

**RIZOBAKTERI ANTAGONIS SEBAGAI AGEN BIOKONTROL
Fusarium oxysporum f.sp. *capsici* PENYEBAB LAYU FUSARIUM PADA
CABAI MERAH (*Capsicum annuum* L.)
(Antagonistic Rhizobacteria as Biocontrol Agents for *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici*
Causes Fusarium Wilt in Red Chilies (*Capsicum annuum* L.)**

**Selviana Anggraini¹, Rahil Ade Rifqah², Pajri Ananta Yudha³, Dini Puspita Yanty^{4*}, Poppy
Khairunnisa¹, Sumini⁵, Aslan Sari Thesiwati²**

¹Fakultas Ilmu Tanaman dan Hewani, Universitas Bina Insan, Jln. Jendral Besar Moh. Soeharto KM. 13. Lubuk Linggau 36125, Indonesia; ²Fakultas Pertanian, Universitas Tamansiswa, Jalan Taman Siswa No.9, Alai Parak Kopi, Padang Utara, Alai Parak Kopi, Padang Utara, Kota Padang, Sumatera Barat 25171, Indonesia; ³Fakultas Pertanian, Universitas Riau, Kampus Bina Widya KM. 12,5, Simpang Baru, Kec. Tampar, Kota Pekanbaru, Riau 28293, Indonesia; ⁴Fakultas Pertanian, Universitas Graha Nusantara, Jl. Kolonel Hamzah Lubis No.30, Ujung Padang, Kec. Padangsidempuan Sel., Kota Padang Sidempuan, Sumatera Utara 22711, Indonesia; ⁵Fakultas Pertanian, Universitas Musi Rawas, I. Pembangunan Kompleks Pemkab Musi Rawas, Kel. Air Kuti, Kec. Lubuk Linggau Timur I Kota Lubuk Linggau Sumatera Selatan, Indonesia
Corresponding Author, Email: dinipuspita2189@gmail.com

ABSTRACT

Fusarium wilt caused by Fusarium oxysporum f.sp. capsici is one of the most destructive diseases affecting red chili pepper cultivation because it significantly reduces plant growth and yield. Disease management that still relies on synthetic fungicides may increase environmental pollution and promote pathogen resistance; therefore, environmentally friendly control alternatives are required. This study aimed to evaluate the effectiveness of several local rhizobacterial isolates as antagonistic agents against Fusarium wilt in red chili pepper. The novelty of this study lies in the evaluation of indigenous rhizobacterial isolates with dual functions as antagonistic agents against Fusarium oxysporum f.sp. capsici and as plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) capable of enhancing red chili pepper growth under both in vitro and in vivo conditions. The results showed that all rhizobacterial isolates significantly inhibited pathogen growth. Isolate UBI-Rz04 exhibited the highest inhibition rate of 85.78% and the lowest fungal biomass (0.03 g) under in vitro conditions. In the in vivo assay, isolate UBI-Rz01 reduced disease incidence to 44.67%, compared with 80.00% in the control, and suppressed the pathogen population to 3.33×10^5 CFU/g soil. Rhizobacterial application also improved red chili pepper growth. These findings indicate that local rhizobacteria have strong potential as environmentally friendly biological control agents for sustainable red chili pepper cultivation.

Keywords: antagonistic rhizobacteria, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium wilt*, red chili pepper

ABSTRAK

Penyakit layu fusarium yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici* merupakan salah satu penyakit penting pada tanaman cabai merah karena dapat menurunkan pertumbuhan dan hasil tanaman secara signifikan. Pengendalian penyakit yang masih bergantung pada fungisida sintesis berpotensi meningkatkan pencemaran lingkungan dan memicu resistensi patogen, sehingga diperlukan alternatif pengendalian yang lebih ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas beberapa isolat rizobakteri lokal sebagai agen antagonis dalam mengendalikan penyakit layu fusarium pada tanaman cabai

merah. Kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi isolat rizobakteri indigenus yang memiliki fungsi ganda sebagai agen antagonis terhadap *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici* sekaligus sebagai *plant growth-promoting rhizobacteria* (PGPR) yang mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman cabai merah pada pengujian *in vitro* dan *in vivo*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh isolat rizobakteri mampu menghambat pertumbuhan patogen secara nyata. Isolat UBI-Rz04 menunjukkan daya hambat tertinggi sebesar 85.78% dengan biomassa jamur terendah sebesar 0.03 g pada pengujian *in vitro*. Pada pengujian *in vivo*, isolat UBI-Rz01 mampu menekan kejadian penyakit menjadi 44.67% dibandingkan kontrol sebesar 80.00% serta menurunkan populasi patogen hingga 3.33×10^5 CFU/g tanah. Aplikasi rizobakteri juga meningkatkan pertumbuhan tanaman cabai merah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rizobakteri lokal berpotensi dikembangkan sebagai agen hayati yang ramah lingkungan untuk mendukung budidaya cabai merah berkelanjutan.

Kata kunci: cabai merah, *Fusarium oxysporum*, layu fusarium, rizobakteri antagonis

PENDAHULUAN

Cabai merah (*Capsicum annum* L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura penting di Indonesia yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan berperan strategis dalam memenuhi kebutuhan pangan masyarakat. Selain digunakan sebagai bahan konsumsi rumah tangga, cabai juga dimanfaatkan sebagai bahan baku industri pangan dan farmasi. Tingginya permintaan pasar menyebabkan budidaya cabai dilakukan secara intensif di berbagai wilayah agroekosistem. Namun demikian, sistem budidaya intensif sering kali meningkatkan risiko serangan organisme pengganggu tanaman (OPT), terutama penyakit tular tanah yang mampu menurunkan produktivitas tanaman secara signifikan (Rai et al., 2021).

Salah satu penyakit utama pada tanaman cabai adalah layu fusarium yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum*. Patogen ini merupakan cendawan tular tanah yang mampu bertahan lama di dalam tanah melalui pembentukan klamidospora. Infeksi terjadi melalui sistem perakaran, kemudian patogen berkembang pada jaringan pembuluh xilem sehingga menghambat

transportasi air dan unsur hara. Akibatnya, tanaman mengalami gejala layu, klorosis, pertumbuhan terhambat, hingga kematian tanaman pada tingkat serangan berat (Sultana et al., 2022). Penyakit layu fusarium diketahui menjadi salah satu faktor pembatas utama dalam budidaya cabai karena dapat menyebabkan kehilangan hasil yang tinggi, terutama pada sistem budidaya monokultur dan lahan yang terinfeksi berat (Sharma et al., 2023).

Pengendalian penyakit layu fusarium hingga saat ini masih banyak bergantung pada penggunaan fungisida sintesis. Penggunaan fungisida memang mampu menekan perkembangan patogen secara cepat, namun aplikasi yang dilakukan secara terus-menerus dapat menimbulkan berbagai dampak negatif terhadap lingkungan. Penggunaan bahan kimia yang berlebihan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, mengganggu keseimbangan mikroorganisme tanah, meninggalkan residu pada hasil pertanian, serta meningkatkan risiko resistensi patogen terhadap bahan aktif fungisida (Al-Ani et al., 2021). Oleh karena itu, diperlukan alternatif pengendalian yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Salah satu pendekatan yang saat ini

banyak dikembangkan adalah pemanfaatan agen hayati, khususnya rizobakteri atau plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). Rizobakteri merupakan kelompok bakteri yang hidup dan berkolonisasi di daerah rizosfer tanaman serta mampu memberikan pengaruh positif terhadap pertumbuhan dan kesehatan tanaman. Rizobakteri diketahui mampu menekan perkembangan patogen melalui berbagai mekanisme, seperti kompetisi ruang dan nutrisi, produksi antibiotik, siderofor, enzim hidrolitik, serta kemampuan menginduksi ketahanan sistemik tanaman atau *induced systemic resistance* (ISR) (Backer et al., 2022).

Selain berperan sebagai agen pengendali hayati, rizobakteri juga mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui mekanisme fisiologis, seperti fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, dan produksi fitohormon seperti auksin dan giberelin. Interaksi antara rizobakteri dan tanaman diketahui mampu meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara serta membantu tanaman menghadapi cekaman biotik maupun abiotik (Ngalimat et al., 2021). Dengan demikian, pemanfaatan rizobakteri tidak hanya berpotensi menekan intensitas penyakit, tetapi juga dapat meningkatkan vigor dan produktivitas tanaman cabai.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa aplikasi rizobakteri mampu menekan perkembangan penyakit layu fusarium pada tanaman hortikultura. (Singh et al., 2024) melaporkan bahwa isolat *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas fluorescens* mampu menghambat perkembangan *Fusarium oxysporum* secara signifikan melalui mekanisme antibiosis dan kompetisi nutrisi di daerah perakaran. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa aplikasi PGPR mampu

meningkatkan pertumbuhan tanaman cabai sekaligus menurunkan populasi patogen di dalam tanah (Widodo et al., 2022). Selain itu, beberapa isolat rizobakteri dilaporkan memiliki kemampuan menghasilkan enzim kitinase dan senyawa volatil yang berperan dalam menghambat pertumbuhan patogen tular tanah (Khan et al., 2023).

Di Indonesia, pengembangan agen hayati berbasis rizobakteri juga terus dilakukan sebagai bagian dari penerapan pertanian berkelanjutan. (Anggraini et al., 2020) melaporkan bahwa rizobakteri indigenus memiliki potensi sebagai agen biokontrol terhadap *Fusarium oxysporum* pada tanaman pisang. Selain itu, (Anggraini et al., 2025) menyatakan bahwa pemanfaatan agen hayati berbasis mikroorganisme rizosfer berpotensi mendukung sistem pertanian ramah lingkungan dan mengurangi ketergantungan terhadap pestisida sintetis.

Meskipun demikian, efektivitas rizobakteri sangat dipengaruhi oleh kemampuan isolat dalam beradaptasi dan berkolonisasi pada daerah perakaran tanaman. Oleh karena itu, eksplorasi dan evaluasi isolat rizobakteri lokal masih perlu dilakukan untuk memperoleh agen hayati yang efektif dan adaptif pada kondisi lingkungan setempat. Penelitian mengenai pemanfaatan rizobakteri sebagai agen hayati telah banyak dilakukan, namun kajian mengenai isolat rizobakteri lokal dengan fungsi ganda sebagai agen antagonis dan pemacu pertumbuhan tanaman cabai merah masih terbatas, khususnya pada isolat yang berasal dari lingkungan lokal Sumatera Selatan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi potensi isolat rizobakteri lokal sebagai kandidat agen hayati ramah lingkungan untuk pengendalian

layu fusarium sekaligus peningkatan pertumbuhan tanaman cabai merah. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas beberapa isolat rizobakteri sebagai agen antagonis dalam menekan penyakit layu fusarium pada tanaman cabai merah serta mengkaji pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Agroteknologi Fakultas Ilmu Tanaman dan Hewani Universitas Bina Insan serta screen house percobaan pada Januari hingga April 2025. Penelitian dilakukan melalui dua tahap pengujian, yaitu secara *in vitro* dan *in vivo* untuk mengevaluasi kemampuan antagonistik beberapa isolat rizobakteri terhadap *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici* penyebab penyakit layu fusarium pada tanaman cabai merah. Bahan utama yang digunakan meliputi isolat rizobakteri UBI-Rz01, UBI-Rz02, UBI-Rz03, dan UBI-Rz04, isolat *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici*, media *Potato Dextrose Agar* (PDA), *Potato Dextrose Broth* (PDB), benih cabai merah, serta media tanam berupa campuran tanah dan pupuk kandang steril.

Berdasarkan hasil karakterisasi awal, isolat rizobakteri yang digunakan menunjukkan perbedaan morfologi koloni dan sifat Gram. Isolat UBI-Rz01 dan UBI-Rz03 diduga termasuk kelompok *Bacillus* sp. karena memiliki koloni berwarna putih krem, bentuk tidak beraturan, elevasi cembung, serta menunjukkan reaksi Gram positif. Sementara itu, isolat UBI-Rz02 dan UBI-Rz04 diduga termasuk kelompok *Pseudomonas* sp. dengan karakter koloni halus, mengkilap, dan menunjukkan reaksi

Gram negatif. Identifikasi molekuler berbasis gen 16S rRNA belum dilakukan sehingga identitas isolat masih bersifat dugaan genus berdasarkan karakter fenotipik awal.

Pengujian *in vitro* disusun menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan lima perlakuan yang terdiri atas kontrol tanpa rizobakteri, isolat UBI-Rz01, isolat UBI-Rz02, isolat UBI-Rz03, dan isolat UBI-Rz04. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak tiga kali sehingga diperoleh 15 unit percobaan. Pengujian antagonistik dilakukan menggunakan metode kultur ganda mengacu pada metode (Widodo et al., 2022) dengan sedikit modifikasi. Isolat *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici* diinokulasikan pada bagian tengah media PDA menggunakan cork borer berdiameter 5 mm, sedangkan isolat rizobakteri diinokulasikan pada sisi media dengan jarak ± 3 cm dari koloni patogen. Seluruh cawan diinkubasi pada suhu ruang selama lima hari.

Parameter yang diamati pada pengujian *in vitro* meliputi luas koloni jamur, persentase daya hambat, dan biomassa jamur patogen. Luas koloni diamati pada hari ke-5 setelah inkubasi dan dihitung menggunakan pendekatan luas lingkaran berdasarkan diameter koloni. Persentase daya hambat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$DH = ((K - P) / K) \times 100\%$$

Keterangan: DH = daya hambat (%)

K = diameter/luas koloni kontrol

P = diameter/luas koloni perlakuan

Pengujian biomassa jamur dilakukan menggunakan media PDB sebanyak 100 mL pada erlenmeyer steril. Kultur diinkubasi selama 14 hari, kemudian biomassa dipanen menggunakan kertas saring Whatman No. 1,

dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C hingga mencapai berat konstan, dan ditimbang menggunakan neraca analitik untuk memperoleh berat kering biomassa jamur.

Pengujian *in vivo* disusun menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan lima perlakuan dan lima ulangan. Setiap unit percobaan terdiri atas tiga tanaman sehingga total tanaman yang digunakan sebanyak 75 tanaman. Bibit cabai merah dipindahkan ke polybag berukuran 10 kg yang telah diisi media tanam steril. Aplikasi rizobakteri dilakukan menggunakan suspensi bakteri dengan kepadatan sekitar 10^8 CFU/mL yang disetarakan menggunakan standar OD600 ± 0.8 . Suspensi diaplikasikan sebanyak 20 mL per tanaman pada daerah perakaran. Inokulum *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici* disiapkan dari kultur berumur tujuh hari pada media PDA. Konsentrasi spora dihitung menggunakan haemocytometer dan disesuaikan menjadi 10^6 konidia/mL sebelum diaplikasikan ke media tanam.

Parameter pengamatan pada tahap *in vivo* meliputi persentase kejadian penyakit layu fusarium dan populasi patogen dalam tanah. Persentase kejadian penyakit dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$KP = (n / N) \times 100\%$$

Keterangan: KP = persentase kejadian penyakit (%)

n = jumlah tanaman terserang

N = jumlah total tanaman yang diamati

Pengamatan dilakukan setiap minggu hingga umur 11 minggu setelah tanam (MST). Populasi patogen dalam tanah dihitung menggunakan metode pengenceran bertingkat pada media PDA dan dinyatakan

dalam CFU/g tanah.

Selain kejadian penyakit, pengamatan juga dilakukan terhadap intensitas penyakit layu fusarium menggunakan skoring gejala berdasarkan tingkat kelayuan tanaman. Nilai intensitas penyakit dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$IP = [\Sigma(n \times v) / (N \times Z)] \times 100\%$$

Keterangan: IP = intensitas penyakit (%) n = jumlah tanaman pada setiap kategori gejala v = skor gejala N = jumlah total tanaman Z = skor tertinggi.

Data perkembangan penyakit selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai AUDPC (*Area Under Disease Progress Curve*) guna mengevaluasi perkembangan penyakit selama periode pengamatan.

Seluruh data hasil pengamatan dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA). Data persentase ditransformasi menggunakan transformasi arcsine sebelum analisis. Apabila hasil analisis menunjukkan perbedaan nyata, maka dilanjutkan dengan *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf kepercayaan 5% menggunakan perangkat lunak SPSS versi 25.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya Hambat Rizobakteri terhadap *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici* secara *in vitro*

Pengujian antagonistik secara *in vitro* dilakukan untuk mengetahui kemampuan beberapa isolat rizobakteri dalam menekan pertumbuhan *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici* sebagai penyebab penyakit layu fusarium pada cabai merah. Pengamatan dilakukan terhadap beberapa parameter, yaitu luas koloni jamur, persentase daya hambat, dan biomassa jamur patogen. Hasil

DOI: <https://doi.org/10.32663/ja.v24i1.5507>

pengujian menunjukkan bahwa masing-masing isolat rizobakteri memiliki kemampuan penghambatan yang berbeda terhadap pertumbuhan patogen sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pertumbuhan koloni dan biomassa *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici* pada uji in vitro

Perlakuan	Luas Koloni (mm ²)	Daya Hambat (%)	Biomassa Jamur (g)
Kontrol	1256.03 a	0.00 d	0.12 a
UBI-Rz01	326.44 b	74.02 c	0.05 b
UBI-Rz02	298.71 bc	76.22 c	0.04 bc
UBI-Rz03	241.85 cd	80.75 b	0.04 bc
UBI-Rz04	178.62 d	85.78 a	0.03 c

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf 5%.

Selain pengamatan terhadap luas koloni dan biomassa jamur, analisis lebih lanjut dilakukan untuk mengevaluasi tingkat penghambatan pertumbuhan koloni jamur berdasarkan diameter koloni ekuivalen. Parameter ini digunakan untuk memperjelas kemampuan masing-masing isolat

rizobakteri dalam menekan perkembangan koloni *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici* dibandingkan perlakuan kontrol. Hasil pengamatan diameter koloni ekuivalen dan selisih penghambatan koloni disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Diameter koloni ekuivalen dan selisih diameter koloni *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici* pada uji in vitro

Perlakuan	Diameter Koloni Ekuivalen (mm)	Selisih terhadap Kontrol (mm)
Kontrol	40.00	0.00
UBI-Rz01	20.39	19.61
UBI-Rz02	19.50	20.50
UBI-Rz03	17.55	22.45
UBI-Rz04	15.08	24.92

Keterangan: Diameter koloni ekuivalen dihitung berdasarkan luas koloni jamur pada Tabel 1 menggunakan pendekatan diameter lingkaran. Selisih diameter koloni menunjukkan besarnya penghambatan pertumbuhan koloni dibandingkan perlakuan kontrol.

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa seluruh isolat rizobakteri mampu menghambat perkembangan koloni *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici* dibandingkan perlakuan kontrol. Selisih

diameter koloni tertinggi diperoleh pada perlakuan isolat UBI-Rz04 sebesar 24.92 mm, diikuti UBI-Rz03 sebesar 22.45 mm, UBI-Rz02 sebesar 20.50 mm, dan UBI-Rz01 sebesar 19.61 mm. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa masing-masing isolat

memiliki kemampuan antagonistik yang berbeda terhadap pertumbuhan patogen.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh isolat rizobakteri mampu menekan pertumbuhan *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici* secara nyata dibandingkan perlakuan kontrol. Berdasarkan Tabel 1, perlakuan kontrol menunjukkan luas koloni jamur tertinggi sebesar 1256.03 mm² dengan biomassa jamur mencapai 0.12 g. Sebaliknya, seluruh perlakuan rizobakteri menunjukkan penurunan luas koloni dan biomassa jamur secara signifikan. Penurunan luas koloni jamur serta tingginya persentase daya hambat menunjukkan adanya aktivitas antagonistik yang efektif dari masing-masing isolat rizobakteri.

Isolat UBI-Rz04 menunjukkan daya hambat tertinggi dengan persentase penghambatan sebesar 85.78%, diikuti oleh isolat UBI-Rz03 sebesar 80.75%, isolat UBI-Rz02 sebesar 76.22%, dan isolat UBI-Rz01 sebesar 74.02%. Perlakuan kontrol menunjukkan pertumbuhan koloni tertinggi tanpa adanya penghambatan. Penurunan

biomassa jamur pada seluruh perlakuan rizobakteri menunjukkan bahwa isolat antagonis mampu menekan pertumbuhan patogen secara efektif, baik melalui penghambatan pertumbuhan koloni maupun pengurangan perkembangan biomassa jamur.

Tingginya daya hambat pada perlakuan rizobakteri diduga berkaitan dengan kemampuan mikroorganisme menghasilkan berbagai senyawa antagonistik seperti antibiotik, siderofor, dan enzim hidrolitik. Mekanisme tersebut memungkinkan rizobakteri menghambat pertumbuhan patogen melalui kompetisi nutrisi dan ruang maupun kerusakan dinding sel jamur.

Pertumbuhan Tanaman Cabai Merah pada Perlakuan Rizobakteri

Parameter pertumbuhan yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, dan bobot segar tanaman pada umur 11 MST. Hasil pengamatan pertumbuhan tanaman cabai merah pada berbagai perlakuan rizobakteri disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tinggi tanaman, jumlah daun, dan bobot segar tanaman cabai merah pada 11 MST

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)	Jumlah Daun (helai)	Bobot Segar Tanaman (g)
Kontrol	38.42 c	42.67 c	71.35 c
UBI-Rz01	57.86 ab	73.33 ab	119.84 a
UBI-Rz02	50.74 b	62.67 b	98.46 b
UBI-Rz03	60.18 a	69.33 ab	112.35 ab
UBI-Rz04	48.93 b	64.67 b	104.72 b

Keterangan: Nilai yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT 5%.

Aplikasi rizobakteri memberikan pengaruh positif terhadap pertumbuhan tanaman cabai merah. Perlakuan isolat UBI-

Rz01 menunjukkan peningkatan pertumbuhan tanaman dengan tinggi tanaman mencapai 57.86 cm, jumlah daun

73.33 helai, dan bobot segar tanaman sebesar 119.84 g. Namun demikian, tinggi tanaman tertinggi diperoleh pada perlakuan isolat UBI-Rz03 sebesar 60.18 cm. Sebaliknya, perlakuan kontrol menunjukkan pertumbuhan tanaman terendah pada seluruh parameter pengamatan.

Peningkatan pertumbuhan tanaman pada perlakuan rizobakteri diduga berkaitan dengan kemampuan bakteri dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara dan menghasilkan fitohormon yang mendukung pertumbuhan tanaman. Selain berfungsi sebagai agen antagonis terhadap patogen, rizobakteri juga berperan sebagai *plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR)

yang mampu meningkatkan vigor tanaman melalui produksi auksin, giberelin, dan pelarutan fosfat.

Persentase Penyakit Layu Fusarium dan Populasi Patogen di *Screen House*

Pengujian pada tahap *in vivo* dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas rizobakteri dalam menekan perkembangan penyakit layu fusarium pada tanaman cabai merah pada kondisi *screen house*. Parameter yang diamati meliputi persentase kejadian penyakit dan populasi *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici* di dalam tanah. Hasil pengamatan kejadian penyakit dan populasi patogen disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Persentase penyakit layu fusarium dan populasi *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici* dalam Tanah

Perlakuan	Persentase Penyakit Layu pada 11 MST (%)	Populasi <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>capsici</i> dalam Tanah (10^5 CFU/g tanah)
Kontrol	80.00 a	12.00 a
UBI-Rz01	44.67 c	3.33 c
UBI-Rz02	58.33 ab	5.67 bc
UBI-Rz03	49.33 bc	4.00 c
UBI-Rz04	61.00 ab	6.33 b

Keterangan: Nilai yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT 5%. Data dianalisis setelah ditransformasi menggunakan transformasi arcsine.

Hasil pengamatan pada fase *in vivo* menunjukkan bahwa aplikasi rizobakteri mampu menurunkan persentase penyakit layu fusarium dan populasi patogen dalam tanah dibandingkan perlakuan kontrol. Berdasarkan Tabel 4, perlakuan kontrol menunjukkan persentase penyakit tertinggi sebesar 80.00% dengan populasi patogen mencapai 12×10^5 CFU/g tanah. Seluruh perlakuan rizobakteri mampu menekan perkembangan penyakit dan mengurangi

populasi *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici* di dalam tanah dibandingkan perlakuan kontrol. Perlakuan isolat UBI-Rz01 menurunkan populasi patogen dari 12.00×10^5 menjadi 3.33×10^5 CFU/g tanah atau setara dengan penurunan sebesar 72.25%, sedangkan isolat UBI-Rz03 menurunkan populasi patogen menjadi 4.00×10^5 CFU/g tanah atau setara dengan penurunan sebesar 66.67% dibandingkan kontrol.

Perlakuan isolat UBI-Rz01 menunjukkan efektivitas terbaik dalam menekan kejadian penyakit dengan persentase serangan sebesar 44.67%, sedangkan perlakuan kontrol menunjukkan tingkat penyakit tertinggi sebesar 80.00%. Penurunan populasi *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici* dalam tanah juga ditemukan pada seluruh perlakuan rizobakteri.

Dari tabel 4 terlihat bahwa efektivitas rizobakteri tidak hanya dipengaruhi oleh kemampuan antagonistik di laboratorium, tetapi juga oleh kemampuan adaptasi dan kolonisasi di daerah perakaran tanaman. Perbedaan efektivitas antara pengujian *in vitro* dan *in vivo* menunjukkan bahwa isolat dengan daya hambat tertinggi di laboratorium belum tentu memberikan efektivitas terbaik pada kondisi *screen house*.

Isolat UBI-Rz01 diduga memiliki kemampuan kolonisasi rizosfer dan adaptasi lingkungan yang lebih baik dibandingkan isolat lainnya, sehingga lebih efektif dalam menekan perkembangan penyakit pada kondisi *screen house*.

Intensitas Penyakit dan Audpc

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa aplikasi rizobakteri mampu menurunkan intensitas penyakit dan nilai AUDPC dibandingkan kontrol. Perlakuan UBI-Rz01 menunjukkan nilai intensitas penyakit dan AUDPC terendah sehingga mengindikasikan kemampuan terbaik dalam menekan perkembangan penyakit layu fusarium selama periode pengamatan. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Intensitas penyakit dan AUDPC pada perlakuan rizobakteri

Perlakuan	Intensitas Penyakit (%)	AUDPC
Kontrol	72.45 a	845.32 a
UBI-Rz01	31.28 c	352.17 c
UBI-Rz02	45.67 bc	497.24 bc
UBI-Rz03	38.74 c	418.63 c
UBI-Rz04	48.25 b	536.11 b

Keterangan: Nilai yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT 5%.

Rendahnya nilai AUDPC pada perlakuan rizobakteri menunjukkan bahwa perkembangan penyakit berlangsung lebih lambat dibandingkan kontrol sehingga efektivitas pengendalian penyakit menjadi lebih stabil selama periode pengamatan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi rizobakteri mampu menekan pertumbuhan *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici* baik pada pengujian *in vitro* maupun *in vivo*. Penurunan luas koloni, tingginya persentase daya hambat, serta rendahnya biomassa jamur pada perlakuan rizobakteri menunjukkan adanya aktivitas antagonistik yang efektif terhadap patogen. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa isolat rizobakteri yang digunakan memiliki kemampuan dalam menghambat pertumbuhan dan perkembangan patogen tular tanah melalui berbagai mekanisme biologis. (Xi et al., 2025) menyatakan bahwa rizobakteri antagonis mampu menghasilkan metabolit sekunder seperti surfaktin, fengisin, dan iturin yang berperan dalam merusak membran sel patogen dan menghambat perkembangan miselium jamur. Selain itu, (Elsharkawy et al., 2023)

melaporkan bahwa beberapa isolat PGPR mampu menekan *Fusarium oxysporum* melalui mekanisme kompetisi ruang dan nutrisi di daerah rizosfer sehingga mengurangi peluang patogen berkembang pada sistem perakaran tanaman. Penelitian lain yang dilakukan oleh (Olanrewaju et al., 2022) menunjukkan bahwa rizobakteri juga dapat meningkatkan ketahanan tanaman melalui aktivasi respons fisiologis dan produksi enzim pertahanan yang berkontribusi terhadap penekanan penyakit tular tanah.

Tingginya daya hambat rizobakteri menunjukkan adanya kemampuan antagonistik yang efektif dalam menekan perkembangan *Fusarium oxysporum* melalui mekanisme antibiosis, kompetisi nutrisi, dan produksi enzim hidrolitik. Produksi metabolit antijamur seperti siderofor dan kitinase diketahui berperan penting dalam menghambat pertumbuhan hifa serta menurunkan viabilitas patogen di daerah rizosfer (Gao et al., 2024; Rojas-Solís et al., 2023). Menurut (Rojas-Solís et al., 2023), kelompok PGPR mampu menghasilkan metabolit antijamur yang dapat menghambat pertumbuhan miselium dan perkecambahan spora *Fusarium* melalui mekanisme antibiosis dan gangguan metabolisme sel patogen. Selain itu, produksi siderofor oleh rizobakteri diketahui mampu mengkelat ion Fe^{3+} di daerah rizosfer sehingga menurunkan ketersediaan unsur besi bagi patogen dan menghambat perkembangan *Fusarium oxysporum* (Moradi et al., 2022). Penelitian lain yang dilakukan oleh (Gao et al., 2024) menunjukkan bahwa enzim kitinase dan protease yang dihasilkan rizobakteri mampu mendegradasi komponen utama dinding sel jamur sehingga menyebabkan kerusakan hifa

dan menurunkan viabilitas patogen secara signifikan.

Penurunan biomassa jamur pada seluruh perlakuan rizobakteri menunjukkan bahwa mekanisme antagonistik yang terjadi tidak hanya menghambat pertumbuhan koloni, tetapi juga menekan perkembangan miselium jamur secara keseluruhan. Rizobakteri antagonis diketahui mampu menghasilkan berbagai metabolit sekunder yang bekerja secara sinergis dalam menghambat aktivitas fisiologis patogen tular tanah. Menurut (Chakraborty et al., 2024), kombinasi metabolit antijamur yang dihasilkan PGPR dapat mengganggu permeabilitas membran sel dan menghambat pembentukan hifa *Fusarium oxysporum* sehingga pertumbuhan biomassa jamur menjadi lebih rendah. Selain itu, produksi senyawa volatil organik (*volatile organic compounds/VOCs*) oleh rizobakteri juga berperan penting dalam menghambat perkembangan patogen melalui mekanisme toksisitas dan gangguan respirasi sel jamur (Li et al., 2023). Penelitian lain yang dilakukan oleh (Hernández-León et al., 2022) menunjukkan bahwa metabolit non-volatil yang dihasilkan rizobakteri mampu menekan pertumbuhan miselium dan menghambat perkecambahan spora *Fusarium* pada berbagai tanaman hortikultura secara signifikan.

Hasil penelitian juga menunjukkan adanya perbedaan efektivitas antara pengujian in vitro dan in vivo. Isolat yang menunjukkan daya hambat tertinggi pada pengujian laboratorium tidak selalu memberikan efektivitas terbaik pada kondisi lapangan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kemampuan antagonistik di laboratorium belum tentu berkorelasi

langsung dengan kemampuan adaptasi dan kolonisasi rizosfer pada lingkungan tumbuh yang lebih kompleks. Menurut (Mishra et al., 2025), keberhasilan agen hayati pada kondisi budidaya semi-terkendali (*screen house*) maupun lingkungan budidaya sangat dipengaruhi oleh kemampuan mikroorganisme dalam beradaptasi terhadap kondisi lingkungan, bersaing dengan mikroorganisme indigenous, serta mempertahankan populasi aktif di daerah perakaran tanaman.

Efektivitas isolat UBI-Rz01 dalam menekan kejadian penyakit pada pengujian *in vivo* diduga berkaitan dengan kemampuan kolonisasi akar yang lebih baik dibandingkan isolat lainnya. Rizobakteri yang mampu berkolonisasi secara stabil pada permukaan akar memiliki peluang lebih besar dalam melindungi tanaman dari infeksi patogen tular tanah melalui mekanisme kompetisi ruang dan nutrisi (Riaz et al., 2023). Selain itu, kolonisasi rizosfer yang baik juga memungkinkan terjadinya interaksi yang lebih intensif antara mikroorganisme dan tanaman sehingga meningkatkan efektivitas pengendalian penyakit.

Rendahnya populasi *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici* pada tanah perlakuan rizobakteri menunjukkan bahwa aplikasi agen hayati tidak hanya mampu menghambat perkembangan patogen secara langsung, tetapi juga berperan dalam menekan keberlangsungan inokulum patogen di daerah perakaran tanaman. Penurunan inokulum patogen di dalam tanah menjadi faktor penting dalam pengendalian penyakit tular tanah karena berkaitan dengan berkurangnya sumber infeksi pada musim tanam berikutnya. Menurut (Abdeljalil et al., 2024), rizobakteri antagonis mampu

menurunkan kepadatan populasi *Fusarium* di rizosfer melalui mekanisme kompetisi nutrisi dan pembentukan biofilm yang menghambat kolonisasi patogen pada akar tanaman. Selain itu, (Chen et al., 2023) melaporkan bahwa aplikasi PGPR dapat mengubah keseimbangan mikrobiologi tanah sehingga menciptakan lingkungan yang kurang mendukung bagi perkembangan *Fusarium oxysporum*. Penelitian lain yang dilakukan oleh (Martínez-Hidalgo et al., 2022) menunjukkan bahwa penurunan inokulum patogen oleh agen hayati berkontribusi nyata terhadap penurunan tingkat infeksi penyakit layu fusarium pada musim tanam berikutnya.

Selain melalui mekanisme antibiosis dan kompetisi, efektivitas rizobakteri juga diduga berkaitan dengan kemampuan menginduksi ketahanan sistemik tanaman atau induced systemic resistance (ISR). Mekanisme ISR memungkinkan tanaman meningkatkan respons fisiologis dan biokimia terhadap serangan patogen melalui aktivasi enzim pertahanan, peningkatan produksi senyawa fenolik, serta penguatan jaringan tanaman (Poveda et al., 2021). Aktivasi ketahanan sistemik oleh PGPR diketahui mampu meningkatkan toleransi tanaman terhadap berbagai patogen tular tanah sekaligus memperbaiki kondisi fisiologis tanaman.

Peningkatan pertumbuhan tanaman cabai merah pada perlakuan rizobakteri menunjukkan bahwa isolat yang digunakan juga berfungsi sebagai plant growth-promoting rhizobacteria. Peningkatan tinggi tanaman, jumlah daun, dan bobot segar diduga berkaitan dengan kemampuan rizobakteri dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara dan menghasilkan fitohormon seperti auksin serta giberelin. Menurut

DOI: <https://doi.org/10.32663/ja.v24i1.5507>

(Bhattacharyya & Jha, 2022), rizobakteri mampu meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara melalui pelarutan fosfat, fiksasi nitrogen, dan stimulasi perkembangan sistem perakaran tanaman.

Pemanfaatan rizobakteri sebagai agen pengendali hayati juga mendukung penerapan sistem pertanian berkelanjutan karena mampu mengurangi ketergantungan terhadap fungisida sintesis yang berisiko mencemari lingkungan dan memicu resistensi patogen. Penggunaan agen hayati berbasis mikroorganisme rizosfer dinilai lebih aman terhadap lingkungan serta mampu memperbaiki kualitas biologis tanah dalam jangka panjang (Al-Ani et al., 2021). Penelitian yang dilakukan oleh (Anggraini et al., 2025) juga menunjukkan bahwa pemanfaatan agen hayati berbasis mikroorganisme rizosfer berpotensi mendukung sistem budidaya ramah lingkungan dan meningkatkan produktivitas tanaman secara berkelanjutan.

Meskipun demikian, penelitian ini masih terbatas pada pengujian antagonistik dan efektivitas rizobakteri pada skala laboratorium dan screen house serta karakterisasi fenotipik awal isolat. Identifikasi molekuler berbasis gen 16S rRNA dan analisis metabolit antagonistik masih diperlukan untuk memastikan identitas isolat serta mendukung pengembangan formulasi biofungisida yang lebih stabil dan aplikatif pada skala lapangan. Menurut (Tuhuteru et al., 2024), identifikasi molekuler dan analisis metabolit sekunder merupakan tahapan penting dalam pengembangan agen biokontrol yang adaptif dan efektif. Oleh karena itu, penelitian lanjutan terkait karakterisasi genetik, kemampuan produksi metabolit antagonistik,

dan uji multilokasi masih perlu dilakukan untuk meningkatkan stabilitas dan efektivitas agen hayati dalam sistem budidaya cabai merah berkelanjutan.

KESIMPULAN

Rizobakteri antagonis terbukti mampu menghambat pertumbuhan *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici* serta menurunkan kejadian dan intensitas penyakit layu fusarium pada tanaman cabai merah. Isolat UBI-Rz04 menunjukkan efektivitas tertinggi pada pengujian *in vitro*, sedangkan isolat UBI-Rz01 lebih efektif pada pengujian *in vivo* melalui kemampuan menekan perkembangan penyakit dan populasi patogen di daerah perakaran. Selain berfungsi sebagai agen antagonis, aplikasi rizobakteri juga meningkatkan pertumbuhan tanaman cabai merah sehingga berpotensi dikembangkan sebagai kandidat biofungisida lokal ramah lingkungan dalam sistem budidaya cabai merah berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdeljalil, N., Abdelaziz, M. A., El-Mahdy, S. M., & El-Sayed, H. A. (2024). Antagonistic rhizobacteria suppress *Fusarium* populations in the rhizosphere through nutrient competition and biofilm formation. *Biological Control*, *192*, 105498.
- Al-Ani, L. A., Al-Hadithi, B. A., Al-Rawashdeh, N. A., & Al-Quran, F. A. (2021). Hazardous impacts of synthetic fungicides on the environment and human health. *Environmental Monitoring and Assessment*, *193*(7), 1–12.
- Anggraini, S., Fahrudin, A., Restiani, S., & Kusmari, D. P. (2025). Sinergi biochar dan agen hayati dalam rehabilitasi lahan serta peningkatan produktivitas tanaman: systematic literature review

DOI: <https://doi.org/10.32663/ja.v24i1.5507>

- (SLR). *Jurnal Agroteknologi Dan Pertanian (JURAGAN)*, 6(1), 14–27.
- Anggraini, S., Trisno, J., & Trizelia. (2020). Potensi rizobakteri indigenus sebagai agens biokontrol jamur fusarium oxysporum f. sp. cubense penyebab penyakit layu tanaman pisang. *Agroteknologi Dan Pertanian (JURAGAN)*, 1(1), 8–16.
- Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, I., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian, S., & Smith, D. L. (2022). Plant growth-promoting rhizobacteria: Context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 13, 868897.
- Bhattacharyya, P. K., & Jha, D. (2022). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 38(6), 101. <https://doi.org/10.1007/s11274-022-03265-7>
- Chakraborty, S., Das, P., Roy, A., & Mukherjee, S. (2024). Secondary metabolites produced by plant growth-promoting rhizobacteria suppress Fusarium oxysporum growth and development. *Rhizosphere*, 29, 100842. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2024.100842>
- Chen, Y., Zhang, W., Li, X., Wang, J., & Zhao, L. (2023). Plant growth-promoting rhizobacteria reshape soil microbial communities and suppress Fusarium oxysporum in crop rhizospheres. *Applied Soil Ecology*, 187, 104846.
- Elsharkawy, M. M., Kamel, A. E., Alghamdi, Y. S., & Saad, T. M. (2023). Plant growth-promoting rhizobacteria suppress soil-borne pathogens through rhizosphere colonization and nutrient competition. *Journal of Fungi*, 9(4), 412. <https://doi.org/10.3390/jof9040412>
- Gao, X., Zhang, L., Chen, Y., Wang, M., & Li, R. (2024). Hydrolytic enzyme-producing rhizobacteria inhibit Fusarium oxysporum by degrading fungal cell walls. *Biological Control*, 190, 105412. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2024.105412>
- Hernández-León, R., del Carmen Orozco-Mosqueda, M., & Santoyo, G. (2022). Non-volatile metabolites from rhizobacteria suppress Fusarium wilt disease in horticultural crops. *Journal of Applied Microbiology*, 133(5), 3021–3034. <https://doi.org/10.1111/jam.15634>
- Khan, T., Haleem, M. S., Yasmin, I., Javaid, A., & Shahid, M. (2023). Chitinase-producing rhizobacteria as potential biocontrol agents against soil-borne pathogens. *Archives of Microbiology*, 205(5), 145.
- Li, Y., Zhao, M., Chen, X., Wang, R., & Liu, J. (2023). Volatile organic compounds produced by rhizobacteria inhibit Fusarium oxysporum and improve plant resistance. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1189452. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1189452>
- Martínez-Hidalgo, P., Alías-Villegas, M. M., del Carmen Orozco-Mosqueda, M., & Santoyo, G. (2022). Biological control of Fusarium wilt by beneficial rhizobacteria: Reduction of soil inoculum and disease incidence. *Rhizosphere*, 23, 100572.
- Mishra, S., Amit, T., Singh, V., & Dubey, R. C. (2025). Native rhizobacteria for sustainable agriculture: Current status and future prospects. *Rhizosphere*, 31, 100921.
- Moradi, M., Bahramnejad, H., Amini, Z., & Rahimi, M. R. (2022). Siderophore-

DOI: <https://doi.org/10.32663/ja.v24i1.5507>

- producing rhizobacteria suppress Fusarium wilt through iron competition in the rhizosphere. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 55(14), 1724–1738. <https://doi.org/10.1080/03235408.2022.2104451>
- Ngalimat, M. F., Ahmad, S. N., Latif, M. A., Ismail, M. R., & Nawawi, M. (2021). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Mechanisms and their potential role in sustainable agriculture. *Microorganisms*, 9(11), 2482.
- Olanrewaju, O. S., O., B. O., & S., A. A. (2022). Mechanisms of plant growth-promoting rhizobacteria in enhancing plant resistance against soil-borne pathogens. *Microbiological Research*, 259, 127001. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127001>
- Poveda, J., Abril-Urias, M. E., & Escobar, E. (2021). Biological control of plant diseases through induced systemic resistance. *Microorganisms*, 9(9), 1838. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9091838>
- Rai, M., Singh, R., Kumar, A., Yadav, A., & Singh, P. (2021). Plant health management in vegetable crops: An overview. *Journal of Horticultural Science*, 16(2), 101–110.
- Riaz, M., Khalid, A., Arshad, M., & Mirza, B. (2023). Rhizosphere colonization ability of PGPR and its role in suppression of soil-borne pathogens. *Applied Soil Ecology*, 184, 104742. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.104742>
- Rojas-Solís, D., Santoyo, G., del Carmen Orozco-Mosqueda, J. A., Castañeda-Lucio, L., & del Carmen Rocha-Granados, M. (2023). Plant growth-promoting rhizobacteria as biological control agents against Fusarium oxysporum in horticultural crops. *Applied Soil Ecology*, 188, 104876. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.104876>
- Sharma, P., Kaushik, N., Bhardwaj, R., & Sharma, A. (2023). Fusarium wilt of chili: Epidemiology, impact and management approaches. *Crop Protection*, 170, 106315.
- Singh, J., Kaur, M., Gill, A., Siddiqui, S. S., & Siddiqui, Z. A. (2024). Biocontrol potential of bacillus and pseudomonas species against Fusarium oxysporum: mechanisms and applications. *Biological Control*, 186, 105356.
- Sultana, R., Islam, M. R., Rahman, M. M., Hasan, M. M., & Akter, S. (2022). Fusarium wilt of chili (*Capsicum annum* L.): A review on disease management strategies. *Plant Pathology Journal*, 38(4), 255–264.
- Tuhuteru, F. D., Ilyas, M., Rahmawati, R., & Yamin, Y. (2024). Molecular characterization and metabolite profiling of rhizobacteria as biological control agents. *Biodiversitas*, 25(3), 1120–1129.
- Widodo, S., Nurcahyani, N. A., Setiawati, S., & Prasetyo, E. (2022). Application of plant growth-promoting rhizobacteria to suppress Fusarium wilt and improve growth of chili pepper. *Biodiversitas*, 23(8), 4121–4128.
- Xi, Y., Liu, Q., Zhao, W., Zhang, H., & Chen, M. (2025). Antifungal activity of bacillus-derived lipopeptides against fusarium oxysporum and their role in biological control. *Frontiers in Microbiology*, 16, 1601945. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1601945>