

ISOLASI RIZOSFER TANAMAN NILAM SEBAGAI AGEN HAYATI TERHADAP *Fusarium* sp. SECARA IN VITRO

Audria Chairun Nisa¹, Filza Yulina Ade¹, Anisa Lutfia^{2*}

¹Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang
Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Barat, Kecamatan Padang Utara, Kota Padang, Sumatera Barat

²Pusat Riset Mikrobiologi Terapan, Badan Riset Inovasi dan Nasional (BRIN),

Jl. Raya Bogor KM. 46, Bogor 16911, Indonesia

E-mail: anis035@brin.go.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi dan mengkarakterisasi bakteri *Pseudomonas* spp. dari rizosfer tanaman nilam (*Pogostemon cablin* Benth.) di tiga lokasi berbeda, yaitu Aceh, Purwokerto, dan Pasaman, serta mengevaluasi potensi antagonismenya dalam menekan pertumbuhan *Fusarium* sp. yang merupakan patogen jamur penyebab busuk akar pada tanaman nilam. Isolasi bakteri menggunakan medium *Pseudomonas Isolation Agar* (PIA) dan menghasilkan 40 isolat bakteri rizosfer yang terdiri dari 14 koloni dari Aceh, 16 dari Purwokerto, dan 10 dari Pasaman. Identifikasi morfologi makroskopis menunjukkan variasi karakteristik koloni seperti warna krem/bening, tepi utuh/bergelombang, elevasi cembung, dan tekstur kental/lembut. Uji antagonisme in vitro menggunakan metode kultur ganda pada medium PDA yang dilakukan 2 kali pengamatan pada hari inkubasi ke 7 dan 14. Hasil daya hambat antagonis menunjukkan pertumbuhan radial yang tinggi (PIRG >40%) pada hari ke 7 (PW1(2): 42,86%, PW1(3): 65,71%, PW2(3): 65,71%, PW3(1): 54,29%, PW5(2): 48,57%) dan pada hari ke 14 (A1(2): 65%, A2(2): 42,5%, A3(1): 47,5%, PW1(3): 50%, PW2(1): 60%, PW2(3): 55%, PW2(4): 52,5%, PW3(1): 62,5%, PW4(2): 42,5%, PW5(2): 52,5%). Hasil ini mengindikasikan bahwa beberapa isolat *Pseudomonas* spp. Berpotensi dikembangkan sebagai agen biokontrol terhadap patogen *Fusarium* sp. pada tanaman nilam.

Keywords: *Pseudomonas* spp.; Rizosfer; Biocontrol; *Fusarium* sp.; In vitro

Abstract

This study aimed to isolate and characterize *Pseudomonas* spp. bacteria from the rhizosphere of patchouli plants (*Pogostemon cablin* Benth.) at three different location, namely Aceh, Purwokerto, and Pasaman, to evaluate their antagonistic potential in suppressing the growth of *Fusarium* sp., a fungal pathogen causing root rot in patchouli plants. Isolation of bacteria was performed using *Pseudomonas Isolation Agar* (PIA) medium, yielding 40 rhizosphere bacterial isolates, consisting of 14 from Aceh, 16 from Purwokerto, and 10 from Pasaman. Macroscopic morphological identification revealed variations in colony characteristics such as cream/clear color, entire/undulate margins, convex elevation, and viscous/butyrus texture. In vitro antagonism tests via dual culture method on PDA medium were observe twice after 7 and 14 days of incubation, showing strong percentage inhibition of radial growth (PIRG >40%) on day

7 (PW1(2): 42,86%, PW1(3): 65,71%, PW2(3): 57,14%, PW3(1): 54,29%, PW5(2): 48,57% and on day 14 (A1(2): 65%, A2(2): 42,5%, A3(1): 47,5%, PW1(3): 50%, PW2(1): 60%, PW2(3): 55%, PW2(4): 52,5%, PW3(1): 62,5%, PW4(2): 42,5%, PW5(2): 52,5%). These findings indicate that several *Pseudomonas* spp. isolates have potential to be developed as biocontrol agents against *Fusarium* sp. pathogens in patchouli plants.

Keywords: *Pseudomonas* spp.; Rizosfer; Biocontrol; *Fusarium* sp.; In vitro

1. PENDAHULUAN

Tanaman Nilam (*Pogostemon cablin* Benth.) merupakan salah satu tanaman perkebunan penghasil minyak atsiri. Indonesia menjadi negara penghasil minyak nilam terbesar di dunia yang menyumbang sekitar 90% dari total produksi global (Ginting *et al.*, 2007). Sehingga tanaman nilam telah menjadi salah satu komoditas yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan secara optimal. Pengembangan tanaman nilam telah tersebar di berbagai daerah di Indonesia, dengan Provinsi Nanggroe Aceh Darusalam sebagai penghasil utama. Provinsi lain yang juga berkontribusi signifikan antara lain Sumatera Utara, Sumatera Barat, Bengkulu, Lampung, Jawa Tengah dan Jawa timur (Agustiar & Sa'adan, 2016).

Tanaman Nilam telah lama dibudidayakan, namun hasil produksinya masih tergolong rendah dan masih banyak hambatan yang dialami petani dalam membudidayakan tanaman ini. Rendahnya produktivitas antara lain diakibatkan oleh penggunaan teknologi budidaya yang masih sederhana, serangan penyakit, serta gangguan hama (Syakir & Gusmaini, 2020). Patogen yang menyerang tanaman nilam, seperti jamur *Fusarium* sp. yang dilaporkan oleh Zulfadli *et al.* (2023) juga menjadi penyebab kematian tanaman nilam. Jamur ini diketahui dapat menyerang akar tanaman, mengubah warnanya menjadi kuning dan coklat, mengganggu distribusi air hingga menyebabkan tanaman layu dan pertumbuhan terhambat. Seiring perkembangan penyakit, akar tanaman yang terinfeksi akan berubah menjadi coklat kehitaman atau abu-abu putih, lalu mengalami pembusukan dan akhirnya mati

(Zulfadli et al., 2023).

Penggunaan bahan kimia menjadi teknik pengendalian umum bagi petani, tetapi dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Pemanfaatan mikroorganisme sebagai agens pengendali hayati menjadi salah satu alternatif dalam mengurangi penggunaan pestisida sintentik. Salah satu agens hayati yang banyak dimanfaatkan yaitu mikroorganisme yang berasal dari rizosfer. Rizosfer merupakan tanah di sekitar perakaran tanaman yang menjadi habitat bagi bakteri yang berperan penting bagi pertumbuhan tanaman (Azzahra et al., 2025). *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) adalah sekelompok bakteri yang terdapat pada rizosfer yang memiliki peran dalam mendukung pertumbuhan tanaman serta berpotensi sebagai agen antagonis terhadap mikroorganisme patogen pada tanaman Fauzaan et al., 2022)

Pseudomonas merupakan salah satu genus PGPR utama di rizosfer dan di dalam jaringan tanaman yang sangat berkontribusi terhadap pertanian berkelanjutan. Pada penelitian (Murthi et al. (2016) menunjukkan bahwa *Pseudomonas* memiliki potensi sebagai PGPR yang berfungsi dan berkontribusi dalam melarutkan fosfat, menyediakan nitrogen dan mineral lain dan menghasilkan senyawa fitohormon serta senyawa ekstraseluler yang dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman. *Pseudomonas* juga memiliki sistem enzimatik yang kompleks serta mampu menghasilkan enzim hidrolitik yang berpengaruh besar dalam menekan perkembangan penyakit pada tanaman (Dimkić et al., 2022). Selama dua dekade terakhir, *Pseudomonas* banyak dimanfaatkan dalam pertanian berkelanjutan sebagai agens biokontrol, pemacu pertumbuhan tanaman, serta dalam mengatasi stress biotik dan abiotik pada tanaman (Kumar et al., 2017). Berbagai penelitian sebelumnya telah melaporkan keberhasilan isolasi bakteri rizosfer dari berbagai jenis tanaman dan substrat dengan potensi sebagai agen biokontrol dan pemacu pertumbuhan tanaman. *Pseudomonas* sp. banyak diisolasi dari rizosfer tanaman nilam, padi, jagung, dan tanaman hortikultura, serta diketahui

mampu menghambat pertumbuhan patogen tular tanah seperti *Fusarium* sp. melalui mekanisme antibiosis, kompetisi nutrisi, dan produksi enzim hidrolitik Kumar et al., 2017; Dimkić et al., 2022). Selain itu, penelitian lain menunjukkan bahwa isolat *Pseudomonas* yang berasal dari rizosfer tanaman aromatik memiliki kemampuan adaptasi yang baik pada berbagai substrat tanah dan berperan dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stress biotik maupun abiotik (Santoyo et al., 2012). Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa rizosfer tanaman nilam berpotensi menjadi sumber bakteri rizosfer yang efektif sebagai agen biokontrol terhadap patogen tanah. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang bertujuan untuk melihat pengaruh bakteri rizosfer dari tanaman nilam terhadap pertumbuhan *Fusarium* sp. jamur patogen penyebab busuk akar sebagai agen biokontrol secara in vitro.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang bertujuan untuk mengisolasi dan menguji kemampuan antagonis bakteri rizosfer tanaman nilam terhadap jamur patogen *Fusarium* sp. Sampel tanah rizosfer diambil dari tiga daerah sentra tanaman nilam, yaitu Aceh, Purwokerto, dan Pasaman, pada area perakaran tanaman yang dianggap mewakili kondisi umum rizosfer di masing-masing lokasi. Seluruh rangkaian penelitian, mulai dari proses isolasi bakteri rizosfer, pemurnian isolat, pengamatan morfologi koloni secara makroskopis, hingga uji antagonis secara in vitro terhadap *Fusarium* sp., dilaksanakan di laboratorium bioteknologi KST BRIN BJ Habibie, Serpong, Tangerang Selatan, Banten.

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain tabung reaksi, erlenmeyer, gelas ukur, cawan petri, jarum ose, spreader, cork borer, inkubator, oven, autoklaf, shaker inkubator, laminar air flow. Bahan-bahan yang digunakan meliputi Rizosfer

tanaman nilam, Isolat *Fusarium* sp., Medium *Pseudomonas Isolation Agar* (PIA), Medium *Nutrient Broth* (NB), Medium *Potato Dextrose Agar* (PDA), Aquades.

2.2 Prosedur Penelitian

Pengambilan sampel tanah rizosfer tanaman nilam dari tiga lokasi berbeda, yaitu Aceh, Purwokerto, dan Pasaman. Masing-masing sampel ditimbang sebanyak 30 g, kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer berisi 225 ml aquades steril dan dikocok hingga homogen. Suspensi tanah selanjutnya diencerkan secara berseri hingga 10^{-9} dalam tabung reaksi berisi 9 ml aquades steril, lalu tiap pengenceran diinokulasikan ke cawan petri berisi medium selektif *Pseudomonas Isolation Agar* (PIA) dengan dua kali ulangan, dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang. Koloni bakteri yang tumbuh kemudian dimurnikan dan diamati morfologi makroskopisnya, meliputi ukuran, warna, bentuk, tepi, dan elevasi koloni.

Uji antagonis dilakukan secara in vitro dengan metode biakan ganda pada medium PDA, di mana isolat *Fusarium* sp. berdiameter 5 mm diletakkan pada permukaan media dan koloni bakteri rizosfer digoreskan pada jarak 4 cm dari miselium jamur. Sebagai kontrol negatif, *Fusarium* sp. ditumbuhkan tanpa keberadaan bakteri. Seluruh perlakuan diinkubasi pada suhu ruang dan dilakukan 2 kali pengamatan pada hari ke 7 dan 14, kemudian dilakukan pengukuran jari-jari koloni jamur yang tumbuh ke arah koloni bakteri dan dibandingkan dengan pertumbuhan koloni pada kontrol negatif untuk menilai kemampuan antagonis bakteri rizosfer terhadap *Fusarium* sp.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penelitian

Hasil isolasi bakteri dari 3 isolat daerah berbeda yang tumbuh pada media *Pseudomonas Isolation Agar* (PIA) diperoleh sebanyak 14 bakteri dari isolat Aceh, 16 bakteri dari isolat Purwokerto dan 10 bakteri dari isolat Pasaman (Gambar 1.)

Aceh	Purwokerto	Pasaman
A1(1)	PW1(1)	PS1(1)
A1(2)	PW1(2)	PS1(2)
A2(1)	PW1(3)	PS1(3)
A2(2)	PW2(1)	PS2(1)
A2(3)	PW2(2)	PS2(2)
A2(4)	PW2(3)	PS2(3)
A2(5)	PW2(4)	PS2(4)
A2(6)	PW3(1)	PS2(5)
A3(1)	PW3(2)	PS3(1)
A3(2)	PW3(3)	PS4(1)
A3(3)	PW3(4)	
A4(1)	PW3(5)	
A4(3)	PW4(1)	
A5(1)	PW4(2)	
	PW5(1)	
	PW5(2)	

Gambar 1. Hasil Isolasi koloni bakteri rizosfer pada medium *Pseudomonas Isolation Agar* (PIA)

Berdasarkan Gambar 1. Hasil isolasi bakteri rizosfer pada media *Pseudomonas Isolation Agar* menghasilkan total 40 isolat yang berasal dari tiga lokasi berbeda, yaitu Aceh, Purwokerto, dan Pasaman. Jumlah isolat tertinggi diperoleh dari rizosfer tanaman nilam asal Purwokerto (16 isolat), diikuti oleh Aceh (14 isolat), sedangkan Pasaman menghasilkan jumlah isolat yang relatif lebih sedikit (10 isolat). Perbedaan jumlah isolat antar lokasi menunjukkan adanya variasi populasi bakteri rizosfer yang diduga dipengaruhi oleh perbedaan kondisi lingkungan, karakteristik tanah, serta aktivitas mikroba di sekitar perakaran tanaman. selain menunjukkan variasi jumlah bakteri yang tumbuh, terdapat juga karakter morfologi koloni yang cukup

beragam.. Perbedaan ini terlihat dari ukuran, warna, bentuk, elevasi dan tepi (Tabel 1). Pengamatan disesuaikan berdasarkan acuan dari American Type Culture Collection (ATCC, 2015) dalam *Introduction to Microbiology*.

Tabel 1. Identifikasi Morfologi Koloni Bakteri Rizosfer Tanaman Nilam (*Pogostemon cablin* Benth.)

Kode Isolat	Warna (Color)	Margin	Elevasi (Elevation)	Texture	Apperance
A1(1)	Krem	Entire	Convex	Viscous	Mengkilap
A1(2)	Krem	Entire	Convex	Viscous	Mengkilap
A2 (1)	Krem	Entire	Convex	Viscous	Mengkilap
A2(2)	Krem	Entire	Convex	Viscous	Mengkilap
A2(3)	Krem	Entire	Convex	Viscous	Mengkilap
A2(4)	Krem	Entire	Convex	Viscous	Mengkilap
A2(5)	Krem	Entire	Convex	Butyrous	Mengkilap
A2(6)	Krem	Entire	Convex	Butyrous	Mengkilap
A3(1)	Krem	Undulate	Convex	Butyrous	Mengkilap
A3(2)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap
A3(3)	Krem	Entire	Convex	Viscous	Mengkilap
A4(1)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap
A4(3)	Bening	Filamentous	Convex	Viscous	Mengkilap
A5(1)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap
PW1(1)	Krem	Entire	Convex	Butyrous	Mengkilap
PW1(2)	Krem	Undulate	Convex	Butyrous	Mengkilap
PW1(3)	Krem	Undulate	Convex	Butyrous	Mengkilap
PW2(1)	Bening	Filametous	Convex	Butyrous	Mengkilap
PW2(2)	Bening	Filamentous	Convex	Butyrous	Mengkilap
PW2(3)	Bening	Filamentous	Convex	Viscous	Mengkilap
PW2(4)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap
PW3(1)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap
PW3(2)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap
PW3(3)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap
PW3(4)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap
PW3(5)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap
PW4(1)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap
PW4(2)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap
PW5(1)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap
PW5(2)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap
PS1(1)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap
PS1(2)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap

Kode Isolat	Warna (Color)	Margin	Elevasi (Elevation)	Texture	Apperance
PS1(3)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap
PS2(1)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap
PS2(2)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap
PS2(3)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap
PS2(4)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap
PS2(5)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap
PS3(1)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap
PS4(1)	Krem	Undulate	Convex	Viscous	Mengkilap

Pengukuran daya antagonis dilakukan dengan mengamati jari-jari koloni patogen *Fusarium* sp. yang medekati bakteri antagonis menggunakan mistar. Kemampuan antagonis isolat bakteri rizosfer diketahui dengan penghitungan PIRG (*Percentage Inhibition of Radial Growth* (% hambat) (Singh & Vijay, 2011) sebagai berikut:

$$\text{PIRG (\%)} = \frac{R1-R2}{R1} \times 100\%$$

Keterangan :

PIRG = Percentage Inhibition of Radial Growth (%hambat)

R1 = Jari-jari koloni jamur *Fusarium* sp. tanpa antagonis (Kontrol)

R2 = Jari-jari koloni jamur *Fusarium* sp. yang mendekati bakteri endofit

Rata-rata persentase antagonis (%) bakteri rizosfer terhadap jamur *Fusarium* sp. pada hari ke-7 dan ke-14 setelah inokulasi (tabel 2).

Tabel 2. Persentase uji daya hambat bakteri antagonis terhadap *Fusarium* sp.

Kode Isolat	Daya Antagonis	
	Hari ke-7	Hari ke-14
A1(1)	42,86%	2,5%
A1(2)	25,71%	65%
A2(1)	28,57%	32,5%
A2(2)	34,29%	42,5%
A2(3)	22,86%	5%
A2(4)	28,57%	27,5%
A2(5)	31,43%	-

Kode Isolat	Daya Antagonis	
	Hari ke-7	Hari ke-14
A2(6)	28,57%	12,5%
A3(1)	25,71%	47,5%
A3(2)	20%	–
A3(3)	–	–
A4(1)	17,14%	–
A4(3)	14,29%	–
A5(1)	8,57%	–
PW1(1)	22,86%	12,5%
PW1(2)	42,86%	–
PW1(3)	65,71%	50%
PW2(1)	60%	60%
PW2(2)	28,57%	20%
PW2(3)	57,14%	55%
PW2(4)	40%	52,5%
PW3(1)	54,29%	62,5%
PW3(2)	25,71%	25%
PW3(3)	34,29%	–
PW3(4)	17,14%	–
PW3(5)	11,43%	–
PW4(1)	28,57%	12,5%
PW4(2)	34,29%	42,5%
PW5(1)	40%	30%

Kode Isolat	Daya Antagonis	
	Hari ke-7	Hari ke-14
PW5(2)	48,57%	52,5%
PS1(1)	5,71%	–
PS1(2)	20%	–
PS1(3)	14,29%	12,5%
PS2(1)	20%	25%
PS2(2)	–	–
PS2(3)	14,25%	12,5%
PS2(4)	14,25%	–
PS2(5)	14,25%	25%
PS(3)1	14,25%	12,5%
PS4(1)	40%	25%

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap kemampuan daya hambat isolat bakteri terhadap jamur patogen *Fusarium sp.*, daya hambat tersebut dapat diketahui dari perbedaan diameter koloni kontrol jamur *Fusarium sp.* dengan diameter jamur pada perlakuan dengan masing-masing kode isolat bakteri rizosfer. Dalam penelitian ini penentuan kategori intensitas persentase daya hambat mengacu pada Prastya et al., (2014), yang dibagi menjadi tiga kategori yaitu daya hambat kuat pada rentang ($>40\%$), daya hambat sedang ($40\% < x < 30\%$), dan daya hambat lemah ($<30\%$). Beberapa isolat bakteri yang diujikan rata-rata menunjukkan daya hambat sedang yaitu berkisar antara 30% - 40% pada hari ke-7, terdapat juga beberapa isolat lain seperti PW1(2), PW1(3), PW2(3) dan PW3(1), PW 5(2) yang termasuk kategori kuat karena memiliki persentase daya hambat diatas 40% . Isolat-isolat berkategori kuat ini dianggap memiliki kemampuan antagonis yang baik karena mampu menekan pertumbuhan miselium *Fusarium sp.* secara nyata pada fase awal

inkubasi. Penurunan persentase daya hambat pada sebagian isolat hingga hari ke-14 menunjukkan bahwa kemampuan antagonistik bakteri terhadap *Fusarium* sp. dapat dipengaruhi oleh fase pertumbuhan bakteri dan patogen serta dinamika kompetisi nutrisi selama inkubasi. Namun, beberapa isolat seperti A1(2), A2(1), A2(2), A3(1), PW1(3), PW5(1), PW5(2), PW2(1), PW2(3), PW2(4), PW3(1), dan PW4(2) masih mampu mempertahankan daya hambat sedang hingga kuat, yang mengindikasikan adanya mekanisme antagonisme yang relatif stabil.

Kemampuan isolat bakteri rizosfer dalam menghambat pertumbuhan *Fusarium* sp. diduga berkaitan dengan produksi senyawa antimikroba, siderofor, serta enzim hidrolitik seperti kitinase dan β -1,3-glukanase yang mampu merusak dinding sel jamur patogen (Raaijmakers et al., 2009). Selain itu, bakteri rizosfer juga dapat menekan patogen melalui mekanisme kompetisi ruang dan nutrisi di daerah rizosfer (Weller, 2007). Beberapa bakteri rizosfer dilaporkan mampu menginduksikan ketahanan sistemik tanaman atau *induced systemic resistance* (ISR), sehingga secara tidak langsung menghambat perkembangan patogen tular tanah seperti *Fusarium* sp (Compant et al., 2010). Oleh karena itu, isolat-isolat yang masih menunjukkan daya hambat sedang hingga kuat pada akhir pengamatan dinilai memiliki potensi tinggi untuk dikembangkan sebagai agen biokontrol hayati terhadap *Fusarium* sp.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Isolasi bakteri *Pseudomonas* spp. dari rizosfer tanaman nilam dari tiga daerah menghasilkan 40 isolat dengan variasi morfologi koloni seperti warna krem/bening, margin entire/undulate, dan elevasi convex, di mana sebagian besar menunjukkan daya antagonis berkategori sedang hingga kuat terhadap *Fusarium* sp. secara in vitro berdasarkan PIRG. Beberapa isolat telah diketahui dapat mempertahankan inhibisi

signifikan (>30-60%) dari hari ke-7 hingga hari ke-14. Hasil ini mengonfirmasi potensi bakteri rizosfer sebagai agen biokontrol hayati untuk mengendalikan patogen pada tanaman nilam. Penelitian lanjutan diperlukan melalui uji lapangan dan identifikasi molekuler untuk aplikasi dalam meningkatkan produktivitas pertanian ramah lingkungan.

4.2 Saran

Identifikasi molekuler dengan sekuensing gen 16rRNA direkomendasikan untuk mengkonfirmasi spesies *Pseudomonas* dan mendeteksi gen biokontrol guna memastikan mekanisme antagonisme. Selain itu, uji *in vivo* pada tanaman nilam di rumah kaca diperlukan dengan aplikasi bakteri pada rizosfer, untuk mengetahui parameter pertumbuhan (tinggi tanaman dan biomassa akar) serta mengetahui pengaruh terhadap penyakit busuk akar.

5. REFERENSI

- Agustiar, A., & Sa'adan, I. (2016). Analisis dan efisiensi pemasaran minyak nilam di Desa Kubu Kecamatan Arongan Lambalek Kabupaten Aceh Barat. *Jurnal Bisnis Tani*, 2(1), 96-104.
- Azzahra, S. A. S., Susilowati, L. E., & Suriadi, A. (2025). Populasi Mikroba Tanah Rhizosfer Tanaman Jagung Akibat Pemberian Berbagai Jenis Bahan Organik Serta Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Tanaman. *Journal of Tropical Agricultural Engineering and Biosystems-Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 13(1), 108-120.
- Compant, S., Clément, C., & Sessitsch, A. (2010). Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endosphere of plants: their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(5), 669-678.
- Dimkić, I., Janakiev, T., Petrović, M., Degraasi, G., & Fira, D. (2022). Plant- associated *Bacillus* and *Pseudomonas* antimicrobial activities in plant disease suppression via biological control mechanisms-A review. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 117, 101754.
- Fauzaan, M. F., Wijanarka, W., Kusdiyantini, E., Budiharjo, A., & Ferniah, R. S. (2022). Potensi Rizobakteri Pembentuk Endospora dari Brokoli (*Brassica oleracea* var. Italica) sebagai Agens Biokontrol *Ralstonia solanacearum* serta Biofertilizer. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 24(2), 138-146.
- Ginting, Z., Ishak, I., & Ilyas, M. (2021). Analisa kandungan Patchouli alcohol dalam formulasi sediaan minyak nilam Aceh Utara (*Pogostemon Cablin* Benth) sebagai zat

- pengikat pada parfum (Eau De Toilette). Jurnal Teknologi Kimia Unimal, 10(1), 12-23.686-690
- Kumar, A., Verma, H., Singh, V. K., Singh, P. P., Singh, S. K., Ansari, W. A., ... & Pandey, K. D. (2017). Role of *Pseudomonas* sp. in sustainable agriculture and disease management. In *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture: Volume 2: Applications in Crop Production and Protection* (pp. 195-215). Singapore: Springer Singapore.
- Mehmood, N., Saeed, M., Zafarullah, S., Hyder, S., Rizvi, Z. F., Gondal, A. S., ...& Kupe, M. (2023). Multifaceted impacts of plant-beneficial *Pseudomonas* spp. in managing various plant diseases and crop yield improvement. *ACS omega*, 8(25), 22296-22315.
- Murthi, R. S., Lisnawita, L., & Oemry, S. (2016). Potensi bakteri endofit dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman tembakau yang terinfeksi nematoda puru akar (*Meloidogyne* spp.). *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, 4(1), 106922.
- Raaijmakers, J. M., Paulitz, T. C., Steinberg, C., Alabouvette, C., & Moëne-Loccoz, Y. (2009). The rhizosphere: a playground and battlefield for soilborne pathogens and beneficial microorganisms.
- Santoso, K., & Rahmawati, R. (2019). Eksplorasi bakteri penambat nitrogen dari tanah hutan mangrove Sungai Peniti, Kabupaten Mempawah. *Protobiont*, 8(1).
- Singh, P. K., & Vijay, K. (2011). Biological control of *Fusarium* wilt of Chrysanthemum with Trichoderma and botanicals. *Journal of Agricultural Technology*, 7(6), 1603-1613.
- Syakir, M., & Gusmaini. (2020). Pengaruh penggunaan sumber Pupuk kalium Terhadap produksi Dan Mutu minyak tanaman nilam. *Jurnal Litri*, 18(2), 60-65
- Prastya, M. E., Supriyadi, A., & Kusdiyantini, E. (2014). Eksplorasi rhizobakteri 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.
- Pratama, SW, Sukanto, S, Asyiah, IS, & Ervina, YV, 2013, 'Penghambatan Pertumbuhan Jamur Patogen Kakao Phytophthora palmivora oleh *Pseudomonas fluorescence* dan *Bacillus subtilis*', *Jurnal Pelita Perkebunan*, vol. 29, no. 2, hal. 120-127
- Weller, D. M. (2007). *Pseudomonas* biocontrol agents of soilborne pathogens: looking back over 30 years. *Phytopathology*, 97(2), 250-256.
- Zulfadli, Z., Wasistha, N. I., Oktarina, H., Khairan, K., & Sriwati, R. (2023). Pathogens causing wilt diseases in patchouli plant (*Pogostemon cablin* Benth.): A review on symptoms, bioecology, and management. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1183, No. 1, p. 012027). IOP Publishing.