



Research Article

DOI : 10.36728/afp.v22i2.4365

IDENTIFIKASI BAKTERI ENDOFIT DALAM PENERAPAN ECO-ENZYME PADA BUDIDAYA JAHE MERAH (*Zingiber Officinale* Var. *Rubrum*)

Puguh Bintang Pamungkas^{1*}, Okti Purwaningsih²⁾, Rahmat A Hi Wahid³⁾

^{1,2} Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas PGRI Yogyakarta

³ Program Studi Farmasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas PGRI Yogyakarta

* Email: puguhbintang4478@gmail.com

ABSTRACT

During the COVID-19 pandemic, the use of red ginger as a herbal treatment increased significantly, establishing it as a highly popular herbal commodity. However, disruptions caused by plant pests have led to fluctuating demand. One major issue is bacterial wilt disease caused by *Ralstonia solanacearum*, which can result in yield losses of up to 90%. Biological control using endophytic bacteria has shown promise in managing bacterial wilt, particularly bacteria residing in the red ginger rhizosphere. This research aimed to explore and identify endophytic bacteria from the rhizosphere of red ginger plants. The study was conducted from September to October 2022 at the Greenhouse and Integrated Chemistry and Biology Laboratory, PGRI University Yogyakarta. Soil samples were collected from red ginger cultivation systems implementing eco-enzymes as part of a healthy farming approach. Four treatments were applied with three replications: no eco-enzyme, 0.1% eco-enzyme, 0.3% eco-enzyme, and 0.5% eco-enzyme. Each treatment involved three soil samplings, yielding a total of 36 soil samples for analysis. Exploration of the rhizosphere resulted in the isolation of 36 bacterial strains, of which 20 were identified as belonging to the genera *Bacillus* sp. and *Pasteuria* sp. Among these, 16 isolates were identified as *Bacillus* sp., including six from the no eco-enzyme treatment, one from the 0.3% eco-enzyme treatment, and nine from the 0.5% eco-enzyme treatment. Additionally, five isolates were identified as *Pasteuria* sp., with two from the 0.1% eco-enzyme treatment and three from the 0.3% eco-enzyme treatment.

KEYWORD

Covid-19, Eco Enzym, *Ralstonia Solanacearum*, Red Ginger, Rhizosphere

INFORMATION

Received : 28 November 2024

Revised : 23 Desember 2024

Accepted : 21 Januari 2025

Volume : 25

Number : 1

Year : 2025

Copyright © 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Licence

1. PENDAHULUAN

Tanaman jahe adalah salah satu komoditas herbal unggulan yang banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia sebagai bumbu masakan, minuman kesehatan, bahan baku obat tradisional, dan perawatan tubuh. Hal ini dikarenakan tanaman jahe memiliki kandungan lemak, protein, asam organik, vitamin (A, B1, B2, C), karbohidrat, serat, lemak, kalsium, zat besi, sodium, fosfor, oleoresin dan niasin (Reni Rakhmawati & Mei Sulistyoningsih, 2020; Sulistyoningsih et al., 2018).

Menurut [Mustofa \(2020\)](#), selama pandemi COVID-19, bahan herbal yang paling banyak digunakan untuk meningkatkan imunitas adalah jahe (81,32%), kunyit (68,52%), serai (62,77%), temulawak (48,93%), kayu manis (42,02%), dan lainnya (22,04%). Jahe merah (*Zingiber officinale* var. *rubrum*) digunakan dan dikonsumsi dalam bentuk segar atau bubuk kering sebagai pengobatan untuk berbagai penyakit seperti pilek, gangguan pencernaan, analgesik, osteoarthritis, anti-inflamasi, anti-diabetes, antioksidan, meningkatkan kekebalan tubuh, serta sebagai antivirus terhadap SARS-CoV-2 ([Aryanti et al., 2019](#); [Jafarzadeh et al., 2021](#); [Lorensia et al., 2022](#); [Nile & Park, 2015](#); [Thamlikitkul et al., 2017](#); [Wijaya et al., 2021](#); [Zhu et al., 2018](#)).

Permintaan jahe meningkat tajam karena meningkatnya penggunaan dan potensinya untuk industri obat herbal selama pandemi COVID-19. Data statistik tahun 2021 menunjukkan bahwa total produksi jahe nasional mencapai 307,24 ribu ton, meningkat sebesar 67,42% dibandingkan tahun 2020 dan 2019 yang masing-masing sebesar 183.517,77 ton dan 174.380,12 ton, tetapi menurun dibandingkan tahun 2018 yang sebesar 207.411,86 ton ([BPS, 2022](#); [Hayati, 2021](#); [Subdirektorat Statistik Hortikultura, 2015](#)). Salah satu alasan penurunan luas panen dan produksi jahe adalah penyakit layu bakteri.

Layu bakteri yang disebabkan oleh *Ralstonia solanacearum* merupakan penyakit utama pada tanaman jahe. [Wiratno \(2017\)](#) menjelaskan bahwa banyak petani mengalami kerugian akibat penyakit layu bakteri ini, karena dapat menyebabkan kehilangan hasil hingga 90%. Penyebaran bakteri ini sangat mudah, melalui rimpang jahe yang terinfeksi, tanah, akar, irigasi, sisa-sisa tanaman yang sakit, alat pertanian, hewan, dan pekerja di lapangan. Oleh karena itu, pengendalian penyakit ini cukup sulit dilakukan.

Pengendalian penyakit tanaman mengacu pada konsep Pengelolaan Hama Terpadu (Integrated Pest Management atau IPM). Salah satu komponen dalam pengendalian ini adalah pengendalian hayati menggunakan agen hayati yang memiliki beberapa keunggulan, antara lain: memanfaatkan sumber daya lokal, dapat diperbanyak dengan teknologi sederhana, dan mudah dalam aplikasi ([Kementerian Pertanian, 2012](#)). Penggunaan agen hayati dalam pengendalian penyakit membutuhkan waktu yang lama, namun mampu mendukung sistem keberlanjutan lingkungan, murah, dan tidak berbahaya bagi kehidupan maupun lingkungan ([Mingma et al., 2014](#)).

Salah satu agen hayati yang dapat digunakan adalah kelompok bakteri endofit dalam tanah yang hidup di lapisan rhizosfer. Bakteri ini memiliki beberapa keunggulan seperti kemampuan bertahan hidup hingga 70 tahun di dalam tanah tanpa kehilangan patogenesisitasnya, membentuk endospora dengan cepat, menempel pada inang dalam waktu 24 jam, kebal terhadap berbagai pestisida, dan dapat digunakan bersama musuh alami lainnya ([Chaudhary & Kaul, 2011](#); [Stirling GR, 2014](#)).

Bakteri rhizosfer sangat beragam jenisnya, penelitian yang dilakukan oleh [Li et al \(2021\)](#) mengidentifikasi keberadaan bakteri dari genus *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Bacillus*, dan *Pseudomonas* di tiga wilayah yang diamati di Cina. Sebaliknya, studi [Orr et al \(2020\)](#) menemukan bahwa bakteri *Pasteuria* tersebar di 195 lokasi yang terletak di seluruh wilayah Skotlandia.

Bakteri rhizosfer berperan dalam mengoptimalkan siklus nutrisi, pertumbuhan tanaman, dan sebagai pengendali hayati terhadap patogen tanah. Sebagai contoh, isolat *Pseudomonas fluorescens* T906, *B. cepacia* 44, dan *Bacillus* sp. dapat menekan penyakit layu bakteri pada jahe putih kecil. Aplikasi campuran ketiga isolat bakteri tersebut dalam satu formulasi mampu menekan serangan bakteri dari 47% menjadi 7,4% ([Istiqomah & Kusumawati, 2018](#); [Pavan, G. dan Tomer, 2020](#); [Sohibi et al., 2023](#)).

Penelitian eksplorasi mikroba rhizosfer dilakukan karena di area ini terdapat banyak mikroorganisme yang dapat dianalisis menggunakan teknik isolasi. Sebagian besar mikroorganisme tersebut memiliki kemampuan untuk menghasilkan metabolit sekunder yang sesuai dan bermanfaat bagi tanaman inangnya (Zalila-Kolsi et al., 2016). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menemukan jenis bakteri endofit yang diharapkan memiliki potensi sebagai agen pengendali hayati untuk melawan penyakit tanaman, seperti penyakit layu bakteri (*Ralstonia solanacearum*). Hal ini berkontribusi pada pengurangan penggunaan bahan kimia dalam pengendalian hama dan penyakit, sehingga dapat mendukung sistem pertanian berkelanjutan yang ramah lingkungan.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan pada bulan September hingga Oktober 2022 di Green House Fakultas Pertanian Universitas PGRI Yogyakarta dan Laboratorium Terpadu Universitas PGRI Yogyakarta. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada budidaya tanaman jahe yang menerapkan sistem pertanian sehat, yaitu dengan aplikasi Eco-enzym. Terdapat 4 perlakuan dengan 3 ulangan, yaitu tanpa Eco-enzym, 0,1% Eco-enzym, 0,3% Eco-enzym, dan 0,5% Eco-enzym. Pengambilan sampel tanah dilakukan saat tanaman jahe dipanen, dan tanah diambil hanya dari area rhizosfer dengan kedalaman 5-15 cm (Nurrochman, 2015). Pengambilan sampel tanah pada setiap petak perlakuan diulang sebanyak 3 kali, sehingga diperoleh 36 sampel tanah untuk pengamatan.

Analisis bakteri pada sampel tanah di area rhizosfer menggunakan metode dilution plate, di mana 10 g sampel tanah dilarutkan dengan 90 ml air suling, kemudian divortex hingga larutan menjadi homogen. Sebanyak 1 ml larutan homogen diambil dan dilarutkan dengan 9 ml NaCl fisiologis dalam tabung reaksi untuk pengenceran bertingkat dari 10^{-1} hingga 10^{-7} . Selanjutnya, 1 ml suspensi dengan pengenceran 10^{-7} dimasukkan ke dalam piring petri yang sudah mengandung media NA. Kultur bakteri ini diinkubasi selama 24-48 jam pada suhu ruang. Setiap koloni bakteri yang tumbuh dipurifikasi untuk memperoleh koloni tunggal (Kartikawati & Gusmaini, 2018; Raipuria N, Paroha S, 2013).

Mikroba yang terisolasi kemudian diidentifikasi berdasarkan bentuk sel dan uji Gram. Identifikasi dapat dilakukan menggunakan larutan 3% KOH (Powers, 1995), selain itu identifikasi juga dilakukan dengan membandingkan hasil yang diperoleh dengan buku karya (De Vos et al., 2009), yang berisi deskripsi, sifat, dan karakteristik bakteri.

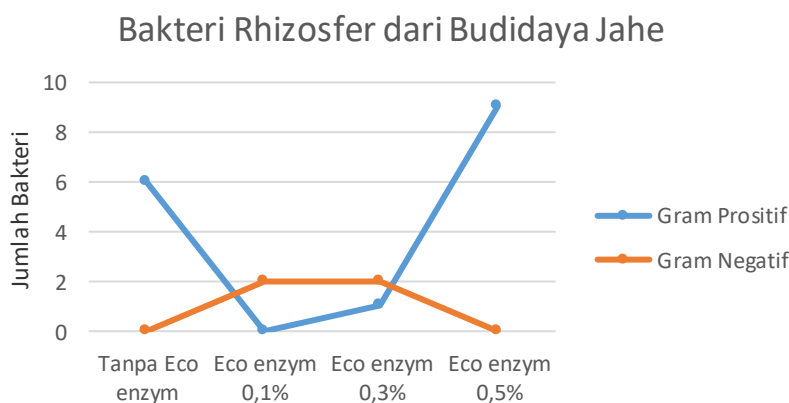
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sari, W and Irawan (2018) menjelaskan bahwa keanekaragaman bakteri tanah dipengaruhi oleh interaksi tanaman dengan lingkungan mereka, sehingga memungkinkan bakteri menjadi biomassa mikroba yang dominan di dalam tanah. Mikroorganisme tanah di daerah rhizosfer memiliki populasi yang lebih banyak dan beragam dibandingkan dengan tanah non-rhizosfer. Mikroba tanah menjadikan daerah rhizosfer tanaman sebagai sumber makanan, karena area akar menghasilkan serpihan tudung akar dan eksudat akar yang mempengaruhi mikroba tanah secara kualitatif dan kuantitatif (Prayudyaningsih, 2015).

Eksplorasi dilakukan terhadap sampel tanah yang diambil dari area rhizosfer tanaman jahe merah, dengan tujuan untuk mengungkap keberadaan bakteri endofit potensial. Proses eksplorasi ini dilakukan sebanyak 3 kali ulangan untuk memastikan keakuratan hasil yang diperoleh. Dari hasil eksplorasi, sebanyak 36 isolat bakteri berhasil diisolasi dari area rhizosfer tanaman jahe merah. Namun, setelah dilakukan identifikasi lebih lanjut, hanya 20

isolat yang berhasil diklasifikasikan ke dalam dua genus bakteri, yaitu *Bacillus sp.* dan *Pasteuria sp.*, sementara sisanya tidak dapat diidentifikasi dengan metode yang digunakan.

Jumlah bakteri endofit pada tanaman tidak dapat ditentukan dengan pasti, namun bakteri ini dapat dideteksi dengan mengisolasinya pada media agar. Media yang digunakan untuk mengisolasi bakteri endofit dalam penelitian ini adalah media nutrient agar (NA) (Kartikawati & Gusmaini, 2018). Media ini merupakan media kaya yang terdiri dari ekstrak ragi, pepton, NaCL, dan agar.



Gambar 1. Hasil Isolasi Bakteri Rhizosfer Dari Budidaya Jahe Dalam Sistem Pertanian Sehat Dengan Penerapan Eco-Enzim

Dari gambar di atas menunjukkan bahwa terdapat 2 jenis bakteri rhizosfer dari budidaya jahe dalam sistem pertanian sehat dengan penerapan eco-enzim, yaitu *Bacillus sp.* dan *Pasteuria sp.*

3.1. *Bacillus sp.*

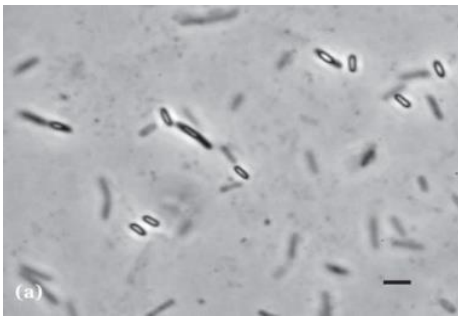
Dari eksplorasi yang dilakukan pada sampel tanah jahe yang terinfeksi *Ralstonia solanacearum*, ditemukan total 16 isolat bakteri *Ralstonia solanacearum*, yang termasuk dalam genus *Bacillus sp.* Isolat-isolat tersebut meliputi 6 isolat pada perlakuan tanpa eco-enzym, yaitu E0-1 (1), E0-1 (2), E0-1 (3), E0-1 (4), E0-3 (1), dan E0-3 (2); 1 isolat pada perlakuan dengan 0,3% eco-enzym, yaitu E2-1 (2); dan 9 isolat pada perlakuan dengan 0,5% eco-enzym, yaitu E3-1 (1), E3-1 (4), E3-2 (1), E3-2 (2), E3-2 (3), E3-2 (4), E3-3 (1), E3-3 (2), dan E3-3 (4).

Menurut De Vos et al (2009), klasifikasi bakteri *Bacillus sp.* dapat dijelaskan sebagai berikut:

Kingdom : Procaryotae
 Phylum : Bacteria
 Classis : Schizomycetes
 Ordo : Eubacteriales
 Familia : Bacillaceae
 Genus : Bacillus
 Spesies : Bacillus sp



Gambar 2. *Bacillus* sp. (De Vos et al., 2009)



(a)



(b)

Gambar 3. *Bacillus* sp. (a) (Logan, 1988); (b) Dokumen Pribadi

Bacillus sp. adalah bakteri berbentuk batang (bacilli) yang dapat ditemukan di tanah dan air, termasuk di air laut. Beberapa jenis bakteri ini menghasilkan enzim ekstraseluler yang dapat menghidrolisis protein dan polisakarida kompleks. *Bacillus* sp. bersifat gram positif, bergerak dengan peritrikal flagellum, dan membentuk endospora. Endospora yang dihasilkan oleh *Bacillus* sp. memiliki daya tahan tinggi terhadap faktor kimia dan fisik, seperti suhu ekstrem, alkohol, dan sebagainya (Jiménez & Vázquez-Ramos, 1995; Nayak, 2021; Vinothkanna et al., 2021).

Koloni *Bacillus* sp. umumnya berwarna putih hingga kekuningan atau putih kusam, dengan tepi koloni yang bervariasi namun umumnya tidak rata, permukaannya kasar dan tidak licin, bahkan ada yang cenderung kering seperti bubuk, koloni ini besar dan tidak mengkilap.

Bacillus sp. memiliki sifat fisiologis yang menarik karena setiap jenis memiliki kemampuan yang berbeda, yaitu: (1) mampu menguraikan senyawa organik seperti protein, pati, selulosa, hidrokarbon, dan agar; (2) mampu menghasilkan antibiotik; (3) berperan dalam nitrifikasi dan denitrifikasi; (4) sebagai fiksator nitrogen; (5) pengoksidasi selenium; (6) pengoksidasi dan pereduksi mangan (Mn); (7) bersifat chemoautotrofik, aerobik atau anaerob fakultatif, asidofilik dan alkalifilik, psikrofilik atau termofilik (Norris, J.R. & N.A.Logan, 1981).

Mugiastuti et al (2012) menyatakan bahwa bakteri antagonis *Bacillus* sp. mampu menunda masa inkubasi penyakit layu pada tanaman tomat, penundaan masa inkubasi ini diduga terkait dengan keberadaan bakteri antagonis yang dapat bersaing dengan bakteri patogen dan nematoda untuk menyerang tanaman. Selain itu, mekanisme lain dari bakteri antagonis seperti kemampuan menghasilkan metabolit sekunder, seperti antibiotik, siderofor, bakteriosin, dan enzim kitinase, dan protease yang merusak sel bakteri atau telur atau larva nematoda, yang pada akhirnya menghambat patogen untuk menginfeksi tanaman inang (Zalila-Kolsi et al., 2016).

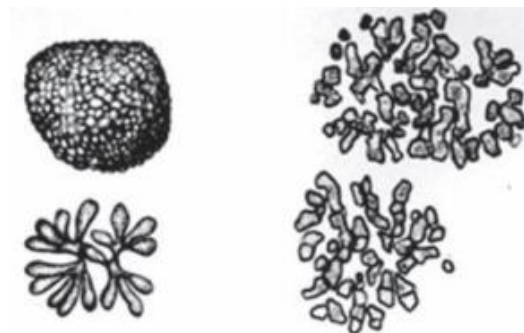
Bacillus sp. juga mampu menghasilkan fitohormon seperti auksin, sitokinin, etilen, giberelin, dan asam absisat yang dapat merangsang pertumbuhan tanaman, dan pada akhirnya berdampak pada peningkatan hasil. Kemampuan *Bacillus sp.* juga dikenal sebagai PGPR (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria) yang merangsang pertumbuhan tanaman, melalui mekanisme peningkatan penyerapan nutrisi, penekanan infeksi penyakit, atau produksi hormon, dan pada akhirnya dapat meningkatkan hasil panen (Muis et al., 2015; Zalila-Kolsi et al., 2016).

3.2. *Pasteuria sp.*

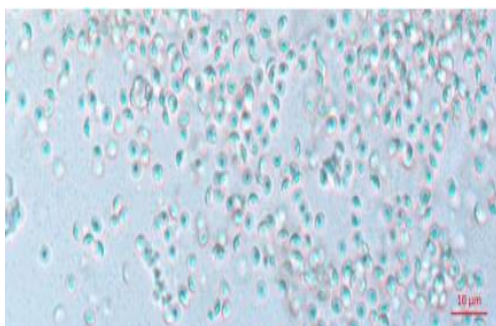
Hasil eksplorasi yang dilakukan pada sampel tanah dari akar jahe memperoleh 5 isolat bakteri *Ralstonia solanacearum* yang termasuk dalam genus *Pasteuria sp.*, terdiri dari 2 isolat pada perlakuan 0,1% eco-enzym, yaitu E1-1 (1), dan E1-2 (1); serta 3 isolat pada perlakuan 0,3% eco-enzym, yaitu E2-1 (2), E2-2 (4), dan E2-3 (1).

Menurut De Vos et al (2009), klasifikasi bakteri *Pasteuria sp.* dapat dijelaskan sebagai berikut:

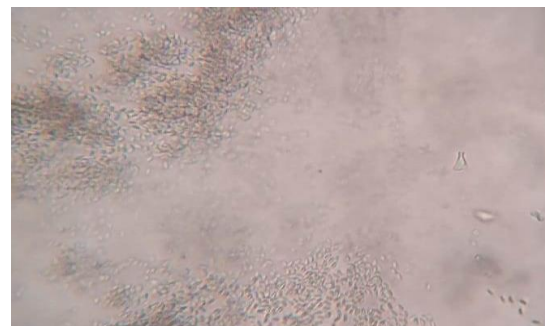
Kingdom : Procaryotae
Phylum : Bacteria
Classis : Bacilli
Ordo : Bacillales
Familia : Pasteuriaceae
Genus : Pasteuria
Spesies : Pasteuria sp.



Gambar 4. *Pasteuria sp.* (Metchnikoff, 1888)



(a)



(b)

Gambar 5. *Pasteuria sp.* (a) (Dyrdahl-Young & DiGennaro, 2018); (b) Dokumen pribadi

Pasteuria sp. adalah bakteri parasit obligat yang dapat menginfeksi berbagai jenis nematoda parasit tanaman. Bakteri ini menghasilkan spora berbentuk cangkir, bakteri ini bersifat gram positif dan memiliki miselium yang terisolasi dengan hifa bercabang. Sporangium terbentuk akibat dilatasi hifa, sementara tubuh bakteri berbentuk bulat. Pada bagian cangkir tersebut, terdapat endospora dengan diameter 1,6-2,5 µm. Spora *Pasteuria sp.* juga memiliki ketahanan terhadap bahan kimia dan panas (Abd-Elgawad, 2024; Devi, 2023).

Beberapa spesies bakteri dilaporkan dapat menginfeksi berbagai jenis nematoda hama yang penting secara ekonomi, serta berkembang biak hingga mencapai jumlah yang cukup untuk mengendalikan populasi nematoda tersebut. Secara global, terdapat 8 spesies *Pasteuria*, yaitu *P. thornei*, *P. penetrans*, *P. nishizawae*, *P. usgae*, *P. ramosa*, *P. hartismeri*, *P. goettingiana*, dan *P. aldrichii*, yang telah diidentifikasi menginfeksi 323 spesies nematoda dari 116 genus di 80 negara (Giblin-Davis et al., 2011; Stirling GR, 2014).

Pasteuria spp. merupakan bakteri gram positif yang membentuk endospora dari kelompok Firmicutes, bakteri ini mampu menekan nematoda parasit tanaman (PPNs/Plant Parasitic Nematodes) melalui dua mekanisme utama. Pertama, endospora *Pasteuria spp.* menempel pada permukaan tubuh nematoda, sehingga menghambat pergerakan nematoda menuju akar tanaman dan menghalangi aksesnya ke sumber makanan (Vagelas et al., 2012). Kedua, setelah endospora berhasil menembus kutikula nematoda dan mengkolonisasi pseudocoelom, *Pasteuria spp.* dapat mengganggu proses embriogenesis nematoda dan menyebabkan kemandulan pada inangnya (Davies et al., 2011). Selain itu, *Pasteuria spp.* merupakan parasit yang sangat spesifik, menunjukkan tingkat spesifisitas inang yang dapat bersifat spesifik terhadap suatu spesies atau populasi nematoda tertentu (Duneau et al., 2011; Mohan et al., 2012).

Pada tanaman jahe, penggunaan bakteri ini untuk mengendalikan nematoda *M. incognita* mencapai 82% (Harni & Mustika, 2003). Serangan nematoda simpul akar yang disebabkan oleh (*Meloidogyne sp.*) dapat dikendalikan oleh *Pasteuria sp.* sehingga tanaman tidak terkena serangan nematoda (Afril et al., 2014).

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi bakteri endofit dari area rhizosfer tanaman jahe merah (*Zingiber officinale var. rubrum*) yang diperlakukan dengan eco-enzyme. Isolat yang ditemukan sebanyak 20 yang termasuk dalam genus *Bacillus sp.* dan *Pasteuria sp.*, yang diketahui memiliki potensi sebagai agen hayati, di mana *Bacillus sp.* dianggap mampu menunda masa inkubasi penyakit layu pada tanaman tomat. Sementara itu, *Pasteuria sp.* mampu mengendalikan nematoda penyebab simpul akar (*Meloidogyne sp.*), sehingga kondisi tanaman tidak terpengaruh oleh serangan nematoda. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan eco-enzyme dapat berkontribusi pada diversitas mikroorganisme di sekitar akar tanaman jahe merah (*Zingiber officinale var. rubrum*), sehingga mendukung konsep pertanian berkelanjutan. Berdasarkan hasil penelitian ini, langkah selanjutnya adalah menguji efektivitas bakteri endofit yang teridentifikasi dalam mengendalikan patogen tanaman atau meningkatkan pertumbuhan tanaman dalam skala lapangan. Selain itu, pengembangan metode aplikatif untuk penggunaan eco-enzyme dalam berbagai sistem pertanian perlu dilakukan agar manfaatnya dapat dioptimalkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd-Elgawad, M. M. M. (2024). *Pasteuria* Species for Nematodes Management in Organic Farms. In *Sustainable Management of Nematodes in Agriculture, Vol. 2: Role of Microbes-Assisted Strategies*. Cham: Springer International Publishing.
- Afril, A. C., Soekarto, & Hoesain, M. (2014). PENGARUH JUMLAH INOKULUM TELUR DAN KERAPATAN BAKTERI *Pasteuria penetrans* PADA TANAMAN KOPI ARABIKA. *Berkala Ilmiah PERTANIAN*, x(x), 1–5.
- Aryanti, P. I., Haryanto, J., & Ulfiana, E. (2019). Red Ginger (*Zingiber officinale* var. *rubrum*) Massage Reduces Stiffness and Functional Disability in Elderly with Osteoarthritis. *Jurnal Ners*, 13(2), 200–206. <https://doi.org/10.20473/jn.v13i2.9292>
- BPS. (2022). *Produksi Tanaman Herbal di Indonesia 2019-2021*. Februari. <https://www.bps.go.id/indicator/55/63/1/produksi-tanaman-biofarmaka-obat-.html>
- Chaudhary, K. K., & Kaul, R. K. (2011). Compatibility of *Pasteuria penetrans* with fungal parasite *Paecilomyces lilacinus* against root knot nematode on Chilli (*Capsicum annum* L.). *South Asian Journal of Experimental Biology*, 1(1), 36–42. [https://doi.org/10.38150/sajeb.1\(1\).p36-42](https://doi.org/10.38150/sajeb.1(1).p36-42)
- Davies, K. G., Rowe, J., Manzanilla-López, R., & Opperman, C. H. (2011). Re-evaluation of the life-cycle of the nematode-parasitic bacterium *Pasteuria penetrans* in root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp. *Nematology*, 13(7), 825–835. <https://doi.org/10.1163/138855410X552670>
- De Vos, P., Garrity, G. M., Jones, D., Krieg, N. R., Ludwig, W., Rainey, F. A., Schleifer, K.-H., & Whitman, W. B. (2009). *Bergey's manual of systematic bacteriology Volume Three The Firmicutes*. In *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology (Vol. 3)*. Springer Science & Business Media. <http://link.springer.com/10.1007/978-0-387-68233-4>
- Devi, G. (2023). *Pasteuria* spp. as Biocontrol Agent against Plant-Parasitic Nematodes: An Overview. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(20), 134–144. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i203793>
- Duneau, D., Luijckx, P., Ben-Ami, F., Laforsch, C., & Ebert, D. (2011). Resolving the infection process reveals striking differences in the contribution of environment, genetics and phylogeny to host-parasite interactions. *BMC Biology*, 9(9). <https://doi.org/10.1186/1741-7007-9-11>
- Dyrdahl-Young, R., & DiGennaro, P. (2018). *Pasteuria penetrans* (Bacilli: Bacillales: Pasteuriaceae). *Edis*, 2018(6). <https://doi.org/10.32473/edis-in1228-2018>
- Giblin-Davis, R. M., Nong, G., Preston, J. F., Williams, D. S., Center, B. J., Brito, J. A., & Dickson, D. W. (2011). “*Candidatus Pasteuria aldrichii*”, an obligate endoparasite of the bacterivorous nematode *Bursilla*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 61(9), 2073–2080. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.021287-0>

- Harni, R., & Mustika, I. (2003). Pemanfaatan Bakteri *Pasteuria Penetrans* untuk Mengendalikan Nematoda Parasit Tanaman. *Perspektif: Review Penelitian Tanaman Industri*, 2(2), 45–55.
- Hayati, N. E. (2021). NERACA JAHE DALAM NEGERI MASIH POSITIF – Direktorat Jenderal Hortikultura. [Http://Hortikultura.Pertanian.Go.Id/?P=7397](http://Hortikultura.Pertanian.Go.Id/?P=7397).
- Istiqomah, I., & Kusumawati, D. E. (2018). Pemanfaatan *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas fluorescens* dalam pengendalian hayati *Ralstonia solanacearum* penyebab penyakit layu bakteri pada tomat. *Jurnal AGRO*, 5(1), 1–12. <https://doi.org/10.15575/2305>
- Jafarzadeh, A., Jafarzadeh, S., & Nemati, M. (2021). Therapeutic potential of ginger against COVID-19: Is there enough evidence? *Journal of Traditional Chinese Medical Sciences*, 8(4), 267–279. <https://doi.org/10.1016/j.jtcms.2021.10.001>
- Jiménez, L. F., & Vázquez-Ramos, J. M. (1995). Biochemical and cytological studies on osmoprimed maize seeds. *Seed Science Research*, 5(1), 15–23. <https://doi.org/10.1017/S0960258500002543>
- Kartikawati, A., & Gusmaini. (2018). Potensi Bakteri Endofit yang Diisolasi dari Tanaman Jahe Merah untuk Memacu Pertumbuhan Benih Lada. *Buletin Penelitian Tanaman Rempah Dan Obat*, 29(1), 37–46.
- Kementerian Pertanian. (2012). Pestisida Nabati. In Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan (Issue April). Badan Litbang Pertanian.
- Li, Y., Yang, Y., Wu, T., Zhang, H., Wei, G., & Li, Z. (2021). Rhizosphere bacterial and fungal spatial distribution and network pattern of *Astragalus mongholicus* in representative planting sites differ the bulk soil. *Applied Soil Ecology*, 168, 104–114. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104114>
- Logan, N. A. (1988). *Bacillus* species of medical and veterinary importance. *Journal of Medical Microbiology*, 25(3), 157–165. <https://doi.org/10.1099/00222615-25-3-157>
- Lorensia, A., Sukarno, D. A., & Mahmudah, R. L. (2022). Red Ginger (*Zingiber officinale* var. *rubrum*) Infusion in Improve COPD Symptoms. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology Journal Homepage*, 9(2), 75–84. <http://jurnal.unpad.ac.id/ijpst/>
- Metchnikoff, M. E. (1888). *Pasteuria ramosa* un représentant des bactéries a division longitudinale. *Annales de L'Institut Pasteur (Paris)*, 2, 165–170.
- Mingma, R., Pathom-aree, W., Trakulnaleamsai, S., Thamchaipenet, A., & Duangmal, K. (2014). Isolation of rhizospheric and roots endophytic actinomycetes from Leguminosae plant and their activities to inhibit soybean pathogen, *Xanthomonas campestris* pv. *glycine*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30(1), 271–280. <https://doi.org/10.1007/s11274-013-1451-9>
- Mohan, S., Mauchline, T. H., Rowe, J., Hirsch, P. R., & Davies, K. G. (2012). *Pasteuria* endospores from *Heterodera cajani* (Nematoda: Heteroderidae) exhibit inverted attachment and altered germination in cross-infection studies with *Globodera pallida* (Nematoda: Heteroderidae). *FEMS Microbiology Ecology*, 79(3), 675–684.

<https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2011.01249.x>

- Mugiastuti, E., Rahayuniati, R. F., & Fakultas, P. S. (2012). Pemanfaatan *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas fluorescens* Untuk Mengendalikan Penyakit Layu Tomat Akibat Sinergi *R. solanacearum* dan *Meloidogyne* sp. *Prosiding Seminar Nasional*, 2, 72–76.
- Muis, A., Djaenuddin, N., & Nonci, N. (2015). Evaluation of five inner carriers and *Bacillus subtilis* formulation to control banded leaf and sheath blight (*Rhizoctonia solani* Kuhn). *Journal of Tropical Plant Pests and Diseases*, 15(2), 164–169. <https://doi.org/10.23960/j.hptt.215164-169>
- Mustofa, F. I. (2020). Study on the Use of Herbal Medicine by the Community to Increase Body Endurance During the Covid-19 Outbreak (Research Report). Project Reports. In Tawangmangu Center for Research and Development of Medicinal Plants and Traditional Medicines, Tawangmangu, Indonesia. <http://r2kn.litbang.kemkes.go.id:8080/handle/123456789/84384?show=full>
- Nayak, S. K. (2021). Multifaceted applications of probiotic *Bacillus* species in aquaculture with special reference to *Bacillus subtilis*. *Reviews in Aquaculture*, 13(2), 862–906. <https://doi.org/10.1111/raq.12503>
- Nile, S. H., & Park, S. W. (2015). Chromatographic analysis, antioxidant, anti-inflammatory, and xanthine oxidase inhibitory activities of ginger extracts and its reference compounds. *Industrial Crops and Products*, 70(238–244), 238–244. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.033>
- NORRIS, J.R., R. C. W. B., & N.A.LOGAN, and A. G. O. (1981). The Genera *Bacillus* and *Sporolactobacillus*. In : *The Prokaryotes*, vol 2. *The Prokaryotes*, 2(1711–1742).
- Nurrochman, F. (2015). Eksplorasi Bakteri Selulolitik Dari Tanah Hutan Mangrove Baros Kretek.
- Orr, J. N., Neilson, R., Freitag, T. E., Roberts, D. M., Davies, K. G., Blok, V. C., & Cock, P. J. A. (2020). Parallel Microbial Ecology of Pasteuria and Nematode Species in Scottish Soils. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1763. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01763>
- Pavan, G. dan Tomer, A. (2020). Review Pengaruh *Pseudomonas fluorescens* pada Layu Bakteri Tomat. *Journal of Research and Analytical Review*, 7(4), 334–354.
- Powers, E. M. (1995). Efficacy of the Ryu nonstaining KOH technique for rapidly determining gram reactions of food-borne and waterborne bacteria and yeasts. *Applied and Environmental Microbiology*, 61(10), 3756–3758. <https://doi.org/10.1128/aem.61.10.3756-3758.1995>
- PRAYUDYANINGSIH, R. (2015). Mikroorganisme tanah bermanfaat pada rhizosfer tanaman umbi di bawah tegakan hutan rakyat Sulawesi Selatan. *PROSIDING SEMINAR NASIONAL MASYARAKAT BIODIV INDONESIA*, 954–959. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m010453>
- Raipuria N, Paroha S, P. R. (2013). Isolation of Micro-Organism from Rice Fields of Jabalpur Region. *Ann Exp Biol*, 1(1), 15–20.

- Reni Rakhmawati, & Mei Sulistyoningsih. (2020). PENGARUH PEMBERIAN VARIAN HERBAL JAHE (*Zingiber officinale*) DENGAN AUTOMATIC FEEDER TERHADAP PANJANG TUNGKAI (FEMUR, TIBIA, METATARSO) PADA ITIK (*Anas javanicus*). *Jurnal Ilmiah Agrineca*, 20(1), 1–6. <https://doi.org/10.36728/afp.v20i1.992>
- Sari, W and Irawan, I. (2018). Abundance and Diversity of Banana Rhizospheric Bacteria and Their Relationship with Fusarium Wilt Disease. *Agroscience*, 8(1).
- Sohibi, I., Marsuni, Y., & Liestiany, E. (2023). Uji Antagonis *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas berfluorescens* dari PGPR Akar Bambu Dalam Menekan Penyakit Layu Bakteri *Ralstonia solanacearum* Pada Tomat. *Jurnal Proteksi Tanaman Tropika*, 6(1), 573–580. <https://doi.org/10.20527/jppt.v6i1.1693>
- Stirling GR. (2014). *Biological Control of Plant-Parasitic Nematodes*, 2nd edn. CAB International.
- Subdirektorat Statistik Hortikultura. (2015). *Statistik tanaman Biofarmaka*. Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id>
- Sulistyoningsih, M., Rakhmawati, R., & Baharudin, M. I. (2018). Pengaruh Tambahan Herbal (Jahe, Kunyit, Salam) Dan Pencahayaan Terhadap Persentase Bobot Organ Dalam Pada Ayam Broiler. *Bioma: Jurnal Ilmiah Biologi*, 7(1), 40–52. <https://doi.org/10.26877/bioma.v7i1.2544>
- Thamlikitkul, L., Srimuninnimit, V., Akewanlop, C., Ithimakin, S., Techawathanawanna, S., Korphaisarn, K., Chantharasamee, J., Danchaivijitr, P., & Soparattanapaisarn, N. (2017). Efficacy of ginger for prophylaxis of chemotherapy-induced nausea and vomiting in breast cancer patients receiving adriamycin–cyclophosphamide regimen: a randomized, double-blind, placebo-controlled, crossover study. *Supportive Care in Cancer*, 25(2), 459–464. <https://doi.org/10.1007/s00520-016-3423-8>
- Vagelas, I. K., Dennett, M. D., Pembroke, B., & Gowen, S. R. (2012). Adhering pasteuria penetrans endospores affect movements of rootknot nematode juveniles. *Phytopathologia Mediterranea*, 51(3), 618–624.
- Vinothkanna, A., Sathiyarayanan, G., Balaji, P., Mathivanan, K., Pugazhendhi, A., Ma, Y., Sekar, S., & Thirumurugan, R. (2021). Structural characterization, functional and biological activities of an exopolysaccharide produced by probiotic *Bacillus licheniformis* AG-06 from Indian polyherbal fermented traditional medicine. *International Journal of Biological Macromolecules*, 174, 144–152. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.117>
- Wijaya, R. M., Hafidzhah, M. A., Kharisma, V. D., Ansori, A. N. M., & Parikesit, A. A. (2021). Covid-19 in silico drug with zingiber officinale natural product compound library targeting the mpro protein. *Makara Journal of Science*, 25(3), 162–171. <https://doi.org/10.7454/mss.v25i3.1244>
- Wiratno. (2017). Pengendalian Organisme Pengganggu Tanaman Obat Berkelanjutan. *Prosiding Seminar Nasional 2017 Fak. Pertanian UMJ*, 1(3), 1–21. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastan/article/view/2246%0Ahttps://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastan/article/download/2246/1866>

- Zalila-Kolsi, I., Ben Mahmoud, A., Ali, H., Sellami, S., Nasfi, Z., Tounsi, S., & Jamoussi, K. (2016). Antagonist effects of *Bacillus* spp. strains against *Fusarium graminearum* for protection of durum wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. durum). *Microbiological Research*, 192, 148–158. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2016.06.012>
- Zhu, J., Chen, H., Song, Z., Wang, X., & Sun, Z. (2018). Effects of Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) on Type 2 Diabetes Mellitus and Components of the Metabolic Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5692962>