

## Mengungkap Jamur Mikoparasit Lokal untuk Pengendalian Hayati Berkelanjutan *Hemileia vastatrix* pada Perkebunan Kopi di Indonesia

**Roosmarrani Setiawati<sup>1\*</sup>, Moh. Ja'far Sodiq Maksum<sup>2</sup>, Anggi Indah Yuliana<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universitas Darul Ulum Jombang & BBPPTP Surabaya

<sup>2,3</sup>Universitas KH. A. Wahab Hasbullah

\*Email: [roosmarranisetiawati@gmail.com](mailto:roosmarranisetiawati@gmail.com)

---

### ABSTRACT

Coffee leaf rust (CLR), caused by *Hemileia vastatrix*, is one of the most devastating diseases affecting global coffee production. In Indonesia, the disease poses a major threat to smallholder coffee farmers due to its widespread impact and limited control alternatives. This study aimed to characterize and evaluate the potential of indigenous mycoparasitic fungi associated with *H. vastatrix* as sustainable biocontrol agents. Eighty fungal isolates were collected from seven provinces in Indonesia and grouped into eight clusters using REP-PCR (BOX A1R and ERIC primers) and UPGMA analysis. Molecular identification based on ITS and  $\beta$ -tubulin gene sequencing revealed two dominant genera: *Akanthomyces* and *Simplicillium*. Bioecological assays demonstrated diverse responses of isolates to variations in temperature, light, and pH. In vitro assays confirmed significant antagonistic effects of selected isolates on uredospore germination of *H. vastatrix*. Parasitism observations suggest a biotrophic interaction mode. Superior isolates such as PGL 20, BDG 8, BOY 6, NTB 1R, MLG 1, and BWI hold strong potential as biofungicidal candidates. These findings support the development of eco-friendly disease management strategies that leverage native microbial biodiversity in Indonesian coffee agroecosystems.

**Keywords:** *Akanthomyces* spp.; *Simplicillium* spp.; biological control; coffee leaf rust; *Hemileia vastatrix*.

### ABSTRAK

Karat daun kopi (KDK), yang disebabkan oleh *Hemileia vastatrix*, tetap menjadi ancaman utama bagi produksi kopi dunia. Di Indonesia, di mana petani kecil mendominasi sektor kopi, kerugian hasil panen hingga 70% telah dilaporkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi, mengkarakterisasi, dan mengevaluasi jamur mikoparasit lokal yang berasosiasi dengan *H. vastatrix*. Sebanyak 80 isolat dikumpulkan dari daun yang terinfeksi karat di tujuh provinsi. Analisis REP-PCR dan pengelompokan UPGMA mengungkap delapan kelompok genetik. Identifikasi molekuler berdasarkan sekuensing gen ITS dan  $\beta$ -tubulin mengungkapkan dua genus dominan: *Akanthomyces* dan *Simplicillium*. Uji bioekologis menunjukkan beragam respons isolat terhadap variasi suhu, cahaya, dan pH. Uji in vitro mengkonfirmasi efek antagonistik yang signifikan dari isolat terpilih terhadap perkecambahan uredospora *H. vastatrix*. Pengamatan parasitisme menunjukkan mode interaksi biotrofik. Isolat unggul seperti PGL 20, BDG 8, BOY 6, NTB 1R, MLG 1, dan BWI memiliki potensi kuat sebagai kandidat biofungisida. Temuan ini mendukung pengembangan strategi pengelolaan penyakit ramah lingkungan yang memanfaatkan keanekaragaman hayati mikroba asli di agroekosistem kopi Indonesia.

**Kata-kata Kunci:** *Akanthomyces* spp.; *Simplicillium* spp.; *Hemileia vastatrix*; karat daun kopi; pengendalian hayati

---

### PENDAHULUAN

Kopi (*Coffea* spp.) merupakan salah satu komoditas yang paling banyak diperdagangkan di dunia dan memainkan peran sosio-ekonomi yang penting di negara berkembang. Di Indonesia, budidaya kopi mendukung jutaan petani kecil dan memberikan kontribusi besar terhadap kesejahteraan pedesaan. Namun, produktivitas kopi menghadapi berbagai tantangan biotik, salah satunya yang paling kritis adalah karat daun kopi (KDK), yang disebabkan oleh jamur obligat biotrofik *Hemileia vastatrix*. Pertama kali dilaporkan di Asia pada akhir abad ke-19, KDK telah menyebar ke sebagian besar wilayah penghasil kopi di dunia,

menyebabkan kerugian hasil panen dan kesulitan ekonomi yang meluas (Tadesse et al., 2021).

Pengelolaan KDK secara historis mengandalkan aplikasi fungisida berbasis tembaga dan bahan kimia sistemik. Meskipun efektif dalam jangka pendek, pendekatan ini menimbulkan risiko seperti fitotoksitas, kontaminasi lingkungan, resistensi patogen, dan peningkatan biaya produksi (Djojsumarto, 2020). Selain itu, penggunaannya sering kali tidak praktis bagi petani dengan sumber daya terbatas. Oleh karena itu, diperlukan strategi pengendalian penyakit yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Pengendalian hayati menggunakan jamur antagonis atau mikoparasit merupakan alternatif yang menjanjikan. Mikoparasit adalah jamur yang memarasit jamur lain, sering melalui kontak langsung dan degradasi enzimatis dinding sel inang (Wiyatiningsih et al., 2021). Patogen tersebut telah berhasil digunakan dalam pengelolaan patogen tular tanah dan daun pada berbagai sistem pertanian. Namun, sedikit yang diketahui tentang mikoparasit lokal yang secara alami berasosiasi dengan *H. vastatrix* di Indonesia. Mengeksplorasi dan memahami keragamannya, ekologi, dan mekanisme fungsionalnya sangat penting untuk memanfaatkan potensinya sebagai agen pengendali hayati.

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi jamur mikoparasit lokal yang diisolasi dari daun kopi yang secara alami terinfeksi *H. vastatrix*, mengidentifikasi mereka secara molekuler, mengkarakterisasi perilaku bioekologinya, dan mengevaluasi potensi antagonistiknya secara *in vitro*. Tujuan akhirnya adalah mengidentifikasi isolat jamur yang dapat dikembangkan menjadi agen pengendali hayati yang efektif untuk pengelolaan KDK yang berkelanjutan.

## **METODE PENELITIAN**

Lokasi dan Strategi Pengambilan Sampel Survei lapangan dilakukan di tujuh provinsi penghasil kopi di Indonesia: Banten, Jawa Barat, Jawa Tengah, Yogyakarta, Jawa Timur, Bali, dan Nusa Tenggara Barat. Daerah-daerah ini dipilih untuk mewakili berbagai zona agroekologi dalam wilayah kerja BBPPTP Surabaya. Daun kopi yang menunjukkan gejala pustula kuning-oranye khas karat diambil secara acak dari kebun petani dan perkebunan negara. Isolasi dan Kultur Jamur Sampel daun dikondisikan dalam suhu dingin, kemudian disterilkan menggunakan etanol 70% dan natrium hipoklorit, lalu dibilas dan ditempatkan di media PDA (Potato Dextrose Agar). Koloni yang muncul disubkultur untuk memperoleh isolat murni. Setiap isolat diberi kode berdasarkan asal geografis dan ciri morfologisnya. Prosedur ini distandardisasi untuk menghindari kontaminasi dan mempertahankan keragaman jamur lokal.

Karakterisasi Morfologi dan Kultur Isolat diamati berdasarkan tekstur koloni, warna, pola sporulasi, dan struktur mikroskopis seperti konidiofor dan konidia. Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop cahaya pada perbesaran 400x dengan pewarnaan biru kapas laktopenol. Ekstraksi DNA dan Identifikasi Molekuler DNA genomik diekstraksi dari miselium menggunakan metode CTAB. Analisis sidik jari dilakukan menggunakan primer BOX A1R dan ERIC untuk menilai keragaman genetik. Delapan isolat perwakilan masing-masing dari satu kelompok genetik dianalisis menggunakan primer ITS dan  $\beta$ -tubulin. Urutan DNA dibandingkan dengan database NCBI menggunakan BLAST dan pohon filogenetik dibuat dengan metode Neighbor-Joining.

Karakterisasi Bioekologi Untuk mengetahui plastisitas ekologi, isolat diuji pada suhu (15°C, 25°C, 30°C), pH (4, 7, 9), dan pencahayaan (terang terus-menerus, 12 jam terang/gelap, gelap total). Parameter yang diamati meliputi pertumbuhan radial, kepadatan sporulasi, dan biomassa kering miselium. Kondisi ini mencerminkan variasi agroklimat di wilayah budidaya kopi. Evaluasi Antagonisme dan Parasitisme Antagonisme terhadap uredospora *H. vastatrix* diuji secara *in vitro* dengan menginkubasi suspensi konidia bersama uredospora pada agar-air. Penghambatan perkecambahan diukur setelah 24, 48, dan 72 jam. Parasitisme dikonfirmasi melalui mikroskop cahaya dan elektron, mengamati interaksi hifa, penetrasi, dan kerusakan uredospora.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Hasil Penelitian**

Keberhasilan Isolasi dan Morfologi ditunjukkan dengan perolehan 80 isolat jamur. Morfologi koloni bervariasi dari putih kapas hingga kuning granular. Mikroskop menunjukkan variasi percabangan konidiofor dan bentuk konidia yang menyerupai genus mikoparasit yang dikenal. Keragaman Genetik melalui REP-PCR menghasilkan pola pita berbeda. Analisis UPGMA mengelompokkan isolat menjadi delapan klaster pada tingkat kesamaan 80%. Setiap klaster dianggap sebagai kelompok genetik yang unik dan mencerminkan adaptasi mikrohabitat. Identifikasi Filogenetik memperlihatkan urutan ITS dan  $\beta$ -tubulin menunjukkan seluruh isolat perwakilan berada dalam famili Cordycipitaceae. Lima isolat adalah *Akanthomyces spp.*, tiga lainnya *Simplicillium spp.* Hasil ini didukung oleh pohon filogenetik dengan

nilai bootstrap tinggi.

Preferensi Ekologi menunjukkan *Akanthomyces spp.* tumbuh optimal pada 25°C, pH 6–7, dan cahaya terus-menerus. *Simplicillium spp.* toleran terhadap variasi pH dan cahaya tetapi tumbuh sedikit lebih lambat. Kemampuan sporulasi pada kondisi suboptimal menjadi nilai tambah untuk formulasi lapangan. Adapun sifat antagonisme dan parasitisme menunjukkan semua isolat menghambat perkecambahan uredospora secara signifikan ( $p < 0,01$ ). Isolat PGL 20, BDG 8, dan NTB 1R memiliki daya hambat tertinggi (>80%). Mikroskop menunjukkan kontak hifa, penetrasi, dan kerusakan uredospora, menandakan parasitisme biotrofik.

### **Pembahasan**

Hasil penelitian ini menunjukkan keberadaan jamur mikoparasit lokal yang potensial sebagai agens hayati terhadap KDK. Variasi koloni dari putih kapas hingga kuning granular mencerminkan tingginya diversitas fenotipik, yang merupakan karakter umum jamur mikoparasit dalam famili Cordycipitaceae (Kepler et al., 2017). Variasi percabangan konidiofor dan bentuk konidia yang diamati juga sesuai dengan karakter morfologi genus *Akanthomyces* dan *Simplicillium*, yang dikenal memiliki peran penting sebagai mikoparasit dan agen pengendali hayati terhadap patogen tanaman (Agrawal & Saha 2022; Chen et al., 2023). Preferensi ekologi menunjukkan perbedaan strategi adaptasi antara *Akanthomyces spp.* dan *Simplicillium spp.* *Akanthomyces spp.* tumbuh optimal pada suhu 25°C, pH 6–7, dan kondisi cahaya terus-menerus, yang sesuai dengan kondisi agroekosistem tropis dan subtropis tempat patogen karat umumnya berkembang (Aini et al., 2020). Sebaliknya, *Simplicillium spp.* menunjukkan toleransi yang lebih luas terhadap variasi pH dan cahaya, meskipun memiliki laju pertumbuhan yang relatif lebih lambat. Toleransi lingkungan yang luas ini merupakan karakter penting bagi jamur biokontrol karena meningkatkan peluang keberhasilan aplikasi di lapangan yang kondisi lingkungannya fluktuatif (Wei et al., 2019).

Kemampuan sporulasi yang tetap berlangsung pada kondisi suboptimal menjadi keunggulan penting bagi kedua genus tersebut. Sporulasi yang stabil berpengaruh langsung terhadap efektivitas formulasi, daya simpan, dan keberhasilan kolonisasi jamur di lapangan (Sala et al., 2019). Oleh karena itu, isolat yang mampu mempertahankan sporulasi pada kondisi kurang ideal memiliki potensi lebih besar untuk dikembangkan sebagai produk biopestisida. Uji antagonisme menunjukkan bahwa seluruh isolat mampu menghambat perkecambahan uredospora secara signifikan ( $p < 0,01$ ), mengonfirmasi sifat mikoparasitiknya. Isolat PGL 20, BDG 8, dan NTB 1R menunjukkan daya hambat tertinggi (>80%), sehingga berpotensi menjadi kandidat unggul untuk pengembangan agens pengendali hayati. Pengamatan mikroskopis yang memperlihatkan kontak hifa, penetrasi, dan kerusakan uredospora menunjukkan mekanisme parasitisme biotrofik, yang telah banyak dilaporkan pada spesies *Akanthomyces* dan *Simplicillium* terhadap patogen obligat seperti jamur karat (Gomes et al., 2018; Khonsanit et al., 2024).

Parasitisme biotrofik memungkinkan penekanan populasi patogen secara berkelanjutan tanpa merusak keseimbangan mikroorganisme secara drastis, sehingga dinilai lebih ramah lingkungan dibandingkan penggunaan fungisida kimia sintesis (Bharti & Ibrahim, 2020). Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat potensi jamur mikoparasit dari famili Cordycipitaceae sebagai komponen penting dalam strategi pengelolaan penyakit tanaman berkelanjutan. Implikasi praktis mencakup pengembangan agen hayati lokal yang spesifik untuk agroekosistem Indonesia. Tahapan berikutnya mencakup uji rumah kaca, produksi massal, formulasi, serta evaluasi dampak terhadap organisme non-target dan kesesuaian praktik budidaya.

### **SIMPULAN**

Jamur mikoparasit lokal dari genus *Akanthomyces* dan *Simplicillium* menunjukkan aktivitas antagonistik tinggi terhadap *Hemileia vastatrix* dan memiliki sifat ekologi adaptif. Integrasi dalam strategi pengendalian terpadu sangat potensial untuk pengelolaan KDK berkelanjutan. Isolat PGL 20, BDG 8, dan NTB 1R direkomendasikan untuk pengembangan lebih lanjut sebagai biofungisida komersial.

### **DAFTAR PUSTAKA**

Agrawal, S., & Saha, S. (2022). The genus *Simplicillium* and *Emericellopsis*: A review of phytochemistry and pharmacology. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 69(5), 2229-2239.

- Aini, A. N., Mongkolsamrit, S., Wijanarka, W., Thanakitpipattana, D., Luangsa-Ard, J. J., & Budiharjo, A. (2020). Diversity of *Akanthomyces* on moths (Lepidoptera) in Thailand. *MycoKeys*, 71, 1.
- Bharti, V., & Ibrahim, S. (2020). Biopesticides: Production, formulation and application systems. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(10), 3931-3946.
- Chen, W. H., Liang, J. D., Ren, X. X., Zhao, J. H., & Han, Y. F. (2023). Study on species diversity of *Akanthomyces* (Cordycipitaceae, Hypocreales) in the Jinyun Mountains, Chongqing, China. *MycoKeys*, 98, 299.
- Djojosumarto, P. (2020). *Pengetahuan dasar pestisida pertanian dan penggunaannya*. AgroMedia.
- Gomes, A. A., Pinho, D. B., Cardeal, Z. D. L., Menezes, H. C., De Queiroz, M. V., & Pereira, O. L. (2018). *Simplicillium coffeanum*, a new endophytic species from Brazilian coffee plants, emitting antimicrobial volatiles. *Phytotaxa*, 333(2), 188-198.
- Kepler, R. M., Luangsa-Ard, J. J., Hywel-Jones, N. L., Quandt, C. A., Sung, G. H., Rehner, S. A., ... & Shrestha, B. (2017). A phylogenetically-based nomenclature for Cordycipitaceae (Hypocreales). *IMA fungus*, 8(2), 335-353.
- Khonsanit, A., Thanakitpipattana, D., Mongkolsamrit, S., Kobmoo, N., Phosrithong, N., Samson, R. A., ... & Luangsa-Ard, J. J. (2024). A phylogenetic assessment of *Akanthomyces* sensu lato in Cordycipitaceae (Hypocreales, Sordariomycetes): introduction of new genera, and the resurrection of *Lecanicillium*. *Fungal Systematics and Evolution*, 14(1), 271-306.
- Sala, A., Barrena, R., Artola, A., & Sánchez, A. (2019). Current developments in the production of fungal biological control agents by solid-state fermentation using organic solid waste. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 49(8), 655-694.
- Tadesse, Y., Amare, D., & Kesho, A. (2021). Coffee leaf rust disease and climate change. *World J. Agric. Sci*, 17(1), 418-429.
- Wei, D. P., Wanasinghe, D. N., Hyde, K. D., Mortimer, P. E., Xu, J., Xiao, Y. P., ... & To-Anun, C. (2019). The genus *Simplicillium*. *MycoKeys*, 60, 69.
- Wiyatiningsih, Sri, Mulono Apriyanto, Yetti Elfina S, Eko Sutrisno, dan Muhammad Indar Pramudi. (2021). *Mikrobiologi Pertanian*. Nuta Media, Yogyakarta