning di desa Sungai Kunyit Hulu, Kecamatan Sungai Kunyit Kabupaten Mempawah, Kalimantan Barat diketahui merupakan *F. solani* dan *Meloidogyne* spp.. Dilaporkan sebelumnya oleh Suryanti *et al.* (2015) bahwa patogen



Gambar 1 Gejala penyakit kuning pada tanaman lada di rumah kaca: A, Gejala pada permukaan atas tanaman; B, Daun menguning; C, Kerusakan pada rambut akar dan nekrotik pada pangkal batang; D, Puru pada akar; dan E, Gejala pada pangkal batang tanaman lada.

Tabel 1 Daya hambat isolat bakteri endofit tunggal, campuran, dan konsorsium terhadap pertumbuhan miselia *Fusarium solani* pada hari ke-6

Kode isolat	Daya hambat (%)	
	Medium TSA	Medium ADK
Isolat tunggal		
<i>B. siamensis</i>	57.25 a	50.20 a
<i>B. velezensis</i>	52.94 b	51.37 a
Isolat campuran		
<i>B. subtilis</i> + <i>B.wiedmannii</i>	44.31 c	56.47 a
Isolat konsorsium		
PTM3	39.61 d	22.35 b
Kontrol	0 e	0 c

Angka pada kolom tiap peubah pengamatan yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut pada uji Tukey taraf 5%

Tabel 2 Pengaruh isolat bakteri endofit tunggal, campuran, dan konsorsium terhadap mortalitas *Meloidogyne* spp.

Kode isolat	Mortalitas nematoda (%)	
	6 jam	24 jam
Isolat tunggal		
<i>B. siamensis</i>	24.76 c	72.38 a
<i>B. velezensis</i>	33.33 bc	75.24 a
Isolat campuran		
<i>B. subtilis</i> + <i>B.wiedmannii</i>	42.86 b	72.38 a
Isolat konsorsium		
PTM3	56.19 a	73.33 a
Kontrol	1.90 d	3.73 b

Angka pada kolom tiap peubah pengamatan yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut pada uji Tukey taraf 5%

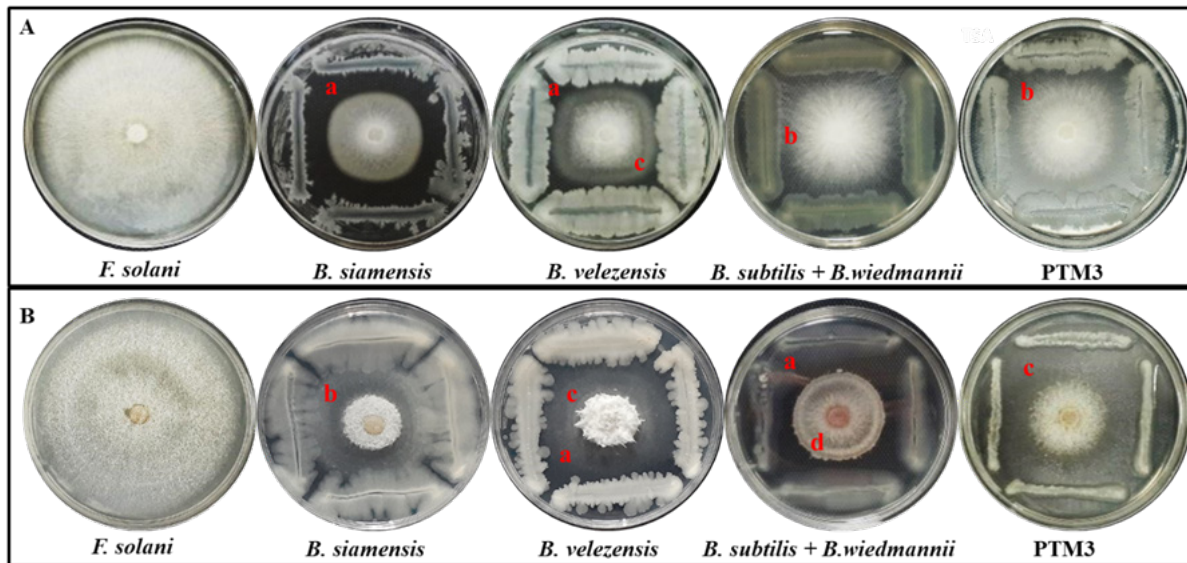
Tabel 3 Karakterisasi fisiologis isolat bakteri endofit tunggal, campuran, dan konsorsium

Kode isolat	Karakterisasi fisiologi			
	Kitinase	Protease	Selulase	Volatil
Isolat tunggal				
<i>B. siamensis</i>	-	+	+	+
<i>B. velezensis</i>	-	+	+	+
Isolat campuran				
<i>B. subtilis</i> + <i>B.wiedmannii</i>	+	+	+	+
Isolat konsorsium				
PTM3	+	+	+	+

Keterangan: -, bereaksi negatif; dan +, bereaksi positif.

yang berasosiasi dengan penyakit kuning lada di Kalimantan Barat adalah *M. incognita* dan *F. solani*; sedangkan penyakit kuning lada yang banyak ditemukan di Bangka Belitung diketahui berasosiasi dengan nematoda *Radopholus similis* dan/atau *M. incognita* yang berinteraksi dengan cendawan *F. solani* dan *F. oxysporum* (Mustika 1990).

Pemanfaatan agens hayati dalam pengendalian penyakit tanaman telah banyak diaplikasikan untuk berbagai jenis patogen. Perlakuan bakteri endofit yang diuji pada penelitian ini mampu menghambat pertumbuhan miselium *F. solani* secara *in vitro* melalui mekanisme kompetisi ruang dan antibiosis. Beberapa isolat



Gambar 2 Penghambatan pertumbuhan miselium cendawan *Fusarium solani* pada medium *tryptic soy agar* (A) dan agar-agar dekstrosa kentang (B) pada uji dual kultur yang diamati pada hari ke-6. a, Zona bening antara miselium cendawan dan isolat bakteri endofit; b, Kompetisi ruang; c, Miselium *F. solani* menipis mendekati isolat bakteri endofit; dan d, Perubahan warna miselium menjadi kemerahan

bakteri endofit, diantaranya *Bacillus* spp. diketahui menghasilkan senyawa bioaktif seperti surfactin, fengycin dan iturin yang bersifat toksik terhadap patogen dan dapat berperan sebagai antifungal (Jahuddin *et al.* 2018; Koumoutsis *et al.* 2004). Dilaporkan oleh Karim *et al.* (2018) bahwa *Bacillus* spp. memiliki kemampuan penghambatan antibiosis dan kompetisi ruang terhadap *Fusarium* sebesar 80.46%. Aktivitas kitinase pada pengujian dual kultur antara *B. subtilis* dengan *F. graminearum* ditandai dengan terbentuknya pada zona bening pada medium uji (Zhao *et al.* 2014).

Perlakuan bakteri endofit yang menghambat *F. solani* secara *in vitro* pada penelitian ini juga mampu meningkatkan mortalitas *Meloidogyne* spp. Bakteri endofit dapat menjadi agens biokontrol bagi nematoda parasit dengan memproduksi senyawa toksik yang bersifat nematisidal (Sikora *et al.* 2007). *B. velezensis* mampu mematikan *M. incognita* J2 sebesar 52%–89% secara *in vitro* dan dapat mengurangi jumlah telur *M. incognita* dalam akar kapas pada percobaan di rumah kaca (Xiang *et al.* 2017). Lebih jauh El-Nagdi dan Abd-El-Khair (2019) mengonfirmasi bahwa

perlakuan kombinasi antara *Bacillus* spp. dengan *B. subtilis* dapat mengurangi juvenil 2, jumlah puru, dan jumlah massa telur nematoda. Kombinasi mikroorganisme dalam konsorsium dapat mengendalikan berbagai patogen tanaman dengan lebih efektif karena memiliki mekanisme penekanan penyakit yang berbeda (Kumar dan Jagadeesh 2016). Bakteri konsorsium memiliki hubungan saling ketergantungan yang bersifat positif, yaitu senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan oleh masing-masing isolat dapat digunakan untuk menunjang kehidupan isolat lain (Sumpethanaya *et al.* 2017).

Senyawa metabolit yang umum diproduksi oleh bakteri endofit ialah enzim kitinase, protease, selulase, pektinase dan lipase (Hallmann *et al.* 2006). Enzim kitinase yang dihasilkan oleh isolat campuran *B. subtilis* dan *B. wiedmannii* serta isolat konsorsium PTM3 banyak dimanfaatkan sebagai agens biokontrol terhadap cendawan patogen karena dapat mendegradasi kitin yang merupakan komponen utama dinding sel cendawan seperti *Fusarium* (Herdyastuti *et al.* 2009). Enzim kitinase dan protease diketahui dapat berpengaruh terhadap penetasan telur

nematoda dan aktivitas nematoda juvenil 2 yang merupakan fase menginfeksi tanaman (Tran *et al.* 2019). Adapula enzim hidrolitik yang dihasilkan keempat bakteri endofit—seperti selulase—sangat penting untuk kolonisasi inter/intraseluler akar tanaman sehingga dapat mencegah invasi patogen (Widowati *et al.* 2020). Selain itu, senyawa volatil yang dihasilkan keempat isolat dapat menekan pertumbuhan miselium *F. solani* dan diketahui berpotensi digunakan dalam mengendalikan beberapa jenis patogen tular tanah (Zhang *et al.* 2020).

Disimpulkan bahwa *F. solani* dan *Meloidogyne* spp. merupakan patogen yang berasosiasi dengan penyakit kuning pada tanaman lada di Kalimantan Barat. Perlakuan bakteri endofit baik secara tunggal, campuran maupun berupa konsorsium berpotensi mengendalikan penyakit kuning lada, yaitu melalui mekanisme penghambatan pertumbuhan miselium cendawan dan peningkatan mortalitas nematoda.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggita SA. 2019. Potensi bakteri endofit sebagai agens biokontrol penyakit busuk pangkal batang (*Ganoderma boninense*) pada tanaman kelapa sawit [tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Asmoro PP, Munif A. 2019. Bakteri endofit dari tumbuhan paku-pakuan sebagai agens hayati *Rhizoctonia solani* dan pemacu pertumbuhan tanaman padi. *J Fitopatol Indones.* 15(6):239–247. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.15.6.239-247>.
- Eisenback JD, Triantaphyllou HH. 1991. Root-knot nematodes : *Meloidogyne* species and races. Di dalam Nickle WR, editor. *Manual of Agricultural Nematology*. Marcell Dekker: New York.
- El-Nagdi WMA, Abd-El-Khair H. 2019. Application of *Bacillus* spesies for controlling root knot nematode *Meloidogyne incognita* in eggplant. *Bulletin of the National Research Centre.* 43:154. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0187-6>.
- Halimah D, Munif A, Giyanto. 2015. Effectiveness of endophytic bacterial consortium of coffee plant on mortality of *Pratylenchus coffeae* in vitro. *Pelita Perkebunan.* 31(3):175–185. DOI: <https://doi.org/10.22302/iccri.jur.pelitaperkebunan.v31i3.205>.
- Hallmann J, Berg G, Schulz B. 2006. Isolation procedures for endophytic microorganisms. Di dalam: Schulz BJE, Boyle CJC, Sieber TN, editor. *Microbial Root Endophytes (Soil Biology)*. Heidelberg (DE): Springer. hlm 299–319. DOI: https://doi.org/10.1007/3-540-33526-9_17.
- Herdyastuti N, Raharjo TJ, Mudasir, Matsjeh S. 2009. Chitinase and chitinolytic microorganism: isolation, characterization and potential. *Indo J Chem.* 9(1):37–47. DOI: <https://doi.org/10.22146/ijc.21580>.
- Hidayati U, Chaniago IA, Munif A, Siswanto, Santosa DA. 2014. Potensi kultur campuran bakteri endofit sebagai pemacu pertumbuhan bibit tanaman karet. *Jurnal Penelitian Karet.* 32(2):129–138. DOI: <https://doi.org/10.22302/jpk.v32i2.159>.
- Jahuddin R, Jamila, Awaluddin, Suriani. 2018. Exploration and screening for endophytic microbes of maize plant root against *Fusarium verticillioides*. *J HPT Tropika.* 18(1):57–64. DOI: <https://doi.org/10.23960/j.hppt.11857-64>.
- Karim H, Hamda L, Kurnia N, Juanda M. 2018. Effectivity of antagonistic bacteria in controlling of Fusarium wilt diseases of banana (*Musa paradisiaca*) by in vitro. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1028: 012014. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1028/1/012014>.
- Koumoutsis A, Chen XH, Henne A, Liesegang H, Hitzeroth G, Franke P, Vater J, Borriss R. 2004. Structural and functional characterization of gene clusters directing nonribosomal synthesis of bioactive cyclic lipopeptides in *Bacillus amyloliquefaciens* strain FZB42. *J Bacteriol.* 186(4):1084–1096. DOI: <https://doi.org/10.1128/JB.186.4.1084-1096.2004>.
- Kumar KH, Jagadeesh KS. 2016. Microbia consortia-mediated plant defense against

- phytopathogens and growth benefits. *SIJBS*. 2(4):395–403. DOI: <https://doi.org/10.22205/sijbs/2016/v2/i4/103445>.
- Leslie JF dan Summerell BA. 2006. *The Fusarium Laboratory Manual*. Victoria: Blackwell Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470278376>.
- Lubis S, Riwayati, Idramsa. 2015. Seleksi dan karakterisasi bakteri endofit dari tumbuhan Raru (*Cotilelobium melanoxylon*) pendegradasi selulosa. *J Biosains*. 1(3):100–105. DOI: <https://doi.org/10.24114/jbio.v1i3.2929>.
- Luc M, Sikora RA, Bridge J. 2005. *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. Wallingford (GB): CABI Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1079/9780851997278.0000>
- Munif A, Hallmann J, Sikora R. 2012. Isolation of endophytic bacteria from tomato and their biocontrol activities against fungal diseases. *J Microbiol*. 6(4):148–156. DOI:10.5454/mi.6.4.2
- Mustika I. 2005. Konsepsi dan strategi pengendalian nematoda parasit tanaman perkebunan di Indonesia. *Perspektif*. 4(1):20–32.
- Mustika I. 1990. Studies on the interactions of *Meloidogyne incognita*, *Radopholus similis* and *Fusarium solani* on black pepper (*Piper nigrum* L.) [disertasi]. Wageningen : Landbouw universitet.
- Nascimento SB, Lima AM, Borges BN, de Souza CRB. 2015. Endophytic bacteria from *Piper tuberculatum* Jacq.: isolation, molecular characterization, and in vitro screening for the control of *Fusarium solani* f.sp *piperis*, the causal agent of root rot disease in black pepper (*Piper nigrum* L.). *J Genet Mol Res*. 14(3):7567–7577. DOI: <https://doi.org/10.4238/2015.July.3.32>.
- Nurkasanah S, Widodo. 2015. The effect of different media content of protease activity *Bacillus subtilis*. *J Biotropika*. 3(2):104–106.
- Santoyo G, Guzmán-Guzmán P, Parra-Cota FI, Santos-Villalobos Sdl, Orozco-Mosqueda MdC, Glick BR. 2021. Plant growth stimulation by microbial consortia. *Agronomy*. 11(2):219. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11020219>.
- Saputra R. 2020. Konsorsium bakteri endofit asal keladi, alang-alang dan putri malu sebagai pemacu pertumbuhan dan pengendali *Meloidogyne incognita* pada tomat [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Sikora RA, Schafer K, Dababat AA. 2007. Modes of action associated with microbially induce in planta suppression of plant-parasitic nematodes. *Plant Pathol*. 36(2):124–134. DOI: <https://doi.org/10.1071/AP07008>.
- Stockwell VO, Johnson KB, Sugar D, Loper JE. 2011. Mechanistically compatible mixtures of bacterial antagonists improve biological control of fire blight of pear. *Phytopathology*. 101:113–123. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-03-10-0098>.
- Sumpethanaya DB, Yuliani, Lisdiana L. 2017. Potensi konsorsium tiga dan empat isolat bakteri endofit dari akar tanaman ubi jalar varietas papua patippi dalam memproduksi IAA. *LenteraBio*. 6(2): 32–37.
- Suryanti, Hadisutrisno B, Mulyadi, Jaka W. 2015. Identifikasi *Fusarium* dan nematoda parasitik yang berasosiasi dengan penyakit kuning lada di Kalimantan Barat. *JPTI* 19(1):19–26. DOI: <https://doi.org/10.22146/jpti.16019>.
- Suryanti, Hadisutrisno B, Mulyadi, Widada J. 2017. Interaksi *Meloidogyne incognita* dan *Fusarium solani* pada penyakit kuning lada. *JPTI*. 21(2):127–134. DOI: <https://doi.org/10.22146/jpti.29760>.
- Tran TPH, Wang SL, Nguyen VB, Tran DM, Nguyen DS, Nguyen AD. 2019. Study of novel endophytic bacteria for biocontrol of black pepper root-knot nematodes in the Central Highlands of Vietnam. *Agronomy*. 9:714. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9110714>.
- Widowati T, Simarmata R, Lekatompessey SJR. 2020. Keragaman bakteri endofitik dari tanaman kunyit putih (*Curcuma zedoaria* rosc.) sebagai pemacu pertumbuhan tanaman. *Bul Littro*. 31(2):97–106.

- DOI: <https://doi.org/10.21082/bullitro.v31n2.2020.97-106>.
- Xiang N, Lawrence KS, Kloepper JW, Donald PA, Melnroy JA. 2017. Biological control of *Meloidogyne incognita* by spore-forming plant growth-promoting rhizobacteria on cotton. *Plant Dis.* 101:774–784. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-16-1369-RE>.
- Yus IDM, Rahardjo BT, Himawan T. 2014. Pengaruh aplikasi bakteri *Pseudomonas fluorescens* dan *Bacillus subtilis* terhadap mortalitas nematoda puru akar (*Meloidogyne javanica*) di laboratorium. *J HPT.* 2(3): 9–17.
- Zhang D, Yu S, Yang Y, Zhang J, Zhao S, Pan Y, Fan S, Yang Z, Zhu J. 2020. Antifungi effects of volatiles produced by *Bacillus subtilis* against *Alternaria solani* in potato. *Front Microbiol.* 11:1196. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01196>.
- Zhao Y, Selvaraj JN, Xing F, Zhou L, Wang Y, *et al.* 2014. Antagonistic action of *Bacillus subtilis* strain SG6 on *Fusarium graminearum*. *PLOS ONE.* 9(3): e92486. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092486>.