

Potensi Aktinobakteria Filosfer Indigenos sebagai Agens Biokontrol Bakteri *Pantoea ananatis* dan Biofertilizer Tanaman Bawang Merah

Mhd. Fiqry Iskandar¹, Yulmira Yanti^{2*}, dan Ujang Khairul²

¹Program Magister Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas

²Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas

Limau Manis, Kecamatan Pauh, Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat 25163

*Alamat korespondensi: mira23@agr.unand.ac.id

INFO ARTIKEL	ABSTRACT/ABSTRAK
Diterima: 16-06-2025 Direvisi: 26-01-2026 Dipublikasi: 27-04-2026	Potential of indigenous phyllosphere actinobacteria as biocontrol agents of <i>Pantoea ananatis</i> and biofertilizers of shallot plants
Keywords: Biological control, Biopesticides, Phytohormones, Phytopathogens, Plant growth promotion	<p><i>Pantoea ananatis</i> is a significant pathogenic bacterium responsible for bacterial leaf blight disease on shallot plants (<i>Allium ascalonicum</i> L.). An environmentally friendly alternative to manage <i>P. ananatis</i> is the utilization of indigenous phyllosphere actinobacteria. The study aimed to obtain indigenous shallot phyllosphere actinobacteria isolates capable of suppressing the growth of <i>P. ananatis</i> in vitro through the production of biocontrol compounds, as well as enhancing plant growth and shallot production through the production of biofertilizer compounds. The experiments were conducted at the Microbiology Laboratory, Department of Plant Protection, and the experimental farm, Faculty of Agriculture, Universitas Andalas, Padang, from January to April 2025. The study consisted of two stages: 1) evaluation of the ability of indigenous phyllosphere actinobacteria to promote plant growth and enhance shallot yield, and 2) evaluation of the potential of selected indigenous phyllosphere actinobacteria as biocontrol agents and biofertilizers. Observed variables included days to shoot emergence, plant height, number of leaves, fresh and dry bulb weight, as well as the production of biocontrol and biofertilizer-related compounds. The results revealed that eleven indigenous phyllosphere actinobacteria isolates significantly enhanced shallot growth and yield. Additionally, eleven isolates inhibited the in vitro growth of <i>P. ananatis</i>. Eight isolates produced protease enzymes, ten produced amylase, one produced hydrogen cyanide, and eight produced siderophores. In terms of biofertilizer potential, eighteen isolates were capable of nitrogen fixation and indole-3-acetic acid production. Moreover, five isolates demonstrated the ability to solubilize phosphate. Isolates NLLP2H, NBSP3A, NLLA3F, NBSP2H, and NBSP3F were identified as candidates for dual application as biocontrol agents and biofertilizers.</p>
Kata Kunci: Biopestisida, Fitohormon, Fitopatogen, Pengendalian biologi, Pemacu pertumbuhan tanaman	<p>Bakteri <i>Pantoea ananatis</i> merupakan salah satu patogen penting penyebab penyakit hawar daun bakteri pada tanaman bawang merah. Salah satu alternatif pengendalian bakteri <i>P. ananatis</i> yang ramah lingkungan yaitu memanfaatkan aktinobakteria filosfer indigenos. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh isolat aktinobakteria filosfer indigenos bawang merah yang mampu menekan pertumbuhan bakteri <i>P. ananatis</i> secara <i>in vitro</i> dengan menghasilkan senyawa biokontrol, dan yang mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman, serta produksi bawang merah dengan menghasilkan senyawa biofertilizer. Penelitian dilakukan secara eksperimen terdiri atas 20 isolat aktinobakteria filosfer</p>

indigenos yang diulang 4 kali, disusun menggunakan Rancangan Acak Lengkap, Percobaan dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi, Departemen Proteksi Tanaman dan kebun percobaan, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Padang pada Januari-April 2025. Percobaan terdiri atas dua tahap yaitu: 1) pengujian kemampuan aktinobakteria filosfer indigenos dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman dan produksi bawang merah, dan 2) pengujian kemampuan aktinobakteria filosfer indigenos terseleksi sebagai agens biokontrol dan biofertilizer. Variabel yang diamati yaitu hari muncul tunas, tinggi tanaman, jumlah daun, bobot segar, dan bobot kering umbi, serta produksi senyawa biokontrol dan biofertilizer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebelas isolat aktinobakteria filosfer indigenos mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman dan produksi bawang merah. Terdapat sebelas isolat aktinobakteria filosfer indigenos mampu menghambat pertumbuhan bakteri *P. ananatis* secara *in vitro*, delapan isolat menghasilkan enzim protease, sepuluh isolat menghasilkan enzim amilase, satu isolat menghasilkan hidrogen sianida, dan delapan isolat menghasilkan siderofor. Aktinobakteria filosfer indigenos sebagai biofertilizer, sebanyak 18 isolat mampu memfiksasi nitrogen dan menghasilkan IAA, dan lima isolat mampu melarutkan fosfat. Isolat yang berpotensi sebagai agens biokontrol dan biofertilizer adalah NLLP2H, NBSP3A, NLLA3F, NBSP2H, dan NBSP3F.

PENDAHULUAN

Tanaman bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura yang bernilai ekonomi tinggi (Rovicky *et al.*, 2024). Produktivitas bawang merah di Indonesia mengalami peningkatan pada tahun 2020-2023 berturut-turut yaitu 9,71, 10,30, 10,72 dan 10,93 ton/ha (Badan Pusat Statistik, 2024). Namun, produktivitas bawang merah masih tergolong rendah, apabila dibandingkan dengan produktivitas optimal yang dapat mencapai 18 ton/ha (Upe & Asrijal, 2022). Salah satunya disebabkan oleh organisme pengganggu tanaman (OPT) seperti patogen yang menurunkan potensi panen sekitar 20-100% (Rovicky *et al.*, 2024).

Patogen penting yang meninfeksi tanaman bawang merah salah satunya yaitu bakteri *Pantoea ananatis* penyebab penyakit hawar daun bakteri (Stice *et al.*, 2021). *P. ananatis* di Indonesia tergolong OPT Karantina A2 (Badan Karantina Indonesia, 2022). Penyakit hawar daun oleh *P. ananatis* telah ditemukan di beberapa sentra produksi di Indonesia yaitu Kabupaten Tawangmangu, Temanggung, Cirebon, Tegal, Nganjuk, Banten, Sigi, Agam, Tanah Datar, dan Solok dengan insidensi penyakit berkisar 66,40–83,64% (Asrul *et al.*, 2014; Yanti *et al.*, 2023a). Gejala awal infeksi patogen ini yaitu adanya lesi kebasahan (*water soaking*) pada bagian tengah daun bawang merah, berubah menjadi klorosis yang

memanjang dari tengah hingga pangkal daun (Stice *et al.*, 2021).

Upaya pengendalian penyakit hawar daun bakteri *P. ananatis* pada tanaman bawang merah yang telah dilakukan di luar negeri yaitu sanitasi lahan, menggunakan varietas benih atau umbi resisten, menerapkan jarak tanam ideal, menggunakan mulsa plastik, memperbaiki irigasi dan drainase (Tho *et al.*, 2019); eradikasi tanaman yang terinfeksi (Yanti *et al.*, 2023a); rotasi tanaman dengan tidak menanam tanaman satu famili (Black *et al.*, 2012), dan bakterisida sintetik tembaga *oxysulfat* (Asrul & Umrah, 2019). Penggunaan bakterisida sintetik secara intensif berbahaya bagi lingkungan, patogen menjadi resisten, menimbulkan strain baru patogen, dan meninggalkan residu (Kaari *et al.*, 2023). Maka perlu alternatif pengendalian ramah lingkungan dengan memanfaatkan aktinobakteria filosfer indigenos.

Aktinobakteria filosfer indigenos merupakan kelompok bakteri Gram positif yang berasosiasi pada permukaan daun tanaman, tanpa menyebabkan gejala penyakit pada tanaman tersebut. Aktinobakteria filosfer indigenos berperan sebagai agens biokontrol melalui mekanisme secara langsung dan tidak langsung (Silva *et al.*, 2022). Aktinobakteria filosfer indigenos yang dapat mengendalikan patogen tanaman secara langsung yaitu *Streptomyces tuiurus*, *S. azureus*, *S. geysiriensis*, *S. rochei*, dan *S. deccanensis*, dengan menghasilkan enzim hidrolitik berupa kitinase, protease, β -glukanase, siderofor, dan

hidrogen sianida yang dapat mendegradasi dinding sel jamur *Colletotrichum scovillei*, *C. truncatum*, dan *Fusarium oxysporum* (Renuka *et al.*, 2023). Menurut Ilsan (2017), *Streptomyces luteogriseus* mampu menghambat pertumbuhan jamur *Pyricularia oryzae* dengan mekanisme antibiosis dan hiperparasitisme. Aktinobakteria filosfer padi mampu menekan pertumbuhan *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (Ilsan *et al.*, 2016). Aktinobakteria filosfer mentimun mampu menghambat pertumbuhan *Corynespora cassiicola* dengan menghasilkan senyawa bioaktif (Wang & Ma, 2010).

Mekanisme tidak langsung aktinobakteria filosfer indigenos dalam menekan perkembangan penyakit tanaman yaitu dengan induksi ketahanan sistemik pada tanaman (Kaari *et al.*, 2023). *Streptomyces* spp. dan *Micromonospora shersina* dari tanaman bawang merah mampu mengendalikan penyakit hawar daun bakteri *Xanthomonas axonopodis* pv. *allii* dan meningkatkan produksi bawang merah (Yanti *et al.*, 2024). Selain itu, *Streptomyces* spp. dari tanaman bawang merah mampu mengendalikan penyakit bercak ungu *Alternaria porrii* dan meningkatkan produksi bawang merah (Yanti *et al.*, 2023b). Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh isolat aktinobakteria filosfer indigenos bawang merah yang mampu menekan pertumbuhan bakteri *P. ananatis* secara *in vitro* dengan menghasilkan senyawa biokontrol dan yang mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman, serta produksi bawang merah dengan menghasilkan senyawa biofertilizer.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi, Departemen Proteksi Tanaman, dan kebun percobaan, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Padang, pada Januari hingga April 2025.

Rancangan Percobaan

Pengujian terdiri atas dua tahap, disusun secara Rancangan Acak Lengkap, terdiri dari 20 isolat aktinobakteria filosfer indigenos sebagai perlakuan dan 4 ulangan. Percobaan Tahap 1 merupakan pengujian kemampuan aktinobakteria filosfer indigenos dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman dan produksi bawang merah, sementara Tahap 2 merupakan pengujian kemampuan aktinobakteria filosfer indigenos terseleksi sebagai agens biokontrol dan biofertilizer. Data yang

diperoleh dari hasil pengamatan dianalisis ragam, dan apabila variabel antar isolat aktinobakteria filosfer indigenos berbeda nyata, maka dilakukan uji lanjut dengan *Duncan's New Multiple Range Test* (DNMRT) pada taraf 5%, menggunakan *software Statistical Package for the Social Sciences 27 version* (SPSS 27).

Isolat aktinobakteria filosfer indigenos yang digunakan dalam penelitian merupakan koleksi Dr. Yulmira Yanti, S.Si., M.P, yang diisolasi dari permukaan daun tanaman bawang merah yang sehat di lahan tanaman bawang merah di Kabupaten Solok, Provinsi Sumatera Barat pada ketinggian 1.500 m dpl. Isolat aktinobakteria filosfer indigenos yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Isolat aktinobakteria filosfer indigenos yang digunakan dalam pengujian

No	Kode isolat	Lokasi asal isolat
1	NLLP2H	Nagari Limau Lunggo
2	NLLP2A	Nagari Limau Lunggo
3	NLLP2G	Nagari Limau Lunggo
4	NLLP3J	Nagari Limau Lunggo
5	NLLA2E	Nagari Limau Lunggo
6	NLLA3F	Nagari Limau Lunggo
7	NBSA2E	Nagari Bukit Sileh
8	NBSP3B	Nagari Bukit Sileh
9	NBSP3F	Nagari Bukit Sileh
10	NBSA2B	Nagari Bukit Sileh
11	NBSA3B	Nagari Bukit Sileh
12	NBSP2C	Nagari Bukit Sileh
13	NBSP2I	Nagari Bukit Sileh
14	NBSA2I	Nagari Bukit Sileh
15	NBSP2H	Nagari Bukit Sileh
16	NBSP3A	Nagari Bukit Sileh
17	NKGP3B	Nagari Koto Gadang
18	NKGP2F	Nagari Koto Gadang
19	NKGP3G	Nagari Koto Gadang
20	NKGP3I	Nagari Koto Gadang
21	Kontrol	Aquades steril

Pengujian kemampuan aktinobakteria filosfer indigenos sebagai agens biokontrol dan biofertilizer dilakukan secara *in planta* terlebih dahulu dan dilanjutkan pengujian secara *in vitro*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan aktinobakteria filosfer indigenos dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman dan produksi bawang merah secara *in planta*, dan dilanjutkan dengan menganalisis kemampuan aktinobakteria

filosfer indigenos menghasilkan senyawa biokontrol dan biofertilizer secara *in vitro*.

Tahap 1. Pengujian Kemampuan Aktinobakteria Filosfer Indigenos dalam Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman dan Produksi Bawang Merah Persiapan Media Tanam Bawang Merah

Media tanam yang digunakan terdiri dari tanah yang dicampur dengan pupuk kotoran sapi perbandingan 2:1 (v:v). Sterilisasi dilakukan dengan metode tyndalisasi yaitu sterilisasi secara bertahap. Media tanam dicampur merata dan dimasukkan ke plastik tahan panas ukuran 10 kg untuk dipanaskan di dalam dandang selama 1 jam pada suhu sekitar 100 °C, setelah dipanaskan media tanam tersebut dikeluarkan dan didiamkan selama 1 hari pada suhu sekitar 28 °C, dan dipanaskan kembali dengan cara yang sama sebanyak 3 kali. Media tanam yang sudah steril dimasukkan ke *polybag* volume 5 kg digunakan untuk penanaman (Yanti *et al.*, 2024).

Perbanyakan Aktinobakteria Filosfer Indigenos

Aktinobakteria filofosfer indigenos diremajakan untuk mendapatkan biakan murni. Perbanyakan dilakukan dengan mengambil koloni aktinobakteria filofosfer indigenos pada medium cair spesifik yaitu *International Streptomyces Project 2 Broth (ISP2 Broth)* dalam *collection tube* menggunakan *loop*, dan ditumbuhkan pada cawan Petri berisi medium ISP2 Agar dengan metode gores kuadran, kemudian diinkubasi selama 14 hari pada suhu 28 °C. Isolat aktinobakteria filofosfer indigenos yang tumbuh diambil satu koloni tunggal dengan *loop*, lalu dimasukkan ke botol kultur berisi 250 ml medium ISP2 *Broth*, dan diinkubasi pada *orbital shaker* dengan kecepatan 150 rpm selama 14 hari. Hasil dari perbanyakan pada medium ISP2 *Broth* digunakan untuk introduksi pada umbi dan sekitar perakaran tanaman bawang merah.

Introduksi Aktinobakteria Filosfer Indigenos dan Penanaman

Introduksi aktinobakteria filofosfer indigenos dilakukan sebanyak 4 kali yaitu pada saat sebelum tanam yang diintroduksi pada umbi bawang merah kultivar Bima Brebes, selanjutnya diintroduksi kembali pada tanaman bawang merah yang berumur 7, 14, dan 21 hst. Umbi bawang merah disterilisasi bagian permukaan dengan mencuci umbi bawang merah menggunakan air mengalir, lalu umbi bawang merah direndam dalam aquades steril selama 1 menit, selanjutnya direndam dalam alkohol 70% selama 1

menit, direndam kembali dengan aquades steril selama 1 menit, dan dikeringanginkan di atas tisu steril. Selanjutnya, umbi bawang merah dipotong 1/3 bagian atas umbi dengan pisau steril bertujuan untuk mempermudah sel aktinobakteria filofosfer indigenos masuk ke jaringan umbi bawang merah dan merangsang pertumbuhan tunas umbi. Introduksi aktinobakteria filofosfer indigenos pada umbi bawang merah dilakukan dengan merendam umbi bawang merah selama 20 menit dalam kultur cair aktinobakteria filofosfer indigenos pada medium ISP2 *broth* berumur 14 hari dengan kerapatan suspensi spora 10⁸ spora/ml dan direndam dalam aquades steril sebagai kontrol. Umbi bawang merah yang telah diintroduksi ditanam pada media tanam steril sebanyak 1 umbi/*polybag* untuk 1 ulangan perlakuan. Introduksi aktinobakteria filofosfer indigenos dilakukan kembali pada tanaman bawang merah yang berumur 7, 14, dan 21 hst untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman, serta produksi bawang merah. Introduksi pada tanaman bawang merah dilakukan dengan menyiramkan kultur cair aktinobakteria filofosfer indigenos berumur 14 hari sebanyak 50 ml/*polybag* di sekitar perakaran tanaman bawang merah.

Pemeliharaan Tanaman Bawang Merah

Pemeliharaan tanaman bawang merah dilakukan dengan penyiraman, pemupukan, dan penyiangan gulma. Tanaman bawang merah disiram setiap pagi dan sore hari disesuaikan dengan kondisi tanah di *polybag*. Pemupukan tanaman bawang merah dilakukan pada umur 14 dan 30 hst dengan memberikan pupuk pada tepi *polybag* dengan menaburkan pupuk urea sebanyak 2 g/*polybag*, pupuk SP-36 sebanyak 1,2 g/*polybag*, dan pupuk KCL sebanyak 0,8 g/*polybag* (setara dengan pupuk urea 200 kg/ha, pupuk SP-36 100 kg/ha, dan pupuk KCL 50 kg/ha). Penyiangan gulma dilakukan dengan mencabut gulma yang tumbuh di sekitar tanaman bawang merah agar tidak berkompetisi unsur hara dan air.

Perhitungan Hari Muncul Tunas

Pengamatan muncul tunas umbi bawang merah dilakukan setiap hari hingga tanaman bawang merah berumur 14 hst, dan dihitung jumlah umbi bawang merah yang bertunas. Nilai keefektifan aktinobakteria filofosfer indigenos dalam memunculkan tunas umbi bawang merah yang telah diintroduksi dengan aktinobakteria filofosfer indigenos

dihitung hanya sekali yaitu pada saat tanaman berumur 14 hst, dengan rumus:

$$\text{Keefektifan} = \frac{K-A}{K} \times 100\%$$

Keterangan:

K : Jumlah tunas yang muncul pada umbi bawang merah kontrol

A : Jumlah tunas yang muncul pada umbi bawang merah aktinobakteria filofser indigenos

Pengukuran Tinggi Tanaman dan Jumlah Daun

Pengukuran tinggi tanaman dan penghitungan jumlah daun dilakukan setiap interval 7 hari sekali saat tanaman berumur 7–63 hst. Data pengamatan yang dianalisis ragam yaitu pada saat tanaman bawang merah berumur 63 hst (Wati *et al.*, 2024). Tinggi tanaman diukur dengan penggaris, yaitu dari bagian pangkal batang sampai ujung daun yang paling tinggi. Seluruh daun tanaman yang tumbuh dihitung jumlahnya.

Panen Bawang Merah

Pemanenan bawang merah dilakukan saat tanaman bawang merah berumur 80 hst, dengan kriteria daun rebah ke permukaan tanah, daun menguning dan kering, serta umbi bawang merah muncul ke permukaan tanah. Tanaman bawang merah yang telah dipanen, bagian daun dan perakarannya dipotong serta dibersihkan dari tanah yang menempel pada umbi, lalu dibungkus dengan kantong kertas dan diberi label perlakuan.

Perhitungan Bobot Segar dan Bobot Kering Umbi Bawang Merah

Perhitungan bobot segar umbi dilakukan dengan membersihkan umbi bawang merah dari tanah pada permukaan umbi, lalu bagian daun dan akar bawang merah dipotong dengan gunting. Kemudian, umbi bawang merah ditimbang dengan timbangan digital untuk mendapatkan data bobot segar umbi. Penghitungan bobot kering umbi dilakukan dengan menimbang umbi bawang merah yang telah dikeringanginkan selama 14 hari. Kriteria umbi yang kering yaitu kulit umbi mengering dan terkelupas. Bobot kering umbi ditimbang dengan

timbangan digital untuk mendapat data bobot kering umbi.

Nilai Keefektifan Aktinobakteria Filosfer Indigenos Terhadap Karakteristik Pertumbuhan dan Produksi Tanaman

Nilai keefektifan introduksi aktinobakteria filofser indigenos terhadap pertumbuhan tinggi tanaman, jumlah daun, bobot segar umbi bawang merah, dan bobot kering umbi bawang merah dihitung dengan rumus:

$$\text{Keefektifan} = \frac{A-K}{K} \times 100\%$$

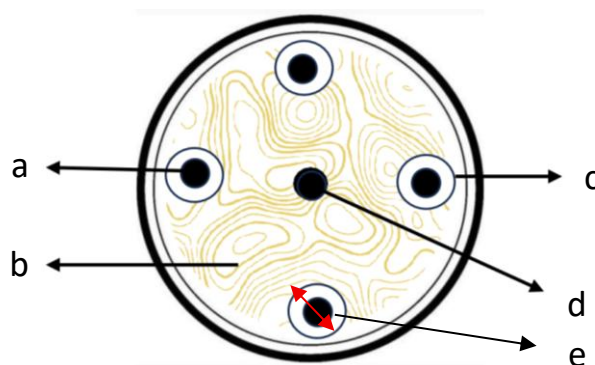
Keterangan:

A : Data karakteristik pertumbuhan pada tanaman bawang merah aktinobakteria filofser indigenos

K : Data karakteristik pertumbuhan pada tanaman bawang merah kontrol

Tahap 2. Kemampuan Aktinobakteria Filosfer Indigenos Sebagai Agens Biokontrol dan Biofertilizer Kemampuan Antagonisme Aktinobakteria Filosfer Indigenos dalam Menekan Pertumbuhan Bakteri *P. ananatis* secara *In Vitro*

Pengujian kemampuan antagonisme dilakukan dengan *plug diffusion method*, mengacu Dornelas *et al.* (2023) (Gambar 1). Satu koloni sel tunggal (*single cell colony*) bakteri *P. ananatis* berumur 2 hari pada medium *Glucose Yeast Peptone Agar* (GYPA) diambil menggunakan *cotton bud* steril kemudian diinokulasikan dengan cara disebar ke seluruh permukaan medium campuran GYPA dan ISP2 agar. Medium yang telah diinokulasi bakteri *P. ananatis* dilubangi menggunakan *cork borer* steril ukuran 5 mm dan potongan medium tersebut dibuang, lalu keempat lubang pada medium diisi dengan potongan medium ISP2 yang telah ditumbuhi dengan aktinobakteria filofser indigenos isolat yang sama berumur 7 hari. Perlakuan kontrol, *plug* pada bagian tengah cawan Petri hanya diisi dengan potongan medium ISP2 Agar. Biakan diinkubasi selama 2×24 jam pada suhu 28 °C. Penentuan kriteria penghambatan aktinobakteria filofser indigenos dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 1. Skema uji kemampuan antagonisme aktinobakteria filosfer indigenos menghambat pertumbuhan bakteri *P. ananatis* secara *in vitro*, (a) Plug koloni aktinobakteria filosfer indigenos, (b) Sebaran koloni bakteri *P. ananatis*, (c) Zona hambat yang terbentuk di sekitar *plug* koloni aktinobakteria filosfer indigenos, (d) Plug kontrol, dan (e) Diameter zona hambat yang terbentuk di sekitar *plug* koloni aktinobakteria filosfer indigenos.

Kemampuan antagonisme aktinobakteria filosfer indigenos dalam menghambat pertumbuhan bakteri *P. ananatis* ditandai dengan terbentuknya zona hambat di sekitar *plug* aktinobakteria filosfer indigenos, lalu kemampuan penghambatan dihitung dengan rumus:

$$\text{Penghambatan} = \frac{\text{Diameter zona hambat} - \text{diameter } \textit{plug}}{\text{Diameter } \textit{plug}}$$

Penentuan kriteria penghambatan aktinobakteria filosfer indigenos dilakukan untuk mengetahui kemampuan penghambatan aktinobakteria filosfer indigenos terhadap pertumbuhan bakteri *P. ananatis* secara *in vitro*, dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria penghambatan aktinobakteria filosfer indigenos terhadap pertumbuhan bakteri *P. ananatis* secara *in vitro*

Penghambatan (mm)	Kriteria penghambatan
0,00	Tidak ada
7,00-10,00	Rendah
11,00-14,00	Sedang
>14,00	Tinggi

Produksi Enzim Protease

Pengujian produksi enzim protease mengacu metode Amfar *et al.* (2021), yaitu dengan mengambil satu koloni sel tunggal aktinobakteria filosfer indigenos yang dibiakkan pada medium ISP2 Agar berumur 14 hari dengan *loop*, lalu dimasukkan ke botol kultur berisi 10 ml medium ISP2 *Broth*, kemudian diinkubasi dengan *orbital shaker* selama 14×24 jam pada suhu 28 °C. Kertas saring steril ukuran 6 mm dicelupkan ke kultur cair

aktinobakteria filosfer indigenos selama 1 menit dan aquades steril sebagai kontrol, lalu diinokulasi pada permukaan medium *Skim Milk Agar* (SMA), diinkubasi selama 2×24 jam pada suhu 28 °C. Aktinobakteria filosfer indigenos yang mampu menghasilkan enzim protease ditandai terbentuknya zona bening di sekitar kertas saring koloni aktinobakteria filosfer indigenos.

Produksi Enzim Amilase

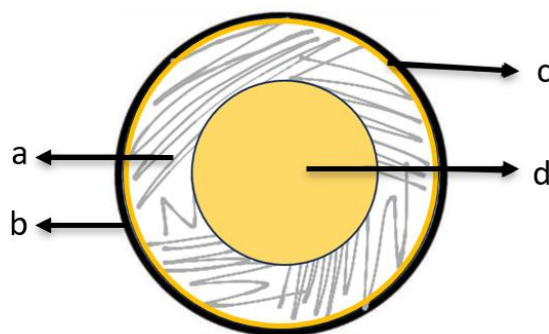
Pengujian produksi enzim amilase dilakukan dengan mengambil satu koloni sel tunggal aktinobakteria filosfer indigenos yang dibiakkan pada medium ISP2 Agar berumur 14 hari dengan *loop*, lalu dimasukkan ke botol kultur berisi 10 ml medium ISP2 *Broth*, kemudian diinkubasi dengan *orbital shaker* selama 14×24 jam pada suhu 28 °C. Kertas saring steril ukuran 6 mm dicelupkan ke kultur cair aktinobakteria filosfer indigenos selama 1 menit dan aquades steril sebagai kontrol, lalu diinokulasi pada permukaan medium *deMan Rogosa Sharpe Agar* (MRSA), lalu diinkubasi selama 2×24 jam pada suhu 28 °C. Kertas saring yang telah ditumbuhi koloni aktinobakteria filosfer indigenos diberikan larutan iodine 1%, diinkubasi selama 1 menit. Apabila terbentuk zona bening di sekitar kertas saring koloni aktinobakteria filosfer indigenos, maka mampu menghasilkan enzim amilase (Renuka *et al.*, 2023).

Produksi Hidrogen Sianida (HCN)

Pengujian produksi HCN dilakukan dengan mengambil satu koloni sel tunggal aktinobakteria filosfer indigenos yang dibiakkan pada medium ISP2 agar berumur 14 hari dengan *loop*, lalu diinokulasikan pada medium ISP2 Agar dengan metode gores kuadran, dan diinkubasi selama 7×24

jam pada suhu 28 °C. Kertas saring steril ukuran 60 mm dicelupkan ke larutan asam pikrat konsentrasi 0,5%, lalu kertas saring dikeringanginkan di atas tisu steril selama 5 menit. Setelah itu, kertas saring diletakkan pada bagian dalam tutup cawan Petri

berisi biakan murni aktinobakteria filofser indigenos berumur 7×24 jam, dan diinkubasi selama 14×24 jam pada suhu 28 °C (Gambar 2). Perubahan warna kertas saring menjadi coklat menandakan mampu memproduksi HCN (Djebaili *et al.*, 2021).



Gambar 2. Skema uji produksi HCN, (a) Koloni aktinobakteria filofser indigenos, (b) Cawan Petri, (c) Penutup cawan Petri, dan (d) Kertas saring ukuran 60 mm yang direndam dengan larutan asam pikrat 0,5%.

Produksi Siderofor (Fe)

Pengujian produksi siderofor mengacu metode Borah dan Thakur (2020), yaitu dengan mengambil satu koloni sel tunggal aktinobakteria filofser indigenos yang dibiakkan pada medium ISP2 Agar berumur 14 hari dengan loop, lalu dimasukkan ke botol kultur berisi 10 ml medium ISP2 *Broth*, kemudian diinkubasi dengan *orbital shaker* selama 14×24 jam pada suhu 28 °C. Kertas saring steril ukuran 6 mm dicelupkan ke kultur cair aktinobakteria filofser indigenos dan aquades steril sebagai kontrol, lalu diinokulasi pada permukaan medium *A Simple Double-layerd Chrome Azuroil Sulfonate Agar* (SD-CASA), lalu diinkubasi selama 7×24 jam pada suhu 28 °C. Apabila terdapat zona jingga di sekitar kertas saring koloni aktinobakteria filofser indigenos, maka mampu menghasilkan siderofor.

Pelarut Fosfat (P)

Pengujian pelarut fosfat dilakukan secara kuantitatif yang mengacu metode Gonzalez *et al.* (2023), yaitu dengan mengambil satu koloni sel tunggal aktinobakteria filofser indigenos yang dibiakkan pada medium ISP2 Agar berumur 14 hari dengan loop, lalu dimasukkan ke botol kultur berisi 10 ml medium ISP2 *Broth*, kemudian diinkubasi dengan *orbital shaker* selama 14×24 jam pada suhu 28 °C. Kertas saring steril ukuran 6 mm dicelupkan ke kultur cair aktinobakteria filofser indigenos dan aquades steril sebagai kontrol, lalu diinokulasi pada permukaan medium *Pikovskaya Agar* (PKVA), dan diinkubasi selama 3×24 jam pada suhu 28 °C. Kemampuan aktinobakteria filofser indigenos dalam melarutkan fosfat ditandai adanya zona bening di sekitar kertas saring koloni aktinobakteria filofser indigenos. Kemampuan sebagai pelarut fosfat dihitung dengan rumus:

$$\text{Kemampuan sebagai pelarut fosfat} = \frac{\text{Diameter zona bening yang terbentuk} - \text{diameter kertas saring}}{\text{Diameter kertas saring}}$$

Fiksasi Nitrogen (N)

Pengujian fiksasi nitrogen mengacu pada metode Saidi *et al.* (2021), yaitu dengan mengambil satu koloni sel tunggal aktinobakteria filofser indigenos yang dibiakkan pada medium ISP2 Agar berumur 14 hari dengan loop, lalu dimasukkan ke botol kultur berisi 10 ml medium ISP2 *Broth*, kemudian diinkubasi dengan *orbital shaker* selama 14×24 jam pada suhu 28 °C. Kertas saring steril ukuran 6 mm dicelupkan ke kultur cair aktinobakteria filofser indigenos dan aquades steril

sebagai kontrol, lalu diinokulasi pada permukaan medium *Ashby's Mannitol Agar* (AMA), diinkubasi selama 7×24 jam pada suhu 28 °C. Kemampuan aktinobakteria filofser indigenos dalam memfiksasi nitrogen ditandai adanya pertumbuhan koloni aktinobakteria filofser indigenos pada permukaan medium AMA.

Produksi Hormon *Indole Acetic Acid* (IAA)

Produksi hormon IAA mengacu pada metode Boubekri *et al.* (2021). Satu koloni sel tunggal

aktinobakteria filosfer indigenos yang dibiakkan pada medium ISP2 Agar berumur 14 hari diambil dengan loop, dan dimasukkan ke 5 ml medium ISP2 *Broth* yang ditambahkan dengan 0,5 g *L-Tryptophan* dan diinkubasi pada *orbital shaker* dengan kecepatan 150 rpm dalam kondisi gelap selama 7×24 jam pada suhu 28 °C. Sebanyak 1 ml kultur cair aktinobakteria filosfer indigenos dipindahkan ke *test tube* ukuran 5 ml dan ditambahkan dengan 2 ml *Salkowsky Reagent* dan diinkubasi pada *orbital shaker* dengan kecepatan 150 rpm dalam kondisi gelap selama 30 menit. Nilai absorbansi dianalisis pada panjang gelombang 530 nm dengan spektrofotometer. Kemudian, sebagai pembanding nilai konsentrasi digunakan nilai konsentrasi hormon IAA standar dengan konsentrasi 0, 5, 10, 20, 25, 30, 35, 40, 45, dan 50 sebanyak 15 µg/ml. Kemampuan aktinobakteria filosfer indigenos dalam menghasilkan hormon IAA ditandai dengan perubahan warna pada kultur aktinobakteria filosfer indigenos dari bening berubah warna menjadi merah muda hingga keunguan. Konsentrasi hormon IAA dihitung berdasarkan kurva kalibrasi hormon IAA standar dan hasilnya dinyatakan *part per million* (*ppm*). Konsentrasi hormon IAA yang dihasilkan oleh aktinobakteria filosfer indigenos dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Y = a + bx$$

Keterangan:

Y : Nilai absorbansi

a : Intersep

b : Koefisien regresi

x : Konsentrasi IAA

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hari Muncul Tunas Bawang Merah

Introduksi aktinobakteria filosfer indigenos yang diaplikasikan pada umbi bawang merah mampu mempercepat pertumbuhan tunas umbi bawang merah, setelah dilakukan analisis ragam dan uji lanjut dengan DN MRT pada taraf 5% (Tabel 3). Terdapat 12 isolat aktinobakteria filosfer indigenos yang mampu mempercepat pertumbuhan tunas umbi bawang merah apabila dibandingkan dengan perlakuan kontrol (Gambar 3A). Isolat tersebut yaitu NLLP2H, NLLP2A, NLLP2G, NLLP3J, NLLA3F, NBSA2E, NBSP3B, NBSP3F, NBSP2I, NBSP2H, NBSP3A, NKGP2F, dan NKGP3G dengan hari muncul tunas berkisar 3,33–4,83 hst, dan keefektifan berkisar 58,73–75,00%. Kemampuan isolat tersebut dalam meningkatkan pertumbuhan tunas bawang merah

disebabkan karena mampu melarutkan fosfat, memfiksasi nitrogen, dan menghasilkan hormon IAA (Table 3). Hal ini sesuai dengan Sáhó *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa perkecambahan benih jagung meningkat karena diintroduksi aktinobakteria yang mampu melarutkan fosfat dengan diameter zona bening pelarut fosfat yaitu berkisar 2,12–2,48 mm. Mohammed *et al.* (2024) yang menyatakan introduksi aktinobakteria spesies *Streptomyces* sp. strain NA2 pada benih kacang kedelai (*Glicine max* L.) mampu meningkatkan pertumbuhan kacang kedelai fase vegetatif dengan meningkatkan daya perkecambahan benih dan biomassa bibit kacang kedelai (Villafañe *et al.*, 2024). Selanjutnya, *S. fradiae* strain QD3 mampu melarutkan fosfat yang diintroduksi pada benih brokoli, selada, dan arugula dapat meningkatkan daya perkecambahan benih sebesar 95,00–98,00% (Mohammed *et al.*, 2024). Menurut Yanti *et al.* (2024) introduksi *Streptomyces* spp. pada umbi bawang merah mampu meningkatkan pertumbuhan dan produksi bawang merah karena kemampuan *Streptomyces* spp. dalam memfiksasi nitrogen dan menghasilkan hormon IAA.

Tinggi Tanaman

Aktinobakteria filosfer indigenos mampu meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman bawang merah. Terdapat 9 isolat aktinobakteria filosfer indigenos yang mampu meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman bawang merah apabila dibandingkan dengan perlakuan kontrol (Tabel 3). Isolat aktinobakteria filosfer indigenos tersebut yaitu NLLP2H, NKGP2F, NBSP3F, NBSP3A, NLLA3F, NLLP3J, NBSP2H, NBSA2E, dan NKGP3G dengan tinggi tanaman berkisar 40,11–45,67 cm (Gambar 3B), dan keefektifan berkisar 14,24–30,36%. Hal ini disebabkan karena isolat tersebut mampu memfiksasi nitrogen, melarutkan fosfat, menghasilkan hormon IAA (Tabel 3). Hal ini sesuai dengan Omar *et al.* (2022) yang menyatakan introduksi *Streptomyces* sp. strain HM2, *S. thinghirensis* strain HM3, *Streptomyces* sp. strain HM8, dan *S. tricolor* strain HM10 pada benih dan tanaman mentimun berumur 15 hst dapat meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman mentimun berkisar 124,00–198,33 cm, karena *Streptomyces* spp. mampu menghasilkan hormon IAA dengan konsentrasi berkisar 18–148,00 µg/mL, melarutkan fosfat dengan persentase pelarutan fosfat berkisar 57,20–84,40%, dan menghasilkan siderofor dengan konsentrasi 40,00–64,14 µg/mL.

Jumlah Daun

Terdapat 8 isolat aktinobakteria filosfer indigenos yang mampu meningkatkan jumlah daun tanaman bawang merah apabila dibandingkan dengan kontrol (Tabel 3). Isolat tersebut yaitu NLLP2H, NLLP2A, NLLP3J, NLLA3F, NBSP3A, NBSA2E, NBSP3F, NKGP2F dengan jumlah daun berkisar 56,22–77,45 helai, dan keefektifan berkisar 40,97–86,93% (Gambar 3B). Hal ini disebabkan karena isolat aktinobakteria filosfer indigenos tersebut mampu menghasilkan hormon IAA, melarutkan fosfat, dan memfiksasi nitrogen (Tabel 3). Terdapat laporan bahwa beberapa strain

aktinobakteria mampu meningkatkan luas dan jumlah daun, serta karakteristik pertumbuhan lainnya. Menurut Mohammed *et al.* (2024), introduksi aktinobakteria dari spesies *S. fradiae* strain QD3 mampu meningkatkan luas daun tanaman kentang sekitar 5,16–5,36 cm. Aktinobakteria dari spesies *Streptomyces* sp. strain GIG-1 dan *Amycolatopsis* sp. strain GLM-2 penghasil hormon IAA yang diintroduksi pada tanaman cabai mampu meningkatkan jumlah daun, tinggi tanaman, diameter batang, jumlah cabang, indeks klorofil, dan produksi cabai pada umur 180 hst (Chaiya *et al.*, 2021).

Tabel 3. Pengaruh aplikasi aktinobakteria filosfer indigenos terhadap karakteristik pertumbuhan tanaman bawang merah berumur 63 hst

Kode isolat	Muncul tunas (plot percobaan)		Tinggi tanaman (plot percobaan)		Jumlah daun (plot percobaan)	
	Waktu (hst)	Keefektifan (%)	Ukuran (cm)	Keefektifan (%)	Jumlah (helai)	Keefektifan (%)
NLLP2H	3,83 ab	71,26	45,77 a	30,36	74,55 a	86,93
NLLP2A	4,83 abc	63,76	39,55 bcde	12,64	56,55 bcd	45,03
NLLP2G	4,50 abc	66,24	37,77 defg	7,57	40,88 efg	25,50
NLLP3J	4,00 abc	69,99	41,66 abcd	18,65	63,88 ab	60,18
NLLA2E	11,83 d	11,25	33,44 efgh	-4,75	34,44 gh	-13,95
NLLA3F	4,83 abc	63,76	41,77 abcd	18,96	63,66 ab	58,80
NBSA2E	4,50 abc	66,24	40,88 bcd	16,43	59,77 bc	49,87
NBSP3B	5,33 bc	57,53	38,77 cdef	10,42	49,11 cde	23,14
NBSP3F	3,33 a	75,01	43,00 abc	22,47	57,66 bcd	44,58
NBSA2B	12,16 d	8,77	32,66 h	-6,97	27,11 h	-32,00
NBSA3B	12,66 d	5,26	34,33 efgh	-2,21	30,55 gh	-23,39
NBSP2C	12,33 d	7,50	32,66 h	-6,97	33,00 gh	-17,23
NBSP2I	4,66 abc	65,04	35,00 efgh	-0,31	31,66 gh	-20,61
NBSA2I	13,33 d	00,00	33,61 efgh	-0,42	30,00 gh	-24,77
NBSP2H	3,33 a	75,00	41,55 abcd	18,83	48,66 cde	22,01
NBSP3A	3,33 a	75,00	43,00 abc	22,47	62,55 b	56,84
NKGP3B	11,83 d	11,25	34,44 efgh	-1,90	32,33 gh	-18,93
NKGP2F	3,33 a	75,00	44,44 ab	26,57	56,22 bcd	40,97
NKGP3G	5,50 c	58,73	4011 bcd	14,24	50,22 cde	25,92
NKGP3I	13,33 d	00,00	34,88 efgh	-0,65	36,55 fgh	-8,35
Kontrol	13,33 d	-	35,11 efgh	-	39,88 efg	-
CV	10,85	-	6,65	-	13,34	-

Keterangan: *Angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama pada kolom yang sama, tidak berbeda nyata menurut DNMR 5%.



Gambar 3. Perbandingan muncul tunas dan pertumbuhan tanaman bawang merah yang diintroduksi aktinobakteria filofser indigenos dengan kontrol, (A) Pertumbuhan tunas bawang merah pada umur 14 hst (a) perlakuan kontrol dan (b) perlakuan aktinobakteria filofser indigenos kode isolat NLLP2H, (B) Pertumbuhan tanaman bawang merah pada umur 63 hst (a) perlakuan kontrol dan (b) perlakuan aktinobakteria filofser indigenos kode isolat NLLP2H.

Bobot Segar dan Bobot Kering Umbi Bawang Merah

Aktinobakteria filofser indigenos yang diintroduksi pada umbi dan tanaman bawang merah mampu meningkatkan produksi tanaman bawang merah. Terdapat 13 isolat aktinobakteria filofser indigenos yang mampu meningkatkan bobot segar dan bobot kering umbi bawang merah, dibandingkan dengan perlakuan kontrol (Tabel 4). Isolat aktinobakteria filofser indigenos tersebut yaitu NLLP2H, NLLP2A, NLLP2G, NLLP3J, NBSA2E, NBSP3B, NBSP2I, NBSP3A, NLLA3F, NBSP3F, NBSP2H, NKGP3G, dan NKGP2F dengan bobot segar umbi bawang merah berkisar 84,07–150,55 g per unit percobaan, dan keefektifan berkisar 66,94–202,55%. Bobot kering umbi bawang merah isolat tersebut setelah dikeringanginkan selama 14 hari yaitu 79,81–147,24 g per unit percobaan, dan keefektifan berkisar 61,23–201,22%. Isolat aktinobakteria filofser indigenos yang dapat meningkatkan bobot umbi bawang merah karena kemampuannya menghasilkan hormon pertumbuhan berupa hormon *Indole Acetic Acid* (IAA) dengan konsentrasi berkisar 15,91–308,51 ppm (Tabel 7). Hormon IAA berperan dalam pembentukan sel, pemanjangan sel, dan pembentukan akar lateral, serta pembentukan umbi. Hal ini sesuai dengan Kaur dan Menhas (2022), menyatakan bahwa aktinobakteria dari spesies *Streptomyces hidrogenan* strain DH16 menghasilkan IAA dengan konsentrasi 80,06 µg/ml, sehingga mampu meningkatkan daya kecambah benih kacang polong, panjang akar bibit, panjang tunas, jumlah akar lateral, bobot segar dan bobot kering bibit kacang polong. Selanjutnya, aktinobakteria yang diisolasi dari rhizosfer tanaman bawang merah menghasilkan IAA dengan konsentrasi 82,80 ppm,

sehingga mampu meningkatkan bobot segar dan bobot kering umbi bawang merah (Yanti *et al.*, 2024). Selain itu, isolat aktinobakteria filofser indigenos tersebut mampu melarutkan fosfat dengan diameter zona bening fosfat berkisar 2,41–3,64 mm (Tabel 7). Hal ini sesuai dengan Yanti *et al.* (2023b) yang menyatakan introduksi aktinobakteria dari spesies *Streptomyces* spp. mampu meningkatkan jumlah bunga, jumlah buah, dan bobot buah cabai dengan menghasilkan IAA, melarutkan fosfat, dan memfiksasi nitrogen. Penyemprotan suspensi aktinobakteria filofser dari tanaman famili Liliaceae pada daun tanaman bawang merah dapat meningkatkan jumlah umbi bawang merah sebanyak 5,03–6,60 umbi, meningkatkan ukuran umbi bawang merah sebesar 1,44–2,06 cm, meningkatkan bobot segar umbi 17,63–24,72 g, dan bobot kering umbi 5,43–17,96 g (Wati *et al.*, 2024).



Gambar 4. Perbandingan hasil umbi bawang merah yang diintroduksi aktinobakteria filofser indigenos dengan kontrol, (a) perlakuan kontrol dan (b) Isolat NLLP2H.

Tabel 4. Pengaruh aplikasi aktinobakteria filofser indigenos terhadap produksi bawang merah

Kode isolat	Bobot segar umbi bawang merah		Bobot kering umbi bawang merah	
	Bobot (g)	Keefektifan (%)	Bobot (g)	Keefektifan (%)
NLLP2H	150,55 a	202,55	147,24 a	201,22
NLLP2A	97,85 ef	96,64	94,31 cde	92,94
NLLP2G	86,65 f	74,13	80,90 e	65,50
NLLP3J	94,31 ef	89,52	92,19 cde	88,60
NLLA2E	56,28 g	13,10	53,71 f	9,88
NLLA3F	118,77 bc	138,68	116,87 b	130,90
NBSA2E	92,30 f	85,49	91,40 de	86,98
NBSP3B	95,57 ef	92,06	93,72 cde	91,73
NBSP3F	111,24 cd	123,55	110,32 bc	125,56
NBSA2B	53,22 g	6,95	49,82 f	1,92
NBSA3B	50,46 g	1,40	47,30 f	-3,23
NBSP2C	49,33 g	-0,86	47,02 f	-3,80
NBSP2I	84,07 f	66,94	78,81 e	61,23
NBSA2I	43,13 g	-13,32	39,69 f	-18,80
NBSP2H	111,55 cd	124,17	109,48 bcd	123,97
NBSP3A	129,35 b	159,94	126,67 b	159,14
NKGP3B	43,92 g	-11,73	40,65 f	-16,83
NKGP2F	95,54 ef	92,00	94,34 cde	93,00
NKGP3G	93,21 ef	87,31	91,88 de	87,97
NKGP3I	52,31 g	5,12	49,47 f	1,20
Kontrol	49,76 g	-	48,88 f	-
CV	12,22	-	12,33	-

Keterangan: *Angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama pada kolom yang sama, tidak berbeda nyata menurut DNMR 5%.

Karakteristik Aktinobakteria Filosfer Indigenos Sebagai Agens Biokontrol

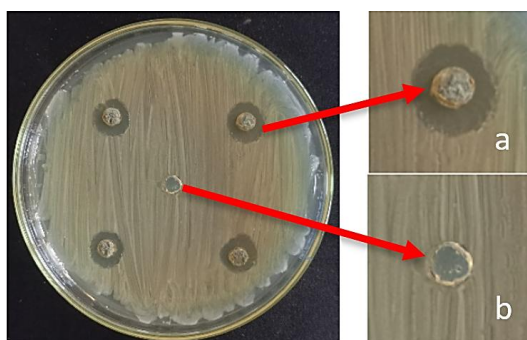
Aktinobakteria filofser indigenos sebagai agens biokontrol bakteri *P. ananatis* dapat menghasilkan beberapa senyawa biokontrol yang berperan sebagai antibakteri, yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri *P. ananatis*, di antaranya yaitu menghasilkan enzim protease, enzim amilase, hidrogen sianida, dan siderofor (Tabel 6).

Kemampuan Antagonisme Aktinobakteria Filosfer Indigenos Terhadap Bakteri *P. ananatis* Secara *In Vitro*

Aktinobakteria filofser indigenos yang mampu menghambat pertumbuhan bakteri *P. ananatis* secara *in vitro* yaitu NLLP2H, NBSP2H, NBSP3A, NBSP3F, NLLA3F, NBSP3B, NLLP3J, NKGP2F, NKGP3G, NLLP2A, dan NBSA2E dengan diameter zona hambat berkisar 8,00–17,50 mm yang tergolong kriteria penghambatan yang Tinggi-Sedang (Tabel 5). Aktinobakteria filofser indigenos kode isolat NLLP2H, NBSP2H, NBSP3A, NBSP3F, dan NLLA3F menunjukkan aktivitas antagonisme dengan kriteria penghambatan Tinggi dalam menghambat pertumbuhan bakteri *P. ananatis* apabila

dibandingkan dengan isolat lainnya, dengan diameter penghambatan berkisar 16,00-17,50 mm. Isolat NLLP2H menunjukkan penghambatan Tinggi dalam menghambat pertumbuhan bakteri *P. ananatis* yaitu 17,50 mm (Gambar 5). Isolat NBSP3B, NLLP3J, dan NKGP2F merupakan isolat dengan kriteria penghambatan Sedang yaitu berkisar 12,00–13,00 mm, dan isolat NBSA2E merupakan isolat dengan penghambatan Rendah yaitu 8,00 mm. Penyebab perbedaan kemampuan penghambatan pertumbuhan bakteri *P. ananatis* yaitu isolat tersebut memiliki karakteristik yang berbeda dalam menghasilkan senyawa biokontrol seperti menghasilkan enzim protease, amilase, siderofor, dan HCN (Tabel 6).

He *et al.* (2025), menyatakan aktinobakteria dari spesies *Streptomyces shaowuensis* strain HSW2009 mampu menghambat pertumbuhan bakteri *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* melalui mekanisme secara langsung dengan menghasilkan antibiotik berupa Piericidin A1. *Streptomyces luteogriseus* menghasilkan enzim protease, amilase, selulase, dan siderofor sehingga mampu menghambat pertumbuhan bakteri *Xanthomonas axonopodis* pv. *allii* secara *in vitro* dengan penghambatan sebesar 19,98 mm (Yanti *et al.*, 2024).



Gambar 5. Kemampuan antagonisme aktinobakteria filosfer indigenos kode isolat NLLP2H dalam menekan pertumbuhan bakteri *P. ananatis* secara *in vitro* setelah diinkubasi selama 2x24 jam, menunjukkan adanya zona hambat di sekitar *plug* koloni aktinobakteria filosfer indigenos, (a) Zona hambat, dan (b) Perlakuan kontrol tidak terdapat zona hambat

Tabel 5. Kemampuan antagonisme aktinobakteria filosfer indigenos terhadap bakteri *P. ananatis* secara *in vitro*

Kode isolat	Penghambatan (mm)	Kriteria penghambatan
NLLP2H	17,50 a	Tinggi
NBSP2H	16,00 ab	Tinggi
NBSP3A	16,00 ab	Tinggi
NBSP3F	16,00 ab	Tinggi
NLLA3F	16,00 ab	Tinggi
NBSP3B	13,00 bc	Sedang
NLLP3J	12,00 cd	Sedang
NKGP2F	12,00 cd	Sedang
NKGP3G	9,50 de	Rendah
NLLP2A	9,00 de	Rendah
NBSA2E	8,00 e	Rendah
NBSA2B	00,00 f	Tidak ada
NBSA3B	00,00 f	Tidak ada
NKGP3B	00,00 f	Tidak ada
NBSP2C	00,00 f	Tidak ada
NLLP2G	00,00 f	Tidak ada
NKGP3I	00,00 f	Tidak ada
NBSA2I	00,00 f	Tidak ada
NLLA2E	00,00 f	Tidak ada
NBSP2I	00,00 f	Tidak ada
Kontrol	00,00 f	Tidak ada
CV	18,19	

Keterangan: *Angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama pada kolom yang sama, tidak berbeda nyata menurut DNMR 5%.

Produksi Enzim Protease

Terdapat 8 isolat aktinobakteria filosfer indigenos yaitu NLLP2H, NLLA3F, NBSP3B, NBSP2H, NKGP3G, NBSA2B, NBSA3B, dan NBSP3A yang mampu menghasilkan enzim protease, ditandai dengan terbentuknya zona bening di sekitar kertas saring koloni aktinobakteria filosfer indigenos pada

medium SMA (Gambar 6A), sedangkan kode isolat NLLP3J, NBSP3F, dan NKGP2F tidak menghasilkan enzim protease, ditandai dengan tidak terbentuknya zona bening di sekitar kertas saring koloni aktinobakteria filosfer indigenos pada medium SMA. Produksi enzim protease dapat dilihat pada Tabel 6. Aktinobakteria filosfer indigenos mampu menghasilkan enzim protease yang dimanfaatkan sebagai senyawa pendegradasi protein yang terdapat pada dinding sel bakteri *P. ananatis*, sehingga aktinobakteria filosfer indigenos mampu menekan pertumbuhan bakteri *P. ananatis* dengan mekanisme secara langsung, karena penyusun dinding sel bakteri *P. ananatis* salah satunya terdiri dari protein. Hal ini sesuai dengan Isobe *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa dinding sel bakteri *P. ananatis* disusun oleh membran yang terdiri dari lipoprotein, *Lipopolysaccharide* dan *Extracellular Polysaccharides* (Shin *et al.*, 2019). *Streptomyces* spp. yang diisolasi dari rhizosfer tanaman padi menghasilkan enzim protease yang mampu menekan pertumbuhan bakteri *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* secara langsung dengan indeks daya hambat 29,66% (Fadil *et al.*, 2023). *Streptomyces* sp. mampu mendegradasi protein pada dinding sel nematoda *Meloidogyne javanica* dengan menghasilkan enzim protease, sehingga mengurangi jumlah telur dan penetrasi nematoda ke akar tanaman tomat (Mogollón-Ortiz *et al.*, 2025).

Produksi Enzim Amilase

Terdapat 10 isolat aktinobakteria filosfer indigenos yang mampu menghasilkan enzim amilase, ditandai dengan terbentuknya zona bening di sekitar kertas saring koloni aktinobakteria filosfer indigenos pada medium MRSA setelah diberikan larutan iodine 1% (Gambar 6B). Aktinobakteria filosfer indigenos yang mampu menghasilkan enzim amilase yaitu kode

isolat NLLP2H, NLLA3F, NBSP3F, NBSP2H, NBSP3A, dan NKGP2F, NLLP2A, NLLP2G, NKGP3G, dan NBSA3B. Produksi enzim amilase dapat dilihat pada Tabel 6. Hal ini menandakan bahwa kesepuluh isolat tersebut dapat dimanfaatkan sebagai penghasil enzim pendegradasi amilum, sehingga kandungan amilum pada dinding sel patogen dapat dihancurkan menjadi senyawa yang sederhana. Ahmeda dan Patgiri (2025) menyatakan bahwa kandungan amilum pada bakteri patogen dapat dihidrolisis oleh aktinobakteria yang dianalisis secara kualitatif pada medium spesifik pendegradasi amilum yaitu medium MRSA. *Streptomyces* sp. strain UT4A49 mampu menghasilkan enzim amilase yang dapat menekan pertumbuhan bakteri *Ralstonia solanacearum* (Kaari *et al.*, 2022).

Produksi Hidrogen Sianida

Terdapat 1 isolat aktinobakteria filosfer indigenos yang mampu menghasilkan hidrogen sianida, ditandai terjadinya perubahan warna kertas saring menjadi warna coklat setelah dicelupkan ke dalam larutan asam pikrat 2% (Gambar 6D). Aktinobakteria filosfer indigenos yang mampu menghasilkan hidrogen sianida yaitu kode isolat NBSP3F, sedangkan isolat lainnya tidak mampu menghasilkan hidrogen sianida, ditandai dengan tidak terjadinya perubahan warna pada kertas saring

(Gambar 6E). Produksi hidrogen sianida dapat dilihat pada Tabel 6. Isolat NBSP3F mampu menghasilkan hidrogen sianida yang sangat beracun terhadap bakteri *P. ananatis*, sehingga mampu menghambat pertumbuhan bakteri *P. ananatis*. Hal ini sesuai dengan Elsayed *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa hidrogen sianida merupakan senyawa kimia beracun yang dihasilkan oleh beberapa mikroorganisme yang mampu menghambat pertumbuhan patogen, dengan menghambat mekanisme enzim yang memiliki ion logam. *S. violascens* strain ISP5183 yang diisolasi dari rhizosfer tanaman padi mampu menghasilkan HCN (Thenappan *et al.*, 2024).

Produksi Siderofor

Terdapat 8 isolat aktinobakteria filosfer indigenos yaitu NLLP2H, NLLP3J, NLLA3F, NBSP3B, NBSP3F, NBSP2H, NBSP3A, dan NKGP2F yang mampu menghasilkan siderofor, ditandai dengan terbentuknya zona jingga di sekitar kertas saring koloni aktinobakteria filosfer indigenos pada medium SD-CASA (Gambar 6C). Sedangkan 12 isolat lainnya tidak menghasilkan siderofor, ditandai dengan tidak terbentuknya zona jingga di sekitar kertas saring koloni aktinobakteria filosfer indigenos (Tabel 6). Siderofor merupakan senyawa yang dapat mengikat zat besi (Kapoor *et al.*, 2025).

Tabel 6. Kemampuan aktinobakteria filosfer indigenos dalam menghasilkan senyawa biokontrol

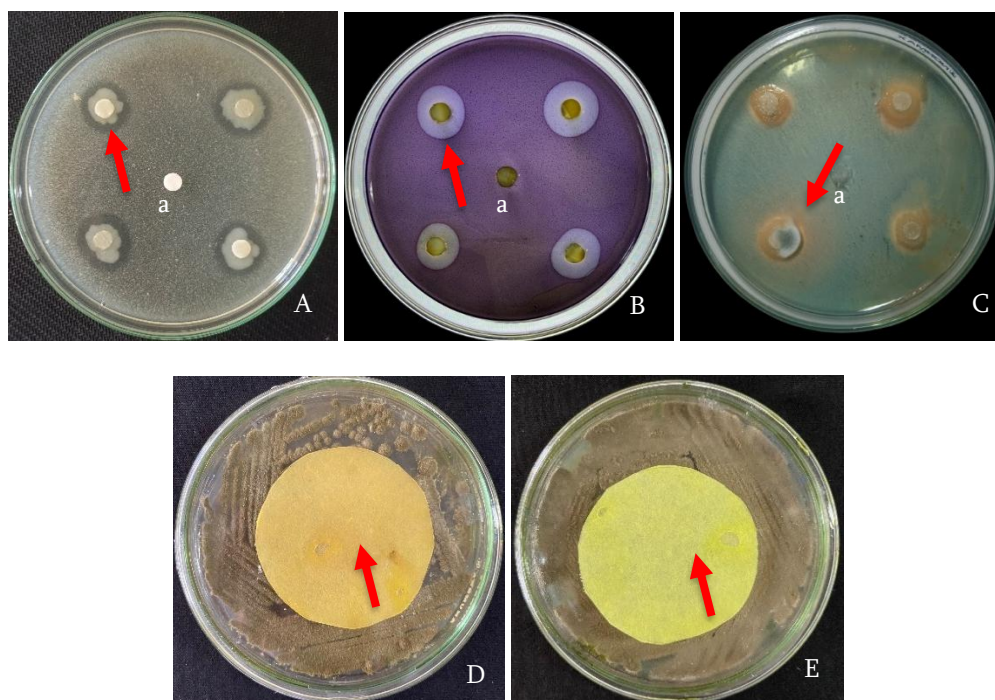
Perlakuan	Enzim protease	Enzim amilase	Hidrogen sianida	Siderofor
NLLP2H	+	+	-	+
NLLP3J	-	-	-	+
NLLA3F	+	+	-	+
NBSP3B	-	-	-	+
NBSP3F	+	+	+	+
NBSP2H	+	+	-	+
NBSP3A	+	+	-	+
NKGP2F	-	+	-	+
NLLP2A	-	+	-	-
NLLP2G	-	+	-	-
NKGP3G	+	+	-	-
NBSA2B	+	-	-	-
NBSA3B	+	+	-	-
NBSA2I	-	-	-	-
NBSP2I	-	-	-	-
NKGP3I	-	-	-	-
NLLA2E	-	-	-	-
NBSP2C	-	-	-	-
NKGP2B	-	-	-	-
NBSA2E	-	-	-	-
Kontrol	-	-	-	-

Keterangan: (+) Menghasilkan senyawa biokontrol dan (-) Tidak menghasilkan senyawa biocontrol.

Zat besi berperan penting sebagai unsur esensial bagi mikroorganisme yang dimanfaatkan untuk proses biologi, sintesis DNA, metabolisme, transfer elektron, transportasi oksigen, fotosintesis, dan katalisis enzimatik (SantaMaria & Rouault, 2025; Schalk *et al.*, 2025).

Aktinobakteria dari spesies *Microbacterium rhizophilus* mampu menghasilkan siderofor yang ditandai dengan adanya zona jingga di sekitar koloni pada medium SD-CASA (Liu *et al.*, 2025).

Kemampuan *Streptomyces* sp. strain FXJ1.4098 menghambat pertumbuhan *Mesorhizobium* sp. strain BAC0120 secara langsung yang dimediasi oleh senyawa *Esferrinoxamine* (DFO) *Siderophores* yang dihasilkan oleh *Streptomyces* sp. strain FXJ1.4098 (Du *et al.*, 2024). *Streptomyces* sp. menghasilkan siderofor yang mampu menekan perkembangan penyakit layu fusarium yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri* pada tanaman buncis (Swarnalakshmi *et al.*, 2016).



Gambar 6. Karakteristik aktinobakteria filosfer indigenos sebagai agens biokontrol, (A) Kemampuan aktinobakteria filosfer indigenos kode isolat NLLP2H menghasilkan enzim protease ditandai terbentuknya zona bening, (B) Kemampuan aktinobakteria filosfer indigenos kode isolat NLLA3F menghasilkan enzim amilase ditandai terbentuknya zona bening, (C) Kemampuan aktinobakteria filosfer indigenos kode isolat NLLP3J menghasilkan siderofor ditandai terbentuknya zona jingga, (D) Kemampuan aktinobakteria filosfer indigenos kode isolat NBSP3F menghasilkan hidrogen sianida ditandai perubahan warna kertas cakram menjadi coklat, (E) Aktinobakteria filosfer indigenos kode isolat NKGP2F tidak menghasilkan hidrogen sianida, dan (a) Perlakuan kontrol.

Karakteristik Aktinobakteria Filosfer Indigenos Sebagai Biofertilizer

Aktinobakteria filosfer indigenos berperan sebagai biofertilizer dengan menghasilkan beberapa senyawa pemacu pertumbuhan yang dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman bawang merah seperti kemampuan dalam memfiksasi nitrogen, melarutkan fosfat, dan menghasilkan hormon IAA (Tabel 7).

Fiksasi Nitrogen

Terdapat 18 isolat aktinobakteria filosfer indigenos mampu memfiksasi nitrogen, ditandai dengan adanya pertumbuhan koloni aktinobakteria filosfer indigenos pada medium AMA (Gambar 7A), sedangkan perlakuan kontrol tidak terdapat pertumbuhan koloni di sekitar kertas saring (Tabel 7). Aktinobakteria mengubah senyawa nitrogen bebas (N_2) menjadi senyawa amonia (NH_3), nitrat (NO_3^-), dan nitrit (NO_2^-) dengan enzim nitrogenase, sehingga senyawa yang terbentuk dapat

dimanfaatkan dengan optimal oleh tanaman sebagai senyawa penyusun protoplasma, klorofil, asam nukleat, dan asam amino (Obaid *et al.*, 2025). Aktinobakteria dari spesies *Actinobacteria bacterium* dan *Streptomyces* sp. mampu memfiksasi nitrogen bebas di udara dengan konsentrasi 22,87–24,71 mg N g⁻¹, sehingga mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman lada hitam (Alungal *et al.*, 2021). *Frankia colletiae* sp. nov., mampu memfiksasi nitrogen (Nouioui *et al.*, 2023). Aktinobakteria spesies *Streptomyces* sp. strain 2GM57 yang diisolasi dari tanaman kamelia (*Camellia oleifera*) berperan sebagai *Plant Growth Promoting Actinobacteria* (PGPA) mampu meningkatkan pertumbuhan bibit tanaman kamelia dengan menghasilkan senyawa fitohormon, salah satunya memfiksasi nitrogen (Xu *et al.*, 2021).

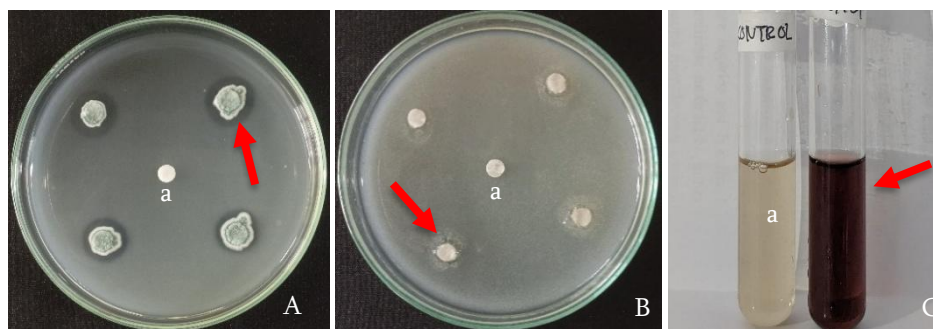
Pelarut Fosfat

Terdapat 5 isolat aktinobakteria filofosfer indigenos mampu melarutkan fosfat, ditandai terbentuknya zona bening di sekitar kertas saring koloni aktinobakteria filofosfer indigenos pada medium PKVA (Gambar 7B). Diameter zona bening pelarutan fosfat terbesar dihasilkan oleh isolat NLLP2H, NLLA3F, NBSP3F, NBSP2H, dan NBSP3A yaitu berkisar 2,41–3,64 mm. Isolat NLLP3J dan NKG2F tidak mampu melarutkan fosfat, ditandai tidak terbentuknya zona bening di sekitar kertas saring koloni aktinobakteria filofosfer indigenos (Tabel 7). Fosfat merupakan senyawa yang dibutuhkan oleh tanaman sebagai sumber nutrisi untuk pertumbuhan tanaman. Namun, fosfat yang terdapat di dalam tanah umumnya tidak dapat diserap optimal oleh perakaran tanaman karena terikat dengan senyawa kimia yang tidak larut. Sehingga, aktinobakteria filofosfer indigenos berperan penting dalam melarutkan fosfat yang terikat. *Streptomyces* sp. dan *S. fumigatiscleroticus* mampu melarutkan fosfat

sehingga meningkatkan jumlah polong, jumlah biji per polong, dan bobot polong pada tanaman kacang cowpea (*Vigna unguiculata*) (Niveditha *et al.*, 2024). Perkecambahan benih jagung meningkat karena introduksi aktinobakteria yang mampu melarutkan fosfat dengan diameter pelarut fosfat berkisar 2,12–2,48 mm (Sáhó *et al.*, 2024). Beberapa genus aktinobakteria seperti genus *Streptomyces* dan *Nocardiosis* (Soumare *et al.*, 2021); *Dermococcus* dan *Actinobacter* (Rangseekaew *et al.*, 2021); memiliki kemampuan yang sama dalam melarutkan fosfat.

Produksi Hormon IAA

Aktinobakteria filofosfer indigenos mampu menghasilkan hormon IAA, ditandai dengan perubahan warna kultur cair aktinobakteria filofosfer indigenos menjadi warna keunguan setelah ditambahkan *Salkowsky Reagent* (Gambar 7C), dengan konsentrasi hormon IAA berkisar 1,11–308,51 ppm (Tabel 7). Konsentrasi hormon IAA tertinggi dihasilkan oleh isolat NBSP2H, NLLP2H, NBSP3F, NLLA3F, dan NBSP3A. Hormon IAA merupakan salah satu senyawa auksin yang berperan penting dalam proses fisiologis tanaman seperti pemanjangan sel, diferensiasi jaringan, pembentukan akar, pembentukan rambut akar, pembentukan akar lateral, buah, dan daun, serta mengoptimalkan proses fotosintesis pada daun (Abdul-Karim *et al.*, 2025; Gonzales *et al.*, 2023). Aktinobakteria yang diisolasi dari tanaman famili Liliaceae mampu menghasilkan hormon IAA dengan konsentrasi sekitar 3,90–4,00 ppm (Marianah *et al.*, 2025). Introduksi aktinobakteria pada tanaman bawang merah mampu meningkatkan tinggi tanaman, jumlah daun, dan bobot umbi bawang merah karena menghasilkan hormon IAA dengan konsentrasi berkisar 2,20–82,80 ppm (Yanti *et al.*, 2024).



Gambar 7. Karakteristik aktinobakteria filofosfer indigenos sebagai biofertilizer, (A) Kemampuan isolat NBP3F melarutkan fosfat, ditandai terbentuknya zona bening, (B) isolat NBSP3A memfiksasi nitrogen, ditandai adanya pertumbuhan koloni, (C) Kemampuan isolat NBSP2H menghasilkan hormon IAA, ditandai dengan perubahan warna larutan menjadi keunguan, dan (a) Kontrol.

Tabel 7. Kemampuan aktinobakteria filofser indigenos dalam menghasilkan senyawa biofertilizer

Kode isolat	Fiksasi nitrogen	Diameter zona bening pelarutan fosfat (mm)	Produksi hormon IAA (ppm)
NLLP2H	+	3,64	269,80
NLLP3J	+	0,00	19,75
NLLA3F	+	3,57	107,18
NBSP3B	+	0,00	36,26
NBSP3F	+	2,41	115,08
NBSP2H	+	2,94	308,51
NBSP3A	+	3,38	83,46
NKGP2F	+	0,00	41,56
NLLP2A	+	0,00	11,76
NLLP2G	+	0,00	21,11
NKGP3G	+	0,00	10,92
NBSA2B	+	0,00	2,63
NBSA3B	+	0,00	2,99
NBSA2I	+	0,00	1,78
NBSP2I	-	0,00	15,91
NKGP3I	-	0,00	1,11
NLLA2E	+	0,00	12,45
NBSP2C	+	0,00	10,22
NKGP2B	+	0,00	2,65
NBSA2E	+	0,00	23,75
Kontrol	-	0,00	0,00

Keterangan: (+) Menghasilkan senyawa biofertilizer, dan (-) Tidak menghasilkan senyawa biofertilizer.

SIMPULAN

Aktinobakteria filofser indigenos mampu menekan pertumbuhan bakteri *P. ananatis* secara *in vitro*, dengan menghasilkan senyawa biokontrol seperti enzim protease, enzim amilase, siderofor, hidrogen sianida. Selain itu, aktinobakteria filofser indigenos mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman dan produksi bawang merah, dengan menghasilkan senyawa biofertilizer seperti hormon IAA, melarutkan fosfar, dan memfiksasi nitrogen. Aktinobakteria filofser indigenos yang berpotensi sebagai agens biokontrol dan biofertilizer yaitu kode isolat NLLP2H, NBSP3A, NLLA3F, NBSP2H, dan NBSP3F.

DAFTAR PUSTAKA

Abdul-Karim, E, and H Hussein. 2024. The role of auxins in interactive relationships between plants and pathogens. *Journal of Kirkuk University for Agricultural Sciences*. 15(4): 1–11. DOI: 10.58928/ku24.15401.

Ahmeda, N, and SR Patgiri. 2025. Isolation and characterization of plant growth promoting actinobacteria, *Amycolatopsis samanea*

(AM75), from the rice rhizosphere in Mirza area, Assam, India. *Academia Journal of Biology*. 47(2): 65–73. DOI: 10.15625/26159023/21776.

Alungal, RB, D Girija, KS Gopal, R Vijayaraghavan, and BVN Indirabai. 2021. Plant growth promoting actinobacteria from rhizosphere soils of black pepper. *Indian Phytopathology*. 74(3): 633–641. DOI: 10.1007/s42360-021-00353-w.

Amfar, F, L Fitri, and Suhartono. 2021. Molecular identification of a new isolate of actinobacteria ATIS61 and characterization of the protease activities. *Biodiversitas*. 22(3): 1564–1569. DOI: 10.13057/biodiv/d220363.

Asrul, A and Umrah, U. 2019. Host range *Pantoea ananatis* the causal agent of bacterial leaf blight on *Allium* spp. *The Agricultural Sciences Journal*. 6(1): 27–33. DOI: 10.22487/j24077593.2019.v6.i1.12697.

Asrul, BH, T Arwiyanto, dan J Widada. 2014. Peranan faktor lingkungan terhadap penyakit hawar daun bakteri (*Pantoea ananatis*) pada tanaman bawang merah. *Prosiding Seminar Nasional Perhimpunan Fitopatologi Indonesia Komda Yogyakarta, Solo dan Semarang*. 20: 1–12.

- Badan Karantina Pertanian. 2022. Buku Saku OPTK Utama Target Pemantauan Tahun 2022 Skp Entikong. Tersedia secara online pada <https://www.scribd.com/document/631524451/>. (diakses pada 23 Februari 2025).
- Badan Pusat Statistik. 2024. Statistik Indonesia. Tersedia secara online pada website: <https://www.bps.go.id/indicator/55/61/1/prod-uksi-tanaman-sayuran.html>. (diakses pada 23 Februari 2025).
- Black, L, Conn K, Gabor B, Kao J, Lutton J. 2012. Purple blotch. P. 29 *In* Onion Disease Guide (KE Conn, S Lutton, SA Rosenberger, Eds.). Seminis Vegetable Seeds. St. Louis.
- Borah, A, and D Thakur. 2020. Phylogenetic and functional characterization of culturable endophytic actinobacteria associated with *Camellia* spp. for growth promotion in commercial tea cultivars. *Frontiers in Microbiology*. 11(318): 1–18. DOI: 10.3389/fmicb.2020.00318.
- Boubekri, K, A Soumare, I Mardad, K Lyamlouli, M Hafidi, Y Ouhdouch, and L Kouisni. 2021. The screening of potassium and phosphate solubilizing actinobacteria and the assessment of their ability to promote wheat growth parameters. *Microorganisms*. 9(3): 470. DOI: 10.3390/microorganisms9030470.
- Chaiya, L, J Kumla, N Suwannarach, T Kiatsiriroat, and S Lumyong. 2021. Isolation, characterization, and efficacy of actinobacteria associated with arbuscular mycorrhizal spores in promoting plant growth of chili (*Capsicum flutescens* L.). *Microorganisms*. 9(6): 1274. DOI: 10.3390/microorganisms9061274.
- Djebaili, R, M Pellegrini, C Ercole, B Farda, M Kitouni, and M Del Gallo. 2021. Biocontrol of soil borne pathogens of *Solanum lycopersicum* L. and *Daucus carota* L. by plant growth promoting actinomycetes: in vitro and in planta antagonistic activity. *Pathogens*. 10(10): 1305. DOI: 10.3390/pathogens10101305.
- Dornelas, JCM, PHF Carmo, UGP Lana, MAG Lana, CAO Paiva, and IE Marriel. 2023. Biocontrol potential of actinobacteria against *Pantoea ananatis*, the causal agent of maize white spot disease. *Brazilian Journal of Biology*. 83: 1–11. DOI: 10.1590/1519-6984.
- Du, X, N Liu, B Yan, Y Li, M Liu, and Y Huang. 2024. Proximity based defensive mutualism between *Streptomyces* and *Mesorhizobium* by sharing and sequestering iron. *The ISME Journal*. 18(1): wrad041. DOI: 10.1093/ismej/wrad041.
- Elsayed, HH, NA Abdalla, and SK Amer. 2024. Actinobacteria as alternative agents for sustainable agriculture. *Egyptian Journal of Pure and Applied Science*. 62(2): 52–64. DOI: 10.21608/ejaps.2024.282093.1093.
- Fadil, M, Y Yanti, dan U Khairul. 2023. Seleksi aktinobakteria indigenus untuk pengendalian penyakit hawar daun bakteri (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*) serta peningkatan pertumbuhan padi. *Jurnal AGROHITA: Jurnal Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Tapanuli Selatan*. 8(1): 93–105. DOI: 10.31604/jap.v8i1.8178.
- González, F, C Santander, A Ruiz, R Pérez, J Moreira, G Vidal, R Aroca, C Santos, and P Cornejo. 2023. Inoculation with *Actinobacteria* spp. isolated from a hyper arid environment enhances tolerance to salinity in lettuce plants (*Lactuca sativa* L.). *Plants*. 12(10): 1758. DOI: 10.3390/plants12101758.
- He, YW, JWF Law, SM Azad, WD Hu, K Song, KO Chua, and L Zhou. 2025. Identification and genomic analyses of a novel actinobacterium *Streptomyces shaowuensis* sp. nov. with biocontrol potential for rice bacterial blight. *Phytopathology Research*. 7(1): 24. DOI: 10.1186/s42483-025-00313-9.
- Ilsan, NA. 2017. Antifungal activity of phyllosphere actinobacteria against *Pyricularia oryzae*. *Proceeding the 2nd International Seminar on Global Health (ISGH)*. Pp. 264–277.
- Ilsan, NA, AA Nawangsih, and AT Wahyudi. 2016. Rice phyllosphere actinomycetes as biocontrol agent of bacterial leaf blight disease on rice. *Asian Journal of Plant Pathology*. 10(1-2): 1–8. DOI: 10.3923/ajppaj.2016.1.8.
- Isobe, Y, K Ueda, L Kanatsu, K Fukui, Y Hara, Y Takikawa, and K Oshima. 2025. UDP galacturonic acid 4 epimerase is required for LPS biosynthesis, drug resistance, motility, and virulence in *Pantoea ananatis*, a causal agent of center rot disease of onion. *Journal of General Plant Pathology*. (1): 1–12. DOI: 10.1007/s10327-024-01216-x.
- Kaari, M, J Joseph, R Manikkam, A Sreenivasan, and G Venugopal. 2022. Biological control of *Streptomyces* sp. UT4A49 to suppress tomato bacterial wilt disease and its metabolite profiling. *Journal of King Saud University*–

- Science. 34(1): 101688. DOI: 10.1016/j.jksus.2021.101688.
- Kaari, M, R Manikkam, KK Annamalai, and J Joseph. 2023. Actinobacteria as a source of biofertilizer/biocontrol agents for bio organic agriculture. *Journal of Applied Microbiology*. 134(2): 1xac047. DOI: 10.1093/jambio/1xac047.
- Kapoor, P, P Joshi, M Pal, and V Parkash. 2025. Actinobacteria as proficient biocontrol agents for combating fungal diseases in forest plant species. *Journal of Basic Microbiology*. (e70030): e70030. DOI: 10.1002/jobm.70030.
- Kaur, T, and Manhas, RK. 2022. Evaluation of ACC deaminase and indole acetic acid production by *Streptomyces hydrogenans* DH16 and its effect on plant growth promotion. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 42: 102321. DOI: 10.1016/j.bcab.2022.102321.
- Liu, H, Q Yang, J Li, L Yang, A Zhao, Y Huang, and M Jiang. 2025. *Microbacterium rhizophilus* sp. nov., an indole acetic acid producing actinobacterium isolated from rhizosphere soil. *Antonie van Leeuwenhoek*. 118(1): 2. DOI: 10.1007/s10482-024-02014-3.
- Marianah, L, AA Nawangsih, A Munif, and ET Tondok. 2025. Endophytic actinomycetes of Liliaceae plants as biocontrol agents of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* causes of basal plate rot disease on shallots. *HAYATI Journal of Biosciences*. 32(1): 241–253. DOI: 10.4308/hjb.32.1.241.
- Mogollón-Ortiz, AM, TSA Monteiro, LG de Freitas, and MV de Queiroz. 2024. Potential of different species of actinobacteria in the management of *Meloidogyne javanica*. *Archives of Microbiology*. 206(4): 160. DOI: 10.1007/s00203-024-03871-z.
- Mohammed, FA, SH Abu-Hussien, NKE Dougdoug, N Koutb, and AS Korayem. 2024. *Streptomyces fradiae* mitigates the impact of *Potato virus Y* by inducing systemic resistance in two Egyptian potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. *Microbial Ecology*. 87(1): 131–143. DOI: 10.1007/s00248-023-02233-w.
- Niveditha, NL, G Devaki, KS Gopal, BV Unnikrishnan, and R Vijayaraghavan. 2025. Exploring the potential of actinobacteria as plant growth promoters in cowpea. *Journal of Tropical Agriculture*. 63(4): 187–199. DOI: 10.63599/JTA.2025.1586.
- Nouioui, I, F Ghodhbane-Gtari, M Jando, HP Klenk, and M Gtari. 2023. *Frankia colletiae* sp. nov., a nitrogen-fixing actinobacterium isolated from *Colletia cruciata*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 73(1): 005656. DOI: 10.1099/ijsem.0.005656.
- Obaid, WA, MM Madany, MS Waznah, H Sonbol, AS Aloufi, SM Korany, and H Abdelgawad. 2025. Modulation of plant carbon and nitrogen metabolism by novel actinobacteria *Rhodospirillum* sp. to combat galaxolide toxicity in barley and maize plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 220: 109403. DOI: 10.1016/j.plaphy.2022.109403.
- Omar, AF, AHA Abdelmageed, A Al Turki, NM Abdelhameid, RZ Sayyed, and M Rehan. 2022. Exploring the plant growth promotion of four *Streptomyces* strains from rhizosphere soil to enhance cucumber growth and yield. *Plants*. 11(23): 3316. DOI: 10.3390/plants11233316.
- Rangseekaew, P, A Barros Rodríguez, W Pathom Aree, and M Manzanera. 2021. Deep sea actinobacteria mitigate salinity stress in tomato seedlings and their biosafety testing. *Plants*. 10(8): 1687. DOI: 10.3390/plants10081687.
- Renuka, R, K Prabakar, R Anandham, L Pugalendhi, L Rajendran, T Raguchander, and G Karthikeyan. 2023. Exploring the potentiality of native actinobacteria to combat the chilli fruit rot pathogens under post-harvest pathosystem. *Life*. 13(2): Article 336. DOI: 10.3390/life13020336.
- Rovicky, A, W Widowati, and A Astutik. 2024. Pest and disease control strategies to increase the productivity of shallot plants (*Allium ascalonium* L.). *Riwayat: Educational Journal of History and Humanities*. 7(3): 1253–1260. DOI: 10.24815/jr.v7i3.31650.
- Sáhó, A, V Karikás, B Ásványi, E Lakatos, L Varga, and B Greff. 2024. Bioactive potential of actinobacteria strains isolated from the rhizosphere of lavender, lemon balm, and oregano. *Agriculture*. 14(10): 1758. DOI: 10.3390/agriculture14101758.
- Saidi, S, H Cherif-Silini, A Chenari Bouket, A Silini, M Eshelli, L Luptakova, FN Alenezi, and L Belbahri. 2021. Improvement of *Medicago sativa* crops productivity by the co-inoculation of *Sinorhizobium meliloti* actinobacteria under salt stress. *Current Microbiology*. 78(4): 1344–1357. DOI: 10.1007/s00284-021-02355-9.
- SantaMaria, AM, and TA Rouault. 2024. Regulatory and sensing iron–sulfur clusters: new insights

- and unanswered questions. *Inorganics*. 12(4): 101. DOI: 10.3390/inorganics12040101.
- Schalk, IJ. 2025. Bacterial siderophores: diversity, uptake pathways and applications. *Nature Reviews Microbiology*. 23(1): 24–40. DOI: 10.1038/s41579-024-00953-2.
- Shin, GY, JK Schachterle, DY Shyntum, LN Moleleki, TA Coutinho, and GW Sundin. 2019. Functional characterization of a global virulence regulator Hfq and identification of Hfq-dependent sRNAs in the plant pathogen *Pantoea ananatis*. *Frontiers in Microbiology*. 10: 2075. DOI: 10.3389/fmicb.2019.02075.
- Silva, GC da, IT Kitano, IAF Ribeiro, and PT Lacava. 2022. The potential use of actinomycetes as microbial inoculants and biopesticides in agriculture. *Frontiers in Soil Science*. 2: 2. DOI: 10.3389/fsoil.2022.885638.
- Soumare, A, K Boubekri, K Lyamlouli, M Hafidi, Y Ouhdouch, and L Kouisni. 2021. Efficacy of phosphate solubilizing actinobacteria to improve rock phosphate agronomic effectiveness promotion. *Rhizosphere*. 17: 100284. DOI: 10.1016/j.rhisph.2020.100284.
- Stice, SP, GY Shin, S De Armas, S Koirala, GA Galván, MI Siri, and BH Kvitko. 2021. The distribution of onion virulence gene clusters among *Pantoea* spp. *Frontiers in Plant Science*. 12: 643787. DOI: 10.3389/fpls.2021.643787.
- Swarnalakshmi, K, M Senthilkumar, and B Ramakrishnan. 2016. Endophytic actinobacteria: nitrogen fixation, phytohormone production, and antibiosis. Pp. 123–145 *In Plant Growth Promoting Actinobacteria: A New Avenue for Enhancing the Productivity and Soil Fertility of Grain Legumes* (G Subramaniam, S Arumugam, and V Rajendran, Eds.). Springer Nature Singapore. Singapore. DOI: 10.1007/978-981-10-0707-1.
- Thenappan, DP, R Pandey, A Hada, DK Jaiswal, V Chinnusamy, R Bhattacharya, and K Annapurna. 2024. Physiological basis of plant growth promotion in rice by rhizosphere and endosphere associated *Streptomyces* isolates from India. *Rice*. 17(1): 60. DOI: 10.1186/s12284-024-00732-w.
- Tho, KE, E Brisco-McCann, P Wiriyaitsomboon, and MK Hausbeck. 2019. Effects of temperature, relative humidity, and plant age on bacterial disease of onion plants. *Plant Health Progress*. 20(4): 200–206. DOI: 10.1094/PHP-05-19-0031-RS .
- Upe, A, dan A Asrijal. 2022. Produktivitas optimum bawang merah varietas Bima. *Journal TABARO Agriculture Science*. 6(1):669–675. DOI: 10.35914/tabaro.v6i1.1255.
- Villafañe, DL, RA Maldonado, JS Bianchi, D Kurth, H Gramajo, MA Chiesa, and E Rodríguez. 2024. *Streptomyces* N2A, an endophytic actinobacteria that promotes soybean growth and increases yield and seed quality under field conditions. *Plant Science*. 343: 112073. DOI: 10.1016/j.plantsci.2023.112073.
- Wang, M, and Q Ma. 2011. Antagonistic actinomycete XN-1 from phyllosphere microorganisms of cucumber to control *Corynespora cassiicola*. *Cucurbit Genetics Cooperative Report*. 33: 17–21.
- Wati, C, AA Nawangsih, AT Wahyudi, S Wiyono, and A Munif. 2024. The effectiveness of Liliaceae phyllospheric actinomycetes as biocontrol agent of purple blotch disease (*Alternaria porri* Ell. Cif) on shallot. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika*. 24(2):190–198. DOI: 10.23960/j.hptt.224190-198.
- Xu, T, K Cui, J Chen, R Wang, X Wang, L Chen, and Y Chen. 2021. Biodiversity of culturable endophytic actinobacteria isolated from high yield *Camellia oleifera* and their plant growth promotion potential. *Agriculture*. 11(11): 1150. DOI: 10.3390/agriculture11111150.
- Yanti, Y, H Hamid, and N Nurbailis. 2023a. Distribusi penyakit hawar daun bakteri pada tanaman bawang merah di Sumatera. *Prosiding Seminar Nasional Pariwisata dan Kewirausahaan (SNPK)*. Hlm. 759–764.
- Yanti, Y, H Hamid, MD Dzulfahmi, S Selviana, and IR Putra. 2023b. Exploration of indigenous actinomycetes as biocontrol agents of purple blotch diseases at onion. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1228(1): 012022. DOI: 10.1088/1755-1315/1228/1/012022.
- Yanti, Y, Hamid, H, Nurbailis, N, Yaherwandi, Y, Liswarni, Y, Wibowo, I and Selviana, S. 2024. Exploration of actinobacteria indigenus as biological control agent of bacterial leaf blight (*Xanthomonas axonopodis* pv. *allii*) and increasing production of shallot. *Pakistan Journal of Phytopathology*. 36(1): 210–224. DOI: 10.33866/phytopathol.036.01.1096.