



# **PENGGUNAAN MIKROORGANISME DALAM BIOKONTROL HAMA TANAMAN USE OF MICROORGANISMS IN PLANT PEST BIOCONTROL**

**Fitri Julianti Gea<sup>1)</sup>, Natalia Kristiani Lase<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Agroteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias Gunungsitoli, Indonesia

Email: [fitrigeajulianti@gmail.com](mailto:fitrigeajulianti@gmail.com)

<sup>2)</sup> Agroteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: [natalialase16@gmail.com](mailto:natalialase16@gmail.com)

## **Abstract**

Biological control of plants is a way of managing pests and diseases by utilizing living organisms, such as predators, parasites, parasitoids, or microorganisms, including bacteria, fungi, and viruses. The aim is to reduce the population of plant pest organisms (OPT) Hasyim,dkk. (2015). This method is applied to maintain ecosystem balance, minimize the use of chemical pesticides, and support sustainability and environmental health in agricultural systems. This research employs a literature study technique, which attempts to locate, investigate, assess and interpret various important research.

**Keywords:** Control, Microorganisms, Pesticides.

## **Abstrak**

Pengendalian hayati pada tanaman merupakan suatu cara pengendalian hama dan penyakit dengan memanfaatkan organisme hidup, seperti predator, parasit, parasitoid, atau mikroorganisme, termasuk bakteri, jamur, dan virus. Tujuannya untuk menurunkan populasi organisme pengganggu tanaman (OPT) Hasyim,dkk. (2015). Cara ini diterapkan untuk menjaga keseimbangan ekosistem, meminimalkan penggunaan pestisida kimia, dan mendukung keberlanjutan dan kesehatan lingkungan dalam sistem pertanian. Penelitian ini menggunakan teknik studi literatur, yang berupaya menemukan, menyelidiki, menilai, dan menafsirkan berbagai penelitian penting.

**Kata Kunci:** Pengendalian, Mikroorganisme, Pestisida.



## PENDAHULUAN

Sekarang ini petani semakin sadar akan dampak buruk dari pestisida sintetik, mereka semakin banyak menggunakan agen biokontrol sebagai alternatif pengganti pestisida. Untuk mencegah penyebaran hama dan penyakit tanaman, pengendalian biologis, juga dikenal sebagai biokontrol, pada dasarnya melibatkan keterlibatan organisme secara langsung atau tidak langsung.

Penggunaan agens hayati ini sangat efektif untuk diaplikasikan pada tanaman karena tidak memerlukan biaya dan risiko yang kecil (Febrianto & Andila, 2023). *Pseudomonas fluorescentis* merupakan kelompok rhizobakteri yang dapat digunakan sebagai agen biokontrol yang dapat diaplikasikan pada berbagai jenis tanaman karena tidak bersifat patogen (Dilla et al., 2024). Pengendalian hayati dilakukan dengan mikroorganisme antagonis yang mempunyai efek sebaliknya dan berinteraksi negatif dengan patogen (Pasalo et al., 2022)

Saat ini, pengendalian biologis mendapat lebih banyak perhatian di seluruh dunia, dan bukan hal yang aneh bagi petani untuk menggunakan mikroorganisme agen biokontrol. Hal ini terjadi karena pengendalian hayati terbukti berhasil dan efektif menghambat pertumbuhan patogen, mengendalikan patogen dan tidak menimbulkan dampak negatif, serta bersifat ekologis (Gusnado et al., 2023). Agen hayati yang dapat digunakan sebagai agen pengendali hayati terhadap patogen adalah mikroba yang berasal dari rizosfer tanaman. Mekanisme yang digunakan oleh rhizobakteri ini terlibat dalam penekanan penyakit dan kelainan yang dapat terjadi pada tanaman dan telah dipelajari secara ekstensif. Untuk mengurangi penggunaan pestisida kimia di bidang pertanian, rhizobakteri dapat digunakan sebagai insektisida alami. Peningkatan produksi, ketahanan pangan, dan keanekaragaman hayati merupakan keuntungan penerapan sistem pertanian terpadu (Hidayati et al., 2019)

Penggunaan bahan kimia secara terus-menerus pada tanaman, seperti pupuk, pestisida, dan herbisida, dapat memberikan manfaat dan dampak negatif yang signifikan. Dalam jangka pendek, bahan kimia dapat meningkatkan produktivitas tanaman dengan menyediakan unsur hara spesifik yang cepat diserap dan melindungi dari hama dan penyakit. Namun penggunaan yang terus menerus dapat merusak ekosistem tanah, menurunkan kesuburan dan mengganggu keseimbangan mikroorganisme menguntungkan. dapat menyebabkan kerusakan pada tanaman dan tanah kehilangan unsur hara. Hal ini berdampak pada tanah menjadi keras dan miskin bahan organik, sedangkan limbah kimia dapat mencemari air tanah dan lingkungan sekitar. Selain itu, hama dan gulma dapat mengembangkan resistensi terhadap pestisida sehingga memerlukan dosis yang lebih tinggi dan lebih berbahaya.

Dampak jangka panjang tersebut tidak hanya berdampak pada keberlanjutan pertanian, namun juga kesehatan manusia melalui limbah kimia. terserap pada saat panen. Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan pendekatan yang lebih berkelanjutan seperti penggunaan pupuk organik, pergiliran tanaman dan pengelolaan hama terpadu untuk menjaga produktivitas tanpa merusak lingkungan (Hamakonda & Maria Clara Mau, 2023).

Berbagai teknik pengendalian telah diterapkan, seperti penggunaan fungisida, penanaman tanaman teknis, dan pengembangan kultivar tahan penyakit. Namun, pendekatan-pendekatan ini masih menghadapi berbagai kendala. Sebagai alternatif, mikroorganisme antagonis dapat dimanfaatkan. Pengendalian penyakit tanaman secara biologis menawarkan prospek yang menjanjikan karena organisme tersebut tersedia secara alami dan aktivitasnya dapat ditingkatkan dan dikembangkan. Telah diketahui bahwa mikroba tanah seperti *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas fluorescens* dapat menghambat patogen tanah. *Pseudomonas fluorescens* dapat menurunkan jumlah penyakit layu fusarium yang menyerang tanaman pisang. Keanekaragaman mikroorganisme berbahaya yang ditemukan di tanah pertanian menawarkan banyak kegunaan untuk mengendalikan penyakit dan hama tanaman sekaligus bermanfaat bagi lingkungan.

Salah satu bakteri yang mampu mengendalikan hama dan penyakit tanaman dengan baik adalah *Pseudomonas fluorescens*. Penelitian telah menunjukkan bahwa *Pseudomonas fluorescens* dapat meningkatkan perkembangan tanaman dan mengurangi penyakit layu tomat hingga 95,39%. Selain itu, penyakit bercak ungu pada bawang merah dapat diatasi dengan *Pseudomonas fluorescens* dengan intensitas serangan yang relatif rendah.

Menurut (Dilla et al., 2024) *Pseudomonas fluorescens* mampu mengkolonisasi akar tanaman, menghasilkan siderofor, dan memproduksi antibiotik yang mencegah pertumbuhan patogen. Selain itu agen hayati dapat menghasilkan zat yang berfungsi sebagai bioremediasi tanaman untuk menghasilkan metabolit sekunder yang bersifat antimikroba, termasuk fitoaleksin (Advinda, 2004).

## METODE PENELITIAN

Metode studi literatur, merupakan upaya menemukan, mengkaji, menilai, dan menafsirkan berbagai penelitian sebelumnya, digunakan untuk melakukan penelitian. Studi perpustakaan dapat memiliki arti yang berbeda bagi orang yang berbeda, menurut sejumlah spesialis. Menurut (Putri et al., 2020) studi literatur adalah metode pengumpulan data dengan cara mengkaji literatur terkait, yang membantu penulis dalam memasukkan materi yang dapat dipercaya ke dalam publikasi ilmiah.



Dengan menggunakan pendekatan ini, peneliti melakukan tinjauan sistematis, mematuhi prosedur yang telah ditetapkan, dan mengevaluasi temuan penelitian berdasarkan subjek penelitian. (Aris Dwi Cahyono, 2021) mengartikan studi perpustakaan sebagai proses pemeriksaan buku dan referensi untuk memahami permasalahan penelitian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

*Pseudomonas fluorescens* adalah bakteri gram negatif, berbentuk batang, aerobik dan motil dengan bantuan flagela polar. Bakteri ini ditemukan di tanah, air dan lingkungan yang kaya bahan organik. Bakteri ini dikenal sebagai agen antagonis yang sering digunakan dalam pengendalian hayati untuk melawan patogen tanaman. *Pseudomonas fluorescens* dapat diisolasi dari akar tanaman yang biasanya terdapat pada tanah, tanaman dan air (Okwisari et al., 2023). Bakteri ini bersifat gram negatif dan membutuhkan oksigen untuk tumbuh, sehingga termasuk bakteri aerob. Koloni berbentuk bulat dengan tepi rata dan mengeluarkan cairan berwarna kuning kehijauan bila ditanam pada media pertumbuhan (Ihsan & Retnaningrum, 2022).

Penggunaan *Pseudomonas fluorescens* sebagai agen biokontrol berpotensi menghambat serangan patogen. *Pseudomonas fluorescens* juga mampu beradaptasi dan mengkolonisasi akar tanaman dengan baik. Bakteri ini berperan sebagai Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) yang tahan terhadap hama dan penyakit (Cholihq et al., 2020). Bakteri ini dikenal mampu menghasilkan fluoresensi (lampu hijau) bila ditumbuhkan pada media yang sesuai, terutama di bawah sinar ultraviolet. *Pseudomonas fluorescens* biasanya ditemukan di lingkungan alam seperti tanah, air dan tumbuhan. Bakteri *Pseudomonas fluorescens* dapat menghasilkan senyawa seperti HCN, siderofor, pelarut fosfat, dan asam indol asetat (Dewi & Advinda, 2022). (Gusnado et al., 2023) mengungkapkan bahwa *Pseudomonas fluorescens* UB-PF5 dan UB-PF6 mempunyai kemampuan melarutkan fosfat dan menghasilkan IAA. Pemberian isolat dapat meningkatkan bobot dan panjang akar, tinggi tanaman, serta jumlah daun pada tanaman.

Sebagai agen biokontrol terhadap penyakit tanaman bakteri atau jamur, *Pseudomonas fluorescens* merupakan bakteri antagonis. Secara *in vitro*, *in planta*, dan *in vivo*, isolat *Pseudomonas fluorescens* telah menunjukkan kemanjuran dalam mengelola dan menghilangkan berbagai penyakit tanaman, termasuk patogen tular tanah. (Gusnado et al., 2023) menyatakan bahwa *Pseudomonas fluorescens* juga dapat mencegah penyakit layu bakteri yang disebabkan oleh *Ralstonia solanacearum* pada tanaman cabai, tomat, dan jahe, serta penyakit yang menyerang daun buncis.

Selain pterin, pirol, fenazin, dan bahan kimia antibiotik lainnya (Soesanto dan Loekas, 2008), *Pseudomonas fluorescens* dapat menghasilkan zat metabolit sekunder seperti siderofor, HCN, pelarut fosfat, dan asam indol asetat.

Metabolit sekunder yang dimiliki oleh *Pseudomonas fluorescens* memungkinkan bakteri ini bersaing dengan mikroorganisme patogen. Salah satu antibiotik yaitu asam phenazine-1-karboksilat produksi isolat *Pseudomonas fluorescens* 2-79 terbukti efektif mengendalikan patogen *Gaeumannomyces graminis* var. *gandum*. Beberapa mekanisme pengendalian, seperti produksi antibiotik dan senyawa bakteriolitik, berperan dalam aktivitas *Pseudomonas fluorescens* (Hasanuddin, 2011).

Menurut (Fatimah et al., 2022) *Pseudomonas fluorescens* mampu mengendalikan patogen penyebab pembusukan pada tanaman yaitu *Erwinia carotovora* pada tanaman umbi kentang. Bakteri ini menghasilkan berbagai senyawa mikroba termasuk antibiotik (seperti pyoverdine dan pyocyanin), yang menghambat pertumbuhan patogen tanaman.

### Produksi Siderofor

Bakteri membuat siderofor, yaitu molekul kecil yang mengikat dan memindahkan besi dari lingkungan. Siderofor sangat penting untuk *Pseudomonas fluorescens* karena dapat meningkatkan kelangsungan hidup bakteri, terutama di lingkungan dengan kandungan zat besi rendah, seperti tanah atau permukaan akar tanaman. Menurut (Haghighi et al., 2011) siderofor merupakan zat antimikroba organik yang mempunyai kemampuan mengatur penyakit tanaman. Bakteri membuat siderofor, yang mengikat besi dari lingkungan sekitar dan menggunakannya untuk reproduksi. Kapasitas bakteri ini dalam menurunkan ketersediaan zat besi menghambat pembentukan patogen dan mengurangi faktor penyebab penyakit tanaman. Kemampuan siderofor untuk mengikat zat besi dari lingkungan mengakibatkan defisit zat besi dan menghentikan perkembangbiakan patogen (Saputra & Chatri, 2024).

Pertumbuhan *Ralstonia solanacearum* penyebab penyakit pada tanaman nilam dapat dihambat oleh kelompok *Pseudomonas* sp yang menghasilkan siderofor (Setiawan, 2019). Zona hambat terhadap *Ralstonia solanacearum* diciptakan oleh isolat yang diperiksa. Sedangkan isolat PfPj2 menghasilkan zona hambat terkecil yaitu sebesar 3,94 mm, isolat LAHP2 menghasilkan zona hambat paling besar yaitu sebesar 10,61 mm. Siderofor yang dihasilkan oleh *Pseudomonas fluorescens* sangat efektif dalam menghambat berbagai penyakit tanaman.

Siderofor dapat mengikat besi ( $Fe^{3+}$ ) dan menyuplai unsur yang dibutuhkan tanaman, siderofor dapat menyebabkan kekurangan Fe pada patogen. Jumlah



siderofor yang berbeda dihasilkan dari karbon oleh PFCas3 dan PFLAHP2, yang diisolasi dalam media pertumbuhan dengan sumber siderofor yang berbeda. Produksi siderofor oleh *Pseudomonas fluorescens* dapat mencegah hingga 70,2% pertumbuhan jamur *Fusarium oxysporum*.

### Produksi Enzim

Berbagai senyawa enzimatik, siderofor, antibiotik, dan metabolit sekunder lainnya yang dapat meracuni dan menghentikan pertumbuhan mikroba lain dihasilkan oleh spesies *Pseudomonas* yang merupakan agen biokontrol. Bakteri ini mungkin bersaing ketat dengan mikroba berbahaya lainnya dan memiliki kualitas antibakteri. Selain itu, spesies *Pseudomonas* dapat menghasilkan berbagai macam enzim yang bermanfaat bagi organisme sepanjang keberadaannya, termasuk lipase, amilase, protease, dan banyak lainnya (Jannah et al., 2021). *Pseudomonas fluorescens* mampu menghasilkan enzim kitinase yang berhasil mencegah pertumbuhan jamur *F. Oxysporum*. Kitin yang terdapat pada dinding sel jamur dapat dipecah oleh enzim kitinase ini, sehingga menyebabkan dinding sel tersebut lisis. Lebih lanjut, (Fitriani, 2024) menyatakan bahwa *P. fluorescens* juga dapat menghasilkan enzim kitinase dan protease yang mampu menekan pertumbuhan bakteri *Ralstonia solanacearum* serta menghambat penetasan telur nematoda *Meloidogyne* sp., dengan berperan dalam mengungkap sel bakteri, telur, dan larva nematoda, serta mencegah patogen masuk dan menginfeksi tanaman.

### Induksi Resistensi Sistemik

Khusus untuk keragaman genetik yang dapat diperoleh untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit, induksi resistensi atau induksi resistensi sistemik dapat menjadi salah satu alternatifnya. Pendekatan merangsang resistensi pada tanaman inang tanpa menambahkan gen tambahan dikenal sebagai “induksi resistensi sistemik.” Melalui perubahan fisiologis yang disebabkan oleh proses ini, sistem kekebalan tubuh diatur untuk mengaktifkan atau menstimulasi mekanisme resistensi bawaan tanaman sebagai respons terhadap rangsangan dari luar. Agen biologis, fisik, atau kimia merupakan contoh agen eksternal yang dapat berperan sebagai pemicu.

Dalam pemuliaan tanaman, ketahanan terhadap penyakit sangat penting karena dapat mempengaruhi kaliber dan volume hasil tanaman. Mendorong ketahanan sistemik merupakan salah satu cara untuk membuat tanaman lebih tahan terhadap penyakit. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan elicitor yang melibatkan koordinasi dan ekspresi gen (gen SAR) dan zat tertentu seperti asam salisilat atau asam jasmonat.

Pengelolaan pertanian di zaman modern harus menganut praktik ramah lingkungan. Pestisida kimia dapat membahayakan ekosistem dan lingkungan jika digunakan secara terus menerus. Penggunaan agen biokontrol seperti *Pseudomonas fluorescens* merupakan alternatif yang sangat membantu dalam pengendalian penyakit tanaman guna melindungi lingkungan dan ekosistem di masa depan. Ada banyak manfaat penggunaan *Pseudomonas fluorescens* untuk memerangi berbagai penyakit tanaman. Meskipun penggunaannya terbatas di bidang pertanian, banyak penyelidikan ilmiah telah menunjukkan kemanjuran *Pseudomonas fluorescens* dalam menangani berbagai patogen penyebab penyakit tanaman. Karena lebih murah, lebih efisien, dan lebih ramah lingkungan dibandingkan pestisida kimia, penggunaan bahan biokontrol ini mempunyai banyak potensi sebagai penggantinya. Prospek masa depan mencakup lebih banyak penelitian, peningkatan daya tahan, dan penerapan di lapangan yang lebih luas.

### KESIMPULAN

Pengendalian hayati atau biokontrol pada dasarnya melibatkan organisme baik secara langsung maupun tidak langsung untuk mengurangi pertumbuhan patogen dan dampak penyakit. Penggunaan mikroorganisme antagonis sebagai agen biokontrol memiliki potensi yang cukup besar dalam mencegah serangan patogen serta kemampuannya beradaptasi dan mengkolonisasi akar tanaman.

### DAFTAR PUSTAKA

- Aris Dwi Cahyono. (2021). (Library Research) Peranan Pengembangan Manajemen Kinerja Tenaga Administrasi Kesehatan Terhadap Peningkatan Mutu Pelayanan Kesehatan Di Puskesmas. *Jurnal Ilmiah Pamenang*, 3(2), 28–42. <https://doi.org/10.53599/jip.v3i2.81>
- Choliq, F. A., Martosudiro, M., & Jalaweni, S. C. (2020). APLIKASI PLANT GROWTH PROMOTING RHIZOBACTERIA (PGPR) TERHADAP INFEKSI *Chrysanthemum mild mottle virus* (CMMV), PERTUMBUHAN, DAN PRODUKSI TANAMAN KRISAN (*Chrysanthemum* sp.). *AGRORADIX: Jurnal Ilmu Pertanian*, 3(2), 31–49. <https://doi.org/10.52166/agroteknologi.v3i2.1952>
- Dewi, P. A., & Advinda, L. (2022). The Ability of Fluorescent *Pseudomonas* to Produce Cyanide Acid. *Jurnal Serambi Biologi*, 7(1), 7–12. <https://serambibiologi.ppj.unp.ac.id/index.php/srmb/article/view/23%0Ahttps://serambibiologi.ppj.unp.ac.id/index.php/srmb/article/download/23/11>
- Dilla, A., Advinda, L., Handayani, D., & Chatrri, M. (2024). *Pseudomonas Fluorescent* As A Biocontrol Agent Against Plant Pathogens. *Jurnal Serambi Biologi*, 9(1), 64–69.



- Fatimah, F., Khasanah, H. N., Khoirunnisa, R., 'Aini, F. Q., & Hanik, N. R. (2022). Identification of Diseases and Pests of Cauliflower (*Brassica oleracea*) in the Pedan Hamlet Plantation, Karanglo, Tawangmangu. *Jurnal Biologi Tropis*, 22(1), 113–120. <https://doi.org/10.29303/jbt.v22i1.3072>
- Febrianto, A., & Andila, D. A. (2023). Inovasi agens hayati sebagai upaya peningkatan ekonomi petani di Desa Mojolegi Kecamatan Gading Kabupaten Probolinggo. *E-Jurnal Ekonomi Sumberdaya Dan Lingkungan*, 11(1), 2303–2220.
- Fitriani, et al. (2024). *Author(s): Fitriani., et al. 21(2)*.
- Gusnado, B., Advinda, L., Anhar, A., Putri, I. L. E., & Chatri, M. (2023). *Pseudomonas fluorescens* as a Biocontrol Agent for Controlling Various Plant Diseases. *Serambi Biologi*, 8(2), 2023.
- Haghighi, B. J., Alizadeh, O., & Firoozabadi, A. H. (2011). The role of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in sustainable agriculture. *Advances in Environmental Biology*, 5(10), 3079–3083.
- Hamakonda, U. A., & Maria Clara Mau. (2023). Prospek Pertanian Organik Sebagai Salah Satu Konsep. *Jurnal Pertanian Unggul*, 2(1), 28–39.
- Hasanuddin, H. (2011). UJI AKTIVITAS ANTIBIOSIS PSEUDOMONADS PENDARFLUOR TERHADAP *Rigidoporus lignosus* (Klotzsch) Imazeki PENYEBAB PENYAKIT AKAR PUTIH. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 11(1), 87–94. <https://doi.org/10.23960/j.hptt.11187-94>
- Hidayati, F., Yonariza, Y., Nofialdi, N., & Yuzaria, D. (2019). Intensifikasi Lahan Melalui Sistem Pertanian Terpadu: Sebuah Tinjauan. *Unri Conference Series: Agriculture and Food Security*, 1, 113–119. <https://doi.org/10.31258/unricsagr.1a15>
- Ihsan, B., & Retnaningrum, E. (2022). Bacteria Diversity In Seaweed (*Kappaphicus alvarezii*) In Amal Beach Waters. *Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, 18(4), 229–233.
- Jannah, S. N., Rahmadias Hanifa, Y., Utomo, A. B., Kurnia, A., Prambodo, D., Arina, D., & Lunggani, T. (2021). Isolasi dan Potensi Enzim Hidrolase Bakteri *Symbion Padina* sp. dari Pantai Lengkuas Belitung Isolation and Potential of Bacterial Hydrolase Enzymes *Symbion Padina* sp. from Lengkuas Beach Belitung. *Bioma*, 23(1), 11–17.
- Okwisan, S., Advinda, L., Handayani, D., Putri, D. H., & Putri, I. L. E. (2023). Potential of *Pseudomonas fluorescens* as Control of Plant Diseases. *Jurnal Serambi Biologi*, 8(1), 109–116.
- Pasalo, N. M., Kandou, F. E. F., & Singkoh, M. F. O. (2022). Uji Antagonisme Jamur *Trichoderma* sp. Terhadap Patogen *Fusarium* sp. pada Tanaman Bawang Merah *Allium cepa* Isolat Lokal Tonselwer Secara In vitro. *Jurnal Ilmu Alam Dan Lingkungan*, 13(2), 1–7.
- Putri, F. A., Bramasta, D., & Hawanti, S. (2020). Studi literatur tentang peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa dalam pembelajaran menggunakan model pembelajaran the power of two di SD. *Jurnal Educatio FKIP UNMA*, 6(2), 605–610. <https://doi.org/10.31949/educatio.v6i2.561>
- Saputra, M. R., & Chatri, M. (2024). *Jurnal Biologi Tropis Literatur Review: Siderophore Activity and Campability of Bacillus as Pathogen Controller of Eggplant Plant*.
- Setiawan, A. W. (2019). EPIDEMIOLOGI PENYAKIT LAYU BAKTERI DAN PERKEMBANGAN KOMPLEKS SPESIES *Ralstonia solanacearum*. *Jurnal Galung Tropika*, 8(3), 243–270. <https://doi.org/10.31850/jgt.v8i3.502>
- Alvarez, S., et al. (2020). Biocontrol of plant pathogens using microorganisms: A review of their efficacy and mechanisms. *Biological Control*, 149, 104336. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104336>
- Bourdais, J., et al. (2019). Fungal-based biocontrol of plant pests and diseases. *Fungal Biology Reviews*, 33(2), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2019.01.001>
- Feng, M., et al. (2018). The potential of microbial biocontrol agents for controlling aphids. *Biological Control*, 122, 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.03.002>
- Gutiérrez, R., et al. (2017). Microbial biocontrol agents for the control of plant pests. *Agricultural Sciences*, 8(4), 530–539. <https://doi.org/10.4236/as.2017.84038>
- Harman, G. E. (2019). The role of microorganisms in biocontrol of pests in agriculture. *Microbial Biotechnology*, 12(1), 1–11. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13227>
- Ibrahim, M. M., et al. (2020). Microbial biocontrol agents: Potential and challenges for sustainable agriculture. *Microorganisms*, 8(10), 1514. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8101514>
- Köhl, J., et al. (2020). Microbial biocontrol of plant diseases: A review of current practices and future perspectives. *Journal of Applied Microbiology*, 128(5), 1379–1390. <https://doi.org/10.1111/jam.14603>



- Lacey, L. A., et al. (2017). Microbial biocontrol agents for insect pests. *Biological Control*, 109, 34-43.  
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.02.007>
- Madhavi, A., et al. (2021). Biocontrol of pests using microorganisms: An overview. *Journal of Biological Control*, 35(3), 146-157.  
<https://doi.org/10.18311/jbc/2021/25958>
- Mano, H., et al. (2020). The role of plant growth-promoting rhizobacteria in pest control. *Biological Control*, 151, 104412.  
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104412>
- Meena, M. S., et al. (2018). Microbial biocontrol agents for plant pest management: A review. *Biocontrol Science and Technology*, 28(5), 443-458.  
<https://doi.org/10.1080/09583157.2018.1479547>
- Naeem, M., et al. (2017). Biocontrol potential of microbial agents in sustainable pest management. *Pest Management Science*, 73(6), 1117-1125.  
<https://doi.org/10.1002/ps.4507>
- Seyedi, M., et al. (2021). The potential of microorganisms as biocontrol agents against insect pests. *Applied Soil Ecology*, 163, 103929.  
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103929>
- Sharma, M., et al. (2018). The role of microorganisms in pest control: A review of biocontrol mechanisms. *Frontiers in Microbiology*, 9, 2077.  
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02077>
- Vásquez, M. D. A., et al. (2020). Microbial biocontrol agents for plant pest management: From laboratory to field. *Biological Control*, 150, 104333.  
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104333>