

POTENSI SUPERNATAN *Bacillus* spp. UNTUK PENEKANAN PERTUMBUHAN *Botrytis cinerea* Pers. PENYEBAB PENYAKIT BUSUK BUAH STROBERI (*Fragaria vesca* L.)

THE POTENTIAL OF *Bacillus* spp. SUPERNATANT TO SUPPRESS THE GROWTH OF *Botrytis cinerea* pers., THE CAUSAL AGENT OF STRAWBERRY FRUIT ROT (*fragaria vesca* L.)

Melya Oktavioni¹, Nurbailis^{1*} dan Zurai Resti¹

¹Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Jl. Dr. Mohammad Hatta, Limau Manis, Kota Padang, Sumatera Barat 25163, Indonesia

* Corresponding Author. E-mail address: nurbailisjamarun@yahoo.co.id

PERKEMBANGAN ARTIKEL:

Diterima: 19-5-2026

Direvisi: 6-3-2026

Disetujui: 9-6-2026

KEYWORDS:

Organic priming, Osmotic potential, Physiological traits, Shallot extract, Soybean

KATA KUNCI:

Ekstrak bawang merah, Kedelai, Mutu fisiologis, Organic priming, Potensial osmotik

ABSTRACT

The use of supernatant from *Bacillus* spp. as biological control agents has potential to manage strawberry fruit rot caused by *Botrytis cinerea*. This study aimed to identify the most effective *Bacillus* spp. supernatant in suppressing the growth of *B. cinerea* both *in vitro* and *in vivo*. The research consisted of two stages: (1) evaluation of the inhibitory effect of *Bacillus* spp. supernatant on the *in vitro* growth of *B. cinerea*, and (2) assessment of their ability to suppress strawberry fruit rot development *in vivo*. A Completely Randomized Design (CRD) was applied with six treatments and five replications for the *in vitro* test, and five treatments with five replications for the *in vivo* test. The results showed that supernatant of *Bacillus cereus* Se07, *Bacillus cereus* P14, and *Bacillus subtilis* effectively inhibited the *in vitro* growth of *B. cinerea*, producing colony areas of 33.13 cm², 30.18 cm², and 27.74 cm², respectively, with inhibition rates of 46.30%, 51.08%, and 55.04%, categorized as strong inhibition. Reduced colony growth was associated with decreased conidial germination, with the lowest germination rate (17.31%) observed in the *Bacillus subtilis* treatment. *In vivo*, *Bacillus subtilis* also produced the smallest lesion area on strawberry fruit (6.02 mm²).

ABSTRAK

Pemanfaatan supernatan dari *Bacillus* spp sebagai agens hayati perlu dikembangkan untuk pengendalian busuk buah yang disebabkan oleh *Botrytis cinerea* Pers. pada stroberi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan metabolit sekunder *Bacillus* spp. yang terbaik untuk penekanan pertumbuhan jamur *B. cinerea* *in vitro* dan *in vivo*. Penelitian terdiri atas 2 tahap: 1). Uji kemampuan supernatan *Bacillus* spp. terhadap penekanan pertumbuhan *B. cinerea* secara *in vitro*, 2). Uji kemampuan supernatan *Bacillus* spp. penekanan perkembangan penyakit busuk buah stroberi *in vivo*. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 6 perlakuan dan 5 ulangan pada uji *in vitro* serta 5 perlakuan dan 5 ulangan *in vivo*. Berdasarkan hasil penelitian, perlakuan supernatan *Bacillus cereus* Se07, *Bacillus cereus* P14, dan *Bacillus subtilis* mampu menekan pertumbuhan *Botrytis cinerea* secara *in vitro*. Perlakuan tersebut menghasilkan luas koloni masing-masing sebesar 33,13 cm², 30,18 cm², dan 27,74 cm² dengan persentase daya hambat berturut-turut sebesar 46,30%, 51,08%, dan 55,04% yang termasuk dalam kriteria kuat. Penghambatan pertumbuhan koloni ini sejalan dengan penurunan daya kecambah konidia *B. cinerea* terendah pada perlakuan metabolit sekunder *Bacillus subtilis* sebesar 17,31%, sehingga mampu membatasi reproduksi dan potensi infeksi patogen. Kondisi tersebut berkorelasi dengan hasil pengujian *in vivo*, di mana perlakuan supernatan *Bacillus subtilis* menghasilkan luas gejala busuk terendah pada buah stroberi sebesar 6,02 mm².

1. PENDAHULUAN

Stroberi (*Fragaria vesca* L.) merupakan komoditas buah-buahan yang banyak diminati oleh masyarakat. Stroberi memiliki nilai ekonomis tinggi karena mengandung berbagai nutrisi berupa vitamin C, serat, folat, dan mangan. Selain memiliki kandungan nutrisi, buah stroberi juga memiliki banyak manfaat untuk kesehatan yaitu menurunkan risiko penyakit jantung, kanker, diabetes, dan meningkatkan fungsi otak serta menjaga kesehatan kulit (Liferdi, 2023).

Produktivitas stroberi di Indonesia mengalami fluktuasi selama 3 tahun terakhir, yaitu pada tahun 2021 sebesar 1,44 ton/ha, tahun 2022 sebesar 3,81 ton/ha, dan pada tahun 2023 sebesar 3,32 ton/ha (BPS, 2024). Terjadinya fluktuasi produktivitas stroberi disebabkan oleh penanganan pasca panen yang kurang baik, suhu penyimpanan yang tidak sesuai dan terdapat berbagai patogen tanaman. Beberapa patogen pascapanen yang menyerang buah stroberi antara lain *Colletotrichum acutatum* (penyakit antraknosa), *Rhizopus stolonifer* (penyakit busuk rhizopus), dan *Botrytis cinerea* (penyakit busuk buah) (Ansiska et al., 2023).

Penyakit busuk buah yang disebabkan oleh *Botrytis cinerea* merupakan penyakit utama pada stroberi yang ada pada tanaman di lapangan dan pascapanen. Yan et al. (2021) melaporkan bahwa infeksi *B. cinerea* menimbulkan kerugian sebesar 89% pada saat fase pascapanen. Gejala infeksi patogen ini pada buah menunjukkan adanya bercak kecil berwarna abu-abu atau cokelat pada permukaan buah, kemudian menjadi busuk lunak dengan gejala lanjut muncul miselium yang berwarna abu-abu, tebal dan berbulu. Daun atau bagian tanaman lainnya yang terinfeksi bisa menjadi kering dan menguning serta gugurnya daun (Petrash et al., 2019).

Pengendalian yang biasa dilakukan oleh petani terhadap penyakit busuk buah ini yaitu dengan memanen buah stroberi pada saat matang fisiologis, menjaga suhu dan kelembapan ruang penyimpanan serta penyemprotan dengan fungisida sintetis (Ansiska et al., 2023; Barakat et al., 2024). Penggunaan fungisida sintetis secara berkelanjutan dapat menimbulkan dampak negatif seperti terjadinya resistensi patogen, kerusakan lingkungan, dan meninggalkan residu berbahaya pada buah stroberi (Ningsy, 2022). Untuk itu, diperlukan alternatif pengendalian yang ramah lingkungan, yaitu pengendalian hayati menggunakan agens hayati bakteri *Bacillus* spp. *Bacillus* spp. merupakan bakteri antagonis yang dapat mengendalikan berbagai jenis patogen tanaman. Bakteri *Bacillus* spp. ini umumnya memiliki koloni berbentuk bulat dengan warna putih kusam, memiliki sel berbentuk batang pendek, dan termasuk kedalam bakteri gram positif (Resti et al., 2018).

Mekanisme *Bacillus* spp. dalam menekan pertumbuhan patogen dapat secara langsung dan tidak langsung (Mugiastuti et al., 2019). Mekanisme langsung yaitu berupa kompetisi dan antibiosis. Mekanisme antibiosis berupa kemampuan bakteri menghasilkan senyawa metabolit sekunder yang berperan sebagai senyawa antimikroba. Mekanisme ini dapat dideteksi dengan munculnya zona bening pada uji biakan ganda yang mengindikasikan adanya senyawa penghambat terhadap pertumbuhan patogen (Prihatiningsih et al., 2017; Nurbailis et al., 2019). Senyawa antimikroba yang dihasilkan oleh *Bacillus* spp. dapat diproduksi dengan memperbanyak agens hayati dalam medium cair (Resti et al., 2018).

Keberhasilan *Bacillus* spp. dalam menekan pertumbuhan patogen tanaman telah banyak dilaporkan para peneliti. Putri (2024) melaporkan bahwa *Bacillus Subtilis*, *Bacillus* sp. SJI, dan *Bacillus* sp. HI, mampu menekan pertumbuhan jamur *Phytophthora palmivora* sebesar 86,2%, 95,2%, dan 96,4% dengan kategori penghambatan sangat kuat. Selain itu, dalam penelitian Wihayu (2018) bahwa *Bacillus subtilis*, *Bacillus* sp. HI, *Bacillus cereus* P14, *Bacillus cereus* Se07, dan *Bacillus* sp. SJI, mampu menekan pertumbuhan *Fusarium oxysporum* f.sp. cepae dengan daya hambat 39,62%, 48,88%, 55,18%, 57,03%, dan 59,62%. Penelitian Fatiya (2025) menggunakan metabolit sekunder juga menjelaskan bahwa *Bacillus cereus* Se07 mampu

menekan pertumbuhan *Erwinia* sp. dengan indeks hambat 1,15 mm dan perkembangan gejala busuk lunak buah naga dengan efektivitas 57,16%. Namun, pengujian *Bacillus* spp. terhadap jamur *Botrytis cinerea* belum banyak dilaporkan, sehingga penulis tertarik melakukan penelitian ini. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan metabolit sekunder *Bacillus* spp. yang terbaik menekan pertumbuhan jamur *Botrytis cinerea* Pers. penyebab busuk buah stroberi secara *in vitro* dan *in vivo*.

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi dan Fitopatologi, Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas. Penelitian dilakukan dari bulan Juni - Oktober 2025. Bahan-bahan yang digunakan yaitu buah stroberi yang bergejala penyakit busuk buah, buah stroberi yang sehat (memiliki ciri-ciri tingkat kematangan sama dan ukuran seragam), bakteri *Bacillus cereus* Se07, *Bacillus cereus* P14, *Bacillus* sp. SJI, *Bacillus* sp. HI, dan *Bacillus subtilis* (koleksi Dr. Zurai Resti, SP MP), media *Potato Dextrosa Agar* (PDA), media *Nutrient Agar* (NA), media *Nutrient Broth* (NB), alkohol 70%, daun tembakau, *aquades*, *aluminium foil*, *Kalium Hidroksida* (KOH) 3%, kertas saring, plastik mika, plastik *wrapping*, kertas millimeter, dan *syringe membran filter* 0,22 µm.

Alat-alat yang digunakan adalah tabung reaksi, gelas ukur, *Erlenmeyer*, cawan petri, kaca objek, kaca penutup, batang pengaduk, mikroskop, bunsen, korek api, jarum ose, botol kultur, spatula, pinset, *microtube*, *Laminar Air Flow* (LAF), pipet tetes, *autoclave*, jarum steril, *rotary shaker*, *microwave*, *vortex*, *corkborer* ukuran 5 mm, sumpit, *sentrifuge*, tabung *sentrifuge*, penggaris, pisau, gunting, jarum suntik steril, *papper punch*, alat tulis, dan alat dokumentasi.

2.1 Uji Kemampuan Supernatan *Bacillus* spp. terhadap Penekanan Pertumbuhan Jamur *Botrytis cinerea* Secara *In vitro*

Penelitian terdiri atas 6 perlakuan, 5 ulangan dan masing-masing perlakuan terdapat 5 seri perlakuan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) untuk perhitungan jumlah konidia dan perkecambahan konidia. Perlakuannya menggunakan beberapa supernatan dari *Bacillus* spp yaitu: *Bacillus cereus* Se07, *Bacillus cereus* P14, *Bacillus* sp. SJI, *Bacillus* sp. HI, *Bacillus subtilis*, dan Kontrol (tanpa metabolit sekunder *Bacillus* spp.)

Data pengamatan *in vitro* dianalisis dengan menggunakan Analysis of Variance (ANOVA), jika terdapat perbedaan yang signifikan dilanjutkan dengan uji lanjut *Least Significant Difference* (LSD) pada taraf nyata 5%. Penyajian dan pengolahan data dilakukan menggunakan aplikasi statistik 8. Hasil uji kemampuan supernatan *Bacillus* spp. yang berpotensi menekan pertumbuhan jamur *B. cinerea* akan dilanjutkan pada tahap pengujian *In vivo*.

2.1.1 Persiapan jamur patogen

Persiapan jamur patogen dilakukan dengan mengisolasi jamur *B. cinerea* dari buah stroberi yang menunjukkan gejala busuk buah. Gejala tersebut berupa permukaan buah stroberi terdapat bercak coklat dan terdapat hifa jamur berwarna putih keabuan di permukaan buah. Metode isolasi mengacu pada penelitian Ningsy (2022) yaitu metode tanam langsung (*direct planting method*) dengan cara permukaan kulit buah yang bergejala busuk buah dipotong 1x1 cm² dengan pisau, kemudian sterilisasi permukaan menggunakan *aquades* steril, alkohol 70%, *aquades* steril masing-masing selama 1 menit dan dikering anginkan. Setelah itu, sampel steril diinokulasikan di atas media PDA dan diinkubasi selama 7 hari. Selanjutnya, jamur yang tumbuh dengan warna koloni abu-abu kecokelatan dimurnikan untuk mendapatkan biakan tunggal.

2.1.2 Perbanyakkan dan persiapan supernatan *Bacillus* spp.

Perbanyakkan bakteri *Bacillus* spp. dilakukan dengan cara mengambil satu ose koloni *Bacillus* spp. dimasukkan ke dalam botol kultur yang berisi 25 ml media NB, diinkubasi selama 2x24 jam menggunakan *rotary shaker* dengan kecepatan 150 rpm pada suhu ruang. Persiapan supernatan dari bakteri *Bacillus* spp. dilakukan dengan cara mensentrifugasi masing-masing biakan bakteri *Bacillus* spp. dengan kecepatan 10.000 rpm selama 10 menit. supernatan diambil dan dipisahkan dari pelletnya dengan disaring menggunakan *syringe membran filter* 0,22 µm. Supernatan yang mengandung metabolit sekunder tersebut kemudian disimpan dalam botol kultur untuk digunakan sebagai perlakuan (Resti et al., 2018).

2.1.3 Pengujian *In vitro*

Pengujian *In vitro* menggunakan metode uji peracunan media dengan cara 1 ml supernatan yang telah dipersiapkan dimasukkan ke dalam tabung reaksi berisi 9 ml media PDA cair. Campuran tersebut kemudian dihomogenkan menggunakan *vortex* dan dituangkan ke dalam cawan petri steril. Selanjutnya, isolat *B. cinerea* dipotong menggunakan *corkborer* ukuran 5 mm dan diambil menggunakan spatula dan ditempatkan di atas media PDA dalam cawan petri. Untuk perlakuan kontrol dilakukan dengan 1 ml *aquades* steril dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi berisi 9 ml media cair, dihomogenkan, dan dituang ke dalam cawan petri steril (Rustam et al., 2011). Pengamatan dilakukan sebagai berikut.

2.1.3.1 Luas koloni *B. cinerea*

Perhitungan luas koloni jamur *B. cinerea* dilakukan setiap hari dengan menggunakan kertas millimeter, kemudian hasil pertumbuhan koloni digambar pada plastik transparan hingga koloni jamur pada kontrol memenuhi cawan petri (Begum et al., 2008). Data yang diperoleh selanjutnya dihitung persentase daya hambat menggunakan rumus:

$$\text{Persentase daya hambat} = \frac{\text{luas koloni kontrol} - \text{luas koloni perlakuan}}{\text{luas koloni kontrol}} \times 100 \% \quad (1)$$

Tabel 1. Kategori daya hambat bakteri endofit terhadap jamur *B. cinerea*

Persentase daya hambat	Kriteria	Simbol
>40%	Kuat	+++
40%<x>30%	Sedang	++
<30%	Lemah	+
0%	Tidak ada kemampuan	-

Sumber : (Prastya et al., 2014)

2.1.3.2 Perubahan karakter morfologi jamur *B. cinerea*

Pengamatan dilakukan dengan cara mengamati perubahan terjadi pada karakter makroskopis jamur *B. cinerea* yang diberi perlakuan *Bacillus* spp. dan dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Perubahan yang diamati yaitu penyebaran koloni, warna koloni, arah pertumbuhan, dan ketebalan koloni.

2.1.3.3 Berat segar dan berat kering jamur *B. cinerea*

Pengamatan berat segar dan berat kering jamur *B. cinerea* dilakukan pada hari ke-8 setelah inokulasi. Perhitungan berat segar jamur *B. cinerea* dilakukan dengan cara sebanyak 9 ml larutan HCl 2,5% dituangkan ke dalam cawan petri berisi isolat jamur *B. cinerea*, kemudian disaring menggunakan kertas saring (yang telah ditimbang sebelumnya) dan ditimbang menggunakan timbangan analitik. Berat segar jamur dihitung dengan mengurangi berat kertas saring. Data berat segar dihitung persentase efektivitas berat segar dengan rumus dalam penelitian Riyadi et al. (2008):

$$\text{Efektivitas} = \frac{\text{Berat segar kontrol} - \text{Berat segar perlakuan}}{\text{Berat segar kontrol}} \times 100 \% \quad (2)$$

Perhitungan berat kering jamur dilakukan dengan cara miselium pada perhitungan berat segar dioven selama 2x24 jam pada suhu 60°C. Data berat segar dan kering kemudian dihitung persentase efektivitas berat kering menggunakan rumus dalam penelitian Riyadi et al. (2008):

$$\text{Efektivitas} = \frac{\text{Berat segar kontrol} - \text{Berat kering perlakuan}}{\text{Berat kering kontrol}} \times 100 \% \quad (3)$$

2.1.3.4 Kerapatan konidia

Pengamatan jumlah konidia *B. cinerea* dilakukan pada semua perlakuan menggunakan *haemositometer* tipe *Neubauer Improved*. Perhitungan jumlah berpedoman pada perlakuan kontrol sudah penuh dengan cara membuat suspensi *B. cinerea* yaitu menambahkan 10 ml *aquades* steril ke dalam cawan petri berisi biakan *B. cinerea*. Selanjutnya, koloni dilepaskan menggunakan kuas halus, dimasukkan ke dalam *testube* dan dihomogenkan menggunakan *vortex*. Selanjutnya suspensi *B. cinerea* diteteskan di bidang hitung *haemocytometer* melalui celah di bagian kanan dan kiri *cover glass* hingga bidang hitung terisi penuh, ditunggu selama 1 menit agar posisi stabil. Kemudian diamati menggunakan mikroskop binokuler dengan perbesaran 400× (Suganda et al., 2022).

2.1.3.5 Persentase daya kecambah konidia *B. cinerea*

Pengamatan perkecambahan konidia *B. cinerea* diamati pada semua perlakuan dengan metode hasil *Slide culture* yang telah diinkubasi selama 1x24 jam atau konidia pada pengamatan kontrol berkecambah. Pengamatan perkecambahan konidia dilakukan jika panjang tabung kecambah melebihi setengah panjang konidianya menggunakan mikroskop binokuler perbesaran 400x (Suganda et al., 2022). Persentase daya kecambah konidia dihitung dengan rumus:

$$\text{Daya kecambah konidia} = \frac{\text{jumlah konidia yang berkecambah}}{\text{jumlah konidia yang diamati}} \times 100 \% \quad (4)$$

2.2 Uji Kemampuan Supernatan *Bacillus* spp. Penekanan Perkembangan Penyakit Busuk Buah Stroberi oleh Jamur *B. cinerea* secara *In vivo*

Hasil pengujian *In vitro* menunjukkan ada 4 perlakuan *Bacillus* spp. yang berpotensi menekan pertumbuhan *B. cinerea*. Empat perlakuan ini dilanjutkan untuk uji *In vivo*. Pengujian terdiri 5 perlakuan, 5 ulangan dan 4 unit menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Perlakuan tersebut adalah: *Bacillus cereus* Se07, *Bacillus cereus* P14, *Bacillus* sp. SJI, *Bacillus subtilis*, dan Kontrol (*aquades*). Data pengamatan *In vivo* dianalisis dengan menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA), jika terdapat perbedaan yang signifikan dilanjutkan dengan uji lanjut *Least Significant Difference* (LSD) pada taraf nyata 5%. Penyajian dan pengolahan data dilakukan menggunakan aplikasi statistik 8.

Pengujian dilakukan di laboratorium menggunakan buah stroberi yang diperoleh dari lahan pertanian di Nagari Simpang Tanjuang Nan IV, Kecamatan Danau Kembar, varietas California. Kriteria dari buah adalah: memiliki tingkat kematangan sama, ukuran seragam, dan tidak menunjukkan gejala penyakit. Selanjutnya buah stroberi disterilisasi permukaan dengan alkohol 70% selama 1 menit, kemudian dibilas dengan *aquades* sebanyak 3 kali dan dikering anginkan di atas kertas saring steril. Buah steril dilukai dengan jarum steril pada bagian atas tangkai buah dan bagian bawah dari ujung buah sedalam 1 mm. Kemudian, sampel diletakkan dalam wadah plastik mika berisi tisu yang telah dilembapkan dengan *aquades* steril dan sumpit sebagai penyangga.

Inokulasi supernatan yang mengandung metabolit sekunder *Bacillus* spp. dilakukan dengan cara kertas saring yang telah dipotong dengan *paper punch* diameter 5 mm dicelupkan ke dalam metabolit sekunder di dalam botol kultur, selanjutnya ditempelkan pada bagian permukaan buah stroberi sebanyak 1 lapis, diinkubasi selama 1x24 jam. Setelah 1x24 jam, kertas saring diambil menggunakan pinset yang dilanjutkan dengan inokulasi jamur *B. cinerea*. Inokulasi jamur *B. cinerea* dilakukan dengan cara kertas saring dicelupkan pada suspensi jamur *B. cinerea* dengan kerapatan 10^7 konidia/ml. Kemudian, kertas saring ditempelkan pada titik permukaan, diinkubasi selama 1x24 jam kemudian kertas saring diambil. Dilakukan pengamatan perkembangan gejala penyakit busuk buah stroberi sampai gejala antara titik atas dan bawah di permukaan buah bertemu (Yang et al., 2023).

Pengamatan:

2.2.1 Masa inkubasi

Pengamatan masa inkubasi penyakit busuk buah stroberi dilakukan setiap hari, dimulai sejak hari pertama inokulasi jamur *B. cinerea* sampai gejala awal muncul berupa bercak coklat pada titik inokulasi.

2.2.2 Kejadian penyakit

Pengamatan kejadian penyakit dilakukan untuk mengetahui jumlah buah sampel yang menunjukkan gejala penyakit busuk. Kejadian penyakit diukur setiap hari mulai dari setelah inokulasi sampai 6 hari setelah inokulasi. Persentase kejadian penyakit dihitung menggunakan rumus dalam penelitian (Hamdayanty et al., 2016):

$$KP = \frac{\text{Jumlah buah terinfeksi penyakit}}{\text{Jumlah buah yang diamati}} \times 100 \% \quad (5)$$

2.2.3 Luas gejala penyakit busuk buah *B. cinerea*

Pengamatan dilakukan setiap hari dimulai dari 1 hari setelah inokulasi sampai 6 hari setelah inokulasi. Pengamatan dilakukan dengan menggambarkan luas gejala busuk buah pada plastik bening, kemudian diukur menggunakan kertas millimeter.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Kemampuan Supernatan *Bacillus* spp. terhadap Penekanan Pertumbuhan Jamur *Botrytis cinerea* Secara *In vitro*

3.1.1 Luas koloni *B. cinerea*

Hasil analisis ragam dari uji kemampuan supernatan *Bacillus* spp. dalam menekan pertumbuhan jamur *B. cinerea* menunjukkan bahwa supernatan yang mengandung metabolit sekunder *Bacillus* spp. memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan koloni *B. cinerea* (Tabel 2). Empat perlakuan metabolit sekunder *Bacillus* spp. yaitu *Bacillus* sp. SJI, *Bacillus cereus* Se07, *Bacillus cereus* P14, dan *Bacillus subtilis* mampu menekan luas koloni jamur *B. cinerea* yang berbeda nyata dengan kontrol. Sedangkan perlakuan *Bacillus* sp. HI tidak berbeda nyata dengan perlakuan kontrol dan *Bacillus* sp. SJI.

Tabel 2. Luas koloni *B. Cinerea* yang diperlakukan dengan metabolit sekunder *Bacillus* spp. (8 hsi)

Perlakuan	Luas koloni (cm ²)	Efektivitas (%)	Kriteria daya hambat
Kontrol	61,70 a	00,00	-
<i>Bacillus</i> sp. HI	49,32 ab	20,06	Lemah
<i>Bacillus</i> sp. SJI	38,87 bc	37,00	Sedang
<i>Bacillus cereus</i> Se07	33,13 c	46,30	Kuat
<i>Bacillus cereus</i> P14	30,18 c	51,08	Kuat
<i>Bacillus subtilis</i>	27,74 c	55,04	Kuat

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

Perlakuan *Bacillus subtilis* menunjukkan kemampuan paling tinggi dalam menekan luas koloni jamur dengan efektivitas sebesar 55,04%, diikuti oleh *Bacillus cereus* P14 (51,08%) dan *Bacillus cereus* Se07 (46,30%). Sementara itu, *Bacillus* sp. SJI menekan pertumbuhan koloni sebesar 37,00%, dan *Bacillus* sp. HI sebesar 20,06%. Perbedaan tingkat penghambatan ini menunjukkan bahwa masing-masing isolat menghasilkan metabolit sekunder yang bervariasi kemampuannya dalam menghambat pertumbuhan *B. cinerea*. Menurut Sreedharan et al. (2023), aktivitas antijamur *Bacillus* spp. umumnya disebabkan oleh senyawa lipopeptida seperti iturin, surfaktin, dan fengisin, serta enzim hidrolitik seperti kitinase dan protease. Senyawa-senyawa tersebut berperan dalam merusak integritas dinding dan membran sel jamur, menghambat pertumbuhan hifa, dan mengganggu metabolisme patogen. Chen et al. (2007) juga menjelaskan bahwa lipopeptida dapat menyebabkan kebocoran membran dan denaturasi protein dinding sel, yang pada akhirnya menghambat pertumbuhan jamur. Dari hasil penelitian sebelumnya, supernatan yang mengandung metabolit sekunder bakteri *Bacillus* spp. juga mampu menghambat beberapa patogen seperti dalam penelitian Putri (2024) menyatakan bahwa *Bacillus* sp. HI dan *Bacillus subtilis* menunjukkan kemampuan paling tinggi dalam menekan pertumbuhan *Phytophthora palmivora* pada buah kakao sebesar 96,4% dan 95,2%. Zandini (2025) juga menyatakan bahwa *Bacillus subtilis* memiliki efektivitas tertinggi sebesar 72,03% dalam menekan pertumbuhan jamur *Stemphylium vesicarium* pada bawang merah.

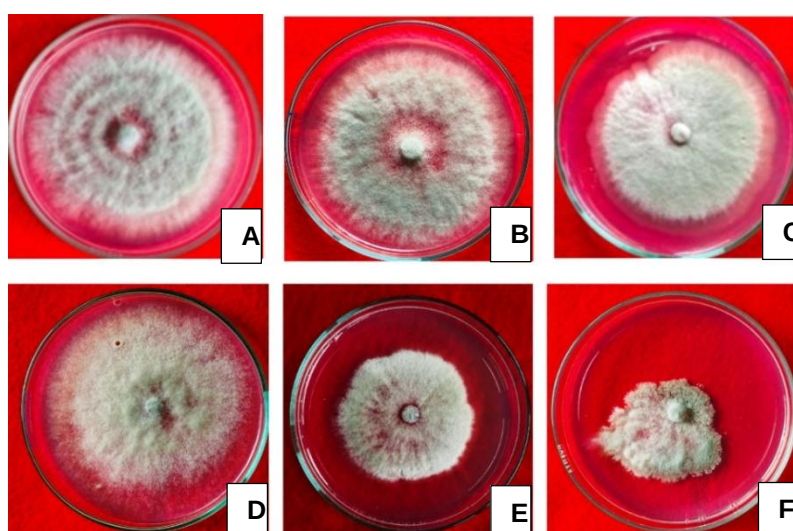
3.1.2 Perubahan karakter morfologi jamur *B. cinerea*

Perlakuan supernatan *Bacillus* spp. Menyebabkan terjadinya perubahan morfologi jamur *B. cinerea* seperti penyebaran dan pertumbuhan koloni jamur terhambat, menumpuk dibagian tengah dan tidak adanya lingkaran konsentris (*Bacillus cereus* Se07, *Bacillus cereus* P14, dan

Bacillus Subtilis), perubahan warna menjadi putih (*Bacillus cereus* P14 dan *Bacillus subtilis*), dan ketebalan koloni menjadi tipis (*Bacillus cereus* P14 dan *Bacillus subtilis*), dapat dilihat pada (Tabel 3) dan (Gambar 1).

Tabel 3. Perubahan karakter makroskopis jamur *B. cinerea* diberikan perlakuan supernatan yang mengandung metabolit sekunder *Bacillus* spp. (8 hari setelah inkubasi)

No	Perlakuan	Arah pertumbuhan	Warna koloni	Ketebalan koloni
A	Kontrol	Menyebar ke atas dan merata ke samping dengan lingkaran konsentris	Abu-abu	Tebal
B	<i>Bacillus</i> sp. HI	Menyebar ke atas dan merata ke samping tanpa ada lingkaran konsentris	Abu-abu kehijauan	Tebal
C	<i>Bacillus</i> sp. SJI	Menyebar ke atas dan merata ke samping tanpa ada lingkaran konsentris	Putih keabuan	Tebal
D	<i>Bacillus cereus</i> Se07	Menyebar ke atas, menumpuk dibagian tengah dan tidak ada lingkaran konsentris	Hijau keabuan	Tebal
E	<i>Bacillus cereus</i> P14	Menyebar ke atas, tipis di tengah, dan tidak ada lingkaran konsentris	Putih	Tipis
F	<i>Bacillus Subtilis</i>	Tidak konsentris, tipis ditengah dan pertumbuhan menumpuk di beberapa titik	Putih	Tipis



Gambar 1. Hasil pengamatan karakteristik jamur *B. cinerea* yang diberi perlakuan metaboit sekunder *Bacillus* spp. (8 hsi). (A) Kontrol; (B) *Bacillus* sp. HI; (C) *Bacillus* sp. SJI; (D) *Bacillus cereus* Se07; (E) *Bacillus cereus* P14; (F) *Bacillus Subtilis*

Perubahan bentuk karakter morfologi ditandai oleh pola penyebaran koloni yang tidak teratur dengan hilangnya lingkaran konsentris, pertumbuhan koloni yang menumpuk pada bagian tengah, perubahan warna koloni, serta penurunan ketebalan koloni menjadi lebih tipis (Tabel 3. dan Gambar 1.). Perubahan ini diduga adanya gangguan fisiologis akibat paparan senyawa metabolit sekunder yang bersifat anti jamur yaitu kitinase dan glukukanase (Elfina et al., 2024). Sibagariang (2019) menyatakan enzim kitinase yang dihasilkan mampu menghidrolisis ikatan kitin yaitu polisakarida utama penyusun dinding sel jamur dan glukukanase yang merupakan komponen penting dinding sel jamur (menguraikan enzim) sehingga menghambat pertumbuhan hifa menyebabkan hifa tipis dan tumbuh sangat lambat.

3.1.3 Berat segar dan berat kering jamur *B. cinerea*

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan supernatan *Bacillus* spp. memberikan pengaruh berbeda nyata terhadap berat basah dan berat kering koloni *B. cinerea*. Pada Tabel 4. dapat dilihat bahwa semua perlakuan supernatan *Bacillus* spp. mempengaruhi berat segar *B. cinerea*, namun hanya 4 perlakuan (*Bacillus* sp. SJI, *Bacillus cereus* Se07, *Bacillus cereus* P14, dan *Bacillus subtilis*) yang mempengaruhi berat kering *B. cinerea* dan berbeda nyata dengan kontrol. Perlakuan yang paling berpotensi terhadap berat segar jamur yaitu perlakuan *Bacillus subtilis* dengan berat segar 1,36 g, dibandingkan dengan berat segar kontrol 3,01 g. Sedangkan pada berat kering perlakuan yang paling berpotensi yaitu *Bacillus subtilis* dan *Bacillus cereus* P14 dengan berat kering 0,93 g dibandingkan dengan kontrol 1,04 g.

Tabel 4. Berat Segar dan Berat Kering jamur *B. cinerea* terhadap perlakuan metabolit sekunder *Bacillus* spp.

Perlakuan	Berat segar (g)	Efektivitas (%)	Berat kering (g)	Efektivitas (%)
Kontrol	3,01 a	00,00	1,04 a	0,00
<i>Bacillus</i> sp. HI	2,24 b	25,58	1,01 ab	2,88
<i>Bacillus</i> sp. SJI	1,93 bc	35,88	0,99 b	4,80
<i>Bacillus cereus</i> Se07	1,84 bc	38,87	0,97 bc	6,73
<i>Bacillus cereus</i> P14	1,38 c	54,15	0,93 c	10,57
<i>Bacillus subtilis</i>	1,36 c	54,81	0,93 c	10,57

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

Hasil pengukuran berat segar dan berat kering koloni *B. cinerea* memperkuat bukti bahwa supernatan yang mengandung metabolit sekunder *Bacillus* spp. memiliki efek penekanan terhadap pertumbuhan dan massa jamur. Perlakuan *Bacillus cereus* P14 dan *Bacillus subtilis* merupakan perlakuan yang berbeda nyata antar perlakuan yang lainnya dan kontrol dengan menurunkan berat segar *B. cinerea* hingga 54,15% dan 54,81% serta berat kering sebesar 10,57% (Tabel 4). Penurunan biomassa ini mencerminkan gangguan aktivitas metabolisme jamur, yang salah satunya disebabkan oleh produksi siderofor oleh *Bacillus subtilis*. Siderofor salah satunya berperan sebagai stimulus bagi *Bacillus subtilis* untuk meningkatkan senyawa antifungal yang menyebabkan membran sel jamur rusak dan menghambat pembentukan hifa sehingga massa total miselium berkurang (Prihatiningsih et al., 2017).

3.1.4 Kerapatan konidia dan konidia berkecambah

Jumlah konidia terbentuk dan konidia berkecambah jamur *B. cinerea* yang didapatkan berbeda nyata antar perlakuan dan kontrol. Perlakuan *Bacillus subtilis* menghasilkan jumlah konidia terendah sebesar $9,44 \times 10^7$ konidia/ml, dan menghasilkan daya kecambah terendah sebesar 17,31%, berbeda nyata dengan perlakuan lainnya (Tabel 5).

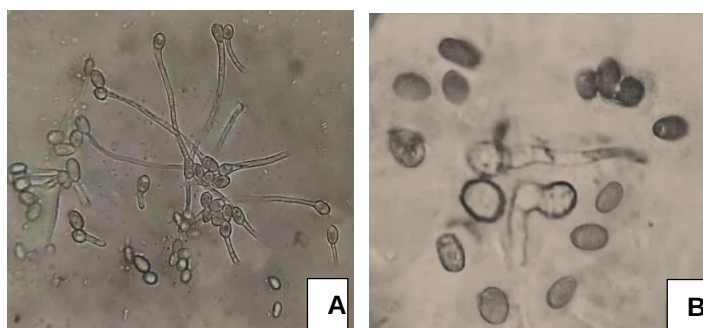
Tabel 5. Jumlah konidia jamur *B. cinerea* pada perlakuan supernatan yang mengandung metabolit sekunder *Bacillus* spp. (Inkubasi 8 hari).

Perlakuan	Terbentuk x 10 ⁷ /ml		Daya kecambah (%)	
Kontrol	54,72	a	76,71	a
<i>Bacillus</i> sp. HI	40,80	b	63,08	b
<i>Bacillus</i> sp. SJI	30,08	c	54,66	c
<i>Bacillus cereus</i> Se07	25,12	d	42,13	d
<i>Bacillus cereus</i> P14	16,48	e	34,26	e
<i>Bacillus subtilis</i>	9,44	f	17,31	f

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

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pengaplikasian metabolit sekunder bakteri *Bacillus* spp. memberikan pengaruh nyata terhadap kerapatan konidia jika dibandingkan dengan kontrol. Perlakuan kontrol menghasilkan kerapatan konidia tertinggi yaitu sebesar $54,72 \times 10^7/\text{ml}$, dan secara statistik berbeda nyata dengan seluruh perlakuan. Tingginya kerapatan konidia pada kontrol menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa perlakuan, patogen mampu berkembang secara optimal. Pemberian bakteri *Bacillus* spp. dapat menurunkan kerapatan konidia antar perlakuan secara signifikan. Sedangkan perlakuan *Bacillus subtilis* menghasilkan jumlah konidia terendah sebesar $9,44 \times 10^7/\text{ml}$. Terhambatnya pembentukan konidia *B. cinerea* diduga berkaitan dengan kemampuan *Bacillus subtilis* dalam menghasilkan senyawa antimikroba secara efektif, sehingga bakteri ini memiliki kemampuan beradaptasi dan bertahan hidup yang tinggi pada media pertumbuhan (Sha et al., 2020).

Pengamatan daya kecambah memberikan pengaruh berbeda nyata antar perlakuan, yang dimana perlakuan *Bacillus subtilis* menghasilkan daya kecambah terendah sebesar 17,31% dan perlakuan kontrol menghasilkan daya kecambah tertinggi sebesar 76,71% (Tabel 5). Penurunan daya kecambah konidia menunjukkan bahwa senyawa metabolit sekunder mampu menghambat proses fisiologis awal perkecambahan, terutama pada tahap pembentukan tabung kecambah. Hal ini diduga karena adanya kerusakan pada dinding sel dan membran plasma akibat paparan senyawa antibiotik. Chen et al. (2007) menjelaskan bahwa surfaktan dan iturin dari *Bacillus* mampu merusak integritas membran sel spora jamur, menyebabkan kebocoran sitoplasma, dan menghambat inisiasi perkecambahan. Resti et al. (2020) menambahkan bahwa aktivitas kitinase dan protease dari *Bacillus* spp. dapat mendegradasi komponen struktural dinding sel konidia sehingga spora gagal tumbuh menjadi miselium baru. Pengaruh perlakuan metabolit sekunder *Bacillus* spp. terhadap daya kecambah konidia jamur *B. cinerea* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Perkecambahan konidia jamur *B. cinerea* (2 hari setelah inkubasi) pada perbesaran 400x. (A) konidia yang berkecambah pada perlakuan kontrol; (B) konidia yang berkecambah pada perlakuan *Bacillus subtilis*

3.2 Uji Kemampuan Supernatan *Bacillus* sp. Penekanan Perkembangan Penyakit Busuk Buah Stroberi oleh Jamur *B. cinerea* secara *In vivo*

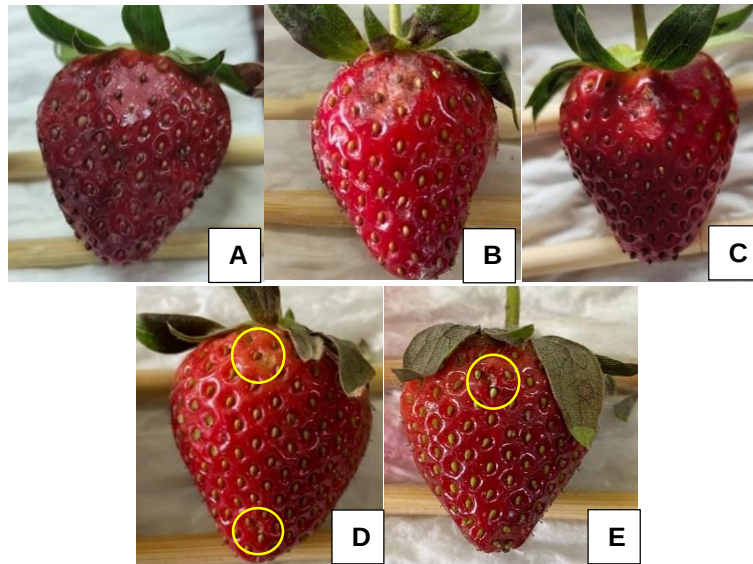
Hasil analisis ragam menunjukkan perlakuan menggunakan supernatan *Bacillus* spp. memberikan pengaruh berbeda nyata terhadap perkembangan gejala busuk buah stroberi (Tabel 6).

Tabel 6. Perkembangan gejala busuk buah stroberi setelah diberikan perlakuan supernatan yang mengandung metabolit sekunder *Bacillus* spp. (5 hari setelah inokulasi)

Perlakuan	Masa inkubasi (hari)	Kejadian Penyakit (%)	Luas gejala (mm ²)
<i>Bacillus subtilis</i>	5,80 a	100	6,02 a
<i>Bacillus cereus</i> P14	3,80 b	100	7,82 ab
<i>Bacillus cereus</i> Se07	3,80 b	100	9,41 bc
<i>Bacillus</i> sp. SJI	3,20 b	100	10,46 c
Kontrol	2,80 b	100	11,10 c

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

Berdasarkan Tabel 6. perlakuan menggunakan supernatan *Bacillus subtilis* berbeda nyata antar perlakuan dengan masa inkubasi paling lama sebesar 5,80 hari. Perlakuan *Bacillus cereus* P14, *Bacillus cereus* Se07, *Bacillus* sp. SJI dan kontrol berbeda tidak nyata antar perlakuan, tetapi berbeda nyata dengan perlakuan *Bacillus subtilis*. Perlakuan menggunakan supernatan *Bacillus* spp. tidak berpengaruh pada kejadian penyakit. Setiap titik luka menunjukkan gejala awal berupa bercak cokelat kecil yang lama kelamaan meluas sehingga buah menjadi busuk. Gejala awal busuk buah stroberi dapat dilihat pada Gambar 3.

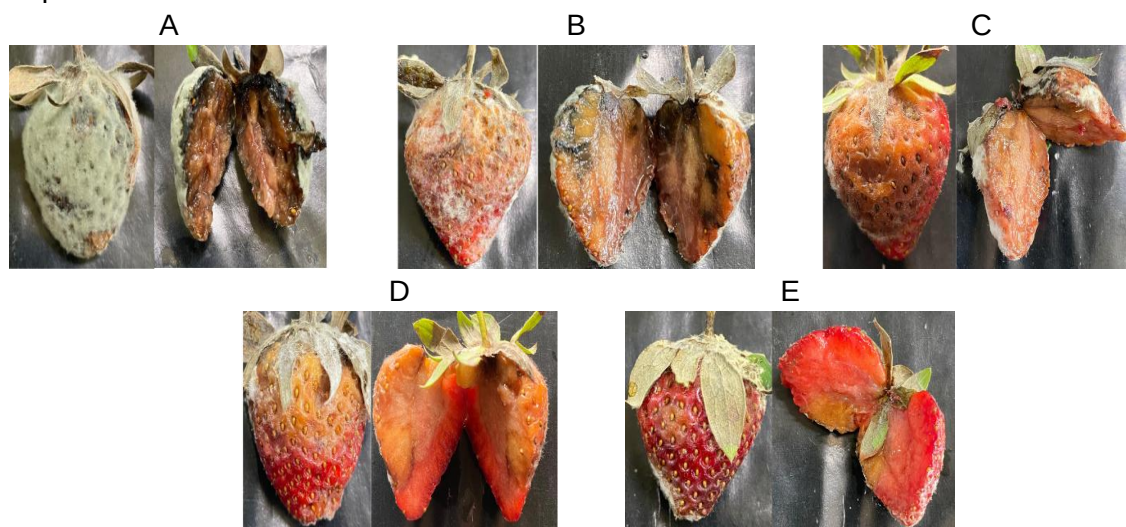


Gambar 3. Gejala awal busuk buah stroberi, A) Kontrol (1hsi); B) *Bacillus* sp. SJI (1hsi); C) *Bacillus cereus* Se07 (1hsi); D) *Bacillus cereus* P14 (2hsi); E) *Bacillus subtilis* (2hsi)

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa terdapat dua perlakuan yang dapat menunda masa inkubasi penyakit busuk buah stroberi. Pada perlakuan kontrol, gejala awal penyakit muncul pada hari pertama setelah inokulasi. Hal ini terlihat dari perubahan warna jaringan buah yang mulai menunjukkan kelunakan dan bercak kecil khas infeksi awal (Gambar 3A). Perlakuan *Bacillus* sp. SJI dan *Bacillus cereus* Se07 terlihat bahwa gejala timbul dihari ke-1 ditandai dengan bercak awal sudah terbentuk dalam waktu yang sama dengan kontrol, meskipun intensitas gejala tampak lebih ringan dibandingkan kontrol. Hal ini mengindikasikan bahwa kedua isolat tersebut belum

mampu memperpanjang masa inkubasi patogen, tetapi masih memberikan pengaruh dalam menghambat perkembangan gejala. Perlakuan *Bacillus cereus* P14 dan *Bacillus subtilis* menunjukkan hasil yang berbeda antar perlakuan sebelumnya dan kontrol, di mana gejala awal busuk buah baru muncul pada hari ke-2 setelah inokulasi. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan *Bacillus cereus* P14 dan *Bacillus subtilis* mampu memperpanjang masa inkubasi patogen dan menunda munculnya gejala awal penyakit.

Perlakuan supernatan *Bacillus* spp. memberikan pengaruh yang berbeda terhadap luas gejala busuk buah stroberi (Tabel 6). Hasil ini menunjukkan bahwa di antara seluruh perlakuan supernatan *Bacillus* spp. yang diuji, *Bacillus subtilis* merupakan bakteri yang paling berpotensi dalam menekan perkembangan gejala busuk buah dengan luas gejala terendah yaitu 6,02 mm² dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Perkembangan luas gejala busuk buah hari ke-5 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Gejala busuk pada bagian dalam dan bagian luar buah stroberi (5 hsi), (A) Kontrol; (B) *Bacillus* sp. SJI; (C) *Bacillus cereus* Se07; (D) *Bacillus cereus* P14; (E) *Bacillus subtilis*

Perlakuan supernatan *Bacillus subtilis* merupakan perlakuan terbaik dalam menekan perkembangan gejala busuk buah, yang ditunjukkan oleh perpanjangan masa inkubasi sebesar 5,80 hari dengan gejala awal berupa bercak cokelatan yang muncul pada hari ke-2 setelah inokulasi, dan luas gejala terendah dibandingkan perlakuan lainnya sebesar 6,02 mm² (Tabel 6. dan Gambar 4). Penelitian ini sejalan dengan Caretta et al. (2025) yang melaporkan bahwa *Bacillus subtilis* mempunyai surfaktan yang bersifat antijamur mampu menghambat pertumbuhan *Aspergillus* sp. pada buah stroberi, memperpanjang umur simpan buah, dan penurunan tingkat keparahan penyakit mencapai 80% setelah 15 hari penyimpanan pada suhu 4°C. Penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa supernatan mampu menghambat gejala busuk pada buah seperti Putri (2024) menyatakan supernatan yang mengandung metabolit sekunder *Bacillus* sp. HI menghasilkan luas gejala busuk buah terendah dibandingkan perlakuan lainnya sebesar 2,45 cm². Fatiya (2025) juga menyatakan metabolit sekunder *Bacillus cereus* Se07 menghasilkan luas gejala busuk lunak pada batang buah naga terendah sebesar 67,66 mm². Efektivitas supernatan dalam menekan luas gejala busuk buah stroberi diduga disebabkan oleh kemampuan senyawa antibiotik menghambat enzim pektinase dan poligalakturonase yang dihasilkan *B. cinerea* saat menginfeksi jaringan buah. Enzim tersebut berperan dalam degradasi dinding sel tanaman

selama proses infeksi (Petrasch et al., 2019). Dengan terhambatnya kerja enzim tersebut, proses pelunakan jaringan buah melambat, sehingga penyebaran gejala penyakit menjadi lebih terbatas.

Hasil uji *In vitro* lebih efektif dibandingkan uji *In vivo*. Rendahnya efektivitas *In vivo* dibandingkan *In vitro* diduga disebabkan oleh faktor lingkungan dan kondisi buah stroberi yang mendukung pertumbuhan jamur. Buah stroberi memiliki kadar air tinggi, pH rendah, interaksi mikroba lain serta kandungan gula yang mendukung aktivitas patogen. Selain itu, senyawa metabolit seperti lipopeptida bersifat tidak stabil pada permukaan buah dan mudah terdegradasi oleh enzim oksidatif (Rahmawati et al., 2023). Uji *In vitro* menunjukkan penghambatan kuat karena dilakukan dalam kondisi laboratorium yang terkendali. Namun, kedua tahap uji tersebut menunjukkan arah hasil yang sama, yaitu metabolit sekunder *Bacillus* spp. mampu menekan pertumbuhan *B. cinerea*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, perlakuan supernatan *Bacillus cereus* Se07, *Bacillus cereus* P14, dan *Bacillus subtilis* mampu menekan pertumbuhan *Botrytis cinerea* secara *In vitro*. Perlakuan tersebut menghasilkan luas koloni masing-masing sebesar 33,13 cm², 30,18 cm², dan 27,74 cm² dengan persentase daya hambat berturut-turut sebesar 46,30%, 51,08%, dan 55,04% yang termasuk dalam kriteria kuat. Penghambatan pertumbuhan koloni ini sejalan dengan penurunan daya kecambah konidia *B. cinerea* terendah pada perlakuan supernatan *Bacillus subtilis* sebesar 17,31%, sehingga mampu membatasi reproduksi dan potensi infeksi patogen. Kondisi tersebut berkorelasi dengan hasil pengujian *In vivo*, di mana perlakuan supernatan *Bacillus subtilis* menghasilkan luas gejala busuk terendah pada buah stroberi sebesar 6,02 mm².

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi melalui LPPM UNAND sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penguasaan Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT) yang telah mendanai penelitian ini dengan Nomor kontrak 290/UN16.19/PT.01.03/PSS/2025.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Ansiska, P., Anggraini, S., Sari, I. M., Windari, E. H., & Oktoyoki, H. (2023). Isolasi dan Identifikasi Jamur Patogen Buah Stroberi Selama Penyimpanan. *Jurna Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(1), 34–39. <https://doi.org/10.31186/jipi.25.1.34-39>
- Badan Pusat Statistik (BPS). (2024). *Statistik Hortikultura* 2024.
- Barakat, I., Chtaina, N., Caidi, K., & Bentata, F. (2024). Biocontrol of Grey Mold on Strawberry Fruit by *Bacillus* spp. and Study of the Mechanisms Involved. *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture*, 39(2), 311–320.
- Begum, M. M., Sariah, M., Abidin, M. A. Z., Puteh, A. B., & Rahman, M. A. (2008). Antagonistic potential of selected fungal and bacterial biocontrol agents against *Colletotrichum truncatum* of soybean seeds. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 31(1), 45–53.
- Caretta, T. D. O., Unterholzner, M., Zuluaga, M. Y. A., Spitaler, U., Ceccon, A., Cesco, S., & Pii, Y. (2025). Antifungal activity of surfactin produced by *Bacillus subtilis* against phytopathogenic fungi in apple and strawberry: an *in vitro* and *in vivo* study. *Internasional Journal of Food Science and Technology*, 60(1), 1–12.

- Chen, X., Koumoutsis, A., Scholz, R., Eisenreich, A., Hess, W. R., Reva, O., Junge, H., Liesegang, H., Strittmatter, A., Voigt, B., Jungblut, P. R., Vater, J., Su, R., Gottschalk, G., & Borriss, R. (2007). Comparative analysis of the complete genome sequence of the plant growth – promoting bacterium *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42. *Nature Biotechnology*, 25(1), 1007–1014. <https://doi.org/10.1038/nbt1325>
- Elfina, Y., Sukendi, Efriyeldi, & Sutikno, A. (2024). Uji Kemampuan *Bacillus* spp. dalam Menghambat *Ganoderma boninense* Pat. Penyebab Penyakit Busuk Pangkal Batang Kelapa Sawit secara *in vitro*. *Agro Bali : Agricultural Journal*, 7(2), 575–590.
- Fatiya, S. P. (2025). Efektivitas Metabotik sekunder Beberapa Spesies *Bacillus* Untuk Menekan Perkembangan Gejala Busuk Lunak Pada Batang Buah Naga. Universitas Andalas.
- Hamdayanty, Yunita, R., Amin, N. N., & Damayanti, T. A. (2016). Pemanfaatan Kitosan untuk Mengendalikan Antraknosa pada Pepaya (*Colletotrichum gloeosporioides*) dan Meningkatkan Daya Simpan Buah. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 8(4), 97–102. <https://doi.org/10.14692/jfi.8.4.97>
- Liferdi. (2023). *Budi Daya Stroberi*. In Pertanian Press.
- Mugiastuti, E., Manan, A., Rahayuniati, R. F., & Soesanto, L. (2019). Aplikasi *Bacillus* sp. Untuk Mengendalikan Penyakit Layu Fusarium Pada Tanaman Tomat. *Jurnal Agro*, 6(2), 144–152.
- Ningsy, yosridha restu. (2022). Potensi Isolat Khamir Epifit Indigenous Untuk Pengendalian Penyakit Busuk Buah (*Botrytis cinerea* Pers.) Pada Stroberi. Universitas Andalas.
- Nurbailis, Djamaan, A., Rahma, H., & Liswarni, Y. (2019). Potential of culture filtrate from *Trichoderma* spp. as biofungicide to *Colletotrichum gloeosporioides* causing anthracnose disease in chili. *Biodiversitas*, 20(10), 2915–2920. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d201020>
- Petrash, S., Knapp, S. J., van Kan, J. A. L., & Blanco-Ulate, B. (2019). Grey mould of strawberry, a devastating disease caused by the ubiquitous necrotrophic fungal pathogen *Botrytis cinerea*. *Molecular Plant Pathology*, 20(6), 877–892. <https://doi.org/10.1111/mpp.12794>
- Prastya, M. E., Supriyadi, A., & Kusdiyantini, E. (2014). Eksplorasi Rhizobakteri Indigenous Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* Linn.) Dari Pertanian Semi Organik Desa Batur Kabupaten Semarang Sebagai Agen Hayati Pengendali Pertumbuhan Jamur *Fusarium oxysporum* f.sp *capsici*. *Jurnal Biologi*, 3(3), 18–31.
- Prihatiningsih, N., Djamiko, H. A., & Lestari, P. (2017). Aktivitas Siderofor *Bacillus Subtilis* Sebagai Pemacu Pertumbuhan Dan Pengendali Patogen Tanaman Terung. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 17(2), 170–178. <https://doi.org/10.23960/j.hptt.217170-178>
- Putri, P. (2024). Uji Antagonis Bakteri Endofit *Bacillus* spp. Terhadap Perkembangan Jamur *Phytophthora palmivora* (Bultl) dan Gejala Busuk Buah Kakao. Universitas Andalas.
- Rahmawati, R., Mukarlina, M., Zakiah, Z., Khotimah, S., Linda, R., Turnip, M., Nugraheni, D. K., Meilani, L. D., Indriani, A., & Prawiga, B. D. (2023). Edukasi Penggunaan Metabolit Sekunder Mikroba sebagai Biopestisida untuk Ketahanan Tanaman Bagi Ibu-Ibu Petani di Desa Sungai Kakap Kabupaten Kubu Raya. I-Com: *Indonesian Community Journal*, 3(4), 1583–1590. <https://doi.org/10.33379/icom.v3i4.3259>
- Resti, Z., Habazar, T., Putra, D. P., & Nasrun. (2018). Characterization Of Endophytic *Bacillus* Isolated From Shallot Root As Biocontrol Of Bacterial Leaf Blight Disease. *Journal HPT Tropika*, 18(1), 31–38. <https://doi.org/10.23960/j.hptt.11831-38>
- Resti, Z., Liswarni, Y., & Martinius. (2020). Endophytic Bacterial Consortia as Biological Control Of Rice (*Oryza sativa* L.). *Of Applied Agricultural Science and Technology* 4, 4(2), 134–145.

- Riyadi, A. S., Soesanto, L., & Kustantinah. (2008). Virulensi *Fusarium oxysporum* f.sp. *zingiberi* Isolat Bayolali dan Temanggung Setelah Disimpan Enam Tahun Dalam Tanah Steril. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 14(2), 80–85.
- Rustam, Giyanto, Wiyono, S., Santosa, D. A., & Susanto, S. (2011). Seleksi dan Identifikasi Bakteri Antagonis sebagai Agens Pengendali Hayati Penyakit Hawar Pelepah Padi. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 30(3), 164–171.
- Sha, Y., Huang, Y., Zhu, Y., Sun, T., Luo, Z., Qiu, Y., Zhan, Y., Lei, P., Li, S., & Xu, H. (2020). Efficient Biosynthesis of Low-Molecular-Weight Poly- γ -glutamic Acid Based on Stereochemistry Regulation in *Bacillus amyloliquefaciens*. *ACS Synthetic Biology*, 9(6), 1395–1405. <https://doi.org/10.1021/acssynbio.0c00080>
- Sibagariang, A. (2019). Uji Potensi Bakteri Antagonis Sebagai Agen Pengendalian Hayati Penyakit Layu *Fusarium* dan Pemacu Pertumbuhan Tanaman Krisan (*Chrysanthemum* sp.). Universitas Sumatera Utara.
- Suganda, T., Fahmi, R. B., & Hidayat, Y. (2022). Uji Keefektifan Ekstrak Air Biji Adas dalam Menekan Pertumbuhan Koloni, Produksi, dan Perkecambahan Konidia Jamur *Alternaria solani*, Penyebab Penyakit *Bercak Coklat* pada Tanaman Tomat. *Agrikultura*, 33(2), 170.
- Sreedharan, S. M., Rishi, N., & Singh, R. (2023). Microbial lipopeptides: Properties, mechanics and engineering for novel lipopeptides. *Microbiological Research*, 271, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127363>
- Wihayyu, A. (2018). Uji Antagonis Bakteri Endofit Terhadap *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae* Penyebab Penyakit Moler Pada Tanaman Bawang Merah. Universitas Andalas.
- Yan, J., Wu, H., Chen, K., Feng, J., & Zhang, Y. (2021). Antifungal Activities and Mode of Action of Cymbopogon Essential Oil Vapors against *Botrytis cinerea* and Their Potential Application to Control Postharvest Strawberry Gray Mold. *Foods*, 10(2451), 1–15.
- Yang, P., Zhao, Z., Virag, A., Becker, T., Zhao, L., Liu, W., & Xia, Y. (2023). *Botrytis cinerea* in vivo Inoculation Assays for Early, Middle and Late stage Strawberries. *Bio-Protocol*, 13(20), 1–10.
- Zandini, W. F. (2025). Uji Antagonis Bakteri Endofit Terhadap Pertumbuhan Jamur *Stemphylium vesicarium* (Wallr.) Simmons. Penyebab Penyakit Hawar Daun *Stemphylium* Pada Tanaman Bawang Merah. Universitas Andalas.