

Seleksi *Bacillus* sp. sebagai Penambat NPK dan Menghambat Aktivitas Jamur

Etti Suriani Hasibuan¹, Rini Sulistiani^{2*}, Farah Farhanah Haron³

¹Mahasiswa Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan, Indonesia

²Dosen Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Indonesia

Jl. Kapten Muchtar Basri No. 3, Glugur Darat II, Kecamatan Medan Timur, Kota Medan, Sumatera Utara 20238, Indonesia.

³Agrobiodiversity Research Center and Union, Malaysian

Agricultural Research and Development Institute (MARDI), 43400 Serdang, Selangor Malaysia.

*Correspondence author: rinisulistiani@umsu.ac.id

Abstrak

Penyakit layu bakteri, terutama yang disebabkan oleh *Fusarium solanum*, telah menjadi ancaman serius bagi petani di Indonesia. Penyakit yang disebabkan oleh *Fusarium solanum* pada tanaman sulit dikendalikan yang menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan bagi sektor pertanian di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi spesies bakteri *Bacillus* terpilih (bakteri *cereus*, bakteri *megatherium*, dan bakteri *licheniformis*) sebagai agen pengendali hayati untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman dan aktivitas antijamur. Penelitian ini menggunakan metode rancangan acak lengkap (RAL) non faktorial, setiap perlakuan dilakukan sebanyak empat kali ulangan. Parameter yang diamati adalah uji antagonis yaitu diameter jamur, radius dan zona hambat. Parameter uji antijamur yaitu diameter jamur pada media. Parameter untuk uji kemampuan pertumbuhan tanaman yaitu pertumbuhan ketiga bakteri. Analisis data menggunakan uji Tukey sistem SAS. Melalui uji kultur ganda, ditemukan bahwa semua spesies *Bacillus* terpilih mampu menghambat pertumbuhan *Fusarium solanum*. Selain itu, uji produksi senyawa volatil menunjukkan bahwa *Bacillus* sp. menghasilkan senyawa yang dapat menghambat pertumbuhan jamur. Selanjutnya, uji kemampuan pertumbuhan tanaman menunjukkan bahwa *Bacillus* sp. memiliki kemampuan memperbaiki nitrogen, melarutkan fosfat, dan kalium. Temuan ini menunjukkan bahwa *Bacillus* sp. terpilih memiliki potensi besar sebagai alternatif pengendalian hayati yang ramah lingkungan untuk mengelola layu bakteri pada tanaman dan meningkatkan pertumbuhan tanaman.

Kata kunci: Bakteri, fiksasi, *Fusarium solanum*, kultur ganda, penyakit layu bakteri.

Selection of *Bacillus* sp. as an NPK enhancer and inhibiting fungal activity

Abstract

Bacterial wilt diseases, especially those caused by *Fusarium solanum*, have become a serious threat to farmers in Indonesia. Diseases caused by *Fusarium solanum* in plants are difficult to control, causing significant economic losses to the agricultural sector in Indonesia. This study aimed to evaluate the potential of selected *Bacillus* bacteria species (*Bacteria cereus*, *Bacteria megatherium*, and *Bacteria licheniformis*) as biological control agents to improve plant growth and antifungal activity. This study used a non-factorial completely randomized design (CRD) method, each treatment was carried out four times. The parameters observed were antagonistic tests, namely fungal diameter, radius and inhibition zone. Antifungal test parameters are the diameter of the fungus in the media. The parameter for the plant growth ability test is the growth of the three bacteria. Data were analyzed using the Tukey test of the SAS system. Through the dual culture test, it was found that all selected *Bacillus* species were able to inhibit the growth of *Fusarium solanum*.

In addition, the volatile compound production test showed that Bacillus sp. produced compounds that could inhibit fungal growth. Furthermore, the plant growth ability test showed that Bacillus sp. had the ability to fix nitrogen, dissolve phosphate, and potassium. These findings suggest that the selected Bacillus sp. have great potential as an environmentally friendly biological control alternative to manage bacterial wilt in plants and improve plant growth.

Keywords: Bacteria, fixation, *Fusarium solanum*, dual culture, bacterial wilt disease.

Received: 19 October 2024; **Revised:** 23 October 2024; **Accepted:** 07 March 2025

PENDAHULUAN

Di Indonesia, penyakit layu bakteri telah menyebabkan kerugian besar pada produksi tembakau sejak abad ke-19. Baik di lahan maupun di pembibitan, penyakit ini terus menjadi ancaman serius bagi petani tembakau yang menimbulkan kerugian ekonomi yang signifikan. Penemuan penyakit layu pada abad ke-19 telah memicu penelitian intensif untuk mengidentifikasi inang baru. Pengendalian penyakit layu pada tanaman dapat diatasi secara biologis dengan menggunakan agen bakteri antagonis seperti bakteri dari kelompok *Bacillus* sp. (Haron et al., 2023). Keanekaragaman metabolit sangat tinggi pada mikroorganisme, terutama bakteri. Mereka menghasilkan berbagai senyawa aktif biologis yang tidak ditemukan atau jumlahnya lebih sedikit pada tumbuhan. Metabolit-metabolit ini berperan penting dalam interaksi antara organisme (Harsono, 2021).

Mikroorganisme antagonis memberikan solusi pengendalian hayati yang ramah lingkungan tanpa menimbulkan residu berbahaya, metode ini dapat diterapkan secara berkelanjutan karena mikroorganisme dapat berkembang biak sendiri. Selain itu, penggunaan mikroorganisme antagonis juga dapat dikombinasikan dengan metode pengendalian lainnya (Karim et al., 2016). Mikroorganisme antagonis terbukti menjadi alternatif yang efektif dan berkelanjutan dalam pengelolaan penyakit layu *Fusarium*. Selain biaya yang relatif rendah dalam jangka panjang, penggunaan jamur antagonis juga memberikan manfaat lingkungan dan dapat diintegrasikan dengan strategi pengendalian penyakit lainnya (Lahati & Ladjinga, 2022). Masih banyak lagi keuntungan yang diperoleh apabila menggunakan mikroorganisme seperti bakteri sebagai pengendalian jamur *Fusarium* sp. selain dapat mengurangi penggunaan bahan kimia pengendalian dengan agen hayati juga tidak membuat hama menjadi resistensi dan yang paling penting adalah tidak mencemari lingkungan sekitar.

Bakteri *Bacillus* sp. merupakan salah satu bakteri yang dapat digunakan untuk pengendalian jamur *Fusarium solanum*. Selain dapat mengatasi penyakit layu pada tanaman bakteri *Bacillus* terpilih yang menjadi mikroba endofit memiliki peran multifungsi dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman. Melalui *fiksasi nitrogen*, *sintesis hormon* pertumbuhan, dan pelarutan hara, mikroba endofit secara langsung mendukung pertumbuhan tanaman. Selain itu, dengan memproduksi berbagai senyawa *bioaktif*, mikroba ini juga melindungi tanaman dari serangan penyakit, sehingga meningkatkan produktivitas dan kesehatan tanaman (Ghorpade et al., 2023).

Bacillus sp. berbentuk batang yang tergolong Gram positif pada kultur muda. Bakteri ini memiliki kemampuan bergerak (*motil*) dan dapat membentuk endospora yang tahan terhadap kondisi ekstrim seperti panas. Umumnya, *Bacillus* sp. membutuhkan oksigen untuk hidup (*aerob*), namun beberapa spesies dapat hidup tanpa oksigen (*anaerob fakultatif*). Selain itu, bakteri ini juga menghasilkan enzim katalase (Sintia, 2024). Enzim katalase yang dihasilkan oleh *Bacillus* sp. dapat menghambat pertumbuhan *Fusarium* sp. akibat layu pada tanaman, hal tersebut membuat *Bacillus* sp. sering digunakan sebagai kawalan biologi pada tanaman yang terkena layu akibat *Fusarium* sp. Potensi bioaugmentasi untuk meningkatkan produktivitas pertanian telah lama diteliti. Meskipun berbagai strain bakteri dan jamur telah diuji untuk pengendalian patogen tanah, pembentukan rizosfer tanaman dengan komunitas mikroba yang kompleks dan menguntungkan tetap menjadi kendala signifikan (Murty & Shim, 2021).

Bacillus sp. adalah bakteri multi fungsi, selain bisa menjadi bakteri antagonis bisa juga sebagai agen pertumbuhan tanaman. Pembentukan biofilm oleh *Bacillus* sp. pada permukaan akar tanaman tidak hanya meningkatkan kemampuannya dalam berkompetisi untuk mendapatkan sumber daya, tetapi juga memberikan perlindungan bagi tanaman inang dari serangan patogen tanah melalui mekanisme eksklusi (Poulaki & Tjamos, 2023). *Bacillus* sp. merupakan bakteri gram positif, berbentuk batang, dan memiliki endospora yang berfungsi sebagai bentuk pertahanan terhadap lingkungan yang ekstrem (Adistya et al.,

2024). Pengendalian secara biologi sangat berpotensi karena memiliki sasaran yang spesifik, tidak merusak lingkungan, dan tidak menimbulkan efek fitotoksitas (Asri et al., 2022).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa spektrum inang penyakit ini sangat luas, tidak terbatas pada keluarga *Solanaceae*, tetapi juga mencakup berbagai keluarga tanaman lain, termasuk tanaman hias, tanaman keras, dan gulma (Arwiyanto, 2014). Jamur *Fusarium* dapat menyerang banyak jenis tanaman penting seperti jagung, gandum, dan kedelai, dan berdampak buruk pada lingkungan, hewan, dan manusia (Baard et al., 2023). Penurunan produksi tanaman dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor salah satu faktor utamanya adalah serangan organisme pengganggu tanaman. Spesies yang termasuk dalam genus *Bacillus* cocok untuk digunakan dalam pengendalian hayati untuk layu tanaman akibat *Fusarium* sp.

Fusarium adalah patogen tular tanah dan patogen nekrotrofik (Tiwari et al., 2017). Patogen mampu menginfeksi setidaknya 408 jenis tanaman di seluruh dunia (Naher et al., 2019). Di Amerika Serikat, penyakit layu termasuk dalam 10 besar penyakit yang mampu penurunan hasil kedelai hingga tahun 2014 (Godoy et al., 2017). Pada cabai serangan dapat terjadi mulai dari masa vegetatif sampai generatif (Kurnia et al., 2014).

Penyakit layu fusarium menyebabkan matinya tanaman sehingga menyebabkan gagal panen. Penyakit ini disebabkan oleh jamur dalam genus *Fusarium*, selain menyerang tomat dapat juga menyerang terung dan cabai. Penularan penyakit berlangsung cepat terutama pada lahan berlereng atau berbukit karena penyebab penyakit ditularkan melalui aliran air (Heriyanto, 2019a).

Gejala khas ditunjukkan oleh penyakit layu *Fusarium* yang ditandai dengan layunya tanaman mulai dari daun bagian bawah dan anak tulang daun menguning (Poveda et al., 2020). Gejala awal tanaman layu pada siang hari, namun terlihat segar lagi pada sore dan pagi hari (Rubayet et al., 2018). Pada awal serangan bisa terjadi pada seluruh bagian tanaman atau bagian tertentu saja, namun akhirnya menyebar ke seluruh bagian tanaman. Gejala selanjutnya dedaunan tua menguning dan rontok, selanjutnya menyebar ke seluruh tanaman (Flori et al., 2020).

Fusarium, sebagai genus jamur patogen tanaman yang sangat beragam, telah menjadi perhatian utama dalam bidang pertanian. Kerugian hasil panen yang diakibatkan oleh infeksi *Fusarium*, serta dampak negatif penggunaan pestisida kimia terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, telah mendorong upaya intensif untuk menemukan solusi pengendalian yang lebih ramah lingkungan. Penggunaan agen biokontrol, yaitu mikroorganisme yang dapat menghambat pertumbuhan patogen tanaman, telah muncul sebagai salah satu pendekatan yang menjanjikan dalam mengendalikan penyakit *Fusarium* (Khan et al., 2018). *Fusarium solanum* merupakan patogen penyebab penyakit layu pada berbagai jenis tanaman, termasuk cabai. Infeksi patogen ini dimulai dari akar dan menjalar ke batang, menyebabkan gejala layu dan kematian tanaman. Penyakit ini menimbulkan kerugian ekonomi yang cukup besar bagi petani cabai (Heriyanto, 2019b).

Penerapan metode pengendalian yang berkelanjutan dan ramah lingkungan merupakan suatu keharusan untuk mempertahankan keseimbangan ekosistem (Nurhajjah et al., 2024). *Bacillus* sp. dan *P. fluorescens* adalah mikroorganisme antagonis yang umum digunakan sebagai agen hayati dan sering diisolasi dari rhizosfer (Irfanti et al., 2021). Bakteri *Bacillus* terpilih mengeluarkan senyawa yang dapat menghambat pertumbuhan jamur *Fusarium* sp. penyebab penyakit layu pada tanaman dengan optimal. Oleh sebab itu penelitian ini bertujuan untuk menilai aktivitas peningkatan pertumbuhan tanaman dan antijamur menggunakan spesies *Bacillus* sp. terpilih sebagai agens hayati yang berkelanjutan.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Taksonomi Mikroba Gedung Pusat Penyelidikan Agrobiodiversity dan Perserikatan (BE) Malaysian Agriculture Research and Development Institute (MARDI), Serdang, Selangor, Malaysia.

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 09 September 2024 s.d 20 September 2024, yang dimulai dengan persiapan media, persiapan kultur bakteri *Bacillus* sp. terpilih dan jamur *Fusarium solanum*, pelaksanaan penelitian dan diakhiri dengan pengamatan.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah bakteri *Cereus*, bakteri *Megaterium*, bakteri *Licheniformis*, media Nutrient Agar (NA), media Potato Dextrose Agar (PDA), media Nutrient Broth (NB), media aleksandrow agar, media pikovskaya agar, distilled water, alkohol 70% dan etanol 98%.

Alat yang digunakan adalah *Laminar Air Flow*, cawan petri, ose bulat holder inoculation, lampu bunsen, parafilm, *shaker*, sarung tangan, penggaris, alat tulis, dan kamera.

Metode Penelitian dan Analisis Data

Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) non faktorial. Perlakuan yang digunakan adalah: kontrol (C), bakteri *Cereus* (BC), bakteri *Megaterium* (BM) dan bakteri *Licheniformis* (BL).

Setiap perlakuan dilakukan sebanyak empat kali ulangan. Parameter pengamatan yang dilakukan untuk uji antagonis yakni diameter jamur, radius dan zona hambat. Parameter uji antijamur yakni diameter jamur pada media. Parameter untuk uji kemampuan pertumbuhan tanaman yakni diamati pertumbuhan ketiga bakteri. Analisis data menggunakan uji tukey sistem SAS.

Persiapan Kultur Mikroba

Kultur murni *Fusarium solanum* dibiakkan dengan melalui subkultur rutin yang dibiakkan pada media Potato Dextrose Agar (PDA) (Haron et al., 2024). Pada penelitian ini ada tiga macam bakteri *Bacillus* sp. yang digunakan antara lain *Cereus*, *Megaterium*, dan *Licheniformis* yang dikembangkan pada media Nutrient Agar (NA). Semua kultur murni dari mikroba tersebut diperoleh dari Laboratorium Taksonomi Mikroba, Pusat Penyelidikan *Agrobiodiversity* dan Perserikatan, Institute Penelitian dan Pengembangan Pertanian Malaysia (MARDI).

Skринing Secara In vitro untuk Uji Aktivitas Antagonis

Uji aktivitas antagonis menggunakan metode uji kultur ganda (*Dual Culture*). Metode ini dilakukan dengan menggosokkan bakteri pada media Potato Dextrose Agar (PDA) sesuai dengan jalur yang telah ditetapkan yakni 2 cm dari tepi cawan petri, kemudian diletakkan jamur yang berukuran 5 mm. Pengamatan dilakukan dengan pengukuran diameter, radius dan zona hambat setelah 72 jam inkubasi. Untuk menghitung persentase hambatan pertumbuhan radial (PIRG) dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{PIRG} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \times 100$$

Keterangan :

R1 = Pertumbuhan radial jamur di media control (dalam sentimeter), R2 = Pertumbuhan radial jamur di media kultur ganda (dalam sentimeter) (Haron et al., 2023).

Deteksi Produksi Volatil Antijamur

Metode yang digunakan untuk uji volatile antijamur yakni dengan metode pelat tertutup atau yang sering disebut juga dengan metode *Sandwich*. Cawan petri yang berisi NA di inokulasi dengan menyebarkan isolat bakteri yang diujikan pada agar. Cawan petri yang berisi NA dan air berfungsi sebagai kontrol negatif. Sedangkan untuk *Benocide* 50WP dan *Daconil* 2787 sebagai kontrol positif. Biakan *Fusarium* sp. berdiameter 5 mm diletakkan di tengah cawan yang berisi media PDA (Hanif, 2018), kemudian digabungkan media yang berisi dengan isolat bakteri dengan diposisikan jamur *Fusarium* di bagian bawah, agar terhindar dari kontaminasi udara dari luar maka direkatkan kedua cawan petri dengan menggunakan parafilm. Setelah 7 hari dilakukan pengamatan dengan mengukur diameter pada cawan yang berisi isolat *Fusarium solanum*.

Uji Kemampuan Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman

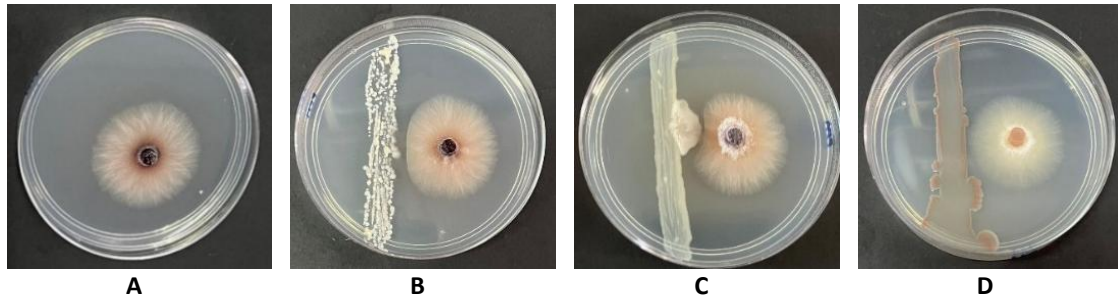
Kemampuan untuk memfiksasi nitrogen dilakukan dengan menggunakan media bebas nitrogen jensen (Haron et al., 2024) yang diamati selama 48 jam setelah diinokulasikan yang ditandai dengan berkembang atau tidaknya bakteri yang diinokulasikan pada media tersebut. Kemampuan ketiga isolat dalam melarutkan fosfat diuji pada media pikovskaya agar dengan cara menggosokkan ketiga bakteri terpilih pada media pikovskaya agar pada tiga titik berbeda dengan bentuk bulat, setelah 48 jam kemudian diamati. Begitu juga dengan pengamatan untuk pelarut kalium yang menggunakan media aleksandrow. Ketiga bakteri *Bacillus* diinokulasikan pada media di tiga titik berbeda kemudian diamati setelah 48 jam, pertanda yang diamati adalah adanya bagian bening pada media agar di sekitar bakteri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aktivitas Antijamur dengan Uji Antagonis pada *Bacillus* sp. terhadap Jamur *Fusarium solanum*

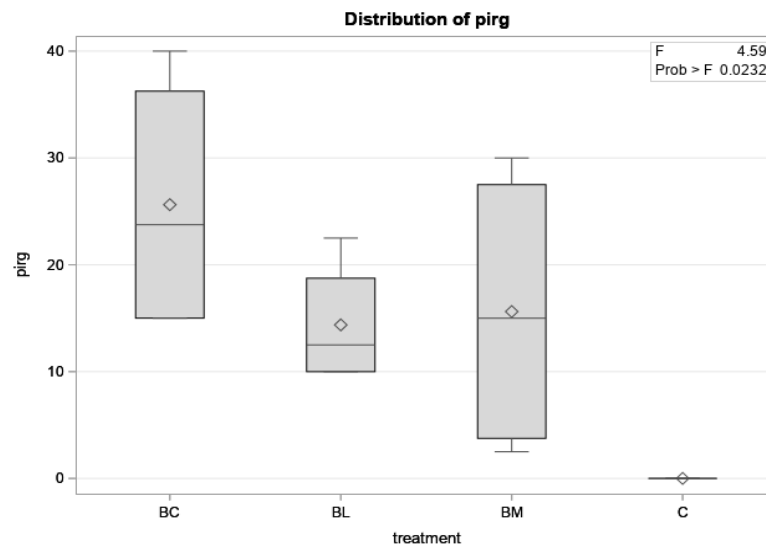
Berdasarkan hasil uji antagonis pada ketiga *Bacillus* dapat diperoleh data pertumbuhan jamur *Fusarium solanum* pada setiap media yang diuji dengan ketiga bakteri *Bacillus* terpilih yakni bakteri *Cereus* dengan pertumbuhan jamur hanya 2,4 cm, bakteri *Megaterium* dengan pertumbuhan jamur 2,8 cm dan

bakteri *Licheniformis* pertumbuhan jamur pada 3,1 cm dengan pertumbuhan jamur pada media kontrol 4,1 cm. Hasil ini menunjukkan bahwa bakteri yang memiliki daya hambat pertumbuhan jamur tertinggi yakni bakteri *Cereus* (Gambar 1).



Gambar 1. Uji Aktivitas Antagonis Menggunakan Metode Uji Kultur Ganda (Dual Culture) 72 Jam Setelah Diinkubasi Dengan Perbandingan Kontrol (A), Bakteri *Cereus* (B), Bakteri *Megaterium* (C), Bakteri *Licheniformis* (D).

Perbedaan aktivitas jamur *Bacillus* sp. yang diuji antagonistik dengan *Fusarium solanum* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Aktivitas Antijamur dengan Uji Antagonis pada *Bacillus* sp. Terpilih terhadap *Fusarium solanum*.

Berdasarkan diagram pada Gambar 2, aktivitas antijamur dengan uji antagonis *Bacillus* sp. terhadap *Fusarium solanum* diperoleh bahwa pada ulangan kontrol tidak terjadi aktivitas sama sekali yang dikarenakan tidak adanya bakteri yang diinokulasi pada media agar. Zona hambat tertinggi pada Bakteri *Cereus* (BC) sebesar 0,63 cm. Perbedaan Diameter, radius dan zona hambat *Fusarium solanum* terhadap *Bacillus* sp. tersaji dalam Tabel 1.

Tabel 1. Diameter, Radius dan Zona Hambat *Fusarium solanum* terhadap *Bacillus* sp. (72 Jam)

| Perlakuan | Parameter | | |
|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Diameter (cm) | Radius (cm) | Zona hambat (cm) |
| Kontrol (C) | 4,00 ± 0,08 ^a | 1,99 ± 0,06 ^a | 0,00 ± 0,00 ^b |
| Bakteri <i>Cereus</i> (BC) | 2,98 ± 0,51 ^b | 1,49 ± 0,25 ^b | 0,63 ± 0,13 ^a |
| Bakteri <i>Megaterium</i> (BM) | 3,38 ± 0,56 ^{ab} | 1,69 ± 0,28 ^{ab} | 0,60 ± 0,36 ^{ab} |
| Bakteri <i>Licheniformis</i> (BL) | 3,43 ± 0,24 ^{ab} | 1,72 ± 0,12 ^{ab} | 0,48 ± 0,05 ^{ab} |

Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada DMRT α 5%.

Berdasarkan Tabel 1, dapat diketahui bahwa perlakuan bakteri berpengaruh nyata antara diameter dengan radius dan berbeda nyata antara zona hambat pada perlakuan kontrol yang tidak menggunakan bakteri, ketika jamur tidak memiliki zona hambat dengan bakteri dapat dilihat pertumbuhan jamur memenuhi cawan petri. Dengan demikian, penggunaan bakteri *Bacillus* sp. dapat menghambat pertumbuhan jamur *Fusarium solanum*. Bakteri *Bacillus* sp. menghambat pertumbuhan jamur dengan mengeluarkan enzim kitinase serta bakteri *Bacillus* sp. juga dapat menghasilkan metabolit sekunder yang dapat menghalangi pertumbuhan jamur *Fusarium solanum*. Hal ini sesuai dengan penelitian Indriani et al. (2023) yang menyatakan bahwa *Bacillus* sp. memiliki kemampuan untuk menghasilkan berbagai senyawa antimikroba yang efektif menghambat pertumbuhan jamur patogen. Enzim kitinase yang diproduksi oleh bakteri *Bacillus* sp. berperan dalam degradasi kitin, komponen utama dinding sel jamur. Selain itu, metabolit sekunder yang dihasilkan oleh *Bacillus* sp. dapat mengganggu permeabilitas membran sel jamur, menghambat aktivitas enzim esensial, dan menghambat sintesis protein, sehingga mengganggu proses metabolisme sel jamur.

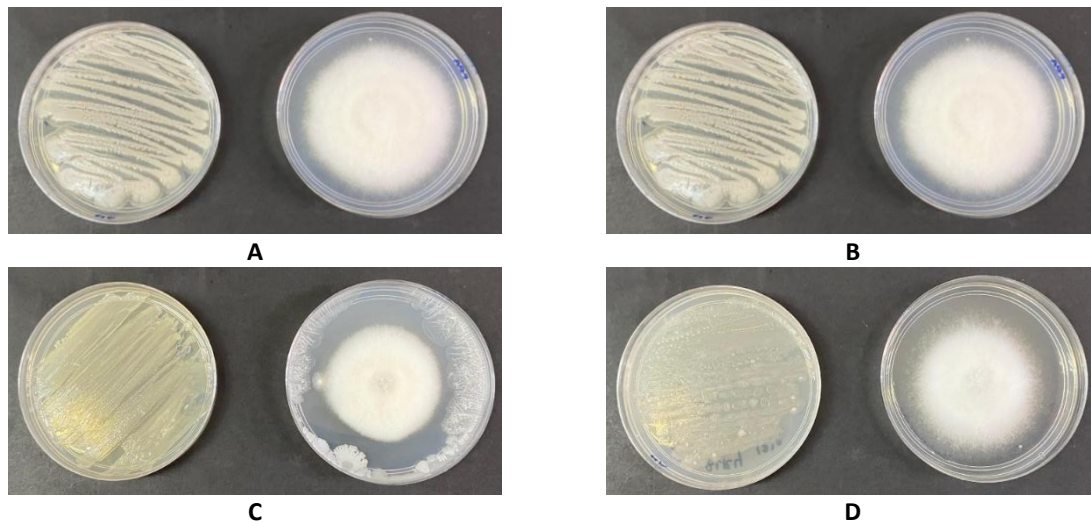
Sesuai pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa pada setiap perlakuan ada perbedaan zona hambat. Zona hambat tersebut membuktikan makin luas zona hambat maka pertumbuhan jamur makin kecil. Untuk perlakuan kontrol tidak terdapat zona hambat karena tidak ada bakteri yang ditumbuhkan, untuk zona hambat pada perlakuan bakteri *Cereus* (BC) 0,63 cm yang dapat dikatakan zona hambat tersebut cukup besar yang menyebabkan pertumbuhan *Fusarium solanum* sangat terganggu. Zona hambat pada perlakuan Bakteri *Megaterium* (BM) 0,60 cm yang dapat dikatakan zona hambat tersebut lumayan besar untuk menghambat pertumbuhan *Fusarium solanum* dan untuk zona hambat pada perlakuan bakteri *licheniformis* (BL) 0,48 cm dengan jarak tersebut sudah cukup untuk menghalau pertumbuhan jamur *Fusarium solanum* dengan baik. Pada ketiga *Bacillus* sp. untuk zona hambatnya terdapat perbedaan hal ini disebabkan oleh spesies *Bacillus* sp. yang digunakan juga berbeda. Sesuai dengan literatur Elfina et al. (2024) yang mengindikasikan bahwa perbedaan ini disebabkan oleh jenis bakteri *Bacillus* yang berbeda, sehingga kemampuannya dalam menghasilkan zona hambat pun berbeda-beda.

Penggunaan bakteri *Bacillus* sp. terpilih dapat menjadi salah satu cara untuk mengendalikan layu pada tanaman akibat jamur *Fusarium solanum* yang menjadi masalah besar di bidang pertanian. Berbagai penelitian, seperti yang dilakukan oleh Rochmawati & Trimulyono (2020), menunjukkan bahwa genus *Bacillus* memiliki potensi besar sebagai agen pengendali hayati berbagai penyakit tanaman terutama layu tanaman akibat jamur *Fusarium solanum*. Penggunaan agen hayati seperti bakteri *Bacillus* sp. memiliki banyak manfaat baik untuk tanaman maupun untuk lingkungan, bakteri *Bacillus* sp. dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui fiksasi nitrogen, sebagai pelarut kalium dan pelarut fosfor yang baik untuk pertumbuhan tanaman disamping itu bakteri *Bacillus* sp. juga dapat menjadi antijamur pada tanaman. Pada lingkungan bakteri *Bacillus* sp. adalah jenis bakteri yang memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan mengatasi berbagai permasalahan lingkungan. Kemampuan adaptasi yang tinggi dan menghasilkan berbagai enzim serta senyawa aktif membuat bakteri ini menjadi salah satu kandidat kuat dalam berbagai aplikasi ramah lingkungan.

Penggunaan *Bacillus* sp. sebagai agen hayati dalam pengendalian penyakit pada tanaman dapat diterapkan karena tingkat keberhasilan *Bacillus* sp. dalam menghambat pertumbuhan jamur *Fusarium solanum* sangat baik. *Fusarium solanum* merupakan salah satu jamur penyebab layu pada tanaman yang menyebabkan kerugian yang cukup besar apabila tidak dikendalikan dengan benar. Sesuai dengan literatur Hidayat et al. (2021) yang mengindikasikan bahwa *Fusarium* sp. merupakan salah satu agen patogen penyebab penyakit layu tanaman yang dapat mengakibatkan kerugian ekonomi bagi petani. Layu pada tanaman akibat jamur *Fusarium* dikarenakan peredaran air dan nutrisi hara yang terhambat, hal ini sesuai dengan literatur Asmi et al. (2022) yang mengindikasikan bahwa *Fusarium* sp. menyebabkan gangguan pada sistem vaskular tanaman, sehingga menghambat translokasi air dan nutrisi dan mengakibatkan gejala layu pada tanaman inang.

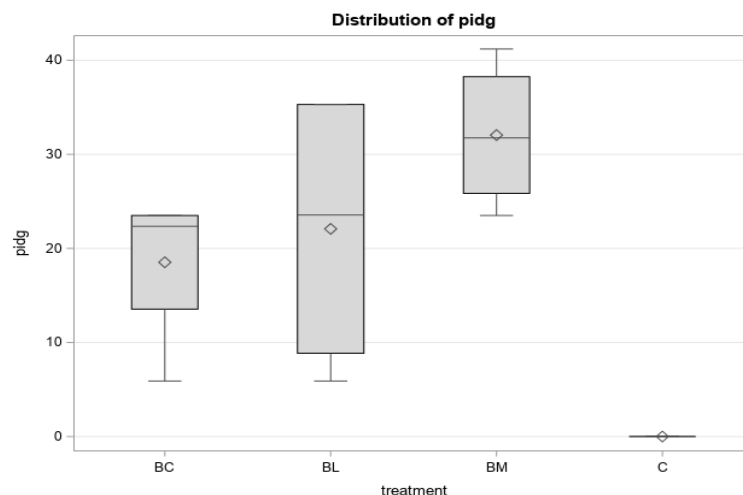
Hasil Bahan Penguapan Antijamur oleh *Bacillus* sp.

Berdasarkan hasil pada bahan penguapan antijamur dengan metode *Sandwich* pada ketiga *Bacillus* spp. terpilih selama 72 jam diperoleh data bahwa bakteri *Cereus* dengan pertumbuhan jamur hanya 6,5 cm, bakteri *Megaterium* dengan pertumbuhan jamur 5 cm dan bakteri *Licheniformis* pertumbuhan jamur pada 5,5 cm dengan pertumbuhan jamur pada media kontrol 8,5 cm. Dapat dilihat bahwa pertumbuhan jamur pada perlakuan kontrol sangat tinggi dibandingkan perlakuan dengan ketiga bakteri *Bacillus* sp. (Gambar 3).



Gambar 3. Uji Penguapan Antijamur (Volatile) Menggunakan Metode Sandwich 48 Jam Setelah Diinkubasi dengan Perbandingan Kontrol (A), Bakteri *Cereus* dengan *Fusarium solanum* (B), Bakteri *Megaterium* dengan *Fusarium solanum* (C), Bakteri *Licheniformis* dengan *Fusarium solanum* (D).

Aktivitas penguapan antijamur (*volatile*) dengan metode *Sandwich* pada *Bacillus* sp. terpilih terhadap *Fusarium solanum* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Aktivitas Penguapan Antijamur (Volatile) dengan Metode *Sandwich* Pada *Bacillus* sp. Terpilih terhadap *Fusarium solanum*.

Berdasarkan diagram di atas pada Gambar 4. aktivitas penguapan antijamur (*volatile*) dengan metode *sandwich* pada *Bacillus* sp. terpilih terhadap *Fusarium solanum* diperoleh bahwa pada ulangan kontrol tidak terjadi aktivitas sama sekali dikarenakan tidak adanya bakteri yang diinokulasi pada media agar sebagai perbandingan. Perbedaan diameter *Fusarium solanum* pada uji penguapan antijamur (*volatile*) dengan metode *Sandwich* secara *in vitro* (42 jam) tersaji dalam Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2, dapat diketahui bahwa perlakuan kontrol berpengaruh nyata terhadap perlakuan bakteri *Megaterium*. Nilai diameter dari kontrol lebih besar (8,50 cm) dibandingkan dengan perlakuan bakteri *Megaterium* (5,78 cm), hal tersebut dapat membuktikan bahwa penggunaan bakteri *Bacillus* sp. dapat menghambat pertumbuhan jamur *Fusarium solanum* dengan optimal, berdasarkan penelitian Widiyantini & Hartati (2020) mengindikasikan bahwa senyawa *volatil* bakteri dapat menjadi alternatif yang efektif dalam melindungi tanaman. Cara bakteri *Bacillus* sp. dalam menghambat pertumbuhan jamur dengan senyawa volatil yang dihasilkan oleh bakteri dapat menghambat pertumbuhan jamur *Fusarium solanum*, sesuai penelitian Winarto et al. (2024) mengindikasikan bahwa genus *Bacillus* dapat menghasilkan senyawa volatil dan metabolit, seperti enzim kitinase, yang memiliki aktivitas nematisidal dengan cara merusak dinding sel kitin larva dan telur nematoda.

Tabel 2. Diameter *Fusarium solanum* Pada Uji Penguapan Antijamur (*Volatile*) dengan Metode *Sandwich* Secara *In Vitro* (42 Jam)

| Perlakuan | Diameter (cm) |
|-----------------------------------|---------------------------|
| Kontrol (C) | 8,50 ± 0,00 ^a |
| Bakteri <i>Cereus</i> (BC) | 6,93 ± 0,72 ^{ab} |
| Bakteri <i>Megaterium</i> (BM) | 5,78 ± 0,66 ^b |
| Bakteri <i>Licheniformis</i> (BL) | 6,63 ± 1,31 ^b |

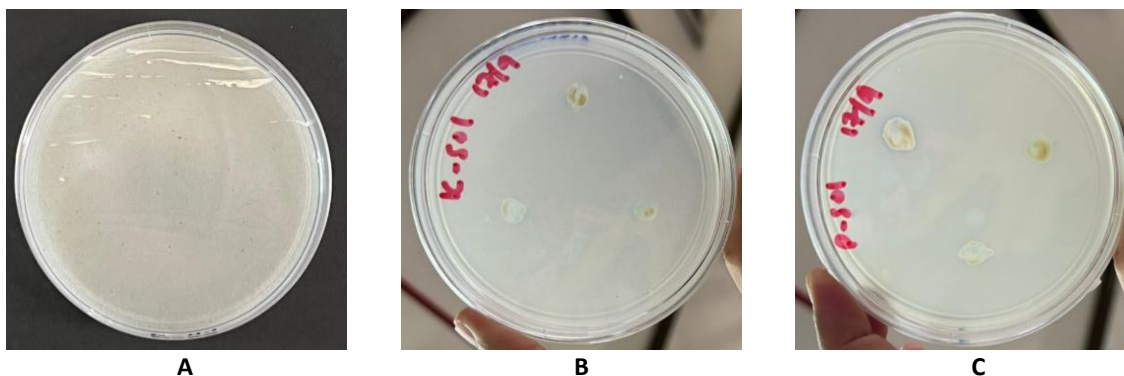
Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji tukey HSD 5%.

Pertumbuhan bakteri *Megaterium* pada media agar yang disandingkan dengan jamur *Fusarium solanum* sangat baik, berbanding terbalik dengan pertumbuhan jamur *Fusarium solanum* tanpa adanya bakteri, dengan perbandingan yang cukup jauh yakni untuk perlakuan bakteri *megaterium* diameter jamurnya hanya 5,78 cm sedangkan untuk kontrol diperoleh diameter jamur yang sangat tinggi yakni 8,50 cm, hal tersebut dapat terjadi karena bakteri *megaterium* dapat mengeluarkan enzim yang dapat menghambat pertumbuhan jamur *Fusarium solanum*. Berdasarkan literatur Istia'nah et al. (2020). Menyatakan bahwa *Bacillus megaterium* dapat memproduksi enzim amilase pada suhu 37°C dengan aktivitas enzim amilase sebesar 1,279 U/ml, pH 5,0.

Bacillus sp. telah terbukti menghasilkan zat nonvolatil atau tidak mudah menguap yang memiliki efek penghambatan terhadap *Fusarium solanum*. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar tiga terlihat adanya gangguan pertumbuhan jamur *Fusarium solanum*. Pada perlakuan kontrol tanpa adanya bakteri diperoleh diameter jamur *Fusarium solanum* 8,5 cm yang dimana dengan nilai tersebut pertumbuhan jamur *Fusarium* sangat baik dan telah memenuhi cawan petri yang disebabkan tidak adanya bakteri yang menghambat pertumbuhannya. Pada perlakuan bakteri *Cereus* (BC) diperoleh diameter jamur *Fusarium solanum* 6,5 cm yang tergolong pada pertumbuhan jamur *Fusarium solanum* yang terhambat akibat adanya bakteri *Cereus* yang menghambatnya untuk berkembang. Pada perlakuan bakteri *megaterium* diperoleh diameter jamur *Fusarium solanum* 5 cm yang dimana dengan diameter jamur *Fusarium solanum* tersebut sangat kecil. Pada perlakuan bakteri *Licheniformis* diperoleh diameter jamur *Fusarium solanum* 5,5 cm yang dapat dikatakan bahwa pertumbuhan jamur *Fusarium solanum* cukup terhambat.

Aktivitas Peningkatan Pertumbuhan Tanaman oleh *Bacillus* sp.

Berdasarkan hasil pengamatan aktivitas pertumbuhan tanaman oleh *Bacillus* sp. terpilih selama 48 jam masa inkubasi dapat dilihat pada gambar di bawah ini bahwa untuk keberhasilan fiksasi nitrogen ditandai dengan tumbuhnya bakteri pada media agar. Keberhasilan pelarut kalium dan pelarut fosfat dapat dilihat dari zona bening di sekitar bakteri pada media agar aleksandrow agar dan pikovskaya agar (Gambar 5).



Gambar 5. Aktivitas Peningkatan Pertumbuhan Tanaman Oleh *Bacillus* sp. Terpilih Selama 48 Jam Masa Inkubasi. Fiksasi Nitrogen (A), Pelarut Kalium (B) dan Pelarut Fosfat (C).

Perbedaan hasil fiksasi nitrogen, pelarut kalium dan pelarut fosfat terhadap *Bacillus* sp. terpilih (48 Jam) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Fiksasi Nitrogen, Pelarut Kalium dan Pelarut Fosfat terhadap *Bacillus* sp. (48 Jam)

| Perlakuan | Fiksasi Nitrogen | Pelarut Kalium | Pelarut Fosfat |
|-----------------------------------|------------------|----------------|----------------|
| Kontrol (C) | | - | - |
| Bakteri <i>Cereus</i> (BC) | + | + | + |
| Bakteri <i>Megaterium</i> (BM) | + | + | + |
| Bakteri <i>Licheniformis</i> (BL) | - | + | + |

Keterangan: + Ada aktivitas; - Tidak ada aktivitas

Tabel 3 dapat diketahui bahwa pelarut kalium dan pelarut fosfat pada perlakuan kontrol tidak ada aktivitas pada media agar sedangkan pada perlakuan bakteri *Cereus*, bakteri *Megaterium* dan bakteri *Licheniformis* terdapat aktivitas pada media agar. Aktivitas pada fiksasi nitrogen ditandai dengan adanya pertumbuhan bakteri pada media agar dan untuk aktivitas pada pelarut kalium dan pelarut fosfat ditandai dengan adanya zona bening pada media agar di sekeliling bakteri yang diinokulasikan.

Adanya aktivitas bakteri pada media agar yang diinkubasi selama 48 jam menunjukkan bahwa bakteri *Bacillus* sp. dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman yang ditandai dengan adanya pertumbuhan bakteri dan zona bening, munculnya zona bening mengindikasikan produksi senyawa bioaktif oleh bakteri yang mampu menghambat pertumbuhan patogen, seperti yang dijelaskan oleh Nugraheni et al. (2021). Ditekankan oleh Taruna et al. (2024) adanya aktivitas bakteri sebagai pelarut fosfat ditunjukkan dengan kemampuannya dalam melarutkan $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ yang ditunjukkan dengan berubahnya warna media selektif pikovskaya yang awalnya berwarna putih susu menjadi bening di sekitar koloni bakteri. Luas dari zona bening yang dihasilkan tergantung dari spesies bakteri dan daerah asal bakteri diisolasi.

Penggunaan bakteri *Bacillus* sp. dapat menyediakan unsur hara yang terikat di dalam tanah dengan cara mengeluarkan asam organik. Hasil penelitian Lidar & Tumorang (2024) mengindikasikan bahwa mikroorganisme *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas* sp. berperan penting dalam meningkatkan ketersediaan fosfor bagi tanaman. Keduanya mampu menghasilkan asam organik yang bereaksi dengan senyawa fosfor yang terikat kuat di dalam tanah. Reaksi ini menurunkan pH tanah dan melepaskan fosfor sehingga tanaman dapat menyerapnya dengan mudah. Hal tersebut membuat bakteri *Bacillus* sp. dapat digunakan sebagai agen pengendali hayati sekaligus sebagai agen pertumbuhan tanaman yang ramah lingkungan. Bakteri *Bacillus* sp. juga merupakan agen PGPR yang multi fungsi baik sebagai agen perangsang tumbuhan juga berperan sebagai agen pengendali hayati, hal ini sesuai dengan literatur dari Martinez et al. (2024) yang mengindikasikan bahwa PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) merupakan bakteri penghasil zat tumbuh tanaman, merupakan mikroorganisme yang sangat bermanfaat bagi pertanian. Bakteri ini hidup berkoloni di akar tanaman dan berperan sebagai pupuk organik, perangsang pertumbuhan, serta agen pengendali penyakit tanaman.

Bakteri *Bacillus* sp. memiliki potensi untuk fiksasi nitrogen dan sebagai pelarut kalium dan fosfor yang dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman. Berdasarkan penelitian Husna et al. (2021), *Bacillus* sp. menunjukkan aktivitas nitrogenase sebesar $0,0568 \mu\text{m ml}^{-1} \text{jam}^{-1}$, mengindikasikan kemampuannya dalam memfiksasi nitrogen. Bakteri ini juga memiliki indeks pelarut fosfat sebesar 2,6. Hal ini menunjukkan efisiensi dalam melarutkan unsur hara fosfat. Selain itu, *Bacillus* sp. mampu memproduksi empat jenis asam organik yang berbeda. Dengan adanya kemampuan bakteri *Bacillus* sp. dalam fiksasi nitrogen dan pelarut fosfat dapat dinyatakan bahwa bakteri *Bacillus* sp. juga dapat digunakan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman. Hal ini sesuai dengan penelitian Nugraheni et al. (2022) bahwa spesies bakteri *Bacillus* sp. memiliki efek positif terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman, seperti yang ditunjukkan oleh peningkatan tinggi tanaman, jumlah daun, dan bobot biomassa.

Bakteri *Bacillus* sp. merupakan salah satu bakteri yang multifungsi, mulai dari meningkatkan produktivitas tanaman dengan menyediakan nutrisi yang cukup, merangsang pertumbuhan, dan melindungi tanaman dari penyakit layu akibat *Fusarium* sp. Hal ini sesuai dengan literatur Kania & Maghfoer (2018) yang mengindikasikan bahwa *Bacillus* sp. dapat meningkatkan hasil panen. PGPR, yang terdiri dari kelompok bakteri perakaran seperti *Rhizobium*, *Azotobacter*, dan *Azospirillum*, serta bakteri pelarut fosfat seperti *Pseudomonas*, *Bacillus*, dan *Cerratia*, memiliki peran multifungsi dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman. Selain memfiksasi nitrogen, PGPR juga berperan dalam memacu pertumbuhan populasi bakteri pengikat nitrogen lainnya, meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman, menstimulasi produksi hormon pertumbuhan, dan bertindak sebagai agen biokontrol terhadap berbagai patogen tanaman.

KESIMPULAN

Bacillus Cereus, *Bacillus Megaterium*, dan *Bacillus Licheniformis* terbukti mampu menghambat pertumbuhan jamur *Fusarium solanum*, melalui produksi senyawa volatil secara in vitro. Dari ketiga bakteri Bacillus, masing-masing memiliki keunggulan disetiap metode pengujian, pada uji antagonis bakteri *Bacillus* sp. terhadap *Fusarium solanum* bakteri *Cereus* yang paling unggul dalam menghambat pertumbuhan jamur dengan pertumbuhan jamur *Fusarium solanum* hanya 2,4 cm. Untuk uji penguapan antijamur (*volatile*) pada *Bacillus* sp. terhadap jamur *Fusarium solanum* lebih unggul bakteri *Megaterium* yang dimana pertumbuhan jamur lebih kecil yakni hanya 5 cm. *Bacillus* sp. juga terbukti mampu menambat NPK yang ditandai dengan adanya pertumbuhan Bakteri *Cereus*, Bakteri *Megaterium* dan Bakteri *Licheniformis* dengan optimal, serta adanya zona bening pada media aleksandrow agar dan media pikovskaya agar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan Lembaga Penelitian dan Pengembangan Pertanian Malaysia atas dukungannya dalam hal sarana dan prasarana program yang sangat membantu keberhasilan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adisty, Nur, H. S., & Yusriadi. (2024). Karakterisasi Bacillus sp. Penghasil Asam Indol Asetat Asal Rizosfer Pertanian Pasang Surut dan Potensinya Sebagai Pemacu Pertumbuhan Padi Lokal. *Bioscientiae*, 21(2), 93–117. <https://doi.org/10.20527/b.v21i2.13283>
- Arwiyanto, T. (2014). *Ralstonia Solanacearum: Biologi Penyakit yang Ditimbulkan dan Pengelolaannya*. UGM Press.
- Asmi, M. J., Rizali, A., & Wahdah, R. (2022). Uji Ganda 3 Jenis Trichoderma terhadap Penyebab Layu Fusarium (*Fusarium oxysporum*) pada Tanaman Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.) secara In Vitro. *Agroekotek View*, 5(1), 36–48. <https://doi.org/10.20527/agtview.v5i1.4360>
- Asri, Asysyuura, Murni A, & Darma. (2022). Eksplorasi Bakteri Endofit Agens Pengendalian Hayati pada Tanaman Babadotan (*Ageratum conyzoides* L.). *Jurnal Insan Tani*, 1(1), 85–100. <https://doi.org/10.1234/JIT.V1i1.3>
- Baard, V., Bakare, O. O., Daniel, A. I., Nkomo, M., Gokul, A., Keyster, M., & Klein, A. (2023). Biocontrol Potential of *Bacillus subtilis* and *Bacillus tequilensis* against Four *Fusarium* Species. *Pathogens*, 12(2), 254. <https://doi.org/10.3390/Pathogens12020254>
- Elfina, Y., Sukendi, S., Efriyeldi, E., & Sutikno, A. (2024). Uji Kemampuan *Bacillus* spp. dalam Menghambat *Ganoderma boninense* Pat. Penyebab Penyakit Busuk Pangkal Batang Kelapa Sawit Secara in Vitro. *Agro Bali : Agricultural Journal*, 7(2), 575–590. <https://doi.org/10.37637/AB.V7i2.1816>
- Flori, F., Mukarlina, & Rahmawati. (2020). Potensi Antagonis Isolat Bakteri *Bacillus* Spp. Asal Rizosfer Tanaman Lada (*Piper Nigrum* L.) sebagai Agen Pengendali Jamur *Fusarium* SP. *Jdf. Bioma*, 5(1), 111–120. <https://doi.org/10.20956/bioma.v5i1.9923>
- Ghorpade, S., Gorwadkar, V., & Kharmate, A. (2023). Isolation of Endophytic Bacteria and its Commercial Application as PGP for Sustainable Agriculture to Improve Crop Yield. *Advances in Nutrition & Food Science (ANFS)*, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.33140/ANFS>
- Godoy, C. V., Koga, L. J., Oliveira, M. C. N. De, & Hill, C. B. (2017). Mycelial growth, pathogenicity, aggressiveness and apothecial development of *Sclerotinia sclerotiorum* isolates from Brazil and the

- United States in contrasting temperature regimes. *Summa Phytopathologica*, 43(4), 263–268. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/2188>
- Hanif, A. (2018). Uji Antagonis Bakteri Endofit Asal Tanaman Jagung terhadap *Fusarium* sp. Penyebab Penyakit Layu *Fusarium*. UMSU. <https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/kumpulandosen/article/view/1588>
- Haron, F. F., Ishak, N. F., Nejis, N. A., Azmon, H., & Chuang, T. C. (2024). Rhizobacteria Induce Growth Promotion and *Fusarium* Wilt Disease Suppression in Watermelon. *AgroTech- Food Science, Technology and Environment*, 3(1), 50–57. <https://doi.org/10.53797/AGROTECH.V3I1.8.2024>
- Haron, F. F., Reward, N. F., Nejis, N., Aman, N., & Hamzah, H. (2023). Antagonistic Potential of Endophytic Bacteria from Shallot against *Colletotrichum gloeosporioides* Causing Anthracnose Disease. *AgroTech- Food Science, Technology and Environment*, 2(2), 1–6. <https://doi.org/10.53797/Agrotech.V2I2.1.2023>
- Harsono, E. S. (2021). Uji Hipersensitif Bakteri Endofit dari Akar Kaktus (*Cereus repandus* Mill.) terhadap Cabai Merah (*Capsicum annum* L.) sebagai Materi Pengayaan Praktikum Mikrobiologi Terapan [Universitas Jambi]. <https://repository.unja.ac.id/id/eprint/19531>
- Heriyanto. (2019a). Kajian Pengendalian Penyakit Layu *Fusarium* dengan *Trichoderma* pada Tanaman Tomat. *Jurnal Triton*, 10(1), 45–58. <https://jurnal.polbangtanmanokwari.ac.id/index.php/jt/article/view/11>
- Heriyanto, H. (2019b). Kajian Pengendalian Penyakit Layu *Fusarium oxysporum* dengan *Trichoderma* sp. pada Tanaman Cabai. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 26(2). <https://doi.org/10.55259/JIIP.V26I2.195>
- Hidayat, N., Rajab, A., & Mudi, L. (2021). Uji Invitro Daya Hambat Cendawan Endofit Asal Tumbuhan Rambusa (*Passiflora foetida*) sebagai Agens Pengendali Hayati Penyakit Layu *Fusarium*. *Jurnal Agrotech*, 11(2), 64–70. <https://doi.org/10.31970/Agrotech.V11I2.73>
- Husna, M., Sugiyanta, S., & Pratiwi, E. (2021). Respons Hasil Padi dan Hara Tanah Sawah terhadap Bakteri Pelarut Fosfat dan Pemfiksasi Nitrogen. *Agrotechnology Research Journal*, 5(2), 91–96. <https://doi.org/10.20961/Agrotechresj.V5I2.51533>
- Indriani, I., Ekowati, C. N., Handayani, K., & Irawan, B. (2023). Potensi Antagonis *Bacillus* sp Asal Kebun Raya Liwa (Krl) Sebagai Agen Pengendali Jamur *Fusarium* sp. *Gunung Djati Conference Series*, 18, 201–207. <https://conferences.uinsgd.ac.id/index.php/gdcs/article/view/1112>
- Irfanti, D. Y., Marsuni, Y., & Liestiany, E. (2021). Uji Antagonis *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas* berfluorescens dari Rhizosfer Bambu, Rumput Gajah dan Putri Malu dalam Menekan Bakteri *Ralstonia solanacearum*. *JTAM*, 4(1). <https://doi.org/10.20527/jppt.v4i1.671>
- Istia'nah, D., Utami, U., & Barizi, A. (2020). Karakterisasi Enzim Amilase dari Bakteri *Bacillus megaterium* pada Variasi Suhu, pH dan Konsentrasi Substrat. *Jurnal Riset Biologi Dan Aplikasinya*, 2(1), 11–17. <https://doi.org/10.26740/JRBA.V2N1.P11-17>
- Kania, S. R., & Maghfoer, M. D. (2018). Pengaruh Dosis Pupuk Kandang Kambing dan Waktu Aplikasi PGPR terhadap Pertumbuhan dan Hasil Bawang Merah (*Allium ascaloniucum* L.). *Produksi Tanaman*, 6(3), 407–414. <https://protan.studentjournal.ub.ac.id/index.php/protan/article/view/660>
- Karim, H., Novia Arifin, A., & Suryani, A. I. (2016). Seleksi Bakteri Antagonis Asal Rizosfer Tanaman Cabai (*Capsicum* sp) untuk Menekan Penyakit Layu *Fusarium* secara in vitro. *Sainsmat : Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan Alam*, 5(2), 152–156. <https://doi.org/10.35580/Sainsmat5232432016>
- Khan, N., Martínez-Hidalgo, P., Ice, T. A., Maymon, M., Humm, E. A., Nejat, N., Sanders, E. R., Kaplan, D., & Hirsch, A. M. (2018). Antifungal Activity of *Bacillus* Species Against *Fusarium* and Analysis of the Potential Mechanisms Used in Biocontrol. *Frontiers in Microbiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02363>

- Kurnia, A. T., Pinem, M. I., & Oemry, S. (2014). Penggunaan Jamur Endofit Untuk Mengendalikan Fusarium Oxysporum F.sp. Capsici Dan Alternaria Solani Secara in Vitro. *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, 2(4). <https://doi.org/10.32734/jaet.v2i4.8466>
- Lahati, B. K., & Ladjinga, E. (2022). Efektifitas Trichoderma sp. dalam Mengendalikan Penyakit Layu Fusarium sp. di Lahan Pertanaman Tomat. *Jurnal Inovasi Penelitian*, 3(7), 7227–7234. <https://doi.org/10.47492/JIPV317.2329>
- Lidar, S., & Tumorang, M. (2024). Respon Pertumbuhan dan Produksi Bunga Kol (Brassica oleracea var. botrytis L) Akibat Pemberian Pupuk Organik Cair dan Pupuk NPK. *Jurnal Agrotela*, 5(2), 87–97. <https://journal.unilak.ac.id/index.php/Agrotela/article/view/22223>
- Martinez, T. A., Martosudiro, M., & Choliq, F. A. (2024). Pengaruh Plant Growth Promoting Rhizobacteria dan Mikoriza Terhadap Penyakit Rebah Kecambah (Fusarium sp.) dan Kualitas Bibit Tembakau. *Agroradix*, 7(2). <https://doi.org/10.52166/agroteknologi.v7i2.6567>
- Murty, L. D., & Shim, W. B. (2021). Streptomyces and Bacillus species utilize volatile organic compounds to impact Fusarium oxysporum f.sp. vasinfectum race 4 (Fov4) virulence and suppress Fusarium wilt in Pima cotton. *Biorxiv*. <https://doi.org/10.1101/2021.10.27.466178>
- Naher, M. S., Naher, N., Alam, M. J., & Hossain, M. S. (2019). Variation in isolates of Sclerotinia sclerotiorum (Lib.) de Bary causing white mold disease in Bangladesh crops. *Crop Protection*, 124(3). <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104849>
- Nugraheni, I. A., Setianah, H., & Wibowo, D. S. (2021). Aktivitas Antibakteri dari Bakteri Endofit Asal Akar Ciplukan (Physalis angulata L.) terhadap Staphylococcus aureus dan Escherichia coli. *Biomedika*, 13(1). <https://doi.org/biomedika.v13i1.11009>
- Nugraheni, I. A., Widyaningsih, N., Syarifah, S. M., & Susila, W. A. (2022). Uji Antagonis Bacillus megaterium terhadap Fusarium oxysporum dan Pengaruhnya pada Pertumbuhan Tanaman Cabai Rawit. *JURNAL BIOSENSE*, 5(01), 14–23. <https://doi.org/10.36526/BIOSENSE.V5I01.1877>
- Nurhajjah, Widiastuty, & Umami, W. (2024). Extract of Oil Palm Empty Fruit Bunches Waste as an Potential Insecticide for Controlling Spodoptera frugiperda. *Serangga*, 29(1), 108–118. <https://doi.org/10.17576/serangga-2024-2901-08>
- Poulaki, E. G., & Tjamos, S. E. (2023). Bacillus species: factories of plant protective volatile organic compounds. *Journal of Applied Microbiology*, 134(3), 1–10. <https://doi.org/10.1093/JAMBIO/LXAD037>
- Poveda, J., Zabalgoceazcoa, I., Soengas, P., & Rodriguez, V. M. (2020). Brassica oleracea var. acephala (kale) improvement by biological activity of root endophytic fungi. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77215-7>
- Rochmawati, Z. N., & Trimulyono, G. (2020). Uji Antagonis Bacillus subtilis dan Bacillus megaterium terhadap Pertumbuhan Cercospora sp yang Diisolasi dari Nepenthes sp. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 9(3), 204–210. <https://doi.org/10.26740/LenteraBio.V9N3.P204-210>
- Rubayet, M. T., Bhuiyan, K., Jannat, R., Masum, M. M. I., & Hossain, M. M. (2018). Effect of biofumigation and soil solarization on stem canker and black scurf diseases of potato (Solanum tuberosum L.) caused by Rhizoctonia solani isolate PR2. *Advances in Agricultural Science*, 6(3), 33–48. <https://www.researchgate.net/publication/328042498>
- Sintia, M. (2024). Uji Daya Hambat Ekstrak Daun Bandotan (Ageratum conyzoides L) terhadap Bakteri Bacillus sp. <http://repository.poltekkes-kdi.ac.id/4820/>
- Taruna, A., Aini, L. Q., & Syib'li, M. A. (2024). Potensi Bakteri Bacillus subtilis dan Pseudomonas fluorescens dalam Menginduksi Ketahanan Tanaman Tomat terhadap Penyakit Layu Fusarium. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan*, 12(2), 111–123. <https://doi.org/10.21776/UB.JURNALHPT.2024.012.2.5>

- Tiwari, V., Singh, R., & Pandey, A. K. (2017). Efficacy of Some Antagonistic Fungi and Botanicals Against *Fusarium Solani* Causing Damping-Off Disease in Eggplant (*Solanum Melongena* L.). *Journal Applied Bioscience*, 43(1), 47–56. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23978.72648>
- Widiantini, F., & Hartati, F. (2020). Endophytic bacteria origin of healthy rice plants produce antifungal volatile compound inhibited the growth of *Pyricularia oryzae* Cav., the causal agent of rice blast disease. *Cropsaver - Journal of Plant Protection*, 3(1), 31–36. <https://doi.org/10.24198/Cropsaver.V3I1.28121>
- Winarto, Yanti, Y., Hamid, H., & Yaherwandi. (2024). The endophytic potential, *Bacillus* spp. for controlling *Meloidogyne* sp. and increasing tomato growth and production. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 24(1), 66–74. <https://doi.org/10.23960/JHPTT.12466-74>