

Korelasi Keparahan Penyakit Layu *Fusarium* dengan Kelimpahan *Fusarium oxysporum* dan Fitonematoda: Studi Kasus Perkebunan Pisang PTPN VIII Parakansalak

The Severity of *Fusarium* Wilt Disease in Correlation to the Abundance of *Fusarium oxysporum* and Phytonematodes: Case Study at Banana Plantation PTPN VIII Parakansalak

Mei Rani Tanjung¹, Abdul Munif¹, Yunus Effendi², Efi Toding Tondok^{1*}

¹Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680

²Universitas Al Azhar Indonesia, Jakarta 12110

ABSTRAK

Fusarium oxysporum f. sp. *ubense* ialah patogen tular tanah yang menginfeksi tanaman pisang dan menyebabkan penyakit layu. Beberapa penelitian menyatakan fitonematoda mempunyai peran dalam membantu proses infeksi patogen penyebab layu. Penelitian ini bertujuan melihat hubungan antara fitonematoda dan *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* dari tanah dan perakaran pisang yang terserang layu fusarium. Tanah diperoleh dari tanaman pisang yang terinfeksi sesuai skoring keparahan penyakit layu fusarium yang berbeda. Sampel dikompositkan berdasarkan skor yang sama, lalu populasi masing-masing patogen dihitung di laboratorium. Hasil populasi absolut fitonematoda tertinggi ialah sebesar 77 ekor g⁻¹ diperoleh pada tanah dengan skor keparahan penyakit 4; dan terkecil pada skor 2 sebesar 16 ekor g⁻¹. Pada sampel akar tertinggi pada tanaman skor 0 sebesar 85 ekor g⁻¹ dan terendah pada skor 3 sebesar 33 ekor g⁻¹. Fitonematoda yang ditemukan ialah *Helicotylenchus spp.* dan *Radopholus spp.* Penghitungan *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* dengan metode konvensional menunjukkan kelimpahan *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* paling tinggi pada tanaman skor 1 sebesar 8.1 × 10³ cfu g⁻¹ tanah dan terendah pada tanaman dengan skor 0 sebesar 1.0 × 10³ cfu g⁻¹ tanah. Pengaruh *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* terhadap keparahan penyakit layu fusarium menunjukkan hubungan positif sebesar 8.3% dan dapat menyebabkan penyakit layu sebesar 0.6%. Patogen ini dapat menyebabkan layu fusarium pada pisang tanpa bantuan spesies fitonematoda yang ditemukan dalam penelitian ini.

Kata kunci: *Fusarium oxysporum* f.sp. *ubense*, *Helicotylenchus spp.*, kelimpahan nematoda, *Radopholus spp.*, skor penyakit

ABSTRACT

Fusarium oxysporum f. sp. *ubense* is a soil-borne pathogen that infects banana plants and causes wilt. Several studies demonstrated that phytomatodes have a role in helping infection of the pathogens that cause wilt. This study aims to determine the relationship between phytonematodes and *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* from soil and banana roots infected with fusarium wilt. Soil samples was obtained from infected banana plants and collected based on different scores of fusarium wilt disease severity. Samples were then composited based on the score, and the abundance of each pathogen is measured following samples extraction in the laboratory. The highest population of phytonematodes was 77 g⁻¹ obtained from soil with a disease severity score of 4; and the lowest was 16 g⁻¹ from samples

*Alamat penulis korespondensi: Efi Toding Tondok. Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680.
Tel: (0251) 8629364, Faks: (0251) 8629362. Surel: etondok@apps.ipb.ac.id

with a score of 2. As for root samples, the highest population of phytonematodes (85 g^{-1}) was obtained from plants with a score 0 and the lowest (33 g^{-1}) was from plants with a score 3. Two species of phytonematodes were identified, i.e. *Helicotylenchus* sp. and *Radopolus* sp. Based on measurement using conventional methods showed that the abundance of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* was highest in plants with a score of 1, i.e. $8.1 \times 10^3 \text{ cfu g}^{-1}$ soil and lowest in plants with a score of 0 i.e. $1.0 \times 10^3 \text{ cfu g}^{-1}$ soil. The effect of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* to the severity of fusarium wilt shows a positive relationship of 8.3% and it may contribute to cause fusarium wilt disease by 0.6%. This pathogen can cause wilting of bananas without the help of the phytonematode species found in this study.

Key words: disease score, *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*, *Helicotylenchus* spp., nematode abundance, *Radopolus* spp.

PENDAHULUAN

Tanaman pisang (*Musa paradisiaca*) termasuk komoditas hortikultura yang penting di Indonesia. Data BPS (2021) menunjukkan bahwa produksi pisang nasional mencapai 8.7 juta ton pada tahun 2021 dan Jawa Barat sebagai produsen kedua setelah Jawa Timur. Angka produksi ini meningkat dari tahun sebelumnya, yaitu 8.1 juta ton. Salah satu upaya yang dilakukan pemerintah supaya produksi pisang terus meningkat ialah meminta BUMN untuk menanam pisang. PTPN VIII melakukan penanaman pisang sejak tahun 2014 pada areal perkebunan yang sudah tidak termanfaatkan. Namun demikian, beberapa tahun terakhir banyak tanaman pisang yang layu karena terinfeksi *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. Patogen ini terdiri atas beberapa ras, yaitu ras 1, 2, 3, dan 4 yang diklasifikasikan menurut kemampuannya menyebabkan penyakit pada kultivar pisang yang berbeda (Siamak dan Zheng 2018).

Apabila dilihat dari sejarah lahan, tanah di PTPN VIII Parakansalak termasuk tanah yang bebas dari *F. oxysporum* f. sp. *cubense* karena sebelumnya dimanfaatkan untuk menanam teh yang bukan inangnya. Beberapa faktor terjadinya penyakit ialah di antaranya tanaman rentan, kehadiran patogen virulen, serta lingkungan biotik dan abiotik yang mendukung. Faktor biotik penting yang berasosiasi dengan *F. oxysporum* f. sp. *cubense* dalam proses menginfeksi tanaman pisang ialah fitonematoda. Asosiasi antara cendawan dan nematoda pada perakaran pisang telah lama dipelajari oleh Stover (1966).

Dinesh *et al.* (2014) membuktikan bahwa insidensi dan keparahan penyakit layu pada tanaman pisang yang diinokulasi dengan *Radopholus similis* dan *F. oxysporum* f. sp. *cubense* akan lebih tinggi bila dibandingkan dengan inokulasi tunggal. Bahkan Rocha *et al.* (2020) mengemukakan bahwa tanaman yang resisten pun akan menjadi rentan terhadap *F. oxysporum* f. sp. *cubense* dengan kehadiran fitonematoda *R. similis*. Nematoda *Acrobeles*, *Acrobeloides*, *Chiloplacus*, dan *Aphelenchus* ditemukan pada areal pertanaman pisang yang terserang *F. oxysporum* f. sp. *cubense* di Hainan, Cina. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan melihat hubungan *F. oxysporum* f. sp. *cubense* dan fitonematoda pada tanah dan korelasinya dengan keparahan penyakit layu fusarium di lahan pertanaman pisang milik PTPN VIII di Parakansalak.

BAHAN DAN METODE

Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel dilakukan secara purposif pada tanaman pisang varietas Emas Kirana dari perkebunan PTPN VIII yang terletak di Kecamatan Parakansalak, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat. Sampel tanah perakaran pisang diambil dari pisang bergejala layu fusarium dengan skoring yang mengacu pada Mak *et al.* (2004) (Tabel 1). Sampel tanah diambil dari 5 plot yang berbeda yang dikompositkan menjadi satu sampel.

Ekstraksi Fitonematoda dari Tanah

Ekstraksi fitonematoda menggunakan metode flotasi sentrifugasi. Sebanyak 100 g

Tabel 1 Skor gejala penyakit pada tanaman pisang di PTPN VIII Kecamatan Parakansalak, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat

Skor	Keterangan
0	Tidak ada warna kuning pada daun, tanaman sehat
1	Sedikit penguningan pada daun bagian bawah
2	Penguningan pada sebagian besar daun bagian bawah
3	Penguningan meluas pada sebagian besar daun
4	Tanaman mati

sampel tanah dimasukkan ke dalam wadah yang berisi 800 mL, lalu air diaduk dan didiamkan selama 10 detik. Air kemudian disaring secara bertahap menggunakan saringan 20, 500, dan 400 mesh dengan posisi dimiringkan. Suspensi hasil penyaringan disentrifugasi dengan kecepatan 1500 rpm selama 5 menit, bagian larutan yang bening dibuang lalu pelet ditambahi larutan gula dan disentrifugasi kembali dengan kecepatan 1700 rpm selama 1 menit. Selanjutnya, suspensi disaring kembali dengan saringan 500 mesh dan dibilas dengan air lalu dituang ke dalam botol koleksi (Luc *et al.* 1990).

Ekstraksi Fitonematoda dari Akar

Ekstraksi nematoda pada akar dilakukan dengan metode pengabutan. Sebanyak 5 g akar pisang dibersihkan dengan air kemudian akar dipotong sepanjang ± 1 cm. Akar diletakkan di atas corong yang telah dilapisi saringan kasar dan bagian bawah corong dilengkapi gelas plastik untuk menampung suspensi nematoda. Setelah 48 jam, nematoda yang tertampung dipanen menggunakan saringan 500 mesh dan disimpan di botol koleksi untuk identifikasi (Luc *et al.* 1990).

Identifikasi Morfologi dan Penghitungan Kelimpahan Fitonematoda

Identifikasi fitonematoda dilakukan sampai tingkat genus berdasarkan ciri morfologi secara urut dari anterior (kepala) ke posterior (Eisenback 2003). Kelimpahan nematoda dihitung dengan mengambil 2 mL suspensi,

dihitung jumlah nematodanya, dan diulang sebanyak tiga kali. Data yang terkumpul digunakan untuk menghitung populasi absolut (PA) nematoda dengan rumus Norton (1978):

$$PA = \sum_{i=0}^n \left(\frac{P \times V}{v} \right) \times 100\%, \text{ dengan}$$

P, populasi spesies fitonematoda teramati; V, volume suspensi fitonematoda hasil ekstraksi; v, volume suspensi fitonematoda; dan n, jumlah pengamatan tiap sampel (ulangan).

Identifikasi Morfologi dan Penghitungan Populasi *Fusarium oxysporum*

Isolasi cendawan *F. oxysporum* dilakukan pada sampel tanah rizosfer dengan membuat suspensi tanah dalam air steril (1:100 b/v). Sebanyak 0.1 mL suspensi disebar pada permukaan medium agar-agar martin (AM) menggunakan kaca penyebar, lalu diinkubasi pada suhu 27 °C selama 3–5 hari dengan posisi terbalik. Identifikasi *F. oxysporum* dilakukan dengan mengamati karakterisasi morfologi, konidium, warna dan tipe koloni serta bentuk konidium mengacu Watanabe (2010). Isolat yang memenuhi karakter identifikasi diberi tanda dan dihitung jumlahnya dengan rumus:

$$\text{Jumlah isolat (cfu mL}^{-1}\text{)} = \frac{A}{v \times fp}, \text{ dengan}$$

A, jumlah rata-rata koloni; v, volume inokulum; dan fp, faktor pengenceran.

Ekstraksi, Amplifikasi, dan Visualisasi Hasil PCR

Ekstraksi DNA dilakukan dengan metode CTAB (Dellaporta *et al.* 1983) yang telah dimodifikasi. Amplifikasi DNA menggunakan metode Dita *et al.* (2010) dengan optimasi PCR meliputi pra-denaturasi pada 95 °C selama 5 menit, kemudian diikuti 35 siklus dengan denaturasi pada 95 °C selama 60 detik, aneling 58 °C selama 60 detik dan pemanjangan pada 72 °C selama 3 menit.

DNA cendawan dicampur dengan 1 μ L bufer. Setelah itu, sebanyak 1 μ L hasil campuran dimasukkan ke dalam sumur gel agarosa. Visualisasi hasil PCR dilakukan menggunakan gel agarosa 0.8% pada tegangan

sebesar 75 V selama 30 menit. DNA cendawan pada gel agarosa diamati menggunakan transluminator ultraviolet.

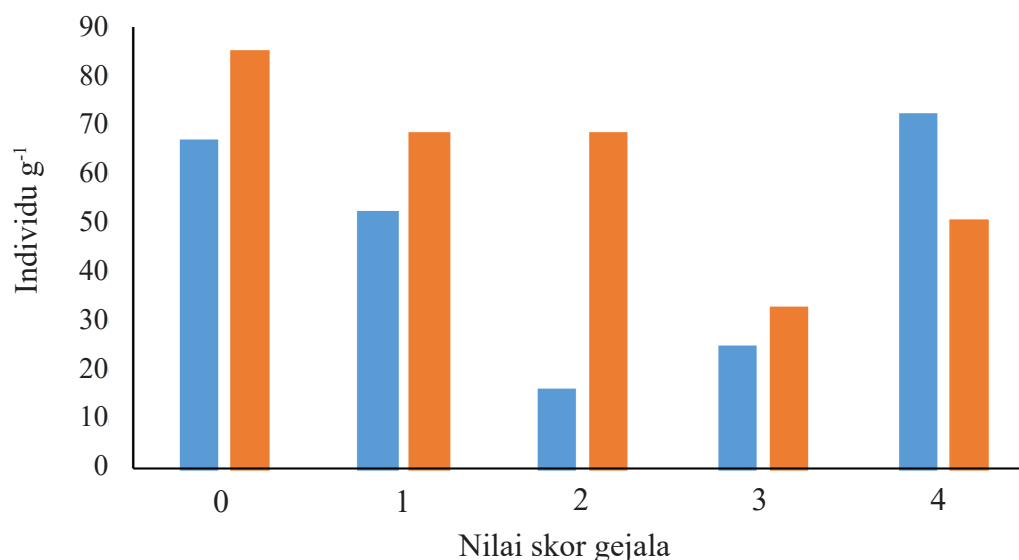
Analisis Statistik

Perhitungan dan analisis statistik menggunakan aplikasi *partial least square structural equation model* (PLS-SEM) untuk melihat hubungan antara keparahan penyakit dan kelimpahan *F. oxysporum* dan fitonematoda.

HASIL

Identifikasi Fitonematoda dan Populasinya pada Pertanaman Pisang

Fitonematoda yang diperoleh dari penelitian ini ialah *Helicotylenchus* spp. dan *Radhopoulus* spp. Umumnya populasi lebih banyak berada pada akar dibandingkan dengan dalam tanah. Populasi fitonematoda tertinggi ialah sebesar 77 individu g^{-1} tanah pada sampel tanah dengan skor keparahan penyakitnya 4 dan terendah pada skor 2, yaitu sebesar 16 individu g^{-1} tanah. Populasi tertinggi pada sampel akar pada tanaman skor 0 ialah 85 individu g^{-1} akar dan menurun pada tanaman skor 1 sampai dengan skor 3 yang masing-masing 68 individu g^{-1} akar dan 33 individu g^{-1} akar (Gambar 1).



Gambar 1 Kelimpahan fitonematoda dalam sampel tanah (■) dan akar (■) pada 25 rumpun tanaman pisang yang terinfeksi layu fusarium di lapangan.

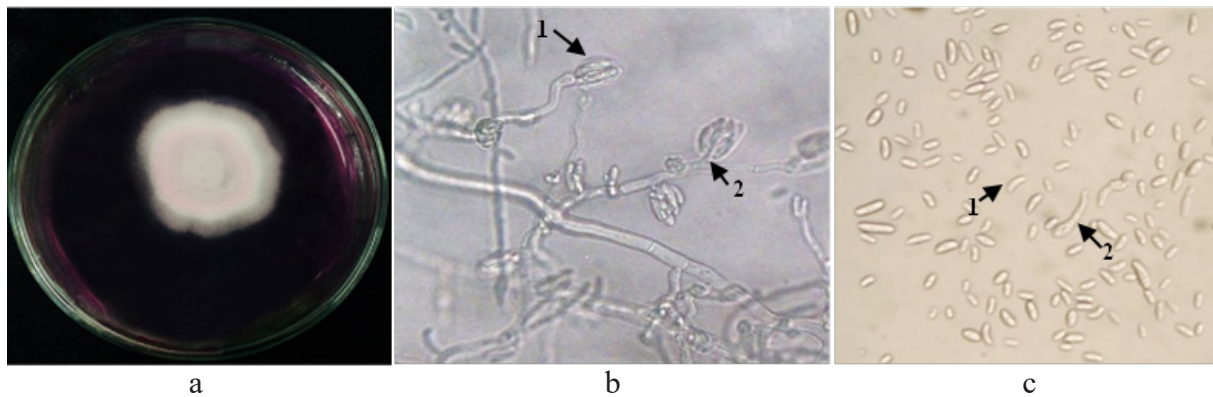
Morfologi dan Populasi *Fusarium oxysporum*

Cendawan rizosfer yang didapat merupakan *F. oxysporum* dengan ciri koloni berwarna putih dan terdapat siluet warna merah muda di bagian tengah, mikrokonidium berbentuk oval, bersel 1–3 (Gambar 2). Identifikasi *F. oxysporum* dilanjutkan secara molekuler menggunakan primer spesifik Foc1/2. Visualisasi hasil ekstraksi yang diperoleh pada gel agarosa membentuk pita DNA yang membuktikan bahwa cendawan yang diamati ialah *F. oxysporum* f. sp. *cubense* TR4 dengan panjang amplikon 400 pb (Gambar 3).

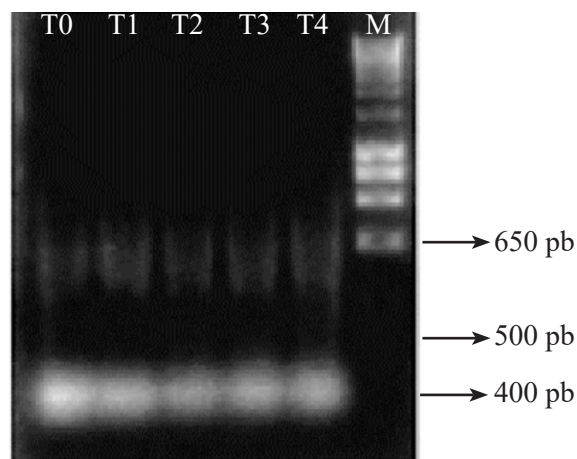
Populasi *F. oxysporum* f. sp. *cubense* tinggi pada skor 1 dan skor 2 sebesar 8.1×10^3 cfu g^{-1} tanah dan 2.8×10^3 cfu g^{-1} tanah. Populasi menurun pada skor 3 dan 4 dengan masing-masing 1.4×10^3 cfu g^{-1} tanah dan 2.3×10^3 cfu g^{-1} tanah. Populasi terendah pada tanaman skor 0 sebesar 1.0×10^3 cfu g^{-1} tanah (Gambar 4).

Korelasi Populasi Fitonematoda dan *F. oxysporum* terhadap Keparahan Penyakit Layu Fusarium

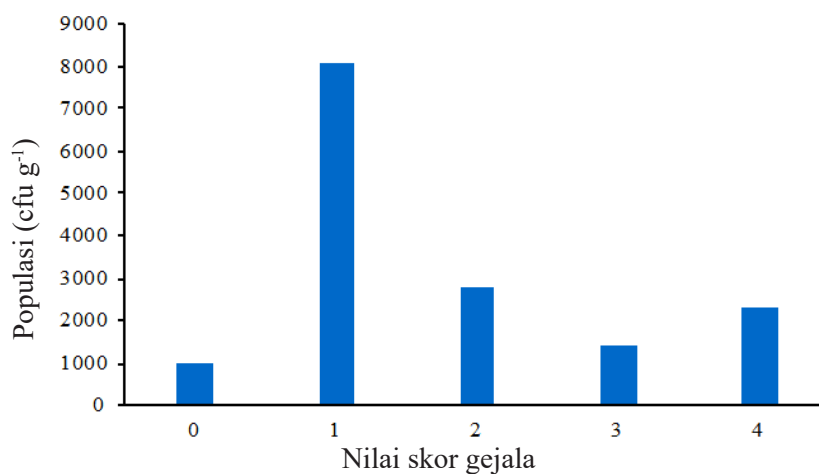
Analisis dengan PLS-SEM didapatkan bahwa keberadaan *F. oxysporum* f. sp. *cubense* pada setiap kelompok skor keparahan penyakit layu fusarium sudah meningkatkan



Gambar 2 Morfologi *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. a, Koloni pada medium agar-agar martin; b, Struktur aseksual *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (1, *false head* dan 2, massa makrokonidium); c, Mikrokonidium (1, mikrokonidium tunggal dan 2, mikrokonidium berkecambah).



Gambar 3 Amplifikasi DNA *Fusarium oxysporum* menggunakan primer spesifik Foc1/2. M, penanda DNA 1kb; T0, Tanah skor 0; T1, Tanah skor 1; T2, Tanah skor 2; T3, Tanah skor 3; dan T4, Tanah skor 4.



Gambar 4 Kelimpahan *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* pada tanah dari 25 rumpun tanaman pisang yang terinfeksi layu fusarium di lapangan.

keparahan penyakit layu sebesar 8.3%. Selain itu, keberadaan fitonematoda tidak memiliki kontribusi dalam meningkatkan keparahan penyakit layu dengan nilai negatif 4.4% (Gambar 5).

PEMBAHASAN

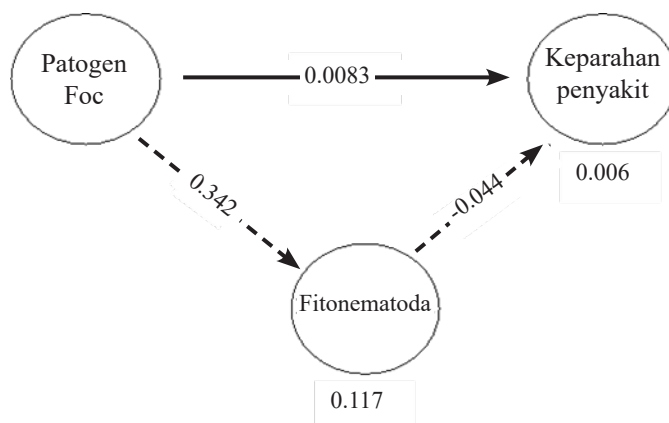
Keparahan penyakit layu fusarium pada pertanaman pisang di PTPN VIII Parakansalak cukup tinggi, meskipun sebelumnya lahan dimanfaatkan untuk menanam teh dan belum pernah ditanami pisang. Keberadaan *F. oxysporum* di lahan tersebut diduga terjadi akibat patogen *F. oxysporum* yang terbawa bibit pisang yang ditanam dan berasal dari gulma atau peralatan yang digunakan dalam proses budi daya di lahan pertanaman pisang.

Fitonematoda yang ditemukan pada penelitian ini termasuk jenis fitonematoda akar yang paling sering ditemukan pada tanaman pisang dan dilaporkan merugikan secara ekonomi, yaitu *Helicotylenchus* spp. dan *Radopholus* sp. Kedua fitonematoda yang ditemukan termasuk jenis migrasi endoparasit menyerang jaringan akar tanaman pisang dan menjadikan jaringan tersebut sebagai lokasi untuk makan. Fitonematoda *Helicotylenchus* sp. menyerang bagian eksterior akar menggunakan stilet pendeknya. Proses makan ini dapat menghancurkan sistem perakaran tanaman dan mereduksi penyerapan air dan nutrisi (Singh dan Phulera 2015). Almeida *et al.*

(2018) melaporkan bahwa *Helicotylenchus* sp. merupakan salah satu dari tiga genus utama nematoda parasit tumbuhan yang ditemukan baik pada sampel akar maupun sampel tanah perakaran di 12 kebun pisang di negara bagian Goias, Brasil. Meskipun keberadaannya tidak berkorelasi terhadap peningkatan populasi *F. oxysporum*, *Radopholus* sp. merupakan parasit penting pada pertanaman pisang yang menginfeksi dengan membuat rongga pada jaringan tanaman sehingga dapat menurunkan produksi pisang sebesar 30–50% (Indarti *et al.* 2011).

Kelimpahan populasi fitonematoda pada jaringan akar lebih banyak dibandingkan dengan sampel tanah. Distribusi nematoda di dalam tanah pada umumnya lebih banyak di sekitar perakaran. Kepadatan populasi *F. oxysporum* f. sp. *cubense* sebesar 10^4 cfu mL⁻¹ diketahui sudah dapat menyebabkan infeksi pada tanaman pisang. Riska *et al.* (2012) menyatakan bahwa tanaman pisang kultivar rentan menunjukkan gejala nekrosis pada akar setelah diinokulasi dengan *F. oxysporum* pada konsentrasi 2.3×10^4 sel konidium mL⁻¹. Pisang Emas Kirana dengan genom AA dikategorikan sebagai pisang yang rentan. Beberapa pisang yang memiliki genom AA memiliki tingkat ketahanan agak rentan sampai rentan terhadap penyakit layu fusarium (Handayani *et al.* 2017).

Perubahan fisiologi jaringan tanaman juga dapat memengaruhi kepadatan *F. oxysporum* di dalam tanah. Hal ini dikarenakan patogen



Gambar 5 Hubungan langsung dan tidak langsung fitonematoda dan *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) terhadap keparahan penyakit di lapangan menggunakan metode PLS-SEM. Angka positif berarti mempengaruhi dan angka negatif berarti tidak mempengaruhi. —>, Hubungan langsung dan - ->, Hubungan tidak langsung.

F. oxysporum diduga mendapatkan nutrisi pada tanaman sehat dan dapat berkembang biak dengan baik di dalam jaringan. *Fusarium oxysporum* dapat tumbuh pada suhu 9–38 °C pada kondisi *in vitro*, tetapi suhu optimum ialah 22–30 °C (Desai *et al.* 2015). Suhu udara rata-rata pada perkebunan pisang di Parakansalak ialah 29 °C, berada pada suhu yang dibutuhkan patogen ini untuk tumbuh dengan optimum. Bahkan, suhu tanah dapat saja lebih rendah dari suhu udara sehingga sangat ideal untuk perkembangan patogen.

Kekurangan unsur-unsur yang terkandung secara alami dalam tanah seperti kapasitas nitrogen lebih banyak dibandingkan dengan kalium juga dapat membantu patogen *F. oxysporum* berkembang biak. Selain unsur hara alami dalam tanah, lahan dengan tanah yang supresif secara alami memiliki mikronutrien yang dibutuhkan oleh tanaman dan mikrobiota pada tanah tersebut. Effendi *et al.* (2019) menyatakan dua faktor tanah supresif dapat menekan pertumbuhan patogen, yaitu mekanisme yang terjadi karena adanya kompetisi nutrisi seluruh mikrobiota tanah dan adanya kompetisi spesifik antara mikroba patogen dan nonpatogen.

Struktur tanah dan spesies fitonematoda yang ada di lahan pertanaman pisang diduga menjadi faktor tidak berperannya fitonematoda dalam keparahan penyakit di lapangan. Struktur tanah pada penelitian ini ialah 48% didominasi liat. Hal ini menyebabkan mobilitas fitonematoda terbatas. Selain itu kadar airnya juga sudah tidak optimum untuk kehidupan fitonematoda, yakni hanya 7.3%. Berbeda dengan tanaman yang tumbuh pada lahan berpasir, peran fitonematoda berpengaruh pada proses infeksi penyakit. Sebagai contoh *Meloidogyne* sp. memiliki kisaran inang yang sangat beragam dan tersebar luas pada daerah tropik dan subtropik, berkembang dengan baik pada tanah berpasir dengan pH 5.0–6.6 (Luc *et al.* 1990). Penyakit layu pisang yang disebabkan oleh *F. oxysporum* f. sp. *cubense* mengubah sifat tanah (penurunan pH tanah dan total karbon organik) dan komposisi komunitas nematoda pada tanah tersebut (Shuang *et al.* 2011).

Kehadiran dan kepadatan fitonematoda pada tanah pertanaman pisang Emas Kirana di perkebunan PTPN VIII tidak berhubungan positif dengan tingkat keparahan penyakit layu fusarium pada pisang. Dalam penelitian ini *F. oxysporum* f. sp. *cubense* dapat menginfeksi tanaman pisang tanpa bantuan fitonematoda. Poornima *et al.* (2007) juga mengungkapkan interaksi negatif antara *F. oxysporum* f. sp. *cubense* dan nematoda *Helicotylenchus multicinctus*. Meskipun tidak menjelaskan pengaruh keberadaan nematoda terhadap keparahan penyakit layu fusarium, tetapi tingkat insidensi penyakit yang tinggi ditemukan pada tanaman yang hanya diinokulasi *F. oxysporum* f. sp. *cubense*, yaitu mencapai 75.6%. Adapun tanaman yang diinokulasi *F. oxysporum* f. sp. *cubense* dan diikuti inokulasi nematoda (maupun sebaliknya), insidensi penyakitnya menjadi lebih rendah. Hasil sebaliknya dilaporkan oleh Dinesh *et al.* (2014) yang mendapati adanya interaksi positif antara *F. oxysporum* f. sp. *cubense* dan nematoda *Radopholus similis*. Infeksi gabungan oleh *F. oxysporum* f. sp. *cubense* dan *R. similis* meningkatkan insidensi dan keparahan penyakit layu fusarium pada pisang di rumah kaca, dibandingkan dengan tanaman yang diinokulasi *F. oxysporum* f. sp. *cubense* saja. Perbedaan jenis interaksi ini diduga disebabkan oleh beberapa faktor, seperti respons setiap kultivar pisang yang digunakan, kondisi fisik tanah, keberadaan mikroba lain, dan kondisi rumah kaca yang jauh lebih terkontrol.

Secara teori, kehadiran fitonematoda akan meningkatkan keparahan penyakit layu fusarium pada pisang, dengan asumsi fitonematoda akan melukai akar dan menjadi jalur masuk bagi *Fusarium* spp. Pada penelitian ini, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* dapat menyebabkan layu fusarium pada pisang tanpa bantuan spesies fitonematoda yang ditemukan di PTPN VIII Parakansalak.

DAFTAR PUSTAKA

Almeida NO, Teixeira RA, Carneiro FA, de Oliveira CM, Ribeiro VA, Lobo Júnior M, Rocha MR. 2018. Occurrence and

- correlations of nematodes, *Fusarium oxysporum* and edaphic factors on banana plantations. *Journal of Phytopathology*. 166(4):265–72. DOI: <https://doi.org/10.1111/jph.12683>.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2021. Produksi Tanaman Buah-buahan 2021. Jakarta (ID): Badan Pusat Statistik; [diunduh 2022 September 20]. Tersedia pada: <https://www.bps.go.id/indicator/55/62/1/produksi-tanaman-buah-buahan.html>.
- Dellaporta SL, Wood J, Hicks JB. 1983. A plant DNA minipreparation: Version II. *Plant Molecular Biology Reporter*. 1(4):19–21. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02712670>.
- Desai MS, Jagtap AA, Kamble SS. 2015. Influence of some growth factors on in-vitro growth of *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* causing Panama wilt of banana. Di dalam: Vhanalakar SA and Vanalakar SA. (Eds.). *Emerging Research Trend in Life Sciences*. Bhumi Publishing, Maharashtra, India. Hlm 84–88
- Dinesh BM, Ravichandra NG, Somasekhara YM, Reddy BM, Kumar KH. 2014. Interaction between *Radopholus similis* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* causing wilt complex on banana. *Editorial Committee*. 48(4):506–513.
- Dita MA, Waalwijk C, Buddenhagen IW, Souza Jr MT, Kema GH. 2010. A molecular diagnostic for tropical race 4 of the banana fusarium wilt pathogen. *Plant Pathology*. 59(2):348–357. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02221.x>.
- Eisenback JD. 2003. *Nematology*. Blacksburg (US) : Mactode Publication.
- Effendi Y, Pambudi A, Pancoro A. 2019. Metagenomic analysis of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*-infected soil in banana plantation, Sukabumi, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 20(7):1939–1945. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200721>.
- Handayani T, Martanti D, Poerba YS. 2017. Deteksi awal ketahanan beberapa aksesori pisang lokal dan hasil persilangan terhadap penyakit layu fusarium (Foc VCG 01213/16 TR4). *Jurnal Hortikultura Indonesia*. 8(2):88–96. DOI: <https://doi.org/10.29244/jhi.8.2.88-96>.
- Indarti S, TP BR, Subandiyah S, Indarti L. 2011. Prevalensi nematoda parasit pada pertanaman pisang di daerah istimewa Yogyakarta. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 17(1):36–40.
- Luc M, Sikora RA, Bridge J. eds. 1990. *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. Wallingford (UK): CAB International.
- Mak C, AA Mohamed, KW Liew, YW Ho. 2004. Mak C, Mohamed AA, Liew KW, Ho YW. 2004. Early screening technique for fusarium wilt resistance in banana micropropagated plants. Di dalam: *Banana Improvement: Cellular, Molecular Biology, and Induced Mutations*. Proceedings of a meeting held in Leuven, Belgium, 2001, September 24–28. Enfield (US): Science Publishers, Inc. Hlm. 219–227.
- Norton DC. 1978. *Ecology of Plant-Parasitic Nematodes*. New York (US): John Wiley & Sons Inc.
- Poornima K, Angappan K, Kannan R, Kumar N, Kavino M, Balamohan TN. 2007. Interactions of nematodes with the fungal Panama wilt disease of banana and its management. *Nematologia Mediterranea*. 35(1):35–39.
- Riska, Jumjunidang, Hermanto C. 2012. Hubungan antara tingkat konsentrasi inokulum *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* VCG 01213/16 dengan perkembangan penyakit layu pada kultivar pisang rentan. *Jurnal Hortikultura*. 22(2):156–164. DOI: <https://doi.org/10.21082/jhort.v22n2.2012.p156-164>.
- Rocha AD, Ferreira MD, Rocha LD, Oliveira SA, Amorim EP, Mizubuti ES, Haddad F. 2020. Interaction between *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* and *Radopholus similis* can lead to changes in the resistance of banana cultivars to fusarium wilt. *European Journal of Plant Pathology*. 158(2):403–417. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02081-y>.
- Siamak SB, Zheng S. 2018. Banana Fusarium wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*)

- control and resistance, in the context of developing wilt-resistant bananas within sustainable production systems. *Horticultural Plant Journal*. 4(5):208–218. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2018.08.001>.
- Singh R, Phulera S. 2015. Plant parasitic nematodes: the hidden enemies of farmers. Di dalam: *Environmental Issues for Socio-Ecological Development*. New Delhi (IN): Excel India Publishers. hlm. 68–81.
- Shuang Z, Yingdui H, Huicai Z, Yiwei M, ZhaoXi Z, XiaoPing Z, Zhiqiang J. 2011. Effects of banana wilt disease on soil nematode community structure and diversity. *African Journal of Biotechnology*. 10(59):12729–12737. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJB11.1558>.
- Stover RH. 1966. Fungi associated with nematode and non-nematode lesions on banana roots. *Canadian Journal of Botany*. 44(12):1703–1710. DOI: <https://doi.org/10.1139/b66-183>.
- Watanabe T. 2010. *Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi*, 3rd ed. Boca Raton (US): CRC Press. DOI: <https://doi.org/10.1201/EBK1439804193>.