

Potensi Aktinomiset Filoplan Asal Tumbuhan Solanaceae sebagai Agens Pengendali Hayati *Phytophthora capsici* pada Cabai

The Potential of Phyllospheric Actinomycetes from Solanaceae Plants as Biocontrol Agents of *Phytophthora capsici* on Chili Pepper

Muhamad Basri, Efi Toding Tondok*, Giyanto

Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Jalan Kamper Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

(diterima Maret 2025, disetujui Desember 2025)

ABSTRAK

Busuk cabai merupakan penyakit penting yang disebabkan oleh Oomycetes spesies *Phytophthora capsici*. Patogen ini menginfeksi tanaman cabai dengan potensi kehilangan hasil lebih dari 80%. Penggunaan aktinomiset sebagai agens hayati merupakan pendekatan ramah lingkungan yang efektif dalam menekan pertumbuhan *P. capsici* melalui produksi antibiotik, enzim litik, serta kompetisi ruang dan nutrisi. Penelitian ini bertujuan mendapatkan isolat aktinomiset terbaik yang diisolasi dari tumbuhan Solanaceae yang dapat menekan pertumbuhan *P. capsici*. Penelitian ini meliputi isolasi aktinomiset, uji keamanan hayati, uji potensi antagonis, analisis hirarki proses, dan identifikasi molekuler. Terdapat 71 aktinomiset yang berhasil diisolasi dari 11 spesies tanaman dari famili Solanaceae dengan 39 isolat di antaranya lolos uji keamanan hayati. Pengujian potensi kandidat agens hayati menunjukkan 16 isolat mampu menekan pertumbuhan koloni *P. capsici*. Pengujian kultur ganda menunjukkan bahwa isolat 46PPS mampu menghambat pertumbuhan *P. capsici* hingga 98.2%. Selanjutnya pada pengujian produksi senyawa organik volatil, pertumbuhan *P. capsici* terhambat hingga 74.1% oleh isolat 41LAL. Penggunaan filtrat aktinomiset isolat 25TPT mampu menghambat pertumbuhan *P. capsici* di medium cair hingga 98.2%. Indeks selulolitik sebesar 2.1 oleh isolat 2LAP menunjukkan kemampuan aktinomiset dalam memecah molekul selulosa. Pembobotan menggunakan metode AHP menyaring 16 isolat menjadi empat kandidat terbaik dengan kode isolat, yaitu 2LAP, 25TPT, 37LAT, dan 41LAL. Hasil identifikasi molekuler menunjukkan bahwa keempat isolat terpilih ialah *Streptomyces pratensis*, *S. seoulensis*, *Pseudonocardia tropica*, dan *S. somaliensis*.

Kata kunci: busuk cabai, filtrat, penghambatan, senyawa organik volatil, *Streptomyces*

ABSTRACT

Chili rot is an important disease caused by an Oomycete species, *Phytophthora capsici*. This fungus infects chili plants with a potential yield loss of more than 80%. The use of actinomycetes as a biocontrol agent is an environmentally friendly approach that effectively suppresses the growth of *P. capsici* through the production of antibiotics, lytic enzymes, and competition for space and nutrients. This study aimed to obtain the best actinomycetes isolated from Solanaceae plants that could suppress the growth of *P. capsici*. This research included isolation of actinomycetes, biosafety assay, antagonistic potential assay, analytic hierarchy process, and molecular identification. There were 71 actinomycetes

*Penulis korespondensi: Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa Barat 16680.
Phone: +62 251 8629364, Fax: +62 251 8629362, Surel: ettondok@apps.ipb.ac.id.

isolated from 11 plant species in the the Solanaceae family. Actinomycetes isolates that passed the biosafety assay were 39 isolates. The results of antagonistic potential screening revealed 16 actinomycetes isolates capable of suppressing the growth of *P. capsici*. A dual culture assay showed that actinomycetes isolates were able to inhibit the growth of *P. capsici* in petri dishes up to 98.2% by isolate 46PPS. Furthermore, in volatile organic compounds assay, the growth of *P. capsici* was reduced up to 74.1% by isolate 41LAL. While filtrate of actinomycetes isolate 25TPT inhibited growth of *P. capsici* in liquid medium by up to 98.2%. The cellulolytic index showed the ability of actinomycetes to break down cellulose molecules, with a cellulase index value of 2.1 by isolate 2LAP. Scoring with the AHP method narrowed down 16 isolates into four best candidates with isolate codes 2LAP, 25TPT, 37LAT, and 41LAL. The results of molecular identification showed that the four selected isolates were *Streptomyces pratensis*, *S. seoulensis*, *Pseudonocardia tropica*, and *S. somaliensis*.

Keywords: chili rot, filtrate, inhibition, *Streptomyces*, volatile organic compounds

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan produsen cabai yang menempati posisi keempat di dunia setelah Cina, Meksiko, dan Turki secara besar produksi (Yudha dan Vannesa 2022). Produktivitas cabai di Indonesia mengalami fluktuasi dalam lima tahun terakhir. Pada tahun 2019, produktivitasnya tercatat sebesar 8.62 ton ha⁻¹. Namun, angka ini kembali meningkat menjadi 8.53 ton ha⁻¹ pada tahun 2021 dan mencapai 9.03 ton ha⁻¹ pada tahun 2023 (Kementan 2023). Dengan potensi genetik produktivitas cabai yang dapat mencapai 15–20 ton ha⁻¹, produktivitas aktualnya yang tidak mencapai 50% dari potensinya mengindikasikan adanya faktor pembatas budi daya yang signifikan. Faktor pembatas tersebut terdiri atas iklim, kesuburan tanah, pola budi daya, dan serangan hama penyakit tanaman.

Salah satu penyakit yang sangat merusak tanaman cabai ialah penyakit busuk phytophthora yang disebabkan oleh Oomycetes spesies *Phytophthora capsici* (Li *et al.* 2024). Patogen ini dapat menginfeksi seluruh bagian tanaman cabai, termasuk buah, batang, daun, ranting, hingga akar. Selain itu, infeksi *P. capsici* juga dapat terjadi pada berbagai fase pertumbuhan tanaman mulai dari pembibitan, fase vegetatif, hingga fase generatif (Kumari *et al.* 2024). Jika tidak dilakukan tindakan pengendalian yang tepat, serangan *P. capsici* dapat menyebabkan kehilangan hasil hingga 80% (Rhouma *et al.* 2024).

Upaya pengendalian penyakit busuk phytophthora pada tanaman cabai terus dilakukan melalui berbagai cara. Menurut

Volynchikova dan Kim (2022), cara yang umum digunakan ialah penggunaan fungisida kimia sintetis, penerapan kultur teknis seperti pemusnahan sisa tanaman yang terinfeksi *P. capsici*, serta pengelolaan air yang baik untuk mencegah penyebaran penyakit (Sanogo dan Ji 2013). Pengendalian secara biologis menjadi pendekatan yang dapat dilakukan, yakni dengan memanfaatkan agens hayati yang tersedia di alam (Bhusal dan Mmbaga 2020). Salah satu agens hayati yang berpotensi dalam mengendalikan infeksi *P. capsici* ialah aktinomiset. Aktinomiset merupakan bakteri Gram positif yang memiliki kemampuan memproduksi berbagai metabolit sekunder yang bersifat anti cendawan. Keberadaan aktinomiset di alam sangat beragam dan bakteri ini memiliki kemampuan beradaptasi yang tinggi di berbagai lingkungan (Farda *et al.* 2022). Pemanfaatan aktinomiset telah banyak diterapkan di berbagai bidang, seperti farmasi, pertanian, dan pangan. Kemampuannya dalam menghasilkan senyawa metabolit dengan sifat antifungal, antibiotik, dan antikanker menjadikannya sangat bernilai.

Khusus dalam bidang pertanian, sifat fungisidal dari aktinomiset dapat dimanfaatkan sebagai agens biokontrol untuk menekan pertumbuhan *P. capsici*. Beberapa genus aktinomiset yang telah digunakan dalam pengendalian patogen tanaman antara lain *Streptomyces* dan *Nocardiopsis*. Spesies *Streptomyces coelicolor* dilaporkan mampu mengendalikan penyakit busuk umbi pada bawang merah, sementara *S. plicatus* diketahui dapat menghambat pertumbuhan patogen dari kelompok Oomycetes (Abdelrahman *et al.* 2022). Penelitian ini

bertujuan mendapatkan isolat bakteri aktinomiset asal tanaman Solanaceae yang berpotensi sebagai agens hayati dalam pengendalian *P. capsici* pada tanaman cabai.

BAHAN DAN METODE

Penyiapan Isolat Aktinomiset

Aktinomiset diisolasi dari daun tanaman famili Solanaceae yang sehat baik tumbuh liar maupun dibudidayakan. Sampel diperoleh dari tiga lokasi, yaitu Kabupaten Wonosobo, Kabupaten Bogor, dan Kabupaten Bandung dan diisolasi merujuk pada metode Utarti *et al.* (2020). Sebanyak 5 g daun direndam selama 24 jam dalam 100 mL larutan NaCl 0.85%. Larutan hasil perendaman daun Solanaceae dipanaskan ke dalam inkubator dengan suhu 60 °C selama 60 menit. Larutan hasil perendaman daun Solanaceae yang sudah dipanaskan kemudian dipekatkan dari 100 mL menjadi 1 mL menggunakan alat sentrifugasi. Sebanyak 0.1 mL larutan hasil pemekatan disebar pada medium *starch casein agar* (SCA) kemudian diinkubasi selama 10–60 hari dalam suhu 25 °C. Koloni bakteri yang bertepung dipisahkan dan dimurnikan menggunakan medium *international streptomyces project-2* (ISP2) hingga didapatkan koloni tunggal yang murni (Nurmujahidin 2023).

Uji Keamanan Hayati

Uji keamanan hayati dilakukan dengan dua tahapan, yaitu uji reaksi hipersensitif dan uji agar darah berdasarkan metode Munif dan Ma'ruf (2020). Uji reaksi hipersensitif diawali dengan tahapan aktinomiset hasil isolasi dibiakkan pada medium ISP2 cair. Isolat diinkubasi selama 5 hari. Sebanyak 100 µL suspensi aktinomiset hasil inkubasi diinjeksikan menggunakan *syringe* steril tanpa jarum pada permukaan bawah daun tembakau. Tanaman tembakau diinkubasi selama 72 jam. Reaksi positif ditunjukkan dengan munculnya nekrotik pada daun tembakau.

Uji agar darah diawali dengan tahapan aktinomiset diremajakan pada medium ISP2 padat dan diinkubasi selama 5 hari. Isolat hasil peremajaan digoreskan pada medium agar

darah. Isolat diinkubasi selama 72 jam pada suhu ruang 25 °C. Reaksi positif ditunjukkan dengan adanya zona bening di sekitar koloni yang menunjukkan aktinomiset berpotensi menjadi patogen bagi mamalia.

Seleksi Aktinomiset Potensial dalam Menghambat Pertumbuhan *Phytophthora capsici*

Uji pendahuluan terhadap potensi antagonistik isolat aktinomiset dilakukan menggunakan metode kultur ganda sebagaimana dijelaskan oleh Yanti *et al.* (2025). Isolat *P. capsici* koleksi Laboratorium Mikologi Tumbuhan, Institut Pertanian Bogor ditumbuhkan pada medium agar-agar dekstroza kentang (ADK) 3 cm dari tepi cawan sisi kanan. Setelah itu isolat aktinomiset digoreskan 3 cm dari tepi cawan sisi kiri tegak lurus. Isolat diinkubasi selama 6 hari pada suhu ruang 25 °C. Parameter yang diamati ialah terbentuknya zona bening atau daerah hambatan pertumbuhan di antara koloni aktinomiset dan *P. capsici*. Isolat aktinomiset yang menunjukkan kemampuan menghasilkan zona bening dipilih untuk diuji lebih lanjut pada tahap pengujian berikutnya.

Pengujian *in Vitro* Aktinomiset Potensial

Uji kultur ganda aktinomiset terhadap *P. capsici*. Isolat aktinomiset ditumbuhkan pada medium ADK berhadapan dengan *P. capsici* yang merupakan koleksi Laboratorium Mikologi Tumbuhan IPB usia kultur 7 hari pada medium ADK. Aktinomiset dan *P. capsici* masing-masing ditumbuhkan 3 cm dari tepi cawan. Isolat diinkubasi pada suhu 25 °C selama 6 hari. Pengujian dilakukan dengan melihat kemampuan aktinomiset dalam menghambat *P. capsici* secara kuantitatif dengan dihitung persentase hambatan relatif (Skidmore dan Dickinson 1976):

$$\text{PHR} = \frac{r_1 - r_2}{r_1} \times 100\%, \text{ dengan}$$

PHR, persentase penghambatan isolat aktinomiset (%); r_1 , jari-jari *P. capsici* kontrol (mm); dan r_2 , jari-jari *P. capsici* perlakuan (mm).

Uji senyawa organik volatil aktinomiset terhadap *P. capsici*. Uji ini dilakukan dengan

aktinomiset yang ditumbuhkan pada medium ISP2 dan *P. capsici* ditumbuhkan pada medium ADK ditangkupkan. Isolat diinkubasi pada suhu 25 °C selama 6 hari, kemudian dihitung pertumbuhan hifa *P. capsici* dengan dihitung persentase nilai hambatnya (Sinuco *et al.* 2020)

$$PHR = \frac{d1 - d2}{d1} \times 100\%, \text{ dengan}$$

PHR, persentase penghambatan isolat aktinomiset (%); d1, diameter *P. capsici* kontrol (mm); dan d2, diameter *P. capsici* perlakuan (mm).

Uji filtrat aktinomiset terhadap *P. capsici*.

Aktinomiset ditumbuhkan pada medium ISP2 cair kemudian diinkubasi pada *shaker* dengan kecepatan 200 rpm pada suhu 25 °C selama 14 hari. Sebanyak 50 mL suspensi aktinomiset disentrifugasi dengan kecepatan 5000 rpm selama 10 menit. Supernatan hasil sentrifugasi disaring menggunakan milipore 0.22 µm. Filtrat sebanyak 10 mL ditambahkan pada medium *potato dextrose broth* (PDB) 30 mL. Isolat *P. capsici* ditumbuhkan pada PDB yang sudah ditambahkan filtrat. Sebagai kontrol, *P. capsici* ditumbuhkan pada medium PDB tanpa penambahan filtrat dan diinkubasi selama 8 hari. Ditimbang bobot basah dan bobot kering, kemudian dihitung persentase penghambatannya.

$$PHRbb = \frac{b1 - b2}{b1} \times 100\%, \text{ dengan}$$

PHRbb, persentase penghambatan isolat aktinomiset bobot basah (%); b1, bobot basah *P. capsici* kontrol (g); dan b2, bobot basah *P. capsici* perlakuan (g).

$$PHRbk = \frac{b1 - b2}{b1} \times 100\%, \text{ dengan}$$

PHRbk, persentase penghambatan isolat aktinomiset bobot kering (%); b1, bobot kering *P. capsici* kontrol (g); dan b2, bobot kering *P. capsici* perlakuan (g).

Karakterisasi Aktinomiset sebagai Agens Hayati dan Pemacu Pertumbuhan

Uji karakteristik potensi agens hayati dilakukan terhadap aktivitas enzim hidrolitik selulase dan glukonase. Pengujian dilakukan dengan menumbuhkan isolat aktinomiset pada medium agar selulosa untuk uji aktivitas

enzim hidrolitik selulase dan pada medium agar glukon untuk melihat aktivitas enzim hidrolitik glukonase (Dini dan Munifah 2014). Indeks selulolitik dan glukonolitik dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Indeks selulolitik/glukonolitik} = \frac{d_{zb}}{d_k} \times 100\%, \text{ dengan}$$

d_{zb} , diameter zona bening (mm); dan d_k , diameter koloni (mm).

Uji pemacu pertumbuhan dilakukan berdasarkan uji produksi IAA berdasarkan metode Silitonga *et al.* (2013). Aktinomiset ditumbuhkan pada medium ISP2 cair yang sudah diperkaya dengan triptofan. Isolat diinkubasi selama 7 hari, kemudian dilakukan penambahan reagens Salkowski. Isolat diinkubasi di ruangan gelap 30–60 menit untuk diamati perubahan warna yang terjadi. Perubahan warna pada medium kultur yang terjadi dibagi menjadi tiga, yaitu rendah (warna medium sedikit berubah), sedang (warna medium berubah menjadi agak keruh), dan tinggi (warna medium menjadi sangat keruh).

Pengujian Bioproteksi Benih

Uji bioproteksi benih dilakukan berdasarkan metode Zulfikar (2021). Benih cabai yang digunakan terlebih dahulu disterilisasi permukaannya dengan cara direndam dalam larutan natrium hipoklorit 1% selama 2 menit, kemudian dibilas tiga kali menggunakan akuades steril dan dikeringanginkan. Benih kemudian direndam dalam air hangat bersuhu 35–40 °C selama 4 jam guna mempercepat proses perkecambahan. Setelah itu, benih direndam dalam suspensi kultur aktinomiset selama 24 jam pada suhu kamar dalam kondisi gelap. Benih yang telah diinokulasi dengan aktinomiset ditanam pada botol steril berisi medium *water agar*, yang berfungsi sebagai medium penyangga pertumbuhan awal benih tanpa penambahan nutrisi. Benih kemudian diinkubasi pada suhu 25 °C selama 3–5 hari hingga munculnya radikula sebagai indikator perkecambahan. Setelah benih menunjukkan pertumbuhan akar, isolat *P. capsici* usia tujuh hari diinokulasikan menggunakan *cork borer* dalam bentuk *plug* berdiameter 0.5 cm di sekitar benih yang sudah berkecambah. Pengamatan dilakukan setiap hari selama

14 hari setelah inokulasi, dengan parameter yang diamati mencakup insidensi infeksi *P. capsici* dan pertumbuhan kecambah cabai.

Uji Analisis Hirarki Proses

Isolat potensial terbaik akan dinilai menggunakan metode analisis hirarki proses (AHP) berdasarkan metode Wei *et al.* (2020) dengan dinilai dari parameter yang sudah diuji (Tabel 1). Pengujian dilakukan dengan pembobotan dengan menghitung nilai perkalian eigen vektor antara kriteria dan subkriteria untuk mendapat empat kandidat isolat terbaik. Pengukuran AHP dilakukan menggunakan aplikasi *Microsoft Office Excel* dan diurutkan dari nilai yang terbesar (Chandra *et al.* 2015). Sebanyak empat isolat dengan peringkat tertinggi diidentifikasi lebih lanjut berdasarkan karakter molekuler.

Identifikasi Molekuler

Identifikasi molekuler untuk identitas aktinomiset dilakukan dengan tahapan DNA genom diekstrak mengikuti metode Walsh *et al.* (2013), diamplifikasi berdasarkan gen 16S rRNA menggunakan primer 27F (5'-AGA GTT TGA TCC TGG CTC AG 3') dan 1492R (5' GGT TAC CTT GTT ACG ACT T-3'). Fragmen gen aktinomiset diamplifikasi dengan tahapan pertama ialah dengan pra-denaturasi 94 °C selama 2 menit, selanjutnya denaturasi pada 94 °C selama 30 detik, *annealing* pada suhu 55 °C selama 20–30 detik, ekstensi pada suhu 72 °C selama 1 menit. Proses denaturasi hingga ekstensi dilakukan sebanyak 30 siklus, proses ekstensi akhir 72 °C selama 5–10 menit. Kemudian hasil PCR didiamkan pada suhu ruang dan disimpan pada suhu 4 °C saat proses pengiriman pihak ketiga untuk di sekuensing. Visualisasi produk PCR kemudian dianalisis melalui elektroforesis gel agarosa 1% dengan target panjang pita DNA 1500 pasang basa. Produk PCR dianalisa untuk disekuensing dan hasil analisa dilakukan BLAST di web NCBI untuk dibandingkan dengan aktinomiset lainnya.

Analisis Data

Peubah yang diamati ialah persentase hambatan pada setiap uji. Data dianalisis

menggunakan sidik ragam (ANOVA). Perlakuan yang berpengaruh nyata dianalisis dengan uji Tukey dengan taraf 5% menggunakan perangkat lunak SAS On Demand versi 0.94.

HASIL

Perolehan Isolat Aktinomiset

Aktinomiset diisolasi dari tanaman famili Solanaceae, yaitu lenca (*Solanum nigrum*), kecubung (*Datura metel*), cabai (*Capsicum annum*), ciplukan (*Physalis angulata*), bunga terompet (*Brugmansia suaveolens*), kentang (*S. tuberosum*), ceri yerusalem (*S. pseudocapsicum*), ceri daun ganda (*S. diphylum*), terung belanda (*S. betaceum*), tekokak (*S. torvum*), dan cabai habanero (*C. chinense*). Hasil isolasi dari 11 daun tanaman Solanaceae yang diisolasi didapatkan 71 jenis aktinomiset yang berbeda. Jumlah paling banyak ialah pada tanaman lenca dengan keanekaragaman aktinomiset sebanyak 22 jenis dan terbanyak kedua ialah tanaman ciplukan sebanyak 13 jenis. Tanaman dengan kelimpahan aktinomiset paling sedikit ialah tanaman terung belanda dan tanaman cabai habanero dengan jumlah aktinomiset masing-masing sebanyak 2 jenis (Gambar 1). Uji keamanan dilakukan untuk menyeleksi isolat yang aman, baik terhadap tanaman maupun mamalia. Hasil seleksi menunjukkan 39 isolat aktinomiset dari 71 isolat tidak patogenik terhadap tumbuhan maupun mamalia.

Pengujian *in Vitro* Aktinomiset Potensial

Terdapat 16 isolat yang mampu memenuhi kriteria uji dan menghambat *P. capsici* dengan kemampuan menghambat di atas 70%. Hasil penilaian berdasarkan pada kemampuan aktinomiset dalam menghasilkan zona bening sangat baik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sebanyak 16 dari 39 isolat terpilih mampu menghasilkan zona bening, dengan rentang lebar zona antara 7.1 mm hingga 19.7 mm (Tabel 2). Potensi biokontrol aktinomiset tidak hanya dinilai berdasarkan kemampuannya menghambat pertumbuhan patogen melalui kolonisasi serta kompetisi ruang dan nutrisi, tetapi juga dinilai dari

Tabel 1 Kategori pembobotan pada *analytic hierarchy process* (AHP)
(Table 1 Weighting categories in *analytic hierarchy process* (AHP))

Kriteria (Criteria)	Bobot kriteria (Criteria weight)	Sub kriteria (Sub-criteria)	Bobot sub kriteria (Sub-criteria weight)
Bioproteksi benih (Seed bioprotection)	5×	Sangat tinggi (skor 5) (Very high (score 5))	$x > 90$
		Tinggi (skor 4) (High (score 4))	$81 \leq x \leq 90$
		Sedang (skor 3) (Medium (score 3))	$61 \leq x \leq 80$
		Rendah (skor 2) (Low (score 2))	$30 \leq x \leq 60$
		Sangat rendah (skor 1) (Very low (score 1))	$x < 30$
Kultur ganda (Dual culture)	4×	Sangat tinggi (skor 5) (Very high (score 5))	$x > 79$
		Tinggi (skor 4) (High (score 4))	$70 \leq x \leq 79$
		Sedang (skor 3) (Medium (score 3))	$50 \leq x \leq 70$
		Rendah (skor 2) (Low (score 2))	$30 \leq x \leq 50$
		Sangat rendah (skor 1) (Very low (score 1))	$x < 30$
Volatil organic compound (Volatil organic compound)	3×	Sangat tinggi (skor 5) (Very high (score 5))	$x > 50$
		Tinggi (skor 4) (High (score 4))	$41 \leq x \leq 50$
		Sedang (skor 3) (Medium (score 3))	$30 \leq x \leq 40$
		Rendah (skor 2) (Low (score 2))	$10 \leq x \leq 31$
		Sangat rendah (skor 1) (Very low (score 1))	$x < 10$
Indeks litik (Lytic index)	2×	Sangat tinggi (skor 5) (Very high (score 5))	$x > 1.5$
		Tinggi (skor 4) (High (score 4))	$1.0 \leq x \leq 1.5$
		Sedang (skor 3) (Medium (score 3))	$0.5 \leq x \leq 0.9$
		Rendah (skor 2) (Low (score 2))	$0.1 \leq x \leq 0.4$
		Sangat rendah (skor 1) (Very low (score 1))	$x < 0.1$
Produksi IAA (IAA production)	1×	Sangat tinggi (skor 5) (Very high (score 5))	++++
		Tinggi (skor 4) (High (score 4))	+++
		Sedang (skor 3) (Medium (score 3))	++
		Rendah (skor 2) (Low (score 2))	+
		Sangat rendah (skor 1) (Very low (score 1))	-

kemampuannya menghasilkan metabolit sekunder antimikrob yang terbukti mampu menghambat patogen meskipun tanpa kontak langsung. Pada 16 isolat terpilih dilakukan pengujian lebih spesifik dengan kultur ganda, senyawa organik volatil, dan peracunan medium menggunakan filtrat aktinomiset. Nilai penghambatan tertinggi terhadap *P. capsici* pada uji kultur ganda ditunjukkan oleh isolat 25TPT dan isolat 46PPS yang menunjukkan nilai hambatan berturut-turut hingga 94.1% dan 98.2%. Hasil pengujian VOC menunjukkan nilai hambatan tertinggi dihasilkan oleh isolat 41LAL dengan nilai hambatan mencapai 74.1%. Hasil penghambatan peracunan medium menggunakan filtrat atau metabolit aktinomiset terbaik ditunjukkan oleh isolat 9LAT, 25TPT, dan 39KPG dengan nilai hambatan masing-masing sebesar 96.3%, 98.2%, dan 95.2%. Pada pengamatan bobot kering koloni *P. capsici* menunjukkan sebanyak enam isolat mampu menghambat pertumbuhan paling tinggi dengan kode 10KPT, 12KPT, 25TPT, 36PPT, 37LAT, dan 39KPG memiliki nilai penghambatan masing-masing secara berurutan sebesar 95.6%, 96.0%, 98.3%, 93.2%, 98.0%, dan 98.9% (Tabel 3).

Karakterisasi Aktinomiset sebagai Agens Hayati dan Pemacu Pertumbuhan

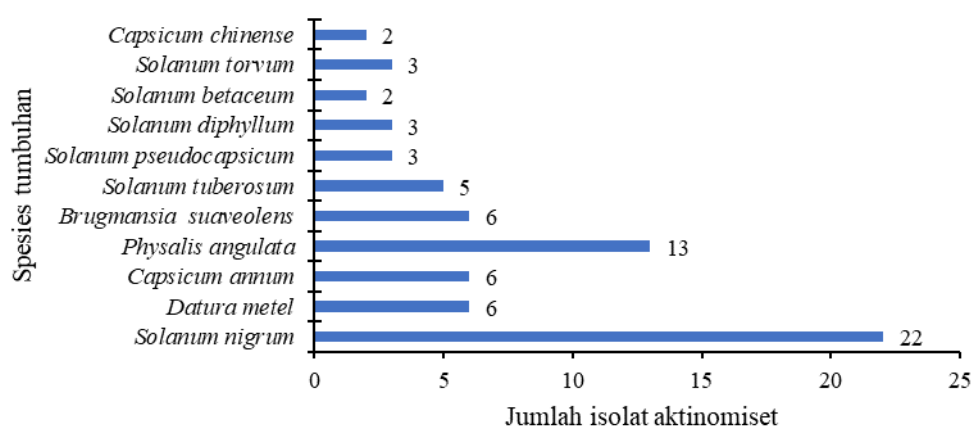
Hasil karakterisasi aktinomiset dalam memproduksi IAA terdapat empat isolat yang sangat baik berdasarkan perubahan warna secara kualitatif. Perubahan warna medium paling

keruh dinilai mampu menghasilkan hormon IAA paling tinggi. Isolat dengan perubahan warna paling keruh ialah isolat 2LAP, 27TPM, 39KPG, dan 41LAL. Produksi IAA dapat menjadi indikator kemampuan isolat dalam membantu tanaman meningkatkan performa pertumbuhannya. Berdasarkan penelitian ini, tidak semua isolat mampu menghasilkan enzim selulase. Produksi enzim selulase terbaik dihasilkan oleh isolat 2LAP dengan nilai indeks selulase 2.1 diikuti isolat 9LAT dengan nilai 2.0. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui indeks glukanolitik menunjukkan semua isolat tidak menghasilkan enzim glukonase (Tabel 4).

Kemampuan Bioproteksi Benih

Infeksi *P. capsici* mampu menyebabkan busuk dan kematian pada bibit cabai (Gambar 2). Aplikasi aktinomiset pada benih cabai menunjukkan kemampuan dalam memproteksi benih dari infeksi *P. capsici*. Berdasarkan data hasil penelitian (Tabel 5), enam isolat aktinomiset, yaitu 1LAL, 2LAP, 9LAT, 25TPT, 37LAT, dan 41LAL mampu menekan persentase infeksi *P. capsici* hingga 0%, yang berarti tidak terjadi infeksi sama sekali. Sementara itu, isolat dengan tingkat infeksi tertinggi ialah 12KPT dan 36PPT, dengan persentase infeksi mencapai 91.67%.

Enam isolat berhasil memproteksi benih cabai dari infeksi *P. capsici*. Namun, satu isolat yaitu 9LAT menunjukkan pertumbuhan kecambah yang lebih rendah dibandingkan



Gambar 1 Keanekaragaman isolasi aktinomiset dari daun tanaman solanaceae. (Figure 1 Diversity of actinomycete isolates from solanaceae plant leaves).

Tabel 2 Uji kualitatif kultur ganda kemampuan aktinomiset terpilih dalam menghambat pertumbuhan *Phytophthora capsici*
 (Table 2 Qualitative dual culture assay of the ability of selected actinomycetes to inhibit the growth of *Phytophthora capsici*)

Kode isolat (Isolate codes)	Asal tanaman (Plants)	Daya hambat* (Inhibition*)	Lebar zona hambat (inhibition zone) (mm)
1LAL	<i>Solanum nigrum</i>	++	7.1
2LAP	<i>Solanum nigrum</i>	++	8.3
3LAP	<i>Solanum nigrum</i>	-	0.0
4LPP	<i>Solanum nigrum</i>	+	0.0
5LPH	<i>Solanum nigrum</i>	-	0.0
6LAT	<i>Solanum nigrum</i>	-	0.0
8LPT	<i>Solanum nigrum</i>	+	0.0
9LAT	<i>Solanum nigrum</i>	++	8.8
10KPT	<i>Datura metel</i>	++	13.2
11KAT	<i>Datura metel</i>	+	0.0
12KPT	<i>Datura metel</i>	++	18.3
15CHT	<i>Capsicum annum</i>	-	0.0
20CPT	<i>Physalis angulata</i>	-	0.0
21CPT	<i>Physalis angulata</i>	++	15.1
24LPT	<i>Solanum nigrum</i>	-	0.0
25TPT	<i>Brugmansia suaveolens</i>	++	18.9
26TKT	<i>Brugmansia suaveolens</i>	+	0.0
27TPM	<i>Brugmansia suaveolens</i>	++	13.2
28TPJ	<i>Brugmansia suaveolens</i>	++	14.4
29TPT	<i>Brugmansia suaveolens</i>	+	0.0
36PPT	<i>Solanum pseudocapsicum</i>	++	13.8
37LAT	<i>Solanum nigrum</i>	++	17.9
38KPG	<i>Datura metel</i>	+	0.0
39KPG	<i>Datura metel</i>	++	19.1
40LHT	<i>Solanum nigrum</i>	-	0.0
41LAL	<i>Solanum nigrum</i>	++	8.3
42LAP	<i>Solanum nigrum</i>	+	0.0
43LPT	<i>Solanum nigrum</i>	++	14.1
44LAJ	<i>Solanum nigrum</i>	+	0.0
45LAP	<i>Solanum nigrum</i>	+	0.0
46PPS	<i>Solanum pseudocapsicum</i>	++	19.7
47KPA	<i>Solanum tuberosum</i>	-	0.0
48LAL	<i>Solanum nigrum</i>	-	0.0
53CAL	<i>Capsicum annum</i>	-	0.0
57KHT	<i>Solanum tuberosum</i>	++	18.4
67CPT	<i>Physalis angulata</i>	+	0.0
68CKT	<i>Physalis angulata</i>	+	0.0
69TKT	<i>Solanum torvum</i>	-	0.0
70TPH	<i>Solanum torvum</i>	-	0.0

-, tidak menghambat; +, menghambat; dan ++, menghambat dan menghasilkan zona bening. (-, does not inhibit; +, inhibits; and ++, inhibits and produces a clear zone.)

Tabel 3 Uji kuantitatif kemampuan aktinomiset terpilih dalam menghambat pertumbuhan *Phytophthora capsici*
(Table 3 Quantitative assay of the ability of selected actinomycetes to inhibit the growth of *Phytophthora capsici*)

Perlakuan (Treatment)	Persentase hambatan relatif (Inhibition rate) (%)			
	Kultur ganda (Dual culture)	Senyawa menguap (Volatile organic compound)	Bobot basah koloni (Wet weight of colonies)	Bobot kering koloni (Dry weight of colonies)
Kontrol (Control)	0.0 ± 0.0 a*	0.0 ± 0.0 a	0.0 ± 0.0 a	0.0 ± 0.0 a
1LAL	73.7 ± 1.5 b	47.6 ± 1.0 f	35.6 ± 1.8 b	26.3 ± 1.9 b
2LAP	79.8 ± 2.4 cde	31.5 ± 0.3 c	48.9 ± 1.6 d	62.8 ± 2.0 c
9LAT	74.9 ± 1.3 bc	30.3 ± 0.5 c	96.3 ± 0.1 hi	90.6 ± 0.5 f
10KPT	82.4 ± 0.1 ef	59.7 ± 0.1 j	88.1 ± 0.4 g	95.6 ± 1.5 fgh
12KPT	86.8 ± 0.2 f	43.5 ± 0.4 e	96.5 ± 0.2 hi	96.0 ± 1.8 fgh
21CPT	77.2 ± 0.9 bcde	57.5 ± 0.6 i	87.5 ± 0.3 g	92.2 ± 0.8 fg
25TPT	94.1 ± 0.1 g	62.2 ± 0.7 k	98.2 ± 0.1 i	98.3 ± 0.8 gh
27TPM	80.7 ± 0.2 de	53.1 ± 0.6 h	67.1 ± 1.8 e	64.2 ± 1.4c
28TPJ	86.6 ± 4.5 f	50.1 ± 1.0 g	77.8 ± 0.6 f	83.1 ± 2.2 e
36PPT	76.1 ± 0.1 bcd	52.4 ± 0.5 h	87.9 ± 1.1 g	93.2 ± 1.0 fgh
37LAT	79.9 ± 2.8 cde	57.4 ± 0.5 i	93.8 ± 0.2 h	98.0 ± 0.4 gh
39KPG	71.5 ± 0.4 b	37.3 ± 0.5 d	95.2 ± 0.3 hi	98.9 ± 0.3 h
41LAL	75.2 ± 0.3 bcd	74.1 ± 0.5 l	43.8 ± 2.0 c	32.3 ± 4.1 b
43LPT	76.2 ± 0.1 bcd	36.3 ± 0.6 d	79.9 ± 1.0 f	81.9 ± 0.5 e
46PPS	98.2 ± 0.1 g	46.9 ± 0.7 f	80.1 ± 1.4 f	71.7 ± 1.2 d
57KHT	75.8 ± 0.3 bcd	19.6 ± 0.1 b	95.9 ± 0.2 hi	96.2 ± 1.6 fgh

*Angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji Tukey pada taraf uji α 5%. (*Numbers in the same column followed by different letters indicate significant differences based on Tukey's test at the α level of 5%.)

Tabel 4 Karakterisasi aktinomiset sebagai agens hayati *Phytophthora capsici* dan pemacu pertumbuhan
(Table 4 Characterization of actinomycetes as biological agens *Phytophthora capsici* and growth promoters)

Kode isolat (Isolate codes)	Produksi IAA* (Production of IAA*)	Indeks selulase (Cellulase index)	Indeks glukonase (Glucanase index)
1LAL	++	1.6	0.0
2LAP	+++	2.1	0.0
9LAT	+	2.0	0.0
10KPT	+	1.5	0.0
12KPT	++	1.4	0.0
21CPT	+	0.0	0.0
25TPT	+	0.0	0.0
27TPM	+++	0.0	0.0
28TPJ	++	0.0	0.0
36PPT	+	0.0	0.0
37LAT	+	2.0	0.0
39KPG	+++	1.9	0.0
41LAL	++	1.8	0.0
43LPT	++	1.4	0.0
46PPS	+	0.0	0.0
57KHT	+	1.9	0.0

+, produksi rendah; ++, produksi sedang; dan +++, produksi tinggi. (+, low production; ++, medium production; and +++, high production).

kontrol. Di antara seluruh isolat yang diuji, isolat 37LAT menunjukkan performa terbaik karena selain mampu melindungi benih, isolat ini juga meningkatkan pertumbuhan kecambah dengan panjang kecambah mencapai 54.59 mm.



Gambar 2 Gejala *Phytophthora capsici* pada kecambah benih cabai di medium *water agar*. (Figure 2 Symptoms of *Phytophthora capsici* on chili seedlings grown on water agar medium).

Analisis Hirarki Proses

Analisis hirarki proses dinilai mampu menjadi pertimbangan pada semua aspek melihat dari kepentingan faktor yang diujikan (Tabel 1). Hasil analisis hirarki proses dari 16 isolat menunjukkan bahwa terdapat empat isolat terbaik, yaitu isolat 2LAP, 25TPT, 37LAT, dan 41LAL (Gambar 3). Berdasarkan pembobotan tiap-tiap isolat memiliki nilai isolat 2LAP 0.6303, isolat 25TPT 0.3655, isolat 37LAT 0.4002, dan isolat 41 LAL 0.3660 (Tabel 6). Isolat yang terpilih merupakan isolat yang memiliki fungsi kompleks paling baik dibanding isolat lainnya.

Identitas Aktinomiset Terpilih

Identifikasi molekuler dilakukan pada empat isolat terpilih. Berdasarkan amplifikasi gen 16S rRNA dengan primer 27F dan 1492R keempat isolat teridentifikasi sebagai aktinomiset. Isolat 2LAP teridentifikasi sebagai *S. pratensis*, sedangkan isolat 25TPT

Tabel 5 Pengaruh aktinomiset pada benih cabai pada medium *water agar* terhadap pertumbuhan kecambah dan infeksi *Phytophthora capsici* (Table 5 The effect of actinomycetes application to chili seeds on water agar medium on sprout growth and *Phytophthora capsici* infection)

Kode isolat (Isolate codes)	Panjang kecambah (Sprout length) (mm)	Persen infeksi (Percent infection) (%)
Kontrol (Control)	43.93	100.00
1LAL	50.78	0.00
2LAP	49.41	0.00
9LAT	38.13	0.00
10KPT	26.44	16.67
12KPT	15.63	91.67
21CPT	35.13	8.33
25TPT	49.66	0.00
27TPM	44.01	8.33
28TPJ	60.17	82.33
36PPT	29.10	91.67
37LAT	54.59	0.00
39KPG	17.03	91.67
41LAL	46.55	0.00
43LPT	22.63	75.00
46PPS	31.10	58.33
57KHT	52.55	16.67

teridentifikasi sebagai *S. seoulensis*. Isolat dengan kode 37LAT teridentifikasi sebagai *Pseudonocardia tropica*. Untuk isolat 41LAL merupakan *S. somaliensis* (Tabel 7). Semua

isolat memiliki *query cover* 100% dan homologi di atas 99% dibandingkan isolat terdekat hasil penyandingan BLAST.



Gambar 3 Koloni isolat aktinomiset terpilih. a, isolat 2LAP; b, isolat 25TPT; c, isolat 37LAT; dan d, isolat 41LAL.

(Figure 3 Colonies of selected actinomycete isolates. a, isolate 2LAP; b, isolate 25TPT; c, isolate 37LAT; and d, isolate 41LAL).

Tabel 6 Hasil analisis hirarki proses
(Table 6 Analytical hierarchy process result)

Kode isolat (Isolate codes)	Bobot (Score)	Peringkat (Ranking)
1LAL	0.3411	5
2LAP	0.6303	1
9LAT	0.3186	6
10KPT	0.2529	7
12KPT	0.2191	10
21CPT	0.1777	11
25TPT	0.3655	4
27TPM	0.2340	8
28TPJ	0.2244	9
36PPT	0.1777	12
37LAT	0.4002	2
39KPG	0.1770	13
41LAL	0.3660	3
43LPT	0.1623	14
46PPS	0.1528	16
57KHT	0.1612	15

Tabel 7 Identitas isolat aktinomiset terbaik berdasarkan analisis sekuens nukleotida
(Table 7 Identity of the best actinomycete isolates based on nucleotide sequence analysis)

No	Kode isolat (Isolate codes)	Identitas spesies (Species identity)	Query cover (Query cover)	Homologi (Homology)	Nomer aksesori (Accession number)
1	2LAP	<i>Streptomyces pratensis</i>	100%	99.28%	KU973965.1
2	25TPT	<i>Streptomyces seoulensis</i>	100%	99.64%	KP900841.1
3	37LAT	<i>Pseudonocardia tropica</i>	100%	100.00%	OQ062543.1
4	41LAL	<i>Streptomyces somaliensis</i>	100%	99.93%	MG190665.1

PEMBAHASAN

Kelimpahan aktinomiset dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti kelembapan, sinar matahari, kadar nutrisi, serta temperatur (Fatimah *et al.* 2022). Selain kondisi lingkungan, paparan penggunaan pestisida kimia sintetis memengaruhi kelimpahan aktinomiset sehingga tumbuhan liar memiliki kelimpahan lebih tinggi dibandingkan tanaman yang intensif dibudidayakan (Lamuka dan Aliwu 2024).

Hasil pengujian kultur ganda menunjukkan bahwa semua aktinomiset yang diuji mampu menghambat pertumbuhan *P. capsici*. Hal ini menunjukkan aktinomiset yang diisolasi menghasilkan senyawa anticendawan yang diproduksi pada medium uji sehingga *P. capsici* tidak mampu tumbuh dengan baik di sekitar aktinomiset. Beberapa metabolit yang dilaporkan dihasilkan aktinomiset yang bersifat anticendawan adalah nistatin, amfoterisin, natamisin, dan candicidin (Selim *et al.* 2021). Produksi *volatil organic compound* oleh aktinomiset yang diisolasi dari tanaman Solanaceae mampu menghambat pertumbuhan *P. capsici*. Hal ini membuktikan bahwa aktinomiset juga menyekresikan senyawa anticendawan di udara. Senyawa volatil yang dilaporkan dihasilkan aktinomiset ialah Geosmin, 2-Methylisoborneol, alkohol, terpenoid, keton, dan aldehid (Aini dan Sulistyani 2019).

Interaksi antara tanaman dan aktinomiset mampu membantu tanaman dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman. Peran hormon IAA pada proses fisiologis tanaman berfungsi membantu proses pemanjangan sel dengan mengaktifkan enzim ekspansin. Proses diferensiasi jaringan, perkembangan akar juga dipengaruhi hormon IAA. Kemampuan aktinomiset dalam melisis komponen selulosa menjadi penting sebagai mekanisme pengendalian *P. capsici*. Hal ini dikarenakan komposisi dinding sel *P. capsici* ialah selulosa, glukana, glikoprotein, dan asam alginat (Mélida *et al.* 2013).

Kemampuan aktinomiset dalam melindungi benih tanaman cabai dilakukan melalui mekanisme kolonisasi permukaan benih. Aktinomiset yang telah diinkubasi bersama

benih akan menempel dan membentuk lapisan pelindung di sekitar benih setelah benih ditanam. Koloni aktinomiset kemudian mendominasi ruang di sekitar benih sehingga *P. capsici* tidak dapat melakukan kontak langsung dengan permukaan benih. Penggunaan aktinomiset juga berperan dalam memacu pertahanan alami tanaman cabai, sehingga tanaman lebih kuat dan mampu menghadapi serangan patogen. Dengan aplikasi aktinomiset sejak awal tanam, potensi kerugian akibat kematian tanaman dapat diminimalkan, penggunaan pestisida kimia dapat dikurangi, serta keberadaan mikroorganisme menguntungkan di lingkungan pertanaman dapat diperkaya.

Isolat aktinomiset yang diisolasi dari tanaman Solanaceae hasil identifikasi didominasi oleh genus *Streptomyces*. Pengendalian *Phytophthora* menggunakan *Streptomyces* pada tanaman kedelai dan alfalfa efektif dilakukan (Xiao *et al.* 2002). *Streptomyces* yang diperoleh dari jeruk mampu menekan pertumbuhan miselium *P. capsici*, *P. cinnamomi*, *P. palmivora*, dan *P. parasitica* hingga 75% (Chen *et al.* 2016).

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh 71 isolat yang 16 di antaranya berpotensi sebagai agens pengendali hayati *P. capsici* berdasarkan uji kultur ganda. Melalui pendekatan AHP berdasarkan uji kultur ganda, uji senyawa volatil, uji filtrat kasar, uji IAA, uji aktivitas enzim selulase, dan glukanae terdapat empat isolat terbaik yang terpilih, yaitu 2LAP, 25TPT, 37LAT, dan 41LAL, yang secara molekuler melalui sekuens gen 16S rRNA teridentifikasi sebagai *S. albus*, *S. pratensis*, *S. seoulensis*, *P. tropica*, dan *S. somaliensis*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelrahman O, Yagi S, El-Siddig M, El-Hussein A, Germanier F, Vrieze M, L'Haridon F, Weisskopf L. 2022. Evaluating the antagonistic potential of actinomycete Strains isolated from Sudan's soils against *Phytophthora capsici*. *Frontiers in Microbiology*. 1(13):1–13. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.827824>.
- Aini NN, Sulistyani N. 2019. Isolation of actinomycetes from sugarcane (*Saccharum officinarum*) rhizosphere and the ability

- to produce antibiotic. Di dalam: *Ahmad Dahlan International Conference Series on Pharmacy and Health Science*; 2019 Nov 11-12; Yogyakarta (ID): Universitas Ahmad Dahlan. hlm 11–16.
- Bhusal B, Mmbaga MT. 2020. Biological control of *Phytophthora* blight dan growth promotion in sweet pepper by *Bacillus* species. *Biological Control*. 150(5): 104373. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104373>.
- Chandra S, Pellokila MR, Ramang R. 2015. Analisis teknologi pengolahan sampah Di Kupang dengan proses hirarki analitik dan metode valuasi. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 22(3):350–356. DOI: <https://doi.org/10.22146/jml.18761>.
- Chen YY, Chen PC, Tsay TT. 2016. The biocontrol efficacy and antibiotic activity of *Streptomyces plicatus* on the oomycete *Phytophthora capsici*. *Biological Control*. 98(4):34–42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.02.011>.
- Dini IR, Munifah I. 2014. Produksi dan karakterisasi enzim selulase ekstrak kasar dari bakteri yang diisolasi dari limbah rumput laut. *Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian Indonesia*. 6(3):69–75. DOI: <https://doi.org/10.17969/jtipi.v6i3.2315>.
- Farda B, Djebaili R, Vaccarelli I, Del Gallo M, Pellegrini M. 2022. Actinomycetes from caves: an overview of their diversity, biotechnological properties, dan insights for their use in soil environments. *Journal Microorganisms*. 10(2):453. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10020453>.
- Fatimah, Suroiyah F, Solikha N, Rahayuningtyas ND, Surtiningsih T, Nurhariyati T, Ni'matuzahroh NM, Affandi M, Geraldi A, Thontowi A. 2022. Antimicrobial activity of actinomycetes isolated from mangrove soil in Tuban, East Java, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 23(6):2957–2965. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230622>.
- Nurmujahidin, Giyanto, Dadang. 2023. Pengendalian hayati penyakit busuk bulir bakteri yang disebabkan oleh *Burkholderia glumae* menggunakan aktinomiset. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 19(2):63–73. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.19.2.63-73>.
- [Kementan] Kementerian Pertanian. 2023. Outlook Komoditas Pertanian Subsektoral Hortikultura Cabai. Jakarta (ID): PDSI Pertanian.
- Kumari M, Dutta B, Coolong T, Diaz-Perez J, Torrance T, Shealey J, Dawson J, McAvoy T. 2024. Adaptability of *Phytophthora capsici* resistant bell pepper cultivars in Southern Georgia. *Horticulture Technology*. 34(4):513–520. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTTECH05425-24>.
- Lamuka AP, Aliwu PL. 2024. Analysis of microbial diversity in pesticide-contaminated soil: A study of culturable microorganisms. *Environmental and Materials*. 2(2):118–126. DOI: <https://doi.org/10.61511/eam.v2i2.2024.1435>.
- Li X, Weng Y, Chen Y, Liu K, Liu Y, Zhang K, Shi L, He S, Liu Z. 2024. CaARP1/CaSGT1 module regulates vegetative growth dan defense response of pepper plants against *Phytophthora capsica*. *Plants Journal*. 13(20):2849. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13202849>.
- Mélida H, Sandoval-Sierra JV, Diéguez-Uribeondo J, Bulone V. 2013. Analyses of extracellular carbohydrates in oomycetes unveil the existence of three different cell wall types. *Journal Eukaryotic Cell*. 12(2): 194–203. DOI: <https://doi.org/10.1128/EC.00288-12>.
- Munif A, Ma'ruf K. 2020. Potensi bakteri endofit asal brotowali (*Tinospora crispa*) sebagai pengendali *Sclerotium rolfsii* dan pemacu pertumbuhan kacang tanah. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 16(3):95–104. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.16.3.95-104>.
- Rhouma A, Hajji HL, Khriebe MI. 2024. *Phytophthora capsici* the causal agent of phytophthora blight of *Capsicum* spp.: from its taxonomy to disease management. *Egyptian Journal of Phytopathology*. 52(1):1–10. DOI: <https://doi.org/10.21608/ejp.2024.342742>.
- Sanogo S, Ji P. 2013. Water management in relation to control of *Phytophthora capsici*

- in vegetable crops. *Agricultural Water Management*. 129(1):113–119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.07.018>.
- Selim MSM, Abdelhamid SA, Mohamed SS. 2021. Secondary metabolites and biodiversity of actinomycetes. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 19(1):72. DOI: <https://doi.org/10.1186/s43141-021-00156-9>.
- Silitonga DM, Priyani N, Nurwahyuni I. 2013. Isolasi dan uji potensi isolat bakteri pelarut fosfat dan bakteri penghasil hormon IAA (*indole acetic acid*) terhadap pertumbuhan kedelai (*Glycine max* L.) pada tanah kuning. *Saintia Biologi*. 1(2):35–41.
- Sinuco LDC, Coconubo GLC, Castellanos HL. 2020. Fungicidal activity of volatile organic compounds from *Paenibacillus* bacteria against *Colletotrichum gloeosporioides*. *Revista Colombiana de Química*. 49(1): 20–25. DOI: <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v1n49.81996>.
- Skidmore AM, Dickinson CH. 1976. Colony interactions and hyphal interference between *Septoria nodorum* and phylloplane fungi. *Trans of the British Mycology Society*. 66(1):57–64. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(76\)80092-7](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(76)80092-7).
- Utarti E, Suwanto A, Suhartono MT, Meryandini A. 2020. Identifikasi aktinomiset selulolitik dan xilanolitik indigenous. *Berkala SainsTek*. 8(1):1–5.
- Volynchikova E, Kim KD. 2022. Biological control of oomycete soilborne diseases caused by *Phytophthora capsici*, *Phytophthora infestans*, dan *Phytophthora nicotianae* in solanaceous crops. *Mycobiology Journal*. 50(5):269–293. DOI: <https://doi.org/10.1080/12298093.2022.2136333>.
- Walsh PS, Metzger DA, Higuchi R. 2013. Chelex 100 as a medium for simple extraction of DNA for PCR-based typing from forensic material. *Biotechniques*. 54(3):134–139. DOI: <https://doi.org/10.2144/000114018>.
- Wei C, Wei J, Kong Q, Fan D, Qiu G, Feng C, Li F, Preis S, Wei C. 2020. Selection of optimum biological treatment for coking wastewater using analytic hierarchy process. *Science of The Total Environment*. 742:140400. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140400>.
- Xiao K, Kinkel LL, Samac DA. 2002. Biological control of *Phytophthora* root rots on alfalfa and soybean with *Streptomyces*. *Biological Control*. 23(3):285–1295. DOI: <https://doi.org/10.1006/bcon.2001.1015>.
- Yanti DP, Aninditya D, Siregar IF. 2025. Antagonistic test of *Beauveria bassiana* fungus in suppressing *Collectotrichum* spp. *in vitro*. *Agricultural Revolution Journal*. 1(1):41–46. DOI: <https://doi.org/10.64570/agrivolution.v1i1.12>.
- Yudha EP, Vanessa GC. 2022. Analisis kinerja ekspor cabai hijau di Indonesia. *Jurnal Apresiasi Ekonomi*. 10(3):340–345. DOI: <https://doi.org/10.31846/jae.v10i3.506>.
- Zulfiqar F. 2021. Effect of seed priming on horticultural crops. *Scientia Horticulturae*. 286(1):110197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110197>.