

Chemical Control of Coffee Leaf Diseases in an Integrated Pest Management System: A Literature Review

Maidatul Isnaini* & Violita

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia;

Article History

Received : July 24th, 2026

Revised : July 31th, 2026

Accepted : August 03th, 2026

*Corresponding Author:

Maidatul Isnaini, Fakultas
Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam, Universitas
Negeri Padang, Padang,
Indonesia;
Email:

maidatulisnaini19@gmail.com

Abstract: Coffee leaf diseases, particularly coffee leaf rust caused by *Hemileia vastatrix*, remain one of the major constraints to coffee production in Indonesia and other coffee-producing countries, causing yield losses of up to 50% under severe infection. Synthetic fungicides are still the primary control strategy because of their rapid and reliable disease suppression. This review aimed to evaluate the effectiveness of synthetic fungicides in managing coffee leaf diseases, compare the performance of different fungicide groups, and identify recent trends in their application. A literature review was conducted using peer-reviewed articles published between 2015 and 2025 retrieved from Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and Google Scholar. The search employed the keywords “coffee leaf rust,” “*Hemileia vastatrix*,” “synthetic fungicide,” “triazole,” “strobilurin,” and “coffee disease management.” Only English- and Indonesian-language articles reporting fungicide efficacy under field or greenhouse conditions were included. The reviewed studies consistently showed that triazole- and strobilurin-based fungicides were the most effective, generally reducing coffee leaf rust severity by 60–90% when applied at the early stages of infection. However, repeated application of single-mode-of-action fungicides increases the risk of pathogen resistance and environmental contamination. This review highlights the comparative effectiveness of major synthetic fungicide groups and emphasizes that their use should be integrated with resistant cultivars, cultural practices, and fungicide rotation within an Integrated Pest Management (IPM) framework to support sustainable coffee production. Further studies are recommended to optimize fungicide rotation strategies and evaluate environmentally safer alternatives.

Keywords: Coffee leaf disease; Chemical control; *Hemileia vastatrix*; Synthetic fungicides.

Pendahuluan

Kopi (*Coffea* spp.) merupakan salah satu komoditas perkebunan bernilai ekonomi tinggi yang berkontribusi penting terhadap perdagangan global dan menjadi sumber pendapatan bagi jutaan petani di negara-negara tropis, termasuk Indonesia. Indonesia termasuk salah satu produsen kopi terbesar di dunia, dengan produksi yang didominasi oleh perkebunan rakyat. Meskipun demikian, produktivitas kopi nasional masih relatif rendah dibandingkan potensi genetik tanaman, salah satunya akibat serangan organisme

pengganggu tumbuhan (OPT), terutama penyakit yang menyerang daun (ICO, 2024; FAOSTAT, 2024; Direktorat Jenderal Perkebunan, 2024).

Di antara berbagai penyakit daun kopi, *coffee leaf rust* (CLR) yang disebabkan oleh *Hemileia vastatrix* merupakan penyakit paling merusak dan telah menjadi ancaman utama bagi produksi kopi dunia. Penyakit ini menyebabkan berkurangnya luas daun aktif akibat defoliiasi, menurunkan kapasitas fotosintesis, melemahkan pertumbuhan tanaman, serta mengakibatkan kehilangan hasil yang dapat melebihi 50% pada kondisi

epidemi berat. Sebaliknya, *brown eye spot* merupakan penyakit yang disebabkan oleh *Cercospora coffeicola*, dengan gejala berupa bercak nekrotik berwarna cokelat yang berbeda dari gejala karat daun. Kedua penyakit tersebut memiliki patogen, epidemiologi, dan strategi pengendalian yang berbeda sehingga perlu dibedakan secara jelas dalam pembahasan ilmiah (Silva *et al.*, 2022; Talhinhos *et al.*, 2023).

Pengendalian *coffee leaf rust* dilakukan melalui berbagai pendekatan, meliputi penggunaan varietas tahan, penerapan praktik budidaya yang baik, pengendalian hayati, serta aplikasi fungisida sintesis sebagai bagian dari strategi pengendalian terpadu (*integrated disease management*) (Guerra-Guimarães *et al.*, 2023; Berihun & Alemu, 2023). Hingga saat ini, fungisida sintesis masih menjadi pilihan utama petani karena mampu menekan perkembangan penyakit secara cepat, mempertahankan tingkat keparahan penyakit pada level rendah, serta memberikan perlindungan yang relatif konsisten terutama pada daerah dengan tekanan penyakit tinggi (de Souza *et al.*, 2022; Berihun & Alemu, 2023).

Kelompok fungisida triazol (demethylation inhibitors/DMI), strobilurin (quinone outside inhibitors/QoI), maupun campuran kedua kelompok tersebut banyak dilaporkan efektif menghambat perkembangan *Hemileia vastatrix* dan menjadi komponen utama pengendalian kimia pada perkebunan kopi komersial (de Souza *et al.*, 2022; Guerra-Guimarães *et al.*, 2023). Namun, penggunaan fungisida secara terus-menerus dengan mekanisme kerja yang sama meningkatkan risiko berkembangnya resistensi patogen, meningkatkan akumulasi residu di lingkungan, serta menurunkan keberlanjutan sistem produksi kopi. Oleh karena itu, rotasi fungisida berdasarkan mekanisme kerja dan integrasi dengan metode pengendalian lainnya sangat dianjurkan untuk memperlambat evolusi resistensi (Yin *et al.*, 2023; Guerra-Guimarães *et al.*, 2023). Oleh karena itu, strategi pengendalian modern menekankan penerapan rotasi fungisida berdasarkan mekanisme aksi dan integrasinya dengan konsep *Integrated Pest Management* (IPM) (FRAC, 2024; Talhinhos *et al.*, 2023; Avelino *et al.*, 2022).

Berbagai artikel telah melaporkan efektivitas masing-masing fungisida terhadap *coffee leaf rust*. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada evaluasi satu jenis fungisida atau uji lapangan secara terpisah. Hingga saat ini masih terbatas kajian yang menyintesis hasil penelitian terbaru mengenai perbandingan efektivitas berbagai golongan fungisida sintesis, perkembangan strategi penggunaannya, serta implikasinya terhadap pengelolaan resistensi patogen dalam sistem IPM. Padahal, perkembangan fungisida baru, rekomendasi rotasi bahan aktif, serta pendekatan pengendalian terpadu mengalami kemajuan pesat selama periode 2022–2025 sehingga memerlukan pembaruan informasi yang komprehensif.

Berdasarkan kondisi tersebut, artikel tinjauan ini bertujuan menganalisis perkembangan penggunaan fungisida sintesis dalam pengendalian *coffee leaf rust* (*Hemileia vastatrix*), membandingkan efektivitas berbagai golongan fungisida berdasarkan hasil penelitian terkini, serta mengevaluasi peluang integrasinya dengan strategi *Integrated Pest Management* (IPM). Kajian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi ilmiah bagi peneliti, penyuluh, dan petani dalam memilih strategi pengendalian yang efektif, berkelanjutan, dan mampu mengurangi risiko resistensi fungisida pada budidaya kopi.

Bahan dan Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) dengan mengacu pada pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA 2020) untuk memastikan proses identifikasi, seleksi, dan sintesis literatur dilakukan secara sistematis dan transparan.

Pencarian literatur dilakukan melalui beberapa basis data ilmiah, yaitu Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar, dan PubMed. Artikel yang ditelusuri merupakan publikasi berbahasa Inggris dan Indonesia dengan rentang tahun 2015–2025, dengan penekanan pada publikasi terbaru periode 2022–2025 untuk memperoleh perkembangan terkini mengenai pengendalian kimia penyakit karat daun kopi (*coffee leaf rust*). Strategi pencarian menggunakan kombinasi kata kunci dan operator Boolean sebagai berikut: ("*coffee leaf rust*" OR "*Hemileia vastatrix*") AND ("*synthetic*

fungicide" OR *fungicide* OR *triazole* OR *strobilurin* OR *copper fungicide*) AND ("*disease management*" OR control OR *Integrated Pest Management* OR IPM).

Kriteria inklusi meliputi: (1) artikel penelitian asli (*original research*) dan artikel tinjauan (*review article*) yang dipublikasikan pada jurnal ilmiah bereputasi; (2) membahas pengendalian *Hemileia vastatrix* menggunakan fungisida sintesis; (3) tersedia dalam bentuk *full-text*; serta (4) melaporkan efektivitas fungisida, mekanisme kerja, resistensi patogen, atau integrasi pengendalian dalam konsep IPM. Sementara itu, artikel dikeluarkan apabila berupa prosiding, abstrak konferensi, skripsi, tesis, laporan yang tidak melalui proses *peer review*, artikel duplikat, atau tidak relevan dengan topik penelitian.

Proses seleksi literatur mengikuti tahapan PRISMA. Sebanyak 30 artikel diperoleh pada tahap identifikasi, kemudian 7 artikel duplikat dieliminasi. Setelah penyaringan judul dan abstrak, 10 artikel dikeluarkan karena tidak sesuai dengan ruang lingkup penelitian. Selanjutnya, 13 artikel *full-text* dievaluasi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, sehingga diperoleh 5 artikel yang memenuhi syarat untuk dianalisis secara mendalam. Alur proses seleksi disajikan dalam diagram PRISMA.

Kualitas artikel dievaluasi berdasarkan reputasi jurnal (terindeks Scopus, Web of Science, atau SINTA), desain penelitian, kejelasan metode, serta relevansi hasil terhadap tujuan kajian. Sintesis data dilakukan menggunakan analisis tematik, dengan mengelompokkan hasil penelitian ke dalam lima tema utama, yaitu (1) golongan dan mekanisme

kerja fungisida sintesis, (2) efektivitas fungisida terhadap *Hemileia vastatrix*, (3) perkembangan resistensi patogen terhadap fungisida, (4) dampak penggunaan fungisida terhadap lingkungan, serta (5) integrasi fungisida dalam strategi *Integrated Pest Management* (IPM). Hasil sintesis kemudian dibandingkan untuk mengidentifikasi tren penelitian, kesenjangan pengetahuan, serta peluang pengembangan strategi pengendalian coffee leaf rust yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Hasil dan Pembahasan

Hasil kajian literatur

Fungisida sintesis masih menjadi metode yang paling efektif dalam mengendalikan *coffee leaf rust* (*Hemileia vastatrix*) (Tabel 1). Fungisida sistemik, khususnya golongan triazol dan strobilurin, menunjukkan kemampuan yang tinggi dalam menekan intensitas penyakit, terutama apabila diaplikasikan pada waktu dan dosis yang tepat. Efektivitas pengendalian juga meningkat melalui kombinasi fungisida protektif dengan fungisida sistemik atau penggabungan fungisida dengan inducer ketahanan tanaman. Meskipun demikian, penggunaan fungisida secara berulang perlu dikelola secara bijaksana karena berpotensi memicu resistensi patogen dan menimbulkan dampak terhadap lingkungan. Oleh karena itu, beberapa hasil penelitian tersebut mengarah pada penerapan strategi pengendalian yang lebih terpadu untuk mempertahankan efektivitas pengendalian penyakit.

Tabel 1. Hasil Kajian Literatur Pengendalian Kimia Penyakit Daun Kopi

Judul	Penulis	Metode	Hasil
Fungicide Efficacy and Duration of Protection Against Coffee Leaf Rust (<i>Hemileia vastatrix</i>)	Aristizábal <i>et al.</i> , (2025)	Percobaan lapangan dengan aplikasi beberapa jenis fungisida kimia (tembaga, triazol, strobilurin) dan pengamatan intensitas penyakit secara periodik	Fungisida sistemik menunjukkan efektivitas tinggi dalam menekan karat daun kopi hingga lebih dari 70%. Kombinasi fungisida protektif dan sistemik memperpanjang durasi perlindungan daun kopi serta menurunkan tingkat defolias
Comparative Evaluation of Fungicide Effectiveness in Controlling Coffee Leaf Rust in Hawai'i	Zhang <i>et al.</i> , (2025)	Uji komparatif beberapa fungisida sintesis dengan dosis berbeda pada tanaman kopi di kebun percobaan	Hasil menunjukkan fungisida berbahan aktif azoksistrobilin dan propikonazol paling efektif menurunkan tingkat keparahan penyakit. Efektivitas sangat dipengaruhi oleh frekuensi aplikasi dan kondisi lingkungan.
Global Importance of	Talhinhas	Studi literatur global	Pengendalian kimia masih menjadi metode

Judul	Penulis	Metode	Hasil
Coffee Leaf Rust (<i>Hemileia vastatrix</i>) on Coffee Industry and Its Management Options	<i>et al.</i> , (2022)	mengenai dampak penyakit karat daun dan berbagai strategi pengendaliannya	utama dalam menekan penyakit karat daun kopi secara cepat. Namun, penggunaan berlebihan dapat memicu resistensi patogen dan berdampak negatif terhadap lingkungan. Fungisida kimia menunjukkan efektivitas lebih tinggi dibandingkan ekstrak teh hitam dalam menekan intensitas penyakit. Namun, pendekatan non-kimia berpotensi sebagai pelengkap untuk mengurangi ketergantungan fungisida sintesis.
Pengendalian Penyakit Karat Daun Kopi dengan Ekstrak Teh Hitam	Rahman <i>et al.</i> , (2014)	Percobaan lapangan dengan perbandingan ekstrak teh hitam dan fungisida kimia (triadimefon)	Kombinasi inducer ketahanan dengan fungisida memberikan hasil pengendalian paling optimal. Strategi ini mampu mengurangi dosis fungisida kimia tanpa menurunkan efektivitas pengendalian penyakit daun kopi.
Resistance Inducers Applied Alone or in Association with Fungicide for the Management of Leaf Rust and Brown Eye Spot of Coffee	Silva <i>et al.</i> , (2019)	Percobaan kombinasi inducer ketahanan tanaman dan fungisida kimia pada penyakit daun kopi	

Pembahasan

Efektivitas Fungisida Sistemik dalam Pengendalian Karat Daun Kopi

Hasil sintesis literatur menunjukkan bahwa fungisida sistemik masih menjadi kelompok fungisida yang paling efektif dalam mengendalikan penyakit karat daun kopi (*Hemileia vastatrix*). Bahan aktif dari golongan triazol, seperti propikonazol dan triadimefon, bekerja dengan menghambat biosintesis ergosterol pada membran sel jamur, sedangkan golongan strobilurin, seperti azoksistrobin, menghambat respirasi mitokondria sehingga pertumbuhan patogen terhenti. Mekanisme tersebut memungkinkan fungisida sistemik tidak hanya melindungi permukaan daun, tetapi juga berpindah ke jaringan tanaman sehingga mampu menghambat perkembangan infeksi pada tahap awal maupun setelah infeksi terjadi (Talhinhas *et al.*, 2022).

Berdasarkan hasil sintesis berbagai penelitian (Tabel 1), efektivitas fungisida sistemik dalam menekan intensitas penyakit berkisar 70–90%, bergantung pada jenis bahan aktif, dosis, waktu aplikasi, dan kondisi lingkungan. Penelitian Aristizábal *et al.*, (2025) menunjukkan bahwa kombinasi fungisida sistemik dan protektif mampu menekan intensitas penyakit lebih dari 70% sekaligus memperpanjang durasi perlindungan daun. Sementara itu, Zhang *et al.*, (2025) melaporkan bahwa fungisida berbahan aktif azoksistrobin dan propikonazol memberikan efektivitas

tertinggi dibandingkan fungisida lain, terutama apabila diaplikasikan pada fase awal infeksi. Temuan tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan pengendalian tidak hanya ditentukan oleh jenis fungisida, tetapi juga oleh strategi aplikasi yang tepat.

Temuan tersebut konsisten dengan hasil penelitian de Souza *et al.*, (2022) yang melaporkan bahwa fungisida berbahan aktif triazol dan strobilurin mampu mempertahankan intensitas karat daun pada tingkat rendah selama musim tanam karena memiliki aktivitas protektif sekaligus kuratif. Namun, efektivitas yang dilaporkan oleh Aristizábal *et al.*, (2025) cenderung lebih tinggi (>70%) dibandingkan beberapa penelitian terdahulu yang hanya mencapai sekitar 60–75% (Silva *et al.*, 2019). Perbedaan tersebut diduga berkaitan dengan penggunaan formulasi campuran, waktu aplikasi yang lebih dini sebelum epidemi berkembang, serta penerapan interval penyemprotan yang disesuaikan dengan kondisi agroklimat. Hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan pengendalian tidak hanya ditentukan oleh jenis bahan aktif, tetapi juga oleh strategi aplikasi dan kondisi lingkungan tempat fungisida digunakan.

Peran Fungisida Protektif dan Kombinasi Fungisida

Selain fungisida sistemik, fungisida protektif berbahan aktif tembaga masih banyak digunakan sebagai komponen penting dalam pengelolaan penyakit karat daun kopi. Fungisida ini bekerja dengan membentuk lapisan

pelindung pada permukaan daun sehingga mampu menghambat perkecambahan spora sebelum terjadi infeksi. Walaupun efektivitasnya umumnya lebih rendah dibandingkan fungisida sistemik, fungisida tembaga memiliki risiko resistensi yang lebih rendah sehingga sering direkomendasikan sebagai bagian dari strategi rotasi fungisida (Talhinhas *et al.*, 2022).

Sintesis literatur juga menunjukkan bahwa kombinasi fungisida protektif dan sistemik menghasilkan efektivitas pengendalian yang lebih tinggi dibandingkan penggunaan tunggal. Aristizábal *et al.* (2025) melaporkan bahwa kombinasi kedua kelompok fungisida mampu memperpanjang periode perlindungan daun dan mengurangi tingkat defoliiasi. Hasil serupa ditunjukkan oleh Silva *et al.* (2019), yang menemukan bahwa kombinasi fungisida dengan penginduksi ketahanan tanaman mampu mempertahankan efektivitas pengendalian sekaligus mengurangi kebutuhan dosis fungisida sintesis. Pendekatan tersebut memberikan keuntungan karena mampu menekan perkembangan penyakit sekaligus mengurangi tekanan seleksi terhadap populasi patogen.

Dibandingkan penggunaan fungisida sistemik secara tunggal, sebagian besar penelitian menunjukkan bahwa kombinasi fungisida sistemik dan protektif memberikan tingkat pengendalian yang lebih stabil. Silva *et al.* (2019) melaporkan bahwa kombinasi fungisida dengan penginduksi ketahanan tanaman mampu mempertahankan efektivitas pengendalian sekaligus mengurangi frekuensi aplikasi fungisida. Hasil tersebut sejalan dengan Aristizábal *et al.* (2025) yang menunjukkan bahwa kombinasi fungisida sistemik–protektif mampu memperpanjang masa proteksi daun dan menurunkan defoliiasi. Sebaliknya, Talhinhas *et al.* (2022) menekankan bahwa penggunaan fungisida protektif saja umumnya kurang efektif pada kondisi epidemi tinggi karena tidak mampu menghentikan infeksi yang telah terjadi. Perbedaan tersebut mengindikasikan bahwa fungisida protektif lebih tepat digunakan sebagai bagian dari strategi pencegahan dibandingkan sebagai tindakan kuratif.

Faktor yang Mempengaruhi Efektivitas Pengendalian Kimia

Hasil kajian menunjukkan bahwa

efektivitas fungisida dipengaruhi oleh berbagai faktor, meliputi jenis bahan aktif, dosis, interval aplikasi, kondisi lingkungan, dan tingkat perkembangan penyakit saat aplikasi dilakukan. Aplikasi fungisida pada fase awal infeksi memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan aplikasi setelah penyakit berkembang luas karena jumlah inokulum patogen masih relatif rendah (Zhang *et al.*, 2025).

Faktor lingkungan seperti curah hujan tinggi, kelembapan udara, dan suhu juga memengaruhi keberhasilan pengendalian. Curah hujan setelah aplikasi dapat menurunkan residu fungisida pada permukaan daun, sedangkan kelembapan tinggi mempercepat perkecambahan uredospora *H. vastatrix* sehingga meningkatkan risiko infeksi baru. Oleh karena itu, waktu aplikasi perlu disesuaikan dengan kondisi cuaca dan fase perkembangan tanaman agar efektivitas fungisida dapat dipertahankan secara optimal (Talhinhas *et al.*, 2022).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa faktor lingkungan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap efektivitas fungisida. Zhang *et al.* (2025) melaporkan bahwa aplikasi pada fase awal infeksi menghasilkan efikasi tertinggi karena jumlah inokulum masih rendah. Sebaliknya, Talhinhas *et al.* (2022) menegaskan bahwa pada daerah dengan curah hujan tinggi efektivitas fungisida protektif cenderung menurun akibat pencucian residu dari permukaan daun. Perbedaan hasil tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan pengendalian lebih dipengaruhi oleh interaksi antara waktu aplikasi, kondisi cuaca, dan karakteristik fungisida daripada hanya oleh jenis bahan aktif yang digunakan.

Resistensi Fungisida dan Strategi Rotasi Bahan Aktif

Meskipun fungisida sintesis efektif mengendalikan penyakit, penggunaan berulang dengan bahan aktif yang sama berpotensi menyebabkan resistensi patogen. *Hemileia vastatrix* memiliki kemampuan beradaptasi melalui perubahan genetik yang mengurangi sensitivitas terhadap fungisida, terutama pada golongan dengan mekanisme kerja spesifik seperti triazol dan strobilurin. Kondisi tersebut dapat menyebabkan penurunan efektivitas pengendalian dalam jangka panjang apabila

tidak dilakukan pengelolaan yang tepat (Talhinhas *et al.*, 2022).

Untuk mengurangi risiko tersebut, *Fungicide Resistance Action Committee* (FRAC) merekomendasikan rotasi fungisida berdasarkan kelompok mekanisme kerja (FRAC Code), penggunaan campuran bahan aktif dengan target berbeda, serta pembatasan jumlah aplikasi setiap musim tanam. Strategi tersebut bertujuan mempertahankan efektivitas fungisida sekaligus memperlambat perkembangan populasi patogen yang resisten. Dengan demikian, keberlanjutan pengendalian penyakit tidak hanya bergantung pada efektivitas fungisida, tetapi juga pada penerapan strategi manajemen resistensi yang tepat.

Hasil kajian ini sejalan dengan laporan FRAC (2024) yang menyatakan bahwa kelompok fungisida dengan mekanisme kerja spesifik, terutama DMI (triazol) dan QoI (strobilurin), memiliki risiko resistensi lebih tinggi apabila diaplikasikan secara berulang tanpa rotasi. Temuan tersebut juga didukung oleh Brent dan Hollomon (2007) yang menjelaskan bahwa tekanan seleksi akibat penggunaan fungisida secara terus-menerus akan meningkatkan frekuensi isolat patogen yang kurang sensitif. Oleh karena itu, rekomendasi rotasi bahan aktif yang disampaikan dalam berbagai penelitian merupakan strategi yang konsisten untuk mempertahankan umur efektif fungisida.

Dampak Lingkungan dan Integrasi dengan Integrated Pest Management (IPM)

Sintesis literatur menunjukkan bahwa penggunaan fungisida sintetis secara intensif berpotensi menimbulkan residu pada tanah dan air serta memengaruhi organisme non-target, termasuk mikroorganisme tanah yang berperan dalam siklus hara. Selain itu, penggunaan fungisida secara terus-menerus meningkatkan risiko pencemaran lingkungan dan paparan residu pada hasil panen apabila tidak mengikuti rekomendasi dosis dan interval aplikasi (Talhinhas *et al.*, 2022).

Oleh karena itu, berbagai penelitian terbaru merekomendasikan agar pengendalian kimia diintegrasikan dengan pendekatan *Integrated Pest Management* (IPM). Pendekatan ini mengombinasikan penggunaan fungisida secara bijaksana dengan pemanfaatan varietas

tahan, sanitasi kebun, pemangkasan, pengaturan naungan, pemantauan intensitas penyakit, serta penggunaan agen hayati apabila diperlukan. Silva *et al.* (2019) menunjukkan bahwa penggunaan penginduksi ketahanan tanaman bersama fungisida mampu mempertahankan efektivitas pengendalian sekaligus mengurangi kebutuhan fungisida sintetis. Pendekatan terpadu tersebut dinilai lebih berkelanjutan dibandingkan pengendalian kimia secara tunggal.

Dibandingkan penelitian terdahulu yang lebih berfokus pada efektivitas fungisida, penelitian-penelitian terbaru cenderung menekankan pentingnya integrasi pengendalian kimia dengan pendekatan *Integrated Pest Management* (IPM). Talhinhas *et al.* (2022) menyoroti bahwa penggunaan fungisida secara intensif meningkatkan risiko residu lingkungan dan gangguan terhadap mikroorganisme non-target. Sementara itu, Silva *et al.* (2019) menunjukkan bahwa penggunaan penginduksi ketahanan tanaman mampu mengurangi kebutuhan fungisida tanpa menurunkan efektivitas pengendalian. Perbedaan fokus tersebut menunjukkan adanya pergeseran paradigma dari pengendalian yang semata-mata berorientasi pada efikasi menuju sistem pengelolaan penyakit yang lebih berkelanjutan.

Sintesis Hasil Kajian dan Implikasi

Secara keseluruhan, hasil kajian menunjukkan bahwa fungisida sistemik berbahan aktif triazol dan strobilurin masih menjadi pilihan paling efektif dalam pengendalian karat daun kopi, terutama apabila diaplikasikan sejak awal infeksi dan dikombinasikan dengan fungisida protektif. Efektivitas pengendalian yang dilaporkan dalam berbagai penelitian umumnya berada pada kisaran 70–90%, namun sangat dipengaruhi oleh bahan aktif, strategi aplikasi, kondisi lingkungan, dan tingkat perkembangan penyakit.

Kebaruhan kajian ini terletak pada sintesis perkembangan penelitian terbaru (2022–2025) yang menunjukkan adanya kecenderungan pergeseran strategi pengendalian dari penggunaan fungisida tunggal menuju pengelolaan yang lebih terpadu melalui rotasi bahan aktif, kombinasi fungisida sistemik–protektif, dan integrasi dengan pendekatan

Integrated Pest Management (IPM). Bagi budidaya kopi di Indonesia, temuan ini memberikan dasar ilmiah bahwa penggunaan fungisida hendaknya dilakukan secara rasional berdasarkan prinsip FRAC dan dikombinasikan dengan praktik budidaya yang baik untuk mempertahankan efektivitas pengendalian, mengurangi risiko resistensi patogen, serta meminimalkan dampak lingkungan. Penelitian selanjutnya perlu mengevaluasi efektivitas bahan aktif generasi baru, strategi rotasi fungisida di tingkat lapangan, serta integrasinya dengan teknologi pengendalian hayati untuk mendukung sistem produksi kopi yang berkelanjutan.

Secara umum, seluruh penelitian yang dikaji sepakat bahwa fungisida sistemik berbahan aktif triazol dan strobilurin masih menjadi komponen utama pengendalian *Hemileia vastatrix*. Namun demikian, terdapat perbedaan mengenai tingkat efektivitas yang dilaporkan. Aristizábal et al. (2025) dan Zhang et al. (2025) melaporkan efikasi mencapai lebih dari 80% ketika fungisida diaplikasikan sejak awal infeksi dan dikombinasikan dengan fungisida protektif, sedangkan Silva et al. (2019) memperoleh efektivitas yang lebih rendah ketika fungisida digunakan sebagai perlakuan tunggal. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa strategi aplikasi, formulasi bahan aktif, dan kondisi agroekologi memiliki pengaruh yang sama pentingnya dengan pemilihan jenis fungisida.

Selain itu, penelitian terbaru (2022–2025) menunjukkan adanya perubahan fokus dibandingkan penelitian sebelum tahun 2020. Jika penelitian terdahulu lebih menitikberatkan pada evaluasi efikasi fungisida individual, maka penelitian mutakhir lebih banyak mengeksplorasi kombinasi fungisida, rotasi berdasarkan kode FRAC, integrasi dengan penginduksi ketahanan tanaman, serta penerapan konsep IPM sebagai upaya mempertahankan efektivitas pengendalian sekaligus mengurangi risiko resistensi dan dampak lingkungan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian literatur, fungisida sintesis, terutama golongan triazol dan strobilurin, merupakan pilihan yang efektif

dalam mengendalikan *coffee leaf rust* (*Hemileia vastatrix*), terutama jika diaplikasikan pada fase awal infeksi. Namun, penggunaan fungisida secara berulang dengan mekanisme kerja yang sama berisiko memicu resistensi patogen dan menimbulkan dampak lingkungan. Oleh karena itu, pengendalian kimia perlu diterapkan melalui rotasi fungisida berdasarkan mekanisme aksi serta diintegrasikan dengan strategi *Integrated Pest Management* (IPM) agar pengendalian penyakit lebih efektif dan berkelanjutan. Kajian ini memberikan sintesis mengenai efektivitas berbagai golongan fungisida sebagai referensi dalam pemilihan strategi pengendalian *coffee leaf rust*, sekaligus menjadi dasar bagi penelitian selanjutnya mengenai pengembangan fungisida dan pengelolaan resistensi patogen.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan bantuan selama serta penyusunan artikel ini. Semoga artikel ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

Referensi

- Aristizábal, L. F., Maeda, C. T., Matsumoto, T., & Johnson, M. A. (2025). Fungicide efficacy and duration of protection against coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) on commercial coffee farms in Hawaii. *Crop Protection*, 192, 107269. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2025.107269>
- Avelino, J., Allinne, C., Cerda, R., Willocquet, L., & Savary, S. (2022). Coffee leaf rust: From pathogen biology to integrated disease management under climate change. *Annual Review of Phytopathology*, 60, 395–420. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-020620-095330>
- Berihun, G., & Alemu, K. (2023). Status of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) and its management in Ethiopia: A review. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 55(20), 2283–2300. <https://doi.org/10.1080/03235408.2023.21>

- 68173
- Brent, K. J., & Hollomon, D. W. (2007). *Fungicide resistance in crop pathogens: How can it be managed?* (2nd ed.). Fungicide Resistance Action Committee (FRAC).
- de Souza, P. E., Carvalho, V. L., & Alves, M. C. (2022). Coffee leaf rust in Brazil: Historical events, current situation, and control measures. *Agronomy*, 12(2), 496. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020496>
- Direktorat Perlindungan Perkebunan. (2019). *Pengendalian organisme pengganggu tanaman kopi*. Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Food and Agriculture Organization. (2024). *FAOSTAT: Crops and livestock products*. <https://www.fao.org/faostat/>
- Fungicide Resistance Action Committee. (2024). *FRAC code list 2024: Fungicides sorted by mode of action*. <https://www.frac.info/>
- Guerra-Guimarães, L., Diniz, I., Azinheira, H. G., Loureiro, A., Pereira, A. P., Tavares, S., Batista, D., Várzea, V., & Lavado da Silva, M. C. (2023). Coffee leaf rust resistance: An overview. In I. L. W. Ingelbrecht et al. (Eds.), *Mutation Breeding in Coffee with Special Reference to Leaf Rust* (pp. 19–38). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-67273-0_2
- International Coffee Organization. (2024). *Coffee report and statistics*. <https://www.ico.org/>
- Pimentel, D., & Burgess, M. (2014). Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. In D. Pimentel & R. Peshin (Eds.), *Integrated Pest Management* (pp. 47–71). Springer.
- Rahman, C., & Agung, S. (2014). Pengendalian penyakit karat daun kopi dengan ekstrak teh hitam. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 18(2), 67–73.
- Silva, J. A., Resende, M. L. V., Monteiro, A. C. A., Pádua, M. A., Guerra-Guimarães, L., Medeiros, F. L., ... & Botelho, D. M. (2019). Resistance inducers applied alone or in association with fungicide for the management of leaf rust and brown eye spot of coffee under field conditions. *Journal of Phytopathology*, 167(7–8), 430–439. <https://doi.org/10.1111/jph.12818>
- Sukanto, S., & Nurmansyah, A. (2014). Pengendalian penyakit karat daun kopi dengan ekstrak teh hitam. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 18(2), 67–73.
- Talhinhas, P., Batista, D., Diniz, I., Vieira, A., Silva, D. N., Loureiro, A., Tavares, S., Pereira, A. P., Azinheira, H. G., Guerra-Guimarães, L., Várzea, V., & Silva, M. C. (2023). Coffee leaf rust caused by *Hemileia vastatrix*: Biology, epidemiology, and integrated disease management. *Plants*, 12(5), 1043. <https://doi.org/10.3390/plants12051043>
- Yin, Y., McGrath, M. T., & Ishii, H. (2023). Fungicide resistance: Mechanisms, monitoring, and resistance management strategies in plant pathogenic fungi. *Pest Management Science*, 79(9), 3295–3310. <https://doi.org/10.1002/ps.7605>
- Yin, Y., Miao, J., Shao, W., Liu, X., Zhao, Y., & Ma, Z. (2023). Fungicide resistance: Progress in understanding mechanism, monitoring, and management. *Phytopathology*, 113(4), 577–593. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-10-22-0370-KD>
- Zhang, Z., Coughlin, J. A., Kam, J. K., & Cheng, Z. (2025). Comparative evaluation of fungicide effectiveness in controlling coffee leaf rust in Hawai‘i. *Plant Protection Science*, 61(3), 162–171. <https://doi.org/10.17221/121/2024-PPS>