

Original Research Paper

## Antagonistic Test of Bacteria Producing Siderophore and Protease Enzymes from The Rhizosphere of Peanut Plants on The Growth of Pathogenic Fungus *Colletotrichum gloeosporioides*

Mikiyal Nurikhsanti<sup>1</sup>, Lalu Zulkifli<sup>1\*</sup>, Dewa Ayu Citra Rasmi<sup>1</sup>, & Prapti Sedijani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mataram, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia.

### Article History

Received : December 03<sup>th</sup>, 2023

Revised : December 26<sup>th</sup>, 2023

Accepted : January 15<sup>th</sup>, 2024

\*Corresponding Author: **Lalu Zulkifli**, Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mataram, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia  
Email:

[lalu\\_zulkifli@unram.ac.id](mailto:lalu_zulkifli@unram.ac.id)

**Abstract:** This study aims to determine the inhibitory effect of bacterial isolates producing siderophores and protease enzymes on the growth of the pathogenic fungus *Colletotrichum gloeosporioides*. The initial stage of research begins with the isolation of pathogenic bacteria and fungi, and is followed by testing the production of siderophores and protease enzymes. Bacteria were isolated from the rhizosphere of peanut plants, while pathogenic fungi were isolated from large chili fruit infected with anthracnose disease taken from Jelantik Village, Central Lombok Regency. Characterization of isolates for siderophore production used the Arnow method, while the protease enzyme production test used SKIM Milk Agar media. Next, the inhibition test of bacterial isolates against pathogenic fungi was carried out using the dual culture method. Characterization of potential isolates was carried out by observing bacterial colony morphology, gram staining and biochemical tests. The results of the siderophore production test showed that there was one isolate capable of producing siderophores with the isolate code RKT2. Meanwhile, the protease enzyme production test showed that all bacterial isolates produced protease enzymes, where isolate RKT9 had the highest Proteolytic Index, namely 1.57. The two isolates showed different inhibitory test results, namely isolate RKT2 had high inhibition, while RKT9 had low inhibition. The results of the research showed that a bacterial isolate (RKT2) from the rhizosphere of peanut plants was able to inhibit the growth of the pathogenic fungus *Colletotrichum gloeosporioides* in the high category.

**Keywords:** *Colletotrichum gloeosporioides*, peanuts, siderophore, protease enzymes, rhizosphere.

### Pendahuluan

Kacang-kacangan (Leguminosae) mempengaruhi mikroorganisme tanah karena adanya eksudat akar yang kaya nitrogen (Jos *et al.*, 2009). Tanaman polong-polongan menginduksi interaksi simbiosis dengan rhizobia dan jamur mikoriza yang bersimbiosis untuk memperoleh beberapa unsur hara seperti nitrogen dan fosfat (Sugiyama dan Yazaki, 2012). Keberadaan unsur hara di sekitar akar tanaman penting bagi mikroorganisme sebagai agen pengendalian organik, suplemen juga penting bagi mikroba tanaman. Hubungan yang terjadi

antara bakteri pengendali alami dengan mikroba patogen biasanya terjadi pada titik tertentu, tidak jauh dari akar tanaman (Soesanto, 2008). Mikroorganisme yang mampu mengendalikan mikroba dan mendukung pertumbuhan tanaman disebut juga PGPR (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria). Hama sering kali menjajah akar dan bermanfaat karena dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan memicu perlawanan mendasar (Choudhary & Johri, 2009).

Tanaman budidaya seperti cabai sering kali terserang hama dan penyakit. Tanaman cabai di Indonesia paling banyak diserang patogen antraknosa adalah *Colletotrichum*

*gloeosporioides* dan *Colletotrichum capsici* (Suryaningsih, 1996). Gejala pada buah yang terserang *C. gloeosporioides* adalah bercak-bercak kecil yang kemudian menyebar pada batang dan tangkai daun, sehingga dapat menyebabkan nekrosis dan seiring bertambahnya usia pohon akan mati dan tidak dapat menekan pertumbuhan jamur patogen (Gautam, 2014).

Upaya pencegahan dan pengendalian penyakit antraknosa umumnya menggunakan pestisida anorganik, khususnya fungisida antraknosa. Penggunaan fungisida buatan pabrik berdampak buruk pada iklim, dan penggunaan fungisida berlebihan dalam upaya pengendalian ini, baik dari segi porsi maupun frekuensi penggunaannya, dapat membunuh mikroorganisme non-target dan mencemari iklim. Selanjutnya, penggunaan pestisida buatan pabrik harus dibatasi untuk mengurangi kontaminasi alami, pengendalian alami atau penggunaan pestisida, dan fokus pada keramahan ekologis (Imansyah, 2013).

Siderofor adalah campuran alami dengan molekul rendah yang dibuat mikroorganisme dan tanaman yang berkembang dalam keadaan kekurangan zat besi. Fungsi utama senyawa ini adalah untuk mengkelat besi [Fe(III)] pada berbagai habitat darat dan perairan, sehingga tersedia untuk sel mikroba dan tumbuhan. Pentingnya siderofor yakni memiliki kemampuan untuk mengikat berbagai logam selain besi dan memiliki beragam struktur kimia dan sifat spesifik. Misalnya, selain berperan penting dalam pelapukan mineral tanah dan mendorong pertumbuhan tanaman, siderofor juga berperan sebagai agen biokontrol, biosensor, bioremediasi, dan agen pengkelat (Ahmed & Holmstrom, 2014).

Sekresi enzim oleh bakteri merupakan salah satu mekanisme yang efektif untuk menghambat pertumbuhan patogen. Banyak mikroorganisme menular memerlukan protease untuk bereproduksi atau menggunakan protease sebagai faktor virulensi (Lopez-otin dan Judith, 2008). Bakteri penghasil protease dapat digunakan sebagai agen biopestisida. Hal ini penting dalam mendukung kesuksesan budidaya tanaman pangan, karena akhir-akhir ini terjadi peningkatan serangan patogen tanaman sebagai akibat dari *climate change*. Terkait hal ini perlu dilakukan eksplorasi potensi rizobakteri endogenous pulau Lombok yang dapat

menghasilkan siderofor dan enzim protease untuk pengembangan biopestisida kedepan. Pada penelitian ini sumber rizobakteri pada rizosfer tanaman kacang tanah. Potensi tersebut diharapkan dapat menjadi biopestisida yang mendukung pertanian di masa yang akan datang.

## Bahan dan Metode

### Waktu dan tempat penelitian

Penelitian bertempat pada Laboratorium Mikrobiologi FKIP, Universitas Mataram pada Maret sampai November 2023.

### Bahan

Penelitian menggunakan bahan terdiri dari 1 gram tanah dari rizosfer akar tanaman kacang tanah, cabai merah besar yang terinfeksi jamur *Colletotrichum gloeosporioides*, aquades, media Potato Dextrose Agar (PDA), media Nutrien Agar (NA), media SKIM Milk Agar, media TSI, media Nutrient Broth (NB), media Simmon citrate, alkohol 70 %, sukrosa, asparagin, HCL, larutan crystal violet, larutan lugol, larutan safranin, isolat bakteri, NaOH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, FeCl<sub>3</sub> 2%, agar, glukosa, dextrosa, protease pepton.

### Prosedur penelitian

#### Isolasi bakteri

Sampel tanah rizosfer berasal dari tanah sekitar akar tanaman kacang tanah di Desa Jelantik, Lombok Tengah. isolasi dilakukan dengan metode pengenceran berseri. Pengenceran dilakukan sampai pengenceran 10<sup>-6</sup>. Suspensi dengan pengenceran 10<sup>-4</sup>, 10<sup>-5</sup>, 10<sup>-6</sup> di atas kemudian dikultur di media NA (Nutrient Agar), selanjutnya diinkubasi selama 24 jam pada suhu 30°C. Koloni bakteri yang tumbuh pada media selanjutnya dilakukan pemurnian sampai diperoleh isolat murni. Adapun cara untuk mendapatkan isolat murni dengan metode *pour plate*.

#### Uji potensi isolat bakteri penghasil siderofor

Uji kemampuan produksi siderofor oleh isolat rhizobacteria tanaman kacang tanah dilakukan dengan metode menurut Arnov's assay untuk siderofor tipe catekolat. Dalam hal ini, satu ose isolat bakteri yang berumur 24 jam diinokulasi pada media cair Nutrient Broth (NB) steril. Menginkubasi selama 2 hari menggunakan shaker pada suhu ruang. Kemudian disentrifugasi

untuk memisahkan sel bakteri dengan supernatan pada kecepatan 5000 rpm selama 25 menit. Evaluasi kemampuan isolat dalam memproduksi siderofor tipe katekolat dengan cara memasukkan 0,5 ml isolat dalam tabung reaksi lalu ditambahkan 0,5 ml HCl tambahkan 0,5 ml Nitrit dan 0,5 ml NaOH. Apabila terjadi perubahan warna bening menjadi merah muda, artinya isolat bakteri yang diperoleh dapat menghasilkan siderofor tipe katekolat. Untuk siderofor tipe hidrosamat dilakukan dengan menambahkan larutan  $\text{FeCl}_3$  2% kedalam 0,5 ml supernatant

#### *Uji kemampuan isolat bakteri dalam menghasilkan enzim protease*

Mengkultur satu ose isolat bakteri pada media SKIM Milk Agar. Kemudian, menginkubasi isolat bakteri pada suhu  $30^\circ\text{C}$  selama 24 jam – 48 jam. Selanjutnya, mengamati zona bening yang terbentuk pada masing-masing koloni. Bakteri yang positif menghasilkan protease akan membentuk zona bening. Daya degradasi isolat bakteri terhadap protein dalam media pada masing-masing koloni dihitung menggunakan Indeks Proteolitik (IP) (Hastuti, 2017) pada persamaan 1.

$$\text{IP} = \frac{\text{Diameter zona bening (mm)}}{\text{Diameter koloni}} \quad (1)$$

Keterangan  
IP : Indeks Proteolitik

#### *Uji antagonis bakteri penghasil siderofor dan enzim protease terhadap pertumbuhan jamur patogen Colletotrichum gloeosporioides*

Uji antagonis untuk mengetahui daya hambat isolat rizobakteri pada isolat jamur patogen melalui metode oposisi langsung (*dual culture*) pada media PDA. Kegiatan tersebut dilakukan dengan menginokulasi isolat bakteri dan isolat patogen di media PDA dengan posisi isolat patogen salah satu ujung media dan isolat bakteri ujung media yang lain, lalu diinkubasi pada suhu ruang (Basri, 2021). Eksperimen dilakukan sebanyak 3 kali ulangan. Mengukur luas koloni jamur patogen menggunakan kertas milimeter, dan menghitung persentase hambatan pertumbuhan jamur patogen pada persamaan 2.

$$P = \frac{D_1 - D_2}{D_1} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

P = Persentase hambatan (%)

D1 = Luas pertumbuhan koloni kontrol ( $\text{mm}^2$ )

D2 = Luas pertumbuhan jamur patogen dengan perlakuan ( $\text{mm}^2$ )

**Tabel 1.** Kategori tingkat kemampuan antagonisme (Prasetya, 2014)

Persentase Penghambatan (P) %	Tingkat kemampuan antagonis
>40%	Kuat
40% > P > 30%	Sedang
<30%	Lemah
0%	Tidak aktif

#### *Karakterisasi bakteri penghasil siderofor dan enzim protease*

Pengamatan morfologi biokimia dan koloni dilakukan untuk mengetahui karakterisasi bakteri. Pengamatan morfologi koloni diantaranya elevasi, tepian, bentuk, permukaan dan warna bakteri serta pewarnaan gram untuk melihat bentuk sel dan tipe gram. Kemudian uji biokimia mengacu pada Cappucino dan Sherman (2014) meliputi Simmon Citrate, motilitas, uji TSIA, katalase, hidrolisis pati, dan fermentasi karbohidrat.

## Hasil dan Pembahasan

### Isolasi dan karakterisasi isolat bakteri

Isolasi bakteri dari rizosfer tanaman kacang tanah ditemukan 9 isolat bakteri murni. Karakteristik morfologi koloni bakteri menunjukkan hasil yang beragam, dengan bentuk yang paling banyak yaitu circular dan irregular. Tepian koloni didominasi oleh entire dan elevasi flat dengan warna dominan putih dan lainnya berwarna cream, hijau serta orange. Bentuk sel keseluruhan yakni basil kecuali satu isolat. Hasil penelitian menemukan 3 isolat gram negatif dan 6 isolat gram positif. Data karakteristik lengkap isolat dicantumkan pada Tabel 2.

Hasil uji biokimia menunjukkan hasil yang beragam. Hasil uji TSI (Triple Sugar Iron) menunjukkan bahwa hampir semua isolat bereaksi positif kecuali isolat RKT9 bereaksi negatif. Hasil uji hidrolisis pati sebagian besar menunjukkan hasil positif kecuali isolat RKT4, RKT8, dan RKT9. Hasil uji Simmon citrate sebagian besar bereaksi negatif kecuali isolat

RKT2, RKT3 dan RKT8. Isolat bakteri dominan bersifat motil kecuali isolat RKT4. Hasil uji katalase sebagian besar bereaksi positif kecuali isolat RKT4. Uji fermentasi gula yakni glukosa, dekstrosa dan maltosa menunjukkan hasil yang

sama dimana sebagian besar isolat bereaksi positif kecuali isolat RKT2, sedangkan pada uji laktosa semua isolat menunjukkan hasil negatif. Secara rinci dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 2.** Karakteristik morfologi koloni dan sel bakteri

Nama Isolate	Morfologi koloni bakteri				Pengecatan gram	
	Bentuk	Tepian	Elevasi	Warna	Bentuk sel	Gram
RKT1	Circular	Entire	Umbonate	Putih	Basil	+
RKT2	Irregular	Undulate	Flat	Cream	Basil	+
RKT3	Filamentous	Filamentous	Flat	Cream	Basil	-
RKT4	Irregular	Entire	Convex	Hijau	Coccus	-
RKT5	Circular	Undulate	Raised	Putih	Basil	+
RKT6	Irregular	Undulate	Flat	Hijau	Basil	-
RKT7	Circular	Entire	Pulvinate	Putih	Basil	+
RKT8	Spindle	Entire	Convex	Orange	Basil	+
RKT9	Circular	Entire	Umbonate	Putih	Basil	+

Keterangan: RKT (Rizosfer Kacang Tanah)

**Tabel 3.** Hasil uji biokimia isolat bakteri

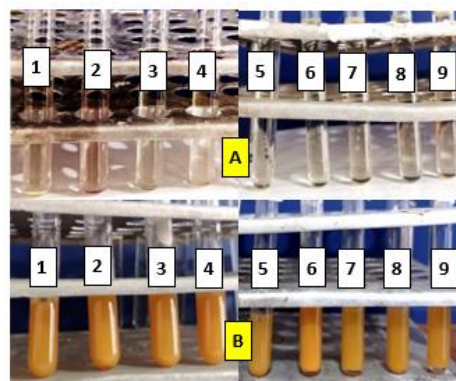
Nama isolate	Uji biokimia								
	TSI	Hidrolisis pati	SC	Motilitas	Katalase	Glukosa	Dekstrosa	Maltosa	Laktosa
RKT1	+	+	-	+	+	+	+	+	-
RKT2	+	+	+	+	+	-	-	-	-
RKT3	+	+	+	+	+	+	+	+	-
RKT4	+	-	-	-	-	+	+	+	-
RKT5	+	+	-	+	+	+	+	+	-
RKT6	+	+	-	+	+	+	+	+	-
RKT7	+	+	-	+	+	+	+	+	-
RKT8	+	-	+	+	+	+	+	+	-
RKT9	-	-	-	+	+	+	+	+	-

Keterangan: RKT (Rizosfer Kacang Tanah), negatif (-), positif (+)

### Potensi isolat bakteri penghasil siderofor

Hasil penelitian menemukan satu isolat yang memproduksi siderofor tipe katekolat yakni isolat RKT 2 (Gambar 1.A). Hal ini ditandai dengan perubahan warna dari bening menjadi merah muda. Sedangkan pengujian siderofor tipe hidroksamat tidak menunjukkan hasil positif dimana semua isolat tidak mengalami perubahan warna dari orange menjadi kuning. Sejalan dengan Neilands & Leong (1986) dibandingkan dengan siderofor dari kelompok hidroksamat, yang biasanya diproduksi oleh jamur, siderofor dari kelompok katekolat memiliki afinitas yang lebih kuat terhadap unsur besi. Kemampuan bakteri alami, khususnya rhizobakteri, untuk membekap mikroorganisme, umumnya mencakup satu atau beberapa komponen penghambat, misalnya menghasilkan antitoksin,

racun, protein, mencari ruang dan nutrisi, menghasilkan siderofor dan HCN.



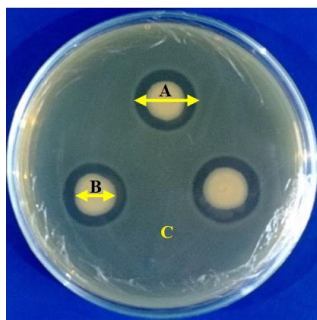
**Gambar 1.** Hasil uji produksi siderofor secara kualitatif. A= Hidroksamat; B= Katekolat



Agen hayati biasanya mampu tumbuh lebih cepat dari patogen, untuk mendominasi ruang yang tersedia, sehingga tidak memungkinkan patogen untuk berkembang (Sriyanti, 2015). Hal ini terjadi karena adanya kompetisi antara bakteri penghasil siderofor dengan patogen dalam memperoleh zat besi, nutrisi penting bagi pertumbuhan mikroorganisme (Partiwi, 2023). Meskipun zat besi berlimpah di alam, daya larut  $Fe^{3+}$  yang sangat rendah pada pH 7 menyulitkan sebagian besar makhluk hidup untuk memperoleh zat besi yang cukup dari iklim. Melalui produksi dan sekresi siderofor, PGPR mengembangkan strategi dalam hal ini (Zulkifli, 2020). Siderofor disekresi bakteri dalam bentuk hidroksimat dan catecholate mampu menghelat Fe tidak larut menjadi larut melalui mekanisme mineralisasi dan skuestrasi sehingga mampu menjadikannya tersedia bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Pahari *et al.*, 2017).

#### Aktivitas proteolitik isolat rizoakteri kacang tanah

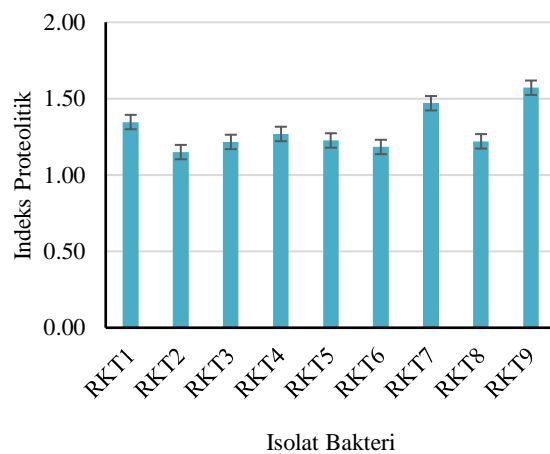
Aktivitas proteolitik dari sembilan isolat bakteri menunjukkan bahwa semua isolat mampu memproduksi enzim protease ditandai dengan terbentuknya zona bening di sekitar koloni bakteri pada media SKIM Milk Agar (Gambar 2). Kemudian Indeks Proteolitik dari sembilan isolat menunjukkan hasil yang berbeda-beda (Gambar 3).



**Gambar 2.** Hasil uji aktivitas proteolitik isolat; A (diameter zona bening); B (diameter koloni); C (media SKIM Milk Agar)

Bakteri proteolitik mampu menghidrolisis kasein dari susu skim sebagai sumber N, oleh karena itu zona bening di sekitar isolat terbentuk (Ariyani *et al.*, 2021). Perkembangan zona khas di sekitar kondisi bakteri pada medium kuat yang mengandung kasein disebabkan oleh biosintesis

katalis protease di dalam sel, kemudian melepaskannya ke iklim. Di dalam medium, sekret ini menghidrolisis protein susu menjadi asam amino, yang mengubah warna dari putih kecoklatan menjadi tidak berwarna (Edlin *et al.*, 2014). Tingkat kemampuan bakteri menghasilkan enzim protease dapat dilihat dari hasil perhitungan Indeks Proteolitik. Semakin tinggi nilai Indeks Proteolitik maka semakin tinggi kemampuan bakteri menghasilkan enzim protease, ditandai dengan semakin besarnya zona bening yang terbentuk.



**Gambar 3.** Indeks proteolitik isolat bakteri rizosfer kacang tanah.

Data pada gambar 3 menunjukkan isolat RKT9 memiliki nilai indeks proteolitik tertinggi 1,57 dan terendah pada isolat RKT2 1,15. Terbentuknya zona bening meningkat seiring dengan meningkatnya kemampuan bakteri proteolitik dalam menghasilkan enzim protease (Badriyah dan Ardyati, 2013). Pergerakan proteolitik rhizobakteri berperan dalam siklus kerusakan bahan alami tanah dan selanjutnya berperan penting dalam interaksi penurunan nilai dinding sel organisme patogen (Mahartha, 2013). Aktivitas proteolitik oleh PGPR menjadi salah satu mekanisme pertahanan terhadap serangan patogen tanaman. Protease merupakan salah satu enzim hidrolisis yang berperan dalam hidrolisis dinding sel patogen tanaman yang sebagian besar terdiri atas polisakarida (Jadhav *et al.*, 2017).

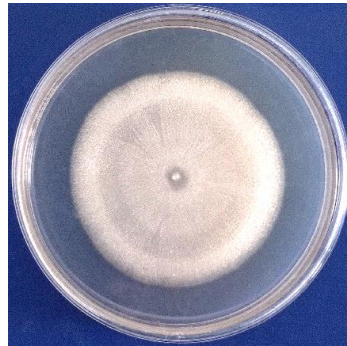
#### Isolasi dan identifikasi jamur *Colletotrichum gloeosporioides*

Struktur makroskopis jamur *Colletotrichum gloeosporioides* menunjukkan

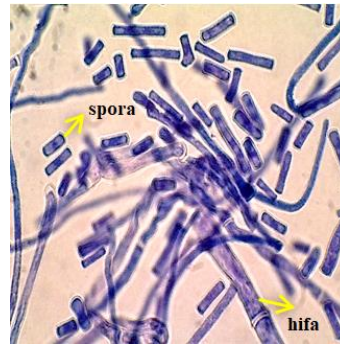
bahwa koloni jamur berbentuk bulat dan berwarna putih. Sedangkan struktur mikroskopis terlihat bahwa spora jamur berbentuk silinder dan hifa bersekat. Data selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4 serta Gambar 4 dan 5.

No.	Sifat isolate	jamur <i>C. gloeosporioides</i>
1	Bentuk	Bulat
2	Warna	Putih
3	Permukaan	Halus
4	Spora	Silinder
5	Hifa	Septat

**Tabel 4.** Identifikasi jamur *C. Gloeosporioides*



**Gambar 4.** Struktur koloni jamur *C. gloeosporioides*

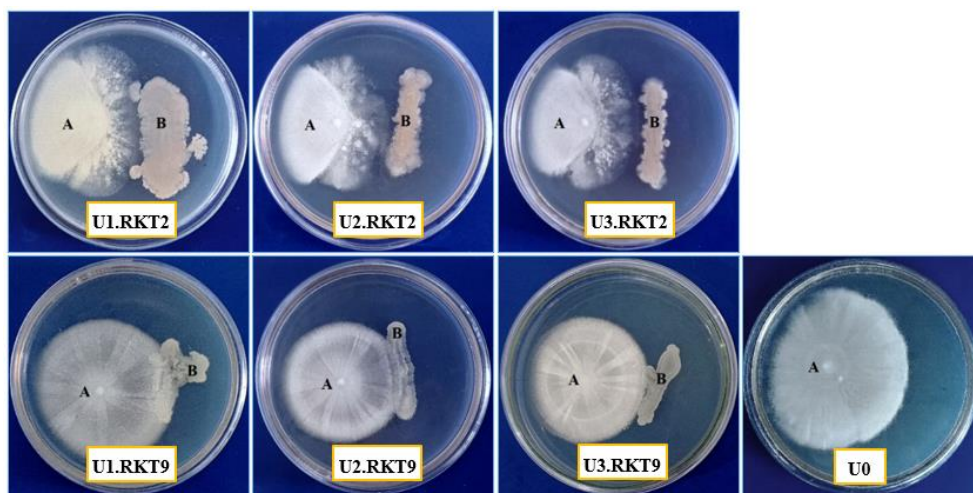


**Gambar 5.** Struktur sel jamur *C. gloeosporioides*

**Uji antagonis secara in-vitro bakteri terhadap isolat jamur *Colletotrichum gloeosporioides***

Uji antagonis isolat bakteri menghasilkan siderofor yakni isolat RKT2. Indeks proteolitik tertinggi yaitu isolat RKT9 dengan pengulangan sebanyak tiga kali. Uji antagonis dilakukan untuk mengetahui pengaruh bakteri penghasil siderofor dan enzim protease dalam menghambat pertumbuhan jamur patogen *Colletotrichum gloeosporioides*. Pertumbuhan koloni jamur paling kecil ditunjukkan isolat RKT2 pada

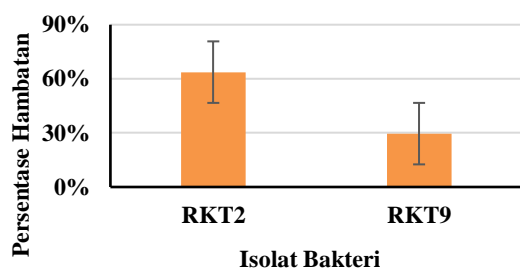
pengulangan ke 3 yakni diameter 39,3 mm, sedangkan paling besar ditunjukkan isolat RKT9 pada pengulangan ke 1 diameter 62,3 mm. Persentase hambatan tertinggi ditunjukkan isolat RKT2 pada pengulangan ke-3 yakni 65,3% ditandai dengan pertumbuhan miselium jamur yang semakin menipis dan terbentuknya zona hambat. Sedangkan persentase hambatan terendah isolat RKT9 pada pengulangan ke-1 yakni 12,8%. Lebih jelasnya terlampir pada Gambar 6 dan Tabel 5.



**Gambar 6.** Uji antagonis isolat bakteri terhadap pertumbuhan jamur *Colletotrichum gloeosporioides*. Isolat jamur *C. gloeosporioides* (A); Isolat bakteri (B); Pengulangan ke-1(U1); Pengulangan ke-2 (U2); Pengulangan ke-3 (U3); Kontrol (U0); Rizosfer Kacang Tanah (RKT).

**Tabel 5.** Persentase daya hambat isolat bakteri terhadap jamur *Colletotrichum gloeosporioides*

Isolat	Ulangan	Diameter koloni jamur (mm)	Persentase hambatan
RKT2	U1	40	64%
	U2	41,3	61,7%
	U3	39,3	65,3%
	$\bar{x}$	<b>40,2</b>	<b>63,7%</b>
RKT9	U1	62,3	12,8%
	U2	53	36,9%
	U3	52	39,2%
	$\bar{x}$	<b>55,8</b>	<b>29,6%</b>
Kontrol		66,7	-



**Gambar 7.** Persentase hambatan isolat bakteri terhadap isolat jamur patogen *Colletotrichum gloeosporioides*

Hasil penelitian menunjukkan 2 isolat bakteri terpilih (RKT2 dan RKT9) yang diuji memiliki kekuatan penghambatan yang berbeda terhadap isolat jamur patogen *Colletotrichum gloeosporioides* (Tabel 5). Kekuatan penghambatan yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan kekuatan yang lemah dan kuat. Isolat bakteri RKT2 memiliki rata-rata diameter pertumbuhan koloni jamur patogen sebesar 40,2 mm sedangkan RKT9 sebesar 55,8 mm. Semakin kecil luas koloni jamur patogen maka semakin besar persentase daya hambat rizobakteri pada jamur terlihat dari adanya zona hambatan antara isolat rizobakteri dengan patogen (Solichatun, 2013). Sesuai dengan hasil penelitian dimana RKT2 memiliki persentase hambatan 63,7% termasuk kategori kuat sedangkan RKT9 memiliki persentase hambatan 29,6% termasuk kategori lemah.

Hasil penelitian Ramyasmruthi *et al.*, (2012) melaporkan *pseudomonad fluoresen* berasal dari rizosfer *Solanaceae* adalah agen biokontrol yang memproduksi siderofor, sehingga dapat menghambat berbagai patogen tanaman seperti *Alternaria brassicola* (50%),

*Alternaria alternata* (16.66%), *Alternaria brassiceae* (12.5%), *Collectotrichum gloeosporioides* (58.3%), *Fusarium oxysporum* (14.28%), *Phytophthora* (15%) dan *Rhizoctonia solani* (50%).

Hasil penelitian Prihatiningsih *et al.*, (2017) aktivitas penghambatan *B. subtilis* B298 berasal dari rizosfer kentang terhadap jamur patogen *C. gloeosporioides* sebesar 55,4%. Hal ini menunjukkan bahwa *B. subtilis* B298 mempunyai kemampuan menghambat patogen tanaman dan mekanisme penghambatannya adalah antibiosis yang menghasilkan produksi siderofor, enzim, dan antibiotik. Sejalan dengan penelitian Kunst & Rapoport (1995) *B. subtilis* mampu memproduksi enzim degradatif makromolekul yang menghancurkan dinding sel jamur, seperti protease (intraseluler) dan beberapa enzim yang disekresikan pada medium seperti  $\alpha$ -amylase,  $\beta$ -glukanase, levansukrase, kitinase, xilanase, dan protease.

## Kesimpulan

Hasil penelitian mendapatkan 1 isolat bakteri penghasil siderofor tipe katekolat yakni isolat RKT2. Sedangkan bakteri penghasil enzim protease didapatkan hasil bahwa ke-9 isolat mampu menghasilkan enzim protease. Isolat bakteri RKT2 memiliki persentase hambatan 63,7% termasuk kategori tinggi. Sedangkan isolat RKT9 memiliki persentase hambatan 29,6% termasuk kategori rendah. Isolat bakteri RKT2 dapat menjadi kandidat biopestisida tanaman budidaya di masa yang akan datang.

## Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini sebagian didanai oleh dana hibah penelitian PNBPN Universitas Mataram dengan nomor kontrak 1717/UN18.L1/PP/2022. Terima kasih juga disampaikan atas dukungan fasilitas kepada kepala dan staff laboratorium Mikrobiologi FKIP, Universitas Mataram selama melaksanakan penelitian.

## Referensi

Ahmed E. & Holmstrom, S.J.M. (2014). Siderophores in environmental research: roles and applications. *Microb. Biotechnol.*

- 7(3): 196-208. DOI: 10.1111/1751-7915.12117
- Ariyani, M. D., Dewi, T. K., Pujiyanto, S., & Supriyadi, A. (2021). Isolasi dan Karakterisasi Plant Growth Promoting Rhizobacteria dari Perakaran Kelapa Sawit pada Lahan Gambut. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 23(2), 159-171. URL: <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/bioma/article/download/43825/20831>
- Arnou E. (1936). Colorimetric determination of the components of 3,4 dihydroxyphenylalanine-tyrosine mixtures. *J. Biol. Chem.* 118: 531-537. DOI: [https://doi.org/10.1016/S00219258\(18\)74509-2](https://doi.org/10.1016/S00219258(18)74509-2)
- Badriyah, B.I. dan Ardyati, T. (2013). Deteksi aktivitas proteolitik isolat bakteri asal ampas tahu pada substrat bekatul. *Jurnal Biotropika*, 1(3), 109-113. URL: <https://biotropika.ub.ac.id/index.php/biotropika/article/view/199/130>
- Basri, M. H., Zulkifli, L., & Syukur, A. (2021). Isolation of Endophytic Fungi from *Vitex trifolia* L and Antagonism Test against *Sclerotium rolfsii* and pathogenic bacteria. *Jurnal Biologi Tropis*, 21(1), 72-80. DOI: <http://dx.doi.org/10.29303/jbt.v21i1.2340>
- Cappucino, J.G. & Sherman, N. (2014). *Microbiology: A Laboratory Manual (10th ed.)*. Person education inc. ISBN: 0-321-84022-4.
- Choudhary, D.K & Johri, B.N. (2009). Interaction of *Bacillus* spp. and plants-with special reference to induced systemic resistance (ISR). *Microb. Res.* 164(5): 493–513. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2008.08.007>
- Edlin, Y.N., Agustien, A., & Tjong, D.H. (2014). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Alkali-Proteolitik Sumber Air Panas Semurup Kerinci Jambi. *Jurnal Biologi Universitas Andalas*. 3(4):303-309. URL: <http://jbioua.fmipa.unand.ac.id/index.php/jbioua/article/view/145>
- Gautam, A.K. (2014). *Colletotrichum gloeosporioides*: Biology, Pathogenicity and management in India. *Journal of Plant Physiology and Pathology*. 2(2): 1-11. DOI: 10.4172/2329-955X.1000125
- Hastuti, U. S., Nugraheni, F. S., & Asna, P. M. (2017). Identifikasi dan Penentuan Indeks Hidrolisis Protein pada Bakteri Proteolitik dari Tanah Mangrove di Margomulyo, Balikpapan. *Proceeding Biology Education Conference*, 14(1): 265-270. URL: <https://jurnal.uns.ac.id/prosbi/article/view/File/17788/14196>
- Imansyah, N. (2013). *Daya Antagonisme Beberapa Spesies Trichoderma spp. Terhadap Colletotrichum spp. pada Cabai*. Skripsi. Fakultas Pertanian. Universitas Lambung Mangkurat. Banjar baru.
- Jadhav, H., Shaikh, S. S., & Sayyed, R. Z. (2017). Role of Hydrolytic Enzymes of Rhizoflora in Biocontrol of Fungal Phytopathogens: An Overview. *Rhizotrophs: Plant Growth Promotion to Bioremediation, Microorganisms for Sustainability 2*, DOI: 10.1007/978-981-10-4862-39
- Jos, M., Raaijmakers., Timothy C., Paulitz., Christian S., Claude A., & Yvan M. (2009). The Rhizosphere: a playground and battlefield for soilborne pathogens and beneficial microorganisms. *Plant Soil*. 321: 341-361. DOI: 10.1007/s11104-008-9568-6
- Kunst, F. & G. Rapoport (1995). Salt stress is an environmental signal affecting degradative enzyme synthesis in *Bacillus subtilis*. *Journal of Bacteriology*. 177: 2403-2407. DOI: <https://doi.org/10.1128/jb.177.9.2403-2407.1995>
- Lopez-otin, C., & Judith, S.B. (2008). Proteases: Multifunctional Enzymes in Life and Disease. *THE JOURNAL OF BIOLOGICAL CHEMISTRY*. 283(45): 30433–30437. DOI: 10.1074/jbc.R800035200
- Mahartha, K.A., Khalimi, K. & Wirya, G.N.A.S. (2013). Uji Efektivitas Rhizobakteri sebagai Agen Antagonis terhadap *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici* Penyebab Penyakit Layu Fusarium pada Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.). *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*. 2 (3): 145-154. URL: <https://ojs.unud.ac.id/index.php/JAT/article/download/6075/4569/>



- Neilands, J.B. & Leong, S.A. (1986). Siderophores in relation to plant growth and disease. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 37: 187-208. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.37.060186.001155>
- Pahari, A., Pradhan, A., Nayak, S.K., & Mishra, B.B. (2017). Bacterial siderophore as a plant growth promoter. *Microbial Biotechnology.* 7: 163-180. DOI: 10.1007/978-981-10-6847-8\_7
- Partiwi, S., Idrus, A.A., Zulkifli, L., Mahrus dan Sedijani, P. (2023). Isolation and Molecular Characterization of Brotowali (*Tinospora crispa*) Rhizosphere Bacteria Producing Siderophore from Dry Lands of Lombok Island. *Jurnal Biologi Tropis*, 23 (2): 275 – 284. DOI: <http://dx.doi.org/10.29303/jbt.v23i2.6138>
- Prastya, M. E., Suprihadi, A., & Kusdiyantini, E. (2014). Eksplorasi rizobakteri indigenous tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* Linn.) dari pertanian semi organik Desa Batur Kabupaten Semarang sebagai agen hayati pengendali pertumbuhan jamur *Fusarium oxysporum* f. sp. *capsici*. *Jurnal Akademika Biologi*, 3(3), 18-31. URL: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/biologi/article/view/19449>
- Prihatiningsih, N.; Djatmiko, H. A.; Lestari, P. Aktivitas Siderofor *Bacillus Subtilis* Sebagai Pemacu Pertumbuhan Dan Pengendali Patogen Tanaman Terung. *J Trop Plant Pests Dis.* 17(2): 170-178. DOI: <https://doi.org/10.23960/j.hptt.217170-178>
- Ramyasmruthi, S., O. Pallavi., S. Pallavi., K. Tilak and S. Srividya. 2012. Chitinolytic And Secondary Metabolite Producing *Pseudomonas fluorescens* Isolatd From Solanacearhizosphere Effective Against Broad Spectrum Fungal Phytopathogens. *Asian Journal of Plant Science and Research*, 2 (1): 16-24.
- Soesanto, L. (2008). *Pengantar pengendalian hayati penyakit tanaman*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada. ISBN: 978-979-769-170-7.
- Solichatun, Khamdan, K., & Sudarma, I.M. (2013). Isolasi dan Identifikasi Rizobakteri dari Rizosfer Kacang Tanah dan Uji Efektivitasnya dalam Mengendalikan Penyakit Layu *Fusarium* pada Tanaman Tomat. *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika.* 2(4): 260-270. URL: <https://ojs.unud.ac.id/index.php/JAT/article/view/7015>.
- Sriyanti, N. L., Suprpta, D. N., & Suada, I. K. (2015). Uji Keefektifan Rizobakteri dalam Menghambat Pertumbuhan Jamur *Colletotrichum* spp. Penyebab Antraknosa pada Cabai Merah (*Capsicum annum* L.). *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 4(1): 53-65. URL: <https://ojs.unud.ac.id/index.php/JAT/article/download/12501/8635/>
- Sugiyama, A. & Yazaki, K. (2012). Root Exudates of Legume Plants and Their Involvement in Interactions with Soil Microbes. *Springer.* 8: 27-48. DOI: 10.1007/978-3-642-23047-9\_2
- Suryaningsih, E., Sutarya, R., & Duriat, A. S. (1996). *Penyakit tanaman cabai merah dan pengendaliannya*. Balai Penelitian Sayur, Lembang : Bandung. ISBN : 978-979-8304-55-2.
- Zulkifli, L., Sedijani, P., Rasmi, D. A. C., & Amrullah, L. W. Z. (2020). Screening and Molecular Identification of Phosphate-Solubilizing Rhizobacteria from Mangrove Ecosystem of the Lombok Island. *Jurnal Biologi Tropis*, 20 (3): 475 – 484. DOI: <http://dx.doi.org/10.29303/jbt.v20i3.1730>.