

Artikel Penelitian

Isolasi Bakteri Rhizosfer Tanaman Padi dan Uji kemampuan Antagonisnya terhadap *Helminthosporium* sp secara *in-vitro*

Wawan Setiawan

Jurusan Pertanian, Program Studi Teknologi Produksi Tanaman Pangan, Politeknik Negeri Subang, Subang, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 25 Desember 2025
Revisi Akhir: 13 Januari 2026
Diterbitkan *Online*: 14 Januari 2026

KATA KUNCI

Antagonis
Bakteri
Pestisida Hayati
Patogen

KORESPONDENSI

Phone: +62 813-1118-5971
E-mail: wawan.setiawan120693@gmail.com

A B S T R A K

Bakteri rhizosfer berperan penting dalam meningkatkan kesehatan tanaman, salah satunya melalui kemampuan antagonistik terhadap patogen tular tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi, mengkarakterisasi, dan mengevaluasi potensi antagonistik bakteri rhizosfer dari tanah sawah di Kecamatan Cibogo, Kabupaten Subang, terhadap patogen uji secara *in vitro*. Sebanyak 30 isolat bakteri berhasil diisolasi, dimurnikan, dan dikarakterisasi berdasarkan morfologi koloni. Hasil karakterisasi menunjukkan dominasi koloni berbentuk circular dengan tepi entire, elevasi convex hingga umbonate, serta variasi warna koloni meliputi putih, putih tulang, cream, kuning, orange, dan pink, yang mengindikasikan keragaman fenotipik bakteri rhizosfer. Uji antagonisme menunjukkan bahwa empat isolat, yaitu S10, S11, S12, dan S18, mampu menghambat pertumbuhan patogen uji yang ditandai dengan terbentuknya zona hambat. Lebar zona hambat yang dihasilkan berkisar antara 1,0–1,4 cm, dengan isolat S18 menunjukkan aktivitas antagonistik tertinggi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bakteri rhizosfer dari tanah sawah Cibogo memiliki potensi sebagai agen pengendali hayati, khususnya isolat S18, namun diperlukan pengujian lanjutan secara *in vivo* untuk memastikan efektivitas dan kestabilan kinerjanya.

PENDAHULUAN

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan komoditas pangan utama di Indonesia dengan produksi mencapai 53,14 juta ton pada tahun 2024 (BPS, 2025). Produktivitas tanaman padi sering mengalami fluktuasi akibat penyakit tanaman (Degani, 2025). Salah satunya penyakit penting padi adalah bercak cokelat yang disebabkan oleh *Helminthosporium* sp (Surendhar dkk., 2021). Penyakit ini dapat ditemukan pada berbagai fase pertumbuhan dan menyebabkan gejala bercak berwarna cokelat hingga kehitaman pada daun, yang berdampak pada menurunnya luas bidang fotosintesis serta hasil panen secara signifikan (Maura dkk., 2024).

Pengendalian penyakit bercak cokelat secara umum masih mengandalkan penggunaan fungisida kimia, dengan konsumsi 3,73 juta ton pada tahun 2023 (FAO, 2023). Penggunaan fungisida kimia terbukti efektif, namun penggunaannya secara terus-menerus berpotensi menimbulkan dampak negatif, seperti resistensi patogen, residu pestisida, serta menurunnya mikroorganisme non-target. Dalam jangka waktu panjang, tentu pendekatan ini tidak akan lagi relevan mengingat dorongan terhadap pertanian berkelanjutan semakin menguat (Tudi dkk., 2021).

Bakteri rhizosfer dikenal sebagai kelompok mikroorganisme yang hidup dan berasosiasi erat dengan perakaran tanaman. Bakteri ini telah banyak dilaporkan memiliki potensi sebagai agen pengendali hayati karena kemampuannya dalam menekan pertumbuhan patogen melalui berbagai mekanisme, antara lain produksi senyawa antibiosis, enzim pendegradasi, kompetisi ruang dan nutrisi, serta induksi ketahanan tanaman. Selain itu, beberapa bakteri rhizosfer juga berperan dalam memicu pertumbuhan tanaman inang (Ciancio dkk., 2019).

Eksplorasi bakteri rhizosfer spesifik dari tanaman padi lokal serta efektivitasnya terhadap patogen penyebab penyakit bercak cokelat masih perlu dikaji lebih lanjut. Setiap daerah memiliki keanekaragaman mikroba yang berbeda, sehingga isolasi dan karakterisasi bakteri lokal menjadi langkah penting dalam pengembangan agen pengendali hayati yang adaptif dan efektif.

TINJAUAN PUSTAKA

Bercak Cokelat *Helminthosporium sp* pada Padi

Penyakit bercak cokelat pada tanaman padi adalah penyakit jamur penting yang disebabkan oleh *Helminthosporium oryzae*. Patogen ini menyerang tanaman dari fase bibit hingga usia dewasa, menginfeksi daun, pelepah, batang, bahkan malai, dan berdampak pada kualitas serta jumlah hasil panen. Penyakit bercak cokelat dikenal secara luas dapat menurunkan hasil padi secara signifikan. Kerugian hasil dapat bervariasi dari sekitar 5 % hingga melebihi 45 % di banyak lokasi budidaya (Maura dkk., 2024; Monisha dkk., 2019).

Rhizosfer sebagai Zona Interaksi Mikroba dan Akar Padi

Istilah rhizosfer merujuk pada daerah di sekitar akar tanaman yang menjadi tempat berkumpulnya komunitas mikroba. Ketertarikan mikroba berkumpul di daerah perakaran dikarenakan sumber nutrisi yang berlimpah dari eksudat akar. Bakteri yang hidup di rizosfer disebut rhizobacteria, dan kelompok-bakteri yang memberikan manfaat disebut *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria* (PGPR). PGPR dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan sekaligus sebagai agen pengendali hayati terhadap patogen (Hasan dkk., 2024; Khoso dkk., 2024).

Beberapa bakteri seperti *Streptomyces* efektif sebagai bio-kontrol pada pohon pule (*Alstonia scholaris*). Bakteri tersebut dapat memberikan daya hambat yang baik terhadap beberapa patogen pentingnya (Isrianto dkk., 2024). Bakteri *Lysinibacillus fusiformis* efektif dalam mengendalikan penyakit pada tanaman terong (*Solanum melongena* L) di fese nursery (Amanatillah & Wiyono, 2025). Selain itu, rhizobacteria memiliki beberapa peran lain misalnya produksi zat pengatur tumbuh seperti IAA yang berperan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman. Solubilisasi nutrisi seperti fosfat meningkatkan penyerapan nutrisi padi serta fiksasi N dari lingkungan (Khoso dkk., 2024).

Antagonisme Rhizobacteria terhadap Patogen Jamur pada Padi

Beberapa isolat bakteri rizosfer menunjukkan kemampuan menghambat pertumbuhan jamur patogen secara in vitro: Isolat dari akar padi menunjukkan aktivitas antagonis terhadap patogen utama seperti *Magnaporthe oryzae* (penyebab penyakit blas) (Do, 2022). Sebagian *Bacillus velezensis* dan *Pseudomonas putida* menunjukkan penghambatan signifikan terhadap pertumbuhan jamur ini melalui antagonisme antibiosis dan PGP traits inkl. produksi siderophore dan ACC deaminase (Rahma dkk., 2024). Isolat *Bacillus sp.* dan *Alcaligenes faecalis* dari rizosfer memiliki antagonisme terhadap *Bipolaris oryzae* tanaman padi in vitro, menunjukkan biokontrol potensial melalui dual culture assay dan karakter biokimia seperti produksi IAA dan katalase (Periyandavan dkk., 2025).

METODOLOGI

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Jurusan Pertanian, Politeknik Negeri Subang. Pengambilan sampel dilakukan di area persawahan di Kecamatan Cibogo, Kabupaten Subang, Jawa Barat. Waktu pelaksanaan penelitian berlangsung dari bulan Agustus-Desember 2025.

Pengambilan sampel

Pengambilan sampel tanah dilakukan di lahan sawah tanaman padi di Kecamatan Cibogo, Kabupaten Subang. Penentuan lokasi pengambilan sampel dilakukan dengan mempertimbangkan lahan sawah yang sedang ditanami padi dan memiliki kondisi pertanaman yang relatif seragam. Sebanyak enam (6) lokasi sawah berbeda ditetapkan sebagai sumber sampel untuk merepresentasikan kondisi rhizosfer tanaman padi di wilayah tersebut. Pada setiap lokasi, pengambilan sampel dilakukan pada fase vegetatif tanaman padi dengan memilih tanaman yang tampak sehat. Tanah rhizosfer diambil dari area perakaran dengan cara mencabut tanaman padi secara hati-hati, kemudian tanah yang melekat pada akar dikumpulkan sebagai sampel rhizosfer. Pengambilan tanah dilakukan pada kedalaman sekitar 0–15 cm dari permukaan tanah. Untuk setiap lokasi, tanah rhizosfer dari beberapa tanaman ($\pm 3-5$ rumpun padi) dikompositkan untuk memperoleh satu sampel

yang mewakili lokasi tersebut. Setiap sampel tanah kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik steril, diberi label sesuai kode lokasi, dan disimpan dalam kondisi dingin selama proses transportasi ke laboratorium.

Isolasi Bakteri

Isolasi bakteri rhizosfer dilakukan menggunakan metode pengenceran bertingkat (*serial dilution*) dan dilanjutkan dengan metode sebar (Hassan dkk., 2023; Rahma dkk., 2024). Sampel tanah rhizosfer padi ditimbang sebanyak 10 g, kemudian dimasukkan ke dalam 90 mL akuades steril dan dihomogenkan menggunakan shaker hingga diperoleh suspensi tanah homogen (pengenceran 10^{-1}). Suspensi tersebut selanjutnya diencerkan secara bertingkat hingga tingkat pengenceran 10^{-6} .

Sebanyak 0,1 mL dari masing-masing tingkat pengenceran (10^{-5} hingga 10^{-6}) diinokulasikan ke dalam cawan petri yang berisi media Nutrient Agar (NA) menggunakan metode sebar (*spread plate*). Inokulum kemudian diratakan secara aseptik dan diinkubasi pada suhu 28–30 °C selama 24–48 jam.

Koloni bakteri yang tumbuh diamati berdasarkan perbedaan morfologi koloni, meliputi bentuk, warna, ukuran, tepi, dan elevasi koloni. Koloni yang menunjukkan karakter morfologi berbeda kemudian dipilih dan dimurnikan dengan cara dipindahkan ke media NA baru menggunakan metode gores (*streak plate*) hingga diperoleh isolat bakteri tunggal yang murni.

Pemurnian Bakteri

Pemurnian bakteri dilakukan dengan metode streak kuadran. Bakteri yang tumbuh membentuk koloni tunggal diambil dengan ose, kemudian digoreskan pada media baru (NA 100%) (Periyandavan dkk., 2025).

Uji Kemampuan Antibiosis Bakteri

Uji kemampuan antibiosis dilakukan dengan metode dual culture, dengan cara menumbuhkan isolat bakteri terpilih di samping patogen uji (*Helminthosporium* sp). Inkubasi dilakukan selama lima hari dan diamati lebar zona hambat yang terbentuk diantara tepi bakteri dan tepi patogen uji (Do, 2022; Xia dkk., 2023).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan Tabel 1, sebanyak 30 isolat bakteri berhasil diisolasi, dimurnikan dan dikarakterisasi secara morfologi. Secara umum, sebagian besar isolat memiliki bentuk koloni circular dengan tepi entire dan elevasi convex atau umbonate, serta variasi warna koloni yang meliputi putih, putih tulang, cream, kuning, orange, dan pink. Variasi morfologi koloni ini menunjukkan adanya keragaman fenotipik bakteri rhizosfer, yang mengindikasikan keberagaman spesies atau strain bakteri dari sampel tanah sawah di Kecamatan Cibogo, Kabupaten Subang.

Tabel 1. Karakteristik morfologi dan hasil seleksi uji kemampuan antagonis isolat terpilih

No	Kode Isolat	Karakteristik Morfologi	Warna Isolat	Kemampuan Antagonisme
1	S01	Circular, entire, convex	putih tulang	-
2	S02	Circular, entire, umbonate	kuning	-
3	S03	Circular, entire, umbonate	putih tulang	-
4	S04	Filamentous, lobate, flat	cream	-
5	S05	Circular, entire, flat	putih	-
6	S06	Circular, entire, umbonate	kuning	-
7	S07	Circular, entire, convex	orange	-
8	S08	Circular, entire, flat	putih	-
9	S09	Circular, entire, convex	cream	-
10	S10	Circular, entire, umbonate	cream	+
11	S11	Circular, entire, convex	cream	+
12	S12	Irregular, entire, convex	orange	+
13	S13	Circular, entire, convex	cream	-
14	S14	Circular, entire, convex	orange	-

15	S15	Circular, entire, umbonate	orange	-
16	S16	Circular, entire, convex	pink	-
17	S17	Circular, entire, convex	kuning	-
18	S18	Filamentous, lobate, convex	putih tulang	+
19	S19	Circular, entire, flat	putih	-
20	S20	Circular, entire, convex	orange	-
21	S21	Circular, entire, umbonate	putih	-
22	S22	Circular, entire, convex	kuning	-
23	S23	Circular, entire, umbonate	cream	-
24	S24	Circular, entire, umbonate	cream	-
25	S25	Circular, entire, umbonate	cream	-
26	S26	Circular, entire, flat	putih	-
27	S27	Circular, entire, umbonate	cream	-
28	S28	Circular, entire, flat	putih	-
29	S29	Circular, entire, umbonate	cream	-
30	S30	Circular, entire, umbonate	cream	-

Keterangan : tanda (+) menunjukkan isolat yang memiliki kemampuan antagonisme pada pengujian in vitro, dedangkan tanda (-) menunjukkan bakteri yang tidak memiliki kemampuan antagonisme pada uji in vitro.

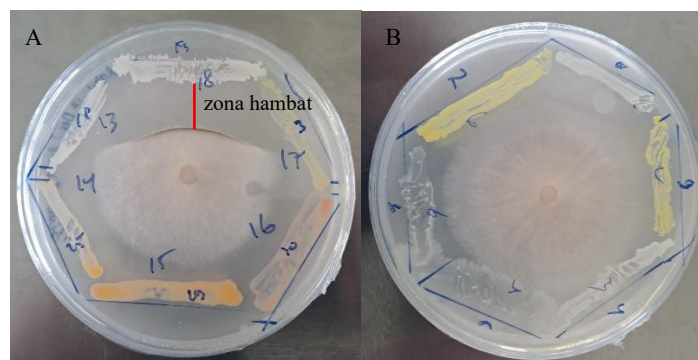
Berdasarkan hasil karakterisasi morfologi pada Tabel 1, dominasi bentuk koloni circular dengan tepi entire serta elevasi convex dan umbonate merupakan ciri umum bakteri rizosfer yang tumbuh optimal pada media kultur padat. Variasi warna koloni yang diamati, mulai dari putih, putih tulang, cream, kuning, orange hingga pink, mencerminkan perbedaan kemampuan metabolik antar isolat, seperti produksi pigmen atau senyawa tertentu. Keragaman fenotipik ini mengindikasikan adanya perbedaan spesies atau strain bakteri yang berasosiasi dengan rizosfer tanaman (van Teeseling dkk., 2017).

Selain mencerminkan keragaman spesies, perbedaan karakter morfologi koloni juga sering dikaitkan dengan adaptasi terhadap lingkungan rizosfer yang kompleks dan dinamis. Rizosfer merupakan habitat dengan kompetisi tinggi akibat ketersediaan nutrisi yang dipengaruhi eksudat akar, sehingga bakteri yang mampu tumbuh membentuk koloni dengan struktur kompak umumnya memiliki efisiensi pemanfaatan nutrisi yang baik serta toleransi terhadap stres lingkungan (Yang dkk., 2016). Elevasi umbonate pada beberapa isolat juga dilaporkan berkaitan dengan produksi matriks ekstraseluler atau biofilm awal, yang berperan penting dalam kolonisasi permukaan akar dan meningkatkan daya saing bakteri di rizosfer (Flemming & Wuertz, 2019).

Variasi warna koloni yang cukup kontras mengindikasikan adanya produksi pigmen sekunder yang tidak hanya berfungsi sebagai penanda taksonomi awal tetapi juga berperan dalam perlindungan sel terhadap stres oksidatif dan radiasi, serta dalam interaksi antagonistik dengan patogen tanaman. Bakteri rizosfer berpigmen diketahui memiliki potensi sebagai antimikroba karena pigmen tersebut sering berkorelasi dengan kemampuan menghasilkan antibiotik atau senyawa antimikroba lainnya (Agarwal dkk., 2023).

Hasil uji kemampuan antagonisme menunjukkan bahwa dari 30 isolat yang diuji, hanya empat isolat (S10, S11, S12, dan S18) yang memperlihatkan aktivitas antagonis terhadap patogen uji. Isolat-isolat tersebut memiliki karakter morfologi yang bervariasi, mulai dari koloni circular hingga filamentous, serta warna koloni cream, orange, dan putih tulang, yang menunjukkan bahwa kemampuan antagonis tidak secara langsung berkorelasi dengan satu tipe morfologi tertentu. Aktivitas antagonis yang ditunjukkan oleh isolat terpilih diduga berkaitan dengan mekanisme biokontrol, seperti produksi antibiotik, enzim lisis dinding sel patogen, atau kompetisi ruang dan nutrisi .

Kemampuan antagonis ditandai dengan terbentuknya zona hambat di sekitar koloni bakteri (Gambar 1A). Sementara itu, sebagian besar isolat lainnya tidak menunjukkan aktivitas antagonistik, yang mengindikasikan bahwa tidak semua bakteri rizosfer memiliki kemampuan dalam menekan pertumbuhan patogen secara langsung (Gambar 1B). Beberapa penelitian sebelumnya juga menunjukkan beberapa isolat agen bio-kontrol dapat menekan pertumbuhan *Helminthosporium* sp (Limtong dkk., 2020).



Gambar 1. Hasil uji antagonisme isolat bakteri terpilih terhadap patogen uji,
 A) contoh isolat bakteri yang memberikan efek antagonistik yang dicirikan dengan adanya zona hambatan,
 B) contoh isolat yang tidak memberikan efek antagonistik

Berdasarkan Tabel 2, keempat isolat antagonis menunjukkan variasi lebar zona hambatan, dengan nilai berkisar antara 1,0–1,4 cm. Isolat S18 menunjukkan aktivitas antagonistik paling tinggi dengan lebar zona hambatan sebesar 1,4 cm, diikuti oleh isolat S11 sebesar 1,1 cm, sedangkan isolat S10 dan S12 masing-masing menghasilkan zona hambatan sebesar 1,0 cm. Perbedaan lebar zona hambatan ini mengindikasikan adanya perbedaan tingkat efektivitas antar isolat dalam menghambat pertumbuhan patogen uji.

Tabel 2. Lebar zona hambatan isolat yang menghasilkan efek antagonistik

No.	Kode Isolat	Lebar Zona Hambat (cm)
1	S10	1
2	S11	1,1
3	S12	1
4	S18	1,4

Perbedaan lebar zona hambatan yang dihasilkan oleh keempat isolat antagonis menunjukkan variasi kemampuan masing-masing isolat dalam menekan pertumbuhan patogen secara in vitro. Isolat S18 yang menghasilkan zona hambatan terbesar (1,4 cm) mengindikasikan kemampuan antagonistik yang lebih kuat dibandingkan isolat lainnya, yang kemungkinan berkaitan dengan produksi senyawa antimikroba dalam jumlah lebih tinggi atau dengan spektrum aktivitas yang lebih luas. Sementara itu, isolat S10 dan S12 dengan zona hambatan sebesar 1,0 cm serta isolat S11 sebesar 1,1 cm tetap menunjukkan potensi penghambatan, meskipun dengan intensitas yang lebih rendah. Hal ini menegaskan bahwa meskipun semua isolat tersebut bersifat antagonis, tingkat efektivitasnya dapat bervariasi secara kuantitatif (Isrianto dkk., 2024).

Variasi daya hambat antar isolat ini dapat dipengaruhi oleh perbedaan mekanisme biokontrol yang dimiliki masing-masing bakteri, seperti kemampuan menghasilkan antibiotik, siderofor, enzim hidrolitik, atau senyawa volatil yang bersifat toksik bagi patogen (Nally dkk., 2015). Produksi antibiotik merupakan salah satu mekanisme utama antagonisme bakteri terhadap patogen jamur, di mana senyawa antimikroba mampu merusak membran sel jamur, menyebabkan kebocoran sitoplasma, menghambat pertumbuhan miselium, dan bahkan menyebabkan kematian sel dan jaringan patogen. Mekanisme ini banyak dilaporkan pada bakteri rizosfer dari genus *Bacillus* dan *Pseudomonas* yang efektif mengendalikan patogen tanaman pada berbagai komoditi tanaman budidaya (Saeed dkk., 2021).

Selain antibiotik, produksi siderofor berperan penting dalam penghambatan patogen melalui mekanisme kompetisi unsur besi (Fe) dalam tanah. Siderofor yang dihasilkan bakteri memiliki afinitas tinggi terhadap Fe^{3+} , sehingga menurunkan ketersediaan besi bebas di lingkungan yang menyebabkan patogen kekurangan ketersediaan besi untuk metabolismenya. Kondisi kekurangan besi ini dapat menghambat proses metabolisme jamur, termasuk pertumbuhan miselium dan pembentukan spora. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa bakteri penghasil siderofor mampu menekan pertumbuhan patogen tanaman meskipun tanpa menghasilkan zona hambatan yang sangat luas, sehingga mekanisme ini sering berkontribusi pada antagonisme bersifat tidak langsung. Enzim hidrolitik, seperti kitinase, β -1,3-glukanase, dan protease, juga berperan signifikan dalam aktivitas antagonistik bakteri. Enzim-enzim tersebut mampu mendegradasi komponen utama dinding sel jamur yang tersusun atas kitin, glukan, dan protein struktural. Kerusakan dinding sel menyebabkan terganggunya stabilitas sel jamur dan pada akhirnya menghambat pertumbuhan atau menyebabkan lisis sel (Wibowo dkk.,

2017). Mekanisme ini sering dikaitkan dengan terbentuknya zona hambat yang jelas pada uji antagonisme *in vitro*, sebagaimana diamati pada isolat dengan daya hambat tinggi seperti S18 di penelitian ini.

Selain mekanisme kontak langsung, beberapa bakteri juga menghasilkan senyawa volatil (*volatile organic compounds/VOCs*) yang bersifat antifungal. Senyawa volatil seperti hidrogen sianida (HCN), alkohol, keton, dan senyawa sulfur dapat menghambat pertumbuhan patogen tanpa kontak fisik langsung. VOCs dapat memengaruhi respirasi sel jamur, mengganggu keseimbangan redoks, dan menekan pembentukan spora. Mekanisme ini menjelaskan mengapa beberapa isolat mampu menghambat patogen meskipun zona hambat yang terbentuk relatif kecil atau tidak terlalu jelas secara visual (Contarino dkk., 2019).

Kemampuan adaptasi bakteri terhadap komposisi nutrisi dan kondisi fisik media (seperti pH, ketersediaan karbon dan nitrogen, serta aktivitas air) juga memengaruhi ekspresi sifat antagonistik. Tidak semua isolat mampu mengekspresikan potensi biokontrolnya secara optimal pada media buatan, karena produksi antibiotik dan enzim antagonistik seringkali bersifat tergantung lingkungan. Beberapa isolat mungkin memerlukan kondisi nutrisi tertentu untuk menginduksi gen-gen yang berperan dalam biosintesis metabolit antijamur. Oleh karena itu, isolat yang menunjukkan zona hambat kecil atau tidak menunjukkan aktivitas antagonistik pada media uji belum tentu tidak berpotensi, melainkan kemungkinan belum berada pada kondisi fisiologis yang optimal.

Selain nutrisi, fase pertumbuhan bakteri saat dilakukan uji antagonisme juga berpengaruh terhadap hasil pengamatan. Produksi senyawa antimikroba umumnya meningkat pada fase stasioner, ketika pertumbuhan sel mulai melambat dan metabolisme sekunder diaktifkan. Isolat yang mampu dengan cepat mencapai fase ini pada media uji akan lebih cepat menghasilkan senyawa penghambat patogen dibandingkan isolat dengan laju pertumbuhan lambat. Hal ini dapat menjelaskan perbedaan ukuran zona hambat antar isolat meskipun diuji dalam kondisi yang sama (Tran dkk., 2022)

Selain itu, faktor fisiologis seperti laju pertumbuhan bakteri dan kemampuan beradaptasi pada media uji juga berperan dalam pembentukan zona hambat. Faktor fisiologis seperti laju pertumbuhan bakteri dan kemampuan beradaptasi pada media uji juga berperan penting dalam pembentukan zona hambat pada uji antagonisme *in vitro*. Isolat bakteri dengan laju pertumbuhan yang lebih cepat cenderung mampu mengkolonisasi permukaan media lebih awal, sehingga memiliki keunggulan kompetitif dalam memanfaatkan ruang dan nutrisi sebelum patogen berkembang secara optimal. Kondisi ini memungkinkan bakteri untuk lebih cepat mencapai fase produksi metabolit sekunder, termasuk senyawa antimikroba, yang berkontribusi terhadap terbentuknya zona hambat yang lebih jelas dan luas (Dawan & Ahn, 2022)

Di sisi lain, kemampuan bakteri untuk bertahan dan tetap aktif secara metabolik selama periode inkubasi uji juga menentukan kestabilan zona hambat yang terbentuk. Isolat yang sensitif terhadap kondisi media atau mengalami penurunan viabilitas lebih cepat dapat menunjukkan zona hambat yang sempit atau tidak konsisten. Sebaliknya, isolat yang mampu mempertahankan aktivitas metaboliknya akan terus menghasilkan senyawa antagonistik, sehingga zona hambat yang terbentuk menjadi lebih stabil dan mudah diamati.

Dengan demikian, perbedaan zona hambat yang dihasilkan antar isolat tidak hanya mencerminkan variasi mekanisme biokontrol, tetapi juga dipengaruhi oleh karakter fisiologis dan adaptif masing-masing isolat bakteri. Pemahaman terhadap faktor-faktor ini penting dalam seleksi agen pengendali hayati, karena isolat dengan performa fisiologis yang baik pada berbagai kondisi media memiliki peluang lebih besar untuk menunjukkan efektivitas yang konsisten pada lingkungan rizosfer alami. Oleh sebab itu, isolat unggul seperti S18 perlu diuji lebih lanjut pada berbagai media dan kondisi lingkungan untuk menilai stabilitas dan fleksibilitas fisiologisnya sebelum dikembangkan lebih lanjut sebagai agen biokontrol.

Oleh karena itu, isolat dengan zona hambat terbesar, khususnya S18, berpotensi dikembangkan lebih lanjut sebagai agen pengendali hayati. Namun demikian, pengujian lanjutan secara *in vivo* serta analisis mekanisme antagonisme perlu dilakukan untuk memastikan efektivitas dan kestabilan kinerjanya dalam kondisi lapang.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa sebanyak 30 isolat bakteri rhizosfer berhasil diisolasi dan dikarakterisasi dari tanah sawah di Kecamatan Cibogo, Kabupaten Subang, dengan keragaman morfologi koloni yang menunjukkan tingginya variasi fenotipik dan kemungkinan perbedaan spesies atau strain bakteri. Hasil uji antagonisme secara *in vitro* menunjukkan bahwa hanya empat isolat, yaitu S10, S11, S12, dan S18, yang memiliki kemampuan menghambat pertumbuhan patogen uji, dengan lebar zona hambat berkisar antara 1,0–1,4 cm. Isolat S18 menunjukkan aktivitas antagonistik tertinggi dibandingkan isolat lainnya, sehingga berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai agen pengendali hayati. Perlu dilakukan pengujian mekanisme kerja sebagai agen pengendali hayati yang lain dan perlu dilakukan uji *in vivo* dan uji lapangan agar pembuktiannya lebih kuat.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, H., Bajpai, S., Mishra, A., Kohli, I., Varma, A., Fouillaud, M., Dufossé, L., & Joshi, N. C. (2023). Bacterial Pigments and Their Multifaceted Roles in Contemporary Biotechnology and Pharmacological Applications. *Microorganisms*, *11*(3). <https://doi.org/10.3390/microorganisms11030614>
- Amanatillah, N. E., & Wiyono, S. (2025). Effectiveness of *bacteria Lysinibacillus fusiformis* C71 and fungi *Lecanicillium lecanii* PTN10 on pest management of eggplant (*Solanum melongena* L.) in nursery. *IOP Conference Series: Earth and ...*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1494/1/012031>
- BPS. (2025). *Paddy Harvested Area and Production in Indonesia 2024* (Issue 15).
- Ciancio, A., Pieterse, C. M. J., & Mercado-Blanco, J. (2019). Editorial: Harnessing useful rhizosphere microorganisms for pathogen and pest biocontrol-second edition. *Frontiers in Microbiology*, *10*, 1–5. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01935>
- Contarino, R., Brighina, S., Fallico, B., Cirvilleri, G., Parafati, L., & Restuccia, C. (2019). Volatile organic compounds (VOCs) produced by biocontrol yeasts. *Food Microbiology*, *82*, 70–74.
- Dawan, J., & Ahn, J. (2022). Bacterial Stress Responses as Potential Targets in Overcoming Antibiotic Resistance. *Microorganisms*, *10*(7), 1–21. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10071385>
- Degani, O. (2025). Plant Fungal Diseases and Crop Protection. *Journal of Fungi*, *11*(4), 26–28. <https://doi.org/10.3390/jof11040274>
- Do, Q. T. (2022). Antagonistic activities of endophytic bacteria isolated from rice roots against the fungus *Magnaporthe oryzae*, a causal of rice blast disease. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, *32*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s41938-022-00571-1>
- FAO. (2023). Pesticides Use and Trade 1990–2021. In *Faostat Analytical Brief 70* (Vol. 70).
- Flemming, H. C., & Wuertz, S. (2019). Bacteria and archaea on Earth and their abundance in biofilms. *Nature Reviews Microbiology*, *17*(4), 247–260. <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0158-9>
- Hasan, A., Tabassum, B., Hashim, M., & Khan, N. (2024). Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as a Plant Growth Enhancer for Sustainable Agriculture: A Review. *Bacteria*, *3*(2), 59–75. <https://doi.org/10.3390/bacteria3020005>
- Hassan, W., Ahmed, O., Hassan, R. E., Youssef, S. A., & Shalaby, A. A. (2023). Isolation and characterization of three bacteriophages infecting *Erwinia amylovora* and their potential as biological control agent. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, *33*(1). <https://doi.org/10.1186/s41938-023-00689-w>
- Isrianto, P. L., Wilujeng, S., & Marmi, M. (2024). Potensi Aktivitas Antagonistik *Streptomyces* dari Rhizosfer Pohon Pule (*Alstonia scholaris*) sebagai Biokontrol. *Bioscientist : Jurnal Ilmiah Biologi*, *12*(2), 1957.
- Khoso, M. A., Wagan, S., Alam, I., Hussain, A., Ali, Q., Saha, S., Poudel, T. R., Manghwar, H., & Liu, F. (2024). Impact of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on plant nutrition and root characteristics: Current perspective. *Plant Stress*, *11*(October 2023), 100341. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100341>
- Limtong, S., Into, P., & Attarat, P. (2020). Biocontrol of Rice Seedling Rot Disease Caused by *Curvularia lunata* and *Helminthosporium oryzae* by Epiphytic Yeasts from Plant Leaves. In *Microorganisms*. [mdpi.com. https://www.mdpi.com/2076-2607/8/5/647](https://www.mdpi.com/2076-2607/8/5/647)
- Maura, A. K., John, V., Pant, H., & Srivastava, D. K. (2024). Rice Brown Spot Disease (*Helminthosporium oryzae*): Ecology, Epidemiology, dan Identification Measures. In *Fungal Diseases of Rice and Their Management* (pp. 223–234).
- Monisha, S., Praveen, N., & A, R. (2019). Isolation, Characterization and Management of Brown Spot Disease of Rice. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *8*(3), 4539–4545.

- Nally, M. C., Pesce, V. M., Maturano, Y. P., Assaf, L. A. R., & ... (2015). Antifungal modes of action of *Saccharomyces* and other biocontrol yeasts against fungi isolated from sour and grey rots. *International Journal of ...* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160515001634>
- Periyandavan, M. P., Selvaraj, R., Sugumar, M., & Sivasubramanian, K. (2025). Exploring the Biocontrol Potential of Rhizospheric Bacteria against *Bipolaris oryzae* L. Infecting Rice. *Indian Journal Of Agricultural Research*, 59(Of), 43–50. <https://doi.org/10.18805/ijare.a-6443>
- Rahma, Z. P., Rahma, H., & Sulyanti, E. (2024). *Exploration and Characterization of Rhizobacteria from Rhizosphere of Rice Plants to Control Fusarium Fujikuroi In Vitro*. 8(2), 123–137.
- Saeed, Q., Xiukang, W., Haider, F. U., Kučerik, J., Mumtaz, M. Z., Holatko, J., Naseem, M., Kintl, A., Ejaz, M., Naveed, M., Brtnicky, M., & Mustafa, A. (2021). Rhizosphere bacteria in plant growth promotion, biocontrol, and bioremediation of contaminated sites: A comprehensive review of effects and mechanisms. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(19). <https://doi.org/10.3390/ijms221910529>
- Surendhar, M., Anbuselvam, Y., & Ivin, J. J. S. (2021). Status of Rice Brown Spot (*Helminthosporium oryzae*) Management in India: A Review. *Agricultural Reviews*, 43, 217–222. <https://doi.org/10.18805/ag.r-2111>
- Tran, C., Cock, I. E., Chen, X., & Feng, Y. (2022). Antimicrobial Bacillus: Metabolites and Their Mode of Action. *Antibiotics*, 11(1), 1–25. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11010088>
- Tudi, M., Ruan, H. D., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., & Phung, D. T. (2021). Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1–24. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>
- van Teeseling, M. C. F., de Pedro, M. A., & Cava, F. (2017). Determinants of bacterial morphology: From fundamentals to possibilities for antimicrobial targeting. *Frontiers in Microbiology*, 8(7), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01264>
- Wibowo, R. H., Mubarik, N. R., Rusmana, I., & Thenawidjaya, M. (2017). Penapisan dan Identifikasi Bakteri Kitinolitik Penghambat Pertumbuhan *Ganoderma boninense* in Vitro. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 13(3), 105. <https://doi.org/10.14692/jfi.13.3.105>
- Xia, Y., Liu, J., Wang, Z., He, Y., Tan, Q., Du, Z., Niu, A., Liu, M., Li, Z., Sang, M., & Zhou, G. (2023). Antagonistic Activity and Potential Mechanisms of Endophytic *Bacillus subtilis* YL13 in Biocontrol of *Camellia oleifera* Anthracnose. *Forests*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/f14050886>
- Yang, D. C., Blair, K. M., & Salama, N. R. (2016). Staying in Shape: the Impact of Cell Shape on Bacterial Survival in Diverse Environments. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 80(1), 187–203. <https://doi.org/10.1128/mnbr.00031-15>