



Research Article



Aktivitas Penghambatan Bakteri Kitinolitik asal Limbah Pengolahan Udang Lampung terhadap *Fusarium* sp. dan *Phytophthora* sp.

Erma Suryanti¹, Dewi Chusniasih¹, Jeane Siswitasari Mulyana¹, Nadia Rahmah¹, Salsa Pratiwi Mulyadi¹, Khaerunissa Anbar Istiadi^{1*}

¹Program Studi Biologi, Institut Teknologi Sumatera

Email korespondensi: khaerunissa.istiadi@bi.itera.ac.id

Penerbit	ABSTRACT
Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Nusantara PGRI Kediri	Plant Pest Organisms (OPT) such as <i>Fusarium</i> sp. and <i>Phytophthora</i> sp. are one of the factors that cause decreased productivity and crop failure of horticultural crops. Commonly, farmers use chemical fungicides to control pathogen infection. However, uncontrolled use of chemical fungicides can cause pollution and resistance to OPT. Therefore, a safer control alternative is needed with biocontrol using chitinolytic bacteria. Chitinolytic bacteria will specifically degrade chitin in the cell walls of fungi so that fungi cannot grow and die. In this study, the process of isolating chitinolytic bacteria from shrimp processing unit waste in the Lampung region was carried out so that it has the potential to find chitinolytic bacteria with different chitin degradation activities. Potential chitinolytic bacterial isolates will be tested for their effectiveness as antifungal pathogens on <i>Fusarium</i> sp. and <i>Phytophthora</i> sp. model fungi in vitro. 12 isolates from shrimp processing waste were tested for their chitinolytic activity with chitinolytic activity of 0.37 - 19.7. Bacterial isolates are known to be able to inhibit fungal growth with the highest inhibition index by isolate P6.10 of 60.5% against <i>Fusarium</i> sp. and 72.68% against <i>Phytophthora</i> sp. Key words: Biocontrol, chitinolytic bacteria, <i>Fusarium</i> sp., <i>Phytophthora</i> sp., shrimp waste
	ABSTRAK Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) seperti <i>Fusarium</i> sp. dan <i>Phytophthora</i> sp. merupakan salah satu faktor yang menyebabkan penurunan produktivitas dan kegagalan panen tanaman hortikultura. Untuk mengatasi serangan OPT, petani melakukan pengendalian jamur patogen dengan menyemprotkan fungisida kimia. Namun, penggunaan fungisida sintesis/kimiawi yang tidak terkontrol dapat menyebabkan pencemaran serta resistensi pada OPT. Oleh sebab itu, diperlukan alternatif pengendalian yang lebih aman dengan biokontrol menggunakan bakteri kitinolitik. Bakteri kitinolitik akan mendegradasi kitin pada dinding sel jamur secara spesifik sehingga jamur tidak dapat berkembang dan mengalami kematian. Pada studi ini, dilakukan proses isolasi bakteri kitinolitik dari limbah unit pengolahan udang wilayah Lampung sehingga memiliki potensi penemuan bakteri kitinolitik dengan aktivitas degradasi kitin yang berbeda. Isolat bakteri kitinolitik potensial akan diujikan efektivitasnya sebagai antifungi patogen pada kapang model <i>Fusarium</i> sp. dan <i>Phytophthora</i> sp. secara in vitro. 12 isolat asal limbah pengolahan udang diuji aktivitas kitinolitiknya dengan aktivitas kitinolitik 0,37 – 19,7. Isolat bakteri diketahui mampu menghambat pertumbuhan fungi dengan indeks penghambatan tertinggi oleh isolat C.68 sebesar 60,5% terhadap <i>Fusarium</i> sp. dan isolat S6.3 sebesar 72,68% terhadap <i>Phytophthora</i> sp. Kata kunci: Bakteri kitinolitik, biokontrol, limbah udang, <i>Fusarium</i> sp., <i>Phytophthora</i> sp

PENDAHULUAN

Produk hortikultura merupakan komoditi pertanian yang memiliki peran penting, baik sebagai bahan pangan, estetika, serta sumber obat-obatan. Pertanian hortikultura seringkali mengalami permasalahan berupa penurunan kualitas dan kuantitas produk, hingga kegagalan panen. Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) merupakan salah satu faktor yang menyebabkan penurunan produktivitas dan kegagalan panen pada tanaman hortikultura. OPT yang banyak menyerang tanaman hortikultura adalah jamur patogen *Fusarium* sp. dan *Phytophthora* sp. Kedua patogen tersebut merupakan jamur patogen tular tanah. *Fusarium* sp. menyebabkan penyakit layu dan busuk akar pada tanaman, sedangkan *Phytophthora* sp. menyebabkan busuk pangkal batang, umbi dan akar pada tanaman. Kehadiran jamur *Fusarium* sp. dan *Phytophthora* sp. dapat menimbulkan kerugian yang besar karena mampu menyerang berbagai jenis tanaman hortikultura dan perkebunan. Kisaran inangnya meliputi tanaman serealia, legum, kentang, komoditas kakao, hingga berbagai jenis buah-buahan. (Riolo et al., 2020; Ulya et al., 2020). Penyebaran spora fungi patogen ini dibantu oleh angin sehingga patogen dapat menyebar ke wilayah dengan jangkauan yang luas. Serangan *Fusarium* sp. dapat menyebabkan penurunan produktivitas tanaman, kegagalan panen hingga kematian tanaman dengan kasus mencapai 50% pada tanaman cabai, 62% pada tanaman bawang bombay, 80% pada tanaman gandum (Alisaac & Mahlein, 2023; Bayraktar & Dolar, 2011). Serangan *Phytophthora* sp. menyebabkan kegagalan panen dan penurunan produktivitas hingga 50% pada pohon coklat.

Untuk mencegah dan mengurangi dampak serangan OPT, petani melakukan upaya pengendalian jamur patogen menggunakan fungisida kimia pada lahan pertanian. Namun, penggunaan fungisida sintesis/kimiawi secara tidak terkontrol dapat berdampak buruk terhadap kesetimbangan organisme, mencemari lingkungan dan tanaman karena residu toksik serta menyebabkan resistensi pada OPT sehingga memperburuk kondisi. Oleh sebab itu, diperlukan alternatif pengendalian yang lebih ramah lingkungan dalam bentuk biokontrol, salah satunya dengan fungisida berbasis bakteri kitinolitik. Bakteri kitinolitik akan mendegradasi dinding sel jamur yang tersusun atas kitin sehingga jamur tidak dapat berkembang. Aktivitas kitinase bersifat spesifik dalam mendegradasi dinding sel jamur sehingga tidak mengganggu kestabilan struktur sel tanaman (Singh & Arya, 2019). Aktivitas kitinase dari bakteri kitinolitik juga dapat memicu *systemic acquired resistance*/SAR pada tanaman inang sehingga dapat menghambat invasi patogen (Filyushin et al., 2021). Pertumbuhan bakteri yang lebih cepat dibandingkan tanaman serta kemudahan rekayasa dan kebutuhan ruang yang lebih sedikit menjadikan produksi kitinase dari bakteri memberikan keuntungan dibandingkan produksi kitinase dari organisme lainnya.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, diketahui bahwa bakteri kitinolitik dapat menghambat pertumbuhan *F.oxysporum* yang menyerang tanaman pisang (Bubici et al., 2019). Bakteri kitinolitik dari cangkang diketahui dapat menghambat pertumbuhan *Phytophthora palmivora* yang menyerang pohon kakao (Agustin et al., 2018). Potensi bakteri kitinolitik yang besar dalam reduksi penyakit pada tanaman membuat eksplorasi bakteri kitinolitik penting untuk dilakukan. Salah satu sumber bakteri kitinolitik adalah organisme kelompok *Crustacea* dan habitat yang memiliki kadar kitin yang tinggi. Udang, anggota kelompok *Crustacea*, merupakan salah satu komoditas ekspor Indonesia yang diperdagangkan dalam bentuk udang kupas tanpa kulit. 60% massa udang merupakan bagian kepala dan kulit, sehingga pengupasan akan menyebabkan penumpukan limbah kulit dan kepala udang. Kadar

kitin yang tinggi pada udang menjadikan limbah kulit udang dan limbah pemrosesan udang berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber eksplorasi bakteri kitinolitik.

Isolasi bakteri kitinolitik telah dilakukan dari tambak udang di wilayah Lamongan dan Sidoarjo dan diperoleh isolat dengan aktivitas kitinolitik 0.731 dan 0.615 U/mL (Herdyastuti, 2013). Isolasi bakteri dari cangkang udang putih dari wilayah Medan dilakukan oleh Suharti dan Fitriani, namun belum diketahui aktivitas kitinolitiknya (Suharti & Fitriani, 2023). Isolasi bakteri kitinolitik dari limbah udang Vaname daerah Kupang mendapatkan lima isolat potensial dengan indeks kitinolitik berkisar 1.50-2.95 (Ruma & Suwardi, 2020). Thalib berhasil mengisolasi bakteri kitinolitik dari tambak udang di wilayah Tuban dengan aktivitas kitinase tertinggi 0.014 U/ml (Thalib, 2011). Penelitian-penelitian tersebut telah mendapatkan isolat kandidat bakteri kitinolitik namun bakteri tersebut belum diuji efektivitasnya sebagai antifungi patogen tanaman hortikultura. Belum terdapat penelitian yang melakukan eksplorasi bakteri kitinolitik dari limbah kulit udang dari unit pengolahan di wilayah Lampung, sehingga diperlukan eksplorasi lebih lanjut. Pada studi ini, akan dilakukan proses isolasi bakteri kitinolitik dari limbah kulit udang dari unit pengolahan udang wilayah Lampung Selatan. Isolat bakteri kemudian akan diujikan aktivitas antifunginya terhadap sehingga memiliki potensi penemuan bakteri kitinolitik dengan karakteristik, aktivitas degradasi kitin serta aktivitas antifungi yang berbeda. Sumber limbah kulit udang pada penelitian ini tidak hanya berupa limbah padat, namun juga limbah cair sehingga akan diperoleh lebih banyak kandidat isolat bakteri kitinolitik potensial. Isolat bakteri kitinolitik yang diperoleh dari penelitian kemudian akan diujikan pada fungi patogen *Fusarium* sp. dan *Phytophthora* sp. secara in vitro.

METODE PENELITIAN

Pengambilan sampel dan isolasi bakteri kitinolitik

Sampel limbah kulit udang diambil secara aseptis dari UMKM pengolahan udang di kawasan Lampung Selatan. Sampel yang diambil merupakan limbah yang sudah tersimpan selama minimal 1 minggu. 1 g limbah padat udang dan 1 ml limbah cair diinokulasi ke 9 ml larutan fisiologis steril kemudian diencerkan secara bertingkat. Pengenceran 5 dan 6 kemudian diinokulasikan secara sebar pada media agar selektif steril dengan komposisi 0,07% K_2HPO_4 , 0,03 % KH_2PO_4 , 0,01% $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,01% $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, 1% NaCl, 1% ekstrak yeast, 0,5% koloidal kitin dan 2% Agar yang kemudian diinkubasi selama 24 jam. Isolat kemudian dimurnikan dengan 4-way streak pada media NA hingga didapatkan isolat tunggal.

Karakterisasi Makroskopis dan Mikroskopis Bakteri Kitinolitik

Isolat diamati koloni makroskopis berupa bentuk, tepi, elevasi serta warna koloni. Identifikasi bakteri secara mikroskopis dilakukan dengan pewarnaan Gram.

Uji aktivitas kitinolitik secara kualitatif

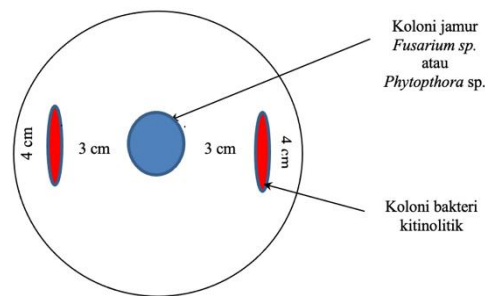
Isolat bakteri hasil isolasi ditumbuhkan pada media selektif yang mengandung 0,5% kitin koloidal. Proses seleksi dilakukan dengan menotolkan bakteri menggunakan tusuk gigi steril, kemudian diinkubasi selama 7 hari. Setelah masa inkubasi, ditambahkan 1–2 tetes larutan Congo red ke dalam cawan, lalu didiamkan selama 15 menit (Verma & Garg, 2019). Setelah itu, congo red dibilas

menggunakan NaCl lalu didiamkan selama 15 menit). Zona bening yang terbentuk diukur indeks kitinolitiknya dengan rumus:

$$\text{Indeks Kitinolitik} = \frac{\text{Diameter Zona Bening} - \text{Diameter Koloni}}{\text{Diameter koloni}}$$

Uji daya hambat isolat bakteri kitinolitik terhadap patogen model *Fusarium sp.* dan *Phytophthora sp.*

Uji daya hambat secara in vitro dilakukan dengan teknik kultur ganda terhadap jamur *Fusarium sp.* dan *Phytophthora sp.* Isolat jamur diinokulasikan pada bagian Tengah media *Potato Dextrose Agar* (PDA). Isolat bakteri diinokulasikan dengan menggores garis lurus pada kedua sisi ujung cawan petri dengan jarak 3 cm dari jamur *Fusarium sp.* dan *Phytophthora sp.* (Gambar 1).



Gambar 1. Ilustrasi uji daya hambat bakteri kitinolitik terhadap jamur *Fusarium sp.* dan *Phytophthora sp.*

Akuades steril digunakan sebagai kontrol negative. Kultur diinkubasi pada selama 7 hari pada suhu 37°C. Hasil indeks penghambatan dihitung dengan rumus:

$$P = \frac{R1 - R2}{R1} \times 100\%$$

P = Indeks penghambatan

R1 = Rata-rata diameter jamur pada kontrol

R2 = Rata-rata diameter jamur pada isolat

Pengamatan perubahan morfologi jamur patogen yang dihambat oleh bakteri kitinolitik

Pengamatan mikroskopis dilakukan untuk mengetahui struktur abnormal hifa jamur *Fusarium sp.* dan *Phytophthora sp.* menggunakan mikroskop.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian aktivitas kitinolitik bakteri, bakteri ditumbuhkan pada medium berisi koloidal kitin. Koloidal kitin merupakan substrat yang banyak digunakan dalam produksi kitinase karena yield produktivitas yang tinggi (Poria et al., 2021a). Koloidal kitin dibuat karena kitin memiliki karakteristik tidak larut dalam air dan pelarut organik sehingga harus dilakukan hidrolisis parsial untuk memutus ikatan hidrogen yang terdapat pada kitin menggunakan HCl pekat (35-37%) sehingga menjadi substrat yang lebih mudah didegradasi pada mikroba (Khan, 2010).

Bakteri kitinolitik dapat tumbuh baik pada media buatan yang mengandung kitin dan diinkubasi pada waktu dan suhu optimum (Masri et al., 2021). Hasil isolasi didapatkan bakteri dengan karakter morfologi

koloni yang beragam. Isolat bakteri yang telah diisolasi memiliki karakteristik bentuk *circular*, *irregular*, *filamentous*. Tepi koloni diantaranya *entire*, *undulate*, dan *lobate*. Elevasi koloni di antaranya *convex* dan *umbonate* serta memiliki pigmentasi warna koloni yang beragam yaitu putih susu, kuning, putih kekuningan, kuning terang, kuning, jingga, dan merah. Karakteristik koloni yang bervariasi menandakan bahwa isolat tersebut merupakan jenis bakteri yang berbeda. Warna koloni yang beragam disebabkan adanya perbedaan pigmen intraseluler yang dihasilkan oleh bakteri di antaranya antosianin, melanin, karotenoid, tripirilmethenes dan phenazin (Nurhasanah & Faturrahman, 2019).

Tabel 1. Karakteristik Bakteri Kitinolitik asal Limbah Pengolahan Udang

Kode Isolat	Karakteristik Makroskopis				Karakteristik mikroskopis	
	Bentuk	Warna	Tepi	Elevasi	Gram	Bentuk
C5	Circular	Putih kekuningan	Entire	Convex	Positif	Coccus
C6.8	Circular	Putih kekuningan	Entire	Convex	Positif	Coccobasil
C6.10	Circular	Putih susu	Entire	Convex	Positif	Coccus
S5.1	Circular	Kuning	Entire	Convex	Positif	Coccobasil
S5.2	Circular	Putih	Entire	Convex	Positif	Coccus
S5.3	Circular	Putih kekuningan	Undulate	Convex	Positif	Coccus
S5.7	Circular	Kuning	Lobate	Convex	Positif	Coccobasil
S6.3	Circular	Kuning	Entire	Convex	Positif	Coccus
S6.4	Circular	Kuning	Entire	Convex	Positif	Coccus
P5.6	Circular	Putih kekuningan	Entire	Convex	Positif	Coccus
P6.2	Circular	Putih kekuningan	Entire	Convex	Positif	Coccus
P6.10	Circular	Kuning	Undulate	Umbonate	Positif	Coccus

Pengukuran aktivitas enzim kitinase secara kualitatif didasarkan pada zona bening yang teramat. Zona bening tersebut akan meningkat seiring dengan waktu inkubasi (Wibowo et al., 2017). Pembentukan zona bening diperjelas dengan pewarnaan menggunakan *congo red*. Menurut Anand et al., (2010), Congo Red ($C_{32}H_{22}N_6O_6S_2Na_2$) akan berinteraksi secara spesifik dengan polisakarida yang mengandung ikatan β -1,4 glikosida, seperti yang ditemukan dalam struktur kitin. Warna merah menunjukkan sisa polisakarida yang tidak terhidrolisis pada substrat medium agar sehingga terjadi pembentukan zona bening di sekitar koloni bakteri. Zona bening yang terbentuk menunjukkan bahwa isolat bakteri mampu menghasilkan enzim kitinase ekstraseluler yang memecah kitin menjadi produk turunannya yaitu berupa glukosa N-asetilglukosamin (Astika et al., 2023). N-asetilglukosamin akan dimetabolisme menjadi energi, karbon, dan nitrogen yang kemudian digunakan untuk pertumbuhan bakteri (Wang et al., 2010).

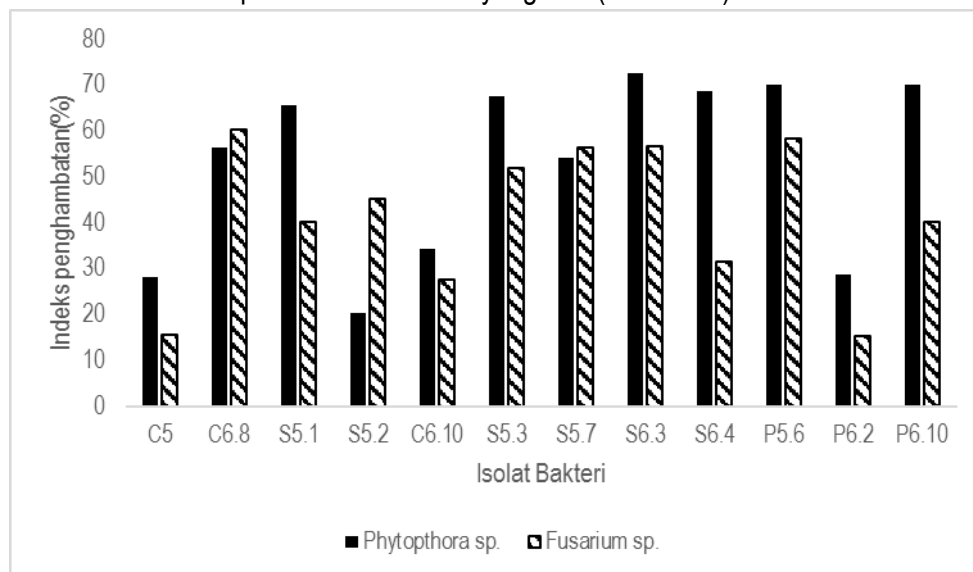
Berdasarkan uji aktivitas kitinolitik, diketahui bahwa isolat memiliki indeks aktivitas kitinolitik yang beragam dengan rentang nilai indeks 0.17-19.7, dengan aktivitas tertinggi dihasilkan oleh isolat C.8. Aktivitas enzim dinyatakan rendah apabila nilai indeks <2 dan tinggi apabila nilai indeks >2 (Haliza & Suhartono, 2012; Khikmah et al., 2016). Hal tersebut menunjukkan bahwa setiap isolat memiliki tingkat aktivitas enzimatis yang berbeda, mulai dari rendah hingga tinggi. Bakteri yang diuji memiliki karakteristik yang beragam sehingga merupakan jenis bakteri yang berbeda dengan kemampuan degradasi kitin yang berbeda. Setiap isolat memiliki aktivitas kitinolitik yang berbeda-beda. Indeks kitinolitik penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian lain yang mengisolasi bakteri kitinolitik dari limbah udang, yakni (Agatha & Mayasari, 2024) dengan indeks terbesar 3.8 mm serta

(Khikmah et al., 2016) dengan indeks kitinolitik 2.6, serta (Ruma & Suwardi, 2020) dengan indeks kitinolitik 1.50-2.95.

Tabel 2. Aktivitas kitinolitik bakteri asal limbah pengolahan udang

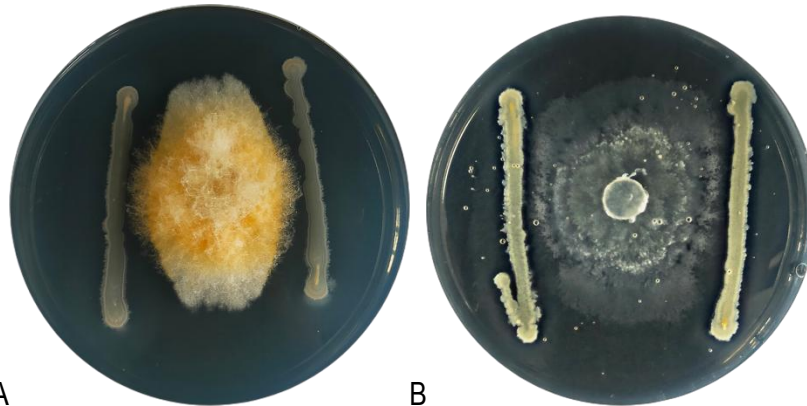
Kode Isolat	Diameter Koloni (cm)	Diameter Zona Bening (cm)	Indeks aktivitas kitinolitik
C5	0,38	4,57	11
C6.8	0,38	7,88	19,7
C6.10	0,93	1,12	0,17
S5.1	1,25	2,87	1,23
S5.2	0,9	7,83	7,7
S5.3	1,04	1,94	0,83
S5.7	1,26	2,7	1,14
S6.3	1,26	1,73	0,37
S6.4	0,41	2,8	5,82
P5.6	0,56	10,93	18,51
P6.2	0,66	3,03	3,59
P6.10	0,25	2,73	9,92

Hasil uji antagonisme menunjukkan isolat bakteri yang mampu menghambat pertumbuhan hifa jamur *Fusarium* sp. dan *Phytophthora* sp (Gambar 2). Isolat S6.3 memiliki aktivitas penghambatan tertinggi terhadap *Phytophthora* sp. dengan indeks penghambatan 72.68% sedangkan penghambatan tertinggi terhadap *Fusarium* sp. dimiliki oleh isolat C6.8 dengan indeks penghambatan 60.5%. Adanya penghambatan pertumbuhan disebabkan karena degradasi dinding sel serta membran sel jamur oleh enzim kitinolitik dari isolat bakteri. Dinding sel jamur yang terdiri dari kitin, selulase, beta-glukan, zat serupa lignin dan beberapa zat organik lainnya. Membran sel jamur terdiri dari senyawa-senyawa sterol, protein, serta fosfolipid (Sant et al., 2016). Isolat bakteri potensial mampu mendegradasi senyawa kitin penyusun dinding sel jamur. Hal ini ditandai dengan isolat bakteri yang telah digores di kedua sisi media mampu membatasi pertumbuhan miselium jamur dengan adanya zona hambat di antara jamur dengan bakteri atau miselium tidak dapat melewati bakteri yang ada (Gambar 3)



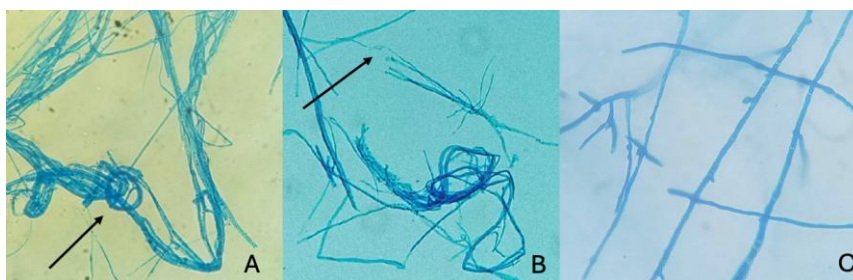
Gambar 2. Indeks penghambatan isolat bakteri terhadap pertumbuhan fungi *Phytophthora* sp. dan *Fusarium* sp.

Nilai indeks kitinolitik yang tinggi ($IK > 4$) seperti C6.2, C6.8, S5.1, S5.2, S5.7, S6.3 memiliki indeks pengukuran yang tinggi ($> 25\%$). Hal ini menandakan bahwa isolat bakteri kitinolitik memiliki potensi dalam menghambat pertumbuhan jamur *Fusarium* sp. menggunakan enzim kitinase yang dihasilkan. Namun, terdapat isolat bakteri yang memiliki nilai indeks kitinolitik tinggi seperti S5.5 dan P6.2 dengan indeks penghambatan yang rendah ($<15\%$). Indeks kitinolitik dan persentase indeks penghambatan terhadap jamur patogen tidak selalu berkaitan dikarenakan beberapa faktor seperti perbedaan aktivitas jenis kitinase yang dihasilkan oleh isolat bakteri (Pratiwi et al., 2015).



Gambar 3. Aktivitas antagonisme a) Isolat P 6.10 terhadap *Fusarium* sp., b) isolat C5 terhadap *Phytophthora* sp.

Selain pengamatan diameter koloni jamur, aktivitas penghambatan jamur juga ditinjau dari kenampakan mikroskopis dari pertumbuhan hifa yang abnormal pada miselium di sekitar isolat bakteri. Hal ini menandakan bahwa terdapat aktivitas hidrolisis oleh enzim kitinase yang dihasilkan bakteri kitinolitik terhadap dinding sel jamur sehingga terjadi kerusakan yang teramati pada miselium baik makroskopis dan mikroskopis. Gambar 4 menunjukkan bahwa terdapat abnormalitas morfologi hifa pada jamur yang mengalami penghambatan oleh isolat bakteri kitinolitik. Teramati adanya hifa yang menggulung, melilit, pertumbuhan kerdil, dan lisis pada Gambar 4. Metabolit yang diproduksi oleh bakteri antagonis ketika kontak dengan jamur patogen akan menyebabkan gangguan pada hifa sehingga hifa memendek dan membengkok (Widiantini et al., 2018). Hifa jamur yang mengalami pembengkokan dan penggulungan diduga sebagai bentuk pertahanan jamur terhadap serangan bakteri kitinolitik (Poria et al., 2021b). Adanya aktivitas antagonisme dari bakteri menyebabkan gangguan pada transpor aktif membran sel jamur sehingga sel tidak mampu menghasilkan ATP dan menyebabkan kematian sel (Nurmalinda et al., 2020).



Gambar 4. Pengamatan mikroskopis hifa abnormalitas pada uji antagonisme a) Hifa menggulung, melilit; b) hifa kerdil dan hifa lisis; c) Hifa normal (Perbesaran 1000x)

SIMPULAN

Isolat bakteri kitinolitik dari sampel limbah udang memiliki indeks aktivitas kitinolitik dengan indeks aktivitas terendah 0.17 dan indeks aktivitas tertinggi 19.7. Isolat bakteri kitinolitik mampu menghambat pertumbuhan miselium *Fusarium* sp. dan *Phytophthora* sp dengan aktivitas penghambatan tertinggi terhadap *Phytophthora* sp. sebesar 72.68% dan *Fusarium* sp. sebesar 60.5%. Isolat bakteri kitinolitik mampu menyebabkan pertumbuhan hifa yang abnormal pada *Fusarium* sp. dan *Phytophthora* sp. yakni hifa yang menggulung, melilit, serta lisis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM Institut Teknologi Sumatera atas pendanaan penelitian melalui Hibah Penelitian Dosen Pemula 2024 dengan nomor kontrak "1539v/IT9.2.1/PT.01.03/2024"

RUJUKAN

- Agatha, C. T., & Mayasari, U. (2024). Penapisan Bakteri Kitinolitik Dari Limbah Udang Sebagai Daya Hambat Terhadap Jamur Patogen *Fusarium oxysporum*. *Biology Education Science and Technology Journal*, 7(1), 148–154.
- Agustin, D., Khikmah, U. N., Isoni, M. I., & Maulidiya, A. (2018). Aktivitas Bakteri Kitinolitik dari Cangkang Perna viridis sebagai Antifungi *Phytophthora palmivora* Penyebab Penyakit Busuk Buah Kakao (*Theobroma cacao* L.). *Bionature*, 18(2). <https://doi.org/10.35580/bionature.v18i2.6139>
- Alisaac, E., & Mahlein, A.-K. (2023). *Fusarium* Head Blight on Wheat: Biology, Modern Detection and Diagnosis and Integrated Disease Management. *Toxins*, 15(3), 192. <https://doi.org/10.3390/toxins15030192>
- Amaria, W. (2013). Seleksi dan Identifikasi Jamur Antagonis Sebagai Agens Hayati Jamur Akar Putih *Rigidoporus microporus* pada Tanaman Karet. *Buletin RISTRI*, 4(1), 55–64.
- Anand, A. A. P., Vennison, S. J., Sankar, S. G., Prabhu, D. I. G., Vasan, P. T., Raghuraman, T., Geoffrey, C. J., & Vendan, S. E. (2010). Isolation and Characterization of Bacteria from the Gut of *Bombyx mori* that Degrade Cellulose, Xylan, Pectin and Starch and Their Impact on Digestion. *Journal of Insect Science*, 10(107), 1–20. <https://doi.org/10.1673/031.010.10701>
- Astika, R., Ihsan, M., & Yusuf, A. I. (2023). Aktivitas Enzim Kitinase Actinobacteria Asal Perkebunan Kelapa Sawit PTPN VI Muaro Jambi dalam Menghambat *Ganoderma boninense*: Activity of The Chitinase Enzyme Actinobacteria from Palm Oil Plantation PTPN VI Muaro Jambi in Inhibiting *Ganoderma boninense*. *Biospecies*, 16(1), 6–15. <https://doi.org/10.22437/biospecies.v16i1.21079>
- Bayraktar, H., & Dolar, F. S. (2011). Molecular Identification and Genetic Diversity of *Fusarium* species Associated with Onion Fields in Turkey: *Fusarium* spp. Associated With Onion. *Journal of Phytopathology*, 159(1), 28–34. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2010.01715.x>
- Bubici, G., Kaushal, M., Prigigallo, M. I., Gómez-Lama Cabanás, C., & Mercado-Blanco, J. (2019). Biological Control Agents Against *Fusarium* Wilt of Banana. *Frontiers in Microbiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00616>
- Filyushin, M. A., Anisimova, O. K., Kochieva, E. Z., & Shchennikova, A. V. (2021). Genome-Wide Identification and Expression of Chitinase Class I Genes in Garlic (*Allium sativum* L.) Cultivars

- Resistant and Susceptible to *Fusarium proliferatum*. *Plants*, 10(4), 720. <https://doi.org/10.3390/plants10040720>
- Haliza, W., & Suhartono, S. (2012). Karakteristik kitinase dari mikroba. *Buletin Teknologi Pertanian*, 8(1).
- Herdyastuti, N. (2013). Uji AKTIVITAS BAKTERI KITINOLITIK DARI TAMBAK UDANG DI LAMONGAN DAN SIDOARJO. *UNESA Journal of Chemistry*, 2(1).
- Khan, M. A. (2010). Optimization of Culture Media for Enhanced Chitinase Production from a Novel Strain of *Stenotrophomonas maltophilia* Using Response Surface Methodology. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 20(11), 1597–1602. <https://doi.org/10.4014/jmb.0909.09040>
- Khikmah, N., Margino, S., & Kasiamdari, R. S. (2016). Isolasi, Seleksi, dan Identifikasi Kapang Kitinolitik yang Diisolasi dari Tanah Pembuangan Limbah Udang dan Rizosfer Solanaceae. *Biota : Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, 1–8. <https://doi.org/10.24002/biota.v1i1.706>
- Masri, M., Sukmawaty, E., & Aditia, L. (2021). Novel chitinolytic bacteria from the shrimp shell processing waste. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(5). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220527>
- Nurhasanah, A. K., & Faturrahman, F. (2019). Komunitas Bakteri pada Saluran Pencernaan Lobster Mutiara (*Panulirus ornatus*). *JURNAL SAINS TEKNOLOGI & LINGKUNGAN*, 5(1), 1–9. <https://doi.org/10.29303/jstl.v5i1.100>
- Nurmalinda, A., Mubarik, N. R., & Sudirman, L. (2020). Selection and Characterization of Chitinase-Producing Bacteria Inhibiting the Growth of Plant-Pathogen Fungi. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(1), 35–42. <https://doi.org/10.18343/jipi.25.1.35>
- Poria, V., Rana, A., Kumari, A., Grewal, J., Pranaw, K., & Singh, S. (2021a). Current Perspectives on Chitinolytic Enzymes and Their Agro-Industrial Applications. *Biology*, 10(12), 1319. <https://doi.org/10.3390/biology10121319>
- Poria, V., Rana, A., Kumari, A., Grewal, J., Pranaw, K., & Singh, S. (2021b). Current Perspectives on Chitinolytic Enzymes and Their Agro-Industrial Applications. *Biology*, 10(12), 1319. <https://doi.org/10.3390/biology10121319>
- Pratiwi, R. S., Susanto, T. E., Wardani, Y. A. K., & Sutrisno, A. (2015). ENZIM KITINASE DAN APLIKASI DI BIDANG INDUSTRI: KAJIAN PUSTAKA. *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 3(3).
- Riolo, M., Aloï, F., La Spada, F., Sciandrello, S., Moricca, S., Santilli, E., Pane, A., & Cacciola, S. O. (2020). Diversity of *Phytophthora* Communities across Different Types of Mediterranean Vegetation in a Nature Reserve Area. *Forests*, 11(8), 853. <https://doi.org/10.3390/f11080853>
- Ruma, M. T. L., & Suwardi, E. (2020). ISOLASI DAN KARAKTERISASI GOLONGAN BAKTERI KITINOLITIK PADA LIMBAH UDANG VANAME. *Jurnal Biotropikal Sains*, 17(2), 14–23.
- Sant, D. G., Tupe, S. G., Ramana, C. V., & Deshpande, M. V. (2016). Fungal cell membrane-promising drug target for antifungal therapy. *Journal of Applied Microbiology*, 121(6), 1498–1510. <https://doi.org/10.1111/jam.13301>
- Singh, G., & Arya, S. K. (2019). Antifungal and insecticidal potential of chitinases: A credible choice for the eco-friendly farming. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 20, 101289. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101289>
- Suharti, N., & Fitriani, H. (2023). ISOLASI DAN PEMANFAATAN BAKTERI KITINOLITIK DARI CANGKANG UDANG PUTIH (*PENAEUS MERGUENSIS*) DALAM MENGHASILKAN ENZIM KITINASE. *Jurnal Ilmiah Pannmed*, 18(3), 5110518.
- Thalib, A. (2011). Isolasi bakteri yang terdapat pada kulit udang. *Agrikan: Jurnal Agribisnis Perikanan*, 4(1), 14–22. <https://doi.org/10.29239/j.agrikan.4.1.14-22>
- Ulya, H., Darmanti, S., & Ferniah, R. S. (2020). Pertumbuhan Daun Tanaman Cabai (*Capsicum annum* L.) yang Diinfeksi *Fusarium oxysporum* pada Umur Tanaman yang Berbeda. *Jurnal Akademika Biologi*, 9(1), 1–6.

- Verma, K., & Garg, N. (2019). Detection of Chitinase on Chitin Agar Plates. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 8(2), 1186–1189.
- Wang, S., Liang, T.-W., Lin, B., Wang, C., Wu, P., & Liu, J. (2010). Purification and characterization of chitinase from a new species strain *Pseudomonas* sp. TKU008. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 20(6), 1001–1005. <https://doi.org/10.4014/jmb.0911.11017>
- Wibowo, R. H., Mubarik, N. R., Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia, Rusmana, I., Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia, Thenawidjaya, M., & Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia. (2017). Penapisan dan Identifikasi Bakteri Kitinolitik Penghambat Pertumbuhan *Ganoderma boninense* in Vitro. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 13(3), 105–111. <https://doi.org/10.14692/jfi.13.3.105>
- Widiantini, F., Yulia, E., & Nasahi, C. (2018). Potensi antagonisme senyawa metabolit sekunder asal bakteri endofit dengan pelarut metanol terhadap jamur *G. boninense* Pat. *Agrikultura*, 29(1), 55. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v29i1.17870>