

**AGENS HAYATI SEBAGAI ALTERNATIF PENGENDALIAN KARAT
PUTIH (*Puccinia horiana*) PADA KRISAN**

***BIOLOGICAL CONTROL AGENTS AS AN ALTERNATIVE FOR MANAGING
CHRYSANTHEMUM WHITE RUST (*Puccinia horiana*)***

¹Febry Nurhidayati¹, Desy Setyaningrum², Didik Suryadi³, Cahyaningtyas Putri
Suhita⁴, Dewi Nawang Suprihatin⁵, Anditya Gilang Rizky P⁶, Hardian Ningsih⁷, Dimar
Hantari⁸, Edi Paryanto⁹, Zainal Arifin¹⁰

^{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10}Program Studi Agribisnis, Sekolah Vokasi, Universitas Sebelas Maret

ABSTRACT

Chrysanthemum (Chrysanthemum spp.) is an important floricultural commodity in Indonesia. However, its production is seriously threatened by white rust caused by Puccinia horiana. Conventional control still depends on synthetic fungicides, which pose risks of pathogen resistance and environmental contamination. The use of biological control agents (BCAs) offers an environmentally friendly and sustainable alternative within the framework of Integrated Pest Management (IPM). This review summarizes current studies on the use of Pseudomonas fluorescens, Bacillus subtilis, Trichoderma spp., and Cladosporium spp. for managing white rust in chrysanthemum. The main mechanisms include antibiosis, parasitism, competition for space and nutrients, and induced systemic resistance (ISR). Research shows that BCAs can suppress P. horiana infection and improve plant growth, although their effectiveness varies depending on environmental conditions, formulation stability, and farmer adoption. Future research should focus on locally adapted isolates, improved formulation technology, and multilocation trials to ensure field consistency. Policy support and farmer participation are also essential to expand the use of BCAs and promote sustainable chrysanthemum production.

Key-words: biological control agents, chrysanthemum, puccinia horiana, white rust

INTISARI

Krisan (*Chrysanthemum spp.*) memiliki nilai penting sebagai komoditas florikultura di Indonesia. Namun, produksinya menghadapi ancaman serius dari karat putih yang disebabkan oleh *Puccinia horiana*. Pengendalian konvensional masih bergantung pada fungisida sintetis yang berpotensi menimbulkan resistensi dan pencemaran lingkungan. Pemanfaatan agens hayati menawarkan alternatif yang lebih ramah lingkungan dalam kerangka Pengendalian Hama Terpadu (PHT). Kajian ini merangkum hasil penelitian terkini mengenai penggunaan *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis*, *Trichoderma spp.*, dan *Cladosporium spp.* untuk mengendalikan karat putih pada krisan. Mekanisme utamanya meliputi antibiosis, parasitisme, kompetisi ruang dan nutrisi, serta induksi ketahanan sistemik (ISR). Berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa agens hayati mampu menekan infeksi *P. horiana* sekaligus meningkatkan pertumbuhan tanaman, meskipun efektivitasnya di lapangan masih dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, formulasi, dan tingkat adopsi petani. Riset ke depan perlu diarahkan pada eksplorasi isolat lokal, pengembangan formulasi berdaya simpan tinggi, serta uji multilokasi untuk memastikan konsistensi hasil. Dukungan kebijakan dan keterlibatan petani menjadi faktor penting dalam memperluas penerapan pengendalian hayati krisan secara berkelanjutan.

Kata kunci: karat putih, krisan, pengendalian hayati, *puccinia horiana*

^{1*}Correspondence author: Febry Nurhidayati. Email: febry.nurhidayati@staff.uns.ac.id

PENDAHULUAN

Krisan (*Chrysanthemum spp.*) merupakan salah satu bunga potong populer di Indonesia karena memiliki warna menarik dan daya tahan tinggi. Permintaannya terus meningkat, tidak hanya untuk dekorasi tetapi juga sebagai komoditas ekspor yang bernilai ekonomi bagi petani (Lagana et al., 2021). Namun, produksi krisan kerap terganggu oleh penyakit karat putih yang disebabkan oleh *Puccinia horiana*. Patogen ini dapat menurunkan hasil dan kualitas bunga serta mudah menyebar melalui bahan tanam tanpa sertifikasi, sehingga menurunkan daya saing krisan di pasar internasional.

Selama ini pengendalian karat putih masih mengandalkan fungisida sintesis. Penggunaan berulang fungisida dapat menimbulkan resistensi patogen dan pencemaran lingkungan. Beberapa isolat *P. horiana* bahkan dilaporkan sudah toleran terhadap fungisida tertentu, yang menimbulkan kekhawatiran terhadap keamanan hasil produksi (Chen et al., 2025). Di lapangan, sebagian besar petani masih bergantung pada cara konvensional ini, sehingga diperlukan alternatif pengendalian yang lebih aman dan berkelanjutan.

Pendekatan pengendalian dengan agens hayati kini semakin banyak dikembangkan karena dinilai lebih aman bagi lingkungan dan efektif menekan perkembangan penyakit tanaman. Beberapa studi lokal menilai potensi *Trichoderma sp.*, *Pseudomonas fluorescens*, dan *Paenibacillus polymyxa* terhadap karat putih pada krisan. Dari ketiganya, *Trichoderma sp.* dinilai paling menjanjikan karena mampu menurunkan intensitas penyakit di lapangan (Rares et al., 2015). Sebagian besar temuan masih terbatas pada percobaan laboratorium, sehingga uji multilokasi diperlukan untuk memastikan efektivitasnya pada berbagai agroekosistem.

Tulisan ini membahas strategi pengendalian karat putih krisan dengan fokus

pada pemanfaatan agens hayati, mencakup efektivitas, mekanisme kerja, serta keunggulan dan kendalanya. Selain itu, dibahas pula penerapannya di lapangan dan arah penelitian ke depan dalam kerangka Pengendalian Hama Terpadu (PHT) guna mendukung produksi krisan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

METODE PENELITIAN

Kajian ini disusun berdasarkan studi literatur yang mengulas berbagai penelitian mengenai pengendalian karat putih pada krisan selama sepuluh tahun terakhir (2015–2025). Data diperoleh dari jurnal nasional, jurnal internasional, serta beberapa laporan teknis yang relevan. Seluruh sumber dianalisis secara kritis untuk menilai jenis agens hayati yang digunakan, tingkat efektivitasnya, serta peluang penerapannya di lapangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Epidemiologi Karat Putih Krisan

Pengendalian penyakit karat putih yang disebabkan oleh *Puccinia horiana* perlu diawali dengan pemahaman terhadap biologi dan faktor lingkungan yang memengaruhi perkembangan patogen. Suhu dan kelembapan merupakan faktor utama yang menentukan proses infeksi dan penyebaran penyakit. Kondisi udara lembap dan suhu rendah mempercepat perkecambahan spora serta pembentukan pustula pada daun krisan. Studi di Amerika Serikat menunjukkan spora *P. horiana* dapat bertahan pada kondisi lembap dan memicu infeksi ulang saat kondisi menjadi kondusif (O’Keefe & Davis, 2015). Data dari Yogyakarta (Martini et al., 2022) menunjukkan insidensi penyakit lebih tinggi pada dataran tinggi dengan kelembapan stabil selama musim hujan. Curah hujan dan genangan air di permukaan daun turut

memperpanjang masa hidup spora, sehingga peluang infeksi meningkat.

Selain faktor iklim, praktik budidaya juga berpengaruh besar terhadap dinamika penyakit. Jarak tanam yang rapat, sirkulasi udara terbatas, serta ventilasi rumah kaca yang kurang baik menciptakan kondisi ideal bagi perkembangan karat putih. Penyakit ini juga sering menyebar melalui bahan tanam yang tampak sehat namun membawa inokulum laten. Bibit yang tidak tersertifikasi berpotensi menjadi sumber penyebaran patogen ke area produksi baru (Yusuf et al., 2015). *P. horiana* bahkan dapat menginfeksi jaringan tanaman secara sistemik, sehingga infeksi laten sering sulit dideteksi (Bonde et al., 2015).

Penyebaran penyakit di lapangan juga dipengaruhi oleh sistem distribusi bahan tanam dan kemampuan patogen bertahan antar musim. Oleh karena itu, pemeriksaan rutin terhadap bahan tanam serta penerapan standar perbanyakan yang higienis menjadi langkah penting untuk mengurangi risiko munculnya epidemi baru di sentra produksi krisan.

Jenis-jenis Agens Hayati

Bakteri

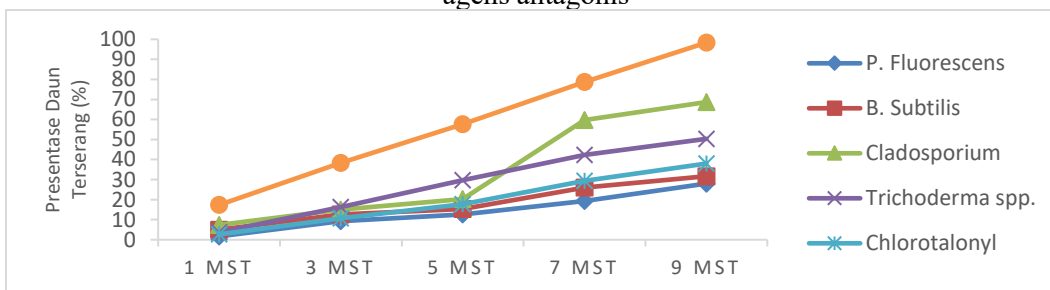
Bakteri merupakan agens hayati yang paling banyak dikaji. Di Indonesia, Hanudin et al. (2015) melaporkan bahwa isolat *Pseudomonas fluorescens* efektif

menekan pertumbuhan *P. horiana* baik pada uji in vitro maupun in vivo. Selain itu, *Bacillus subtilis* juga menunjukkan potensi besar sebagai agens biokontrol karena mampu menghasilkan senyawa antimikroba dan memicu ketahanan sistemik tanaman. Aplikasi filtrat kultur *B. subtilis* tidak hanya menekan perkembangan patogen, tetapi juga memperbaiki pertumbuhan tanaman hortikultura.

Jenis bakteri lain seperti *Paenibacillus polymyxa* dan *Bacillus firmus* termasuk kelompok PGPR (*Plant Growth-Promoting Rhizobacteria*) yang memiliki peran ganda, yaitu menekan serangan karat putih sekaligus meningkatkan pertumbuhan dan kualitas bunga krisan (Wiyono et al., 2023). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan bakteri antagonis tidak hanya efektif dalam pengendalian penyakit, tetapi juga mendukung peningkatan produktivitas tanaman secara keseluruhan.

Penelitian rumah kaca oleh Lala dan Tulung (2019) membandingkan beberapa isolat bakteri dan jamur antagonis dengan fungisida sintesis, dan hasilnya menunjukkan variasi efektivitas di antara isolat yang diuji (Gambar 1). Temuan tersebut menegaskan bahwa pemilihan dan seleksi isolat menjadi langkah penting dalam penerapan strategi pengendalian hayati yang optimal.

Gambar 1. Perkembangan persentase daun krisan terserang karat pada berbagai perlakuan agens antagonis



Keterangan : data diolah dari Lala dan Tulung (2019)

Hasil penelitian Lala dan Tulung (2019) menunjukkan bahwa isolat *P. fluorescens* mampu menekan perkembangan karat putih dengan efektivitas hampir setara dengan fungisida sintetis. Isolat ini menunjukkan tingkat serangan terendah sekitar 28% pada 9 minggu setelah tanam (MST), mendekati hasil perlakuan fungisida klorotalonil sebesar 38%. *B. subtilis* juga memberikan hasil cukup baik dengan tingkat serangan sekitar 31%.

Sebaliknya, *Cladosporium sp.* dan *Trichoderma spp.* menunjukkan efektivitas yang lebih rendah, dengan intensitas serangan mencapai 50–68% pada akhir pengamatan. Temuan ini mengindikasikan bahwa bakteri antagonis, khususnya *P. fluorescens*, memiliki potensi besar sebagai agens hayati yang mampu menekan infeksi *P. horiana* secara signifikan dan menjadi alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap fungisida kimia.

Jamur

Jamur antagonis juga berperan penting dalam pengendalian hayati karat putih pada krisan. Di antara berbagai jenis yang telah diuji, *Trichoderma harzianum* paling banyak dilaporkan efektif karena mampu berkompetisi memperebutkan ruang, menghasilkan enzim hidrolitik, dan beradaptasi baik di daerah perakaran (Yao et al., 2023). Ratu et al. (2024) melaporkan bahwa aplikasi *Trichoderma sp.* pada varietas Jayani menekan penyakit dan meningkatkan pertumbuhan vegetatif.

Spesies *Cladosporium cladosporioides* dan *C. pseudocladosporioides* juga dilaporkan efektif menghambat perkecambahan dan pertumbuhan spora *P. horiana*, sehingga berpotensi menjadi alternatif agens

biokontrol (Torres et al., 2017). Keunggulan utama kelompok jamur antagonis terletak pada kemampuannya berkolonisasi di jaringan tanaman sekaligus memperkuat mikroflora yang mendukung kesehatan tanaman secara keseluruhan.

Konsorsium

Pendekatan konsorsium, yaitu penggunaan beberapa agens hayati secara bersamaan, mulai banyak diterapkan karena dinilai lebih stabil dan efektif dibanding aplikasi tunggal. Kombinasi mikroba, seperti *Trichoderma* dengan *Bacillus amyloliquefaciens*, memungkinkan mekanisme saling melengkapi antara metabolit antibakteri dan enzim hidrolitik, sehingga lebih efektif menekan penyakit dan meningkatkan pertumbuhan tanaman (Kuang et al., 2023). Temuan serupa dilaporkan oleh Xu et al. (2020), bahwa aplikasi konsorsium menghasilkan pertumbuhan vegetatif lebih baik dan menurunkan keparahan penyakit.

Mekanisme Kerja Agens Hayati

Keberhasilan agens hayati dalam menekan karat putih krisan bergantung pada interaksinya dengan patogen dan tanaman inang. Secara umum, mekanisme pengendalian mencakup antibiosis, parasitisme, kompetisi ruang dan nutrisi, serta induksi ketahanan tanaman. Keempat proses ini sering bekerja bersamaan sehingga hasil pengendalian di lapangan menjadi lebih efektif.

Antibiosis dan Parasitisme

Agens hayati menekan patogen melalui produksi senyawa toksik dan kontak langsung yang merusak hifa. Kombinasi *Trichoderma spp.* dan *Bacillus*

amyloliquefaciens menekan infeksi *P. horiana* melalui aktivitas enzim kitinase dan β -1,3-glukanase (Kuang et al., 2023). Aktivitas enzim seperti kitinase dan β -1,3-glukanase juga berperan melisiskan dinding sel patogen. Bakteri seperti *B. subtilis* dan *P. fluorescens* menghasilkan lipopeptida dan enzim hidrolitik yang menghambat perkecambahan spora (Yao et al., 2023). Sementara itu, jamur *Trichoderma harzianum* dan *Cladosporium cladosporioides* menyerang langsung hifa patogen hingga spora gagal berkembang (Maruyama et al., 2020).

Kompetisi Ruang dan Nutrisi

Persaingan mikroba dengan patogen dalam memanfaatkan ruang dan unsur hara juga berperan penting dalam menekan penyakit. *Pseudomonas* menghasilkan siderofor yang mengikat besi, membuat unsur tersebut sulit diakses oleh *P. horiana* dan menghambat pertumbuhannya. Kombinasi *P. fluorescens* dan *B. subtilis* bahkan memperpanjang masa inkubasi penyakit lebih dari sepuluh hari dibanding kontrol, menunjukkan bahwa kompetisi ruang dan nutrisi berkontribusi besar terhadap perlambatan perkembangan penyakit (Lala & Tulung, 2019).

Induksi Ketahanan Sistemik

Beberapa agens hayati juga memicu sistem pertahanan tanaman melalui jalur sinyal jasmonat, etilen, atau asam salisilat yang dikenal sebagai *Induced Systemic Resistance* (ISR) maupun *Systemic Acquired Resistance* (SAR). Aktivasi enzim pertahanan seperti peroksidase (POD), fenilalanin amonia-liase (PAL), dan polifenol oksidase terbukti menurunkan gejala karat putih (Suárez-Fernández et al., 2020). Aplikasi

PGPR meningkatkan vigor tanaman dengan memperbaiki pertumbuhan dan menekan penyakit (Wiyono et al., 2023). Aktivasi gen *CmTGAI* yang memicu *CmRbohD* juga berperan dalam pembentukan *reactive oxygen species* (ROS) yang memperkuat dinding sel serta meningkatkan aktivitas enzim pertahanan (Chen et al., 2025).

Secara keseluruhan, efektivitas agens hayati terhadap *P. horiana* merupakan hasil sinergi antara antagonisme langsung, kompetisi, dan induksi ketahanan sistemik. Kombinasi mekanisme tersebut menjadikan pengendalian hayati lebih adaptif dan berkelanjutan dalam budidaya krisan.

Keunggulan dan Keterbatasan Agens Hayati

Pemanfaatan agens hayati memberikan berbagai keuntungan nyata dalam pengendalian karat putih pada krisan. Beberapa strain bakteri PGPR seperti *Bacillus firmus* dan *Lysinibacillus fusiformis* terbukti mampu menekan kejadian penyakit sekaligus meningkatkan pertumbuhan tanaman di lapangan (Wiyono et al., 2023). Demikian pula, aplikasi *Trichoderma spp.* menunjukkan efektivitas tinggi dalam menurunkan serangan karat, berkat kemampuannya menghasilkan enzim hidrolitik dan cepat berkolonisasi pada permukaan daun (Kuang et al., 2023). Di Tomohon, Ering et al. (2021) melaporkan kombinasi penyemprotan dan penyiraman dengan *Trichoderma sp.* menurunkan serangan hingga <2%. Selain efektif, agens hayati bersifat ramah lingkungan dan bebas residu kimia, sejalan dengan arah pertanian berkelanjutan.

Namun, efektivitas agens hayati di lapangan tidak selalu konsisten karena dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti suhu, kelembapan, dan durasi permukaan daun yang basah. Beberapa studi menunjukkan bahwa ketika kondisi tidak mendukung aktivitas mikroba, tingkat keparahan penyakit masih dapat tinggi meskipun insidensinya menurun (Wiyono et al., 2023). Tantangan lain berkaitan dengan formulasi produk, terutama viabilitas dan daya simpan mikroba yang sering menurun selama penyimpanan atau distribusi. Metode aplikasi juga memengaruhi hasil pengendalian, di mana kombinasi penyemprotan dan penyiraman terbukti memberikan hasil lebih stabil dibandingkan penggunaan tunggal (Ering et al., 2021).

Selain kendala teknis, faktor sosial dan ekonomi turut memengaruhi penerapan agens hayati di tingkat petani. Respon hasil yang cenderung lebih lambat dibandingkan fungisida sintetis sering membuat petani kurang yakin terhadap efektivitasnya. Di beberapa daerah, keterbatasan akses terhadap produk hayati yang berkualitas, kurangnya pelatihan teknis, serta belum adanya sistem distribusi yang baik juga menjadi penghambat adopsi (Nuryani et al., 2022). Oleh karena itu, integrasi agens hayati ke dalam strategi *Pengendalian Hama Terpadu* (PHT) menjadi langkah penting untuk meningkatkan efektivitas serta memperluas penerapannya di lapangan.

Aplikasi Lapangan

Keberhasilan agens hayati di lapangan sangat dipengaruhi oleh jenis formulasi dan cara aplikasinya. Produk umumnya tersedia dalam bentuk cair, serbuk, atau granul, masing-masing

memiliki keunggulan dan keterbatasan. Formulasi cair dengan tambahan gliserol atau trehalosa dapat menjaga viabilitas mikroba lebih lama, sedangkan formulasi padat berbasis kaolin atau sekam lebih ekonomis namun memerlukan penanganan khusus agar populasi mikroba tetap stabil (Khan et al., 2023; Martinez et al., 2023). Pemilihan formulasi yang sesuai menjadi faktor penting karena memengaruhi efektivitas dan keberlanjutan penggunaannya di tingkat petani.

Teknik aplikasi juga berperan besar dalam menentukan hasil pengendalian. Perlakuan benih melalui *seed coating* dapat membentuk koloni mikroba sejak awal pertumbuhan (Hoseini et al., 2022), sedangkan aplikasi ke tanah (*soil drench*) efektif untuk kelompok PGPR dan jamur rizosfer karena menempatkan mikroba di zona akar. Untuk patogen yang menyerang daun, penyemprotan (*foliar spray*) menjadi metode yang paling umum, meskipun efektivitasnya sangat bergantung pada kelembapan dan intensitas cahaya. Kombinasi beberapa metode, misalnya *seed coating* pada awal pertumbuhan diikuti *foliar spray* pada fase kritis, sering memberikan hasil perlindungan yang lebih konsisten.

Tantangan utama di lapangan adalah menurunnya viabilitas mikroba selama penyimpanan dan distribusi, terutama pada bakteri Gram-negatif. Kondisi ini memerlukan formulasi yang lebih stabil atau penyimpanan bersuhu rendah (Fadiji & Babalola, 2024). Efektivitas juga dapat bervariasi karena perbedaan iklim mikro dan interaksi mikroba alami, sehingga uji multilokasi serta penggunaan isolat lokal menjadi langkah penting untuk menjamin hasil yang stabil (Martinez et al., 2023).

Selain kendala teknis, faktor sosial juga berpengaruh, seperti minimnya

informasi, pelatihan, dan keraguan terhadap keandalan produk (Tensi et al., 2022). Untuk meningkatkan keberhasilan penerapan, diperlukan pemilihan formulasi yang sesuai kondisi lokal, pengaturan dosis dan frekuensi aplikasi yang tepat, serta keterlibatan petani dalam uji lapang (Khan et al., 2023). Dukungan kebijakan dan kegiatan penyuluhan juga penting agar produk hayati dapat bersaing dengan fungisida kimia dan diterapkan lebih luas.

Prospek dan Arah Riset Pengendalian Karat Putih Krisan

Peluang pengembangan pengendalian karat putih pada krisan berbasis agens hayati masih sangat luas. Beberapa isolat lokal *Bacillus* dan *Pseudomonas* di Indonesia terbukti mampu menekan perkembangan penyakit secara signifikan, meskipun efektivitasnya berbeda antar lokasi (Wiyono et al., 2023). Hal ini menunjukkan perlunya uji multilokasi untuk memastikan kestabilan kinerja isolat, sekaligus pengembangan formulasi yang tahan lama dan sesuai dengan kondisi tropis agar teknologi biokontrol dapat diterapkan lebih luas.

Selain itu, pendekatan konsorsium yang menggabungkan beberapa jenis agens hayati juga menunjukkan hasil menjanjikan. Kombinasi *Trichoderma* dengan *Bacillus amyloliquefaciens* terbukti memberikan efek sinergis dalam menekan *P. horiana* (Kuang et al., 2023), dan penelitian lain menegaskan bahwa diversifikasi agens biokontrol penting untuk menghadapi keragaman patogen serta kondisi lingkungan (Yao et al., 2023). Dengan demikian, arah riset ke depan sebaiknya difokuskan pada pengembangan

konsorsium mikroba yang adaptif di berbagai agroekosistem.

Integrasi pengendalian hayati dengan praktik budidaya berkelanjutan juga perlu diperkuat, misalnya melalui penggunaan pupuk organik, pengaturan irigasi, dan pengelolaan kelembapan daun yang mendukung aktivitas mikroba. Enkapsulasi spora *Trichoderma* juga terbukti memperpanjang umur simpan dan meningkatkan konsistensi di lapangan (Maruyama et al., 2020).

KESIMPULAN

1. Agens hayati berpotensi besar menekan perkembangan *Puccinia horiana* melalui antibiosis, parasitisme, kompetisi ruang dan nutrisi, serta induksi ketahanan sistemik. Bakteri seperti *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis* maupun jamur *Trichoderma spp.* terbukti efektif, terutama bila digunakan dalam bentuk konsorsium yang memberikan efek sinergis.
2. Penerapan di lapangan masih menghadapi kendala, antara lain variasi efektivitas antar lokasi, umur simpan produk yang singkat, serta hambatan teknis dan sosial pada tingkat petani. Kondisi ini menegaskan perlunya formulasi yang lebih stabil dan strategi adopsi yang lebih terintegrasi.
3. Riset ke depan perlu difokuskan pada eksplorasi isolat lokal yang adaptif, pengembangan formulasi inovatif dengan viabilitas tinggi, serta uji multilokasi untuk memastikan konsistensi hasil. Integrasi dengan praktik budidaya berkelanjutan diharapkan dapat memperkuat keberlanjutan dan daya saing produksi krisan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Universitas Sebelas Maret atas dukungan pendanaan penelitian melalui Hibah Penelitian Non-APBN Tahun 2025, Skema Hibah Penelitian Grup Riset dengan Nomor Kontrak 371/UN27.22/PT.01.03/2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Bonde, M. R., Murphy, C. A., Bauchan, G. R., Luster, D. G., Palmer, C. L., Nester, S. E., Revell, J. M., & Berner, D. K. (2015). Evidence for systemic infection by *Puccinia horiana*, causal agent of chrysanthemum white rust, in chrysanthemum. *Phytopathology*, 105(1), 91–98. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-09-13-0266-R>
- Chen, Q., Jin, R., & Liu, D. (2025). The CmTGA1–CmRbohD cascade confers resistance against chrysanthemum white rust by promoting reactive oxygen species generation. *Plant, Cell & Environment*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1111/pce.15377>
- Ering, F. J., Assa, B. H., & Makal, H. V. G. (2021). Penggunaan *Trichoderma* sp. terhadap penyakit karat putih *Puccinia horiana* pada tanaman krisan. *COCOS: Jurnal Ilmu Pertanian dan Perikanan*, 7(7), 105–112. <https://doi.org/10.35791/cocos.v7i7.36170>
- Fadiji, A. E., & Babalola, O. O. (2024). Formulation challenges associated with microbial inoculants and strategies to improve shelf life and field performance. *Sustainability in Agriculture & Environment*, 2(1), e70006. <https://doi.org/10.1002/sae2.70006>
- Hanudin, B., Marwoto, B., & Djatnika, I. (2015). Penyakit karat pada krisan dan pengendalian ramah lingkungan dalam era MEA. *Pengembangan Inovasi Pertanian*, 8(1), 11–20. <http://ejurnal.litbang.pertanian.go.id/index.php/pip/article/view/2373>
- Hoseini, A., Salehi, A., Sayyed, R. Z., Balouchi, H., Moradi, A., Piri, R., Fazeli-Nasab, B., Poczai, P., Ansari, M. J., & Al Obaid, S. (2022). Efficacy of biological agents and fillers seed coating in improving drought stress in anise (*Pimpinella anisum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 13, 955512. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.955512>
- Khan, A., Singh, A. V., Gautam, S. S., Agarwal, A., Punetha, A., Upadhayay, V. K., Kukreti, B., Bundela, V., Jugran, A. K., & Goel, R. (2023). Microbial bioformulation: A microbial assisted biostimulating fertilization technique for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1270039. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1270039>
- Kuang, A., Fu, X., Liu, Z., Chen, Q., Jin, R., & Mao, H. (2023). Biocontrol effect of the complex inoculants of *Trichoderma* and *Bacillus amyloliquefaciens* on chrysanthemum white rust. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 56, 103010. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.103010>

- Lagana, C. A., Darwanto, D. H., & Masyhuri. (2021). Feasibility of chrysanthemum farming in Tomohon City. *Agro Ekonomi*, 35(1), 15–26. <https://doi.org/10.22146/ae.31225>
- Lala, K. F., & Tulung, M. (2019). Pengendalian penyakit karat putih (*Puccinia horiana*) dengan menggunakan bakteri antagonis pada tanaman krisan. *Jurnal ENFIT: Entomologi dan Fitopatologi*, 1(1), 36–45. <https://doi.org/10.35791/jef.v1i1.27170>
- Martinez, Y., Ribera, J., Schwarze, F. W. M. R., & De France, K. (2023). Biotechnological development of *Trichoderma*-based formulations for biological control. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 107, 5595–5612. <https://doi.org/10.1007/s00253-023-12687-x>
- Martini, T., Sutrisno, B. H., Suhardi, & Yudono, P. (2022). Bioecology of rust on *Dendranthema grandiflora* in Yogyakarta, Indonesia. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 22(2), 126–133. <https://doi.org/10.23960/j.hptt.222126-133>
- Maruyama, C. R., Bilesky-José, N., de Lima, R., & Fraceto, L. F. (2020). Encapsulation of *Trichoderma harzianum* preserves enzymatic activity and enhances the potential for biological control. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 225. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00225>
- Nuryani, W., Hanudin, H., & Rahardjo, I. B. (2022). Synergistic action of PGPR and biofungicide with active ingredient of *Cladosporium clasporeioides* to control white rust on chrysanthemum. *AGRIVITA: Journal of Agricultural Science*, 44(1). <https://doi.org/10.17503/agrivita.v44i1.3379>
- O’Keefe, G., & Davis, D. D. (2015). Morphology of *Puccinia horiana*, causal agent of chrysanthemum white rust, sampled from naturally infected plants. *Plant Disease*, 99(12), 1738–1743. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-15-0239-RE>
- Rares, A. N., Senewe, E., Manengkey, G. S. J., & Ratulangi, M. M. (2015). Efektivitas mikroorganisme antagonis terhadap penyakit karat putih pada tanaman krisan (*Chrysanthemum morifolium*) di Kota Tomohon. *COCOS: Jurnal Ilmu Pertanian dan Perikanan*, 6(10). <https://doi.org/10.35791/cocos.v6i10.8217>
- Ratu, M. D., Sumayku, B. R. A., Pangemanan, V., Pongoh, J., Tulungen, A. G., & Pamandungan, Y. (2024). Pengaruh *Trichoderma* sp. terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman krisan (*Chrysanthemum morifolium* R.) var. Jayani. *Eugenia*, 30(1), 9–13. <https://doi.org/10.35791/eug.v30i1.57414>
- Suarez-Fernández, M., Rodríguez-Carrasco, Y., & Orozco-Mosqueda, M. D. C. (2020). Chitosan as plant elicitor: Current status and

- perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 11, 572087. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.572087>
- Tensi, A. F., Ang, F., & van der Fels-Klerx, H. J. (2022). Behavioural drivers and barriers for adopting microbial applications in arable farms: Evidence from the Netherlands and Germany. *Technological Forecasting and Social Change*, 182, 121825. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121825>
- Torres, D. E., Rojas-Martínez, R. I., Zavaleta-Mejía, E., Guevara-Fefer, P., Márquez-Guzmán, G. J., & Pérez-Martínez, C. (2017). *Cladosporium cladosporioides* and *C. pseudocladosporioides* as potential new fungal antagonists of *Puccinia horiana* Henn., the causal agent of chrysanthemum white rust. *PLOS ONE*, 12(1), e0170782. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170782>
- Wiyono, S., Suryaningsih, A. S., & Pratiwi, A. W. (2023). Keefektifan galur PGPR dalam pengendalian penyakit karat putih dan peningkatan pertumbuhan tanaman krisan. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 19(1), 11–18. <https://doi.org/10.14692/jfi.19.1.11-18>
- Yao, X., Guo, H., Zhang, K., Zhao, M., Ruan, J., & Chen, J. (2023). *Trichoderma* and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1160551. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1160551>
- Yusuf, E. S., Budiarto, K., Djatnika, I., & Suhardi, S. (2015). Effects of varieties, cutting health, and fungicide application on chrysanthemum white rust. *Agrivita Journal of Agricultural Science*, 37(1), 55–64. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v39i1.948>