Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati, Vol. 11(3): 307-316, Oktober 2026
p-ISSN 2527-3221, e-ISSN 2527-323X, https://ojs.uajy.ac.id/index.php/biota/issue/view/585
DOI: 10.24002/biota.v11i3.12246

Isolasi dan Evaluasi Aktivitas Antifungi Jamur Endofit Tanaman Pisang Kepok Terhadap *Fusarium oxysporum*

Isolation and Evaluation of the Antifungal Activity of Kepok Banana Plant Endophytic Fungi Against *Fusarium oxysporum*

Oktira Roka Aji[1*], Aninda Kumala Sari[2]

[1]Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi Terapan, Universitas Ahmad Dahlan
Jl. Ahmad Yani (Ringroad Selatan) Tamanan Banguntapan Bantul Yogyakarta 55166 Indonesia
[2]Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Sains dan Teknologi Terapan, Universitas Ahmad Dahlan
Jl. Ahmad Yani (Ringroad Selatan) Tamanan Banguntapan Bantul Yogyakarta 55166 Indonesia
Email: oktira.aji@bio.uad.ac.id **Penulis Korespondensi*

Abstract

Banana (*Musa* spp.) is an economically important horticultural crop whose productivity can be affected by Fusarium wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc). Endophytic fungi have potential as biological control agents because they can interact antagonistically with plant pathogens through mechanisms including competition and the production of volatile compounds. This study aimed to isolate and evaluate the antifungal activity of endophytic fungi from Kepok banana (*Musa* × *paradisiaca* L.) against Foc. Endophytic fungi were isolated from healthy roots, stems, and leaves and subsequently characterized based on macroscopic and microscopic characteristics. Antagonistic interactions were evaluated using a dual-culture assay, whereas inhibition mediated by volatile compounds was assessed using a paired-plate assay. Six isolates were obtained and were morphologically assigned to the putative genera *Fusarium, Trichoderma, Mortierella, Trichothecium, Rhizoctonia*, and *Pythium*. In the dual-culture assay, isolate B1, putatively identified as *Trichoderma*, showed dominant growth against Foc, indicating competition for space and nutrients. In the volatile-compound assay, B1 showed the highest inhibition percentage of 30.74 ± 1.74%. These results indicate that isolate B1 has potential for further development as a candidate biological control agent against Foc, although molecular identification and further efficacy studies are required.

Keywords: Biological control, Endophytic fungi, Kepok banana, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, Volatile compounds

Abstrak

Pisang (*Musa* spp.) merupakan komoditas hortikultura penting yang produktivitasnya dapat terganggu oleh penyakit layu Fusarium yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc). Jamur endofit berpotensi dikembangkan sebagai agens hayati karena dapat berinteraksi secara antagonistik dengan patogen, antara lain melalui kompetisi dan produksi senyawa volatil. Penelitian ini bertujuan mengisolasi dan mengevaluasi aktivitas antifungi jamur endofit dari pisang Kepok (*Musa* × *paradisiaca* L.) terhadap Foc. Jamur endofit diisolasi dari akar, batang, dan daun tanaman sehat, kemudian dikarakterisasi berdasarkan ciri makroskopis dan mikroskopis. Aktivitas antagonistik dievaluasi menggunakan metode kultur ganda, sedangkan aktivitas penghambatan oleh senyawa volatil diuji menggunakan metode cawan petri bertangkup. Sebanyak enam isolat diperoleh dan berdasarkan karakteristik morfologinya diduga termasuk dalam genus *Fusarium, Trichoderma, Mortierella, Trichothecium, Rhizoctonia*, dan *Pythium*. Pada uji kultur ganda, isolat B1 yang diduga sebagai Trichoderma menunjukkan dominasi pertumbuhan terhadap Foc yang mengindikasikan kompetisi ruang dan nutrisi. Pada uji senyawa volatil, B1 menghasilkan persentase penghambatan tertinggi sebesar 30,74 ± 1,74%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolat B1 memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai kandidat agens hayati terhadap Foc, meskipun identifikasi molekuler dan pengujian lanjutan masih diperlukan.

Kata kunci: Agen hayati, Jamur endofit, Pisang Kepok, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, Senyawa volatil

Disubmit: 15 Juli 2025; Direvisi: 1 Oktober 2026; Diterima: 9 Oktober 2026

Copyright© 2026. Oktira Roka Aji, Aninda Kumala Sari

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

How to Cite: Aji, O. R., & Sari, A. K. (2026). Isolasi dan Evaluasi Aktivitas Antifungi Jamur Endofit Tanaman Pisang Kepok Terhadap Fusarium oxysporum. Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati, 11(3),307-316.

Pendahuluan

Pisang (*Musa* spp.) merupakan salah satu komoditas hortikultura di Indonesia yang memiliki nilai ekonomi dan sosial yang tinggi. Buah ini tidak hanya menjadi sumber pangan penting bagi masyarakat, tetapi juga menjadi komoditas ekspor yang berkontribusi terhadap perekonomian nasional (Kurniati *et al.*, 2022). Pisang banyak dibudidayakan di berbagai daerah karena adaptasinya yang tinggi terhadap kondisi agroklimat tropis dan perawatannya yang relatif mudah (Varma & Bebber, 2019). Namun, dalam praktik budidayanya, tanaman pisang menghadapi beragam ancaman yang dapat menghambat produktivitasnya (Zeng *et al.*, 2024). Ancaman tersebut mencakup serangan hama, penyakit tanaman, degradasi lahan, serta perubahan iklim yang memengaruhi kestabilan produksi. Salah satu penyakit yang paling merusak dan sulit dikendalikan adalah layu Fusarium.

Fusarium oxysporum f.sp. cubense (E.F. Sm.) W.C. Snyder & H.N. Hansen merupakan patogen tular tanah (*soil-borne pathogen*) yang sering menyerang tanaman pisang (Pegg *et al.*, 2019). Patogen ini menyerang jaringan tanaman melalui akar dan menyebar ke sistem pembuluh angkut, menyebabkan gangguan penyerapan air dan nutrisi. Akibatnya, tanaman menunjukkan gejala layu, mulai dari menguningnya daun hingga kematian jaringan (Dita *et al.*, 2018). Kerusakan yang ditimbulkan oleh penyakit ini sangat signifikan. Li *et al.* (2024) melaporkan bahwa Layu Fusarium dapat menurunkan hasil panen pisang hingga lebih dari 20%. Salah satu kultivar pisang yang populer di Indonesia, yaitu pisang Kepok (*Musa* × *paradisiaca* L.). Varietas ini banyak dipilih karena daging buahnya yang tebal, cita rasa yang manis, serta kesesuaiannya untuk konsumsi segar maupun bahan olahan. Namun demikian, pisang Kepok juga diketahui rentan terhadap serangan *F. oxysporum*, yang dapat mengancam produktivitasnya di lapangan.

Pengendalian penyakit Layu Fusarium secara konvensional banyak bergantung pada penggunaan fungisida sintetis. Namun, penggunaan bahan kimia ini dalam jangka panjang tidak hanya berisiko terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, tetapi juga dapat memicu resistensi patogen (Ahmad *et al.*, 2024). Oleh karena itu, diperlukan alternatif pengendalian yang lebih ramah lingkungan, salah satunya melalui pemanfaatan agens hayati seperti jamur endofit.

Jamur endofit merupakan kelompok mikroorganisme yang hidup secara simbiotik dalam jaringan tanaman tanpa menimbulkan gejala penyakit (Wen *et al.*, 2022). Jamur ini banyak ditemukan pada akar, batang, maupun daun tanaman (Aji & Rofiyanti, 2024). Beberapa jenis jamur endofit diketahui memiliki aktivitas antagonis terhadap patogen melalui berbagai mekanisme seperti kompetisi ruang dan nutrisi, serta produksi senyawa bioaktif (antibiosis) termasuk senyawa volatil (Ali *et al.*, 2024). Berbagai studi telah mengungkapkan potensi jamur endofit pisang sebagai agens hayati terhadap *F. oxysporum* f.sp. cubense (Foc). Alfizar & Fajrina (2016) mengisolasi 23 jamur dari akar dan bonggol *Musa paradisiaca*, dimana 10 isolat menunjukkan aktivitas antagonis, dengan daya hambat tertinggi sebesar 33,70%. Aji *et al.* (2022) menemukan isolat *Trichoderma* sp. dan *Penicillium* sp. dari jaringan pisang yang efektif menghambat Foc, masing-masing melalui kompetisi dan antibiosis. Suciatmih *et al.* (2014) mengisolasi 46 jamur dari varietas Cavendish dan Rejang, dengan 14 isolat aktif secara antagonistik dimana *Penicillium* sp. menunjukkan daya hambat tertinggi melalui senyawa non-volatil. Hutabalian *et al.* (2015) juga melaporkan bahwa *Pullularia* sp. dari pisang mampu menghambat Foc hingga 60,57% melalui mekanisme lisis hifa. Sementara itu, Maryani *et al.* (2023) mengisolasi 9 isolat jamur endofit *Fusarium* dari pisang liar (*M. acuminata* dan *M. balbisiana*) di Banten. Namun demikian, sebagian besar studi tersebut dilakukan pada varietas seperti Cavendish, Ambon, atau pisang liar di Indonesia, eksplorasi terhadap varietas lokal seperti pisang Kepok masih sangat terbatas, khususnya terkait aktivitas antifungi melalui senyawa volatil. Selain itu, informasi mengenai isolat endofit pisang Kepok yang dievaluasi secara bersamaan melalui interaksi antagonistik langsung dan aktivitas senyawa volatil terhadap Foc masih terbatas. Pemanfaatan isolat lokal yang beradaptasi dengan agroekosistem tropis dan spesifik varietas sangat penting dalam mengembangkan strategi pengendalian hayati yang lebih efektif dan aplikatif di lapangan.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi dan mengevaluasi potensi jamur endofit dari tanaman pisang Kepok dalam menghambat pertumbuhan *F. oxysporum* f.sp. cubense. Potensi biologis jamur endofit baik melalui uji antagonisme secara langsung maupun kemampuan menghasilkan senyawa volatil antifungi dapat menjadi sumber inovasi dalam strategi pengendalian hayati yang aplikatif, efisien, dan berkelanjutan.

Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan peralatan laboratorium mikrobiologi standar seperti autoklaf (Tomy), mikroskop cahaya (Olympus), oven (Memmert), timbangan analitik (Ohaus), cawan petri, erlenmeyer, tabung reaksi, mikropipet, pipet ukur, pipet tetes, gelas beker, gelas objek, spatel drygalski, bunsen, gunting, pisau, scalpel, hotplate, vortex, sterile syringe filter 0,22 µm, dan microwave. Tanaman Pisang Kepok diperoleh dari kebun warga Gilangharjo (Bantul) dan Plasma Nutfah Pisang di Giwangan (Yogyakarta). Sediaan kultur *Fusarium oxysporum* f.sp. cubense (E.F. Sm.) W.C. Snyder & H.N. Hansen diperoleh dari Laboratorium Hama Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada. Media pertumbuhan yang digunakan adalah *Potato Dextrose Agar*. Bahan kimia tambahan meliputi akuades steril, alkohol 70%, larutan NaClO 0,5%, antibiotik kloramfenikol, *lactophenol cotton blue*, serta minyak imersi.

Peremajaan Jamur Fusarium oxysporum

Kultur *F. oxysporum* diambil dan ditumbuhkan pada media PDA baru, kemudian diinkubasi pada suhu ruang selama tujuh hari untuk memperoleh pertumbuhan optimal.

Persiapan Sampel Tanaman

Sampel tanaman Pisang Kepok diperoleh dari kebun warga Gilangharjo (Bantul) dan Plasma Nutfah Pisang di Giwangan (Yogyakarta). Tanaman yang dipilih merupakan tanaman yang sehat dan tidak ada tanda cacat. Bagian tanaman yang diambil adalah bagian akar, batang dan daun. Bagian tanaman tersebut dibersihkan dengan air mengalir untuk menghilangkan kotoran dan tanah yang menempel.

Isolasi Jamur Endofit

Isolasi jamur endofit dilakukan dengan sterilisasi permukaan organ tanaman (akar, batang, daun) menggunakan alkohol 70% selama 1 menit, larutan NaClO 0,5% selama 3 menit, dan alkohol 70% kembali selama 30 detik. Organ tanaman kemudian dibilas dua kali dengan akuades steril dan dikeringkan di dalam cawan petri steril. Selanjutnya, sampel dipotong-potong dan ditanam secara aseptis pada media PDA yang telah disuplementasi kloramfenikol. Inkubasi dilakukan selama 7 hari pada suhu ruang. Isolat yang tumbuh kemudian disubkultur untuk dilakukan identifikasi (Aji & Rofiyanti, 2024).

Karakterisasi Jamur Endofit

Identifikasi jamur dilakukan berdasarkan karakteristik makroskopis dan mikroskopis. Pengamatan makroskopis mencakup warna, bentuk, dan tekstur koloni. Sedangkan pengamatan mikroskopis dilakukan dengan pewarnaan menggunakan *lactophenol cotton blue* dan diamati menggunakan mikroskop untuk melihat struktur hifa dan spora. Identifikasi genus dilakukan dengan merujuk pada buku Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi: Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species (Third Edition) karya Watanabe (2010).

Uji Antagonisme dengan Metode Kultur Ganda

Potongan biakan jamur patogen dan jamur endofit (±5 mm) diinokulasikan secara sejajar dengan jarak 3 cm pada satu cawan petri berisi PDA. Sebagai kontrol negatif, jamur patogen ditanam di tengah cawan. Inkubasi dilakukan selama 7 hari pada suhu ruang, dan interaksi pertumbuhan diamati untuk menentukan mekanisme antagonisme (Aji *et al.*, 2022). Pola interaksi antara isolat endofit dan Foc diamati secara visual berdasarkan pertumbuhan kedua koloni. Pertumbuhan isolat endofit yang lebih cepat dan mendominasi area medium sehingga membatasi pertumbuhan patogen diinterpretasikan sebagai indikasi kompetisi ruang, sedangkan terbentuknya zona hambat di antara kedua koloni diinterpretasikan sebagai indikasi aktivitas antibiosis.

Uji Penghambatan Melalui Senyawa Volatil

Jamur endofit dan patogen ditumbuhkan secara terpisah dalam cawan petri berisi PDA, lalu kedua cawan ditangkupkan sehingga bagian dasar saling berhadapan. Inkubasi dilakukan selama enam hari, dan diameter koloni patogen diamati setiap hari. Kontrol negatif berupa cawan berisi patogen yang ditangkupkan dengan cawan berisi PDA steril (Aji & Rofiyanti, 2024).

Perhitungan Persentase Hambatan

Persentase hambatan pertumbuhan jamur patogen dihitung berdasarkan selisih pertumbuhan koloni antara kontrol dan perlakuan menggunakan rumus (Puspitarini & Aji, 2023) sebagai berikut.

$$PH = \left(\left(\frac{R_1 - R_2}{R_1} \right) \times 100\% \right)$$

Keterangan: PH adalah persentase hambatan, R1 adalah diameter koloni pada kontrol, dan R2 adalah diameter koloni pada perlakuan.

Analisis Data

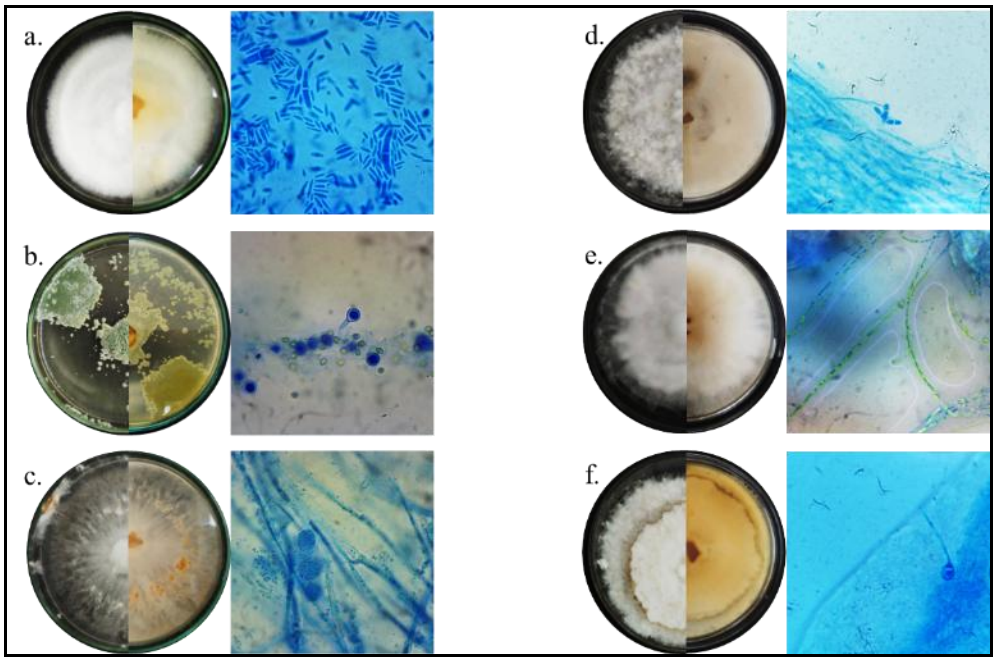
Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara deskriptif dan kuantitatif. Setiap perlakuan dilakukan dalam tiga ulangan. Data hasil isolasi, karakterisasi jamur endofit, dan uji antagonisme dianalisis secara deskriptif. Sementara itu, data hasil uji penghambatan melalui produksi senyawa volatil dianalisis secara kuantitatif. Pengukuran dilakukan berdasarkan diameter koloni jamur patogen yang diamati pada akhir masa inkubasi. Data persentase hambatan dari masing-masing isolat jamur endofit disajikan dalam bentuk rata-rata ± standar deviasi (SD) yang dianalisis menggunakan uji statistik ANOVA satu arah untuk menguji signifikansi perbedaan antar perlakuan (tingkat signifikansi $\alpha = 0{,}05$). Apabila terdapat perbedaan yang signifikan ($p < 0{,}05$), maka dilakukan uji lanjut *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) untuk mengetahui isolat-isolat yang berbeda nyata dalam efektivitas penghambatan terhadap *F. oxysporum*.

Hasil dan Pembahasan

Isolasi jamur endofit telah dilakukan terhadap organ akar, batang, dan daun tanaman Pisang Kepok yang sehat. Sebanyak 6 isolat jamur endofit berhasil diperoleh, dengan distribusi terbanyak berasal dari organ daun sebanyak 4 isolat, diikuti oleh akar dan batang masing-masing sebanyak 1 isolat (Gambar 1). Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Yu *et al.* (2018) yang melaporkan bahwa daun merupakan organ dengan tingkat isolasi dan keanekaragaman tertinggi dibanding batang dan buah, yang kemungkinan disebabkan oleh struktur, kandungan senyawa kimia, dan usia jaringan tanaman. Setiap isolat yang berhasil tumbuh kemudian dikarakterisasi berdasarkan ciri makroskopis dan mikroskopis sebagaimana yang tercantum pada Tabel 1. Perbedaan warna koloni, mulai dari putih bersih, putih kekuningan, hingga hijau cerah, serta variasi tekstur seperti velvety, powdery, dan cottony, mencerminkan karakter khas dari masing-masing kelompok jamur. Dari sisi mikroskopis, perbedaan terletak pada keberadaan jenis spora/konidia dan bentuk hifa. Berdasarkan hasil karakterisasi tersebut, 6 isolat jamur endofit berhasil diidentifikasi hingga tingkat dugaan genus yaitu *Fusarium* (A1), *Trichoderma* (B1), *Mortierella* (D1), *Trichothecium* (D2), *Rhizoctonia* (D3), dan *Pythium* (D4).

Genus *Fusarium* merupakan salah satu kelompok jamur endofit yang paling dominan dan penting secara ekologis maupun bioteknologis. Lebih dari 70 spesies *Fusarium* telah diidentifikasi sebagai endofit dari berbagai tanaman di habitat yang sangat beragam (Toghueo, 2020). Keunikan *Fusarium* terletak pada keragaman genetik dan biologisnya, serta kemampuannya untuk tumbuh pada berbagai substrat dan menghasilkan metabolit sekunder yang kompleks dan bervariasi (Ahmed *et al.*, 2023). Selain *Fusarium*, *Trichoderma* juga merupakan endofit penting yang dapat mengkolonisasi jaringan tanaman dan meningkatkan ketahanan melalui produksi metabolit dan induksi sistem imun tanaman (Natsiopoulos *et al.*, 2024). Genus *Trichothecium* juga telah dilaporkan sebagai endofit pada tanaman kentang (*Solanum tuberosum*) dan *Maytenus hookeri*, yang menunjukkan aktivitas antagonistik terhadap patogen serta menghasilkan senyawa antifungi (Yang *et al.*, 2018; X. M. Zhang *et al.*, 2010). Sementara itu, *Mortierella* berhasil diisolasi sebagai jamur endofit dari tanaman *Fragaria*

vesca dan *Holcus lanatus* dan dilaporkan dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman (Ozimek & Hanaka, 2021; K. Zhang *et al.*, 2020). *Rhizoctonia* juga telah dilaporkan sebagai endofit dari akar pisang liar (*Musa acuminata*) (Zakaria *et al.*, 2016). Sementara, genus *Pythium* contohnya *Pythium oligandrum* dilaporkan merupakan endofit yang mengkolonisasi akar pada beberapa tanaman (Manathunga *et al.*, 2024).



Gambar 1. Isolat jamur endofit tanaman Pisang Kepok dimana secara urut yaitu a-f merupakan isolat *Fusarium* (A1), *Trichoderma* (B1), *Mortierella* (D1), *Trichothecium* (D2), *Rhizoctonia* (D3), dan *Pythium* (D4)

Tabel 1. Karakteristik makroskopis dan mikroskopis isolat jamur endofit Pisang Kepok

Kode Isolat	Asal Organ	Ciri Makroskopis	Ciri Mikroskopis	Dugaan Genus
A1	Akar	Warna koloni atas putih, bawah putih kekuningan, tekstur *velvety*	Hifa bersepta, klamidospora, makrokonidia, mikrokonidia	*Fusarium*
B1	Batang	Warna koloni atas dan bawah hijau cerah, tekstur *powdery*	Hifa bersepta, konidia dan klamidospora subglobose	*Trichoderma*
D1	Daun	Warna koloni atas putih dan bawah putih oranye, tekstur *cottony*	Hifa bersepta, sporangiospora dengan sporangium tanpa cabang	*Mortierella*
D2	Daun	Warna koloni atas putih dan bawah putih kecoklatan, tekstur *cottony*	Hifa bersepta, konidia saling berhubungan di apikal	*Trichothecium*
D3	Daun	Warna koloni atas putih dan bawah putih oranye, tekstur *cottony*	Hifa bersepta, tanpa spora	*Rhizoctonia*
D4	Daun	Warna koloni atas putih dan bawah putih oranye, tekstur *cottony*	Hifa asepta, sporangia oval	*Pythium*

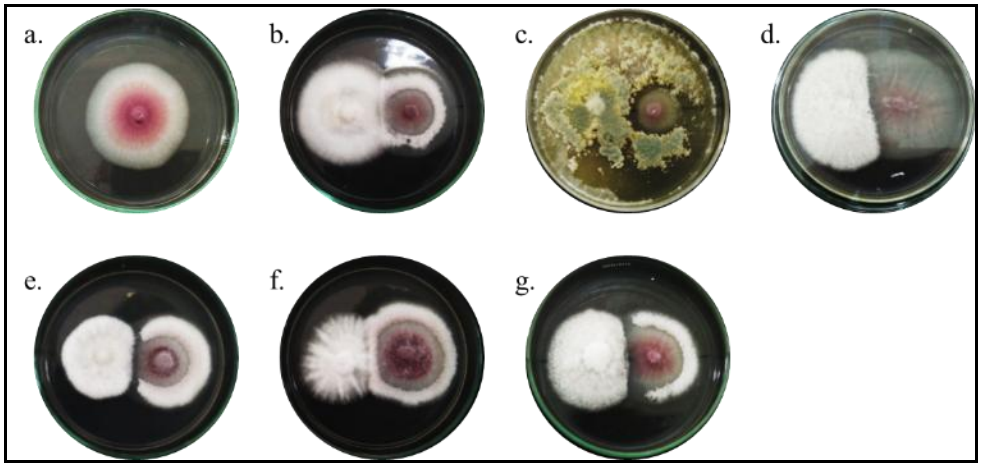
Uji antagonisme antara enam isolat jamur endofit terhadap *Fusarium oxysporum* menggunakan metode kultur ganda menunjukkan adanya variasi dalam mekanisme interaksi dan efektivitas penghambatan pertumbuhan patogen (Gambar 2). Beberapa mekanisme antagonisme yang dapat teramati meliputi kompetisi nutrisi dan antibiosis. Kompetisi nutrisi yaitu perebutan sumber daya yang tersedia pada medium pertumbuhan (Waahidaturrahmah *et al.*, 2024; Zhao *et al.*, 2022). Antibiosis yaitu produksi senyawa metabolit sekunder yang bersifat toksik bagi patogen (Mathivanan *et al.*, 2008). Mekanisme antagonisme yang teridentifikasi meliputi kompetisi ruang dan nutrisi serta antibiosis, namun tidak semua isolat menunjukkan kemampuan penghambatan yang nyata terhadap patogen (Tabel 2.). Isolat A1 (*Fusarium*) dan D3 (*Rhizoctonia*), meskipun menunjukkan mekanisme kompetisi, tidak mampu menghambat pertumbuhan *F. oxysporum*. Pola pertumbuhan sejajar antara isolat endofit dan patogen menunjukkan bahwa kemampuan kompetitif isolat tersebut belum cukup kuat untuk menghambat perkembangan *F. oxysporum*.

Isolat D1 (*Mortierella*), D2 (*Trichothecium*), dan D4 (*Pythium*) menunjukkan indikasi adanya mekanisme antibiosis, yang ditandai dengan zona hambat. Kemungkinan jamur ini menghasilkan metabolit yang dapat menghambat pertumbuhan jamur lain. Namun demikian, tidak terdapat penghambatan pertumbuhan patogen, sehingga antibiosis yang terjadi dapat dikategorikan sebagai belum optimal dalam menekan *F. oxysporum*. Hasil ini sejalan dengan penelitian oleh (Wang *et al.*, 2022), yang menyatakan bahwa *Mortierella alpina* tidak menunjukkan antagonis langsung terhadap *F. oxysporum*. Sementara itu, penelitian oleh X. M. Zhang *et al.* (2010) diketahui bahwa *Trichothecium roseum* strain LZ93 dapat memproduksi senyawa trichothecin, yakni senyawa trichothecene yang bersifat antifungal dan dapat menghambat beberapa patogen penting seperti *Typhula incarnata*, *Phytophthora infestans*, dan *Gaeumannomyces graminis*. Pada penelitian ini, isolat D2 yang diduga *Trichothecium* menunjukkan zona hambat yang menunjukkan terdapat metabolit atau senyawa yang dapat menghambat patogen tetapi penghambatannya terlihat belum optimal terhadap *F. oxysporum.*

Isolat B1, yang berdasarkan karakter morfologinya diduga termasuk dalam genus *Trichoderma*, menunjukkan pola antagonistik paling jelas pada uji kultur ganda. Pertumbuhan isolat B1 lebih cepat dan mendominasi sebagian besar area medium sehingga membatasi ruang pertumbuhan *F. oxysporum*. Berdasarkan pola pertumbuhan tersebut, interaksi B1 dengan patogen diinterpretasikan sebagai indikasi kompetisi ruang. Interpretasi ini sesuai dengan karakteristik *Trichoderma* yang dikenal memiliki pertumbuhan cepat dan kemampuan kolonisasi yang tinggi sehingga mampu berkompetisi dengan berbagai jamur fitopatogen (Zin & Badaluddin, 2020). Namun, karena mekanisme antagonisme pada penelitian ini ditentukan berdasarkan pola interaksi koloni pada kultur ganda, keterlibatan mekanisme lain seperti kompetisi nutrisi, antibiosis, atau mikoparasitisme belum dapat dikonfirmasi secara langsung. Chen *et al.* (2021) menunjukkan bahwa *Trichoderma* spp. dapat menghambat pertumbuhan *F. oxysporum* secara in vitro dan memiliki berbagai mekanisme yang berkontribusi terhadap aktivitas biokontrolnya.

Uji aktivitas antifungi melalui produksi senyawa volatil menunjukkan bahwa isolat jamur endofit memiliki potensi beragam dalam menghambat pertumbuhan *F. oxysporum* (Tabel 2 dan Gambar 3). Di antara enam isolat yang diuji, isolat B1 menunjukkan aktivitas paling kuat dengan persentase hambat sebesar 30,74 ± 1,74%, yang secara statistik berbeda nyata dari isolat lainnya. Hasil ini menunjukkan bahwa senyawa volatil yang dilepaskan oleh isolat B1 memberikan efek penghambatan tertinggi terhadap pertumbuhan *F. oxysporum* dibandingkan isolat lainnya pada kondisi pengujian ini. Sementara itu, isolat lainnya seperti D4 (21,77 ± 1,56%) dan D2 (19,56 ± 1,56%) juga menunjukkan aktivitas penghambatan, meskipun secara signifikan masih lebih rendah dari B1. Isolat D3 menunjukkan aktivitas penghambatan paling rendah sebesar 1,69 ± 0,52%. Secara visual, pertumbuhan *F. oxysporum* pada perlakuan D3 paling mendekati kontrol (Gambar 3), menunjukkan bahwa senyawa volatil yang dihasilkan D3 hanya memberikan efek penghambatan yang rendah terhadap

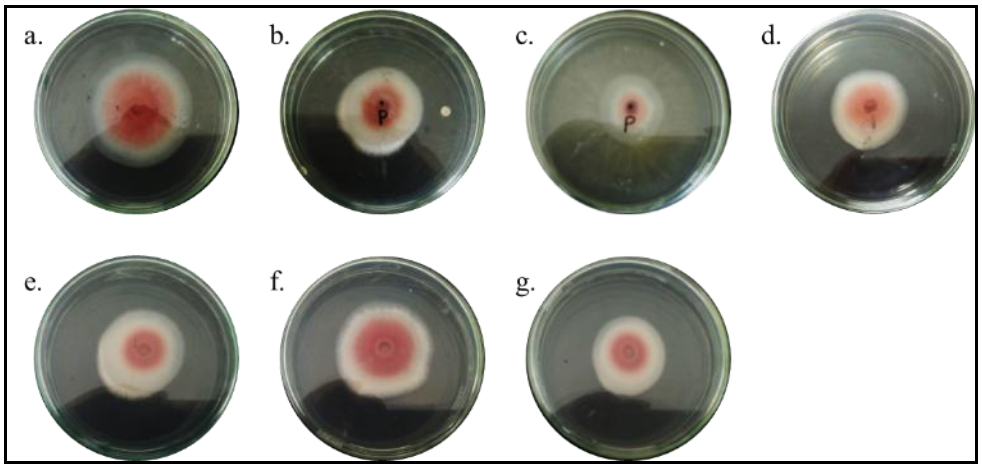
pertumbuhan patogen. Dengan demikian, berdasarkan penghambatan melalui produksi senyawa volatil, isolat terbaik yang dapat menghambat *F. oxysporum* adalah isolat B1 yang diduga genus *Trichoderma*.



Gambar 2. Aktivitas antagonistik isolat jamur endofit tanaman Pisang Kepok terhadap *Fusarium oxysporum* dengan metode kultur ganda, dimana a.) merupakan kontrol *F. oxysporum* tanpa perlakuan, dan b–g.) secara berurutan menunjukkan perlakuan dengan isolat A1, B1, D1, D2, D3, dan D4 dengan jamur endofit ditempatkan di sisi kanan cawan dan *F. oxysporum* di sisi kiri

Tabel 2. Mekanisme antagonisme isolat jamur endofit tanaman Pisang Kepok terhadap *Fusarium oxysporum* pada metode kultur ganda serta persentase penghambatan melalui produksi senyawa volatil

Kode Isolat	Mekanisme Antagonisme Pada Metode Kultur Ganda	Persentase Hambat (%) Melalui Produksi Senyawa Volatil
A1	Kompetisi ruang dan nutrisi	$12{,}87 \pm 2{,}87^{b}$
B1	Kompetisi ruang dan nutrisi	$30{,}74 \pm 1{,}74^{e}$
D1	Antibiosis (terbentuk zona hambat)	$18{,}44 \pm 0{,}81^{c}$
D2	Antibiosis (terbentuk zona hambat)	$19{,}56 \pm 1{,}56^{cd}$
D3	Kompetisi ruang dan nutrisi	$1{,}69 \pm 0{,}52^{a}$
D4	Antibiosis (terbentuk zona hambat)	$21{,}77 \pm 1{,}56^{d}$



Gambar 3. Uji penghambatan *Fusarium oxysporum* oleh senyawa volatil jamur endofit dengan metode cawan petri bertangkup, dimana jamur endofit ditempatkan di cawan bawah dan *F. oxysporum* di cawan atas. Gambar a merupakan kontrol (*F. oxysporum* dan PDA steril), sedangkan b–g secara berurutan menunjukkan perlakuan dengan isolat A1, B1, D1, D2, D3, dan D4

Berbagai penelitian telah membuktikan bahwa *Trichoderma* memiliki kemampuan menghasilkan senyawa volatil organik (*volatile organic compound*/VOC) yang berperan penting dalam penghambatan pertumbuhan *F. oxysporum*. Salah satu studi oleh Rao *et al.* (2022) menunjukkan bahwa strain *T. atroviride* LZ42 mampu menghasilkan senyawa volatil dominan berupa 6-pentyl-2H-pyran-2-one (6-PP), yang secara signifikan menghambat pertumbuhan *F. oxysporum* pada uji in vitro. *Trichoderma* dapat mengenali keberadaan *F. oxysporum* melalui senyawa volatil yang dilepaskan oleh patogen tersebut, dan merespons dengan meningkatkan sekresi metabolit antifungal (Li *et al.*, 2018). Selain itu, paparan VOC dari *F. oxysporum* juga memicu perubahan ekspresi gen pada *Trichoderma*, terutama gen-gen yang terkait dengan mekanisme biokontrol dan proses metabolik lainnya (Li *et al.*, 2024). Profil volatil yang dihasilkan oleh *Trichoderma* bervariasi antar spesies, dengan senyawa seperti 6-PP, 2-pentylfuran, acetophenone, dan p-cymene yang diketahui berkontribusi terhadap aktivitas antifungal dan stimulasi pertumbuhan tanaman (Gualtieri *et al.*, 2022). Senyawa-senyawa volatil tersebut juga dilaporkan memainkan peran penting dalam modulasi arsitektur akar, aktivasi pertahanan tanaman, dan perlindungan terhadap berbagai stres biotik dan abiotik (Jiménez-Bremont *et al.*, 2024).

Simpulan dan Saran

Jamur endofit dari tanaman pisang Kepok menunjukkan keberagaman jenis dan potensi antagonisme terhadap *Fusarium oxysporum* f.sp. cubense. Isolat B1 yang diduga berasal dari genus *Trichoderma* merupakan isolat paling efektif dalam menghambat pertumbuhan patogen, baik melalui mekanisme kompetisi maupun produksi senyawa volatil. Temuan ini mendukung pemanfaatan jamur endofit, khususnya *Trichoderma*, sebagai agens hayati dalam strategi pengendalian Layu Fusarium pada tanaman pisang secara berkelanjutan. Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk mengidentifikasi spesies *Trichoderma* secara molekuler, mengkarakterisasi senyawa volatil yang dihasilkan, serta menguji efektivitasnya pada kondisi lapangan.

Daftar Pustaka

Ahmad, M. F., Ahmad, F. A., Alsayegh, A. A., Zeyaullah, Md., AlShahrani, A. M., Muzammil, K., Saati, A. A., Wahab, S., Elbendary, E. Y., Kambal, N., Abdelrahman, M. H., & Hussain, S. (2024). Pesticides impacts on human health and the environment with their mechanisms of action and possible countermeasures. *Heliyon*, *10*(7), e29128. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29128

Ahmed, A. M., Mahmoud, B. K., Millán-Aguiñaga, N., Abdelmohsen, U. R., & Fouad, M. A. (2023). The endophytic *Fusarium* strains: a treasure trove of natural products. *RSC Advances*, *13*(2), 1339–1369. https://doi.org/10.1039/D2RA04126J

Aji, O. R., & Rofiyanti, D. (2024). Antagonistic activity of endophytic fungi from Maize plants (*Zea mays* L.) against *Fusarium oxysporum* Schltdl. *BIO Web of Conferences*, *148*, 01004. https://doi.org/10.1051/bioconf/202414801004

Aji, O. R., Sari, A. K., & Putri, D. A. (2022). Isolasi dan Uji Aktivitas Antagonisme Jamur Endofit Tanaman Pisang (*Musa paradisiaca* L.) terhadap *Fusarium oxysporum*. *Bioscientist : Jurnal Ilmiah Biologi*, *10*(1), 10. https://doi.org/10.33394/bioscientist.v10i1.4718

Alfizar, & Fajrina, N. (2016). Jamur Endofit Asal Pisang (*Musa paradisiaca* L.) Sebagai Agens Antagonis Untuk Mengendalikan *Fusarium oxysporum* Secara in vitro. *Jurnal Agrista*, *1*(20). https://doi.org/10.17969/agrista.v20i1.11936

Ali, Md. A., Ahmed, T., Ibrahim, E., Rizwan, M., Chong, K. P., & Yong, J. W. H. (2024). A review on mechanisms and prospects of endophytic bacteria in biocontrol of plant pathogenic fungi and their plant growth-promoting activities. *Heliyon*, *10*(11), e31573. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31573

Chen, J., Zhou, L., Din, I. U., Arafat, Y., Li, Q., Wang, J., Wu, T., Wu, L., Wu, H., Qin, X.,

Pokhrel, G. R., Lin, S., & Lin, W. (2021). Antagonistic Activity of Trichoderma spp. Against Fusarium oxysporum in Rhizosphere of Radix pseudostellariae Triggers the Expression of Host Defense Genes and Improves Its Growth Under Long-Term Monoculture System. *Frontiers in Microbiology*, *12*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.579920

Dita, M., Barquero, M., Heck, D., Mizubuti, E. S. G., & Staver, C. P. (2018). Fusarium Wilt of Banana: Current Knowledge on Epidemiology and Research Needs Toward Sustainable Disease Management. *Frontiers in Plant Science*, *9*. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01468

Gualtieri, L., Monti, M. M., Mele, F., Russo, A., Pedata, P. A., & Ruocco, M. (2022). Volatile Organic Compound (VOC) Profiles of Different Trichoderma Species and Their Potential Application. *Journal of Fungi*, *8*(10), 989. https://doi.org/10.3390/jof8100989

Hutabalian, M., Pinem, M. I., & Oemry, S. (2015). Uji Antagonisme Beberapa Jamur Saprofit dan Endofit dari Tanaman Pisang terhadap *Fusarium oxysporum* f.sp. cubens di Laboratorium. *Jurnal Online Agroekoteaknologi*, *2*(3), 687–695.

Jiménez-Bremont, J. F., González-Pérez, E., Ortega-Amaro, M. A., Madrigal-Ortiz, S., Duque-Ortiz, A., & Mendoza-Mendoza, A. (2024). Volatile organic compounds emitted by Trichoderma: Small molecules with biotechnological potential. *Scientia Horticulturae*, *325*, 112656. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112656

Kurniati, D., Aurelia, R., & Hutajulu, J. P. (2022). Daya Saing Ekspor Pisang Indonesia di Negara Tujuan Ekspor Periode 2000-2019. *Jurnal Agribisnis Indonesia*, *10*(2), 335–349. https://doi.org/10.29244/jai.2022.10.2.335-349

Li, C., Xiang, D., Yang, S., Wang, X., & Li, C. (2024). Fusarium Wilt of Banana Latency and Onset Detection Based on Visible/Near Infrared Spectral Technology. *Agronomy*, *14*(12), 2994. https://doi.org/10.3390/agronomy14122994

Li, N., Alfiky, A., Wang, W., Islam, M., Nourollahi, K., Liu, X., & Kang, S. (2018). Volatile Compound-Mediated Recognition and Inhibition Between Trichoderma Biocontrol Agents and *Fusarium oxysporum*. *Frontiers in Microbiology*, *9*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02614

Li, N., Kim, K.-T., Schlagnhaufer, C., & Kang, S. (2024). Multifaceted effects of volatile organic compounds released by *Fusarium oxysporum* on Trichoderma biocontrol agents. *Biological Control*, *191*, 105473. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2024.105473

Manathunga, K. K., Gunasekara, N. W., Meegahakumbura, M. K., Ratnaweera, P. B., Faraj, T. Kh., & Wanasinghe, D. N. (2024). Exploring Endophytic Fungi as Natural Antagonists against Fungal Pathogens of Food Crops. *Journal of Fungi*, *10*(9), 606. https://doi.org/10.3390/jof10090606

Maryani, N., Yulianti, S., Ramadhani, I., Khastini, R. O., & Leksono, S. M. (2023). Diversity of Fusarium Endophytes Isolated from Wild Bananas in Pandenglang, Indonesia. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*, *8*(1), 76897. https://doi.org/10.22146/jtbb.76897

Mathivanan, N., Prabavathy, V. R., & Vijayanandraj, V. R. (2008). *The Effect of Fungal Secondary Metabolites on Bacterial and Fungal Pathogens* (pp. 129–140). https://doi.org/10.1007/978-3-540-74543-3_7

Natsiopoulos, D., Topalidou, E., Mantzoukas, S., & Eliopoulos, P. A. (2024). Endophytic Trichoderma: Potential and Prospects for Plant Health Management. *Pathogens*, *13*(7), 548. https://doi.org/10.3390/pathogens13070548

Ozimek, E., & Hanaka, A. (2021). Mortierella species as the plant growth-promoting fungi present in the agricultural soils. In *Agriculture (Switzerland)* (Vol. 11, Number 1, pp. 1–18). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/agriculture11010007

Pegg, K. G., Coates, L. M., O'Neill, W. T., & Turner, D. W. (2019). The Epidemiology of Fusarium Wilt of Banana. *Frontiers in Plant Science*, *10*. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01395

Puspitarini, S., & Aji, O. R. (2023). Antagonistic Activities of Endophytic Fungi from Chili Pepper (*Capsicum frutescens* L.) Stems

and Leaves against Colletotrichum sp. *Journal of Biotechnology and Natural Science*, *3*(2), 41–46. https://doi.org/10.12928/jbns.v3i2.9736

Rao, Y., Zeng, L., Jiang, H., Mei, L., & Wang, Y. (2022). Trichoderma atroviride LZ42 releases volatile organic compounds promoting plant growth and suppressing Fusarium wilt disease in tomato seedlings. *BMC Microbiology*, *22*(1), 88. https://doi.org/10.1186/s12866-022-02511-3

Suciatmih, Antonius, S., Hidayat, I., & Sulistiyani, T. (2014). Isolasi, Identifikasi dan Evaluasi Antagonisme Terhadap *Fusarium oxysporum* f.sp. cubense (Foc) Secara In Vitro dari Jamur Endofit Tanaman Pisang. *Berita Biologi*, *1*(13), 71–83.

Toghueo, R. M. K. (2020). Bioprospecting endophytic fungi from Fusarium genus as sources of bioactive metabolites. *Mycology*, *11*(1), 1–21. https://doi.org/10.1080/21501203.2019.1645053

Varma, V., & Bebber, D. P. (2019). Climate change impacts on banana yields around the world. *Nature Climate Change*, *9*(10), 752–757. https://doi.org/10.1038/s41558-019-0559-9

Waahidaturrahmah, S., Apriani, R. R., & Sari, N. (2024). Daya Antagonisme Agensia Hayati terhadap Patogen Blendok pada Jeruk Pamelo secara In Vitro. *Biota : Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, 276–289. https://doi.org/10.24002/biota.v9i3.8559

Wang, Y., Wang, L., Suo, M., Qiu, Z., Wu, H., Zhao, M., & Yang, H. (2022). Regulating Root Fungal Community Using Mortierella alpina for *Fusarium oxysporum* Resistance in Panax ginseng. *Frontiers in Microbiology*, *13*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.850917

Watanabe, T. (2010). *Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi* (3rd ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/EBK1439804193

Wen, J., Okyere, S. K., Wang, S., Wang, J., Xie, L., Ran, Y., & Hu, Y. (2022). Endophytic Fungi: An Effective Alternative Source of Plant-Derived Bioactive Compounds for Pharmacological Studies. *Journal of Fungi*, *8*(2), 205. https://doi.org/10.3390/jof8020205

Yang, H. X., Ai, H. L., Feng, T., Wang, W. X., Wu, B., Zheng, Y. S., Sun, H., He, J., Li, Z. H., & Liu, J. K. (2018). Trichothecrotocins A-C, Antiphytopathogenic Agents from Potato Endophytic Fungus *Trichothecium crotocinigenum*. *Organic Letters*, *20*(24), 8069–8072. https://doi.org/10.1021/acs.orglett.8b03735

Yu, J., Wu, Y., He, Z., Li, M., Zhu, K., & Gao, B. (2018). Diversity and Antifungal Activity of Endophytic Fungi Associated with *Camellia oleifera*. *Mycobiology*, *46*(2), 85–91. https://doi.org/10.1080/12298093.2018.1454008

Zakaria, L., Sakinah, I., & Anuar, M. (2016). Molecular Characterisation of Endophytic Fungi from Roots of Wild Banana (*Musa acuminata*). In *Tropical Life Sciences Research* (Vol. 27, Number 1).

Zeng, H., Wu, Y., Xu, L., Dong, J., & Huang, B. (2024). Banana defense response against pathogens: breeding disease-resistant cultivars. *Horticultural Plant Journal*. https://doi.org/10.1016/j.hpj.2024.08.004

Zhang, K., Bonito, G., Hsu, C. M., Hameed, K., Vilgalys, R., & Liao, H. L. (2020). Mortierella elongata increases plant biomass among non-leguminous crop species. *Agronomy*, *10*(5). https://doi.org/10.3390/agronomy10050754

Zhang, X. M., Li, G. H., Ma, J., Zeng, Y., Ma, W. G., & Zhao, P. J. (2010). Endophytic fungus *Trichothecium roseum* LZ93 antagonizing pathogenic fungi in vitro and its secondary metabolites. *Journal of Microbiology*, *48*(6), 784–790. https://doi.org/10.1007/s12275-010-0173-z

Zhao, X., Hou, D., Xu, J., Wang, K., & Hu, Z. (2022). Antagonistic Activity of Fungal Strains against Fusarium Crown Rot. *Plants*, *11*(3), 255. https://doi.org/10.3390/plants11030255

Zin, N. A., & Badaluddin, N. A. (2020). Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences*, *65*(2), 168–178. https://doi.org/10.1016/j.aoas.2020.09.003