

POTENSI BAKTERI SIMBION RAYAP SEBAGAI AGENS PENGENDALI HAYATI PENYAKIT REBAH SEMAI (*Sclerotium rolfsii*) PADA TANAMAN KEDELAI SECARA IN VITRO

Potential of Termite Symbiotic Bacteria as Biological Control Agents for Seedling Damping-Off Disease (*Sclerotium Rolfsii*) in Soybean Plants In Vitro

Vernanda Hani Pradana Sakti¹, Ardeva Duta Widura¹, Achmad Diva Maulana¹, Zattury Alda Wiya¹, Risma Azizatur Rofiqoh¹, Trisnani Alif¹, Gallyndra Fatkhudinata^{1*}

¹Jurusan Produksi Pertanian, Politeknik Negeri Jember

Diterima redaksi: 18 November 2024 / Direvisi: 09 Desember 2024 / Disetujui: 13 Desember 2024/
Diterbitkan online: 27 Desember 2024
DOI: 10.21111/agrotech.v10i2.13110

Abstrak. Bakteri simbiosis rayap memiliki potensi sebagai agens pengendali hayati yang belum banyak diteliti. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi bakteri simbiosis rayap sebagai agens hayati pengendali penyakit rebah semai (*Sclerotium rolfsii*) pada tanaman kedelai. Penelitian dilaksanakan di laboratorium perlindungan tanaman, laboratorium biosains dan kebun inovasi Politeknik Negeri Jember selama 4 bulan. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 6 perlakuan dan diulang sebanyak 4 kali yaitu : P1 patogen *Sclerotium rolfsii* (*S. rolfsii*) sebagai kontrol negatif, P2: patogen *S. rolfsii* dengan IR1A1, P3: patogen *S. rolfsii* dengan IR1A4, P4: patogen *S. rolfsii* dengan IR1A6, P5: patogen *S. rolfsii* dengan dengan IR4D2, dan P6: patogen *S. rolfsii* terhadap kontrol positif fungisida berbahan aktif Piraklostrobin dengan dosis 0,25ml/l. Tahap penelitian yaitu dimulai dari isolasi bakteri simbiosis rayap, uji skrining antagonis, uji hipersensitif dan uji antagonis secara in vitro. Dari hasil pengujian empat isolat menunjukkan kemampuan menghambat patogen *S.rolfsii*. Isolat tersebut adalah IR1A1, IR1A4, IR1A6, dan IR4D2. Penghambatan *S.rolfsii* berkisar antara 28,97-95,79% secara in vitro. Isolat bakteri paling efektif menekan patogen dan mampu melampaui perlakuan fungisida adalah isolat IR1A6 yang memiliki penghambatan hingga 95,79%.

Kata Kunci: Agens hayati, bakteri simbiosis, kedelai, rayap, rebah semai

Abstract. Termite symbiotic bacteria have potential as biological control agents that have not been extensively researched. This research aims to determine the potential of termite symbiotic bacteria as a biological control agent for the damping-off disease (*Sclerotium rolfsii*) in soybean plants. The research was conducted in the plant protection laboratory, biosciences laboratory, and innovation garden of Politeknik Negeri Jember for 4 months. This research used a Completely Randomized Design (CRD) with 6 treatments and repeated 4 times, namely: P1 *Sclerotium rolfsii* (*S. rolfsii*) pathogen as the negative control, P2: *S. rolfsii* pathogen with IR1A1, P3: *S. rolfsii* pathogen with IR1A4, P4: *S. rolfsii* pathogen with IR1A6, P5: *S. rolfsii* pathogen with IR4D2, and P6: *S. rolfsii* pathogen against the positive control of the fungicide with the active ingredient Pyraclostrobin at a dose of 0.25ml/l. The research stages begin with the isolation of termite symbiotic bacteria, antagonistic screening tests, hypersensitivity tests, and in vitro antagonistic tests. From the test results, four isolates showed the ability to inhibit the pathogen *S. rolfsii*. The isolates are IR1A1, IR1A4, IR1A6, and IR4D2. The inhibition of *S. rolfsii* ranged from 28.97% to 95.79% in vitro. The most effective bacterial isolate in suppressing the pathogen and capable of surpassing fungicide treatment is the IR1A6 isolate, which has an inhibition rate of up to 95.79%.

Keywords: Biological agents, symbiotic bacteria, soybean, termite.

* Korespondensi email: gallyndra.fatkhudinata@polije.ac.id
Alamat : Jl. Mastrip PO BOX 164, Jember, Jawa Timur, Indonesia

PENDAHULUAN

Rayap merupakan serangga sosial yang memberikan peran penting dalam dekomposisi organik dan meningkatkan kesuburan tanah. menurut Blanton et al., (2023) Bakteri simbion rayap berkaitan dengan peningkatan kesuburan tanah, suplementasi nutrisi, dan perlindungan patogen. Penelitian sebelumnya ditemukan potensi bakteri simbion rayap yang mampu mengendalikan penyakit *G. boninense*, *R. microporus*, *P. capsici* (Fitriana et al., 2022). Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, bakteri simbion asal rayap memiliki potensi yang sangat besar sebagai agens pengendali hayati penyakit pada tanaman, sehingga perlu pengembangan lebih lanjut, salah satunya untuk mengendalikan penyakit rebah semai yang diakibatkan oleh jamur *Sclerotium rolfsii* (*S. rolfsii*) yang menginfeksi pada tanaman kedelai.

S. rolfsii merupakan jamur patogen penyebab penyakit rebah semai yang menyerang tanaman kedelai (Munawara & Haryadi, 2020). Infeksi patogen terjadi ketika tanaman berada dalam fase yang sangat rentan terhadap serangan, yang sering kali disebabkan oleh kondisi lingkungan atau faktor fisiologis tertentu yang melemahkan pertahanan tanaman. Selain itu, Anam, (2019) menyatakan bahwa serangan jamur *S. rolfsii* dapat menyebabkan gangguan pertumbuhan tanaman yang berujung pada penurunan hasil panen secara signifikan. Dalam beberapa kasus, seperti yang diungkapkan oleh Sari et al., (2019), penyakit rebah semai yang serangannya cukup masif dapat menyebabkan kehilangan hasil panen yang sangat besar, bahkan mencapai 90%, yang berpotensi menyebabkan gagal panen.

Saat ini para petani masih menggunakan pestisida kimia dalam menangani penyakit tersebut seperti fungisida berbahan aktif Piraklostrobin (Arriani, 2019). Namun, penggunaan pestisida yang berlebihan dapat berdampak negatif pada makhluk hidup dan lingkungan,

serta menyebabkan resistensi pada penyakit yang sudah ada sebelumnya (Aditiya, 2021). Oleh karena itu, solusi pengendalian yang ramah lingkungan sangat dibutuhkan, salah satunya melalui penerapan teknik pengendalian menggunakan agens pengendali hayati yang dapat mengendalikan penyakit tanaman tanpa merusak lingkungan dan mendukung keberlanjutan ekosistem.

Bakteri simbion adalah mikroorganisme yang hidup dalam hubungan simbiotik dengan inang, sering kali menghasilkan senyawa bioaktif yang memiliki potensi sebagai senyawa antimikroba (Madilana et al., 2018). Bakteri simbion rayap dipilih karena memiliki keunggulan lebih. Bakteri ini memiliki kemampuan mendegradasi lignin atau lignoselulosa, sehingga bakteri simbion asal rayap memiliki kemampuan yang cukup besar dalam menghambat pertumbuhan jamur patogen pada tanaman dibandingkan dengan bakteri yang diperoleh dari tanah atau rizosfer (Fitriana et al., 2022).

Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui potensi bakteri simbon rayap dalam mengendalikan penyakit rebah semai yang di sebabkan oleh patogen *S. rolfsii* pada tanaman kedelai secara in vitro serta menemukan bakteri yang berpotensi sebagai agens pengendali hayati penyakit tersebut.

METODE PENELITIAN

Alat yang digunakan dalam riset ini meliputi *Laminar Air Flow* (LAF), *autoclave*, *Erlenmeyer*, gelas ukur, rak tabung reaksi, mortar dan pistil, enkas steril, bunsen, semprotan, timbangan analitik, *hot plate*, tabung reaksi, cangkul, penggaris, nampan, cawan petridish, jarum ose, pinset, stik L (*Drigalski*), dan mikropipet. Bahan-bahan yang digunakan mencakup Sampel Rayap seberat 1 gram asal sarang lahan praktikum Politeknik Negeri Jember, Isolat jamur patogen *S. rolfsii* hasil inventaris dari poktan mandiri sekar makmur Lumajang, media

Isolasi Bakteri Symbion Rayap Sebagai Agens Hayati Penyakit Rebah Semai Pada Tanaman Kedelai (*Sclerotium Rolfsii*) Secara *In Vitro*

Nutrien Agar (NA), Potato Dextrose Agar (PDA), Yeast Peptone Agar (YPA), alkohol 70%, alkohol 96%, aquades, tisu, syringe 3 cc, kertas buram, spiritus, Bayclin, masker medis, sarung tangan medis, benang wol, plastik tahan panas, kertas label, blue tip, PCR tube 1,5 ml, aluminium foil, plastik wrap, filter paper, styrofoam, dan selotip. Penelitian ini dilaksanakan selama 4 bulan yakni dari bulan Mei hingga bulan Agustus 2024.

Isolasi Bakteri Symbion Rayap

Isolasi menggunakan metode pengenceran secara bertingkat atau *dilution plate* yang telah dimodifikasi (Dinata et al., 2021; Dinata, 2018). Sebanyak 1 gram rayap di haluskan secara steril, kemudian di tambah aquadest sebanyak 5 ml. 1ml suspensi diambil dan di encerkan dari pengenceran 10^{-1} sampai 10^{-9} masing masing pengenceran diambil 100 μ L di biakan pada media NA dan YPA lalu di inkubasi selama 48 jam kemudian di purifikasi hingga mendapatkan koloni tunggal.

UJI Skrining Antagonis

Uji skrining melalui metode co-cultur yang dimodifikasi (Herliyana et al., 2013). Isolat jamur patogen *S. rolfsii* di inokulasikan pada titik perpotongan tengah petridish berisi media YPA, Selanjutnya, kertas saring berukuran 0,5 cm yang telah dicelupkan ke dalam suspensi bakteri diinokulasikan di sekitar jamur patogen pada empat posisi dengan jarak 3 cm dari jamur patogen.

Uji Hipersensitif

Dalam prosedur ini, isolat bakteri dimasukkan ke dalam 1ml aquadest steril, kemudian di infiltrasikan pada tulang daun dan permukaan daun tembakau muda. Masa inkubasi dilakukan selama tujuh hari atau hingga terlihat gejala nekrosis pada daun (Fanani et al., 2015).

Uji Antagonis Secara *in vitro*

Untuk mengevaluasi aktivitas antagonis secara *in vitro*, menggunakan metode dual kultur menurut (Suryanti et al., 2015). Pengujian dilakukan dengan menumbuhkan potongan koloni patogen *S. rolfsii* berdiameter 0,5 cm dan suspensi isolat bakteri pada kertas saring dengan jarak 3 cm keduanya di tumbuhkan dalam satu cawan petridish yang berisi media NA.

Rancangan Percobaan

Penelitian ini disusun berdasar Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 6 perlakuan dan diulang sebanyak 4 kali. dengan perlakuan antara lain :

P1: Patogen *S. rolfsii*. sebagai kontrol negatif

P2: Patogen *S. rolfsii* dengan IR1A1

P3: Patogen *S. rolfsii* dengan IR1A4

P4: Patogen *S. rolfsii* dengan IR1A6

P5: Patogen *S. rolfsii* dengan IR4D2

P6: Patogen *S. rolfsii* terhadap kontrol positif fungisida berbahan aktif Piraklostrobin dengan dosis 0,25ml/l.

Parameter Pengamatan Uji Antagonis *in vitro*

Persentase penghambatan secara *in vitro* di hitung pada hari ke tujuh berdasarkan rumus berikut ini (Fajrin & Suharjono, 2013) : $PIGR = \frac{R1-R2}{R1} \times 100\%$

Keterangan : PIRG = *Percentage Inhibition of Radial Growth* (% hambatan), R1 = diameter patogen tanpa bakteri antagonis (kontrol), R2 = diameter patogen dengan bakteri antagonis.

Analisis Data

Data yang di hasilkan di analisis menggunakan sidik ragam dan di lanjutkan uji Duncan dengan alfa 5%

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Isolasi Bakteri

Hasil isolasi bakteri menunjukkan bahwa setelah inkubasi pada suhu ruang selama 48 jam, sebanyak 33 isolat bakteri berhasil tumbuh pada media NA dan YPA.

Hasil Uji Skrining Antagonis

Hasil uji skrining terhadap 33 isolat bakteri menunjukkan bahwa seluruh isolat mampu menghambat pertumbuhan patogen *S. rolfsii*. Sebanyak 29 isolat diketahui memiliki kemampuan penghambatan lebih dari 50% terhadap patogen tersebut. Lima isolat dengan tingkat penghambatan tertinggi, yaitu IR1A1, IR1A3, IR1A4, IR1A6, dan IR4D2, akan diuji lebih lanjut.

Hasil Uji Hipersensitif

Pengamatan hasil uji hipersensitif dilakukan setiap hari selama tujuh hari atau sampai terjadi reaksi nekrosis pada permukaan daun tembakau. Uji hipersensitif ini bertujuan untuk mengetahui respon tanaman terhadap inokulasi bakteri patogen, yang ditandai dengan munculnya gejala nekrosis pada jaringan daun.

Reaksi hipersensitif dapat terlihat melalui perubahan warna jaringan daun dari hijau menjadi cokelat atau kekuningan, yang menunjukkan kematian sel-sel jaringan di sekitar area yang diinokulasi (Herdiyantoro et al., 2022). Reaksi dari hipersensitif di tunjukan pada gambar 1.



Gambar 1. Gambar 1. (A): Terjadi nekrosis pada Isolat IR1A3, (B): Terjadi nekrosis pada isolat IR1A5, (C): Tidak terjadi nekrosis pada isolat IR1A4 dan (D) Tidak terjadi nekrosis pada isolat IR1A6

Hasil uji hipersensitif yang dilakukan pada tulang daun tembakau menunjukkan bahwa dari 33 isolat bakteri yang diuji, seluruh isolat bakteri tidak menimbulkan gejala nekrosis pada 7 hari setelah penyuntikan (HSP) pada permukaan daun tembakau. Tidak adanya reaksi hipersensitif ini mengindikasikan bahwa isolat bakteri bersifat non-patogenik terhadap tanaman. Namun, dua isolat yaitu IR1A3 dan IR1A5 menunjukkan reaksi nekrosis saat uji lanjut yaitu pada uji hipersensitif kedua, menggunakan metode infiltrasi suspensi bakteri pada permukaan daun tembakau, sehingga isolat tersebut tidak akan di

gunakan pada uji selanjutnya. Munculnya gejala nekrosis pada permukaan daun tembakau dari kedua isolat tersebut dapat disebabkan oleh adanya gen *hrp* (*hypersensitive response and pathogenicity*) yang umum ditemukan pada bakteri patogen tanaman (Kvitko & Collmer, 2023).

Hasil Uji Antagonis

Uji antagonis secara invitro dilakukan dengan menguji empat isolat bakteri dengan daya hambatan tertinggi yang telah melalui uji hipersensitif. Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan bakteri dalam menghambat pertumbuhan jamur patogen secara in vitro. Tingkat

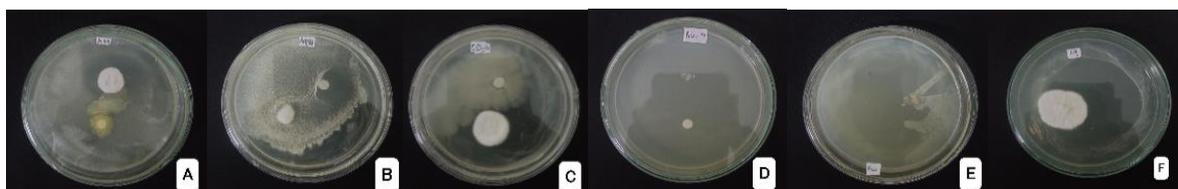
Isolasi Bakteri Simbion Rayap Sebagai Agens Hayati Penyakit Rebah Semai Pada Tanaman Kedelai (*Sclerotium Rolfsii*) Secara *In Vitro*

penghambatan pertumbuhan jamur patogen diukur dengan mengamati pertumbuhan miselia jamur patogen terhadap bakteri pada media PDA yang di tunjukan pada tabel 1.

Tabel 1. Rerata Rerata lebar garis miselia patogen *S. rolfsii* terhadap bakteri

Perlakuan	Rerata garis miselia (cm)				Efektivitas penghambatan (%)
	4 hsi ($\bar{x} \pm SD$)	5 hsi ($\bar{x} \pm SD$)	6 hsi ($\bar{x} \pm SD$)	7 hsi ($\bar{x} \pm SD$)	
Kontrol	1,59±0,09d	1,89±0,19d	2,25±0,18d	2,68±0,18d	-
IR1A1	1,20±0,37c	1,39±0,43c	1,46±0,50c	1,65±0,77bc	38,32
IR1A4	0,80±0,04b	0,80±0,07b	0,85±0,14b	0,99±0,05b	63,08
IR1A6	0,41±0,17a	0,19±0,23a	0,11±0,23a	0,11±0,23a	95,79
IR4D2	1,44±0,08c	1,66±0,11cd	1,68±0,55cd	1,90±0,08c	28,97
Fungisida	0,46±0,05a	0,59±0,15b	0,71±0,30b	1,01±0,73b	62,15

Keterangan :Bilangan yang disertai huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan pada taraf kesalahan 5%, hsi: hari setelah inokulasi.



Gambar 2. Uji antagonis bakteri terhadap patogen *S.rolfsii* hari ke 7, (A): Isolat IR1A1, (B): Isolat IR1A4, (C): Isolat IR1D2, (D): IR4A6, (E): Fungisida , (F): Kontrol

Hasil analisis ragam (ANOVA) menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan dari isolat bakteri simbion rayap terhadap penghambatan pertumbuhan *S. rolfsii* secara *in vitro*. Pengamatan selama tujuh hari menunjukan adanya variasi efektivitas penghambatan yang berkisar antara 28,97% hingga 95,79%. Isolat IR1A6 menunjukkan performa sangat baik dengan efektivitas penghambatan tertinggi mencapai 95,79%, bahkan melampaui efektivitas perlakuan fungisida sebagai kontrol positif. Tingginya efektivitas penghambatan isolat bakteri IR1A6 pada gambar 2 ini diduga terjadi akibat isolat tersebut memiliki beberapa mekanisme dalam menghambat pertumbuhan jamur patogen.

Tingginya efektivitas penghambatan oleh isolat bakteri IR1A6 terhadap jamur patogen terjadi karena isolat tersebut

memiliki mekanisme antagonistik yang berperan dalam interaksi antara bakteri dan jamur patogen. Menurut Dinata et al. (2021), terdapat beberapa mekanisme utama yang digunakan oleh bakteri antagonis untuk menghambat patogen. Pertama, melalui parasitisme langsung, dimana bakteri antagonis secara aktif menyerang dan mendegradasi struktur patogen. Hal ini sejalan dengan temuan Köhl et al., (2019) yang menjelaskan bahwa proses parasitisme melibatkan degradasi hifa atau sklerotia patogen melalui produksi enzim-enzim hidrolitik, terutama kitinase. Aktivitas enzim kitinase ini berperan penting dalam mendegradasi dinding sel jamur patogen yang sebagian besar tersusun dari kitin.

Mekanisme berikutnya melibatkan produksi senyawa antibiotik,. Metabolit sekunder ini dapat berupa berbagai senyawa bioaktif seperti siderofor, dan senyawa

volatile organic compounds (VOCs) yang memiliki kemampuan menghambat pertumbuhan patogen (Yanti, 2019). Hal ini sejalan dengan Moreno & Rojo, (2023) yang mengungkapkan bahwa bakteri antagonis mampu menghasilkan berbagai senyawa antimikroba yang efektif dalam mengendalikan patogen tanaman yakni peran penting metabolit sekunder dari bakteri antagonis dalam aktivitas antifungal.

Kompetisi terhadap nutrisi dan ruang tumbuh turut berperan penting dalam meningkatkan efektivitas penghambatan oleh mikroba antagonis. Bakteri antagonis bersaing dengan patogen untuk memperoleh nutrisi yang diperlukan dan ruang untuk berkembang di media kultur yang terbatas. Wang et al., (2021) menyatakan bahwa persaingan dalam memperoleh nutrisi merupakan faktor utama dalam kemampuan agen pengendali hayati, khususnya bakteri antagonis, untuk mengkolonisasi substrat secara cepat dan efisien, yang pada gilirannya dapat secara signifikan membatasi pertumbuhan patogen. Selain persaingan terhadap nutrisi, persaingan ruang juga berperan penting Saputra et al., (2024) menambahkan bahwa salah satu karakteristik mikroba antagonis adalah kemampuan pertumbuhannya yang lebih cepat dibandingkan dengan patogen.

Tingginya efektivitas penghambatan yang ditunjukkan oleh isolat IR1A6 (95,79%) mengindikasikan kemungkinan adanya sinergisme antara berbagai mekanisme antagonistik tersebut. (Bonaterra et al., 2022) menegaskan bahwa isolat bakteri dengan efektivitas penghambatan tinggi umumnya memiliki *multiple mechanisms of action* dalam mengendalikan patogen dengan kombinasi berbagai mekanisme ini tidak hanya meningkatkan efektivitas pengendalian tetapi juga berpotensi mengurangi risiko berkembangnya resistensi patogen.

KESIMPULAN

Eksplorasi bakteri simbiosis rayap menghasilkan 33 isolat yang memiliki karakteristik yang beragam, dan dari ke 33 isolat 2 diantaranya bersifat patogen bagi tanaman. dari hasil uji skrining antagonis ditemukan 1 bakteri patogenik dan 4 bakteri non patogenik yang berpotensi menghambat perkembangan patogen *S. rolfsii* yaitu isolat IR1A1, IR1A4, IR1A6, dan IR1D2. Isolat bakteri yang paling efektif menghambat pertumbuhan patogen *S. rolfsii* pada uji antagonis secara in vitro yaitu isolat bakteri IR1A6 dengan nilai efektivitas penghambatan mencapai 95,79% lebih tinggi dibandingkan dengan fungsida sebagai kontrol.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditiya, D. R. (2021). Herbisida: Risiko terhadap Lingkungan dan Efek Menguntungkan. *Saintekno: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 19(1), 6–10.
- Anam, K. (n.d.). *Enkapsulasi Benih Kedelai Dengan Beberapa Bahan Pembawa Yang Mengandung Actinomycetes Untuk Mengendalikan Penyakit Rebah Kecambah (Sclerotium rolfsii Sacc)*. Fakultas Pertanian.
- Arriani, I. F. (2019). Pemanfaatan Bakteri Antagonis Lumpur Sidoarjo Untuk Menekan Sclerotium Rolfsiisacc. Penyebab Penyakit Rebah Semai Pada Tanaman Kedelai. *Viabel: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Pertanian*, 13(1), 11–20.
- Blanton, A. G., Perkins, S., & Peterson, B. F. (2023). In vitro assays reveal inherently insecticide-tolerant termite symbionts. *Frontiers in Physiology*, 14, 1134936.
- Bonaterra, A., Badosa, E., Daranas, N., Francés, J., Roselló, G., & Montesinos, E. (2022). Bacteria as biological control agents of plant diseases. *Microorganisms*, 10(9), 1759.
- Dinata, G. F. (2018). *Potensi bakteri dari serasah tanaman kopi di UB forest untuk mengendalikan penyakit busuk pangkal batang (Fusarium oxysporum f. sp. cepae)*

Isolasi Bakteri Symbion Rayap Sebagai Agens Hayati Penyakit Rebah Semai Pada Tanaman Kedelai (*Sclerotium Rolfsii*) Secara *In Vitro*

- pada tanaman bawang merah*. Universitas Brawijaya.
- Dinata, G. F., Ariani, N., Purnomo, A., & Aini, L. Q. (2021). Pemanfaatan Biodiversitas Bakteri Serasah Kopi Sebagai Solusi Pengendali Penyakit Moler Pada Bawang Merah. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan*, 9(1), 28–34.
- Fajrin, M. N., & Suharjono, S. (2013). Potensi *Trichoderma* sp. sebagai agen pengendali *Fusarium* sp. patogen tanaman strawberry (*Fragaria* sp.). *Biotropika: Journal of Tropical Biology*, 1(4), 177–181.
- Fanani, A. K., Abadi, A. L., & Aini, L. Q. (2015). Eksplorasi bakteri patogen pada beberapa spesies tanaman kantong semar (*Nepenthes* sp.). *Jurnal HPT (Hama Penyakit Tumbuhan)*, 3(3), 104–110.
- Fitriana, Y., Tampubolon, D. A. T., Suharjo, R., Lestari, P., & Swibawa, I. G. (2022). *Lysinabacillus fusiformis* and *Paenibacillus alvei* obtained from the internal of *nasutitermes* termites revealed their ability as antagonist of plant pathogenic fungi. *The Plant Pathology Journal*, 38(5), 449.
- Herdiyantoro, D., Setiawati, M. R., & Simarmata, T. (2022). Reaksi hipersensitif daun tembakau oleh isolat bakteri pelarut kalium pada praformulasi pupuk hayati. *Soilrens*, 20(2), 72–77.
- Herliyana, E. N., Jamilah, R., Taniwiryo, D., & Firmansyah, A. (2013). uji in-vitro pengendalian hayati oleh *Trichoderma* spp. terhadap *Ganoderma* yang Menyerang Sengon. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 4(3), 190–195.
- Köhl, J., Kolnaar, R., & Ravensberg, W. J. (2019). Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: relevance beyond efficacy. *Frontiers in Plant Science*, 10, 845.
- Kvitko, B. H., & Collmer, A. (2023). Discovery of the Hrp type III secretion system in phytopathogenic bacteria: how investigation of hypersensitive cell death in plants led to a novel protein injector system and a world of inter-organismal molecular interactions within plant cells. *Phytopathology*, 113(4), 626–636.
- Madilana, R. N., Wijayanti, D. P., & Sabdono, A. (2018). Bakteri Symbion Karang Porites dari Perairan Gunungkidul, Yogyakarta dan Aktivitas Antibakteri terhadap Bakteri Patogen *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *Buletin Oseanografi Marina*, 7(1), 43. <https://doi.org/10.14710/buloma.v7i1.19044>
- Moreno, R., & Rojo, F. (2023). The importance of understanding the regulation of bacterial metabolism. *Environmental Microbiology*, 25(1), 54–58. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.16123>
- Munawara, W., & Haryadi, N. T. (2020). Induksi ketahanan tanaman kedelai (*Glycine max* (L.) merril) dengan cendawan endofit *Trichoderma harzianum* dan *Beauveria bassiana* untuk menekan penyakit busuk pangkal batang (*Sclerotium rolfsii*). *Jurnal Pengendalian Hayati*, 3(1), 6–13.
- Saputra, A., Prihatiningsih, N., Djatmiko, H. A., & Kurniawan, D. W. (2024). Isolation, Characterization, and Selection of *Bacillus* sp. from Shallot Rhizosphere that Inhibits *Fusarium oxysporum* Growth. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 28(1), 27. <https://doi.org/10.22146/jpti.89634>
- Sari, N. K., Muhibuddin, A., & Syibâ, M. A. (2019). Aplikasi Metode Cawan Nutrisi Menggunakan Kombinasi Jarak Pagar Dan Lamtoro Gung Untuk Meningkatkan Pertumbuhan Kedelai Dalam Kondisi Endemis *Sclerotium Rolfsii* Sacc. dan Stress Mangan (Mn).

- Jurnal HPT (Hama Penyakit Tumbuhan)*, 7(1).
- Suryanti, I. A. P., Ramona, Y., & Proborini, M. W. (2015). *Isolasi dan identifikasi jamur penyebab penyakit layu dan antagonisnya pada tanaman kentang yang dibudidayakan di Bedugul, Bali.*
- Wang, H., Liu, R., You, M. P., Barbetti, M. J., & Chen, Y. (2021). Pathogen biocontrol using plant growth-promoting bacteria (PGPR): Role of bacterial diversity. *Microorganisms*, 9(9), 1988.
- Yanti, Y. (2019). Peranan Rizobakteri dalam Menunjang Pertanian yang Berkelanjutan. *Perspektif Pertanian Tropika Basah: Potensi Dan Tantangannya Dalam Rangka Pertanian Berkelanjutan*, 289.