

## Uji Kemampuan *Bacillus* spp. dalam Menghambat *Ganoderma boninense* Pat. Penyebab Penyakit Busuk Pangkal Batang Kelapa Sawit Secara *in Vitro*

### *Ability Test of Bacillus spp. in Inhibiting Ganoderma boninense Pat. the Causal Agent of Oil Palm Basal Stem Rot Disease in Vitro*

Yetti Elfina<sup>1♥</sup>, Sukendi<sup>2</sup>, Efriyeldi<sup>2</sup>, Agus Sutikno<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doctoral Program in Environmental Science, Postgraduate Program, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

<sup>2</sup>Environmental Science Study Program, Postgraduate, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

♥Corresponding author email: yetti.elfina@lecturer.unri.ac.id

**Article history:** submitted: March 21, 2024; accepted: July 20, 2024; available online: July 31, 2024

**Abstract.** Basal stem rot (BSR) is a disease that causes a decline in oil palm productivity. BSR caused by *Ganoderma boninense* Pat. An alternative environmental control that can be done is biological control. *Bacillus* spp. is one alternative way of biological control. This study aims to test the inhibitory ability of *Bacillus* spp. and get the species of *Bacillus* spp. that can inhibit *G. boninense* and determine the ability of *Bacillus* spp. in affecting the morphology of *G. boninense* causing BSR of oil palm *in vitro*. The research was conducted experimentally and consisted of 7 treatments and 4 replicates. The treatment was to test the ability of *Bacillus* spp. in inhibiting *G. boninense* The treatments were: without *Bacillus* spp., *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus cereus*, *Bacillus pseudomycooides*, *Bacillus velezensis* 1, *Bacillus velezensis* 2, *Bacillus velezensis* 3. The obtained data were analyzed statistically with variance analysis using SPSS version 25. The results were followed by duncan's new multiple range test (DMRT) at the 5% level. The results showed that *Bacillus* spp. namely *B. amyloliquefaciens*, *B. cereus*, *B. pseudomycooides*, *B. velezensis* 1, *B. velezensis* 2 and *B. velezensis* 3 were able to inhibit *G. boninense* but 3 *Bacillus* spp. namely *B. cereus*, *B. pseudomycooides* and *B. amyloliquefaciens* were not able to produce inhibition zone. *B. velezensis* 2 was better at inhibiting *G. boninense* with 78,05% inhibition, 58,8% inhibition zone, and 92,49% filtrate inhibition. *Bacillus* spp. can affect the macroscopic and microscopic characteristics of *G. boninense*, causing *G. boninense* to be unable to produce conidia and inhibiting the germination of *G. boninense* spores.

**Keywords:** *Bacillus* spp.; basal stem rot; *Ganoderma boninense*; oil palm

**Abstrak.** Penyakit busuk batang akar (BPB) merupakan salah satu penyakit yang menyebabkan menurunnya efisiensi kelapa sawit. BPB disebabkan oleh *Ganoderma boninense* Pat. Alternatif pengendalian penyakit ini yang dapat dilakukan adalah dengan pengendalian hayati menggunakan *Bacillus* spp, karena bersifat ramah lingkungan.. Tujuan penelitian untuk menguji kemampuan *Bacillus* spp. yang dapat menghambat *G. boninense* dan menentukan kap *Bacillus* spp. dalam mempengaruhi morfologi *G. boninense* penyebab BPB pada kelapa sawit secara *in vitro*. Penelitian dilakukan secara eksperimen dan terdiri dari 7 perlakuan dan 4 ulangan. Perlakuan yang digunakan, yaitu: tanpa *Bacillus* spp., *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus cereus*, *Bacillus pseudomycooides*, *Bacillus velezensis* 1, *Bacillus velezensis* 2, *Bacillus velezensis* 3. Data hasil pengamatan dianalisis dengan *Analysis of Varians* (ANOVA dan dilanjutkan dengan uji lanjut *Duncan New Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf 5% menggunakan program SPSS versi 25. Data hasil pengamatan yang diperoleh dilanjutkan dengan uji jarak berganda duncan (DMRT) pada taraf 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Bacillus* spp. yaitu *B. amyloliquefaciens*, *B. cereus*, *B. pseudomycooides*, *B. velezensis* 1, *B. velezensis* 2 dan *B. velezensis* 3 mampu menghambat *G. boninense* namun 3 *Bacillus* spp. yaitu *B. cereus*, *B. pseudomycooides* dan *B. amyloliquefaciens* tidak mampu menghasilkan zona hambat. *B. velezensis* 2 lebih baik dalam menghambat *G. boninense* dengan daya hambat 78,05%, zona hambat 58,8%, daya hambat filtrat 92,49%. *Bacillus* spp. mampu mempengaruhi karakteristik makroskopis dan mikroskopis *G. boninense*, dapat menyebabkan *G. boninense* tidak mampu menghasilkan konidia serta dapat menghambat perkecambahannya spora *G. boninense*.

**Kata kunci:** *Bacillus* spp.; busuk pangkal batang; *G. boninense*; kelapa sawit

## PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan komoditas penting sebagai sumber pendapatan masyarakat dan perdagangan luar negeri, sehingga banyak dikembangkan di Indonesia,

salah satunya di Wilayah Riau dengan luas lahan pada tahun 2021 yaitu 2,71 juta ha dengan produksi mencapai 7,84 juta ton dengan produktivitas 2,89 t.ha<sup>-1</sup>, pada tahun 2022 luas lahan menurun menjadi 1,73 juta ha

serta terjadi penurunan produksi kelapa sawit menjadi 4,09 juta ton dengan produktivitas 2,36 t.ha<sup>-1</sup> (BPS, 2023; BPS, 2024). Penurunan produktivitas kelapa sawit di Riau disebabkan oleh teknik budidaya yang belum optimal, jenis tanah, faktor lingkungan yang kurang menguntungkan serta adanya gangguan penyakit. Evizal, R & Prasmawati, (2022) menyatakan salah satu penyakit yang sering mengganggu perkebunan kelapa sawit adalah penyakit busuk pangkal batang (BPB).

Jamur *Ganoderma* spp. merupakan patogen penyebab penyakit BPB yang menyerang tanaman kelapa sawit. Pohon kelapa sawit yang diincar diserang *G. boninense* memiliki jumlah daun tombak janur/daun muda yang lebih banyak dari perkiraan, pelepah patah dan berada di dekat batang kelapa sawit., terdapat tubuh buah disekitar pangkal batang, serta akar adventif menjadi lapuk (Castillo. *et al.*, 2022). Gangguan penyakit BPB dalam waktu enam bulan, dapat menyebabkan perkebunan kelapa sawit mengalami kerugian ekonomi yang signifikan sebesar 43% (Khoo & Chong, 2023) BPB Penyakit busuk pangkal batang berpotensi memperpendek umur produktif tanaman kelapa sawit selain menimbulkan kerugian ekonomi secara langsung. (Dahang *et al.*, 2021). Berdasarkan ini, perlu tindakan pengendalian agar penyakit ini tidak menyebar dan menimbulkan kerugian yang besar.

Tindakan pengendalian penyakit ini yang telah dilakukan antara lain sanitasi sumber inokulum, pembuatan parit isolasi, pengaturan jarak tanam, serta penggunaan fungisida sintesis. Upaya tersebut dinilai belum efektif dan juga fungisida sintesis berdampak buruk bagi lingkungan penggunaan fungisida sintesis meninggalkan residu pada tanaman, tanah, air dan lingkungan. (Ivayani *et al.*, 2018). Alternatif pengendalian dapat digunakan untuk mengurangi penggunaan fungisida sintetik adalah pengendalian hayati.

Pengendalian hayati dapat menggunakan *Bacillus* spp. Bakteri ini memiliki kemampuan untuk mengkolonisasi akar

tanaman dan menghasilkan antibiotik yang dapat mencegah tumbuhnya patogen, terutama patogen yang ditularkan melalui tanah. (Anjarsari *et al.* 2021). *Bacillus* spp. dikenal sebagai bakteri yang mampu menghasilkan metabolit sekunder antara lain antibiotik. *Bacillus* spp. juga menghasilkan enzim ekstraseluler sebagai bagian dari aktivitas penghambatan lainnya. Dinding sel jamur dapat dipecah oleh enzim ekstraseluler seperti -glukanase, kitinase, dan protease (Flori *et al.*, 2020). *Bacillus* spp. menghasilkan enzim seperti amilase, protease, lipase, selulase, xilanase, pektinase, aminotransferase, barnase, peroksidase dan laccase (Ngalimat *et al.*, 2021). Hasil penelitian Sibagariang (2019) menemukan bahwa jumlah produksi kitinase dan glukanase yang dihasilkan oleh bakteri dapat mempengaruhi hasil daya hambat. Kitinase dan glukanase adalah enzim hidrolitik yang dapat menghidrolisis kitin dan ikatan  $\beta$ -glukan yang mana merupakan komponen penting penyusunan dinding sel jamur. Maka dengan dihasilkan senyawa tersebut akan menekan pertumbuhan dinding sel jamur.

*Bacillus* spp. dapat menghambat pertumbuhan hifa jamur *Rigidoporus microporus* sebesar 80,56% pada tanaman karet (Sungtong, *et al.*, 2021). Strain bakteri *B. amyloliquefaciens* yang diisolasi dari tanaman tomat (Ajilogba *et al.*, 2016). *B. velezensis* mampu menghambat patogen *Colletotrichum coccodes* sebesar 67,8% pada tanaman kentang Cui *et al.* (2019) *B. cereus* dapat menghambat pertumbuhan jamur patogen *Colletotrichum fructicola* sebesar 90,55% pada tanaman cabai rawit (Purba *et al.* (2021). *B. pseudomycoides* dapat menekan *Fusarium oxysporum* sebesar 100% pada tanaman cabai (Yanti *et al.* (2018) Elfina, (2020) menemukan 6 isolat rhizobakteri yaitu *B. amyloliquefaciens*, *B. cereus*, *B. pseudomycoides*, *B. velezensis* 1, *B. velezensis* 2 dan *B. velezensis* 3 yang dapat menghambat pertumbuhan *Fusarium oxysporum f.sp. cepae* menyebabkan layu fusarium pada bawang merah. Isolat *Bacillus* spp. tersebut relatif baru dan perlu diuji

kemampuan daya hambat terhadap patogen lain, misalnya *G. boninense* penyebab penyakit BPB kelapa sawit.

## METODE

### Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan tujuh perlakuan dan empat kali ulangan sehingga diperoleh 28 satuan percobaan, dengan masing-masing satuan percobaan terdiri dari dua cawan petri, sehingga totalnya terdapat 56 cawan petri.

### Prosedur Pelaksanaan

#### Isolasi dan Identifikasi Jamur Penyebab BPB

Pengambilan sampel tubuh buah jamur yang diduga penyebab BPB kelapa sawit yaitu jamur *G. boninense* diperoleh dari kebun kelapa sawit masyarakat di Desa Deli Makmur, Kecamatan Kampa, Kabupaten Kampar. Sampel tanaman yang telah diambil selanjutnya dimasukkan kedalam plastik dan dibawa ke Laboratorium untuk diisolasi. Isolasi jamur penyebab penyakit BPB pada kelapa sawit dilakukan dengan metode penanaman jaringan di media PDA. Jamur yang tumbuh pada media PDA dipindahkan ke dalam cawan petri yang baru. Isolat yang diduga *G. boninense* diperbanyak untuk dilakukan identifikasi secara makroskopis dan mikroskopis. Isolat yang telah diidentifikasi diremajakan untuk mendapatkan isolat yang homogen.

#### Persiapan *Bacillus* spp.

Isolat murni *Bacillus* berupa *B. amyloliquefaciens*, *B. cereus*, *B. pseudomycoides*, *B. velezensis 1*, *B. velezensis 2* dan *B. velezensis 3* diperoleh dari penelitian sebelumnya dan diremajakan kembali untuk kepentingan penelitian.

#### Uji Daya Hambat

Uji daya hambat secara *in vitro* menggunakan metode *dual culture* Munif *et al.* (2012) yang di modifikasi, dilakukan dalam cawan petri berdiameter 9 cm berisi media PDA. *Bacillus* spp. digoreskan pada dua sisi media dengan jarak 1 cm dari tepi. Isolat *Ganoderma* sp. yang berumur 10 hari dengan diameter 0,5 cm diletakkan pada titik tengah media. Pengamatan dilakukan terhadap daya hambat pertumbuhan

miselium *Ganoderma* sp. dimulai dari hari pertama pengamatan hingga koloni *Ganoderma* sp. pada tanpa perlakuan memenuhi cawan petri Uji Zona Hambat *Bacillus* spp. terhadap *G. boninense*

Uji zona hambat secara *in vitro* menggunakan metode *dual culture* (Munif *et al.*, 2012) di modifikasi, dilakukan dalam cawan petri selebar 9 cm yang berisi 15 mL media PDA. *Bacillus* spp. digoreskan pada dua sisi media dengan jarak 1 cm dari tepi. Di tengah-tengah media ditempatkan isolat *G. boninense* berumur 10 hari dengan diameter 0,5 cm. Zona hambat yang dihasilkan oleh *Bacillus* spp. diamati.

#### Uji Daya Hambat Filtrat *Bacillus* spp. terhadap *G. boninense*

Metode pembuatan filtrat *Bacillus* spp. mengikuti metode yang dikemukakan Purba *et al.* (2021) Uji daya hambat filtrat *Bacillus* spp. terhadap *G. boninense* dilakukan dengan mengambil filtrat *Bacillus* spp. sebanyak 40 mL dicampur dengan 60 mL media PDA (pengenceran 40%). Potongan *G. boninense* 0,5 cm diletakkan di tengah-tengah media. Selanjutnya diinkubasi pada temperatur ruang sampai 10 hari setelah inkubasi (HSI) (Purba *et al.*, 2021).

#### Perhitungan Kerapatan Spora *G. boninense* Setelah Aplikasi *Bacillus* spp.

Perhitungan kerapatan spora jamur *G. boninense* dilakukan dengan membuat suspensi jamur *G. boninense* dan *Bacillus* spp. Pembuatan suspensi *G. boninense* dilakukan dengan air suling steril sebanyak 5 mL digunakan untuk melepaskan miselium jamur yang tumbuh pada media PDA. Dengan menyapu permukaan media dengan sikat kecil yang steril, spora yang ada pada permukaan media akan terlepas dan terbawa bersama aquades pada saat proses pencucian.. Proses pencucian dilakukan sebanyak dua kali. Untuk melepaskan dan menyebarkan spora jamur dalam suspensi yang disebut larutan induk, air pencuci dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan dikocok selama lima menit dengan mixer pusaran. Setelah itu, suspensi larutan induk diencerkan dengan

cara mencampurkan 1 mL dengan 9 mililiter air suling ( $10^{-1}$ ) dan dikocok selama lima menit dengan vorteks mixer. Pengenceran dilakukan secara bertahap hingga kepadatan spora *G. boninense* mencapai  $4.10^5$  konidia.ml<sup>-1</sup>. (Rambe, 2019)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Jamur *Ganoderma boninense* Penyebab Penyakit BPB sebelum perlakuan *Bacillus* spp.

Karakteristik *G. boninense* jamur patogen BPB kelapa sawit, mencakup karakteristik makroskopis dan mikroskopis sebelum aplikasi *Bacillus* spp. merujuk (Hamzah *et al.*( 2021) dan (Badalyan *et al.*

(2019) . Hasil pengamatan dapat dilihat pada **Tabel 1.**

Hasil pengamatan karakteristik makroskopis *Ganoderma* sp. yang diperoleh setelah perlakuan *Bacillus* spp. yaitu berwarna putih/putih krem, berbentuk bundar, terdapat konsentris jamur berbentuk cincin, arah penyebaran ke samping, miselium tumbuh bergelombang, bertekstur halus dan tebal. Hal ini sejalan dengan penelitian Hamzah *et al.* (2021) bahwa koloni *G. boninense* berwarna putih kekuningan hingga kecoklatan, bertekstur halus dan terdapat konsentris. Pertumbuhan miselium biasanya lambat; miselium baru dapat mengisi cawan petri berdiameter 9 cm dalam waktu 10 hingga 12 hari.

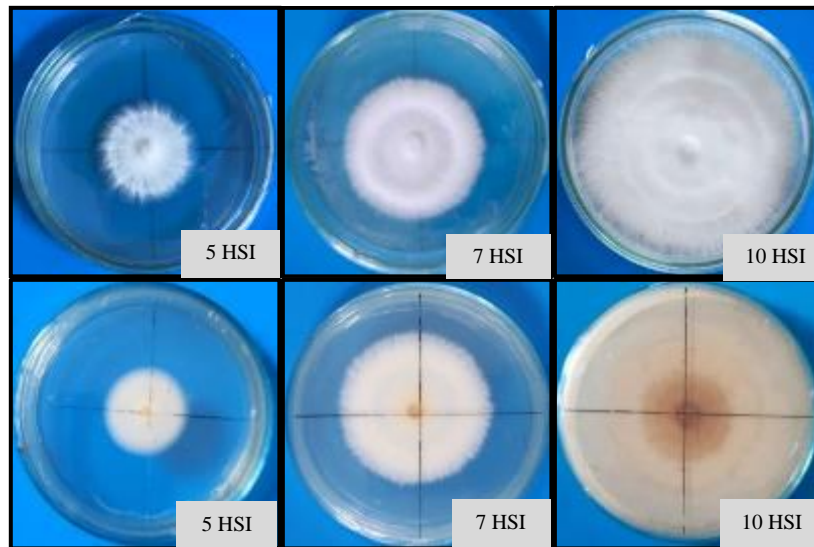
**Tabel 1.** Hasil identifikasi karakteristik (10 HSI) dan (14 HSI) jamur *G. boninense* di media PDA sebelum aplikasi

Karakteristik Morfologi	Hasil Penelitian	Hasil Penelitian Terdahulu
<b>Makroskopis:</b>		Hamzah <i>et al.</i> , 2021
Warna Koloni	Putih/ putih kekuningan	Putih/putih kekuningan hingga kecoklatan
Arah Penyebaran	Tumbuh ke samping	Tumbuh ke samping
Bentuk Miselium	Tumbuh bergelombang, bertekstur halus dan tebal	Bertekstur halus, tebal, sedikit bergelombang dan padat
Konsentris Koloni	Terdapat konsentris koloni berbentuk lingkaran cincin	Terdapat konsentris koloni berbentuk cincin.
<b>Mikroskopis:</b>		Badalyan <i>et al.</i> , 2019
Bentuk kristal	Berbentuk kristal segi enam	Berbentuk kristal
Bentuk Konidia	Oval	-
Bentuk Hifa	Hifa bersekat, memiliki <i>clamp connection</i> , hifa bergelembung, terdapat sel <i>cuticular</i>	Terdapat <i>clamp connection</i> , hifa bergelembung, terdapat sel <i>cuticular</i>
Ukuran basidiospora	7,10 x 3,88 µm	-
Ukuran konidia	2,42 x 1,53 µm	-

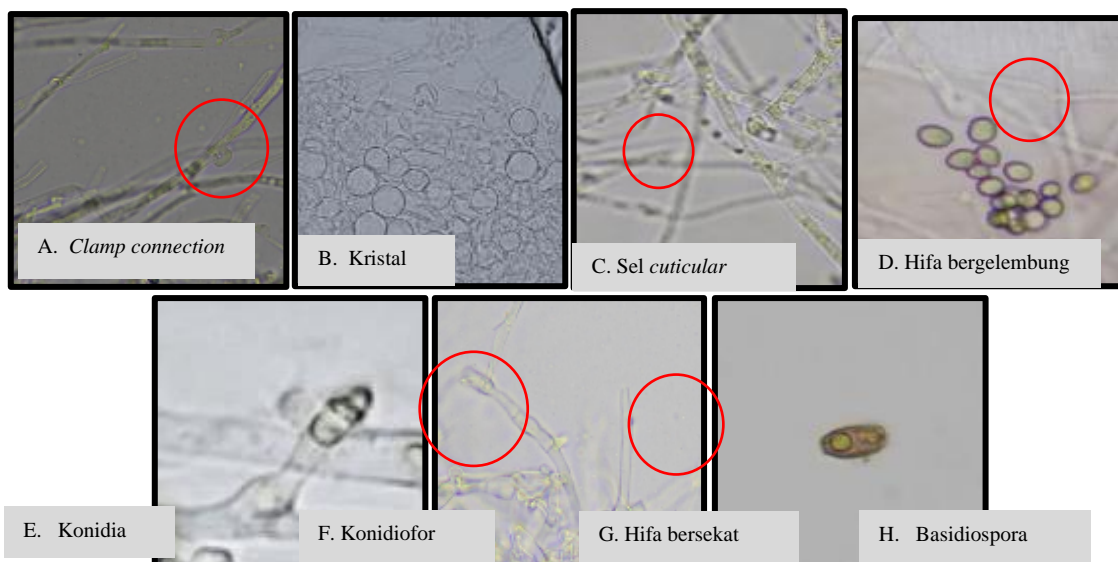
**Gambar 1** memperlihatkan pertumbuhan *G. boninense* tampak atas dan tampak bawah, pertumbuhan tampak atas 5 HSI miselium berwarna putih, 7 HSI mulai terlihat putih kekuningan dan 10 HSI terlihat putih kekuningan semakin jelas, sedangkan tampak bawah menunjukkan hal yang sama pada 5 HSI, 7 HSI dan 10 HSI. Pertumbuhan tampak bawah 10 HIS terlihat putih kecoklatan pada titik pusat cawan petri.

Karakteristik mikroskopis sebelum diberikan perlakuan *Bacillus* spp. (**Gambar 2**) menunjukkan bahwa *Ganoderma* sp.

memiliki hifa bersekat, terdapat *clamp connection*, hifa bergelembung, terdapat sel *cuticular* dan terdapat kristal. Menurut Yu & Chong (2018), *Ganoderma* sp. memiliki *clamp connection* yang merupakan ciri khas untuk jamur dalam phylum Basidiomycota. Furtado (1966) menyatakan bahwa *clamp connection* terbentuk ketika pembelahan sel sudah terjadi dan membentuk sel yang baru, sedangkan Money (2016) menjelaskan bahwa pada hifa yang belum mengalami pembelahan sel dapat membentuk *clamp connection* yang belum sempurna.



**Gambar 1.** Karakteristik makroskopis koloni jamur *G. boninense* sebelum diberikan perlakuan *Bacillus* spp. tampak atas dan tampak bawah.



**Gambar 2.** Karakteristik mikroskopis jamur *G. boninense* perbesaran 10x40 sebelum diberikan perlakuan *Bacillus* spp,

### Daya Hambat dan Zona Hambat *Bacillus* spp. terhadap *G. boninense*

Hasil pengamatan daya hambat *Bacillus* spp. terhadap *G. Boninense* menunjukkan bahwa *B. velezensis* 2, *B. velezensis* 3, *B. velezensis* 1, *B. pseudomycooides*, *B. amyloliquefaciens* dan *B. cereus* dapat menghambat pertumbuhan jamur *G. Boninense*. Hal ini terjadi karena menurut Saputra *et al.* (2015), *Bacillus* spp. menghasilkan metabolit sekunder antara lain antibiotik (Tabel 2 dan Gambar 3).

Hasil penelitian ini yang menunjukkan daya hambat *B. velezensis* 2, *B. velezensis* 3 dan *B. velezensis* 1 memiliki kemampuan sebagai agens pengendali hayati jamur *G. boninense* karena memiliki persentase daya hambat lebih besar dari 50%. Kemampuan daya hambat *Bacillus* spp. dapat dilihat pada Gambar 3. Tiga bakteri tersebut tergolong agens hayati yang potensial untuk mengendalikan patogen karena memiliki kemampuan dalam menghambat patogen lebih dari 50%. Hasil ini sejalan dengan

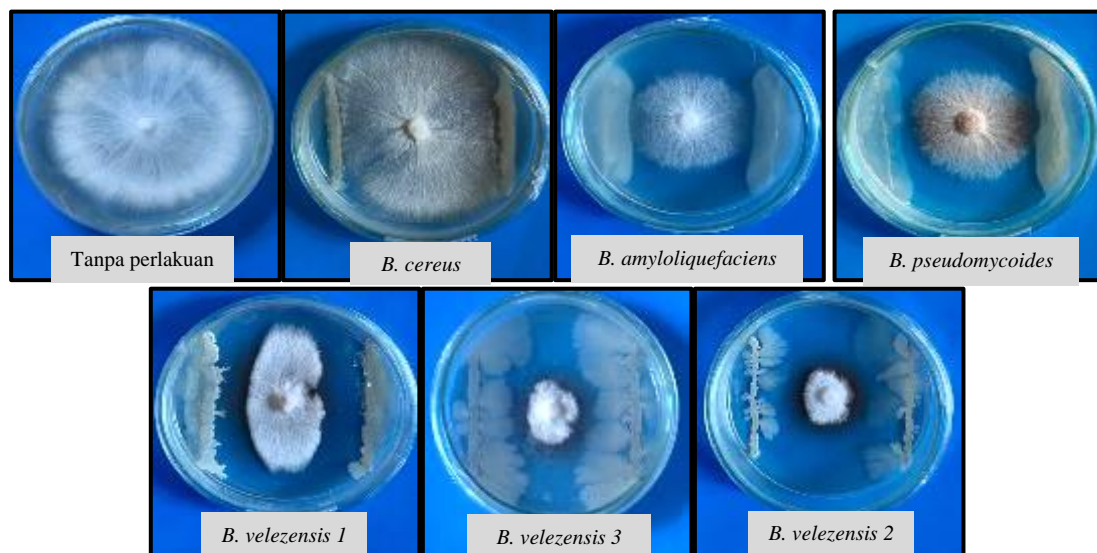
Mariana *et al.* (2020) bahwa agens hayati yang potensial untuk mengendalikan patogen karena memiliki kemampuan dalam menghambat patogen lebih dari 50%. Oktania *et al.* (2018) menyatakan bahwa *Bacillus* spp. tergolong memiliki mekanisme antagonis berupa antibiosis

yang dapat menghambat patogen tanaman dengan menghasilkan antibiotik. Saputra *et al.* (2015), juga menemukan bahwa bahwa *Bacillus* spp. mampu menghasilkan daya hambat merupakan indikasi mekanisme antibiosis.

**Tabel 2.** Daya hambat dan zona hambat *Bacillus* spp. terhadap *G. boninense* (10 HSI)

<i>Bacillus</i> spp.	Daya hambat (%)	Zona Hambat (%)
Tanpa <i>Bacillus</i> spp.	0,00 a	0,00 a
<i>B. cereus</i>	35,13 b	0,00 a
<i>B. amyloliquefaciens</i>	39,72 c	0,00 a
<i>B. pseudomycooides</i>	42,63 c	0,00 a
<i>B. velezensis 1</i>	63,47 d	42,68 b
<i>B. velezensis 3</i>	74,30 e	44,38 b
<i>B. velezensis 2</i>	78,05 f	58,80 c

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf kecil yang tidak sama adalah berbeda nyata menurut hasil uji DMRT pada taraf 5% setelah ditransformasi dengan  $\text{arc sin}\sqrt{p}$



**Gambar 3.** Daya hambat dan zona hambat *Bacillus* spp. terhadap *G. boninense*

*Bacillus velezensis 2*, *B. velezensis 3* dan *B. velezensis 1* memiliki kemampuan daya hambat yang lebih besar dibandingkan dengan *B. pseudomycooides*, *B. amyloliquefaciens* dan *B. cereus* dalam menghambat pertumbuhan *Ganoderma* sp. Lim *et al.* (2017) menyatakan bahwa *B. velezensis* menghasilkan senyawa antifungi yang mudah menguap yang dapat menghambat pertumbuhan miselium jamur patogen dalam cawan petri tertutup, dengan memproduksi senyawa volatil seperti di-

metilsulfoksida, 1-butanol dan asetoin, diantaranya asetoin ditemukan sebagai metabolit utama yang mudah menguap

*B. cereus*, *B. amyloliquefaciens* dan *B. pseudomycooides* memiliki daya hambat lebih kecil dari 50%. Menurut penelitian Hidayah, & Yulianti (2014) *B. cereus* mampu menghambat pertumbuhan jamur tular tanah seperti *Sclerotium rolfsii* sebesar 33%. Daya hambat yang dihasilkan *B. cereus* tergolong rendah karena dibawah <50%. Penelitian Hadi *et al.* (2021) menemukan strain *B.*

*cereus* yang memiliki kemampuan antagonis rendah, karena tidak dapat menghasilkan zona hambat.

Hasil daya hambat pada setiap perlakuan *Bacillus* spp. memiliki persentase yang bervariasi, perbedaan ini karena *Bacillus* spp. memiliki metabolit sekunder yang berbeda. Menurut Flori *et al.* (2020) Kapasitas isolat bakteri dalam menghasilkan senyawa penghambat yang berbeda menjadi penyebab terjadinya variasi diameter daya hambat masing-masing bakteri. Saputra *et al.* (2015) merekomendasikan bahwa perbedaan daya hambat dapat disebabkan oleh perbedaan fisiologis mikroorganisme dalam penggunaan suplemen di media.

Tabel 2 menunjukkan bahwa perlakuan tanpa *Bacillus* spp, *B. cereus*, *B. amyloliquefaciens* dan *B. pseudomycoides* tidak memiliki zona hambat, berbeda nyata dengan *B. velezensis 3*, *B. velezensis 1* dan *B. velezensis 2* yang memiliki zona hambat. Hal ini terjadi karena perbedaan spesies *Bacillus* spp. yang digunakan, sehingga berbeda pula kemampuannya dalam menghasilkan zona hambat.

Perlakuan *B. velezensis 2* memiliki daya hambat sebesar 78,05% dan zona hambat sebesar 58,80%, berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. *B. velezensis* merupakan salah satu spesies bakteri yang lebih potensial untuk mengendalikan patogen *G. boninense*. Hal ini ditunjukkan dengan adanya zona hambat di sekitar koloni yang dapat menghambat pertumbuhan *G. boninense* yang menandakan adanya mekanisme antibiosis. Saputra *et al.*, (2015) dalam penelitiannya menemukan bahwa *Bacillus* spp. mampu menghasilkan zona hambat. Zona hambat merupakan indikasi adanya mekanisme antibiosis. Bawantari *et al.*, (2020) menambahkan bahwa zona hambat terjadi akibat adanya produksi senyawa antifungi yang dihasilkan oleh bakteri untuk mengurangi populasi patogen tanaman melalui kompetisi dan antibiotik.

*B. velezensis 2* memiliki daya hambat dan zona hambat yang lebih besar dibanding perlakuan lainnya yakni daya hambat sebesar

78,05% dan zona hambat sebesar 58,80%, lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya. *B. velezensis 2*, *B. velezensis 1* dan *velezensis 3* merupakan bakteri potensial ditunjukkan dengan adanya zona hambat disekitar koloni yang dapat menghambat pertumbuhan *G. boninense* yang menandakan adanya mekanisme antibiosis. Hal ini sesuai dengan pendapat Saputra *et al.* (2015), bahwa *Bacillus* spp. mampu menghasilkan zona hambat merupakan indikasi mekanisme antibiosis. Bawantari *et al.* (2020) menambahkan bahwa zona hambat terjadi akibat adanya produksi senyawa antifungi yang dihasilkan oleh bakteri untuk mengurangi populasi patogen tanaman melalui kompetisi dan antibiotik. Perlakuan *B. velezensis 2* memiliki daya hambat sebesar 78,05% dan zona hambat sebesar 58,80%, berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. *B. velezensis 2*, *B. velezensis 1* dan *B. velezensis 3* merupakan bakteri potensial ditunjukkan dengan adanya zona hambat disekitar koloni yang dapat menghambat pertumbuhan *G. boninense* yang menandakan adanya mekanisme antibiosis. Hal ini sesuai dengan pendapat Saputra *et al.* (2015), bahwa *Bacillus* spp. mampu menghasilkan zona hambat merupakan indikasi mekanisme antibiosis. Bawantari *et al.* (2020) menambahkan bahwa zona hambat terjadi akibat adanya produksi senyawa antifungi yang dihasilkan oleh bakteri untuk mengurangi populasi patogen tanaman melalui kompetisi dan antibiotik.

Margani *et al.* (2018) menyatakan bahwa *Bacillus* spp. mampu menghambat pertumbuhan *Rhizoctonia solani* pada media PDA dengan menghasilkan zona hambat yang mengindikasikan bahwa *Bacillus* spp. dapat menghasilkan senyawa antibiotik. Wang *et al.* (2023) menyatakan untuk melawan infeksi *Colletotrichum gloeosporioides*, *B. velezensis* menyisakan sebagian dari media tumbuh untuk menciptakan lebih banyak senyawa antimikroba dengan membentuk zona hambat. Menurut Li *et al.*, (2023) adanya zona hambat disekitar koloni *B. velezensis*

yang menunjukkan bahwa bakteri tersebut memiliki kemampuan menghasilkan siderofor.

*B. cereus*, *B. amyloliquefaciens* dan *B. pseudomycooides* tidak dapat menghasilkan zona hambat, karena diduga tidak menghasilkan antibiotik. Mekanisme penghambatan lain dari *Bacillus* spp. termasuk kompetisi untuk ruang dan nutrisi, sintesis senyawa volatil, dan enzim ekstraseluler, oleh sebab itu tidak semua *Bacillus* spp. menghasilkan zona hambat terhadap *boninense*. Abdallah *et al.* (2017)

menyatakan bahwa *Bacillus* spp. mampu menghasilkan enzim hidrolase dinding sel. Enzim ini efektif dalam menekan pertumbuhan patogen tanaman karena dapat mengurai dan memecah komponen dinding sel patogen tanaman.

#### **Daya Hambat Filtrat *Bacillus* spp. terhadap *G. boninense***

Hasil analisis ragam pada Tabel 3 menunjukkan bahwa perlakuan filtrat *Bacillus* spp. berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan jamur *G. boninense* Hasil pengamatan dapat dilihat pada **Gambar 4**.

**Tabel 3.** Daya hambat filtrat *Bacillus* spp. terhadap *G. boninense* (10 HSI)

<i>Bacillus</i> spp.	Daya hambat filtrat (%)
Tanpa <i>Bacillus</i> spp.	0,00 a
<i>B. cereus</i>	78,04 b
<i>B. amyloliquefaciens</i>	83,33 c
<i>B. pseudomycooides</i>	91,38 d
<i>B. velezensis</i> 3	91,94 d
<i>B. velezensis</i> 1	92,22 d
<i>B. velezensis</i> 2	92,49 d

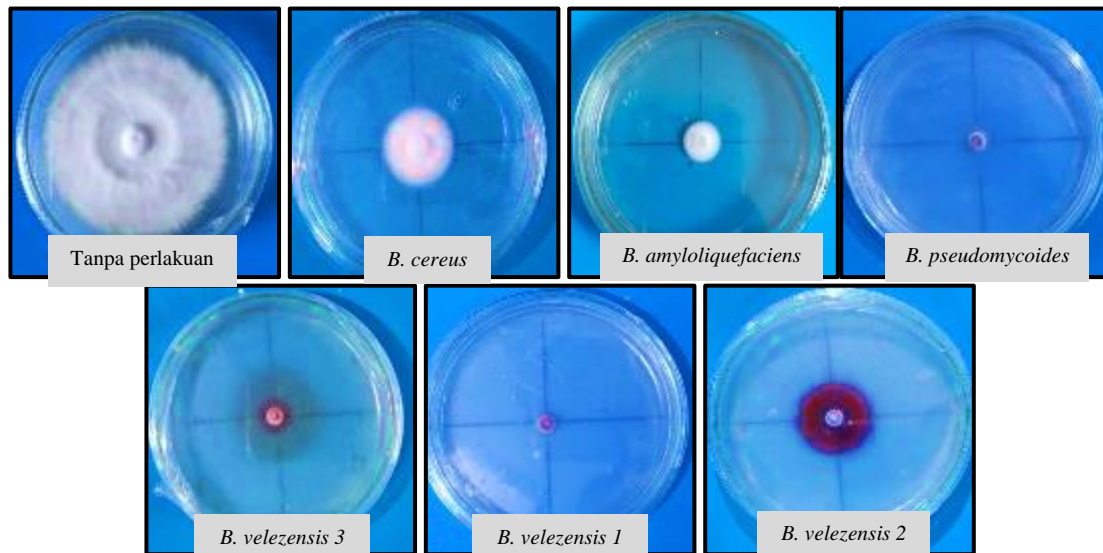
Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf kecil yang tidak sama adalah berbeda nyata menurut hasil uji DMRT pada taraf 5% setelah ditransformasi dengan  $\text{arc sin} \sqrt{p}$

Hasil pengamatan daya hambat filtrat *Bacillus* spp. terhadap *G. Boninense* yakni *B. velezensis* 2, *B. velezensis* 3, *B. velezensis* 1, *B. pseudomycooides*, *B. amyloliquefaciens* dan *B. cereus* berbeda nyata dengan perlakuan tanpa *Bacillus* spp. Hasil ini menunjukkan bahwa aktivitas antibiosis yang dihasilkan *Bacillus* spp. dapat menekan perkembangan organisme *G. boninense* senyawa metabolit tambahan yang dihasilkan oleh *Bacillus* spp. telah berdifusi dengan filtrat, senyawa metabolit yang dihasilkan mampu memenuhi zona tumbuh *G. Boninense*. Hasil penelitian Shahid *et al.* (2021) menyatakan bahwa *Bacillus* spp. menghasilkan metabolit sekunder berupa iturin, surfactin, bacillibactin, bacillaene, bacilysin, fengycin dan macrolactin. Hasil pengamatan perlakuan *Bacillus* spp. dapat dilihat pada **Gambar 4**. Hasil pengamatan perlakuan filtrat *B. pseudomycooides*, *B. velezensis* 1, *B. velezensis* 2, *B. velezensis* 3 dapat

menyebabkan jamur *G. boninense* tidak dapat tumbuh dengan baik karena metabolit sekunder yang dihasilkan (**Gambar 4**). Menurut hasil penelitian Swidergall & Ernst (2014), metabolit *Bacillus* spp. dapat merusak dinding sel atau struktur membran jamur, deformasi struktur dinding sel, atau mempengaruhi potensi elektrokimia membran dan keseimbangan ion dan akhirnya menyebabkan kematian jamur. Dinding sel adalah target utama bagi senyawa antifungi yang dihasilkan bakteri.

Perbedaan diameter koloni *G. Boninense* pada setiap perlakuan diyakini disebabkan oleh kemampuan *Bacillus* spp. menghasilkan berbagai senyawa untuk filtratnya. Pitasari dkk (2018) menyatakan bahwa perbedaan daya hambat yang dihasilkan oleh organisme mikroskopis dapat terjadi karena perbedaan jenis dan ukuran metabolit opsional penghambat yang dihasilkan oleh setiap isolat.





**Gambar 4.** Daya hambat filtrat *Bacillus* spp. terhadap *G. boninense*

**Karakteristik Makroskopis dan Mikroskopis *G. boninense* setelah Aplikasi *Bacillus* spp.**

Karakteristik makroskopis dan mikroskopis *G. boninense* setelah aplikasi

*Bacillus* spp. dengan memperhatikan warna koloni, arah penyebaran, tekstur miselium dan bentuk konidia dari jamur tersebut, dapat dilihat pada **Tabel 4**, **Gambar 3** dan **Gambar 5**.

**Tabel 4.** Karakteristik makroskopis (10 HSI) dan mikroskopis (14 HSI) *G. boninense* setelah aplikasi *Bacillus* spp.

Perlakuan	Pengamatan makroskopis dan mikroskopis			
	Warna koloni	Arah Penyebaran	Tekstur Miselium	Bentuk Konidia
Tanpa <i>Bacillus</i> spp.	Putih	Tumbuh ke samping	Halus, tebal, bergelombang	Oval
<i>B. amyloliquefaciens</i>	Putih	Tumbuh ke samping	Halus dan tipis	Tidak menghasilkan konidia
<i>B. cereus</i>	Putih	Tumbuh ke samping	Halus dan tipis	Tidak menghasilkan konidia
<i>B. pseudomycoides</i>	Putih kemerahan	Tumbuh ke samping	Halus dan tipis	Tidak menghasilkan konidia
<i>B. velezensis 1</i>	Putih, kemerahan pada tepi	Tumbuh ke samping	Halus dan tebal	Tidak menghasilkan konidia
<i>B. velezensis 2</i>	Putih kemerahan pada tepi	Tumbuh ke samping	Halus dan tebal	Tidak menghasilkan konidia
<i>B. velezensis 3</i>	Putih, kemerahan pada tepi	Tumbuh ke samping	Halus dan tebal	Tidak menghasilkan konidia

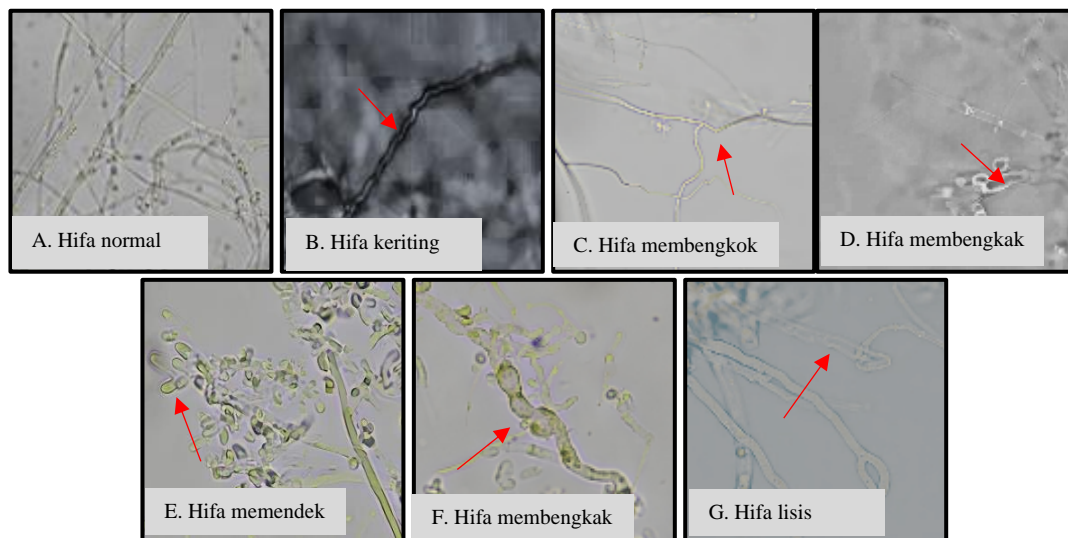
Perlakuan *Bacillus* spp. dapat mempengaruhi perubahan morfologi *G. boninense* Karakteristik makroskopis *G. boninense* setelah aplikasi *Bacillus* spp. dapat dilihat pada **Tabel 5** dan **Gambar 3**, terlihat bahwa *B. velezensis 1*, *B. velezensis 2* dan *B. velezensis 3* dapat menghambat pertumbuhan

hifa sehingga hifa tidak dapat tumbuh memenuhi cawan petri. Perlakuan *B. cereus*, *B. amyloliquefaciens* dan *B. pseudomycoides* terlihat miselium hampir memenuhi cawan petri, namun hifa yang berada di sekitar bakteri menjadi tipis dan tidak tumbuh melewati bakteri. Hal ini terjadi

diduga karena *Bacillus* spp. menghasilkan senyawa metabolit sekunder yang dapat menghambat pertumbuhan miselium jamur *G. boninense* yaitu kitinase serta glukukanase. Hasil penelitian . Sibagariang (2019) menemukan bahwa jumlah kitinase dan glukukanase yang diproduksi oleh organisme mikroskopis dapat berdampak pada efek daya penghambatan. Enzim hidrolitik kitinase dan glukukanase mampu menghidrolisis ikatan kitin dan -glukan yang merupakan komponen penting dinding sel jamur. Oleh karena itu, senyawa yang dihasilkan akan mencegah pertumbuhan dinding sel jamur.

Senyawa antibiotik yang dihasilkan *Bacillus* juga dapat menyebabkan perubahan warna koloni jamur maupun warna media di sekitar jamur *G. boninense* Berdasarkan Tabel 5 dan **Gambar 3** dapat dilihat

miselium *G. boninense* tanpa perlakuan *Bacillus* spp. koloni jamur berwarna putih kekuningan, sedangkan pada perlakuan *B. pseudomycooides* berwarna putih kemerahan, pada perlakuan *B. velezensis 1*, *B. velezensis 2* dan *B. velezensis 3* jamur *G. boninense* mengeluarkan warna merah di sekitar koloninya. Hal ini diduga *G. boninense* mengeluarkan enzim sebagai bentuk pertahanan saat diaplikasikan *Bacillus* spp. Menurut hasil penelitian. Siddiqui *et al.* (2019) jamur *G. boninense* memiliki kemampuan untuk menghasilkan enzim laccase. Lakshmanan & Sadasivan (2016) menambahkan bahwa enzim laccase dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme antagonis seperti *Bacillus* spp. Fungsi enzim laccase dikaitkan dengan respon pertahanan jamur.



**Gambar 5.** Karakteristik mikroskopis *G. boninense* setelah aplikasi *Bacillus* spp. perbesaran 10x40. a) Tanpa *Bacillus* spp., b) *B. amyloliquefaciens*, c) *B. cereus*, d) *B. psedomycoides*, e) *B. velezensis 1*, f) *B. velezensis 2*, g) *B. velezensis 3*.

Perlakuan *Bacillus* spp. mampu mempengaruhi bentuk hifa dapat dilihat pada Gambar 5. Akibat pengaruh senyawa yang dihasilkan oleh *Bacillus* spp. yang diduga mengandung senyawa antibiotik dan antijamur, terjadi pertumbuhan abnormal pada hifa *G. boninense*. yang mengakibatkan abnormal pada hifa *G. boninense* Perlakuan *B. cereus* menyebabkan hifa *G. boninense* membengkok, hal ini terjadi diduga karena *B. cereus* menghasilkan enzim protease yang

dapat menyebabkan hifa *G. boninense* membengkok. Anjarsari *et al.* (2021) menyatakan bahwa terjadinya pembengkokan hifa dikarenakan *Bacillus* spp. mampu menghasilkan enzim protease, amilase dan selulase yang menyebabkan hifa *Phytophthora palmivora* membengkok. Perlakuan *B. pseudomycooides* dan *B. velezensis 2* menyebabkan hifa *G. boninense* membengkok serta perlakuan *B. amyloliquefaciens* menyebabkan hifa *G.*

*boninense* keriting, hal ini diduga karena adanya metabolit sekunder berupa fengycin yang dihasilkan bakteri. Zhang *et al.* (2022) menyatakan *Bacillus* spp. menghasilkan metabolit sekunder berupa fengycin mampu menyebabkan hifa *Alternaria solani* membengkak. Xiao *et al.* (2021) menguatkan bahwa *Bacillus* spp. mampu menyebabkan hifa menjadi keriting yang menandakan adanya kerusakan pada membran hifa yang diakibatkan aktivitas fengycin.

Perlakuan *B. velezensis* 3 menyebabkan hifa *G. boninense* mengalami lisis. Lisis pada hifa diduga terjadi karena adanya aktivitas enzim lipase. Wang *et al.* (2022) mengemukakan enzim lipase yang dihasilkan *Bacillus* spp. berupa selulase, glukonase, protease dan kitinase yang berfungsi sebagai antifungi pada patogen jamur sehingga dapat memecah komponen dinding jamur (lisis). Perlakuan *B. velezensis* 1 menyebabkan hifa *G. boninense* memendek. Menurut Santos *et al.* (2018) *Bacillus* sp. mampu menghasilkan metabolit sekunder berupa nisin A yang memiliki kemampuan menghambat sintesis dinding sel patogen yang mengakibatkan terjadinya pemendekan hifa.

#### **Panjang dan Lebar Konidia *G. boninense* setelah Aplikasi *Bacillus* spp.**

Tabel 5 menunjukkan bahwa perlakuan *Bacillus* spp. menyebabkan *G. boninense* tidak mampu menghasilkan konidia. Berdasarkan hasil pengamatan mikroskopis dengan perbesaran 10x40, tidak ditemukan adanya konidia *G. boninense* Menurut Sha *et al.* *Bacillus* spp. menghasilkan metabolit

**Tabel 5.** Kerapatan spora *G. boninense* setelah aplikasi *Bacillus* spp. (10 HSI)

<i>Bacillus</i> spp.	Jumlah (CFU/ml)
Tanpa <i>Bacillus</i> spp.	4,31 x 10 <sup>5</sup> a
<i>B. cereus</i>	3,74 x 10 <sup>5</sup> b
<i>B. amyloliquefaciens</i>	0 c
<i>B. pseudomycooides</i>	0 c
<i>B. velezensis</i> 1	0 c
<i>B. velezensis</i> 2	0 c
<i>B. velezensis</i> 3	0 c

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf kecil yang tidak sama adalah berbeda nyata menurut hasil uji DMRT pada taraf 5%

antimikroba yang menghambat pertumbuhan hifa dan konidia patogen. *Bacillus* spp. mampu meluruhkan dinding sel patogen menggunakan enzim yang berbeda untuk mengurangi keparahan penyakit blas pada padi.

Perlakuan *Bacillus* spp. mampu menghambat perkecambahan konidia *G. Boninense*. Hal ini sesuai penilaian Gao *et al.* (2015) menyatakan bahwa *Bacillus* sp. dapat menekan perkecambahan konidia, susunan appresoria patogen, menghambat kemajuan haustoria dan pemanjangan hifa. Menurut Hu *et al.* (2019) salah satu senyawa yang dihasilkan *Bacillus* spp. adalah iturin dan fengycin. Senyawa ini diyakini mampu menghambat proses pengaturan racun intraseluler pada parasit patogen dan menyebabkan lisis miselium dan konidia.. Menurut hasil penelitian Han *et.,al.* (2015) *Bacillus* spp. dapat menghasilkan senyawa antagonis dan menghambat perkecambahan *Colletotrichum acutatum* dan *Colletotrichum gloeosporioides*. Senyawa yang dihasilkan berupa glycerol, L-arabinose, ribose, D-glucose, D-fructose, D-mannose, D-manitol, L-sorbitol, arbutin, esculin, salicin, cellobiose, sucrose dan trehalose. Menurut hasil penelitian Kim *et al.* (2021) *Bacillus* sp. mampu menghambat perkecambahan konidia *Colletotrichum gloesporioides*.

#### **Kerapatan Spora *G. Boninense* setelah Aplikasi *Bacillus* spp.**

Hasil analisis ragam pada Tabel 5 menunjukkan bahwa perlakuan *Bacillus* spp. berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan spora jamur *G. boninense*.

Tabel 5 menunjukkan jumlah spora *G. boninense* lebih tinggi terdapat pada tanpa perlakuan *Bacillus* spp. sebanyak  $4,31 \times 10^{-5}$  CFU/ml. berbeda nyata dengan perlakuan *B. cereus* jumlah spora sebesar  $3,74 \times 10^{-5}$ . Perlakuan *B. amyloliquefaciens*, *B. pseudomycooides*, *B. velezensis 1*, *velezensis 2*, *B. velezensis 3* dapat menekan perkecambahan spora *G. boninense* sehingga menyebabkan *G. boninense* tidak mampu tumbuh, karena *Bacillus* spp mampu menghasilkan metabolit sekunder berupa enzim yang dapat menekan pertumbuhan *G. boninense* Menurut Heo *et al.* (2023) *Bacillus* spp. menghasilkan enzim hidrolitik yang dapat menghambat perkecambahan spora *Colletotrichum* spp.

Zhang *et al.* (2023) menyatakan bahwa *Bacillus* spp. memiliki kemampuan penghambatan yang kuat terhadap perkecambahan spora dan pertumbuhan miselium. *Bacillus* spp. menghasilkan senyawa volatile yang mampu menghambat perkecambahan spora jamur. Mendizábal & Falconí (2021) menambahkan bahwa *Bacillus* spp. memiliki sifat antifungi yang dapat mengganggu aktivitas spora serta dapat menyebabkan kerusakan pada hifa patogen.

## SIMPULAN

*B. amyloliquefaciens*, *B. cereus*, *B. pseudomycooides*, *B. velezensis 2* lebih mampu menghambat jamur *G. boninense* dengan daya hambat 78,05%, zona hambat 58,80% dan daya hambat filtrat 92,49%. *Bacillus* spp. mampu mempengaruhi karakteristik makroskopis dan mikroskopis *G. boninense*, dapat menyebabkan *G. boninense* tidak mampu menghasilkan konidia serta dapat menghambat perkecambahan spora *G. boninense*.

Sebaiknya dilakukan penelitian lanjutan tentang uji senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan *Bacillus* spp. untuk mengetahui antibiotik dan enzim yang dihasilkan bakteri tersebut dan melajykan karakterisasi fisiologi isolat *B. velezensis 2* untuk mengetahui mekanisme daya hambatnya terhadap

*Ganoderma* sp. secara khusus dan patogen lain secara umum.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdallah, R. A. B., C. Stedel, C. Garagounis, A. Nefzi, H. J. Khiareddine, K. K. Papadopoulou & M. D. Remadi. (2017). Involvement of lipopeptide antibiotics and chitinase genes and induction of host defense in suppression of fusarium wilt by endophytic *Bacillus* spp. in tomato. *Crop Protection*. 99(2): 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.05.008>
- Ajilogba, C.F., Babalola, O.O., & Ahmad F. (2016). Antagonistic effect of *Bacillus* species in biocontrol of tomato fusarium wilt. *Ethno Med*. 7(3): 205-216. <http://dx.doi.org/10.1080/09735070.2013.11886462>
- Anjarsari, D.T., Prasetyawati, E.T.m & Wuryandari, Y. (2021). Uji daya hambat *Bacillus* spp. terhadap *Phytophthora palmivora* penyebab penyakit busuk buah kakao. Seminar Nasional Agroteknologi Fakultas Pertanian UPN "Veteran" Jawa Timur .14-21. <https://doi.org/10.11594/nstp.2022.2003>
- Badalyan, A. M., Gharibyan, N. G., Lotti, M., & Zambonelli, A. (2019). Morphological and ecological screening of different collections of medicinal white-rot bracket fungus *Ganoderma adspersum* (Schulzer) Donk (Agaricomycetes, Polyporales). *Italian Journal of Mycology*. 48(2): 1-15. <http://dx.doi.org/10.6092/issn.2531-7342/9092>
- Badan Pusat Statistik. (2024). Luas Areal Tanaman Perkebunan (Hektar), 2020-2022. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Badan Pusat Statistik. (2023). Produksi Perkebunan (Ton), 2020-2022. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Bawantari, N. K. S., Suprpta, D. N., & Khalimi K. (2020). Uji Antagonistik *Bacillus siamensis* dan *Paenibacillus*

- polymyxa* terhadap *Colletotrichum gloeosporioides* KLCR2 penyebab penyakit antraknosa pada buah cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.). *Jurnal AgroekoteknologiTropika*. 9(3): 189-197. Retrieved from <https://ojs.unud.ac.id/index.php/JAT/article/download/63170/36046>
- Castillo, S.Y., Rodríguez, M.C., González, L. F., Zúñiga, L. F., Mestizo, Y. A., Medina, H. C., Montoya, C., Morales, A., Romero, H. M., & Sarria, G.A. (2022). *Ganoderma zonatum* is the causal agent of basal stem rot in oil palm in Colombia. *Journal of Fungi*. 8 (230): 1-14. <https://doi.org/10.3390/jof8030230>
- Cui, Y., Märthlbauer, E., Dietrich, R., Luo, H., Ding, S., & Zhu, K. (2019). Multifaceted toxin profile, an approach toward a better understanding of probiotic *Bacillus cereus*. *Crit. Review in Toxicology*. 49(4): 342–356. <https://doi.org/10.1080/10408444.2019.1609410>
- Dahang, D., Nainggolan, L.P., Sembiring, R., Sembiring, S., Tarigan, S., Rajagukguk, B.H., & Karo, S.B. (2021). Pengendalian penyakit ganoderma pada kelapa sawit dengan menggunakan jamur endofitik hendersonia. *Jurnal Masyarakat Mandiri*. 5(2) : 548-559. Retrieved from <https://journal.ummat.ac.id/index.php/jmm/article/view/4090/pdf>
- Elfina, Y. (2020). Potensi Rhizobakteri Indegenus dan Kitosan untuk Mengendalikan Penyakit Moler *Fusarium oxysporum* f.sp *cepae* pada Tanaman Bawang Merah. Laporan Kemajuan Penelitian Disertasi (Tidak dipublikasikan). Universitas Padjajaran. Bandung.
- Evizal, R & Prasmawati, F. E. (2022). Penyakit busuk pangkal batang dan performa produktivitas kelapa sawit. *Jurnal agrotropika*. 21(1):47-54. Retrieved from <https://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JAT/article/view/5617/pdf>
- Flori, F., Mukarlina & Rahmawati. (2020). Potensi antagonis isolat bakteri *Bacillus* spp. asal rhizosfer 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>
- Furtado, J. S. (1966). Significance of the clamp-connection in the basidiomycetes. *Persoonia*. 4(2): 125-144. Retrieved from <https://repository.naturalis.nl/pub/532199/PERS1966004002003.pdf>
- Gao, X., Gong, Y., Huo, Y., Han, Q., Kang, Z., & Huang, L. (2015). Endophytic *Bacillus subtilis* strain EIR-J is a promising biocontrol agent for wheat powdery mildew. *BioMed Res. International*. 2015(1): 1-8. <https://doi.org/10.1155/2015/462645>
- Hadi, A. E., Khalisha, A., Pambudi, A., & Effendi, Y. (2021). Potential of bacteria consortium as growth controller of pathogenic fungi *Fusarium oxysporum* F.sp.  *cubense* (Foc). The 7th International Conference on Sustainable Agriculture and Environment: Earth and Environmental Science. 1-11. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/637/1/012029>
- Hamzah, A., Saputra, R., Puspita, F., Nasrul, B., Irfandri & Depari, N. S. (2021). Ganoderma diversity from smallholder oil palm plantations in peatlands of Kampar District, Indonesia based on mycelia morphology and somatic incompatibility. *Biodiversitas*. 22(1): 16-22. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220103>
- Han, J. H., Shim, H., Shin, J. H., & Kim, K. S. (2015). Antagonistic activities of *Bacillus* spp. strains isolated from tidal flat sediment towards anthracnose pathogens *Colletotrichum acutatum* and *C. gloeosporioides* in South Korea. *Plant Pathology Journal*. 31(2): 165-175. <https://doi.org/10.5423%2FPJP.OA.03.2015.0036>

- Hidayah, N & Yulianti, T. (2014). Uji antagonisme *Bacillus cereus* terhadap *Rhizoctonia solani* dan *Sclerotium rolfsii*. *Buletin Tanaman Tembakau, Serat dan Minyak Industri*. 7(1): 1-8. <https://dx.doi.org/10.21082/bultas.v7n1.2015.1-8>
- Heo, Y., Lee, Y., Balaraju, K., & Jeon. Y. (2023). Characterization and evaluation of *Bacillus subtilis* GYUN-2311 as a biocontrol agent against *Colletotrichum* spp. on apple and hot pepper in Korea. *Front. Microbiol.* 14:1322641. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1322641>
- Hu, X., Roberts, D. P., Xie, L., Qin, L., Li, Y., Liao, X., Han, P., Yu, C., & Liao, X. (2019). Seed treatment containing *Bacillus subtilis* BY-2 in combination with other *Bacillus* isolates for control of *Sclerotinia sclerotiorum* on oilseed rape. *Biological Control*. 133: 50-57. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.03.006>
- Ivayani, Faishol, F., Sudiharta, N., & Prasetyo, J. (2018). Efektivitas beberapa isolat *Trichoderma* sp. terhadap keterjadian penyakit bulai yang disebabkan oleh *Peronosclerospora maydis* dan pertumbuhan tanaman jagung (*Zea mays*). *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*. 18(1): 39-45. <http://dx.doi.org/10.25181/jppt.v18i1.641>
- Khoo, Y. W & Chong, K. P. (2023). *Ganoderma boninense*: general characteristics of pathogenicity and methods of control. *Frontiers in Plant Science*. 14(1156869): 1-17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1156869>
- Kim, Y. S., Lee, Y., Cheon, W., Park, J., Kwon, H. T., Balaraju, K., Kim, J., Yoon, Y. J., & Jeon, Y. (2021). Characterization of *Bacillus velezensis* AK-0 as a biocontrol agent against apple bitter rot caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Scientific Reports*. 11(626). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80231-2>
- Lakshmanan, Divya & Sadasivan, C. (2016). *Trichoderma viride* laccase plays a crucial role in defense mechanism against antagonistic organisms. *Frontiers in Microbiology*. 7(741): 1-5. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00741>
- Li, Z., Li, J., Yu, M., Quandahor, P., Tian, T., & Shen, T. (2023). *Bacillus velezensis* FX-6 suppresses the infection of *Botrytis cinera* and increases the biomass of tomato plants. *Plos One*. 18(6): 1-17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286971>
- Lim, S. M., Yoon, M. Y., Choi, G. J, Choi, Y. H., Jang, K. S, Shin, J. S., Park, H. W., Yu, N. H., Kim, Y. H., & Kim, J. C. (2017). Diffusible and volatile antifungal compounds produced by an antagonistic *Bacillus velezensis* G341 against various phytopathogenic fungi. *Plant Pathology Journal*. 33(5): 488-498. <https://doi.org/10.5423/2FPPJ.OA.04.2017.0073>
- Margani, R., Hadiwiyono & Widadi, S. (2018). Utilizing bacillus to inhibit the growth and infection by sheath blight pathogen, *Rhizoctonia solani* in rice. The 4th International Conference on Sustainable Agriculture and Environment: Earth and Environmental Science. 1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/142/1/012070>
- Mariana, K. U. Dewi, Samharinto & Budi, I. S. (2020). Potential of fungi isolate as a biological control of white root disease (*Rigidoporus* sp.) on rubber plants. *Tropical Wetland Journal*. 6(1): 10-16. <http://dx.doi.org/10.20527/twj.v6i1.82>
- Mendizabal, V.Y., & Falconi C, E. (2021). *Bacillus subtilis* CtpxS2-1 induces systemic resistance against anthracnose in Andean lupin by lipopeptide production. *Biotechnol Lett*, 43: 719-728. <https://doi.org/10.1007/s10529-020-03066-x>

- Money, N. P. (2016). Fungal Diversity. Miami University, Oxford. USA.
- Munif, A., Wiyono, S., & Suwarno. (2012). Isolasi bakteri endofit asal padi gogo dan potensinya sebagai agens biokontrol dan pemacu pertumbuhan. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 8(3): 57-64. <https://doi.org/10.14692/jfi.8.3.57>
- Ngalimat, M. S., Yahaya, R. S. R., Baharudin, M. M. A., Yaminudin, S. M., Karim, M., Ahmad, S. A., & Sabri, S. (2021). A review on the biotechnological applications of the operational roup *Bacillus amyloliquefaciens*. *Microorganisms*. 9(614) : 1-18. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9030614>
- Oktania, P., Marwan, H. & Asniwita. (2018). Potensi *Bacillus* spp. dari rhizosfer tanaman kedelai untuk mengendalikan penyakit rebah kecambah (*Sclerotium rolfsii* Sacc.). *Agroecotania*. 1(1): 19-32. <https://doi.org/10.22437/agroecotania.v1i1.5333>
- Pitasari, A., Ali, M. & Elfina, Y. (2018). Isolasi dan uji antagonis bakteri endofit dari tanaman bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) terhadap jamur *Alternaria porri* Ellis Cif. *Jurnal Online Mahasiswa Faperta*. 5(1): 1-12. Retrieved from <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFA/PERTA/article/view/18750/18122>
- Purba, K. S., Khalimi, K., & Suniti, N. W. (2021). Uji aktivitas antijamur *Bacillus cereus* terhadap *Colletotrichum fruticola* KRCR penyebab penyakit antraknosa pada buah cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.). *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*. 10(1): 50-58. Retrieved from <https://ojs.unud.ac.id/index.php/JAT/article/view/70102>
- Rambe, I.P. (2019). Uji Resistensi Tanaman Karet (*Hevea brasiliensis*) Klon IRR Seri 400 terhadap Penyakit Gugur Daun (*Pestalotiopsis* sp.) di Lapangan. Skripsi (Tidak dipublikasikan). Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Santos, J. C. P., Sousa, R. C. S., Otoni, C. G., Moraes, A. R. F., Souza, V. G. L., Medeiros, E. A. A., Espitia, P. J. P., Pires, A. C. S., Coimbra, J. S. R., & Soares, N. F. F. (2018). Nisin and other antimicrobial peptides: Production, mechanisms of action and application in active food packaging. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 48: 179-194. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.008>
- Saputra, R., Arwiyanto, T., & Wibowo, A. (2015). Antagonistic activity and identification of some isolates of *Bacillus* spp. against bacterial wilt disease (*Ralstonia solanacearum*) in some varieties of tomato. Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia. 1116-1122. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m010525>
- Sha, Y., Huang, Y., Zhu, Y., Sun, T., Luo, Z., Qiu, Y., et al. (2020). Efficient Biosynthesis of Low-Molecular-Weight Poly- $\gamma$ -Glutamic Acid Based on Stereochemistry Regulation in *Bacillus Amyloliquefaciens*. *ACS Synth. Biol*. 9 (6), 1395–1405. <https://doi.org/10.1021/acssynbio.0c00080>
- Shahid, I., Han, J., Hanook, S., & Malik, K. (2021). Profiling of metabolites of *Bacillus* spp. and their application in sustainable plant growth promotion and biocontrol. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 5(605195): 1-13. <http://dx.doi.org/10.3389/fsufs.2021.605195>
- Sibagariang, A. (2019). Uji Potensi Bakteri Antagonis sebagai Agen Pengendali Hayati Penyakit Layu Fusarium dan Pemacu Pertumbuhan Tanaman Krisan (*Chrysanthemum* sp.). Skripsi (Tidak dipublikasikan). Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Siddiqui, Y., Surendran, A., & Faishal, E. M. M. (2019). Inhibition of lignin degrading enzymes of *Ganoderma* spp.: an

- alternative control of basal stem rot disease of oil palm. *International Journal of Agriculture and Biology*. 22(2): 523-530. <http://dx.doi.org/10.17957/IJAB/15.1095>
- Sungtong, S., Pengnoo, A., & Boonyapipat, P. (2021). Efficacy of *Bacillus* spp. in controlling soilborne pathogen *Rigidoporus microporus* under control conditions. *Sungklanakarinn Journal of Plant Science*. 8(1): 34-43. Retrieved from <https://www.sjplantscience.com/index.php/ojs/article/view/48/23>
- Swidergall, M & Ernst, J. F. (2014). Interplay between *Candida albicans* and the antimicrobial peptide armory. *Eukaryot Cell*. 13: 950-957. <https://doi.org/10.1128/ec.00093-14>
- Wang, L & Zhu, T. (2023). Strong opponent of walnut anthracnose *Bacillus velezensis* and its transcriptome analysis. *Microorganism*. 11(8): 1-22. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11081885>
- Wang, W., Zhao, J. & Zhang, Z. (2022). *Bacillus* metabolites: compounds, identification and anti-*Candida albicans* mechanism. *Microbiol. Res*. 13(2): 972-984. <https://doi.org/10.3390/microbiolres13040070>
- Xiao, J., Guo, X., Qiao, X., Zhang, X., Chen, X., & Zhang, D. (2021). Activity of fengycin and iturin A isolated from *Bacillus subtilis* Z-14 on *Gaeumannomyces graminis* Var. *tritici* and soil microbial diversity. *Front. Microbiol*. 12(682437): 1-14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.682437>
- Yanti, Y., Warnita., Reflin & Busniah, M. (2018). Indigenous endophyte bacteria ability to control *Ralstonia* and *Fusarium* wilt disease on chili pepper. *Biodiversitas*. 19(4): 1532-1538. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d190446>
- Yu, G & Chong, K. P. (2018). Selected biomarkers from oil palm-*Ganoderma* infected tissues for detection of basal stem rot disease. *Western Mindanao State University Research Journal*. 37(7): 1-13. Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Khim-Chong/publication/330011060\\_Selected\\_Biomarkers\\_from\\_Oil\\_Palm-Ganoderma\\_Infected\\_Tissues\\_for\\_Detection\\_of\\_Basal\\_Stem\\_Rot\\_Disease/links/5c29ee60a6fdccfc70732b61/Selected-Biomarkers-from-Oil-Palm-Ganoderma-Infected-Tissues-for-Detection-of-Basal-Stem-Rot-Disease.pdf?tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19](https://www.researchgate.net/profile/Khim-Chong/publication/330011060_Selected_Biomarkers_from_Oil_Palm-Ganoderma_Infected_Tissues_for_Detection_of_Basal_Stem_Rot_Disease/links/5c29ee60a6fdccfc70732b61/Selected-Biomarkers-from-Oil-Palm-Ganoderma-Infected-Tissues-for-Detection-of-Basal-Stem-Rot-Disease.pdf?tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19)
- Zhang, D., Qiang, R., Zhou, Z., Pan, Y., Yu, S., Yuan, W., Cheng, J., Wang, J., Zhao, D., Zhu, J., & Yang, Z. (2022). Biocontrol and action mechanism of *Bacillus subtilis* lipopeptides' fengycins against *Alternaria solani* in potato as assessed by a transcriptome analysis. *Front. Microbiol*, 13(861113): 1-18. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.861113>
- Zhang, L., Wang, Y., Lei, S., Zhang, H., Liu, Z., Yang, J & Niu, Q. (2023). Effect of volatile compounds produced by the cotton endophytic bacterial strain *Bacillus* sp. T6 against *Verticillium* wilt. *Microbiology*, 23 (8) : 1-13. <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02749-x>