

SCREENING INDIGENOUS RHIZOSPHERIC ACTINOMYCETES AS BIOCONTROL AGENT TOWARD WHITE ROOT FUNGUS IN NUTMEG PLANTS IN SOUTH ACEH

PENAPISAN ACTINOMYCETES INDIGENOUS RIZOSFER SEBAGAI AGENSIA HAYATI PENGENDALI JAMUR AKAR PUTIH PADA TANAMAN PALA DI KABUPATEN ACEH SELATAN

Agustinur^{1*}, Vina Maulidia¹, Chairudin¹, Irvan Subandar¹

¹ Faculty of Agriculture, Teuku Umar University, Indonesia

*Corresponding Author. E-mail address: agustinur@utu.ac.id

ARTICLE HISTORY:

Received: 22 November 2023

Peer Review: 15 December 2024

Accepted: 11 January 2025

KEYWORDS:

Actinomycetes, biological control, nutmeg plant, white root disease.

ABSTRACT

White root disease, caused by the *Rigidoporus* fungal group, is a serious threat to nutmeg (*Myristica fragrans*) production, with yield losses reaching up to 70%. The fungus infects through the rhizosphere, making root systems particularly vulnerable. While inorganic pesticides have been widely used to manage this disease and minimize yield loss, their long-term use poses serious environmental and health risks due to toxicity and persistence. Therefore, the development of environmentally friendly alternatives, such as biological control agents, is urgently needed. Actinomycetes, a group of soil-dwelling microorganisms known for their ability to produce antifungal secondary metabolites, represent a promising biocontrol resource. This study aimed to isolate and screen indigenous actinomycete isolates with antagonistic potential against white root fungus. Soil samples were collected from the rhizosphere of nutmeg plants in South Aceh. Actinomycetes were isolated and purified on selective agar media, followed by dual culture bioassays to assess their antifungal activity. A total of 22 actinomycete isolates were obtained, with 17 exhibiting antagonistic effects against white root fungus. Four isolates STJ 10, STJ 06, STS 07, and STS 26 demonstrated strong inhibitory activity, with inhibition zones of 31.84 mm, 21.68 mm, 21.36 mm, and 21.97 mm, respectively. The results highlight the potential of indigenous actinomycetes as effective and sustainable biocontrol agents for managing white root disease in nutmeg. This contributes to the advancement of eco-friendly plant protection strategies and supports long-term agricultural sustainability in tropical cropping systems.

ABSTRAK

Penyakit akar putih yang disebabkan oleh kelompok jamur akar putih merupakan salah satu penyakit yang menginfeksi tanaman pala dengan potensi kerugian mencapai 70% dari total produksi. Keberadaan jamur yang berada pada sekitaran rizosfer memungkinkan infeksi terjadi melalui perakaran tanaman. Pengendalian penyakit ini telah banyak dilakukan diantaranya menggunakan pestisida anorganik. Pestisida anorganik dalam penerapannya telah terbukti dapat menekan kerugian atau kerusakan, sehingga sampai saat ini peran pestisida tidak dapat dilepas dalam pencapaian target produksi. Namun di sisi lain, pestisida anorganik umumnya beracun dan berdampak negatif terhadap lingkungan. Mengingat kemungkinan efek samping yang ditimbulkan tersebut, maka perlu dikembangkan pestisida hayati yang lebih ramah terhadap lingkungan. Di antara agens pengendali hayati yang diketahui dapat mengendalikan patogen kelompok jamur adalah kelompok Actinomycetes. Actinomycetes merupakan kelompok mikroorganisme yang mampu menghasilkan metabolit sekunder. Metabolit ini berpotensi sebagai bahan untuk mengontrol fitopatogen golongan jamur seperti jamur akar putih. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi dan melakukan penapisan isolat actinomycetes yang memiliki potensi antagonis terhadap jamur akar putih. Tahapan penelitian terdiri atas pengambilan sampel pada rizosfer, isolasi actinomycetes, pemurnian actinomycetes pada media agar dan uji antagonis isolat actinomycetes dengan JAP. Hasil isolasi actinomycetes dari sampel tanah rizosfer tanaman pala diperoleh sebanyak 22 isolat dengan 17 isolat menunjukkan potensi antagonis terhadap jamur akar putih. Sebanyak 4 isolat yaitu isolat STJ 10, STJ 06, STS 07 dan STS 26 diketahui memiliki potensi antagonis kategori sangat kuat dengan nilai daya hambat masing-masing sebesar 31,84; 21,68; 21,36 dan 21,97 mm.

KATA KUNCI:

Actinomycetes, pengendalian hayati, penyakit akar putih, tanaman pala.

1. PENDAHULUAN

Jamur akar putih merupakan salah satu patogen penting yang menyebabkan kerugian pada komoditas perkebunan. Jamur ini menyebabkan penyakit mati meranggas pada tanaman yang ditandai dengan gejala daun layu, menguning, dan mengering. Pada stadium akhir, jamur akan membentuk badan buah setengah lingkaran di pangkal batang yang menyebabkan tanaman menjadi mati (Omorisi *et al.*, 2014). Akibat serangan penyakit ini dapat menurunkan produksi tanaman hingga 70 % (Harni *et al.*, 2011). Tanaman pala (*Myristica fragrans*) merupakan salah satu inang yang paling sering terinfeksi jamur akar putih. Pada perkebunan pala di Aceh Selatan misalnya, penyakit ini telah menjadi epidemi selama 15 tahun terakhir yang menyebabkan kerugian besar terhadap sejumlah petani pala akibat penurunan produktivitas (Susanna *et al.*, 2019). Pada tahun 2019 produktivitas pala tercatat sebesar 665 kg/hektar dan terus mengalami penurunan hingga tahun 2021 yaitu sebesar 656 kg/hektar. Bahkan penurunan produktivitas pala pernah menyentuh angka 632 kg/hektar pada 5 tahun terakhir (Distanbun Aceh, 2022).

Berbagai usaha telah dilakukan untuk mengendalikan penyakit akar putih, diantaranya menggunakan pestisida anorganik. Pestisida anorganik dalam penerapannya telah terbukti dapat menekan kerugian atau kerusakan, sehingga sampai saat ini peran pestisida tidak dapat dilepas dalam pencapaian target produksi. Namun di sisi lain, pestisida anorganik umumnya beracun dan berdampak negatif terhadap lingkungan. Mengingat kemungkinan efek samping yang ditimbulkan tersebut, maka perlu dikembangkan pestisida hayati yang lebih ramah terhadap lingkungan.

Pengendalian hayati dalam penanganan patogen jamur akar putih (JAP) dapat dilakukan dengan memaparkan mikroorganisme pengendali sehingga menyebabkan terhambatnya pertumbuhan maupun perkembangan patogen. Di antara agens pengendali hayati yang diketahui dapat mengendalikan patogen kelompok jamur adalah kelompok Actinomycetes. Actinomycetes dianggap menjadi salah satu agens pengendali hayati golongan bakteri yang paling berpotensi karena diketahui memiliki kemampuan antagonistik dengan cara menginduksi ketahanan tanaman inang dan menghasilkan zat-zat protektif seperti enzim hidrolitik ekstraseluler, metabolit sekunder, siderofor dan senyawa organik volatil (Rodriguez *et al.*, 2022). Kemampuan tersebut menjadi faktor utama untuk mempertimbangkan kelompok mikroorganisme ini sebagai kandidat agens pengendali JAP. Beberapa enzim hidrolitik ekstraseluler yang mampu dihasilkan oleh actinomycetes adalah protease dan kitinase (Al-Dhabi *et al.*, 2020; Ananya *et al.*, 2021; Wahyudi *et al.*, 2021; Wibowo *et al.*, 2020).

Enzim protease telah diketahui mampu dihasilkan oleh spesies anggota actinomycetes seperti *S. globisporus* dan beberapa spesies *Streptomyces* yang lain (Al-Dhabi *et al.*, 2020; Ananya *et al.*, 2021; Blieva *et al.*, 2021), sementara spesies yang mampu menghasilkan enzim kitinase di antaranya *Streptomyces rimosus*, *S. canus*, *S. pseudogriseolus* dan *Micromonospora brevicatiana* (Brzezinska *et al.*, 2013). Adanya enzim tersebut diperkirakan mampu merusak struktur tubuh JAP yang diketahui tersusun atas kandungan protein dan kitin. Selain menghasilkan enzim hidrolitik, kelompok mikroorganisme ini juga dikenal memiliki kemampuan menghasilkan berbagai macam senyawa toksik dan metabolit sekunder, salah satunya metabolit yang bersifat fungisidal (Wang *et al.*, 2019; Polyak and Sukharevich, 2021). Oleh karena itu, adanya kemampuan menghasilkan enzim hidrolitik serta metabolit tersebut memungkinkan kelompok mikroorganisme ini dijadikan sebagai agens pengendali hayati JAP. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan eksplorasi dan skrining terhadap kelompok actinomycetes rizosfer tanaman pala yang memiliki potensi dalam mengendalikan jamur akar putih.

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Proteksi Tanaman Universitas Teuku Umar. Tahapan pengerjaan dalam penelitian ini meliputi tahap berikut:

2.1 Pengambilan dan Preparasi Sampel

Pengambilan sampel dilakukan di perkebunan Pala aceh Selatan. Sebanyak 500 g sampel tanah diambil pada kedalaman 10 cm dari permukaan tanah pada 5 titik. Sampel tanah yang diambil berasal dari rhizosfer tanaman sehat dan juga tanaman yang diperkirakan telah terkena infeksi JAP. Sampel kemudian dibawa ke laboratorium dan ditempatkan pada cawan petri, lalu dipanaskan dalam oven pada suhu 50°C selama 60 menit sebelum digunakan untuk mengisolasi (Takizawa *et al.*, 1993).

2.2 Isolasi Actinomycetes

Isolasi dilakukan dengan mencampurkan 1 g sampel ke dalam 9 ml akuades steril dan dihomogenkan menggunakan vortex (Khasabuli and Nyamache, 2014). Kemudian dilakukan pengenceran serial hingga seri 10^{-5} , yaitu dengan cara mencampurkan 1 ml sampel ke dalam 9 ml akuades steril secara bertahap. Sebanyak 0,1 ml sampel dari pengenceran 10^{-3} , 10^{-4} dan 10^{-5} diinokulasi pada media YMA (ISP-2) dengan menggunakan teknik *pour plate*, masing-masing pengenceran dibuat sebanyak 2 ulangan (*duplo*). Sebelum dituang, media YMA ditambahkan terlebih dahulu dengan antifungi nistatin sebanyak 2 ml/100 ml media. Selanjutnya media yang telah diinokulasi diinkubasi pada suhu ruang selama 7-10 hari. Pengamatan dilakukan dengan mengamati pertumbuhan koloni pada permukaan media.

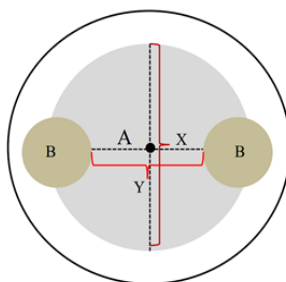
2.3 Karakterisasi Morfologi Isolat

Koloni yang tumbuh masih berupa koloni campuran sehingga perlu dilakukan purifikasi. Koloni actinomycetes ditandai dengan ciri koloni yang menyerupai fungi, namun memiliki bentuk yang lebih lekat dan padat serta ukuran yang lebih kecil. Koloni hasil purifikasi kemudian digores pada media YMA baru dan diinkubasi kembali. Selanjutnya dilakukan karakterisasi morfologi terhadap koloni isolat. Karakteristik isolat yang diamati meliputi warna koloni; warna miselium aerial dan vegetatif dan pigmentasi pada media.

2.4 Isolasi Jamur Akar Putih (JAP)

Jamur akar putih diisolasi dari sampel akar pala yang menunjukkan gejala serangan penyakit akar putih. Sampel akar dibersihkan dari tanah, kemudian diletakkan pada permukaan media PDA steril. Selanjutnya diinkubasi selama 5 hari. Koloni JAP yang muncul selanjutnya dimurnikan menggunakan media PDA yang baru.

2.5 Uji Dual Kultur Antagonis dengan JAP



Gambar 1. Skema uji dual kultur isolat actinomycetes dan JAP (A: koloni isolat JAP; B: koloni isolat actinomycetes).

Pengujian antagonis actinomycetes terhadap JAP dilakukan dengan menggunakan metode oposisi langsung, yaitu isolat actinomycetes ditumbuhkan secara berhadapan dengan isolate JAP pada media PDA. Jarak antar keduanya lebih kurang 3 cm pada cawan petri (Gambar 1). Daya hambat actinomycetes dihitung dengan rumus (Flori et al., 2020):

$$\text{Daya hambat} = \frac{X-Y}{2} \tag{1}$$

Keterangan: X= diameter koloni normal JAP; Y= diameter koloni JAP yang terhambat pertumbuhannya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Isolasi Actinomycetes

Sebanyak 22 isolat actinomycetes diperoleh dari hasil isolasi dari sampel tanah rhizosfer perakaran tanaman pala di Kabupaten Aceh Selatan. Isolat ditumbuhkan pada media ISP 2 yaitu yeast malt extract agar (YMA). Pada media tersebut Isolat actinomycetes menunjukkan beberapa karakter khas actinomycetes seperti koloni terlihat melekat pada permukaan media dan miselium aerial membentuk struktur yang tampak seperti kapas (Wulan et al., 2022). Karakter morfologi Isolat yang diperoleh sesuai dengan Tabel 1.

Miselium aerial memiliki struktur yng lebih tebal dari miselium substrat. Miselium aerial menunjukkan diferensiasi yang baik, sehingga karakter ini menjadi salah satu dasar dalam karakterisasi kelompok actinomycetes. Berdasarkan pengamatan pada 22 isolat *actinomycetes*, miselium aerial rata-rata berwarna krem, coklat dan hijau. Sementara miselium vegetatif didominasi warna krem, hijau, merah dan putih. Hanya ada 2 isolat yang memiliki pigmen terdifusi yaitu iolat STS 05 dan STS 13.

Tabel 1. Karakterisasi Morfologi Isolat Actinomycetes.

Isolat	Warna koloni		
	Miselium aerial	Pigmen terdifusi	Miselium vegetatif
STJ 06	Putih	-	Krem
STJ 10	Krem	-	Krem
STJ 11	Putih	-	Krem
STS 04	Merah	-	Merah muda
STS 05	Putih keabuan	kekuningan	Hijau tua
STS 06	Coklat keabuan	-	Hijau
STS 07	Coklat putih	-	Hijau
STS 08	Putih krem	-	Putih krem
STS 11	Putih hijau	-	Putih krem
STS 13	Hijau	Kekuningan	Hijau
STS 14	Putih kekuningan	-	Putih kekuningan
STS 16	Merah	-	Merah muda
STS 17	Merah	-	Merah muda
STS 18	Krem	-	Krem
STS 19	Krem putih	-	Putih susu
STS 20	Coklat keabuan	-	Hijau
STS 21	Coklat keabuan	-	Kuning
STS 24	Hijau	-	Hijau
STS 25	Coklat keabuan	-	Hijau
STS 26	Coklat keabuan	-	Hijau
STS 27	Hijau pekat	-	Hijau
STS 28	Putih kehijauan	-	Putih susu

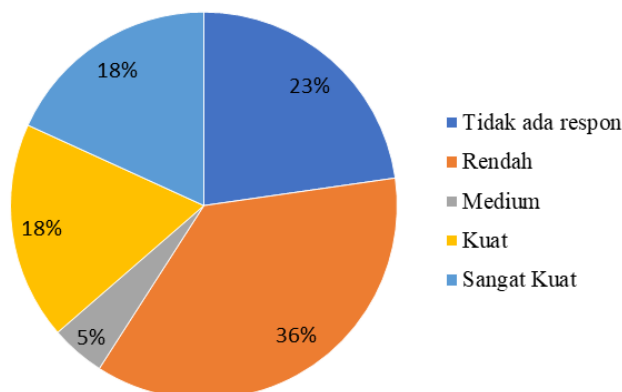
3.2 Uji Antagonis Actinomycetes dengan JAP.

Pengujian antagonis dilakukan dengan menguji pertumbuhan jamur akar putih pada cawan petri yang sama dengan isolat actinomycetes. Dari sebanyak 22 isolat actinomycetes yang diuji, sebanyak 17 isolat menunjukkan potensi antagonis sementara 5 isolat tidak menunjukkan respon (Tabel 2). Isolat yang menunjukkan daya hambat paling tinggi adalah isolat STJ 10 dengan daya hambat sebesar 31,84 mm, kemudian diikuti dengan isolat STJ 06, STS 07 dan STS 26 dengan masing-masing daya hambat sebesar 24,68; 21,36 dan 21,97 mm.

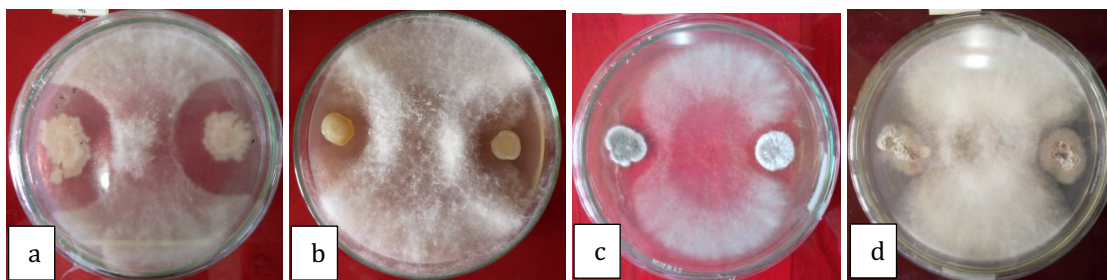
Menurut Ouchari *et al.*, (2019) kategori penghambatan actinomycets dibagi menjadi 4 kategori, yaitu potensi penghambatan rendah dengan daya hambat 1-5 mm, kategori medium dengan daya hambat 5-10 mm, kategori kuat dengan daya hambat 10-20 mm dan kategori penghambatan sangat kuat dengan daya hambat lebih dari 20 mm. Hasil uji daya hambat pada penelitian ini diperoleh sebanyak masing-masing 4 isolat (18%) dengan kategori daya hambat sangat kuat dan 4 isolat dengan kategori kuat. Sementara yang paling banyak adalah kategori penghambatan rendah (36%) dan isolat yang tidak memberikan respon antagonis sebanyak 5 isolat atau 23% (Gambar 2).

Tabel 2. Daya Hambat Isolat Actinomycetes terhadap Jamur Akar Putih.

Isolat	Daya hambat (mm)	Kategori hambatan
STJ 06	24,68	Sangat Kuat
STJ 10	31,84	Sangat Kuat
STJ 11	1,78	Rendah
STS 04	19,20	Kuat
STS 05	0,00	Tidak ada respon
STS 06	0,00	Tidak ada respon
STS 07	21,36	Sangat Kuat
STS 08	2,38	Rendah
STS 11	0,37	Rendah
STS 13	0,17	Rendah
STS 14	0,00	Tidak ada respon
STS 16	0,00	Tidak ada respon
STS 17	0,00	Tidak ada respon
STS 18	19,00	Kuat
STS 19	11,34	Kuat
STS 20	0,05	Rendah
STS 21	0,37	Rendah
STS 24	6,62	Medium
STS 25	3,34	Rendah
STS 26	21,97	Sangat Kuat
STS 27	14,42	Kuat
STS 28	1,80	Rendah



Gambar 2. Persentase isolat berdasarkan kategori daya hambat.



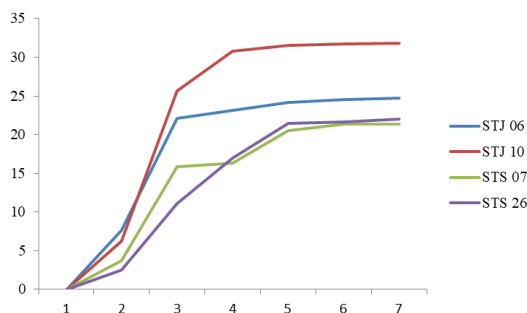
Gambar 3. Hasil uji antagonis isolat actinomycetes terhadap JAP (A: STJ 10, B: STJ 06, C: STS 07 dan D: STS 26).

Respon penghambatan yang terlihat pada pengujian antagonis adalah pertumbuhan jamur akar putih menjadi tidak merata. Pada kondisi normal, pertumbuhan JAP ditandai dengan koloni yang memenuhi cawan petri. Sementara hasil pengujian pada isolat actinomycetes yang memberikan respon, terlihat diameter horizontal koloni JAP lebih kecil dibanding diameter vertikal. Pada uji antagonis isolat STJ 10 bahkan terbentuk zona bening di sekitar koloni isolat actinomycetes (Gambar 3). Zona bening tersebut dapat mengindikasikan bahwa isolat actinomycetes tidak hanya menghambat JAP dengan kompetisi ruang dan sumber daya, tetapi juga menghasilkan metabolit yang dapat menekan pertumbuhan JAP. Hal yang sama juga terlihat pada isolat STJ 06. Isolat ini juga mampu membentuk zona bening di sekitar isolat actinomycetes yang tidak ditumbuhi oleh JAP. Isolat STS 07 dan STS 26 menunjukkan posisi yang berdekatan dengan isolat JAP. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa salah satu mekanisme penghambatan yang dilakukan adalah dengan kompetisi ruang maupun nutrisi.

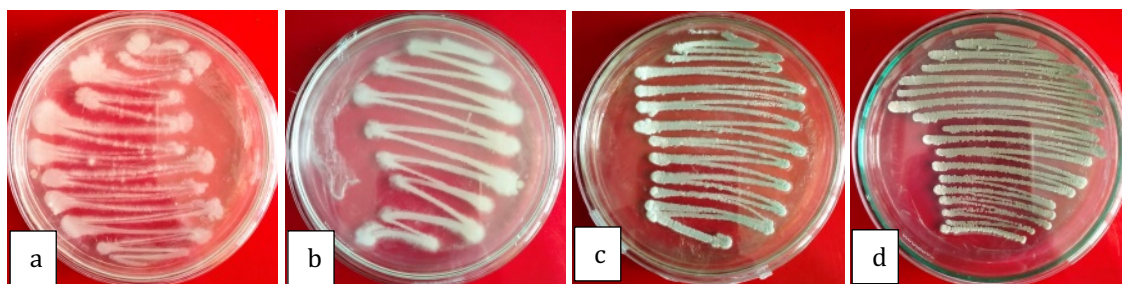
Menurut Rodriguez *et al.*, (2022) mekanisme antagonis actinomycetes untuk mengendalikan jamur fitopatogenik yang telah diketahui adalah kompetisi ruang dan nutrisi, produksi antibiotik, siderofor, enzim litik, senyawa organik volatil (VOC) dan induksi resistensi inang. Kelompok actinomycetes memiliki kemampuan menghasilkan metabolit sekunder yang bersifat antifungi seperti golongan amfoterisin B, makrolida, aktinomisin D, natamycin, antimycin, dan neopeptine (Wang *et al.*, 2019). Macrolides adalah kelompok antibiotik yang diproduksi oleh actinomycetes yang menghambat sintesis protein jamur (Vasquez-Laslop and Mankin, 2018). Amfoterisin B bergabung secara selektif dengan ergosterol pada membran sel jamur, menghasilkan perubahan permeabilitas dan menginduksi lisis sel (Hartman *et al.*, 2021).

Selain metabolit sekunder, mekanisme antagonis yang juga berpotensi dihasilkan oleh actinomycetes adalah dengan produksi enzim litik, seperti kitinase, glukukanase, dan protease yang mampu mendegradasi dinding sel jamur (Cabrera *et al.*, 2020) dan menyebabkan hilangnya integritas membran, membebaskan bahan intraseluler, dan kematian sel (Alblooshi *et al.*, 2022). Beberapa hasil penelitian telah menemukan jenis actinomycetes yang diketahui mampu menekan pertumbuhan jamur fitopatogen, seperti *Streptomyces* sp., telah terbukti mengurangi pertumbuhan miselium jamur *Rhizoctonia bataticola* sebesar 65,3% (Meena *et al.*, 2022). Hasil serupa diperoleh untuk *Streptomyces* sp. yang diisolasi dari lingkungan terestrial, mengurangi pertumbuhan miselium *Botrytis cinerea* sebesar 77% (Vijayabharathi *et al.*, 2018).

Gambar 4 menunjukkan perbandingan penghambatan yang dilakukan masing-masing isolat terpilih (STJ 06, STJ 10, STS 07 dan STS 26) terhadap JAP setiap hari selama 7 hari. Keempat isolat terpilih memperlihatkan tren kenaikan daya hambat setiap hari. Menurut Elsie *et al.* (2018) pertumbuhan actinomycete akan optimal ketika faktor pendukung seperti nutrisi, suhu, kelembaban serta kondisi lainnya sesuai. Faktor ini pula yang selanjutnya akan mempengaruhi produksi metabolit sekunder maupun komponen pertahanan lainnya.



Gambar 4. Perbandingan daya hambat isolat terpilih hari ke 1 sampai hari ke 7 pengujian.



Gambar 5. Kenampakan isolat STJ 10, STJ 06, STS 07 dan STS 26 pada media YMA.

Masing-masing isolat terpilih menunjukkan karakter koloni yang berbeda. Isolat STJ 10 dan STJ 06 menunjukkan warna isolat putih krem, sementara 2 isolat yang lain memperlihatkan warna miselium aerial coklat kehijauan (Gambar 5). Dari isolat terpilih tidak ada isolat yang menghasilkan pigmen terdifusi. Menurut Buedenbender *et al.*, (2017) variasi warna pada actinomycetes menunjukkan keanekaragamannya. Warna yang muncul dipengaruhi oleh proses pembentukan spora. Ketika spora terbentuk, hifa akan berubah menjadi warna tertentu sehingga diperoleh warna yang berbeda.

4. KESIMPULAN

Hasil isolasi actinomycetes dari sampel tanah rizosfer tanaman pala diperoleh sebanyak 22 isolat, dengan 17 isolat menunjukkan potensi antagonis terhadap jamur akar putih. Sebanyak 4 isolat yaitu isolat STJ 10, STJ 06, STS 07 dan STS 26 diketahui memiliki potensi antagonis kategori sangat kuat dengan nilai daya hambat masing-masing sebesar 31,84; 21,68; 21,36 dan 21,97 mm.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Direktorat riset teknologi dan pengabdian kepada masyarakat (DRTPM) Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah mendanai penelitian ini melalui skema Penelitian Dosen Pemula tahun 2023.

6. DAFTAR PUSTAKA

Alblooshi, A.A., G.P. Purayil, E.E. Saeed, G.A. Ramadan, S. Tariq, A.S. Altaee, K.A. El-Tarabily, S.F. and AbuQamar. 2022. Biocontrol potential of endophytic actinobacteria against *Fusarium solani*, the causal agent of sudden decline syndrome on date palm in the UAE. *Journal of Fungi*. 8(1): 1-24.

Al-Dhabi, N.A., G.A. Ismai, A.K.M. Ghilan, M.V. Arasu, V. Duraipandiyam and K. Ponmurugan. 2020. characterization and fermentation optimization of novel thermo stable alkaline protease from

- Streptomyces* sp. Al-Dhabi-82 from the Saudi Arabian Environment for eco-friendly and industrial applications. *Journal of King Saud University-Science*. 32 (2020): 1258-1264.
- Ananya, R., P. Sivaperumal, A. Roy and T. Lakshmi. 2021. Production of protease enzyme and antimicrobial activities from marine actinobacterium of *Streptomyces* sp. *Journal of Pharmaceutical Research International*. 33 (63A): 302-311.
- Blieva, R.K., K.G. Mustafin, N.N. Akhmetsadykov, Z.B. Suleimenova, A.K. Kalieva, Z.B. Narmuratova, Z.K. Saduyeva, A.S. Zhakipbekova and I.E. Tapenbayeva. 2021. Optimization of culture medium for enhanced protease biosynthesis in *Streptomyces globisporus*. *RASAYAN J. Chem*. 14 (1): 270-275.
- Buedenbender, L., A.R. Carroll, M. Ekins and D.I. Kurtböke. 2017. Taxonomic and metabolite diversity of actinomycetes associated with three Australian ascidians. *Diversity*. 9(4): 1 – 18.
- Brzezinska, M.S., U. Jankiewich and M. Walczak. 2013. Biodegradation of chitinous substances and chitinase production by the soil actinomycetes *Streptomyces rimosus*. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 84: 104-110.
- Cabrera, R., H. García-López, E. Aguirre-von-Wobeser, J.A. Orozco-Avitia and A.H. Gutierrez-Saldana. 2020. Amycolatopsis BX17: an actinobacterial strain isolated from soil of a traditional milpa agroecosystem with potential biocontrol against *Fusarium graminearum*. *Biological Control*. 147: 104285.
- Distanbun Aceh. 2022. *Statistik Perkebunan Aceh 2021*. Dinas Pertanian dan Perkebunan Aceh. Banda Aceh.
- Elsie, N. Herlina, dan R.T. Putri. 2018. Isolasi actinomycetes endofit dari tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) dan uji aktivitas senyawa antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *Photon: Jurnal Sain dan Kesehatan*. 8(2):13-22.
- Flori, F., Mukarlina dan Rahawati. 2020. Potensi antagonis isolat bakteri *Bacillus* spp. asal rizosfer tanaman lada (*Piper nigrum* L.) sebagai agen pengendali jamur *Fusarium* sp. *JDF. Bioma: Jurnal Biologi Makassar*. 5(1): 111 – 120.
- Harni, R., I.M. Trisawa dan A. Wahyudi. 2011. Observasi dan identifikasi penyakit jamur akar putih pada tanaman pala di Kabupaten Aceh selatan. *Buletin RISTR*. 2(3): 383-390.
- Hartmann, D.O.K. Shimizu, M. Rothkegel, M. Petkovic, R. Ferraz, Z. Petrovski, L.C. Branco, J.N.C. Lopes and C.S. Pereira. 2021. Tailoring amphotericin B as an Ionic liquid: an upfront strategy to potentiate the biological activity of antifungal drugs. *RSC Advances*. 11: 14441-14452.
- Khasabuli, O.Y. & A.K. Nyamache. 2014. Isolation, characterization and primary screening of soil actinomycetes from Kenyatta University Arboretum Grounds for antibacterial activities. *Journal of Applied Biosciences*. 74: 6072-6079.
- Meena, L.I., E. Rajeswari, P. Ahiladevi, A. Kamalakannan and T. Kalaiselvi. 2022. Antifungal potential of *Streptomyces rameus* GgS 48 against mungbean root rot [*Rhizoctonia bataticola* (Taub.) Butler]. *Journal of Bioscience*. 47 (10).
- Ngamsurach, P. & P. Praipipat. 2022. Antibacterial activities against *Staphylococcus aureus* and extracted piper batle leaf material by disc diffusion assay and batch experiment. *RSC Advances*. 12: 26435-26454.
- Omorusi, V.I., O.I. Eguavoen, N.O. Ogbebor, B.O. Bosah, K. Orumwense, and K. Ijie. 2014. Control of white root rot disease in rubber plantations in Nigeria. *International Journal of Microbiology and Immunology Research*. 3(4): 46-51.
- Ouchari, L., A. Baukeskasses, B. Bouizgarne and Y. Ouhdouch. 2019. Antimicrobial potential of actinomycetes isolated from the unexplored hot merzouga desert and their taxonomic diversity. *Biology Open*. 8(2019): 1 – 7.
- Polyak, Y.M. & V.I. Sukharevich. 2021. Detection and regulation of antagonistic properties of the soil actinomycete *Streptomyces* sp. 89. *Biol. Bull*. 48: 626-634.

- Rodriguez, J.A., J.J.R. Perez, E.E.Q. Angular and L.G.H. Montiel. 2022. Actinomycete potential as biocontrol agent of phytopathogenic fungi: mechanisms, source, and applications. *Plants*. 3201 (11): 1-15.
- Srividra, S., A. Thapa, D.V.Bhat, K. Golmei and N. Dey. 2012. *Streptomyces* sp. as effective biocontrol against chilli soilborne fungal phytopatogens. *European Journal of Experimental Biology*. 2(1): 163-173.
- Susanna, M.S. Sinaga, S. Wiyono dan H. Triwidodo. 2019. Faktor lingkungan dan teknik budi daya terhadap epidemi penyakit mati meranggas pada pohon pala di Aceh Selatan. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 15(6): 213-220.
- Takizawa, M., R.R. Colwell and R.T. Hill. 1993. Isolation and diversity of actinomycetes in the cheasepeake bay. *Applied and Environmental Microbiology*. 59(40): 997-1002.
- Vazquez-Laslop, N., and A.S. Mankin. 2018. How macrolide antibiotics work. *Trends Biochem. Sci.* 43: 668–684.
- Vijayabharathi, R., S. Gopalakrishnan, A. Sathya, M. Vasanth Kumar, V. Srinivas, and S. Mamta. 2018. *Streptomyces* sp. as plant growth promoters and host-plant resistance inducers against *Botrytis cinerea* in Chickpea. *Biocontrol Sci. Technol.* 28(1): 1140–1163.
- Wahyudi, A.T., N.G. Fithriansyah, M.F. Amri, J.A. Priyanto and A.S. Nawangsih. 2021. Screening of chitinase-producing rhizosphere actinomycetes and their genetic diversity. *Biodiversitas*. 22(10): 4186-4192.
- Wang, H., R. Tian, Q. Tian, X. Yan, L. Huang and Z. Ji. 2019. Investigation on the antifungal ingredients of *Saccharotrix yanglingensis* Hhs.015, an antagonistic endophytic actinomycete isolated from cucumber plant. *Molecules*. 24(3686): 1-12.
- Wibowo, R.H., Sipriyadi, N.R. Mubarik, I. Rusmana, and M.T. Suhartono. 2020. Isolation and screening of soil chitinolytic actinobacteria as the anti-fungal producer of plant pathogens. *Elkawnie*. 6(2):273-286.
- Wulan, R., R.I. Astuti, Y. Rukayadi, S. Estuningsih dan A. Meryandini. 2022. Seleksi, karakterisasi morfologi dan identifikasi actinobakteri penghasil mananase asal Hutan Tanah Jambi untuk produksi mananaligosakarida. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 27(2): 279 – 286.