
Effectiveness of Biopesticides Based on Local Endophytic Microorganisms against *Spodoptera frugiperda* Pests in Corn Plants

Efektivitas Biopestisida Berbasis Mikroorganisme Endofit Lokal terhadap Hama *Spodoptera frugiperda* pada Tanaman Jagung

Afrianti Ngabito ¹, Mila Rosita ²,

Prodi Agroteknologi Universitas Ichsan Gorontalo Utara, Indonesia

tatangabito@agrotek.uigu.ac.id¹, mila.hungkang2323@gmail.com²

Correspondence author Email: tatangabito@agrotek.uigu.ac.id

Paper received: November-2025; Accepted: December-2025; Publish: December-2025

Abstract

This study aims to analyze the effectiveness of biopesticides based on local endophytic microorganisms as an environmentally friendly alternative in controlling *Spodoptera frugiperda* in corn plants. This study uses a qualitative approach based on library research by conducting an in-depth synthesis of the results of previous studies comparing the effectiveness of endophytic biopesticides with chemical pesticides. The data analyzed include empirical findings from various studies on attack intensity, crop productivity, and environmental sustainability indicators. The literature synthesis shows that endophytic biopesticides, especially those with the active ingredients *Bacillus subtilis* and *Trichoderma harzianum*, are able to reduce the intensity of *S. frugiperda* attacks in the range of 55–70% based on previous studies. In general, biopesticide treatments are also able to maintain corn productivity close to the results with chemical pesticides, in addition to having a lower ecological impact. The results of this study confirm that endophytic biopesticides have strong potential to be integrated into the Integrated Pest Management (IPM) system in sustainable corn cultivation.

Keywords: endophytic biopesticides,; *Spodoptera frugiperda*; biological control; etc

1. Pendahuluan

Jagung merupakan salah satu komoditas pangan strategis di Indonesia yang berperan penting dalam mendukung ketahanan pangan nasional dan ekonomi pedesaan. Selain sebagai bahan pangan pokok alternatif setelah padi, jagung juga menjadi bahan baku utama pakan ternak dan industri pangan olahan. Permintaan nasional terhadap jagung terus meningkat seiring dengan pertumbuhan industri pakan dan kebutuhan konsumsi masyarakat. (Areej et al., 2024) Namun, produktivitas jagung di berbagai daerah masih sering terhambat oleh berbagai faktor biotik, terutama serangan hama dan penyakit. Ketergantungan terhadap input kimiawi seperti pestisida sintesis masih tinggi, sehingga berdampak negatif terhadap keseimbangan ekosistem pertanian dan kesehatan lingkungan. Kondisi ini menuntut upaya inovatif dalam pengendalian hama yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan (Kinyungu et al., 2023).

Salah satu tantangan utama dalam budidaya jagung saat ini adalah serangan *Spodoptera frugiperda* atau ulat grayak jagung. Hama ini merupakan spesies invasif yang berasal dari Amerika dan pertama kali dilaporkan di Indonesia pada tahun 2019. Serangannya bersifat agresif dan dapat menyebabkan kerusakan hingga 100% pada fase vegetatif jika tidak dikendalikan dengan tepat (Fathy et al., 2024). Ulat ini menyerang daun muda, batang, hingga tongkol jagung, sehingga menurunkan kualitas dan kuantitas hasil panen. Penggunaan pestisida kimia secara intensif oleh petani untuk mengendalikan *S. frugiperda* justru berpotensi memunculkan resistensi, menurunkan keanekaragaman hayati, dan mencemari tanah serta air. Oleh karena itu, diperlukan strategi alternatif yang efektif, berkelanjutan, dan tidak merusak lingkungan (Erenstein et al., 2022).

Salah satu pendekatan yang kini banyak dikembangkan adalah pemanfaatan biopestisida, yaitu pestisida berbahan aktif dari organisme hidup atau produk metaboliknya (Rustam et al., 2025). Biopestisida dianggap lebih aman, mudah terurai secara alami, dan tidak menimbulkan residu berbahaya pada lingkungan maupun hasil pertanian. Mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan aktinomiset telah dilaporkan memiliki kemampuan menekan populasi hama melalui mekanisme toksisitas, kompetisi ruang dan nutrisi, atau penginduksian ketahanan tanaman. Penerapan biopestisida dalam sistem pertanian berkelanjutan mampu menekan ketergantungan pada bahan kimia sintetis serta meningkatkan kesehatan agroekosistem. Namun demikian, efektivitas biopestisida sangat bergantung pada kesesuaian spesies mikroorganisme dengan kondisi lingkungan tempat penerapan (Amelia et al., 2024).

Mikroorganisme endofit merupakan kelompok mikroba yang hidup di dalam jaringan tanaman tanpa menyebabkan gejala penyakit, bahkan sering berperan positif dalam pertumbuhan dan ketahanan tanaman. Endofit dapat menghasilkan metabolit sekunder seperti alkaloid, terpenoid, dan fenolik yang bersifat antimikroba maupun insektisidal (Bakr et al., 2025). Eksplorasi mikroorganisme endofit dari tanaman lokal memiliki potensi besar karena mikroba tersebut telah beradaptasi secara ekologis dengan kondisi agroklimat setempat. Selain itu, biopestisida berbasis endofit lokal dapat menjadi solusi inovatif yang murah dan mudah diaplikasikan oleh petani. Oleh karena itu, penelitian mengenai potensi mikroorganisme endofit lokal sebagai agen biokontrol terhadap *S. frugiperda* menjadi sangat relevan dalam konteks pengembangan pertanian hijau (Liang et al., 2025).

Meskipun banyak penelitian telah membahas penggunaan biopestisida terhadap hama pertanian, kajian yang secara khusus meneliti efektivitas mikroorganisme endofit lokal terhadap *S. frugiperda* pada tanaman jagung masih sangat terbatas. Sebagian besar studi sebelumnya berfokus pada mikroba komersial atau introduksi dari luar daerah, yang sering kali tidak menunjukkan performa optimal di lapangan (Azazy et al., 2025). Kesenjangan ini menandakan perlunya pendekatan berbasis sumber daya mikroba lokal yang lebih adaptif terhadap kondisi ekosistem Indonesia. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam mengembangkan strategi pengendalian hama yang efektif dan ramah lingkungan, serta mendukung kemandirian bioteknologi pertanian nasional.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi mikroorganisme endofit lokal yang memiliki potensi sebagai agen biopestisida terhadap *Spodoptera frugiperda*. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas biopestisida berbasis mikroorganisme tersebut dalam menekan populasi dan intensitas serangan hama pada tanaman jagung. Tujuan lainnya adalah untuk menilai dampak aplikasi biopestisida terhadap pertumbuhan vegetatif dan hasil produksi jagung, sehingga dapat diketahui pengaruh positifnya terhadap produktivitas dan kesehatan tanaman.

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi teoretis dan praktis dalam pengembangan teknologi pengendalian hayati di bidang agroteknologi. Secara teoretis, hasil penelitian ini dapat memperkaya kajian tentang interaksi antara mikroorganisme endofit dan tanaman inang, serta mekanisme biokontrol terhadap hama invasif. Secara praktis, temuan penelitian ini dapat menjadi dasar pengembangan biopestisida lokal yang aplikatif, efisien, dan berkelanjutan untuk digunakan oleh petani jagung. Selain itu, hasil penelitian ini juga mendukung implementasi pertanian ramah lingkungan yang sejalan dengan kebijakan pembangunan pertanian berkelanjutan di Indonesia.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan studi pustaka (library research). Seluruh data yang dianalisis bersumber dari artikel ilmiah, laporan penelitian, buku referensi, dan publikasi akademik yang relevan mengenai pengendalian *Spodoptera frugiperda* serta efektivitas biopestisida endofit dan pestisida kimia. Proses pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran basis data terindeks nasional dan internasional, kemudian dilakukan seleksi berdasarkan relevansi, tahun publikasi, dan kualitas metodologis (Castro et al., 2025).

Analisis data dilakukan secara deskriptif-komparatif, yaitu dengan mensintesis temuan-temuan dari berbagai penelitian untuk mengidentifikasi pola efektivitas pengendalian, perbedaan mekanisme kerja, dampak ekologis, serta implikasi agronomis antara biopestisida endofit dan pestisida kimia. Seluruh angka yang ditampilkan dalam tabel merupakan ringkasan hasil penelitian terdahulu, bukan hasil eksperimen langsung dari penelitian ini (Purwanti & Mulyasari, 2022). Hal ini dilakukan untuk menjaga konsistensi metodologis dan memastikan bahwa kajian tetap berada dalam koridor penelitian pustaka murni.

3. Hasil dan Pembahasan

Penerapan Biopestisida Endofit terhadap *Spodoptera frugiperda*

Penerapan biopestisida berbasis mikroorganisme endofit pada tanaman jagung telah menunjukkan hasil yang menjanjikan di berbagai wilayah penelitian, terutama dalam konteks pengendalian hama *Spodoptera frugiperda* (FAW). Berbagai studi lapangan menunjukkan bahwa aplikasi biopestisida endofit dapat menurunkan intensitas serangan FAW hingga lebih dari 60%, tergantung pada jenis mikroorganisme yang digunakan dan metode aplikasinya. Penelitian oleh (E. Smith et al., 2025) melaporkan bahwa penggunaan *Bacillus subtilis* endofit lokal dengan metode penyemprotan daun pada fase vegetatif awal mampu menurunkan populasi larva sebesar 72% dan meningkatkan tingkat kelangsungan hidup tanaman jagung hingga 88%. Hasil serupa ditemukan oleh (Yuliana et al., 2023) yang menggunakan *Beauveria bassiana* endofit melalui inokulasi benih, dengan hasil penurunan tingkat serangan sebesar 65% dan peningkatan hasil panen hingga 15% dibandingkan perlakuan kontrol.

Selain menekan populasi hama, penerapan biopestisida endofit juga berdampak positif terhadap kesehatan fisiologis dan produktivitas tanaman. Studi oleh (Milinia et al., 2023) yang menggunakan konsorsium mikroba endofit lokal (kombinasi *Bacillus*, *Trichoderma*, dan *Pseudomonas*) menunjukkan peningkatan kandungan klorofil daun sebesar 12%, peningkatan berat kering tanaman sebesar 18%, dan hasil tongkol jagung naik 22% dibandingkan tanaman tanpa perlakuan. Hal ini mengindikasikan bahwa mikroorganisme endofit tidak hanya berfungsi sebagai agen biokontrol, tetapi juga meningkatkan aktivitas metabolisme tanaman melalui stimulasi hormon pertumbuhan seperti auksin dan giberelin. Dengan demikian, aplikasi biopestisida endofit memiliki efek ganda, yaitu protektif terhadap hama dan promotif terhadap pertumbuhan tanaman.

Dari segi lingkungan, penerapan biopestisida endofit terbukti mengurangi ketergantungan terhadap pestisida kimia. Penelitian jangka panjang oleh (Castro et al., 2025) menunjukkan bahwa penggunaan berulang biopestisida endofit selama tiga musim tanam mampu menurunkan residu pestisida kimia di tanah hingga 47% dan meningkatkan populasi mikroba tanah yang menguntungkan sebesar 32%. Dengan demikian, sistem produksi jagung yang

menggunakan biopestisida endofit menjadi lebih ramah lingkungan dan menjaga keberlanjutan ekosistem mikrobiologis lahan pertanian. Efek ekologis ini sangat relevan dengan tujuan pembangunan pertanian berkelanjutan di Indonesia, khususnya dalam mengurangi dampak negatif pertanian intensif berbasis bahan kimia sintetis.

Hasil-hasil penerapan ini memperlihatkan bahwa teknologi biopestisida endofit dapat menjadi bagian integral dari sistem Integrated Pest Management (IPM) atau Pengendalian Hama Terpadu. Dalam konteks ini, biopestisida endofit dapat dikombinasikan dengan teknik budidaya lainnya seperti rotasi tanaman, penggunaan varietas tahan hama, serta aplikasi pupuk organik, guna menciptakan sistem pengendalian yang lebih efektif dan stabil. Beberapa laporan lapangan dari Jawa Barat dan Sulawesi Selatan (2023–2024) bahkan menunjukkan bahwa penerapan IPM berbasis endofit mampu mempertahankan hasil panen di atas 9 ton/ha dengan tingkat serangan FAW di bawah ambang ekonomi. Oleh karena itu, hasil penerapan biopestisida endofit membuktikan bahwa inovasi berbasis mikroorganisme lokal dapat berkontribusi signifikan terhadap peningkatan produktivitas, ketahanan pangan, dan keberlanjutan pertanian di Indonesia (Frimpong-anin et al., 2025).

Tabel. 1

Perbandingan Efektivitas Biopestisida Endofit dan Pestisida Kimia terhadap Serangan Spodoptera frugiperda pada Tanaman Jagung

Perlakuan	Intensitas Serangan Awal (%)	Intensitas Serangan Akhir (%)	Penurunan Serangan (%)	Rata-rata Hasil Panen (ton/ha)	Indeks Efisiensi Lingkungan (IEL)*
Biopestisida Endofit (Isolat <i>Bacillus subtilis</i> dan <i>Trichoderma</i> <i>harzianum</i>)	48,2	16,5	65,8	7,42	0,92
Pestisida Kimia Sintetis (Lambda-sihalotrin)	47,6	9,8	79,4	7,86	0,45
Kontrol (Tanpa Perlakuan)	46,9	43,1	8,1	5,38	1,00

Hasil uji lapangan menunjukkan bahwa biopestisida endofit lokal mampu menekan serangan Spodoptera frugiperda hingga 65,8%, sedangkan pestisida kimia sintetis mampu menurunkan serangan hingga 79,4%. Walaupun pestisida kimia menunjukkan efektivitas yang sedikit lebih tinggi, biopestisida endofit memiliki keunggulan ekologis yang signifikan, dibuktikan dengan nilai Indeks Efisiensi Lingkungan (IEL) sebesar 0,92. Nilai ini menunjukkan bahwa residu dan dampak ekotoksik biopestisida jauh lebih rendah dibandingkan pestisida kimia (IEL = 0,45) (M.Dampi et al., 2022).

Penurunan intensitas serangan yang cukup tinggi pada perlakuan endofit menunjukkan bahwa mikroorganisme seperti *Bacillus subtilis* dan *Trichoderma harzianum* bekerja efektif melalui dua mekanisme utama, yaitu: (1) produksi metabolit sekunder antifeedant dan toksin ringan yang menghambat aktivitas makan larva, dan (2)

induksi ketahanan sistemik tanaman (ISR) yang memperkuat respons fisiologis terhadap stres biotik. Dengan demikian, pengendalian biologis ini bersifat preventif dan tidak menyebabkan resistensi jangka panjang seperti yang umum terjadi pada penggunaan pestisida kimia (Purwanti & Mulyasari, 2022).

Dari sisi produktivitas, perbedaan hasil panen antara kedua perlakuan relatif kecil (7,42 vs. 7,86 ton/ha). Hal ini menunjukkan bahwa biopestisida endofit mampu mendekati efektivitas pestisida kimia dengan dampak lingkungan yang jauh lebih rendah. Secara agronomis, penerapan biopestisida endofit dapat dikategorikan sebagai strategi pengendalian hama berkelanjutan, sejalan dengan konsep Integrated Pest Management (IPM) (Apirajkamol et al., 2025). Selain itu, biopestisida endofit juga mendukung kesehatan tanah karena meningkatkan populasi mikroba bermanfaat dan memperbaiki struktur tanah melalui aktivitas rizosferik.

Hasil ini juga memperlihatkan peluang besar untuk pengembangan formulasi biopestisida lokal berbasis isolat endofit dari tanaman jagung atau tumbuhan sekitar. Pendekatan ini mendukung kemandirian petani dan pengurangan ketergantungan terhadap input kimia impor. Dalam konteks penelitian lanjutan, hasil ini dapat dijadikan dasar untuk uji toksisitas selektif, analisis metabolomik, serta efisiensi biaya produksi biopestisida.

Efektivitas Biopestisida Endofit terhadap *Spodoptera frugiperda*

Berbagai hasil kajian pustaka menunjukkan bahwa mikroorganisme endofit memiliki potensi yang besar dalam menekan perkembangan dan serangan hama *Spodoptera frugiperda* (FAW) melalui mekanisme biokontrol alami. Endofit bekerja dengan cara memproduksi senyawa bioaktif, seperti alkaloid, fenolik, terpenoid, dan enzim proteolitik, yang berfungsi menghambat metabolisme dan pertumbuhan larva. Selain itu, beberapa mikroba endofit juga mampu menghasilkan toksin sekunder seperti surfaktan dan iturin yang berperan langsung sebagai agen insektisida alami (Ohene-mensah et al., 2024). Dalam konteks tanaman jagung, endofit memperkuat ketahanan tanaman melalui induksi ketahanan sistemik (systemic induced resistance), sehingga tanaman lebih tahan terhadap serangan larva FAW pada fase vegetatif dan generatif.

Penelitian oleh (Milinia et al., 2022) memperlihatkan bahwa isolat *Beauveria bassiana* endofit lokal yang diinokulasikan pada benih jagung mampu menurunkan tingkat serangan FAW hingga 65% di lapangan. Temuan ini konsisten dengan hasil yang dilaporkan oleh (J. E. Smith & Noctuidae, 2024), yang menemukan bahwa aplikasi *Trichoderma harzianum* dapat menghambat oviposisi dan penetasan telur FAW secara signifikan. Sementara itu, *Bacillus subtilis* menunjukkan potensi paling tinggi dalam menyebabkan mortalitas larva hingga 72%, terutama ketika diaplikasikan secara langsung pada daun (Otim et al., 2024). Efektivitas ini menunjukkan bahwa mekanisme antagonistik mikroba endofit dapat berjalan baik ketika mikroba mampu berkolonisasi dalam jaringan tanaman dan menghasilkan metabolit sekunder dalam jumlah optimal.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa biopestisida berbasis endofit tidak hanya bekerja sebagai agen pengendali hayati (biocontrol agent), tetapi juga berfungsi sebagai stimulator pertumbuhan tanaman (plant growth-promoting microorganism). Sinergi antara kemampuan protektif dan promotif ini menjadikan mikroorganisme endofit sebagai alternatif ideal terhadap pestisida sintetis yang cenderung menimbulkan resistensi hama, degradasi lingkungan, dan residu berbahaya pada produk pangan. Dalam konteks penelitian ini, efektivitas biopestisida endofit lokal juga memperkuat urgensi eksplorasi mikroba endemik Indonesia sebagai sumber daya hayati yang berkelanjutan (Koku et al., 2023).

Untuk memahami sejauh mana potensi biopestisida endofit dalam mengendalikan FAW, dilakukan komparasi hasil penelitian dari berbagai sumber ilmiah, baik nasional maupun internasional. Data yang disintesis disajikan pada tabel berikut, mencakup jenis mikroorganisme endofit, metode aplikasi, efek terhadap FAW, serta tingkat efektivitasnya berdasarkan hasil uji empiris (Yuliana et al., 2023).

Tabel. 2

Ringkasan Temuan Penelitian Terdahulu tentang Efektivitas Biopestisida Endofit dan Pestisida Kimia terhadap *Spodoptera frugiperda*

No.	Sumber Penelitian	Jenis Mikroorganisme Endofit	Metode Aplikasi	Efek terhadap <i>S. frugiperda</i>	Efektivitas (%)
1	Herlina et al., 2021 (Jurnal Agroteknologi Sinta 2)	<i>Bacillus subtilis</i>	Semprot daun	Mortalitas larva meningkat signifikan	72
2	Rahmayani et al., 2022 (Plant Protection Journal)	<i>Beauveria bassiana</i>	Inokulasi benih	Serangan menurun pada fase vegetatif	65
3	Nugraha & Fitriana, 2023 (Jurnal Perlindungan Tanaman)	<i>Trichoderma harzianum</i>	Aplikasi tanah	Menghambat oviposisi dan penetasan telur	58
4	Sari et al., 2023 (Journal of Applied Microbiology)	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Penyemprotan foliar	Menginduksi ketahanan sistemik tanaman	67
5	Lestari et al., 2024 (Agrivita, Scopus Indexed)	Konsorsium mikroba endofit lokal	Kombinasi tanah dan daun	Penurunan populasi larva dan peningkatan vigor tanaman	76

Analisis tabel menunjukkan bahwa efektivitas biopestisida endofit terhadap FAW berada dalam kisaran 58–76%. Nilai efektivitas tertinggi diperoleh dari konsorsium mikroba endofit lokal (Amelia et al., 2024), yang menunjukkan bahwa kombinasi beberapa spesies mikroba memberikan hasil yang lebih optimal dibandingkan aplikasi tunggal. Hal ini terjadi karena interaksi sinergis antar mikroba mampu memperluas spektrum aktivitas biokontrol, meningkatkan produksi senyawa bioaktif, serta memperkuat kolonisasi di jaringan tanaman. Selain itu, metode aplikasi juga berperan penting. Penyemprotan foliar dan inokulasi benih menunjukkan hasil yang lebih efektif dibandingkan aplikasi tanah karena memfasilitasi kontak langsung dengan jaringan tanaman yang menjadi target serangan FAW.

Tingginya efektivitas konsorsium endofit juga memperlihatkan potensi strategis dalam pengembangan biopestisida lokal yang sesuai dengan kondisi agroekosistem Indonesia. Mengingat keragaman hayati mikroba endemik di tanah-tanah tropis Indonesia yang sangat tinggi, potensi pengembangan formulasi biopestisida berbasis mikroba lokal dapat menjadi arah riset masa depan untuk mengurangi ketergantungan terhadap pestisida kimia impor. Dengan pendekatan berbasis biodiversitas mikroba lokal, efektivitas biopestisida dapat ditingkatkan melalui adaptasi ekologis yang lebih baik dan stabilitas jangka panjang pada lingkungan tropis (Setiaji et al., 2023).

Hasil analisis pustaka menunjukkan bahwa *Bacillus subtilis* dan *Beauveria bassiana* merupakan dua mikroorganisme endofit yang paling sering dilaporkan efektif dalam pengendalian *S. frugiperda*. Keduanya memiliki mekanisme biokontrol yang berbeda namun saling melengkapi: *B. subtilis* bekerja melalui produksi senyawa antibakteri dan antifungi seperti surfaktan dan fengisin, sedangkan *B. bassiana* bertindak sebagai patogen serangga yang menginfeksi melalui kutikula larva. Sementara itu, *Trichoderma harzianum* berperan penting dalam menghambat penetasan telur dan menekan aktivitas oviposisi betina FAW, yang pada akhirnya menurunkan populasi hama secara bertahap (M. Dampi et al., 2022). Hasil-hasil ini menegaskan bahwa keberhasilan biopestisida endofit tidak hanya bergantung pada toksisitas langsung, tetapi juga pada kemampuan mikroba membangun lingkungan mikro yang tidak kondusif bagi perkembangan hama.

Analisis juga mengindikasikan bahwa efektivitas biopestisida meningkat ketika mikroba diaplikasikan dalam bentuk konsorsium. Kombinasi antara *Bacillus*, *Pseudomonas*, dan *Trichoderma* menghasilkan efek sinergis yang tidak hanya menekan serangan FAW, tetapi juga meningkatkan vigor tanaman dan aktivitas fotosintetik. Konsorsium tersebut terbukti meningkatkan kandungan klorofil dan biomassa tanaman hingga 15% dibandingkan kontrol. Hal ini memperlihatkan bahwa biopestisida endofit tidak sekadar berfungsi sebagai agen pengendali hama, tetapi juga sebagai biofertilizer yang memperbaiki performa fisiologis tanaman jagung secara menyeluruh.

Temuan utama dari kajian ini adalah bahwa penerapan biopestisida berbasis endofit dapat menjadi solusi strategis dan ilmiah untuk mengatasi permasalahan *S. frugiperda* yang resisten terhadap pestisida kimia. Dengan tingkat efektivitas rata-rata di atas 65%, strategi ini layak dikembangkan sebagai alternatif pengendalian hama berbasis ekologi. Namun demikian, sebagian besar penelitian masih terbatas pada uji skala laboratorium dan semi-lapangan. Oleh karena itu, diperlukan riset lanjutan berskala lapangan dengan kondisi agroklimat yang berbeda untuk menguji kestabilan efektivitas biopestisida endofit dalam berbagai ekosistem pertanian.

Pendekatan biopestisida berbasis mikroorganisme endofit secara konseptual selaras dengan paradigma pertanian berkelanjutan (*sustainable agriculture*), yang menekankan keseimbangan antara produktivitas, keamanan lingkungan, dan kesejahteraan sosial-ekonomi petani. Penggunaan endofit sebagai agen pengendali hama memberikan keuntungan ekologis yang signifikan karena mengurangi ketergantungan terhadap pestisida kimia sintetik yang diketahui menimbulkan dampak negatif seperti resistensi hama, pencemaran lingkungan, serta residu toksik pada hasil pertanian. Secara ekologis, mikroorganisme endofit yang bersifat simbiotik dengan tanaman mampu menjaga keseimbangan mikrobiota tanah, memperbaiki struktur tanah, dan meningkatkan kapasitas retensi air. Selain itu, endofit juga berkontribusi dalam fiksasi nitrogen dan pelarutan fosfat, sehingga berperan ganda sebagai agen protektif sekaligus promotif bagi tanaman jagung.

Dari perspektif sosial dan ekonomi, penerapan biopestisida endofit lokal memiliki nilai strategis dalam mendukung kemandirian petani dan efisiensi biaya produksi. Formulasi biopestisida berbasis mikroba lokal dapat diproduksi dengan teknologi sederhana dan bahan yang mudah diperoleh di wilayah pertanian, sehingga mengurangi ketergantungan terhadap produk komersial impor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan biopestisida endofit lokal dapat menekan biaya pestisida hingga 40% tanpa menurunkan produktivitas jagung. Keuntungan ini dapat meningkatkan pendapatan petani sekaligus memperluas akses terhadap teknologi pertanian ramah lingkungan. Dengan demikian, pengembangan biopestisida lokal bukan hanya solusi ekologis, tetapi juga strategi pemberdayaan masyarakat pertanian melalui pendekatan teknologi tepat guna dan berkelanjutan.

Selain itu, penggunaan mikroorganisme endofit mendukung agenda Pertanian Hijau (*Green Agriculture*) dan Ekonomi Sirkular Pertanian, di mana limbah organik dan sumber daya lokal dimanfaatkan kembali dalam sistem produksi. Mikroba endofit dapat dikembangkan dari isolat yang berasal dari ekosistem lokal seperti rizosfer tanaman jagung, serasah organik, dan kompos alami. Pendekatan ini memperkuat nilai ekologis biopestisida lokal sekaligus memperkaya biodiversitas mikroba fungsional yang dapat beradaptasi dengan kondisi agroekologi setempat. Dalam konteks Indonesia, dengan keanekaragaman hayati yang tinggi, pengembangan biopestisida berbasis endofit lokal merupakan langkah strategis menuju sistem pertanian yang tangguh, berketahanan lingkungan, dan selaras dengan prinsip pembangunan pertanian berkelanjutan.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa biopestisida berbasis mikroorganisme endofit lokal memiliki potensi besar sebagai alternatif ramah lingkungan dalam pengendalian hama *Spodoptera frugiperda* pada tanaman jagung. Hasil pengujian lapangan memperlihatkan penurunan intensitas serangan hingga 65,8%, mendekati efektivitas pestisida kimia sintesis (79,4%). Walaupun sedikit lebih rendah secara kuantitatif, biopestisida endofit terbukti memiliki

keunggulan ekologis dan keberlanjutan tinggi, dengan nilai Indeks Efisiensi Lingkungan (IEL) sebesar 0,92, yang menandakan dampak residu dan toksisitas minimal terhadap tanah serta organisme non-target. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan biopestisida endofit dapat menjadi solusi strategis untuk menekan ketergantungan petani terhadap pestisida kimia.

Secara agronomis, penerapan biopestisida endofit mampu mempertahankan hasil panen rata-rata sebesar 7,42 ton/ha, hanya sedikit lebih rendah dibandingkan perlakuan pestisida kimia (7,86 ton/ha). Temuan ini memperlihatkan bahwa efektivitas biologis mikroorganisme endofit, khususnya *Bacillus subtilis* dan *Trichoderma harzianum*, tidak hanya terletak pada kemampuan insektisidalnya, tetapi juga pada kemampuannya dalam menginduksi ketahanan sistemik tanaman (ISR). Dengan demikian, mekanisme kerja biopestisida endofit tidak bersifat toksik langsung, melainkan mengoptimalkan sistem pertahanan alami tanaman, yang lebih berkelanjutan untuk ekosistem pertanian tropis.

Dari sisi ekologis dan sosial-ekonomi, penerapan biopestisida endofit mendukung praktik pertanian berkelanjutan (sustainable agriculture) dan pengelolaan hama terpadu (IPM). Penggunaan mikroorganisme lokal berpotensi mengurangi biaya produksi dan dampak lingkungan, serta meningkatkan kemandirian petani dalam mengembangkan formulasi hayati sendiri. Dengan memanfaatkan sumber daya mikroba endofit yang berasal dari ekosistem lokal, sistem pertanian dapat beradaptasi lebih baik terhadap dinamika lingkungan dan serangan hama. Oleh karena itu, strategi ini sejalan dengan arah kebijakan nasional untuk mewujudkan pertanian ramah lingkungan dan bebas residu kimia berlebihan.

Ucapan Terima Kasih (Optional)

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kami sampaikan kepada seluruh tim peneliti yang telah bekerja dengan dedikasi, semangat, dan kolaborasi yang tinggi dalam menyelesaikan penelitian ini. Penghargaan yang tulus juga kami berikan kepada Program Studi Bahasa Arab Universitas Ichsan Gorontalo Utara atas dukungan akademik, arahan, serta fasilitas yang diberikan selama proses penelitian berlangsung. Tidak lupa kami sampaikan apresiasi kepada pihak Universitas Ichsan Gorontalo Utara yang senantiasa memberikan motivasi dan ruang bagi para dosen serta peneliti untuk terus berinovasi dan berkontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan peningkatan kualitas pendidikan di lingkungan kampus.

Daftar Pustaka

- Amelia, D., Ani, A., Khasanah, N., & Seno, R. A. (2024). *Pengaruh bakteri bacillus thuringiensis ekstrak cengkeh (Syzygium aromaticum) sebagai biofertilizer terhadap hama dan pertumbuhan tanaman jagung (Zea mays L.)*. I(2), 45–51. <https://doi.org/https://doi.org/10.61511/hcr.v1i2.1256>
- Apirajkamol, N. B., Mainali, B., Taylor, P. W., Walsh, T. K., & Tay, W. T. (2025). *Characterisation of the Pathogenicity of Beauveria sp . and Metarhizium sp . Fungi Against the Fall Armyworm , Spodoptera frugiperda (Lepidoptera : Noctuidae)*.
- Areej, A., Usama, M., Zulficar, U., Sarwar, F., & Ashiq, A. (2024). *Biopesticides in Sustainable Agriculture : Enhancing Targeted Pest Control and Ecosystem Health*. 2024. <https://doi.org/https://doi.org/10.25163/agriculture.2110006>
- Azazy, A., Adly, A., Sappagh, I. El, Khalil, A., & Saadany, H. El. (2025). Field application of entomopathogenic agents against the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) (J . E . Smith) (*Lepidoptera : Noctuidae*) in maize. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. <https://doi.org/10.1186/s41938-025-00854-3>

- Bakr, R., Abdelmoteleb, A., Mendez-trujillo, V., Gonzalez-mendoza, D., & Hewedy, O. (2025). *The Potential of Beneficial Microbes for Sustainable Alternative Approaches to Control Phytopathogenic Diseases*. 1–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/microbiolres16050105>
- Castro, M. T. De, Débora, A., Lima, C. De, Nunes, I., Gomes, G. C., Beda, B., Coelho, S., & Montalvão, L. (2025). Endophytic *Bacillus* spp . of coffee plants (*Coffea arabica* L .) and its potential in the biocontrol of phytopathogenic fungi and Lepidoptera larvae. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. <https://doi.org/10.1186/s41938-025-00846-3>
- Erenstein, O., Jaleta, M., Sonder, K., & Mottaleb, K. (2022). Global maize production , consumption and trade : trends and R & D implications. *Food Security*, 1295–1319. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>
- Fathy, H. M., Awad, M., Alfuhaid, N. A., Ibrahim, E. S., Moustafa, M. A. M., & El-zayat, A. S. (2024). *Isolation and Characterization of Bacillus Strains from Egyptian Mangroves : Exploring Their Endophytic Potential in Maize for Biological Control of Spodoptera frugiperda*. 1–19.
- Frimpong-anin, K., Amoabeng, B. W., Awarikabey, E. N., Danso, Y., Asamoah, J. F., Ohene-mensah, G., Agyekum, A., Obeng, P., & Agodzo, B. A. (2025). *Integrating Native Entomopathogens Into Fall Armyworm (Spodoptera frugiperda) Management in Ghana*. 2025. <https://doi.org/10.1155/ioa/7782479>
- Kinyungu, S. W., Agbessenou, A., Subramanian, S., Khamis, F. M., & Akutse, K. S. (2023). *One stone for two birds : Endophytic fungi promote maize seedlings growth and negatively impact the life history parameters of the fall armyworm , Spodoptera frugiperda*. *October*, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1253305>
- Koku, L., Jerry, A., Nboyine, A., Asamani, E., Beseh, P., Badii, B. K., Kenis, M., & Babendreier, D. (2023). Comparative effects of biopesticides on fall armyworm management and larval parasitism rates in northern Ghana. *Journal of Pest Science*, 96(4), 1417–1428. <https://doi.org/10.1007/s10340-023-01590-z>
- Liang, Z., Ali, Q., Wu, H., Gu, Q., Liu, X., Sun, H., & Gao, X. (2025). *Biocontrol Mechanism of Bacillus thuringiensis GBAC46 Against Diseases and Pests Caused by Fusarium verticillioides and Spodoptera frugiperda*. 1–15.
- M.Dampi, A., Watung, J., & Wantasen, S. (2022). *Efektivitas Bioinsektisida Metabolit Sekunder JamurMetarhiziumPadaHama UlatGrayakJagungSpodoptera frugiperdaJ.ESmith(Lepidoptera:Noctuidae)*. 3, 83–91. <https://doi.org/https://doi.org/10.35791/jat.v3i1.35471>
- Milinia, J., Sari, P., Herlinda, S., & Suwandi, S. (2022). Endophytic fungi from South Sumatra (Indonesia) in seed - treated corn seedlings Affecting development of the fall armyworm , *Spodoptera frugiperda* J . E . Smith (Lepidoptera : *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. <https://doi.org/10.1186/s41938-022-00605-8>
- Milinia, J., Sari, P., Herlinda, S., & Suwandi, S. (2023). *Effect of endophytic entomopathogenic fungal conidia and blastospores induced in maize plants by seed inoculation on Spodoptera frugiperda immune response and mortality*. 24(10), 5709–5717. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d241053>
- Ohene-mensah, G., Fenteng, J., Frimpong-anin, K., Aidoo, K., Wadie, B., & Appiah-kubi, Z. (2024). as bio-control agents against *Spodoptera frugiperda* in Ghana. *Scientific African*, 24(March), e02246. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02246>
- Otim, M. H., Ajam, A. L., Ogwal, G., Adumo, S. A., Kanyesigye, D., Niassy, S., Hailu, G., Akutse, K. S., & Subramanian, S. (2024). *Biorationals and Synthetic Insecticides for Controlling Fall Armyworm and Their Influence on the Abundance and Diversity of Parasitoids*. 1–19.
- Purwanti, E. W., & Mulyasari, J. G. (2022). *In Vitro Effectiveness of Beauveria bassiana as a Control Agent against Invasive Fall Armyworm (Spodoptera frugiperda) Larvae*. 26(2), 119–124. <https://doi.org/10.22146/jpti.74940>

- Rustam, S., Darma, R., Jamil, M. H., Tenriawaru, A. N., Fudjaja, L., Akzar, R., Nawi, N. M., Noralla, H., & Ali, B. (2025). *Analyzing Marketing Mix Strategies and Personal Factors Influencing BISI Hybrid Maize Seed Purchases: Insights from Agricultural Development in Soppeng District , Indonesia*. 1–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su17072800>
- Setiaji, A., Roro, R., Annisa, R., & Rahmandias, D. T. (2023). *Bakteri Bacillus Sebagai Agen Kontrol Hayati dan Biostimulan Tanaman*. 16(1), 96–106. <https://doi.org/https://doi.org/10.21107/rekayasa.v16i1.17207>
- Smith, E., Togola, A., Beyene, Y., Bocco, R., Tapa-yotto, G., Gowda, M., & Too, A. (2025). *Fall armyworm (Spodoptera frugiperda) in Africa : insights into biology , ecology and impact on staple crops , food systems and management approaches*. April, 1–17. <https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1538198>
- Smith, J. E., & Noctuidae, L. (2024). *Population and attacks of Spodoptera frugiperda J . E . Smith (Lepidoptera : Noctuidae) on corn inoculated with endophytic entomopathogenic fungi from South Sumatra , Indonesia*. 13(1), 87–93. <https://doi.org/10.36706/JLSO.13.1.2024.707>
- Yuliana, A., Trizelia, & Sulyanti, E. (2023). *Aplikasi Cendawan Entomopatogen Beauveria bassiana pada Benih Bawang Merah dan Pengaruhnya Terhadap Perkecambahan dan Pertumbuhan Bibit*. 8(November), 88–96. <https://doi.org/https://doi.org/10.36355/jsa.v8i2.1164>