

POTENSI *Bacillus* spp. DARI RIZOSFER TANAMAN AKASIA SEBAGAI AGENS HAYATI *Fusarium* sp. DAN PEMACU PERTUMBUHAN TANAMAN

Radika Sabrina Anderson¹⁾, Husda Marwan^{2*)} dan Sri Mulyati²⁾

¹ Mahasiswa Jurusan Agroekoteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Jambi

² Dosen Jurusan Agroekoteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Jambi
Kampus Pinang Masak, Mendalo Darat, Jambi 36361

*)Email : husda_marwan@unja.ac.id (Penulis untuk korespondensi)

ABSTRACT

Acacia crassicarpa is a promising species for the wood processing industry, with productivity reaching 110.2 m³/ha at four years of age. However, seedling production in nurseries often faces disease problems, particularly infections by *Fusarium* sp., which can lead to significant economic losses. Biological control using antagonistic microbes, such as *Bacillus* spp., offers an effective and environmentally friendly alternative. This study aimed to explore the potential of *Bacillus* spp. isolated from the rhizosphere of *A. crassicarpa* as a biocontrol agent against *Fusarium* sp. and as a plant growth promoter. A total of 32 *Bacillus* spp. isolates were obtained, with 21 isolates exhibiting antagonistic activity against *Fusarium* sp. in vitro. The BAM-18 isolate showed the highest inhibition rate at 43.00%. Several isolates, including BAM-18 and BAM-21, also demonstrated chitinolytic activity, nitrogen fixation, phosphate solubilization, and potassium solubilization, indicating their potential to support plant growth.

Keywords : *Acacia crassicarpa*, *Bacillus* spp., *Rhizosphere*, *Biological control*.

PENDAHULUAN

Hutan Tanaman Industri (HTI) adalah kawasan hutan produksi yang menerapkan budidaya kehutanan secara intensif dalam rangka memenuhi bahan baku kehutanan, baik kayu maupun non-kayu (Peraturan Pemerintah No. 7 Tahun 1990). Jenis-jenis tanaman yang ditanam pada HTI meliputi Akasia (*Acacia mangium*), Jati putih (*Gmelina arborea*), dan Ekaliptus (*Eucalyptus* sp.) (Purwanti dan Rosa, 2009). Salah satu industri kehutanan yang memiliki nilai ekonomis tinggi adalah industri pulp dan kertas, umumnya bahan baku yang digunakan berasal dari tanaman akasia (Rimbawanto *et al.*, 2014).

Akasia dapat tumbuh baik pada tanah yang subur, tanah yang mengalami erosi maupun tanah bekas perladangan. *Acacia crassicarpa* merupakan salah satu spesies akasia yang berpotensi untuk dikembangkan di HTI. Menurut Kurniati *et al.* (2020) tanaman ini mempunyai kelebihan antara lain pertumbuhan yang cepat, produksi kayu tinggi dan tidak menuntut persyaratan hidup yang tinggi, sehingga diprediksi akan menghasilkan produk dengan kualitas yang baik dan seragam. Suhartati *et al.* (2014)

mengatakan bahwa tanaman akasia memiliki potensi sebagai penunjang berbagai industri pengolahan kayu sampai 110,2 m³/ha pada umur 4 tahun.

Titik awal yang menentukan keberhasilan pembangunan HTI adalah persemaian. Pengadaan bibit melalui persemaian ini memiliki banyak permasalahan, salah satunya permasalahan penyakit. *Fusarium* sp. penularannya melalui bibit dan tanah yang terinfeksi. Serangan patogen *Fusarium* sp. pada akasia merupakan masalah sangat penting karena menyebabkan kerugian secara ekonomi, oleh karena itu perlu dilakukan tindakan pengendalian. Menurut Sumartini (2012) tindakan pengendalian yang banyak dilakukan saat ini yaitu secara teknis, fisik, mekanis, serta secara kimiawi dengan fungisida baik sintetis maupun organik. Pengendalian secara kimiawi dengan fungisida sintetis lebih banyak digunakan akan tetapi penggunaan fungisida sintetis yang tidak bijaksana akan menimbulkan berbagai dampak negatif seperti terjadinya resistensi patogen, terbunuhnya mikroba bermanfaat serta pencemaran lingkungan.

Fungisida organik sudah banyak disarankan diantaranya menggunakan

mikroba antagonis yang merupakan pengendalian patogen yang sangat potensial, ekonomis dan aman terhadap lingkungan. Mikroba ini secara langsung dapat mengontrol perkembangan patogen tular tanah (Soenartiningasih *et al.*, 2011). Menurut Khairani *et al.* (2019) ada banyak jenis mikroorganisme di dalam tanah sekitar perakaran (rizosfer), diantaranya bakteri yang memiliki berbagai peran seperti menyediakan nutrisi bagi tanaman, melindungi tanaman dari infeksi patogen, menghasilkan hormon pertumbuhan seperti *indol acetic acid*, pelarut fosfat dan pengikat nitrogen. Syofiana dan Masnilah, (2019) menyatakan salah satu genus bakteri yang dilaporkan jumlahnya melimpah di daerah rizosfer adalah *Bacillus*.

Penelitian Manan *et al.* (2018) membuktikan bahwa bakteri *Bacillus* spp. dan cendawan *Trichoderma* sp. efektif dalam menekan perkembangan penyakit layu pada banyak tanaman. Hasil pengujian campuran mikroba antagonis berpengaruh nyata terhadap masa inkubasi dan insidensi penyakit layu pada tanaman. Kompetisi ruang dan nutrisi merupakan mekanisme utama pengendalian oleh mikroba antagonis dalam melindungi perakaran tanaman dari serangan patogen. Penelitian ini bertujuan mengetahui potensi *Bacillus* spp. dari rizosfer tanaman akasia sebagai agens hayati *Fusarium* sp. dan pemacu pertumbuhan tanaman.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus sampai Oktober 2024 di Laboratorium Penyakit Tanaman, Fakultas Pertanian Universitas Jambi.

Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah sampel dari rizosfer, cendawan *Fusarium* sp., media *Potato Dextrose Agar* (PDA), media *Tryptic Soy Agar* (TSA), media *Nutrient Broth* (NB), Media Kolidal Kitin, media James Nitrogen Free Malat Bromthymol Blue (JNFB), media Pikovskaya, Media Aleksandrov, kertas steril Whatman, alkohol 70%, NaOCl 0,5%, akuades, kertas label, tisu, kertas aluminium, plastik pembungkus, dan kapas.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah cawan Petri, gelas piala, botol media, gelas ukur, mikropipet, autoklaf, oven, microwave, laminar air flow, timbangan digital, kompor, batang pengaduk,

kaca preparat dan *cover glass*, lampu bunsen, jarum ose, bor gabus, mikroskop, dan alat dokumentasi.

Pelaksanaan Penelitian

Isolasi bakteri *Bacillus* spp.

Pengambilan sampel tanah *Acacia* sp. dilakukan pada kedalaman 5-30 cm (Gagelidze *et al.*, 2018) dengan menggunakan spatula yang sudah disterilkan. Tanah yang sudah diambil kemudian dimasukkan ke dalam aluminium steril dan diberi label sesuai dengan jenis sampel dan lokasi pengambilan. Lokasi pengambilan sampel tanah berada di tanaman perkebunan industri PT Wirakarya Sakti dan tanaman yang tumbuh liar di Muaro Jambi.

Pengisolasian bakteri *Bacillus* sp. menggunakan metode Eliza *et al.* (2007). Tanah ditimbang sebanyak 10 g tanah menggunakan timbangan digital, kemudian sampel tanah yang sudah ditimbang disuspensikan pada 90 ml akuades (air steril) dalam erlenmeyer dan dishaker dengan kecepatan 150 rpm selama 30 menit (Khaeruni *et al.*, 2010). Setelah itu diendapkan beberapa menit agar terbentuk supernatan yaitu bagian air yang jernih yang berada dilapisan atas. Supernatan diambil 1 ml dan diencerkan dengan metode pengenceran berseri sepuluh kali.

Setelah dilakukan pengenceran berseri 10^{-1} - 10^{-9} diperoleh suspensi pengenceran berseri 10^{-5} , 10^{-7} dan 10^{-9} divortex selama satu menit lalu dipanaskan di dalam pemanas air pada suhu 80°C selama 30 menit, kemudian di biarkan dingin sebelum disebar pada media. Suspensi yang telah dingin disebar sebanyak 0,1 ml pada media TSA (*Tryptic Soy Agar*) yang sudah dituangkan ke dalam cawan petri kemudian diratakan menggunakan batang L. Media TSA yang sudah ditumbuhi bakteri diinkubasi selama 24-48 jam (1-2 hari) pada suhu ruang. Koloni yang tumbuh kemudian dimurnikan dengan menggunakan media yang sama.

Isolasi dan identifikasi cendawan *Fusarium* sp.

Cendawan diisolasi dari batang tanaman ukuran 1x1 cm antara yang sehat dan terinfeksi. Sampel kemudian dicuci dengan air mengalir dan disterilkan dengan mencelupkannya ke dalam larutan mengandung 1% natrium hipoklorit selama 2 menit, dibilas tiga kali dalam aquades, dan dikeringkan di atas kertas saring dalam laminar (Suwandi *et al.*, 2012). Sampel

kemudian diletakkan pada permukaan media *Potato Dextrose Agar* (PDA) dan diinkubasi selama 5 hari.

Koloni yang tumbuh selanjutnya diisolasi ulang pada media PDA, sampai diperoleh isolat cendawan yang diduga sebagai penyebab penyakit layu. Isolat selanjutnya diidentifikasi secara makroskopis dan mikroskopis dengan melihat warna, bentuk, dan pigmentasi koloni. Pengamatan karakteristik disesuaikan ciri- cirinya dengan buku *Illustrated Genera of Imperfect Fungi* oleh H. L. Barnett (1960) dan jurnal-jurnal penelitian identifikasi.

Uji reaksi hipersensitif

Bakteri yang diperoleh dari hasil isolasi kemudian dilakukan uji reaksi hipersensitif yang bertujuan untuk mengetahui potensi patogenitas bakteri. Reaksi hipersensitif dilakukan dengan menyuntikkan suspensi bakteri ke dalam jaringan daun tembakau. Perkembangan gejala nekrosis diamati hingga hari ke 4. Uji reaksi hipersensitif ini dilakukan dengan cara mengambil suspensi inokulum dari isolat bakteri 1 ml yang diinfiltrasikan pada daun tanaman tembakau. Jika muncul gejala hipersensitif maka isolat yang diuji merupakan bakteri patogen (Amrulloh *et al.*, 2021).

Uji daya hambat *Bacillus* spp. terhadap *Fusarium* sp. secara *in vitro*

Uji daya hambat dilakukan dengan dua tahap yaitu uji penghambatan dan uji *Dual culture*. Menurut Hidayah dan Yulianti (2015), pengujian tahap pertama dilakukan pada media PDA dengan mengambil miselia cendawan *Fusarium* sp. menggunakan bor gabus ukuran $\pm 0,5$ cm dan diletakkan ditengah petri dengan jarak 3 cm dari agens antagonisnya yaitu biakan *Bacillus* spp. yang berumur 48 jam digoreskan menggunakan jarum ose pada keempat sisi petri. Pengamatan dilakukan pada 7 hari setelah inokulasi (hsi). Isolat bakteri yang menunjukkan adanya zona hambat selanjutnya diuji terhadap *Fusarium* sp. dengan metode *Dual culture*.

Uji ganda dilakukan dengan menggoreskan isolat bakteri berjarak 3 cm dari tepi cawan pada media PDA dan 3 cm dari koloni cendawan *Fusarium* sp. berdiameter 0,5 cm. Biakan diinkubasi pada suhu ruang dan dilakukan pengamatan 7 hsi. Persentase daya hambat dari cendawan *Fusarium* sp. dihitung dengan rumus sebagai berikut (Seema& Devaki, 2012).

$$P (\%) = \frac{R1-R2}{R1} \times 100\%$$

Keterangan:

- P = Presentase penghambatan,
R1 = Jari-jari koloni yang tumbuh berlawanan dengan mikroorganisme antagonis
R2 = Jari-jari koloni yang tumbuh ke arah mikroorganisme antagonis.

Karakterisasi isolat

Uji kitinolitik

Seleksi bakteri kitinolitik dilakukan untuk mengetahui aktivitas enzim yang dimiliki oleh bakteri antagonis yang dilakukan pada media koloidal kitin. Satu ose kultur bakteri ditumbuhkan pada media NB kemudian dishaker selama 48 jam dengan kecepatan 120 rpm, pada suhu ruang. Seleksi dilakukan dengan metode difusi cakram dengan meletakkan *papper disc* dibuat dari kertas Whattman berdiameter 5 mm pada permukaan media koloidal kitin yang sudah padat di cawan petri menggunakan pinset steril. Pengukuran zona bening dilakukan hingga 7 hari setelah inokulasi (Setia dan Suharjo, 2015).

Zona bening yang terbentuk mengindikasikan terjadinya aktivitas pemecahan kitin pada media. Berdasarkan zona bening yang terbentuk indeks kitinolitik dapat diperoleh melalui perbandingan antara diameter zona bening yang terbentuk dengan diameter koloni (Setia dan Suharjo, 2015).

$$IK = \frac{Dzb}{dk}$$

Keterangan :

- IK = Indeks Kitinolitik
Dzb = Diameter Zona Bening
Dk = Diameter Koloni

Uji fiksasi nitrogen

Isolat bakteri ditumbuhkan pada medium JNFB semi padat dan diinkubasi selama 10 hari pada suhu ruang. Setelah ada perubahan warna menganalisis kembali kandungan N pada media, jumlah N yang di fiksasi oleh bakteri adalah selisih antara kadar N dalam media setelah ditumbuhkan bakteri dan sebelum ditumbuhkan bakteri (Saida *et al.*, 2022).

Uji pelarut fosfat

Menurut Larasati *et al.* (2018), isolat diinokulasikan pada medium Pikovskaya agar menggunakan metode difusi cakram, media dituangkan ke dalam cawan petri sehingga media memadat kemudian kertas

Whatman dengan diameter 6 mm diletakkan pada permukaan media Pikovskaya yang sudah memadat tadi menggunakan pinset steril. Kultur diinkubasi pada suhu ruang, lalu diamati setiap 24 jam selama 7 hari.

Koloni yang membentuk zona bening pada medium Pikovskaya diindikasikan sebagai isolat yang mampu melarutkan fosfat (Prassana *et al.*, 2011). Zona bening yang terbentuk dapat diukur dan dihitung indeks pelarutan (IP) dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$IP = \frac{Dzb}{Dk}$$

Keterangan :

IP = Indeks Pelarutan

Dzb = Diameter Zona Bening

Dk = Diameter Koloni

Uji peraut kalium

Uji kemampuan pelarut kalium menggunakan suspensi isolat *Bacillus* spp. dan inokulum *Fusarium* sp. (diameter 0,5 cm). Sebanyak 30 µL suspensi bakteri diteteskan pada kertas cakram steril yang telah diletakkan pada permukaan cawan petri yang berisi media Aleksandrov padat, sedangkan inokulum *Fusarium* sp. langsung diletakkan pada permukaan media Alexandrov padat. Setiap petri berisi 3 kertas

cakram (bakteri) atau 3 bor gabus inokulum *Fusarium* sp. sebagai ulangan. Media dinkubasi pada suhu ruang selama 7 hari dan dilakukan pengamatan setiap 24 jam sekali. Mikroba yang tumbuh dan mampu membentuk zona bening diasumsikan sebagai mikroba pelarut kalium. Diameter zona bening diukur setiap 24 jam (Safitri *et al.*, 2018).

Analisis Data

Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif dan dengan menggunakan data tabulasi.


HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Isolat Bakteri *Bacillus* spp. dari Rizosfer

Bakteri rizosfer berhasil diisolasi sebanyak 16 isolat dari rizosfer pohon akasia yang berada di Muaro Jambi dan 16 isolat dari rizosfer pohon akasia yang berada di perkebunan industri Wirakarya Sakti. Jumlah keseluruhan isolat yang diperoleh dari hasil isolasi adalah 32 isolat. Penamaan isolat diambil berdasarkan asal dari isolat yaitu *Bacillus* Akasia Wirakarya Sakti (BAW) dan *Bacillus* Akasia Muaro Jambi (BAM)

Tabel 1. Morfologi koloni bakteri rizosfer pohon akasia.

Kode isolat	Gambar	Deskripsi
BAW 13		Bentuk koloni bulat, ukuran koloni seperti titik, warna koloni putih kusam, dan bentuk tepi bergerigi.

BAM 18

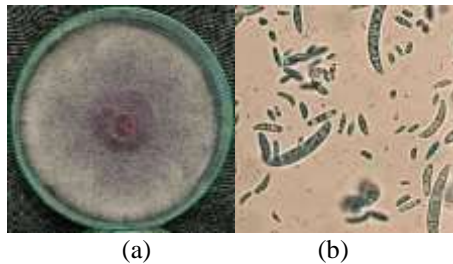


Bentuk koloni bulat, ukuran koloni kecil, warna koloni putih, dan bentuk tepi bergerigi.

Isolat Cendawan *Fusarium* sp.

Isolat *Fusarium* sp. berhasil diisolasi dari batang tanaman akasia yang bergejala penyakit layu fusarium. Ciri – ciri cendawan *Fusarium* sp. yaitu batang berwarna kecoklatan atau hitam dan pada serangan lanjut pangkal batang akan membusuk dan ditemukan adanya tepung putih di sekitar

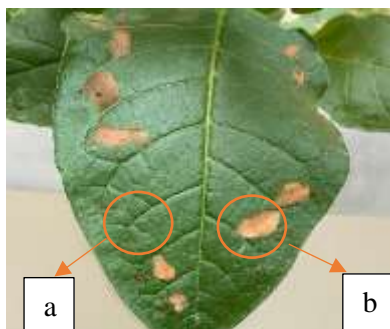
pangkal batang yang merupakan spora dari *Fusarium* sp. *Fusarium* ditumbuhkan di media PDA dan menutupi seluruh permukaan dalam 7 hari. Koloni *Fusarium* berwarna putih keunguan dan diidentifikasi menggunakan buku Illustrated Genera of Imperfect Fungi oleh H. L Barnett (1960).



Gambar 1. Isolat cendawan *Fusarium* sp.; (a) Isolat cendawan *Fusarium* sp. secara makroskopis umur 7 hsi, (b) Makrokonidia cendawan *Fusarium* sp. secara mikroskopis.

Uji Reaksi Hipersensitif

Hasil uji reaksi hipersensitif yang dilakukan pada daun tanaman tembakau menunjukkan bahwa 21 isolat bergejala nekrosis. Daun yang mengalami nekrosis mempunyai ciri - ciri warna daun kekuningan dan lama - kelamaan menjadi kering dan berwarna coklat. Sedangkan daun yang tidak menimbulkan gejala maka akan tetap berwarna hijau.

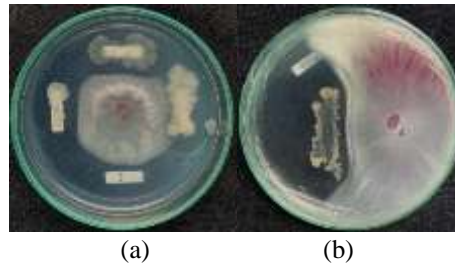


Gambar 2. Hasil uji hipersensitif pada daun tembakau; (a) Daun tembakau yang tidak menimbulkan gejala nekrotik, (b) Daun tembakau yang menimbulkan gejala nekrotik.

Uji Daya Hambat *Bacillus* spp. terhadap *Fusarium* sp. secara in vitro

Uji daya hambat *Bacillus* spp. dilakukan secara 2 tahap yaitu uji penghambatan secara kualitatif dan

kuantitatif. Pada uji daya hambat tahap 1 didapat 2 tipe yaitu menghambat dan tidak menghambat pertumbuhan cendawan *Fusarium* sp. ditandai dengan adanya zona bening di antara isolat cendawan dan bakteri.



Gambar 3. Hasil uji daya hambat *Bacillus* spp. terhadap cendawan *Fusarium* sp. secara in vitro: (a) Uji daya tahap pertama (secara kualitatif); (b) Uji daya hambat tahap kedua (secara kuantitatif)

Hasil pengujian tahap pertama yang bukan termasuk patogen yang ditandai dengan negatif uji hipersensitif kemudian dilakukan perhitungan persentase daya hambatnya pada tahap kedua menggunakan metode dual culture. Kemampuan antagonis bakteri terhadap pertumbuhan *Fusarium* sp. ditandai dengan adanya zona bening di antara isolat. Zona ini terjadi karena adanya proses penghambatan oleh bakteri yang

mengandung antibiotik berupa senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan bakteri.

Uji daya hambat bakteri rizosfer terhadap cendawan *Fusarium* sp. dinyatakan bernilai positif apabila terjadi penghambatan pertumbuhan cendawan, sebaliknya dinyatakan bernilai negatif apabila tidak terjadi penghambatan pertumbuhan cendawan.

Tabel 2. Kemampuan bakteri rizosfer menghambat pertumbuhan *Fusarium* sp. secara in vitro.

Kode Isolat	Uji Antagonis Tahap I	Kode Isolat	Uji Antagonis Tahap I
BAW 1	-	BAM 17	+
BAW 2	-	BAM 18	+
BAW 3	-	BAM 19	+
BAW 4	-	BAM 20	-
BAW 5	+	BAM 21	+
BAW 6	+	BAM 22	+
BAW 7	-	BAM 23	-
BAW 8	+	BAM 24	+
BAW 9	+	BAM 25	-
BAW 10	+	BAM 26	+
BAW 11	+	BAM 27	+
BAW 12	+	BAM 28	+
BAW 13	+	BAM 29	-

BAW 14	-	BAM 30	+
BAW 15	+	BAM 31	-
BAW 16	+	BAM 32	+

Keterangan : “+” Isolat mampu menghambat cendawan *Fusarium* sp. (terbentuk zona bening)., “-“ Isolat tidak mampu menghambat cendawan *Fusarium* sp. (tidak terbentuk zona bening).

Persentase Uji Daya Hambat Dan Uji Karakterisasi Bakteri

Bakteri hasil uji daya hambat pada tahap pertama kemudian dilakukan uji tahap kedua yaitu menghitung persentase

hambatnya. Berdasarkan hasil uji tersebut, kemudian dilakukan uji karakterisasi sehingga diperoleh isolat yang memiliki karakter uji bakteri dengan kemampuan penghambatan yang beragam. (Tabel 2).

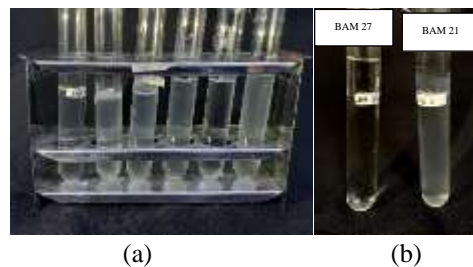
Tabel 3. Hasil uji daya hambat *Bacillus* spp. terhadap *Fusarium* sp. dan uji karakterisasi bakteri

No.	Kode Isolat	Persentase Daya Hambat (%)	Indeks Kelarutan Kitin	Fiksasi Nitrogen	Indeks Kelarutan Fosfat	Indeks Kelarutan Kalium
1.	BAW 7	23,00	0,00	-	1,00	0,00
2.	BAW 8	20,00	0,00	+	1,16	1,77
3.	BAW 9	16,00	0,00	+	1,19	1,16
4.	BAW 10	20,00	1,80	-	2,20	0,00
5.	BAW 11	26,00	1,20	-	1,19	0,00
6.	BAW 13	33,00	0,00	+	2,20	2,20
7.	BAW 15	26,00	2,50	-	1,00	0,77
8.	BAW 16	26,00	0,00	-	1,00	0,00
9.	BAM 18	43,00	1,00	+	1,77	1,30
10.	BAM 21	40,00	1,00	+	2,30	2,20
11.	BAM 27	40,00	0,00	-	1,99	1,20

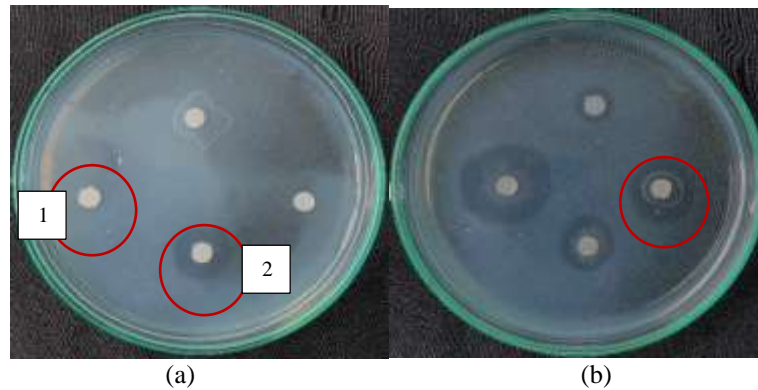
Keterangan : “+” isolat mampu fiksasi N., “-“ isolat tidak mampu fiksasi N

Hasil uji karakterisasi *Bacillus* spp. memiliki berbagai karakter seperti penghasil enzim kitinase, penambat nitrogen, pelarut fosfat, dan pelarut kalium sehingga mampu menekan dan menghambat pertumbuhan *Fusarium* sp. Isolat bakteri rizosfer mampu

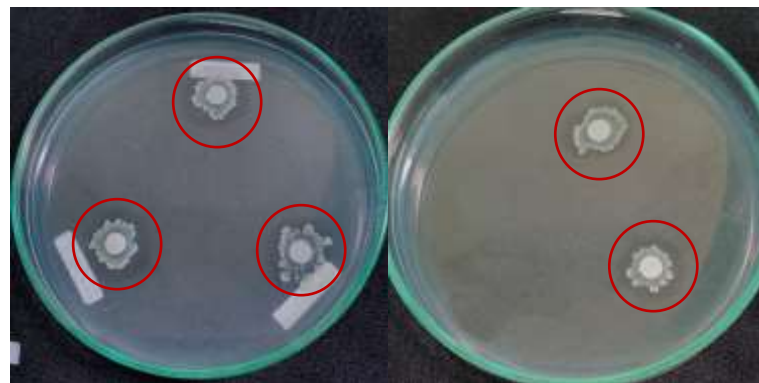
menekan pertumbuhan cendawan dengan penekanan tertinggi sebesar 16,00% sampai 43,00%. Bakteri dengan penghambatan 16,00% yaitu isolat dengan kode BAW 9 dan penghambatan 43,00% yaitu isolat dengan kode BAM 18.



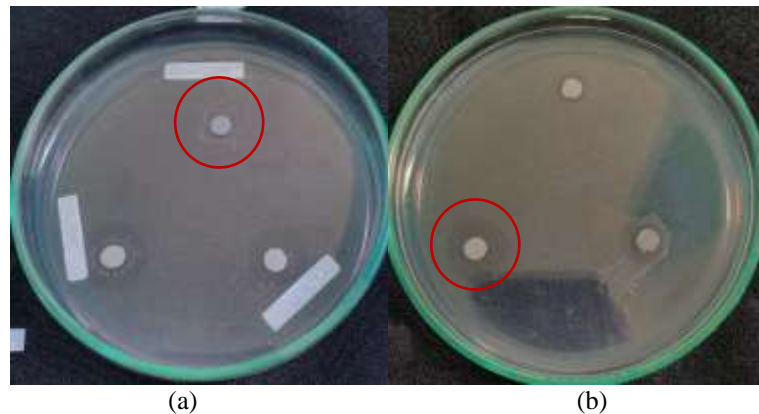
Gambar 7. Hasil Uji Penambat Nitrogen umur 48 jam; (a) Hasil uji pada isolat BAW 8, BAW 9, BAW 13, BAM 18, BAM 27, dan BAM 21. (b) hasil uji BAM 27 (warna media tidak berubah) dan BAM 21 (warna media menjadi keruh).



Gambar 8. Hasil Uji Kitinolitik; (a) 1; Tidak terdapat zona bening pada isolat bakteri rizosfer, 2; Zona bening pada isolat kontrol dan (b) Zona bening dari isolat bakteri rizosfer.



Gambar 9. Hasil Uji Pelarut Fosfat terdapat zona bening pada isolat bakteri rizosfer.



Gambar 10. Hasil Uji Pelarut Kalium; (a) Tidak terdapat zona bening pada isolat bakteri rizosfer, (b) terdapat zona bening pada isolat bakteri rizosfer

Pembahasan

Hasil isolasi bakteri yang diperoleh dari rizosfer tanaman akasia dilakukan untuk melihat keanekaragaman bakteri pada rizosfer tersebut, diperoleh hasil yang beragam. Beberapa penelitian juga menunjukkan hasil isolasi di antaranya ialah Rini *et al.* (2020) berhasil mengisolasi bakteri IAA dari rizosfer tanaman akasia sebanyak 10 isolat dan

terdapat 7 isolat yang mampu menghasilkan IAA. Khaeruni *et al.* (2010) berhasil mengisolasi 25 isolat bakteri rizosfer ultisol dan diperoleh 12 isolat unggul. Penelitian oleh Dewi *et al.* (2022) menunjukkan bahwa isolat yang diperoleh memiliki kemampuan melawan patogen *Fusarium* sp. secara *in vitro* dengan zona penghambatan yang signifikan.

Cendawan *Fusarium* sp. dari batang tanaman akasia yang bergejala penyakit layu

fusarium berhasil diisolasi. *Fusarium* sp. yang diisolasi pada medium agar memiliki ciri yaitu warna miselium pada awal perkembangan berwarna putih kemudian untuk pertumbuhan lanjut berwarna keunguan. Menurut Maulida dan Wibowo (2015) fusarium dapat berwarna putih kekuningan atau putih keunguan pada media agar. Misalnya, pada isolat *Fusarium oxysporum* dan *Fusarium solani*, warna miselium sering kali tampak putih keunguan, terutama bagian tengah koloni.

Hasil uji reaksi hipersensitif menunjukkan bahwa 21 dari total 32 bakteri merupakan patogen (Lampiran 2), hal ini ditunjukkan oleh gejala nekrosis yang dapat terlihat pada daun hasil uji hipersensitif, dengan munculnya bercak kekuningan yang kemudian berubah menjadi kering dan berwarna kecoklatan. Menurut Widarti *et al.* (2020) respons hipersensitif digunakan sebagai parameter untuk mendeteksi kemampuan bakteri menyebabkan nekrosis daun, yang sering kali merupakan indikator kehadiran patogen tanaman. Gejala nekrosis pada area daun yang diinokulasikan bakteri menunjukkan adanya respon ketahanan tembakau terhadap adanya bakteri patogen. Daun tembakau mematikan jaringan tanaman di sekitar area yang diinokulasikan bakteri. Tembakau dipilih untuk uji hipersensitif karena tembakau mampu mengalokasikan serangan bakteri patogen yang menginfeksi Umesha *et al.* (2008).

Hasil uji daya hambat *Bacillus* spp. terhadap cendawan *Fusarium* sp. secara *in vitro* yaitu terdapat 21 isolat yang mampu menghambat pertumbuhan dan perkembangan cendawan *Fusarium* sp. ditandai dengan terbentuknya zona bening diantara bakteri *Bacillus* spp. dan cendawan *Fusarium* sp.. Zona bening tersebut menunjukkan kemampuan *Bacillus* spp. menghasilkan senyawa metabolit sekunder seperti antibiotik, siderofor, atau enzim hidrolitik yang mampu menghambat aktivitas cendawan patogen (Prihatiningsih, E. 2013).

Menurut Flori *et al.* (2020) *Bacillus* spp. menghasilkan senyawa antibiotik seperti iturin, surfaktin, fengisin, dan bacillomycin. Antibiotik ini mampu merusak membran sel patogen dengan mekanisme pengikatan lipid, sehingga menghambat pertumbuhan atau menyebabkan lisis sel patogen. *Bacillus* spp. juga menghasilkan enzim seperti kitinase, protease, atau β -glukanase yang dapat memecah dinding sel cendawan patogen, menghambat pertumbuhannya, dan menyebabkan zona bening. *Bacillus* spp.

bersaing secara efektif untuk ruang dan nutrisi, menciptakan lingkungan yang tidak mendukung bagi pertumbuhan patogen seperti *Fusarium* sp. Zona bening menunjukkan bahwa *Bacillus* spp. telah mendominasi area tersebut. *Bacillus* spp. menghasilkan siderofor, yaitu molekul pengikat besi, yang mengurangi ketersediaan besi bagi *Fusarium* sp., sehingga menghambat metabolismenya.

Bakteri yang terdapat pada rizosfer tanaman memiliki keragaman karakterisasi yang tinggi, hal ini berkaitan erat dengan hubungan simbiotik antara mikroorganisme dan tanaman. Menurut Zhou *et al.* (2017) rizhosfer adalah lapisan tanah yang terpengaruh oleh aktivitas akar tanaman, yang menyediakan berbagai senyawa organik (seperti asam amino, karbohidrat, asam organik, dan senyawa lainnya) yang dihasilkan oleh tanaman. Senyawa-senyawa ini berfungsi sebagai sumber energi bagi mikroorganisme di rizosfer, yang pada gilirannya berinteraksi dengan tanaman dalam berbagai cara, seperti meningkatkan penyerapan nutrisi atau melindungi tanaman dari patogen. Pada tabel 2 terlihat keberagaman hasil uji antagonis dan karakterisasi (kitinolitik, penambat nitrogen, pelarut fosfat, dan pelarut kalium).

Beberapa isolat *Bacillus* spp. yang diuji menunjukkan potensi dalam menekan pertumbuhan patogen, salah satunya melalui mekanisme antibiosis atau lisis. Hasil uji kitinolitik, penambatan nitrogen, pelarutan fosfat, dan pelarut kalium mengindikasikan bahwa penurunan jumlah patogen terjadi karena mekanisme antibiosis yang dihasilkan oleh metabolit sekunder. Salah satu metabolit sekunder yang berperan penting dalam penghambatan patogen terutama cendawan adalah enzim kitinase, yang berfungsi sebagai antibiotik alami yang efektif dalam mengatasi infeksi cendawan patogen. Pada uji kitinase terjadi mekanisme lisis oleh isolat BAW-10, BAW-11, BAW-15, BAM-18, dan BAM-21. Mekanisme lisis dapat dibuktikan melalui kemampuan agens hayati dalam mendegradasi komponen kitin yang terdapat pada medium agar koloidal kitin. Bukti dari hal ini adalah terbentuknya zona bening di sekitar agens hayati, yang menunjukkan adanya aktivitas degradasi kitin akibat mekanisme lisis yang berlangsung.

Menurut Hardoko *et al.* (2020). Indeks Kitinolitik (IK) merupakan parameter yang digunakan untuk menilai aktivitas enzim kitinase yang diproduksi oleh bakteri, yang berfungsi untuk memecah kitin. Semakin tinggi nilai IK, semakin besar kemampuan

bakteri dalam mendegradasi kitin, yang mencerminkan efisiensi mekanisme degradasi senyawa tersebut oleh bakteri. Dengan kata lain, nilai IK menjadi indikator penting dalam mengevaluasi potensi bakteri untuk digunakan dalam aplikasi seperti pengendalian patogen atau pengelolaan limbah organik yang mengandung kitin.

Berdasarkan uji kitinolitik yang dilakukan pada masing-masing isolat memiliki persentase daya hambat 23,00%, 20,00%, 16,00%, 20,00%, 26,00%, 33,00%, 26,00%, 26,00%, 40,00%, 43,00%, 40,00% namun ada yang tidak memiliki indeks kitinolitik. Menurut Harni & Amaria. (2012) meski bakteri *Bacillus spp.* dapat menghasilkan kitinase, faktor-faktor seperti rendahnya aktivitas enzim, ketidakjelasan zona degradasi, mekanisme antagonis lainnya, dan kondisi lingkungan yang tidak mendukung dapat menyebabkan tidak terbentuknya nilai Indeks Kitinolitik (IK) yang dapat dihitung.

Berdasarkan uji fiksasi nitrogen yang dilakukan pada isolat BAW 7, BAW 8, BAW 9, BAW 10, BAW 11, BAW 13, BAW 15, BAW 16, BAM 18, BAM 21, BAM 27 maka diperoleh hasil bahwa 5 isolat bakteri memiliki kemampuan menambat nitrogen bebas. Perubahan ini dapat diamati pada isolat uji yang menyebabkan warna media menjadi keruh dan terbentuknya pelikel di permukaan media. Terbentuknya pelikel putih yang tumbuh di permukaan media menunjukkan keberhasilan isolat dalam menambat nitrogen bebas dari udara. Pelikel ini biasanya terbentuk oleh Bakteri *Bacillus* melakukan fiksasi nitrogen dengan cara menggunakan enzim yang disebut nitrogenase, yang berfungsi mengubah nitrogen atmosferik (N_2) menjadi senyawa amonia (NH_3) yang dapat digunakan oleh bakteri tersebut ataupun tanaman. Proses ini umumnya terjadi dalam kondisi anaerobik atau rendah oksigen, karena enzim nitrogenase sangat sensitif terhadap oksigen (Rathore & Prasanna, 2020).

Uji pelarut fosfat yang dilakukan pada 11 isolat *Bacillus spp.* yang ditumbuhkan pada media pikosvkaya diperoleh sebanyak semua isolat uji mampu melarutkan fosfat. Hal ini dapat terlihat dengan terbentuknya zona bening disekitar koloni bakteri. Proses ini terjadi karena bakteri menghasilkan asam organik, seperti asam sitrat atau asam fosfat, yang mampu melarutkan senyawa fosfat yang tidak dapat diserap oleh tanaman dalam bentuk terikat, menjadikannya tersedia untuk tanaman. Kemampuan ini sangat penting dalam meningkatkan ketersediaan fosfat yang

sering kali terbatas di tanah, dan dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kesuburan tanah serta mendukung pertumbuhan tanaman (Khan *et al.*, 2019).

Uji pelarut kalium yang dilakukan pada 11 isolat *Bacillus spp.* yang ditumbuhkan pada media alexandrov diperoleh sebanyak 7 isolat uji mampu melarutkan kalium dengan membentuk zona bening. Menurut Khan *et al.* (2019) zona bening pada media ini bisa terbentuk karena aktivitas bakteri yang menghasilkan asam organik, yang dapat menurunkan pH dan melarutkan senyawa kalium yang terikat. Meskipun *Bacillus* dapat melarutkan fosfat, pelarutan kalium bergantung pada spesies dan kondisi tertentu seperti tidak adanya kemampuan produksi asam organik yang cukup, jenis spesies *Bacillus* yang tidak memiliki potensi pelarutan kalium, kondisi lingkungan yang tidak mendukung, atau jenis senyawa kalium dalam media yang tidak mudah dilarutkan (Chauhan *et al.*, 2017).

Berdasarkan data pada Tabel 2, beberapa bakteri yang diuji menunjukkan kemampuan yang memungkinkan bakteri tersebut bersaing dalam memperoleh nutrisi, memberikan manfaat bagi pertumbuhan tanaman, serta menunjukkan potensi ketahanan terhadap cendawan patogen. Dari 11 isolat yang diuji, lima isolat mampu menambat nitrogen, sebelas isolat dapat melarutkan fosfat, lima isolat yang menghasilkan enzim kitinase, dan tujuh isolat mampu melarutkan kalium, namun tidak semua isolat yang menghasilkan enzim kitinase dan mampu melarutkan kalium, sebagaimana ditunjukkan oleh tidak adanya zona bening pada uji aktivitas kitinolitik dan pelarut kalium.

Isolat BAM-18 menunjukkan persentase daya hambat tertinggi, yaitu sebesar 43,00%, meskipun tidak memiliki indeks kitinolitik. Isolat ini memiliki indeks kitinolitik, mampu memfiksasi nitrogen, menunjukkan indeks kelarutan fosfat. Isolat bakteri *Bacillus spp.* yang memiliki indeks kitinolitik, mampu memfiksasi nitrogen, serta memiliki indeks kelarutan fosfat dan kalium, menunjukkan kemampuan multifungsi yang penting dalam mendukung sistem pertanian berkelanjutan. Kemampuan ini mencakup aktivitas kitinolitik yang berperan dalam dekomposisi kitin dan pengendalian jamur patogen (Ramachandran *et al.*, 2020), fiksasi nitrogen atmosfer menjadi bentuk yang tersedia bagi tanaman (Zhao *et al.*, 2019), pelarutan fosfat untuk meningkatkan

ketersediaan unsur hara bagi pertumbuhan tanaman, serta pelarutan kalium yang berkontribusi pada metabolisme tanaman dan peningkatan ketahanan terhadap stres lingkungan (Sugumaran & Janarthanam, 2007).

Mikroba antagonis dari rizosfer berfungsi sebagai agen pengendali hayati dengan menekan patogen melalui berbagai mekanisme, termasuk hiperparasitisme, kompetisi ruang dan nutrisi, antibiosis, serta lisis sel patogen. Kombinasi mekanisme ini memungkinkan mikroba menekan pertumbuhan patogen secara efektif, mendukung kesehatan tanaman, dan berkontribusi pada pengelolaan penyakit yang ramah lingkungan (Jürgen *et al.*, 2019).

Bacillus berperan sebagai pemacu pertumbuhan tanaman dengan berbagai mekanisme, seperti produksi hormon tanaman, peningkatan ketersediaan nutrisi, pengendalian penyakit, peningkatan ketahanan terhadap stres lingkungan, serta pengikatan senyawa beracun. Melalui peranannya sebagai Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR), Bacillus mendukung pertumbuhan tanaman secara alami dan ramah lingkungan. Beberapa jenis Bacillus juga dapat mengikat nitrogen dari udara dan mengubahnya menjadi bentuk yang bisa diserap tanaman. Nitrogen sangat penting untuk pertumbuhan tanaman karena berperan dalam sintesis protein. Bacillus juga membantu melarutkan fosfat yang ada di dalam tanah, sehingga tanaman dapat lebih mudah menyerapnya (Glick, B. R. 2012).

KESIMPULAN

1. Penelitian ini berhasil mengisolasi 32 isolat *Bacillus* spp. dari rizosfer pohon akasia, dengan 21 isolat menunjukkan kemampuan menghambat pertumbuhan cendawan *Fusarium* sp. secara *in vitro*.
2. Isolat BAM-18 memiliki daya hambat yaitu 43,00%, berbanding dengan isolat BAW-9 yaitu 16,00%.
3. Beberapa isolat seperti BAM-18 dan BAM-21 menunjukkan beberapa kemampuan, termasuk aktivitas kitinolitik, fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, dan pelarutan kalium.

DAFTAR PUSTAKA

Akhsan N. 1996. Studi Keberadaan Populasi *Fusarium (Fusarium oxysporum f.sp. licopersici)* (Sacc) Snyder &

Hans) di Palaran, Loa Jaran dan Tanah Merah. *Bul. Budidaya Pert.* 2 (1): 11-15.

Amrulloh M, H Addy, W Wahyuni. 2021. Characterization of physiology and biochemistry causes wood treatment bacteria disease on crops (*Syzygium aromaticum* L.). 2(1): 1-7.

Awais M, A Shah, A Hamed, F Hasan. 2007. Isolation, Identification and Optimazation of Bacitracin Produced by *Bacillus* sp. 39(4):1303-1312.

Barnett. 1960. Illustrated Genera of Imperfect Fungi. Morgantown, West Virginia, USA.

Borges R, C Rossato, D Santosa, M Ferreira. 2018. First Report of a Leaf Spot Caused by *Paramyothecium roridum* on *Tectonagrandis* in Brazil. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Buharman, D Djam'an, N Widyani, dan S Sudradjat. 2011. Atlas Benih Tanaman Hutan Indonesia Jilid II. Buku. Departemen Kehutanan - Balai Penelitian Teknologi Perbenihan Tanaman Hutan, Bogor.

Butarbutar R, H Marwan, dan S Mulyati. 2018. Eksplorasi *Bacillus* spp. Dari Rizosfer Tanaman Karet (*Hevea Brasilliensis*) Dan Potensinya Sebagai Agens Hayati Jamur Akar Putih (*Rigidoporus* sp.). Vol. 1 No. 2. e-ISSN 2621-2854.

Cawoy H, Bettiol W, Fickers P dan Ongena M. (2011) *Bacillus*-based biological control of plant diseases. In: Stoycheve M. (ed.). Pesticides in the modern world, pesticides use and management. pp.273-302. Intech Europe, Croatia.

Chalim A. 2010. Pengaruh Aplikasi Rhizobium dan Cendawan Mikoriza Arbuskula (Cma) Terhadap Pertumbuhan Semai *Acasia Crassicarpa*. Cunn. Ex Benth. Pada Medium Tanah Terdegradasi.

Chauhan, P., Yadav, K., & Sharma, A. (2017). Potassium solubilizing bacteria: Mechanisms and applications. *Environmental Science and*

- Pollution Research, 24(7), 1-12.
- Dewi, N. P. S., Widnyana, I. K., & Sucipta, N. W. (2022). Pengaruh isolasi mikroba rizosfer dalam menghasilkan hormon IAA dan pengendalian *Fusarium* sp. 5(3), 608-615.
- Eliza, A Munif, I Djatnika dan Widodo. 2007. Karakter fisiologis dan peranan antibiosis bakteri perakaran Graminae terhadap *Fusarium* dan pemicu pertumbuhan tanaman pisang. *J. Hort* 17(2):150-160.
- Flori, T., Charfeddine, M., Smaoui, S., Hamdi, M., & Rejili, M. (2020). Characterization of antimicrobial properties and secondary metabolites produced by *Bacillus* spp. *Journal of Applied Microbiology*, 128(3), 724-735. <https://doi.org/10.1111/jam.14789>
- Gagelidze, Amiranashvili, Sadunishvili, Kvesitadze, Urushadze, Kvrivishvili. 2018. Bacterial composition of different types of soils of Georgia. 16 (1) 17–21. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2017.08.006>.
- Haedar N, Natsir H, Fahrudin, dan Aryanti W. 2017. Produksi dan Karakterisasi Enzim Kitinase dari Bakteri Kitinolitik Asal Kerang *Anadara Granosa*. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan* 8 (15) (2017) 14 – 21.
- Hardoko, T., Setyawan, D., & Yuliana, M. (2020). Isolation, identification, and chitinolytic index of bacteria from rotten tiger shrimp (*Penaeus monodon*) shells. *AACL Bioflux*, 13(2), 360-371.
- Harni, E., & Amaria, N. (2012). Indeks kitinolitik dan faktor yang mempengaruhinya pada bakteri *Bacillus* spp. [Chitinolytic index and factors affecting it in *Bacillus* spp. bacteria]. *Jurnal Mikrobiologi Indonesia*, 13(1), 55-62.
- Hidayah N dan T Yulianti. 2015. Uji Antagonisme *Bacillus cereus* terhadap *Rhizoctonia solani* dan *Sclerotium rolfsii*. *Buletin Tanaman Tembakau* 7(1):1-8.
- Indrayadi H dan Mardai. 2007. Pedoman Pengenalan Hama dan Penyakit Acacia dan Eucalyptus di Plantation. Divisi Penelitian dan Pengembangan Kehutanan (R&D) Sinarmas Forestry Riau.
- Joshi R. 2018. A Review of *Fusariumoxysporum* on its Plant Interaction and Industrial Use. 6(3): 112-115.
- Jürgen, B., Ghorbanpour, M., Sadeghi, A., & Lahlali, R. (2019). Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: Relevance beyond efficacy. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1429. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01429>
- Khaeruni A, G A K Sutariati dan S Wahyuni. 2010. Karakterisasi dan uji aktivitas bakteri rizosfer lahan ultisol sebagai pemicu pertumbuhan tanaman dan agensia hayati cendawan patogen tular tanah secara in vitro. 10(2):124-130.
- Khairani, F Aini, H Riany. 2019. Karakterisasi dan identifikasi bakteri rizosfer tanaman sawit Jambi. 12(2):199-206.
- Khan, M. S., Zaidi, A., & Wani, P. A. (2019). Phosphate-solubilizing microorganisms: Mechanisms and their role in plant growth promotion. *Microbial Biotechnology*, 12(1), 53-63. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13499>
- Koyyappurath S, T Atuahiva, R Le Guen. 2016. *Fusariumoxysporum* sp. *radicis-vanillaeis* the causalagent of root and stem rot of vanilla. *Universite Paris- Sud, Orsay, France*.
- Kurniati E, D Zul, dan B Djahyono. 2020. Isolasi dan Identifikasi Cendawan Terbawa Benih *Acacia crassicarpa* A. Cunn. Ex Benth. 2(1): 19-30.
- Larasati E D, M G I Rukmi, E Kusdiyantini dan R C B Ginting. 2018. Isolasi dan identifikasi bakteri pelarut fosfat dari tanah gambut. *Bioma* 20(1):1-8.
- Luo dan Yu. 2020. *Trichoderma koningiopsis* controls *Fusariumoxysporum* causing damping-off in *Pinus massoniana* seedlings by regulating active oxygen metabolism, osmotic potential, and the rhizosphere microbiome. *Guizhou University*,

- China.
- Manan A, Endang M, Loekas S. 2018. Kemampuan Campuran *Bacillus* sp., *Pseudomonas fluorescens*, dan *Trichoderma* sp. untuk Mengendalikan Penyakit Layu Bakteri pada Tanaman Tomat. Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto.
- Marista E, S Khotimat dan R Linda. 2013. Bakteri Pelarut Fosfat Hasil Isolasi dari Tiga Jenis Tanah Rizosfer Tanaman Pisang Nipah (*Musa paradisiniaca* var. nipah) di Kota Singkawang. 2 (2): 93-101.
- Marwan H, Oktiana P, Asniwita. 2018. Potensi *Bacillus* spp. Dari Rizosfer Tanaman Kedelai Untuk Mengendalikan Penyakit Rebah Kecambah (*Sclerotium*
- Maulida, R., & Wibowo, T. (2015). Karakteristik *Fusarium* pada media agar dan implikasinya terhadap pertanian. 11(2), 45-52.
- Mutmainnah L, TC Setiawati, A Mudjiharjati. 2015. Inventarisasi dan Uji Pelarutan Kalium oleh Mikroba Pelarut Kalium dari Rhizosfer Tanaman Tebu (*Saccharum* sp.). Berkala Ilmiah Pertanian 1(1): xx-xx
- Narayasamy P. 2013. Biological Management of Diseases of Crops. Springer, London.
- Nugraheni E. 2010. Karakterisasi Biologi Isolat-Isolat *Fusarium* Sp. Pada Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annuum* L.) Asal Boyolali. *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Nugroho B. 2013. Efektivitas *fusariumoxysporum* f.sp. cepae Avirulen Dalam Mengendalikan Penyakit Layu Fusarium Pada Cabai. 4 (7) : 65- 75.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 1990 Tentang Hak Pengusahaan Hutan Tanaman Industri. Departemen Keuangan Republik Indonesia. Diunduh dari <https://jdih.kemenkeu.go.id/fulltext/1990/7TAHUN~1990PPHAL2.htm> (Di akses 22 Januari 2023)
- Prihatiningsih, E. (2013). Potensi *Bacillus subtilis* sebagai agen pengendali hayati dan pemacu pertumbuhan tanaman. 21(1), 56-62.
- Purwani H. 2012. Viabilitas Benih dan Pertumbuhan Awal Bibit Akasia Krasikarpa (*Acacia crassikarpa* A.Cunn. Ex benth) dari Lima Sumber Benih Indonesia. *Skripsi*. Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Purwanti dan Rosa N. 2009. Biaya Pengusahaan Hutan Tanaman Industri di PT Riau Andalan Pulp and Paper Sektor Tes. *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Putra C dan Giyanto. 2014. Kompatibilitas *Bacillus* spp. dan Aktinomiset Sebagai Agens Hayati *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* dan Pemacu Pertumbuhan Padi. 10(5): pg 160-169.
- Raaijmaker J M, Paulitz T C & Steinberg C. 2008. The rhizosphere: a playground and battlefield for soilborn pathogens and benefecial microorganism. *Plant Soil* 10: 1007–1014.
- Ramachandran, K., Narayana, P., & Kumar, R. (2020). *Bacillus* spp. as Bioagents: Uses and Application for Sustainable Agriculture. *Microorganisms*, 8(9), 1342. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091342>
- Rathore, A., & Prasanna, R. (2020). Biological nitrogen fixation in legumes and other plants: Mechanisms and applications. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1234. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01234>
- Rimbawanto A, B Tjahjono, A Gafur. (2014). Panduan Hama dan Penyakit Akasia & Ekaliptus. Yogyakarta: Balai Besar Penelitian Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan.
- Rini, S., Rahmawati, D., & Setyawan, H. (2020). Isolasi dan identifikasi bakteri rizosfer *Acacia mangium* sebagai penghasil hormon IAA dan pelarut fosfat. *Agro Bali*: 3(2), 210-219.
- Sabdaningsih A, A Budiharjo, dan E Kudiyantini. 2013. Isolasi Dan Karakterisasi Morfologi Koloni Bakteri Asosiasi Alga Merah (Rhodophyta) dari Perairan Kutuh Bali. 2 (2) : 11-17.
- Sadhu S, P Saha, S K Sen, S Mayilraj, dan T Miti. 2013. Production, Purificaton

- and Characterization of Novel Thermotolerant Endoglucanase (CMCase) from *Bacillus* Strain Isolated from Cow Dung. 2 (1): 2-10.
- Safitri RN, Shovitri M dan Hidayat A. 2018. Potensi Bakteri Koleksi sebagai Biofertilizer. 2337-3520 (2301-928X Print)
- Saida, Puspitasari, dan Aminah. 2022. Uji Aktivitas Bakteri Penambat Nitrogen dan Penghasil IAA dari Rizosfer Tanaman Kedelai (*Glycine Max L.*). Vol. 6 No. 1 Maret 2022
- Seema M & Devaki NS. 2012. In Vitro Evaluation of Biological Control Agent Against *Rhizoctonia solani*. (8):233- 240.
- Semangun H. 2000. Pengantar Ilmu Penyakit Tumbuhan. Gadjah Mada University, Yogyakarta
- Setia, I. N dan Suharjo. 2015. Diversitas dan Uji Potensi Bakteri Kitinolitik dari Limbah92 Udang. 3(2): 95-98.
- Soenartiningih, M S Pabbage, N Djaenuddin. 2011. Penggunaan inokulum antagonis (*Trichoderma* dan *Gliocladium*) dalam menekan penyakit busuk pelepah pada jagung. Prosiding Seminar Nasional Serealia 2011: 478–484.
- Stein T. 2005. *Bacillus subtilis* Antibiotics: structures, syntheses and specific function. *Molecular Microbiology*, 56 (4): 845-857.
- Sugumaran, P., & Janarthanam, B. (2007). Solubilization of potassium-containing minerals by bacteria and their effect on plant growth. 3(3), 350-355
- Suhartati, Rahmayanto, Y Daeng. 2014. Dampak Penurunan Daur Tanaman HTI *Acacia* Terhadap Kelestarian Produksi, Ekologis dan Sosial. *Info Teknis Eboni*. 11 (2), 103-116.
- Sumartini. 2012. Penyakit Tular Tanah (*Sclerotium rolfsii* dan *Rhizoctonia solani*) Pada Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian serta Cara pengendaliannya. 3(1) : 27-34.
- Suryani Y, O Taupiqurrahman, dan Y Kulsum. 2020. Mikologi. PT. Freeline Cipta Granesia. Padang, Sumatra Barat.
- Suwandi A S, Kondo N (2012) Common spear rot of oil palm in Indonesia. *Plant Dis* 96(4):537–543
- Syofiana R F T dan R Masnilah. 2019. Eksplorasi *Bacillus spp.* pada beberapa rizosfer gulma dan potensinya sebagai agens pengendali hayati patogen tanaman secara in vitro. 2(1):349-363.
- Umesha, S., et al. (2008). A novel indicator plant to test the hypersensitivity of phytopathogenic bacteria 72(1), 95-97. DOI: 10.1016/j.mimet.2007.11.002.
- Valentina F, Yuliani, dan Lisdiana L. 2018. Potensi Konsorsium Dua Isolat Bakteri Endofit dari Akar Tanaman Ubi Jalar Var. Papua patippi dalam
- Wardhika C, M Suryanti, T Joko. 2014. Eksplorasi Bakteri yang Berpotensi sebagai Agens Pengendali Hayati *Fusarium solani* dan *Meloidogyne incognita* pada Lada. 18 (2) : 89-94.
- Widarti, B.N., Wardhini, W.K., Sarwono, E. 2015. Pengaruh rasio C/N bahan baku pada pembuatan kompos dari kubis dan kulit pisang. 5(2): 75-80.
- Widyastuti S & Susanti Z. 2014. Pengaruh Musim terhadap Perkembangan *Ateleocauda digitata*, Penyebab Penyakit Karat Pada *Acacia auriculiformis* di Yogyakarta. *Hpt*, 14(1), 8–15.
- Zhou, J., Xie, J., Li, X., Yang, J., Wei, W., & Zhang, Z. (2017). Rhizosphere microbiome and plant health. 8, 701. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00701>
- Zongzheng Y, L Xin, L Zhong, P Jinzhao, Q Jin, dan Y Wenyan. 2009. Effect of *Bacillus subtilis* SYS on antifungal activity and plant growth. 2(4): 55– 61.
- Zulaika E dan Ulfiyati N. 2015. Isolat *Bacillus* Pelarut Fosfat dari Kalimas Surabaya. 2337-3520.