



Isolasi Bakteri Rizosfer Kawasan Gunung Ijen Sebagai Biokontrol Bakteri *Xanthomonas Oryzae* Secara *In Vitro*

Isolation of Rhizosphere Bacteria from the Mount Ijen Area as Biocontrol Agents Against *Xanthomonas oryzae* Through In Vitro Assays

Erwin Angriawan¹, Oktarina¹, Hidayah Murtiyaningsih^{1*}

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Muhammadiyah Jember

Jl. Karimata No. 49 Kelurahan Summersari, Kecamatan Summersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur, Indonesia

Email: hidayahmurtiyaningsih@unmuhjember.ac.id

*Penulis Korespondensi

Abstract

Rice (*Oryza sativa* L.) is a strategic food crop whose productivity can be significantly reduced by bacterial leaf blight caused by *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (Xoo). The utilization of rhizosphere bacteria as biocontrol agents has emerged as an environmentally friendly alternative to conventional disease management. This study aimed to isolate, characterize, and evaluate the potential of rhizosphere bacteria from the Mount Ijen area as biocontrol agents against Xoo. Bacterial isolation was performed using the serial dilution and spread plate methods, while characterization included colony morphology, Gram staining, and physiological and biochemical tests. Bacterial growth was assessed using an OD₆₀₀ growth curve, whereas antagonistic activity was evaluated using the Kirby–Bauer disk diffusion method. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) followed by Dunnett's test at a 5% significance level. Five bacterial isolates were obtained and tentatively identified as belonging to the genera *Micrococcus*, *Bacillus*, and *Streptococcus*. Isolates AP002 and AP003 exhibited the strongest antagonistic activity against Xoo, producing inhibition zones of 37.57 mm and 33.10 mm, respectively, and reached maximum cell density after 30–40 h of incubation. These findings indicate that rhizosphere bacteria from the Mount Ijen area have considerable potential as biocontrol agents for the sustainable management of bacterial leaf blight in rice.

Keywords: Rice, Bacterial leaf blight, *Bacillus*, OD₆₀₀, Inhibition zone

Abstrak

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan komoditas pangan strategis yang produktivitasnya dapat menurun akibat serangan penyakit hawar daun bakteri yang disebabkan oleh *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (Xoo). Pemanfaatan bakteri rizosfer sebagai agens biokontrol menjadi alternatif pengendalian yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan mengisolasi, mengkarakterisasi, dan mengevaluasi potensi bakteri rizosfer asal kawasan Gunung Ijen sebagai agen biokontrol terhadap Xoo. Isolasi dilakukan menggunakan metode pengenceran bertingkat (*serial dilution*) dan *spread plate*, sedangkan karakterisasi meliputi morfologi koloni, pewarnaan Gram, serta uji fisiologi dan biokimia. Laju pertumbuhan diamati menggunakan kurva OD₆₀₀, sedangkan aktivitas antagonistik diuji dengan metode difusi cakram Kirby–Bauer. Data dianalisis menggunakan ANOVA dan uji lanjut Dunnett pada taraf 5%. Hasil penelitian memperoleh lima isolat yang diduga termasuk genus *Micrococcus*, *Bacillus*, dan *Streptococcus*. Isolat AP002 dan AP003 menunjukkan aktivitas antagonistik tertinggi terhadap Xoo dengan zona hambat masing-masing sebesar 37,57 mm dan 33,10 mm, serta mencapai kepadatan sel maksimum pada inkubasi 30–40 jam. Hasil ini menunjukkan bahwa bakteri rizosfer kawasan Gunung Ijen berpotensi dikembangkan sebagai sumber agens biokontrol dalam pengendalian penyakit hawar daun bakteri pada tanaman padi.

Kata kunci: Padi, Hawar daun bakteri, *Bacillus*, OD₆₀₀, Zona hambat

Disubmit: 7 Januari 2026; Direvisi: 22 Juni 2026; Diterima: 25 Juni 2026

Pendahuluan

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan sumber pangan utama bagi lebih dari 50% populasi penduduk dunia dan memainkan peran penting dalam menjaga ketahanan pangan global (Yin *et al.*, 2018). Seiring peningkatan

populasi dunia yang diproyeksikan mencapai 9,7 miliar jiwa pada tahun 2050, kebutuhan produksi sereal diprediksi meningkat sebesar 70% (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020). Kondisi ini menempatkan sektor pertanian sebagai fondasi penting untuk mendukung pemenuhan pangan

Copyright© 2026. Erwin Angriawan, Oktarina, Hidayah Murtiyaningsih



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

How to Cite: Angriawan, E., Hidayah, O., Murtiyaningsih. (2026). Isolasi Bakteri Rizosfer Kawasan Gunung Ijen Sebagai Biokontrol Bakteri *Xanthomonas Oryzae* Secara *In Vitro*. Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati, 11(2), 168-181.

dan pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), khususnya tujuan kedua mengenai penghapusan kelaparan, peningkatan ketahanan pangan, dan penerapan sistem produksi pangan yang berkelanjutan. Di Indonesia, sektor pertanian berperan sebagai penyumbang terbesar ketiga terhadap Produk Domestik Bruto (PDB), sehingga stabilitas dan produktivitas komoditas padi sangat menentukan ketahanan pangan nasional.

Namun demikian, dalam lima tahun terakhir produksi padi di Indonesia mengalami penurunan signifikan. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS, 2025), total produksi padi tahun 2024 sebesar 53.142.726 ton GKG, turun 1.500.476 ton atau 2,74% dibandingkan produksi tahun 2020 yang mencapai 54.649.202 ton. Penurunan ini berkaitan erat dengan perubahan iklim yang memicu peningkatan suhu, ketidakstabilan curah hujan, dan kelembapan tinggi, sehingga memunculkan kondisi ideal bagi perkembangan penyakit tanaman. Salah satu penyakit utama pada padi yang sangat dipengaruhi perubahan iklim adalah hawar daun bakteri (*bacterial leaf blight*, BLB) yang disebabkan oleh *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (Xoo). Patogen ini menghasilkan pigmen xantomonadin yang menyebabkan klorosis dan nekrosis pada daun. Penyakit ini dilaporkan pertama kali di Indonesia pada tahun 1950-an di Bogor (Af'idzatutttama et al., 2025). dan hingga kini menjadi salah satu penyakit paling merugikan. Direktorat Perlindungan Tanaman mencatat kerusakan lebih dari 37.000 hektar per tahun, dengan potensi kehilangan hasil lebih dari 50% (Direktorat Jenderal Tanaman Pangan, 2024).

Sebagian petani selama ini mengendalikan penyakit tanaman masih bergantung pada aplikasi bahan kimia. Penggunaan bahan kimia yang berkepanjangan dapat menimbulkan dampak buruk terhadap ekosistem lingkungan dan kehidupan manusia. Pendekatan pengendalian hayati menjadi strategi potensial dalam mengendalikan bakteri *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (Masnilah et al., 2023). Salah satu agen hayati potensial yang dapat di gunakan sebagai biocontrol bakteri Xoo adalah bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas fluerences*. Penelitian tentang pengembangan agens hayati terhadap bakteri Xoo telah banyak dilaporkan, seperti (Sayekti, 2024) Endofit *bacillus* sp. sebagai agensia pengendali hawar daun *Xanthomonas* sp. pada

tanaman padi (Khotimah, 2024) perlakuan biobacterisida *Bacillus subtilis* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perkembangan hawar daun bakteri hingga intensitas 14,72%. (Asmayani et al., 2025) Potensi anti xanthomonas dari bakteri rizozfer tanaman kangkung pagar *Ipomoea carnea*. (Prastyo, 2018) eksplorasi bakteri rizozfer kawasan hutan universitas brawijaya serta potensinya sebagai agens antagonis bakteri *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzae*.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada bakteri dari lingkungan umum seperti pertanian dataran rendah atau hutan tropis, sedangkan isolasi bakteri rizosfer dari habitat kawasan vulkanik masih sangat terbatas. Bakteri dari habitat vulkanik diketahui memiliki produksi metabolit sekunder yang potensial sebagai agen biokontrol seperti antibiotik *Fusaricidin* B yang diisolasi dari bakteri eubakteri asal air panas pegunungan, *Paenibacillus polymyxa*. Senyawa ini kemudian diketahui memiliki aplikasi baru sebagai agen antituberkulosis (Mahajan & Balachandran 2017). Selain itu, sebagian besar studi belum mengevaluasi fase efektivitas bakteri patogen terhadap isolat antagonis secara sistematis, sehingga data fase efektivitas dan respon antagonistik masih belum komprehensif.

Rizosfer merupakan area di sekitar perakaran tumbuhan yang telah diketahui banyak mengandung bakteri menguntungkan. Bakteri rizosfer dapat ditemui di seluruh lingkungan alami seperti hutan dan gunung. Pengembangan agens pengendali hayati yang berkelanjutan dan ramah lingkungan telah meningkatkan perhatian terhadap isolasi bakteri habitat alami, khususnya ekosistem pegunungan dan hutan, yang merupakan sumber keanekaragaman bakteri dengan potensi menghasilkan senyawa antimikroba dan aktivitas antagonistik terhadap patogen tanaman. Habitat bakteri pegunungan memiliki kemampuan senyawa biokimia luar biasa dan menunjukkan kemampuan untuk menghasilkan beragam senyawa aktif metabolit sekunder seperti produksi enzim lisis, lipopeptida, dan siderofor. Metabolit ini menunjukkan sifat antimikroba yang kuat serta berpotensi sebagai aplikasi agens pengendali hayati (Mahajan & Balachandran, 2017; Rafiee et al., 2024; Thakur et al., 2022). Salah satu kawasan yang potensial dan di yakini sebagai

tempat koloni bakteri rizosfer yakni kawasan Taman Wisata Alam Kawah Ijen.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat dirumuskan bahwa terdapat kesenjangan penelitian berupa kurangnya isolasi bakteri rizosfer asal gunung Ijen sebagai agen biokontrol *Xoo*, serta belum tersedianya data sistematis mengenai fase efektivitas isolat terhadap penghambatan bakteri patogen. Kesenjangan ini menjadi dasar penting bagi perlunya penelitian lanjutan untuk memperoleh data ilmiah terkait potensi isolat lokal sebagai agen pengendali hayati yang efektif dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi, mengkarakterisasi, dan mengevaluasi potensi bakteri rizosfer asal Gunung Ijen sebagai agen biokontrol terhadap *Xoo*.

Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan terdiri atas media *Nutrient Agar* (NA), *Nutrient Broth* (NB), media TSIA, reagen pewarnaan Gram (kristal violet, iodine, alkohol 95%, safranin), reagen katalase (H_2O_2 3%), reagen Kovac's untuk uji indol, reagen MR–VP, serta larutan akuades steril. Bakteri uji *Xoo* dan enam isolat rizosfer digunakan sebagai materi utama. Peralatan khusus meliputi autoklaf, *laminar airflow*, inkubator, sentrifuge, spektrofotometer UV–Vis, mikroskop cahaya serta peralatan laboratorium lainnya.

Pengambilan sampel

Sampel tanah rizosfer diambil secara komposit pada kedalaman ± 10 cm dari perakaran rumput dan pohon cantigi pada tanggal 23 September 2025. Satu sampel tanah diambil 3 titik dengan masing-masing titik berjarak kurang lebih 5-10 meter. Parameter lingkungan diukur di lapangan (suhu tanah, kelembapan tanah). Sampel dikumpulkan dalam botol kaca steril, diberi label, disimpan dalam *coolbox*, dan dibawa ke laboratorium biologi universitas muhammadiyah jember untuk proses isolasi.

Isolasi Bakteri Rizosfer

Isolasi dilakukan menggunakan metode pengenceran bertingkat (10^{-1} – 10^{-4}). Sebanyak 1 g tanah ditambahkan ke dalam 9 mL akuades steril dan divortex sampai homogen. Suspensi ditanam pada media NA menggunakan metode *spread plate*, kemudian diinkubasi pada 37 °C selama 24–48 jam. Koloni yang tumbuh dipurifikasi dengan teknik *streak plate* hingga diperoleh biakan tunggal (Mikdarullah & Nugraha, 2017).

Karakterisasi Morfologi dan Mikroskopis

Identifikasi bakteri dilakukan melalui pengamatan mikroskopis dan makroskopis untuk mengetahui karakteristiknya secara komprehensif. Secara mikroskopis, pewarnaan Gram menggunakan kristal violet, iodine, alkohol 95%, dan safranin digunakan untuk membedakan bakteri Gram positif (berwarna ungu) dan Gram negatif (berwarna merah keunguan). Sementara itu, pengamatan makroskopis dilakukan dengan mengamati morfologi koloni pada media, meliputi bentuk, warna, tepi, serta elevasi koloni seperti cembung (*convex*) atau datar (*flat*) (Suryani & A'yun, 2022).

Karakterisasi Fisiologi dan Biokimia

Karakterisasi fisiologi–biokimia dilakukan untuk mendukung identifikasi determinatif berdasarkan *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. Identifikasi ini bertujuan untuk mengetahui aktivitas sel serta interaksi biokimia yang terjadi melalui berbagai uji fisiologi (biokimia). Uji biokimia dilakukan untuk mengidentifikasi dan menentukan sifat fisiologis biakan murni bakteri hasil isolasi (Imtiyaz & Octavia, 2023). Alat dan bahan yang digunakan meliputi *Laminar Air Flow* (LAF), cawan petri, tabung reaksi, jarum ose, ose tusuk, api bunsen, erlenmeyer, gelas ukur, pipet, plastik wrap, air steril, alkohol, serta media NA, NB, TSIA, MRVP, dan sampel isolat bakteri.

Uji Motilitas

Uji fisiologi motilitas dilakukan untuk mengetahui kemampuan pergerakan bakteri uji. Prosedur dimulai dengan menimbang 0,7 g media nutrient agar, kemudian dilarutkan dalam 35 mL akuades dan disterilisasi pada suhu 121°C selama 30 menit. Media selanjutnya dituangkan ke dalam tabung reaksi masing-masing sebanyak 6 mL, didinginkan hingga memadat, lalu diinokulasikan dengan tusukan jarum ose hingga dasar media dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Hasil uji dinyatakan positif apabila terlihat pertumbuhan yang melebar dari bekas tusukan jarum ose (Panjaitan *et al.*, 2020)

Uji H₂S

Uji H₂S menggunakan media *Triple Sugar Iron Agar* (TSIA) dilakukan untuk mengetahui kemampuan bakteri dalam menghasilkan hidrogen sulfida. Media TSIA disusun dari pepton 15 g, yeast extract 3 g, *beef extract* 3 g, laktosa 10 g, sukrosa 10 g, glukosa 1 g, NaCl 5 g, dan FeSO₄ dalam 1000 mL akuades, kemudian disterilisasi pada suhu 115°C selama 30 menit. Media dituangkan ke dalam tabung reaksi sebanyak 5 mL, dimiringkan hingga membentuk sudut 30° dan dibiarkan memadat, kemudian diinokulasikan secara aseptik dengan cara ditusuk hingga $\frac{3}{4}$ bagian media dan digores pada permukaan miring, lalu diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Hasil positif ditandai dengan terbentuknya endapan hitam pada bagian bawah media yang menunjukkan produksi H₂S oleh bakteri (Lay, 2008).

Uji Fermentasi Karbohidrat

Media uji menggunakan media yang sama dengan uji H₂S yakni media TSIA. Hasil positif bila terjadi pembentukan asam dan pembentukan gas. Pembentukan asam terlihat sebagai perubahan warna substrat karbohidrat dari warna merah menjadi warna kuning. Pembentukan gas terjadi didasar media yang ditandai dengan adanya ruang kosong didasar media (Cappuccino & Sherman, 2005).

Uji Indol

Uji indol dilakukan menggunakan media NA untuk mengetahui kemampuan bakteri dalam menghasilkan indol. Media dibuat dengan melarutkan 0,7 g NA dalam 35 mL akuades, kemudian disterilisasi pada suhu 115°C selama 30 menit dan didinginkan hingga suhu ruang sebelum dituangkan ke dalam tabung reaksi masing-masing sebanyak 5 mL. Isolat bakteri diinokulasikan dengan cara menusukkan jarum ose hingga kedalaman $\frac{3}{4}$ bagian media, kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Hasil positif ditunjukkan dengan terbentuknya warna merah setelah penambahan 0,2–0,3 mL reagen Kovac's (Lay, 2008).

Uji Katalase

Media dibuat dengan menimbang NA sebanyak 0,59 g dan dilarutkan dalam 21 mL akuades. Kemudian sterilisasi autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit. Media kemudian dituang ke dalam tabung reaksi masing-masing sebanyak 7 mL. Inokulasikan media dengan koloni biakan yang berasal dari masing-masing agar miring dengan cara ditusukkan jarum sedalam $\frac{3}{4}$ bagian. Diinkubasi pada suhu 37°C selama 1x24 jam, dengan menambahkan 0,2–0,3 ml reagen covac's. Hasil positif apabila kultur bewarna merah pada saat penambahan reagen Reaksi katalase diuji dengan H₂O₂ 3%. Pembentukan gelembung menunjukkan hasil positif (Cappuccino & Sherman, 2005).

Uji MR–VP (Methyl Red–Voges Proskauer)

Uji merupakan metode untuk mengidentifikasi kemampuan bakteri dalam menghasilkan produk fermentasi glukosa, baik berupa asam kuat maupun senyawa netral. Prosedur dilakukan dengan membagi media MR-VP menjadi dua tabung (A dan B), kemudian masing-masing diinokulasikan satu ose biakan dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Tabung A digunakan untuk uji Voges Proskauer (VP) dengan penambahan α -naftol dan kalium hidroksida, di mana perubahan warna menjadi merah muda hingga

merah tua menunjukkan hasil positif. Tabung B digunakan untuk uji *Methyl Red* (MR) setelah inkubasi 48 jam dengan penambahan reagen metil red, dan perubahan warna yang sama juga menandakan hasil positif. Dengan demikian, uji MR-VP mampu membedakan jalur fermentasi bakteri berdasarkan produk akhir yang dihasilkan (Raihana, 2011).

Uji Kebutuhan Oksigen

Biakan bakteri diambil menggunakan jarum ose secara aseptik dan diinokulasikan pada tabung reaksi 9 ml yang berisi media NA semi solid dan diinkubasi selama 24 jam. Pertumbuhan bakteri ditunjukkan dengan adanya kekeruhan pada tabung media yakni di permukaan, Di tengah di bagian dasar, maupun tersebar dalam media. Bentuk kebutuhan oksigen bakteri diantaranya fakultatif anaerob, anaerob obligat, aerob obligat, mikroaerofilik dan aerob toleran (Panjaitan *et al.*, 2020).

Kurva Pertumbuhan Bakteri

Kultur bakteri diinokulasikan ke dalam 50 mL media NB dan diinkubasi menggunakan *shaker* pada suhu ruang. Sampel sebanyak 1 mL diambil setiap 8 jam hingga 60 jam. Nilai kekeruhan dianalisis menggunakan spektrofotometer pada 600 nm sesuai rentang pengukuran standar untuk estimasi biomassa (Furqonita *et al.*, 2021).

Uji Antagonis terhadap *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*

Pengujian aktivitas antagonis dilakukan menggunakan metode difusi cakram Kirby–Bauer. Suspensi Xoo sebanyak 100 µL disebar pada media NA. Isolat rizosfer yang telah diinkubasi selama 40 jam disentrifugasi

pada kecepatan 3.000 rpm selama 20 menit, dan *paper disk* steril (diameter 6 mm) direndam selama 15–30 menit dalam suspensi supernatan. *Disk* diletakkan di atas permukaan media, kemudian diinkubasi pada 37 °C selama 24–40 jam. Zona hambat berdasarkan klasifikasi (Bauer *et al.*, 1959).

Rancangan Percobaan dan Analisis Data

Percobaan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) non faktorial dengan tujuh perlakuan meliputi lima isolat rizosfer, kontrol positif (kloramfenikol), dan kontrol negatif (akuades steril), masing-masing dengan empat ulangan. Data zona hambat diukur menggunakan jangka sorong kemudian dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA). Jika terdapat perbedaan nyata, dilakukan uji lanjutan Dunnett pada taraf 5% untuk membandingkan tiap isolat dengan kontrol positif sesuai praktik statistik pada penelitian biokontrol antimikroba.

Hasil dan Pembahasan

Pengambilan sampel dan isolasi bakteri

Pengambilan sampel dilakukan pada Selasa, 23 September 2025 di kawasan TWA Ijen pada ketinggian ±1700 mdpl, tepatnya di area rizosfer perakaran pohon serta rumput dikawasan gunung ijen. Selama pengambilan sampel dilakukan pengukuran parameter lingkungan, diperoleh nilai pH tanah rizosfer rata-rata berada pada 7,5 suhu 24° C. Seluruh sampel kemudian disimpan dalam botol kaca steril dan dibawa ke Laboratorium Biologi Universitas Muhammadiyah Jember untuk dilakukan analisis selanjutnya.



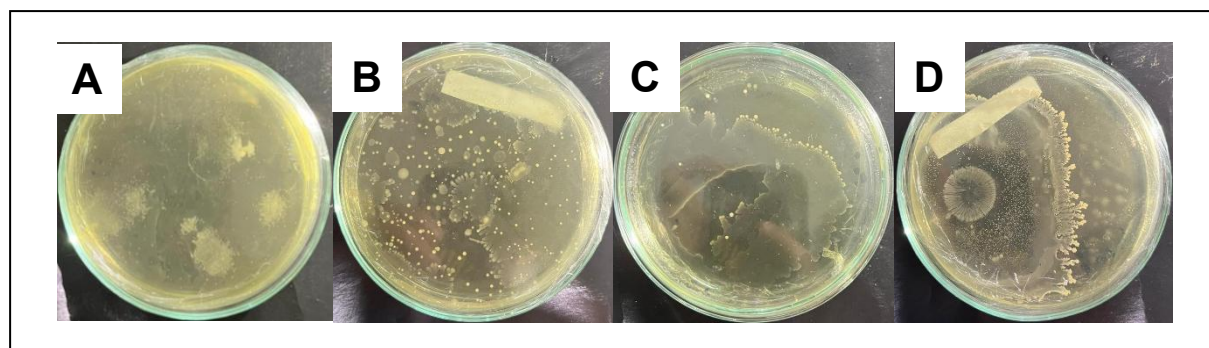
Gambar 1. Dua lokasi pengambilan sampel tanah rizosfer: A) tanah akar pohon; B) tanah akar rumput. Keduanya merupakan tanah di kawasan TWA Ijen.

Isolasi bakteri dari sampel tanah rizosfer Gunung Ijen menghasilkan pertumbuhan koloni yang beragam, yang mengindikasikan tingginya heterogenitas koloni bakteri di lingkungan tersebut. Keanekaragaman koloni terlihat pada perbedaan bentuk, warna, elevasi, dan tepi koloni yang muncul di media NA setelah pengenceran bertingkat. Pola ini sesuai dengan laporan (Ding *et al.*, 2024) yang menyatakan bahwa rizosfer tanaman di lingkungan pegunungan memiliki komposisi mikroba lebih kaya dibanding tanah non-rizosfer. Koloni yang muncul kemudian dimurnikan menggunakan metode streak plate untuk memperoleh isolat tunggal yang siap dikarakterisasi.

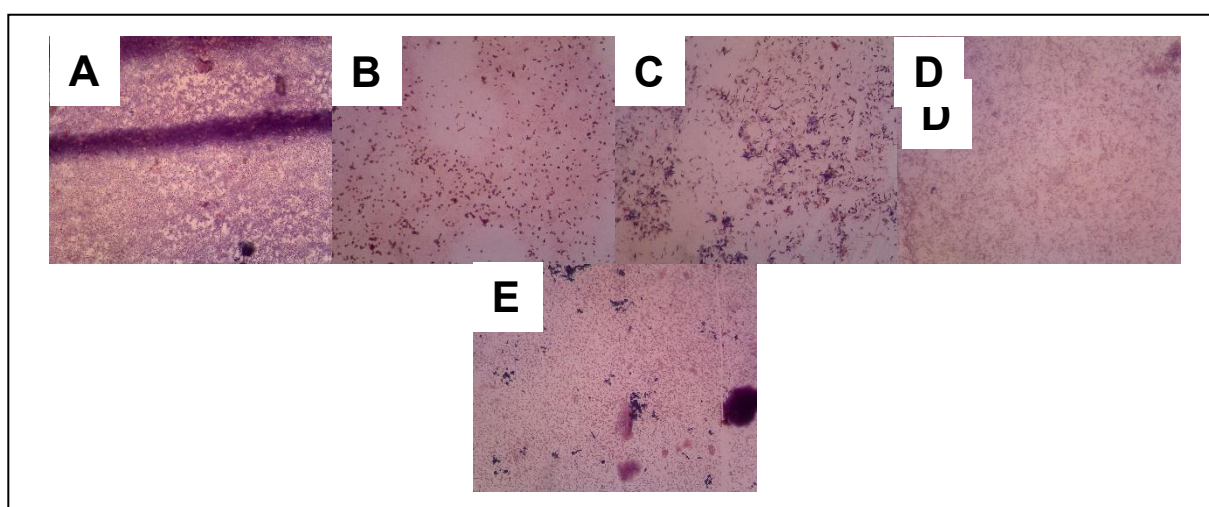
Uji morfologi makroskopis dan mikroskopis

Karakterisasi bakteri dalam penelitian ini dilakukan melalui pengamatan morfologi secara makroskopis dan mikroskopis untuk

mengetahui ciri fenotipik isolat yang diperoleh dari tanah rizosfer gunung Ijen. Pengamatan makroskopis meliputi bentuk koloni, tepi, elevasi, dan warna untuk mengidentifikasi keragaman visual koloni bakteri. Sementara itu, karakterisasi mikroskopis dilakukan dengan teknik pewarnaan Gram menggunakan kristal violet, iodine, alkohol 96%, dan safranin, kemudian diamati dengan mikroskop Olympus CX-21 untuk membedakan bakteri Gram positif dan Gram negatif, sebagaimana umum diterapkan dalam studi karakterisasi bakteri rizosfer (Risanti *et al.*, 2025; Zondi *et al.*, 2025). Pewarnaan Gram dilakukan untuk mengetahui struktur dinding sel bakteri, dimana bakteri Gram positif memiliki lapisan peptidoglikan lebih tebal sehingga mampu mempertahankan warna ungu kristal violet setelah perlakuan alkohol 96%, sedangkan bakteri Gram negatif berubah menjadi merah karena kehilangan warna primer dan hanya mengikat safranin (Muzammil *et al.*, 2025).



Gambar 2. Empat media NA hasil isolasi bakteri melalui pengenceran bertingkat: A) 10⁻¹ tanah rizosphere rumput; B) 10⁻² tanah rizosphere rumput; C) 10⁻⁴ tanah rizosphere rumput; D) 10⁻² tanah rizosphere pohon cantigi



Gambar 3. Hasil Pewarnaan gram Isolat Rizosfer gunung ijen: A) AR 001, B) AR 002, C) AR 003, D) AP 002, E) AP 003.

Tabel 1. Hasil Pengamatan Makroskopis dan Mikroskopis

Kode Isolat	Makroskopis			Mikroskopis		
	Bentuk koloni	Tepi koloni	Elevasi	Warna	Gram	Bentuk sel
AR 001	Bulat	Rata	Cembung	Kekuningan	+	<i>Coccus</i>
AR 002	Bulat	Bergelombang	Cembung	Kekuningan	-	<i>Coccobacillus</i>
AR 003	Tidak beraturan	Berlobus	Cembung	Kekuningan	+	<i>Bacillus</i>
AP 002	Berakar	Rata	Unbunate	Putih susu	-	<i>Streptococcus</i>
AP 003	Tidak beraturan	Berlobus	Cembung	Putih susu	+	<i>Coccus</i>

Keragaman morfologi koloni dan hasil pewarnaan Gram pada enam isolat menunjukkan bahwa komunitas bakteri yang ditemukan mencakup Gram positif dan Gram negatif dengan bentuk sel coccus, bacillus, coccobacillus, serta streptococcus. Genus *Bacillus* merupakan salah satu kelompok bakteri yang banyak diteliti sebagai agens biokontrol karena kemampuannya menghasilkan berbagai metabolit sekunder antimikroba, termasuk lipopeptida (surfactin, iturin, dan fengycin), peptida nonribosomal, poliketida (difficidin dan bacillaene), serta makrolakton (macrolactin), yang diketahui berperan dalam menghambat pertumbuhan bakteri, cendawan, dan berbagai patogen tanaman (Saiyam *et al.*, 2024). Isolat dengan karakteristik morfologi yang menyerupai genus *Streptococcus* diduga memiliki potensi menghasilkan peptida antimikroba berupa bakteriosin, sebagaimana telah banyak dilaporkan pada berbagai spesies dalam genus tersebut. Sementara itu, isolat yang menyerupai genus *Micrococcus* berpotensi menghasilkan metabolit sekunder bioaktif peptida tiazolil,

termasuk senyawa antimikroba yang dapat berkontribusi terhadap aktivitas antagonistik terhadap patogen tanaman (Nes *et al.*, 2007; Tizabi & Hill, 2023). Pewarnaan Gram memperlihatkan tiga isolat Gram positif (AR001, AR003, AP003) dan 2 isolat Gram negatif (AR002, AP002).

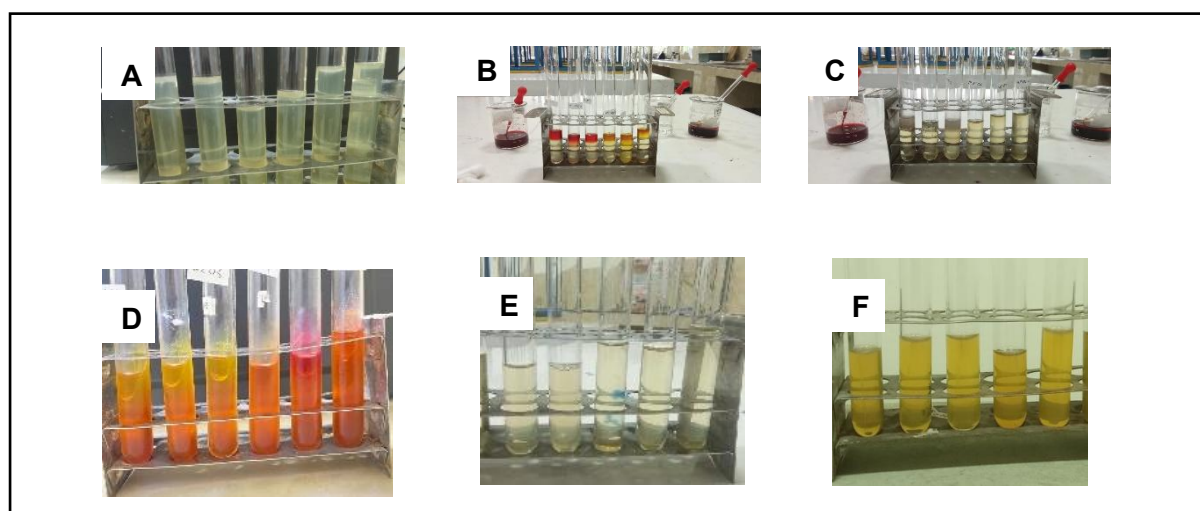
Karakterisasi berdasarkan uji fisiologi dan biokimia

Identifikasi taksonomi isolat-isolat yang diperoleh dari tanah rizosfer akar rumput alang dan akar pohon cantigi dilakukan dengan pendekatan determinatif penentuan genus yang menggabungkan data makroskopis (morfologi koloni), mikroskopis (hasil pewarnaan Gram, bentuk sel), dan uji fisiologi-biokimia (katalase, motilitas, dan kemampuan fermentasi pada TSIA). sebagaimana diuraikan oleh *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*; kombinasi karakter tersebut memungkinkan pemisahan genus-genus utama yang sering ditemukan pada tanah rizosfer (Breed *et al.*, 1957).

Tabel 2. Hasil Karakterisasi Fisiologi dan Biokimia

Kode isolat	Hasil Uji								
	Uji kebutuhan oksigen	Uji Motilitas	Uji MR	Uji VP	Uji Katalase	Uji TSIA		Uji H ₂ S	Uji Indol
						Glukosa	Laktosa/sukrosa		
AR 001	<i>Obligate aerob</i>	-	-	-	+	-	+	-	-
AR 002	<i>Obligate aerob</i>	+	-	-	-	-	+	-	-
AR 003	<i>Obligate aerob</i>	+	-	-	-	-	+	-	-
AP 002	<i>Obligate aerob</i>	+	+	+	-	+	-	-	-
AP 003	<i>Obligate aerob</i>	+	+	+	+	+	-	-	-

Keterangan: AR (akar rumput) AP (akar pohon cantigi).

**Gambar 4.** Hasil uji biokimia isolat rizosfer gunung ijen : A) Uji motilitas dan kebutuhan oksigen, B) Uji MR, C) Uji VP, D) Uji TSIA dan H₂S, E) Uji katalase, F) Uji indol.

Hasil uji biokimia memperlihatkan adanya pola yang konsisten dengan karakter determinatif menurut Bergey's Manual. Isolat AR002 dan AR003 menunjukkan sifat basil Gram positif aerob dengan reaksi katalase positif, sehingga diduga mengarah pada genus *Bacillus*. Sementara isolat AR001 dan AP003 memiliki ciri kokus Gram positif aerob yang konsisten diduga genus *Micrococcus*. Adapun AP002 menunjukkan bentuk streptococcus dengan katalase negatif yang dekat dengan genus *Streptococcus*. Informasi fisiologi ini penting karena *Bacillus* dan *Micrococcus* termasuk bakteri yang dikenal mampu menghasilkan senyawa antibakteri seperti lipopeptida, enzim proteolitik, dan siderofor (Zhou *et al.*, 2022). Oleh karena itu, beberapa

isolat memiliki peluang besar sebagai kandidat agen hayati pengendali *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* (Xoo).

Identifikasi determinatif morfologi/biokimia dalam penelitian ini masih memiliki keterbatasan untuk mencapai tingkat genus/spesies yang definitif. Untuk menguatkan hasil dan menghubungkan karakter taksonomis rekomendasi teknis lanjutan yang penting adalah melakukan uji oksidase dan pengamatan pembentukan spora untuk memverifikasi pembagian dalam Bacillaceae, penentuan profil metabolit antimikroba (analisis LC-MS atau uji deteksi lipopeptida seperti surfactin/iturin/fengycin) serta konfirmasi molekuler 16S rRNA sequencing untuk identifikasi sampai tingkatan

genus/spesies yang dapat dipublikasikan. Langkah-langkah ini juga umum direkomendasikan dalam studi-studi biokontrol modern untuk memastikan translatabilitas potensi laboratorium ke aplikasi lapangan (Ooi *et al.*, 2022)

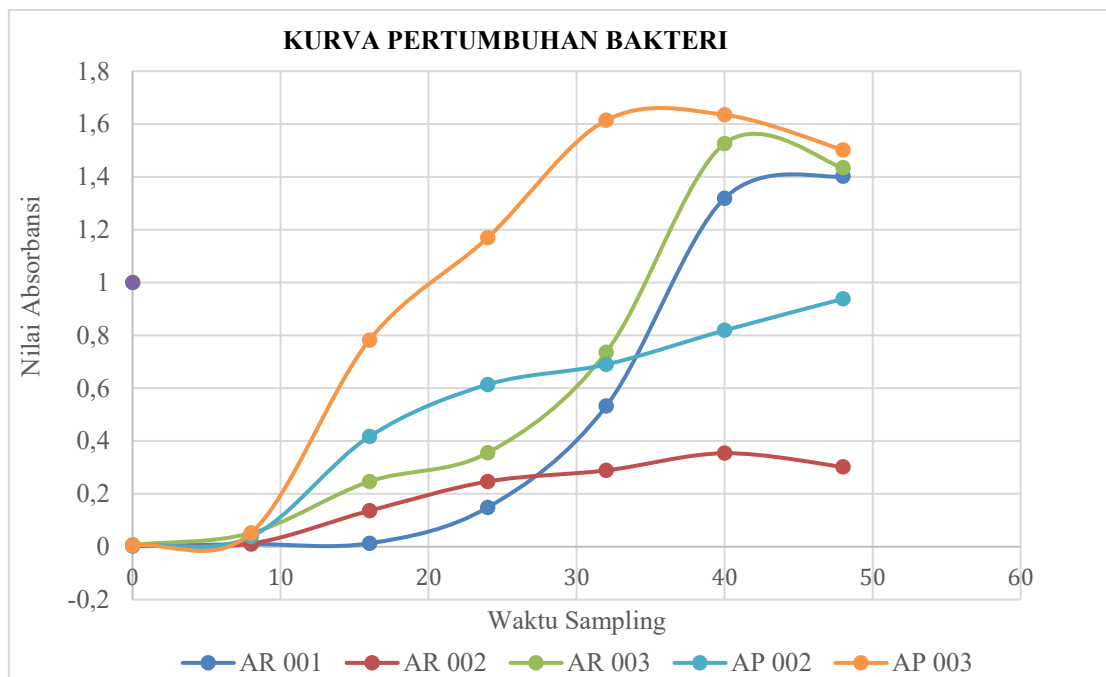
Laju pertumbuhan bakteri menggunakan Spektrofotometri Uv-Vis OD₆₀₀

Pengamatan kurva pertumbuhan menunjukkan bahwa seluruh isolat mengikuti pola pertumbuhan umum bakteri yang meliputi fase lag, eksponensial, stasioner, dan kematian. Isolat AR003 dan AP003 mencapai nilai OD₆₀₀ tertinggi pada jam ke-32 hingga 40, mengindikasikan kemampuan pertumbuhan yang cepat serta produksi biomassa tinggi. Fase stasioner yang dicapai pada jam ke-32–48 merupakan fase penting karena pada fase ini bakteri mulai memproduksi metabolit sekunder seperti antibiotik dan enzim hidrolitik (Andrić *et al.*, 2023). Oleh sebab itu, suspensi bakteri untuk uji antagonis disiapkan pada fase

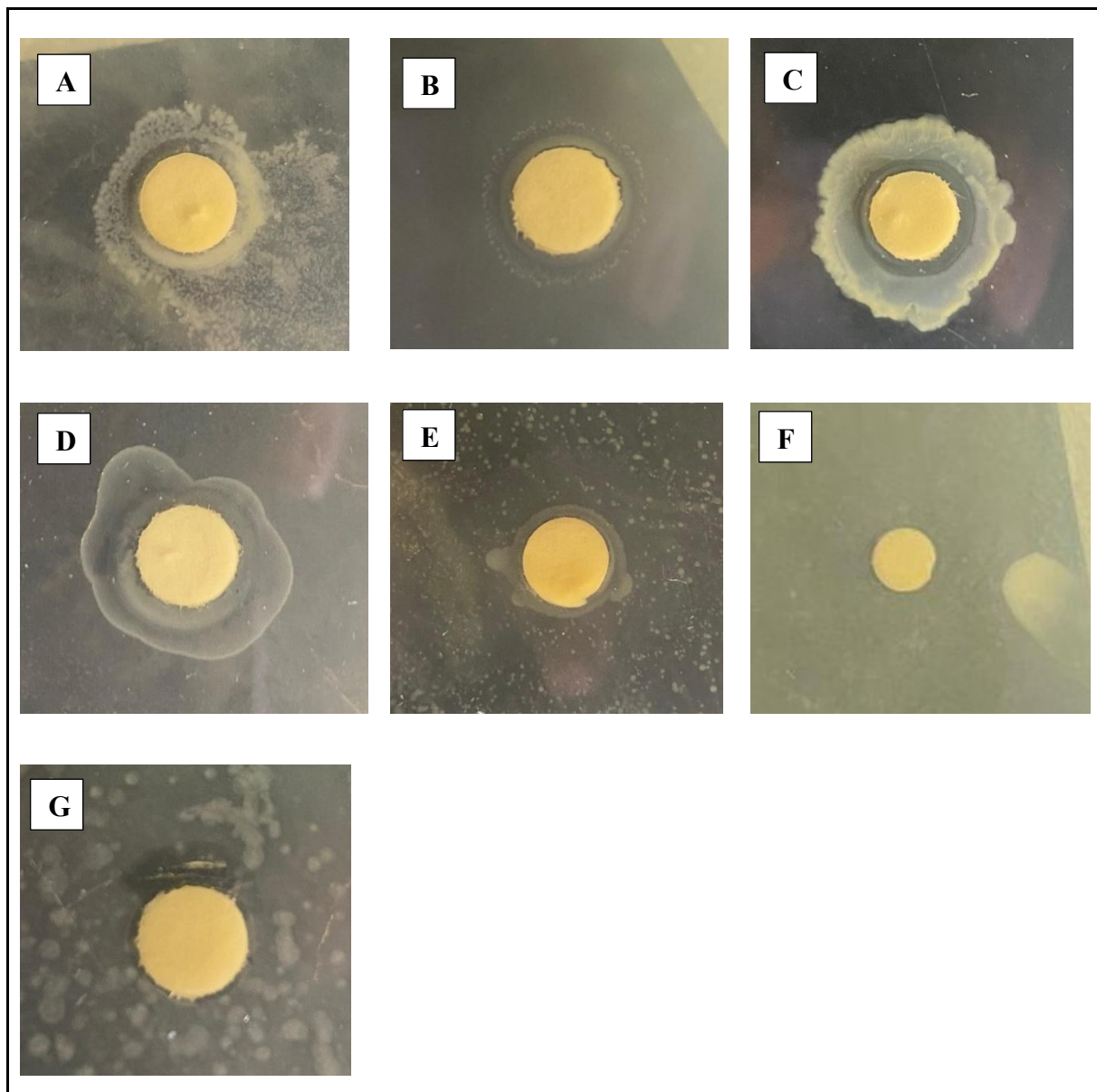
stasioner untuk memastikan produksi metabolit antimikroba maksimal.

Hasil analisa data zona hambat bakteri rizosfer

Analisis ANOVA menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nyata ($p < 0,05$) antara kemampuan hambat masing-masing isolat terhadap Xoo. Nilai rata-rata zona hambat tertinggi ditemukan pada isolat AP002 (37,57 mm) dan AP003 (33,10 mm), sementara isolat AR003 juga menunjukkan aktivitas hambat moderat. Perbedaan signifikan ini mengindikasikan bahwa tidak semua anggota genus atau kelompok bakteri memiliki kapasitas antibakteri yang sama, tergantung pada kemampuan produksi metabolit sekunder masing-masing isolat. Hasil ini sejalan dengan (Rafiee *et al.*, 2024) yang melaporkan bahwa bakteri dari habitat vulkanik menghasilkan senyawa antagonistik dengan intensitas berbeda tergantung ekspresi genetiknya.



Gambar 5. Laju pertumbuhan bakteri menggunakan spektrofotometri panjang gelombang OD₆₀₀



Gambar 6. Hasil uji antagonis metode kirby bauer A) AR001, B) AR002, C) AR003, D) AP002, E) AP003, F) K+, G) K-.

Tabel 2. Analisa Data ANOVA Rancangan Percobaan Zona Hambat Bakteri Rizosfer

Isolat	Ulangan	Jumlah(mm)	Rata rata (mm)	Variance(mm)	Notasi
AR 01	4	94,34	23,59	2,28	a
AR 02	4	88,70	22,18	0,28	a
AR 03	4	113,94	28,49	82,56	a
AP 02	4	150,26	37,57	113,54	b
AP 03	4	132,40	33,10	119,58	b
K +	4	88,52	22,13	1,97	a
K -	4	73,02	18,26	67,30	a

Keterangan: Notasi a perlakuan tidak berbeda nyata notasi b perlakuan berbeda nyata

Tabel 3. Hasil Dunnet Hitung Uji Zona Hambat Bakteri Rizosfer Gunung Ijen

Sampel	Rata-Rata	Dunnet hitung	Nilai tabel dunnet
AR 001	23,59	0,28	2,790
AR 002	22,18	0,01	2,790
AR 003	28,49	1,21	2,790
AP 002	37,57	2,93	2,790
AP 003	33,10	2,09	2,790
K +	22,13	0,00	2,790
K -	18,26	0,74	2,790

Keterangan: Uji Dunnet AP 002 berbeda signifikan nilai dunnet hitung lebih besar dari nilai dunnet tabel.

Isolat AP002 dan AP003 menunjukkan aktivitas antagonistik tertinggi terhadap *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (Xoo), yang diduga berkaitan dengan kemampuan kedua isolat dalam menghasilkan metabolit antimikroba yang lebih tinggi dibandingkan isolat lainnya. Hasil kurva pertumbuhan menunjukkan bahwa AP002 dan AP003 mencapai kepadatan sel maksimum pada inkubasi 30–40 jam, yang mengindikasikan fase eksponensial akhir hingga awal fase stasioner. Fase tersebut diketahui sebagai periode optimum biosintesis metabolit sekunder karena sebagian besar energi sel mulai dialihkan dari proses pembelahan menuju produksi senyawa bioaktif sebagai strategi mempertahankan kelangsungan hidup dan berkompetisi dengan mikroorganisme lain. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa produksi bakteriosin, lipopeptida, poliketida, maupun metabolit antimikroba lainnya umumnya meningkat pada fase transisi menuju fase stasioner sehingga aktivitas penghambatan terhadap bakteri target menjadi lebih tinggi (Sugrue *et al.*, 2024; Saiyam *et al.*, 2024). Oleh karena itu, tingginya aktivitas antagonistik AP002 dan AP003 diduga berkaitan dengan kemampuan kedua isolat mensintesis metabolit antimikroba secara optimal pada fase pertumbuhan tersebut.

Meskipun AP003 dan AR001 sama-sama diduga termasuk genus *Micrococcus*, aktivitas antagonistik AP003 terhadap Xoo jauh lebih tinggi dibandingkan AR001. Perbedaan ini menunjukkan bahwa kemampuan menghasilkan senyawa antimikroba tidak hanya ditentukan oleh genus, tetapi juga oleh variasi genetik pada tingkat isolat (strain), regulasi ekspresi klaster gen biosintesis metabolit sekunder, kemampuan adaptasi terhadap relung ekologisnya, serta efisiensi sintesis metabolit

bioaktif (Tizabi & Hill, 2023). Demikian pula, isolat AR002 dan AR003 yang diduga termasuk genus *Bacillus* memiliki aktivitas antagonistik lebih rendah meskipun genus tersebut dikenal menghasilkan berbagai metabolit antimikroba, seperti surfactin, iturin, fengisin, difficidin, bacillaene, dan macrolactin. Hal tersebut menunjukkan bahwa keberadaan potensi genetik suatu genus tidak selalu diikuti oleh tingginya produksi metabolit antimikroba, karena ekspresi klaster biosintesis metabolit sekunder dipengaruhi oleh faktor genetik masing-masing isolat, fase pertumbuhan, serta kondisi lingkungan (Zhang *et al.*, 2023; Saiyam *et al.*, 2024). Sementara itu, isolat AP002 yang diduga termasuk genus *Streptococcus* diperkirakan menghasilkan peptida antimikroba berupa bakteriosin yang bekerja dengan membentuk pori pada membran sitoplasma bakteri target sehingga menyebabkan kebocoran ion dan metabolit intraseluler serta menurunkan viabilitas sel (Sugrue *et al.*, 2024). Dengan demikian, tingginya daya hambat AP002 dan AP003 terhadap Xoo diduga merupakan hasil interaksi antara fase pertumbuhan yang optimum untuk sintesis metabolit sekunder dan karakter fisiologis spesifik yang dimiliki oleh masing-masing isolat.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa rizosfer Gunung Ijen merupakan sumber mikroba potensial dengan karakter morfologi, fisiologi, dan biokimia yang mendukung aktivitas biokontrol. Temuan ini konsisten dengan standar difusi cakram (Bauer *et al.*, 1959). dan pedoman (Clinical and Laboratory Standards Institute, 2023), serta selaras dengan laporan (Risanti *et al.* 2025) mengenai produksi enzim lisis, lipopeptida, dan siderofor oleh *Bacillus*. Studi (Zhou *et al.*,

2022). juga menegaskan bahwa efektivitas antagonis dipengaruhi kondisi mikrohabitat dan ekspresi gen, sebagaimana terlihat pada isolat AR001, AR002, dan AR003.

Simpulan

Bakteri rizosfer Gunung Ijen menunjukkan keragaman morfologi, fisiologi, dan biokimia yang tinggi, dengan identifikasi yang mengarah pada genus *Bacillus*, *Micrococcus*, dan *Streptococcus*. Aktivitas antagonis menunjukkan bahwa isolat AP002 dan AP003 memiliki kemampuan penghambatan terbaik terhadap *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. Dengan demikian, kedua isolat tersebut berpotensi dikembangkan sebagai agen biokontrol dalam pengelolaan penyakit hawar daun bakteri secara berkelanjutan

Ucapan Terima Kasih

Dengan penuh rasa syukur, saya mengucapkan terima kasih kepada ibu saya yang selalu menjadi sumber doa, semangat, dan kekuatan dalam setiap langkah. Terimakasih kepada Universitas Muhammadiyah Jember yang telah mendukung pendanaan serta instanssi BRIN dan BKSDA jatim yang telah memberikan rekomendasi akses pengambilan sampel di kawasan gunung ijen. Terima kasih saya sampaikan kepada dosen pembimbing dan para dosen di Program Studi yang telah memberikan ilmu, nasihat, serta bimbingan yang sangat berarti selama proses penelitian. Ucapan terima kasih juga saya tujukan kepada teman saya Afthon hielman huda, Bima kusuma dewa yang telah membantu di lapangan untuk pengambilan sampel dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Af'idzatuttama, A. I., Anwar, K. , & Amara, K. (2025). Identifikasi dan Karakterisasi Bakteri Penyebab Hawar Daun Padi (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*). *JUSTER: Jurnal Sains dan Terapan* , 4(2), 122-127. <https://doi.org/10.57218/juster.v4i2.1786>
- Andrić, S., Rigolet, A., Argüelles Arias, A., Steels, S., Hoff, G., Balleux, G., & Ongena, M. (2023). Plant-associated *Bacillus mobilizes* its secondary metabolites upon perception of the siderophore pyochelin produced by a *Pseudomonas* competitor. *The ISME Journal*, 17(2), 263–275.
- Asmayani, N., Setyaningrum, T. W., Kusuma, A. N. N., Julisaniah, N. I., Pratama, M. H. A., & Qoriasmadillah, W. (2025). Potensi Anti *Xanthomonas* dari Bakteri Rizosfer Tanaman Kankung Pagar (*Ipomoea carnea*). *Journal of Microbiology, Biotechnology and Conservation*, 1(1), 48–55. <https://doi.org/10.29303/jmbc.v1i1.6159>
- Bauer, A. W. , P. D. M. , & K. W. M., Perry, D. M., & Kirby, W. M. (1959). Single-disk antibiotic-sensitivity testing of staphylococci: An analysis of technique and results. *AMA archives of internal medicine*, 104(2), 208–216. https://doi.org/10.1093/ajcp/45.4_ts.493
- BPS. (2025). *Luas panen dan produksi padi di indonesia*.
- Breed, R. S., Murray, E. G. D., & Smith, N. R. (1957). *195.1-Bergeys Manual of Determinative Bacteriology* (7 ed.). Williams and Wilkinson Company.
- Cappuccino, J. G., & Sherman, N. (2005). *Microbiology: a laboratory manual (p. 507)*. Pearson/Benjamin Cummings.
- Clinical and Laboratory Standards Institute. 2023. *Performance standards for antimicrobial susceptibility testing* (33rd ed). CLSI supplement M100. <https://clsi.org/>
- Ding, J. J., Zhou, G. J., Chen, X. J., Xu, W., Gao, X. M., Zhang, Y. Z., & Wang, K. L. (2024). Analysis of microbial diversity and community structure of rhizosphere soil of three *Astragalus* species grown in special high-cold environment of northwestern Yunnan, China. *Microorganisms*, 12(3), 539. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12030539>
- Direktorat Jenderal Tanaman Pangan. (2024). *Buku Prakiraan OPT Pangan MT 2024–2025*.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *The State of Food and Agriculture 2020: Overcoming water challenges in food systems*. FAO.
- Furqonita, A., Aritonang, A. B., & Wibowo, M. A. (2021). Sintesis TiO₂ Terdoping Bi³⁺ dan Uji Aktivitas Fotokatalisis Antibakteri *E. coli* dengan Bantuan Sinar Tampak (Synthesis OF Bi³⁺ Doped TiO₂ and

- Photochatalisis Activity Test of *E. coli* Antibakteria Visible Irradiation). *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*, 4(2), 69–80. <https://doi.org/10.26418/indonesian.v4i2.46976>
- Khotimah, K. (2024). *Aplikasi Biobakterisida Bacillus subtilis Untuk Mengendalikan Penyakit Hawar Daun Bakteri (Xanthomonas oryzae pv oryzae) Pada Tanaman Padi (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Jember)*.
- Lay, B. W. (2008). Analisis mikroba di laboratorium. *PT Raja Grafindo Persada Jakarta*, 167.
- Mahajan, G. B., & Balachandran, L. (2017). Sources of antibiotics: Hot springs. *Biochemical Pharmacology*, 134, 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2016.11.021>.
- Masnilah, R., Nurmala, F., & Pradana, A. P. (2023). In vitro study of phyllosphere bacteria as promising biocontrol agents against bacterial leaf blight disease (*xanthomonas oryzae* pv. *Oryzae*) in rice plants. *J-PEN Borneo: Jurnal Ilmu Pertanian*, 6, 65–78. : <https://doi.org/10.35334/jpen.v6i2.4094>
- Mikdarullah, M., & Nugraha, A. (2017). Teknik isolasi bakteri proteolitik dari sumber air panas Ciwidey, Bandung. *Buletin Teknik Litkayasa Akuakultur*, 15(1), 11–14. <http://dx.doi.org/10.15578/blta.15.1.2017.11-14>.
- Muzammil, A. A., Fardhani, D. M., Khumaira, A., & Nugraheni, I. A. (2025). Potensi bakteri rizosfer tanaman lamtoro sebagai agen pengendali jamur *Colletotrichum capsici* pada tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens*). In *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat LPPM Universitas' Aisyiyah Yogyakarta* , 3, 762–774.
- Nes, I. F., Diep, D. B., & Holo, H. (2007). Bacteriocin diversity in *Streptococcus* and *Enterococcus* . *Journal of Bacteriology*, 189(4), 1189–1198. <https://doi.org/10.1128/jb.01254-06>
- Imtiyaz, A. N., & Octavia, B. (2023). Identifikasi Bakteri Pada Bintil Akar Aktif Dan Tidak Aktif Serta Rhizosfer Kacang Tanah. . *Jurnal Kingdom The Journal of Biological Studies* , 9(1), 63–74. <https://doi.org/10.21831/kingdom.v9i1.18626>
- Ooi, Y. S., Nor, N. M. M., Furusawa, G., Tharek, M., & Ghazali, A. H. (2022). Application of bacterial endophytes to control bacterial leaf blight disease and promote rice growth. *The Plant Pathology Journal*, 38(5), 38(5), 490. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.01.2022.0014>
- Panjaitan, F. J., Bachtiar, T., Arsyad, I., Lele, O. K., & ndriyani, W. (2020). Karakterisasi mikroskopis dan uji biokimia bakteri pelarut fosfat (bpf) dari rhizosfer tanaman jagung fase vegetatif. *CIWAL (Jurnal Ilmu Pertanian dan Lingkungan*, 1(1), 9–17.
- Prastyo, W. E. (2018). Eksplorasi Pgpr Dari Rizosfer Tumbuhan Famili Cyperaceae Di Ub Forest Serta Potensinya Sebagai Agens Antagonis Terhadap *Xanthomonas Oryzae* Pv. *Oryzae*. *Sarjana thesis. Universitas Brawijaya*.
- Rafiee, Z., Jalili Tabaii, M., Moradi, M., & Harirchi, S. (2024). Unveiling Antibacterial Potential and Physiological Characteristics of Thermophilic Bacteria Isolated from a Hot Spring in Iran. *Microorganisms*, 12(4), 834. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12040834>
- Raihana, N. (2011). Profil Kultur dan Uji Sensitivitas Bakteri Aerob dari Infeksi Luka Operasi Laparatomi di Bangsal Bedah RSUP DR. Djamil. *Skripsi Universitas Andalas*.
- Risanti, R. R., Hindersah, R., Fitriatin, B. N., Suryatmana, P., Maksum, I. P., Setiawati, M. R., & Nugraha, G. B. (2025). Exploring the *Bacillus* from vegetable rhizosphere for plant growth. *Journal of Ecological Engineering*, 26(1). <https://doi.org/10.12911/22998993/195286>
- Saiyam, D., Dubey, A., Malla, M. A., & Kumar, A. (2024). Lipopeptides from *Bacillus*: Unveiling biotechnological prospects—Sources, properties, and diverse applications. *Brazilian Journal of Microbiology* , 55(1), 281–295. <https://doi.org/10.1007/s42770-023-01228-3>
- Sayekti, N. A. (2024). Potensi Bakteri Endofit *Bacillus* sp. Sebagai Agensia Pengendali Hawar Daun *Xanthomonas* sp. pada Tanaman Padi. *Doctoral dissertation, UPN Veteran Jawa Timur*.
- Sugrue, I., Ross, R. P., & Hill, C. (2024). Bacteriocin diversity, function, discovery and application as antimicrobials. *Nature*

- Reviews Microbiology*, 22(9), 556-571.
<https://doi.org/10.1038/s41579-024-01045-x>
- Suryani, S., & A'yun, Q. (2022). Isolasi Bakteri Endofit dari Mangrove *Sonneratia alba* Asal Pondok 2 Pantai Harapan Jaya Muara Gembong, Bekasi. *BIO-SAINS: Jurnal Ilmiah Biologi*, 1(2), 12-18.
<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.23564679>
- Thakur, N., Singh, S. P., & Zhang, C. (2022). Microorganisms under extreme environments and their applications. *Current Research in Microbial Sciences*, 3, 100141.
<https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2022.100141>
- Tizabi, D., & Hill, R. T. (2023). *Micrococcus* spp. as a promising source for drug discovery: A review. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 50(1).
<https://doi.org/10.1093/jimb/kuad017>
- Wang, S., Zhou, T., Zhao, H., Zhang, K., & Cui, J. (2023). Temporal and spatial changes in rhizosphere bacterial diversity of mountain *Rhododendron mucronulatum*. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1201274.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1201274>
- Yin, X., Zou, B., Hong, X., Yang, W., Zhong, X., & He, Y. (2018). Rice copine genes OsBON1 and OsBON3 function as suppressors of broadspectrum disease resistance. *Plant Biotech*, 16, 1476.
<https://doi.org/10.1111/pbi.12890>
- Zhang, N., Wang, Z., Shao, J., Xu, Z., Liu, Y., Xun, W., & Zhang, R. (2023). Biocontrol mechanisms of *Bacillus*: Improving the efficiency of green agriculture. *Microbial Biotechnology*, 16(12), 2250–2263.
<https://doi.org/10.1111/1751-7915.14348>
- Zhou, J., Xie, Y., Liao, Y., Li, X., Li, Y., Li, S., & He, Y. Q. (2022). Characterization of a *Bacillus velezensis* strain isolated from *Bolbostemmati Rhizoma* displaying strong antagonistic activities against a variety of rice pathogens. *Frontiers in Microbiology*, 13, 983781.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.983781>
- Zondi, S., Serepa-Dlamini, M. H., & Maumela, P. (2025). Microbial Diversity Analysis of Soil in the Rhizosphere of *Securidaca longipedunculata* (African Violet Tree). *Microorganisms*, 13(11), 2636.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms13112636>