



**POTENSI ISOLAT BAKTERI ENDOFIT DALAM MENEKAN PENETRASI
NEMATODA *Meloidogyne* sp. PADA BIBIT TOMAT (*Solanum
lycopersicum* L.) DAN PEMANFAATANNYA
SEBAGAI *LEAFLET***

SKRIPSI

Oleh:

Inayatul Khusna

210210103032

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
JURUSAN PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN IPA
PROGRAM STUDI PENDIDIKAN BIOLOGI
JEMBER
2025**



**POTENSI ISOLAT BAKTERI ENDOFIT DALAM MENEKAN PENETRASI
NEMATODA *Meloidogyne* sp. PADA BIBIT TOMAT (*Solanum
lycopersicum* L.) DAN PEMANFAATANNYA
SEBAGAI *LEAFLET***

*diajukan untuk memenuhi Sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada
Program Studi Pendidikan Biologi*

SKRIPSI

Oleh:

Inayatul Khusna

210210103032

Dosen Pembimbing Utama: Prof. Dr. Iis Nur Asyiah, S.P., M.P.

Dosen Pembimbing Anggota: Kuswati, S.Pd., M.Si.

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS JEMBER

FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN

JURUSAN PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN IPA

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN BIOLOGI

JEMBER

2025

PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, serta sholawat tetap terlimpahkan pada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, atas selesainya skripsi ini, Saya persembahkan skripsi ini dengan segala kerendahan hati kepada :

1. Kedua Orang tua, Bapakku Almarhum Ahmad Sholeh, Meski ragamu telah kembali kepada Allah, kehangatan kasihmu tetap hidup di hatiku. Terima kasih atas doa, pengorbanan, dan cinta yang tak terukur. Semoga ilmu ini menjadi amal jariyah yang menerangi tempat peristirahatanmu.
2. Ibuku tersayang, Muslikha. Terima kasih atas doa, pengorbanan, dan cinta yang tulus. Semoga Allah melimpahkan keberkahan, kesehatan, dan kebahagiaan untukmu selalu.
3. Kakak tersayang Maslikan Arif yang selalu memberikan dukungan motivasi dan do'a yang tiada henti. Terimakasih atas semua jerih payah dan segala usaha sehingga saya sampai pada titik ini.
4. Bapak dan Ibu guru dari TK hingga Perguruan Tinggi yang telah memberikan bekal ilmu yang bermanfaat dan bimbingan dengan sepenuh hati;
5. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember yang tercinta dan selalu saya banggakan

MOTTO

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya."

(Terjemahan QS. Al-Baqarah: 286)¹

“Perang telah usai, aku bisa pulang
Kubaringkan panah dan berteriak MENANG “

(Nadin Amizah)

¹ Tafsir Ibnu Katsir Al-Qur'an. 2014. Tajwid Warna, Transliterasi Perkata, Terjemah Perkata. Jawa barat : Bekasi.

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Inayatul Khusna

NIM : 210210103032

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: “Potensi Isolat Bakteri Endofit dalam Menekan Penetrasi Nematoda *Meloidogyne* sp. pada Bibit Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) dan pemanfaatannya Sebagai *Leaflet*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 03 Juli 2025

Penulis,

(Meterai Rp 10.000,00)

Inayatul Khusna

Nim. 210210103032

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul *Potensi Isolat Bakteri Endofit dalam Menekan Penetrasi Nematoda Meloidogyne sp. pada Bibit Tomat (Solanum lycopersicum L.) dan Pemanfaatannya sebagai Leaflet* telah diuji dan disetujui oleh Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember pada :

Hari : Senin

Tanggal : 07 Juli 2025

Tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Pembimbing

Tanda Tangan

1. Pembimbing Utama

Nama : Prof. Dr. Iis Nur Asyiah, S.P., M.P. (.....)

NIP : 197306142008012008

2. Pembimbing Anggota

Nama : Kuswati, S.Pd., M.Si. (.....)

NIP : 199301082019032018

Penguji

1. Penguji Utama

Nama : Dr. Sulifah Aprilya Hariani, S.Pd., M.Pd. (.....)

NIP : 197904152003122003

2. Penguji Anggota

Nama : Dr. Ir. Imam Mudakir, M.Si. (.....)

NIP : 196405101990021001

ABSTRACT

Root nematode attack (Meloidogyne sp.) is one of the main causes of decreased productivity in tomato plants (Solanum lycopersicum L.). Chemical nematicide control often has a negative impact on the environment and human health. This research aims to analyze the potential of 3 isolates of endophytic bacteria in suppressing the penetration of meloidogyne sp. nematoda in tomato seedlings, and compile leaflets as an information medium for research results. This research was conducted at the Nematology Laboratory and Sub-Microbiology Laboratory of FKIP Jember University from January 20 to May 3, 2025. The research design is a Complete Random Design with seven treatments and three repetitions. Treatment consists of the application of three isolates of endophytic bacteria at two density levels (10^{-8} and 10^{-9} cfu/ml) and control. The number of nematodes that successfully penetrated was observed using the Whitehead Tray method and root staining. The results of the study showed that the treatment of endophytic bacteria significantly reduced the number of nematodes compared to the control. Practice 1 with Streptobacillus at a density of 10^{-8} cfu/ml gave the highest suppression of 94,68%, while the control showed an average of 20,67 nematodes. Reisolation results show that endophytic bacteria can grow back in root tissue with morphological similarity levels ranging from 71% to 100%. The validation results for the leaflet obtained an average eligibility score of 80,74% and were categorized as eligible for socialization media. In conclusion, bacteria are able to suppress the penetration of the nematode Meloidogyne sp., and leaflets can be used as an information medium for tomato farmers.

Keywords: *Endophytic bacteria, Meloidogyne sp., Tomato*

RINGKASAN

Potensi Isolat Bakteri Endofit dalam Menekan Penetrasi Nematoda *Meloidogyne* sp. pada Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) serta Pemanfaatannya sebagai Leaflet; Inayatul Khusna ; 210210103032; 2025; 42 halaman; Program Studi Pendidikan Biologi Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Permintaan tomat di Indonesia yang cukup tinggi tidak diimbangi oleh produktifitas yang tinggi. Serangan nematoda puru akar *Meloidogyne* sp. merupakan salah satu kendala utama dalam budidaya tomat yang dapat menyebabkan penurunan hasil secara signifikan. Penggunaan agen hayati seperti bakteri endofit menjadi alternatif pengendalian ramah lingkungan karena kemampuannya berkolonisasi di dalam jaringan tanaman dan menghasilkan senyawa antimikroba. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi tiga isolat bakteri endofit dalam menekan penetrasi nematoda *Meloidogyne* sp. pada bibit tomat, serta mengembangkan hasil penelitian menjadi leaflet edukatif.

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi Pendidikan Biologi dan Green House milik Prof. Dr. Iis Nur Asyiah, S.P., M.P. serta Laboratorium Nematologi Tidar. Penelitian berlangsung pada 20 Januari sampai 3 Mei 2025. Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 7 perlakuan (3 isolat bakteri endofit dengan 2 kerapatan dan kontrol), masing-masing diulang 3 kali. Parameter utama yang diamati adalah jumlah nematoda yang berhasil berpenetrasi ke dalam akar tanaman setelah perlakuan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh isolat bakteri endofit memberikan pengaruh penekanan terhadap penetrasi nematoda, dengan persentase antara 86,78% sampai 94,68%. Perlakuan 1 Isolat bakteri genus *Streptobacillus* pada kerapatan 10^8 cfu/ml merupakan perlakuan paling efektif, diikuti oleh Isolat bakteri genus *Staphylococcus* dan Isolat bakteri genus *Veillonella*. Hasil reisolasi akar menunjukkan bahwa bakteri endofit mampu tumbuh kembali pada jaringan akar, dengan tingkat kesamaan morfologi koloni hasil reisolasi terhadap isolat asal berkisar antara 71%–100%.

Hasil penelitian disusun menjadi *leaflet* yang telah divalidasi. Terdapat 3 skor validasi yakni sejumlah 36 dari ahli materi dengan nilai validasi 80%, skor 37 dari ahli media dengan nilai persentase 82,22%, dan skor 36 dengan nilai persentase 80% dari pengguna. Validasi *leaflet* rerata dari ketiga validator tersebut adalah 36,33 dengan persentase skor sebesar 80,74%. Berdasarkan hasil penelitian tersebut maka dapat diketahui bahwa *leaflet* dengan judul “Potensi Isolat Bakteri Endofit dalam Menekan Penetrasi Nematoda *Meloidogyne* sp. Pada Bibit Tomat” layak dan valid dijadikan media informasi oleh petani.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah bakteri endofit genus *Streptobacillus*, genus *Veilonella*, dan genus *Staphylococcus* berpotensi sebagai agen hayati dalam menekan penetrasi nematoda *Meloidogyne* sp. pada bibit tomat. Hasil penelitian ini juga dikembangkan dalam bentuk *leaflet* yang divalidasi dan dinyatakan layak sebagai media edukasi pengendalian hayati nematoda.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Potensi Isolat Bakteri Endofit dalam Menekan Penetrasi Nematoda *Meloidogyne* sp. pada Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) dan Pemanfaatannya sebagai *Leaflet*” guna memenuhi syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Biologi, Jurusan Pendidikan MIPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember .

Penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan dengan lancar berkat bantuan dan bimbingan dari semua pihak yang mendukung. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada :

1. Dr. Mohammad Nai'm , M.Pd. selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Dr. Erfan Yudianto, S.Pd., M.Pd. selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
3. Prof. Erlia Narulita, S.Pd., M.Si., Ph.D. selaku Koordinator Program Studi Pendidikan Biologi FKIP UNEJ;
4. Prof. Dr. Iis Nur Asyiah, S.P., M.P., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah membimbing dan meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian serta memberikan fasilitas untuk menyelesaikan skripsi ini;
5. Kuswati, S.Pd., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah membimbing, mengarahkan, meluangkan waktu dan memberikan ilmu serta motivasi dalam penyelesaian skripsi ini;
6. Dr. Sulifah Aprilya Hariani, S.Pd., M.Pd. dan Dr. Ir. Imam Mudakir, M.Si, selaku dosen penguji utama dan penguji anggota yang telah memberikan masukan dan saran dalam menyelesaikan skripsi ini;
7. Prof. Dr. Jekti Prihatin, M.Si. selaku dosen pembimbing akademik yang selalu membimbing dan memberikan motivasi selama menjalani perkuliahan

8. Seluruh dosen pengampu mata kuliah di Program Studi Pendidikan Biologi yang telah memberikan ilmu dan wawasan yang berguna selama studi;
9. Teknisi Laboratorium Program Studi Pendidikan Biologi Mbak Ellena, Mbak Evie, dan Mas Fendi yang telah membimbing selama melakukan penelitian;
10. Keluarga tercinta Ibu Muslikha, Kak Arif, Kak Widia dan Adek Naufal yang telah memberikan dukungan dan doa dalam menyelesaikan skripsi ini;
11. Mohammad Maziddun Ni'am selaku sahabat dari TK yang senantiasa memberikan dukungan, pengertian, dan semangat dalam setiap proses penyusunan skripsi ini;
12. Sahabat "kost laksdiera" Fajrin, Ajeng, Anin, Ijah, Firli, Noveril, Miftah dan Anggun yang senantiasa membantu skripsi ini hingga selesai dengan baik.
13. Elfa Imanur Ridlani selaku teman yang selalu membantu dan mendukung dalam penyusunan skripsi .
14. Nailil Ula selaku sahabat dekat saya yang selalu mensupport dari MI hingga saya mencapai titik ini.
15. Seluruh teman teman angkatan 2021 dan warga A6 yang telah memberi banyak dukungan semenjak awal menjadi mahasiswa
16. Seluruh pihak yang mendukung penyelesaian penelitian skripsi ini, yang namanya tidak disebutkan satu per satu.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi banyak orang dan banyak kalangan serta semoga yang telah terlibat dalam penyusunan skripsi mendapat imbalan dari Allah SWT.

Jember, 03 Juli 2025

Penulis,

Inayatul Khusna

NIM 210210103032

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN.....	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN	vi
ABSTRACT.....	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tomat (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	5
2.2 Nematoda puru akar.....	7
2.3 Bakteri Endofit.....	10
2.4 Leaflet	11
2.5 Kerangka Berfikir	12
2.6 Hipotesis	13
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	14
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	14
3.2 Variabel Penelitian.....	14
3.3 Desain Penelitian	14
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	15
3.5 Prosedur Penelitian	15
3.6 Metode Analisis	19
3.7 Alur Penelitian	20
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Hasil penelitian	21
4.2 Pembahasan	29

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	35
5.1 Kesimpulan	35
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN-LAMPIRAN	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Kriteria Validasi leaflet.....	19
Tabel 4.1 Pengaruh bakteri endofit terhadap penetrasi nematoda <i>Meloidogyne</i> sp. pada Bibit Tomat (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	23
Tabel 4.2 Perbandingan karakteristik morofologi koloni bakteri isolat asal dengan reisolasi	26
Tabel 4.3 Hasil uji validasi leaflet.....	28

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Morfologi tanaman tomat	5
Gambar 2.2 Perbedaan morfologi <i>Meloidogyne</i> sp. Jantan dan betina.....	7
Gambar 2. 3 Morfologi nematoda puru akar (<i>Meloidogyne</i> sp.)	8
Gambar 2. 4 Akar tanaman tomat yang terserang nematoda puru akar	9
Gambar 4. 1 Peremajaan Bakteri	21
Gambar 4. 2 Nematoda <i>Meloidogyne</i>	22
Gambar 4. 3 Grafik persentase penekanan penetrasi nematoda <i>Meloidogyne</i> sp. 24	
Gambar 4. 4 Hasil Penampang akar	25

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Matriks penelitian	Error! Bookmark not defined.
Lampiran 2. Lembar Validasi <i>Leaflet</i>	Error! Bookmark not defined.
Lampiran 3. Data Hasil Pengamatan.....	Error! Bookmark not defined.
Lampiran 4. Alat dan Bahan Penelitian	Error! Bookmark not defined.
Lampiran 5 Gambar Tanaman Tomat	Error! Bookmark not defined.
Lampiran 6. Dokumentasi Kegiatan Penelitian	Error! Bookmark not defined.
Lampiran 7 Hasil Validasi Leaflet	Error! Bookmark not defined.
Lampiran 8 Leaflet	Error! Bookmark not defined.

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tomat merupakan komoditas sayuran yang berperan penting dalam menunjang ketersediaan pangan serta asupan gizi bagi masyarakat karena mengandung berbagai nutrisi seperti potasium asamfolat, vitamin C, vitamin E, likopen dan β -karoten (Arti *et al.*, 2020, Nurjannah *et al.*, 2021). Menurut Badan Pusat Statistik (2022), produktivitas tanaman tomat dari 2018 hingga 2021 terus meningkat setiap tahunnya. Produksi tomat pada 2021 mencapai 1,11 juta ton, meningkat sebesar 2,71% (29,41 ribu ton) dari tahun 2020. Sementara itu, permintaan dan konsumsi tomat untuk rumah tangga di Indonesia juga terus meningkat setiap tahun. Konsumsi tomat oleh rumah tangga pada 2021 mencapai 677,97 ribu ton, naik sebesar 6,93% (43,96 ribu ton) dari tahun 2020. Meskipun produksi meningkat, jumlah tersebut tidak dapat memenuhi permintaan yang terus berkembang seiring dengan peningkatan kebutuhan (Assadiyah *et al.*, 2023).

Produktivitas tanaman tomat di Indonesia seringkali mengalami penurunan yang signifikan, salah satunya disebabkan oleh serangan hama yaitu nematoda puru akar *Meloidogyne* sp. (Pangestu *et al.*, 2023). Kerusakan akibat serangan nematoda pada tanaman tomat menyebabkan akar rusak, terganggunya penyerapan unsur hara dan air serta terhambatnya pertumbuhan tanaman (Syahrok *et al.*, 2021). *Meloidogyne* merupakan genus parasit tumbuhan obligat dengan spesies yang tersebar di seluruh dunia memiliki kemampuan untuk menginfeksi hampir setiap tanaman vaskular. Spesies utama *Meloidogyne* adalah *M. arenaria*, *M. incognita*, *M. javanica*, dan *M. hapla* (Tapia-Vazquez *et al.*, 2022).

Pengendalian nematoda yang umum dilakukan oleh petani yaitu secara kimia menggunakan nematisida sintetik. Penggunaan nematisida dengan konsentrasi yang tinggi dapat menimbulkan dampak negatif terhadap hasil pertanian, lingkungan, dan manusia (Santo *et al.*, 2019). Oleh karena itu, diperlukan solusi alternatif yang ramah lingkungan dalam mengendalikan nematoda puru akar (*Meloidogyne* sp.) guna mendukung keberlanjutan pertanian dan kehidupan yang lebih sehat. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah melalui konsep Pengendalian Hama

Terpadu (PHT), yaitu strategi pengendalian yang mengintegrasikan berbagai metode pengendalian baik secara mekanis, fisik, kimiawi, maupun biologi secara sinergis dan berkelanjutan. Dalam konteks pengendalian biologi, salah satu komponen yang berpotensi digunakan adalah bakteri endofit, yang diketahui mampu menekan populasi nematoda melalui berbagai mekanisme, seperti kompetisi ruang dan nutrisi, produksi senyawa antimikroba, serta induksi ketahanan tanaman (Kurniawati *et al.*, 2020).

Bakteri Endofit adalah sekelompok mikroba yang menghuni jaringan tanaman tanpa menyebabkan gangguan atau kerusakan pada tanaman. Endofit juga berkontribusi pada aktivitas metabolik dan fisiologis ikatan pada tanaman inang, beberapa di antaranya mengandung unsur hara akuisisi, fiksasi nitrogen, toleransi stres dan pengendalian patogen tanaman (Fadiji *et al.*, 2020). Bakteri endofit memiliki kemampuan untuk menghasilkan enzim ekstraseluler berfungsi sebagai anti-nematoda. Selain itu bakteri endofit juga menghasilkan beberapa enzim seperti kitinase, protease, HCN yang bersifat nematisidal (Pradana *et al.*, 2022). Beberapa contoh jenis bakteri endofit yaitu *Bacillus sp.* *Pseudomonas sp.* *Bacillus mycoides* dapat menekan kejadian penyakit kuning dan menekan populasi nematoda *M. Incognita* (Harni, 2016).

Penelitian tentang potensi bakteri endofit sebagai pengendalian hayati telah dilakukan pada beberapa tanaman meliputi terung, padi, seledri, tembakau, dan tomat (Zulaiha *et al.*, 2022; Munif dan Nurjayadi, 2021; Althaf *et al.*, 2022; Murthi *et al.*, 2015; Pradana *et al.*; 2020). Bakteri endofit mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman karena menghasilkan komponen penting seperti mineral fosfat, aktivitas asam fosfatase, adanya deaminase *asam 1-aminocyclopropane-1-karboksilat* (ACC). Selain itu bakteri endofit dapat menghasilkan senyawa antimikroba dan antibiotik yang berperan dalam menginduksi ketahanan tanaman terhadap serangan penyakit dan hama seperti salah satunya yaitu bersifat toksik terhadap larva nematoda (Kurniawati *et al.*, 2020).

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa menggunakan bakteri endofit dapat mengurangi penetrasi dan jumlah nematoda. Sebagai contoh, isolat bakteri endofit yang berasal dari tanaman padi terbukti efektif dalam meningkatkan

kematian juvenil 2 *M. graminicola* sebesar 99.5% - 100% dan mengurangi jumlah puru akar pada tanaman padi sebesar 42.2% - 49.3%. Isolat bakteri endofit ini dapat digunakan sebagai agen pengendali hayati untuk nematoda *Meloidogyne* sp. dengan tingkat kematian sekitar 45.33% - 50.67% (Munif *et al.*, 2021).

Pada penelitian sebelumnya diperoleh hasil bahwa terdapat 3 isolat bakteri endofit dari akar tanaman tomat yang berpotensi dalam mengendalikan *Meloidogyne incognita* dengan didapatkan indeks protease yang besar yaitu bakteri dari genus *Streptobacillus*, *Staphylococcus* dan *Veillonella*. Namun 3 isolat tersebut belum dilakukan uji penetrasi nematoda pada bibit tomat, untuk mengetahui apakah bakteri endofit sebagai agen hayati dapat menekan penetrasi nematoda dengan enzim yang terkandung didalamnya seperti kitinase, protease dan lipase (Halimah *et al.*, 2016).

Enzim kitinase dan lipase yang dihasilkan oleh bakteri endofit juga membantu menjaga kesehatan bibit tomat. Kitinase dapat memicu sistem pertahanan tanaman dengan memecah senyawa kitin yang bersifat sebagai pemicu alami (elicitor), sehingga akar lebih tahan terhadap stres biotik maupun abiotik (Mohamad *et al.*, 2022). Di sisi lain, lipase berfungsi menjaga stabilitas membran sel akar dengan memperbaiki kerusakan akibat stres, sehingga penyerapan air dan unsur hara tetap berjalan optimal dan mendukung pertumbuhan bibit (Wei *et al.*, 2024).

Pemanfaatan bakteri endofit sebagai agen pengendali hayati bagi nematoda *Meloidogyne* sp. yang aman dan ramah lingkungan kurang diketahui oleh masyarakat luas khususnya para petani tomat. Sehingga perlu dilakukan sosialisasi mengenai nematoda *Meloidogyne* sp. dan cara pengendaliannya dengan menggunakan suatu media yang informatif seperti *leaflet*. *Leaflet* mengandung materi yang lebih ringkas dan disusun dengan menggunakan bahasa yang mudah dimengerti disertai dengan gambar-gambar (Pratiwi dan Ritonga, 2023). Diharapkan dengan penyusunan *leaflet* ini dapat menambah wawasan pengetahuan masyarakat khususnya petani mengenai hasil dari penelitian ini. Berdasarkan latar belakang diatas maka dilakukan penelitian dengan judul **“Potensi Isolat Bakteri Endofit dalam Menekan Penetrasi Nematoda *Meloidogyne* sp. pada Bibit Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) dan Pemanfaatannya sebagai *Leaflet*.”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan, dapat dirumuskan masalah dalam penelitian sebagai berikut :

- a. Bagaimana potensi 3 isolat bakteri endofit dalam menekan penetrasi nematoda *Meloidogyne* sp. pada bibit tomat (*Solanum lycopersicum* L.) ?
- b. Bagaimana hasil validasi *leaflet* mengenai “ Potensi 3 isolat bakteri endofit dalam menekan penetrasi nematoda *Meloidogyne* sp. pada bibit tomat (*Solanum lycopersicum* L.)? ”

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, terdapat beberapa tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini, diantaranya:

- a. Menganalisis Potensi 3 isolat bakteri endofit dalam menekan penetrasi nematoda *Meloidogyne* sp. pada bibit tomat (*Solanum lycopersicum* L.)
- b. Mengetahui Kelayakan *leaflet* hasil penelitian tentang Potensi 3 isolat bakteri endofit dalam menekan penetrasi nematoda *Meloidogyne* sp. pada bibit tomat (*Solanum lycopersicum* L.)

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- a. Bagi peneliti, penelitian ini dapat membuktikan potensi bakteri endofit dalam menekan penetrasi nematoda *Meloidogyne* sp. pada bibit tomat (*solanum lycopersicum* L .)
- b. Bagi peneliti lain, penelitian ini dapat memberikan sumbangan pemikiran sebagai referensi dan motivasi dalam meneliti potensi bakteri endofit terhadap penetrasi nematoda pada bibit tanaman lainnya.
- c. Bagi masyarakat, dapat memberikan informasi mengenai manfaat bakteri endofit sebagai agen biologi yang mampu menekan penetrasi nematoda *M.incognita* pada bibit tomat (*Solanum lycopersicum* L .)
- d. Bagi ilmu pengetahuan, penelitian ini memberikan informasi tambahan mengenai potensi bakteri endofit dalam menekan penetrasi nematoda *Meloidogyne* sp. yang menyerang tanaman tomat (*Solanum lycopersicum* L.)

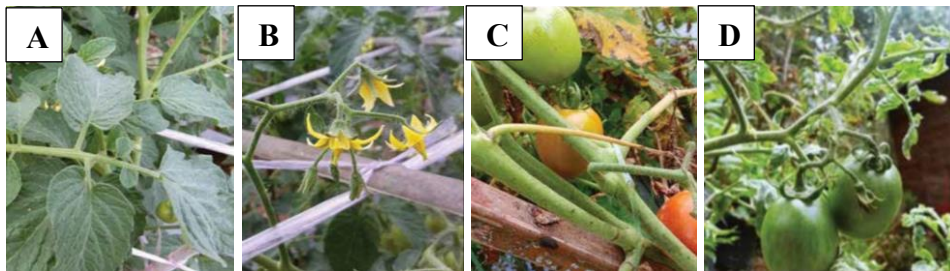
BAB 2. TINJAUAN TEORI

2.1 Tomat (*Solanum lycopersicum* L.)

Tomat (*Solanum lycopersicum*) adalah sayuran yang populer dalam banyak diet dan telah memiliki manfaat kesehatan yang beragam. Selain menjadi pilihan yang lezat dalam berbagai hidangan, tomat juga mengandung berbagai nutrisi yang penting untuk kesehatan tubuh (Ali *et al.*, 2020). Tomat mengandung lebih banyak vitamin C daripada jeruk, dan kandungan likopen yang tinggi dapat berperan dalam mencegah kanker. Setiap 150 g tomat mengandung sekitar 2 g serat, yang setara dengan sekitar 7% dari asupan serat harian yang disarankan. Selain itu, tomat juga mengandung berbagai nutrisi lainnya seperti vitamin A, vitamin B1, kalium, garam mineral, dan air (Wulandari *et al.*, 2016).

Menurut *Integrated Taxonomic Information System* (ITIS), Tomat diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Viridiplantae
Infrakingdom	: Streptophyta
Division	: Tracheophyta
Subdivision	: Spermatophytina
Class	: Magnoliopsida
Order	: Solanales
Family	: Solanaceae
Genus	: <i>Solanum</i> L.
Species	: <i>Solanum lycopersicum</i> L.



Gambar 2. 1 Morfologi tanaman tomat (A.) Daun, (B.) Bunga, (C.) Batang dan (D.) Buah Tomat (Lubis, 2020).

Pada Gambar 2.1 Tomat memiliki karakteristik morfologi akar, batang, daun bunga dan buah tersendiri seperti yang dijelaskan pada Lubis (2020). Akar tomat memiliki jenis akar tunggang karena termasuk tanaman dikotil berfungsi untuk menembus ke tanah dan terdapat rambut rambut akar untuk menyerap air dan garam mineral yang berasal dari dalam tanah. Memiliki daun majemuk dengan bentuk menyirip tersusun ganjil yaitu 5 sampai 7 helai. Tomat memiliki bunga dengan dua alat kelamin sehingga mampu melakukan penyerbukan sendiri atau disebut hermafrodit. Jumlah kelopak bunga pada 5 buah dan berwarna hijau, sedangkan mahkotanya berjumlah 5 buah berwarna kuning. Pertumbuhan tomat biasanya berlangsung selama 96 jam setelah proses penyerbukan selesai dilakukan. Kemudian, akan memasuki tahap pembuahan selama 45-50 hari. Buah matang biasanya ditandai oleh warna merahnya, dan ukuran buahnya bervariasi, mulai dari 2 cm hingga 15 cm tergantung pada varietasnya.

Untuk menghasilkan produktivitas sayuran tomat yang maksimal maka harus memperhatikan beberapa faktor sehingga dapat tumbuh dengan baik. Topografi sebagai salah satu faktor yang memiliki dampak pada pertumbuhan tanaman, karena mencakup perbedaan ketinggian atau bentuk suatu daerah, termasuk variasi kemiringan dan struktur lereng. Tanaman tomat dapat tumbuh di berbagai jenis tanah, mulai dari tanah pasir hingga tanah lempung berpasir yang subur dan memiliki kemampuan baik dalam menyalurkan air. Akar tanaman tomat rentan terhadap kekurangan oksigen, sehingga tanaman ini tidak ideal untuk ditanam di tanah yang cenderung tergenang air atau tanah yang berair. Tanah dengan tingkat keasaman (pH) antara 5,5 hingga 7,0 sangat sesuai untuk budidaya tomat (Kusrini & Aryani, 2020).

Faktor iklim, seperti curah hujan yang melebihi 750 mm per tahun, berkontribusi positif terhadap hasil produksi sayuran tomat. Tingkat curah hujan di suatu wilayah mencerminkan ketersediaan pasokan air tanah yang esensial untuk menjaga kualitas pertumbuhan sayuran tomat. Kebutuhan akan air sangat memengaruhi kualitas produksi tomat. Tingkat paparan sinar matahari juga dapat mengurangi risiko serangan penyakit pada tanaman tomat, baik yang bersifat parasit

maupun non-parasit. Selama musim hujan, dengan peningkatan kelembapan, terjadi stimulasi pertumbuhan mikroorganisme yang dapat mengganggu tanaman, sehingga risiko infeksi oleh bakteri dan jamur cenderung lebih tinggi (Kusrini & Aryuni 2020). Salah satu serangan penyakit atau hama yang dapat menurunkan produktivitas tomat adalah *Meloidogyne* sp. (Pangaribuan *et al.*, 2020).

2.2 Nematoda puru akar

Klasifikasi nematoda puru akar *Meloidogyne* sp. adalah sebagai berikut.:

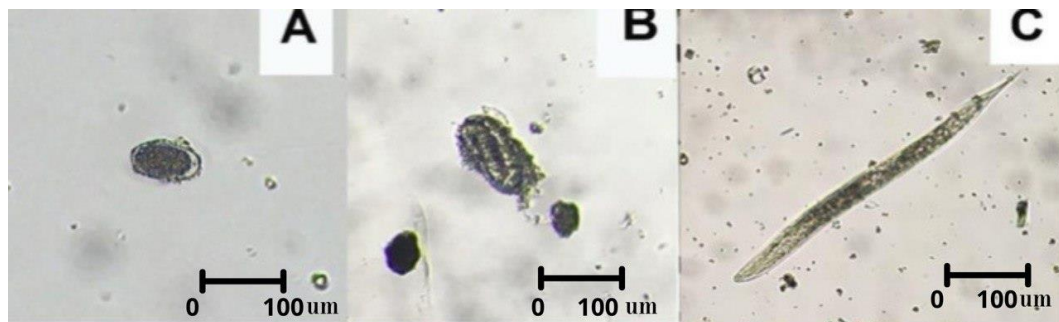
Kingdom	: Animalia
Subkingdom	: Bilateria
Infra kingdom	: Prostomia
Superphylum	: Ecdysozoa
Phylum	: Nematoda
Class	: Chromadorea
Order	: Tylenchida
Family	: Heteroderidae
Genus	: <i>Meloidogyne</i>
Species	: <i>Meloidogyne</i> sp.

(Sumber: www.itis.gov, 2023)



Gambar 2.2 Morfologi nematoda jantan dan nematoda betina (*Meloidogyne* sp.) (A) Nematoda jantan menjelang stadia 3 pada akar (B) Nematoda betina menjelang stadia 3 (C) Nematoda betina stadia dewasa (D) Nematoda jantan stadia dewasa (Wulandari, 2019).

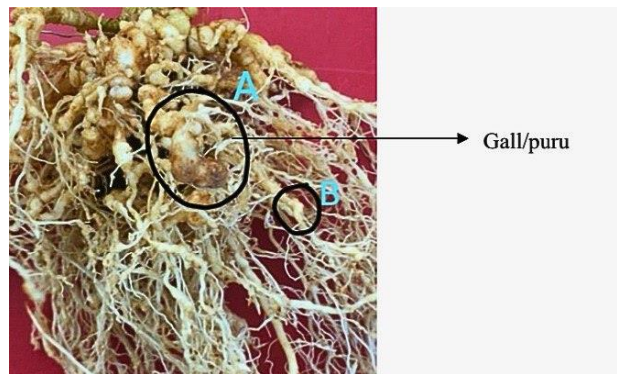
Nematoda puru akar (*Meloidogyne* sp.) memiliki bentuk tubuh sedikit gemuk dan memanjang, dengan kepala yang menyerupai topi menonjol atau membentuk lembah pada bagian tengah bibir. Stilet kuat disertai knob kecil hingga sedang, dan ujung ekornya tumpul.). Pada Gambar 2.2 *Meloidogyne* sp. jantan dan betina dapat dibedakan dikarenakan memiliki struktur anatomi dan bentuk tubuh yang berbeda. Nematoda betina memiliki bentuk menyerupai botol dengan leher pendek dan tanpa ekor. Bentuk juvenil mirip dengan Heterodera, namun lebih kecil dan dilengkapi dengan stilet yang lebih pendek dan kecil. Sementara itu, nematoda jantan memiliki bentuk cacing dan hidup bebas di dalam tanah dengan panjang sekitar 1-2 mm. Ketika terpapar panas, tubuh nematoda yang mati akan membentuk lingkaran sekitar 180 derajat. Stilet dan kerangka kepalanya kuat, tanpa lekukan, dan panjang stiletnya hampir dua kali lipat panjang stilet betina. Ekor nematoda jantan pendek dan berbentuk bulat, membentuk setengah lingkaran (Durahman *et al.*, 2014)



Gambar 2. 2 Morfologi nematoda puru akar (*Meloidogyne* sp.) (A) Telur nematoda (B) Nematoda stadia satu dalam telur (C) Nematoda stadia 2 dalam tanah (Wulandari,2019).

Pada Gambar (2.3) dengan perbesaran mikroskop 100x terlihat perkembangan telur nematoda dan larva yang mengalami pergantian kulit pertama di dalam telur pada stadia 1. Hal ini terdeteksi dalam sampel tanah yang diambil di sekitar akar tanaman. Selanjutnya, nematoda stadia 2 terlihat melakukan penetrasi ke dalam perakaran tanaman. Temuan ini didukung oleh pernyataan Winarto (2008) yang menyatakan bahwa telur nematoda (*Meloidogyne* sp.) memiliki bentuk elips dengan ukuran 67-128 μm x 30-35 μm .Pergantian kulit pertama (larva stadia I) umumnya terjadi di dalam telur. Setelah menetas dari telur menjadi larva stadia II, nematoda masuk ke dalam akar dengan menembusnya menggunakan stilet. Setelah nematoda

stadia 2 berhasil melakukan penetrasi ke dalam sistem perakaran, terlihat nematoda jantan stadia 2 dan nematoda betina menjelang stadia 3 diperakaran. Nematoda dewasa juga terlihat membentuk masa telur di dalam akar. Setelah berhasil masuk ke dalam akar, larva bergerak di antara sel-sel (Wulandari,2019). Ketika menemukan inang yang cocok, nematoda akan melakukan penetrasi langsung melalui kutikula atau lubang alami pada integumen inangnya misalnya mulut, anus, dan spirakel. Kemudian keberhasilan penetrasi yang dilakukan oleh nematoda dapat menyebabkan kerusakan akar dan juga menghambat perkembangan akar, serta menurunkan keseimbangan hormonal (Chamzurni *et al.*, 2021).



Gambar 2. 3 Akar tanaman tomat yang terserang nematoda puru akar dan Bentuk puru pada akar tanaman yang diserang oleh nematoda *Meloidogyne* sp.(A) Puru berukuran besar, (B) Puru berukuran kecil (Nandriati,2020).

Nematoda puru akar (*Meloidogyne* sp.) adalah parasit obligat yang memiliki banyak jenis inang, menyerang sekitar 2000 spesies tanaman. Serangan dari nematoda ini dapat menyebabkan kerusakan pada jaringan akar, mengakibatkan gangguan fisiologis pada tanaman (Syahid *et al.*, 2021). Kerapatan populasi nematoda parasit tanaman di sekitar tanaman dapat memengaruhi tingkat kerusakan akar tanaman. Semakin tinggi kerapatan populasi nematoda parasit, semakin tinggi tingkat kerusakan akar tanaman. Apabila tanaman diserang oleh nematoda, sistem perakaran yang normal akan mengalami pengurangan, menyebabkan gangguan pada jaringan berkas pengangkut. Gejala kerusakan tanaman akibat nematoda di bawah permukaan tanah dapat berupa puru pada akar (Gambar 2.4), sementara gejala di atas permukaan tanah mencakup tanaman yang menjadi kerdil, mengalami klorosis, layu, dan bahkan kematian (Khotimah *et al.*,2020). Oleh karena itu perlu

mengatasi nematoda *Meloidogyne incognita* agar produktivitas tomat terus meningkat dengan cara yang tepat dan aman salah satunya menggunakan pengendalian hayati dengan bakteri endofit.

2.3 Bakteri Endofit

Pengendalian biologi atau hayati merupakan suatu pemanfaatan mikroorganisme yang bertujuan untuk mengendalikan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) salah satunya yaitu Nematoda puru akar (Arifien,2023). Agen hayati atau biologis merupakan organisme seperti fungi, bakteri, virus actinomycetes, dan lainnya memiliki karakteristik inang spesifik dan kapasitas untuk mengendalikan tanaman dari nematoda parasit. Mikroba, seperti jamur dan bakteri, yang menjadi dominan di ekosistem tanah alami, mempunyai potensi yang signifikan dalam pengendalian nematoda. Namun, penggunaan agen hayati sering melibatkan bakteri endofit untuk mencapai kontrol yang efektif terhadap nematoda pada tanaman (Ahmad *et al.*,2021).

Bakteri endofit adalah mikroorganisme yang tinggal di dalam tanaman dapat bersaing dengan patogen dan berperan sebagai agen hayati. Inokulasi tanaman dengan bakteri endofit dapat menghambat gejala penyakit yang disebabkan oleh virus, serangga, jamur, dan bakteri patogen. Keuntungan ini berasal dari kemiripan endofit bakteri dengan bakteri rhizosfer (Hong dan Park ,2016). Bakteri endofit saat ini sering dimanfaatkan sebagai agen hayati karena mampu menghasilkan senyawa antimikrob, zat pengatur tumbuh, serta berperan dalam memfiksasi nitrogen dan memobilisasi fosfat. Kehadirannya berkontribusi pada peningkatan ketahanan dan pertumbuhan tanaman (Marwan *et al.*,2021).

Penggunaan bakteri endofit sebagai agens hayati nematoda memberikan keuntungan lebih karena bakteri tersebut dapat mengkolonisasi jaringan akar, memiliki relung yang serupa dengan patogen. Kemampuan ini sangat bermanfaat dalam mengendalikan patogen, terutama nematoda parasit tanaman yang menyerang akar. Bakteri endofit mengendalikan nematoda di dalam akar melalui mekanisme penginduksian ketahanan, kompetisi dalam ruang akar, dan produksi metabolit anti-nematoda. Bakteri endofit menghasilkan enzim ekstraseluler, termasuk kitinase, protease, dan selulase. Enzim kitinase khususnya penting,

berperan dalam mengendalikan patogen, terutama patogen tular tanah. Enzim ini memiliki kemampuan untuk mendegradasi dinding sel patogen yang terdiri dari senyawa kitin, seperti dinding sel cendawan, nematoda, dan serangga. Proses ini berkontribusi pada efektivitas bakteri endofit sebagai agens hayati dalam melawan pathogen (Harni,2016).

Enzim kitinase yang dihasilkan oleh bakteri endofit melalui struktur infeksi pada permukaan tubuh nematoda mampu melakukan penetrasi kutikula. Penetrasi dimulai dengan pertumbuhan spora pada kutikula. Spora bakteri menempel pada tubuh nematoda kemudian berkecambah dan menembus kutikula nematoda. Kemudian enzim kitinase akan mendegradasi lapisan telur dan menghambat penetasan telur nematoda yang sebagian besar penyusunnya adalah kitin .selanjutnya perkembangbiakan nematoda menjadi terhambat dan akhirnya akan mati (Rohmah *et al.*, 2022).

Bakteri endofit yang berpotensi sebagai agen hayati pada penelitian Aghni (2023) terdapat 3 genus bakteri yaitu *Veilonella*, *Staphylococcus*, dan *Streptobacillus*. Bakteri endofit tersebut memiliki aktivitas proteolitik atau enzim protease yang tinggi, sehingga berpotensi dalam mengendalikan *Meloidogyne sp.* (Arkadiansyah *et al.*, 2016). Penggunaan bakteri endofit seperti *Achromobacter xylosoxidans*, *Bacillus cereus*, *Alcaligenes faecalis*, *B subtilis*, dan *Pseudomonas putida* pada tanaman nilam dapat mengurangi jumlah populasi nematoda *P. brachyurus* sebesar 54,8-70,6%. Selain itu, bakteri endofit *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.* juga efektif dalam menekan kemunculan penyakit kuning, mengurangi populasi nematoda *R. similis* dan *M. incognita*, serta meningkatkan jumlah bunga per ruas dan berat basah pada tanaman lada. Adapun bakteri endofit seperti *B. pumilus* dan *Bacillus mycoides* mampu mengurangi populasi dan kerusakan akar akibat nematoda *M. incognita* sebesar 33-39% pada tanaman kopi (Harni,2016).

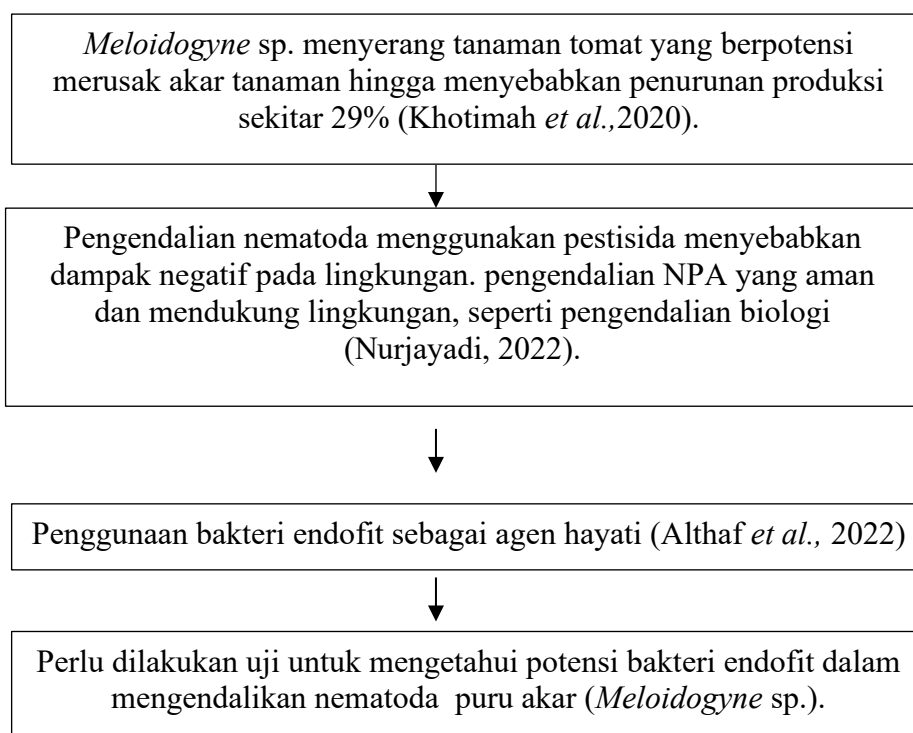
2.4 Leaflet

Leaflet adalah media informasi berbentuk brosur yang mengandung informasi yang ditujukan untuk diketahui oleh masyarakat umum. *Leaflet* memiliki format serupa dengan kertas dan umumnya berukuran lebih kecil daripada pamflet (Sari *et*

al.,2021). *Leaflet* adalah lembaran larut yang terbuat dari kertas yang mencakup konten cetak bersama dengan visual tertentu yang berkaitan dengan subjek yang dapat diidentifikasi, membantu beberapa maksud dan tujuan. *Leaflet* biasanya berukuran 20 x 30 cm dan berisi 200-400 kata dan biasanya dilipat tiga (*Astiza et al.*, 2023).

Leaflet memiliki kelebihan dalam memudahkan dan mempercepat pemahaman seseorang terhadap pesan yang disampaikan. Hal ini tercapai melalui kalimat yang ringkas, padat, dan mudah dipahami, serta didukung oleh penggunaan warna yang menarik perhatian. Selain itu, pembuatan *leaflet* relatif mudah dan ekonomis. Namun memiliki beberapa kekurangan yaitu informasi yang disajikan terbatas dan kurang spesifik, desain yang digunakan harus menyoroti fokus tertentu yang diinginkan. Sehingga dalam *leaflet* tidak terlalu banyak memainkan tulisan dan hanya memuat sedikit gambar pendukung (*Lestari et al.*, 2021).

2.5 Kerangka Berfikir



2.6 Hipotesis

Hipotesis penelitian ini dirumuskan sebagai dugaan sementara yang akan dibuktikan melalui analisis data berdasarkan kajian teori dan tujuan penelitian.

- a. Isolat bakteri endofit koleksi laboratorium mampu menekan penetrasi nematoda $> 50\%$ *Meloidogyne* sp. pada bibit tomat (*Solanum lycopersicum* L.)
- b. *Leaflet* penelitian potensi bakteri endofit dari koleksi laboratorium dalam mengendalikan *Meloidogyne* sp. pada bibit tomat (*Solanum lycopersicum* L.) layak untuk disebarakan pada petani.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Nematologi Tidar dan Laboratorium Gembio Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember. Penelitian dilakukan pada 20 Januari s.d 3 Mei 2025.

3.2 Variabel Penelitian

3.2.1 Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu kerapatan dan jenis bakteri endofit koleksi laboratorium Biologi.

3.2.2 Variabel terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu jumlah penetrasi nematoda *Meloidogyne* sp. pada bibit tomat yang telah di rendam suspensi bakteri endofit dan adanya bakteri endofit yang mampu bereproduksi dalam akar bibit tomat.

3.2.3 Variabel Kontrol

Nematoda *Meloidogyne* sp. yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari sumber dan tempat yang sama, media tanam, jenis tanaman, ukuran pot yang digunakan dan lama perlakuan.

3.3 Desain Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan total perlakuan sebanyak 7 perlakuan . Setiap perlakuan terdapat 3 pengulangan setiap ulangan terdiri dari 3 tanaman, sehingga total tanaman setiap perlakuan sebanyak 9. Total keseluruhan tanaman uji yang digunakan adalah sebanyak $(7 \times 9) = 63$ tanaman uji. Adapun rancangan penelitian ini yaitu :

- a. Perlakuan 1 : Bakteri genus *Streptobacillus* kerapatan $10^{-8} + 50$ ekor nematoda
- b. Perlakuan 2 ; Bakteri genus *Streptobacillus* kerapatan $10^{-9} + 50$ ekor nematoda
- c. Perlakuan 3 : Bakteri genus *Veilonella* kerapatan $10^{-8} + 50$ ekor nematoda

- d. Perlakuan 4 : Bakteri genus *Veilonella* kerapatan 10^{-9} + 50 ekor nematoda
- e. Perlakuan 5 ; Bakteri genus *Staphylococcus* kerapatan 10^{-8} + 50 ekor nematoda
- f. Perlakuan 6 : Bakteri genus *Staphylococcus* kerapatan 10^{-9} + 50 ekor nematoda
- g. Perlakuan 7 : Tanaman tanpa bakteri + 50 nematoda

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan antara yaitu *Laminar air flow*, mikroskop, cawan petri, cawan hitung, *erlenmeyer*, tabung reaksi, jarum ose, *T glass*, timbangan analitik, *hotplate*, *shaker*, inkubator, alat bercocok tanam, saringan *whitehead tray*, mikropipet dan tip, dan *beaker glass*. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah: media *Tryptic Soy Agar* (TSA), media *Nutrient Agar* (NA), alkohol 70%, *Methylen blue*, *gliserin*, *asam laktat*, air destilasi, akar tanaman tomat, bibit tanaman tomat, dan nematoda *Meloidogyne* sp.

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Persiapan Tanaman Uji

Media tanam disiapkan dengan mencampurkan tanah dan pupuk organik dalam perbandingan 1:1 hingga merata. Setelah tercampur, media dimasukkan ke dalam *polybag* berukuran 20 cm × 20 cm. Proses penyemaian dilakukan di tray setelah melalui tahapan pembibitan. Pembibitan diawali dengan merendam benih selama 24 jam, kemudian dilanjutkan dengan perendaman dalam air hangat selama 1 jam untuk mempercepat proses perkecambahan. Setelah itu, benih dibiarkan tumbuh hingga menjadi bibit tomat berumur dua minggu. Selama proses ini, penyimpanan dilakukan pada suhu ruang di dalam *greenhouse*.

3.5.2 Peremajaan Isolat Bakteri Endofit

Bakteri endofit yang diambil dari hasil penelitian sebelumnya dilakukan tahap peremajaan dengan cara ditanam pada medium TSA miring di dalam tabung reaksi, kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C. Setelah inkubasi, isolat bakteri berumur 24 jam diambil menggunakan ose dan ditambahkan 5 mL aquadest

steril untuk membentuk suspensi awal. Suspensi tersebut kemudian dimasukkan ke dalam Erlenmeyer yang berisi 100 mL medium NB, lalu dihomogenkan menggunakan *shaker* selama 24 jam. Setelah proses inkubasi selesai, dilakukan pengenceran bertingkat mulai dari 10^{-1} hingga 10^{-10} . Dari hasil pengenceran 10^{-6} hingga 10^{-10} , masing-masing sebanyak 100 μ L ditanam ke dalam medium TSA pada cawan petri menggunakan teknik *spread plate*. Suspensi diratakan menggunakan *T glass* dan diinkubasi kembali selama 24 jam. Setelah inkubasi, jumlah koloni bakteri dihitung. Isolat yang digunakan dalam penelitian merupakan isolat dengan kerapatan 10^{-8} hingga 10^{-9} atau menghasilkan koloni sebanyak 30–300 per cawan petri (Kurniawan & Ariami, 2023).

3.5.3 Pembuatan Suspensi Bakteri dan Perendaman Akar Tanaman Tomat

Perhitungan jumlah koloni menunjukkan bahwa isolat bakteri memiliki kerapatan 10^{-8} dan 10^{-9} . Tahap selanjutnya yaitu menyiapkan suspensi bakteri dengan kerapatan 10^{-8} dan 10^{-9} di dalam beaker glass. Setelah mencabut bibit tomat berumur dua minggu dari tray semai, proses dilanjutkan dengan merendam akar bibit ke dalam suspensi bakteri selama 1 jam. Setelah perendaman, kegiatan dilanjutkan dengan menanam bibit ke dalam polybag yang berisi media tanam berupa campuran tanah dan kompos steril dengan perbandingan 1:2. Tahap akhir yaitu memelihara tanaman selama dua minggu hingga mencapai fase siap untuk aplikasi nematoda.

3.5.4 Ekstraksi *Meloidogyne*

Proses ekstraksi nematoda mengikuti metode *Whitehead tray* (nampan saring) dengan menggunakan akar tanaman tomat yang menunjukkan gejala serangan nematoda. Akar tanaman dipotong-potong dengan panjang sekitar $\pm 0,5$ cm, lalu menyusun potongan tersebut di atas lapisan tisu dalam nampan saring. Selanjutnya, menuangkan air steril ke dalam nampan hingga seluruh bagian sampel terendam, lalu membiarkannya selama 48 jam pada suhu ruang. Setelah proses ekstraksi selesai, menyaring hasilnya menggunakan ayakan berukuran 2 mesh untuk memisahkan filtrat. Filtrat yang mengandung nematoda kemudian dikumpulkan dan disimpan dalam botol steril sebagai bahan untuk pengamatan atau inokulasi berikutnya (Asty et al., 2023)

3.5.5 Aplikasi Bakteri Endofit dan Nematoda *Meloidogyne* sp. pada Tanaman tomat

Setelah dua minggu masa pertumbuhan di *polybag*, setiap tanaman diinokulasi dengan 50 ekor nematoda *Meloidogyne* sp. Inokulasi dilakukan dengan menyiramkan larutan nematoda di sekitar perakaran tanaman, tanpa mengenai bagian tanaman secara langsung. Sepuluh hari setelah aplikasi, tanaman dibongkar dan bagian akar dipanen. Proses selanjutnya yaitu melakukan pewarnaan akar untuk mengamati keberadaan dan penetrasi nematoda.

3.5.6 Pemeliharaan Tanaman Uji

Pemeliharaan bibit tanaman tomat atau tanaman uji dilakukan dengan menyiram air setiap dua hari sekali. Selama pemeliharaan, tanaman dijaga agar tidak mengalami kekeringan maupun kelebihan air. Selain itu, gulma yang tumbuh dan mengganggu di dalam *polybag* dicabut secara rutin untuk menjaga kondisi media tanam tetap optimal.

3.5.7 Perhitungan Jumlah nematoda yang berpenetrasi ke akar

Perhitungan jumlah nematoda yang berpenetrasi ke akar dilakukan dengan metode ekstraksi menggunakan *Whitehead tray* (nampan saring). Setelah masa inkubasi berakhir, kegiatan dilanjutkan dengan memanen tanaman tomat. Akar dari setiap ulangan dicuci menggunakan air mengalir untuk membersihkan sisa tanah dan partikel yang menempel. Akar yang bersih kemudian dipotong sepanjang $\pm 0,5$ cm dan disusun di atas tisu steril (2–3 lapis) yang telah ditempatkan dalam nampan saring. Setelah itu, menuangkan air steril ke dalam nampan hingga seluruh potongan akar terendam. Sampel dibiarkan selama 48 jam pada suhu ruang agar nematoda yang berada di dalam jaringan akar keluar menuju larutan. Setelah inkubasi selesai, menyaring larutan hasil ekstraksi menggunakan ayakan berukuran 2 mesh. Filtrat yang mengandung nematoda ditampung dalam botol steril dan diamati di laboratorium. Menghitung jumlah nematoda menggunakan cawan

hitung, lalu melanjutkan dengan menghitung persentase penekanan (Diandra *et al.*, 2015). dengan rumus

$$\text{Persentase penekanan nematoda} = \frac{n1-n2}{n1} \times 100\%$$

3.5.8 Pewarnaan Akar

Pewarnaan akar bertujuan untuk mempermudah pengamatan penetrasi nematoda di dalam jaringan akar. Setelah memanen tanaman, mencuci akar menggunakan air mengalir dilakukan untuk membersihkan sisa tanah. Selanjutnya, memotong akar menjadi bagian-bagian sepanjang ± 1 cm dan membungkusnya dengan kasa perban, kemudian mengikatnya menggunakan benang. Bungkus akar tersebut dimasukkan ke dalam larutan pewarna dan dipanaskan selama 3 menit. Larutan pewarna terdiri atas *lactoglycerol* (campuran gliserol, asam laktat, dan akuades dengan perbandingan 1:1:1) yang ditambahkan dengan *methylen blue*. Setelah pemanasan selama 3 menit, mematikan pemanas dan membiarkan larutan hingga suhu ruang. Setelah larutan dingin, mencuci bungkus akar menggunakan air mengalir, lalu melanjutkan pencucian menggunakan larutan gliserol yang dicampur dengan asam laktat (perbandingan 1:1). Setelah itu mengamati akar dibawah mikroskop untuk melihat nematoda yang berhasil berpenetrasi.

3.5.9 Reisolasi Bakteri Endofit pada Bibit tomat

Reisolasi merupakan isolasi ulang bakteri endofit yang telah diinokulasikan ke dalam akar sebelum penanaman, dengan tujuan mengamati kemampuan bakteri bertahan dan tumbuh setelah masa panen. Proses dimulai dengan mencuci akar tanaman tomat hingga bersih, menimbang 1 gram akar, lalu melakukan sterilisasi permukaan menggunakan NaOCl 2%, alkohol 70%, dan aquadest steril. Akar yang telah disterilkan digerus dan ditambahkan 9 mL aquadest steril, lalu dilakukan pengenceran hingga 10^{-4} . Sebanyak 1 mL suspensi ditanam pada media TSA dalam cawan petri menggunakan teknik spread plate, kemudian diinkubasi selama 72 jam pada suhu 37°C. Setelah inkubasi, koloni bakteri diamati dan dibandingkan dengan koloni awal yang diinokulasikan.

3.6 Metode Analisis

3.6.1 Analisis data penelitian

Data hasil analisis pengamatan akan dianalisis menggunakan program SPSS 23.0 Data mulanya dilakukan uji normalitas menggunakan Kolmogorov-Smirnov dan uji homogenitas menggunakan Levene Statistic. Data yang memiliki distribusi normal dan homogen (syarat uji parametrik) kemudian dianalisis menggunakan One Way Anova. Jika terdapat perbedaan nyata maka dilakukan uji Duncan taraf kepercayaan 5%.

3.6.2 Analisis Validitas *Leaflet*

Leaflet sebelum diimplementasikan pada petani sebelumnya dilakukan pengujian produk atau validasi produk oleh tim ahli dan uji coba terbatas, agar media yang dikembangkan mendapat jaminan kelayakan media sebelum diuji coba selain itu validasi juga untuk meminimalisir kesalahan pada materi dan kekurangan pada materi serta media *leaflet* (Ramadhani *et al.*, 2020).

$$\text{Persentase} = \frac{\text{Jumlah total skor validasi}}{\text{Skor tertinggi}} \times 100\%$$

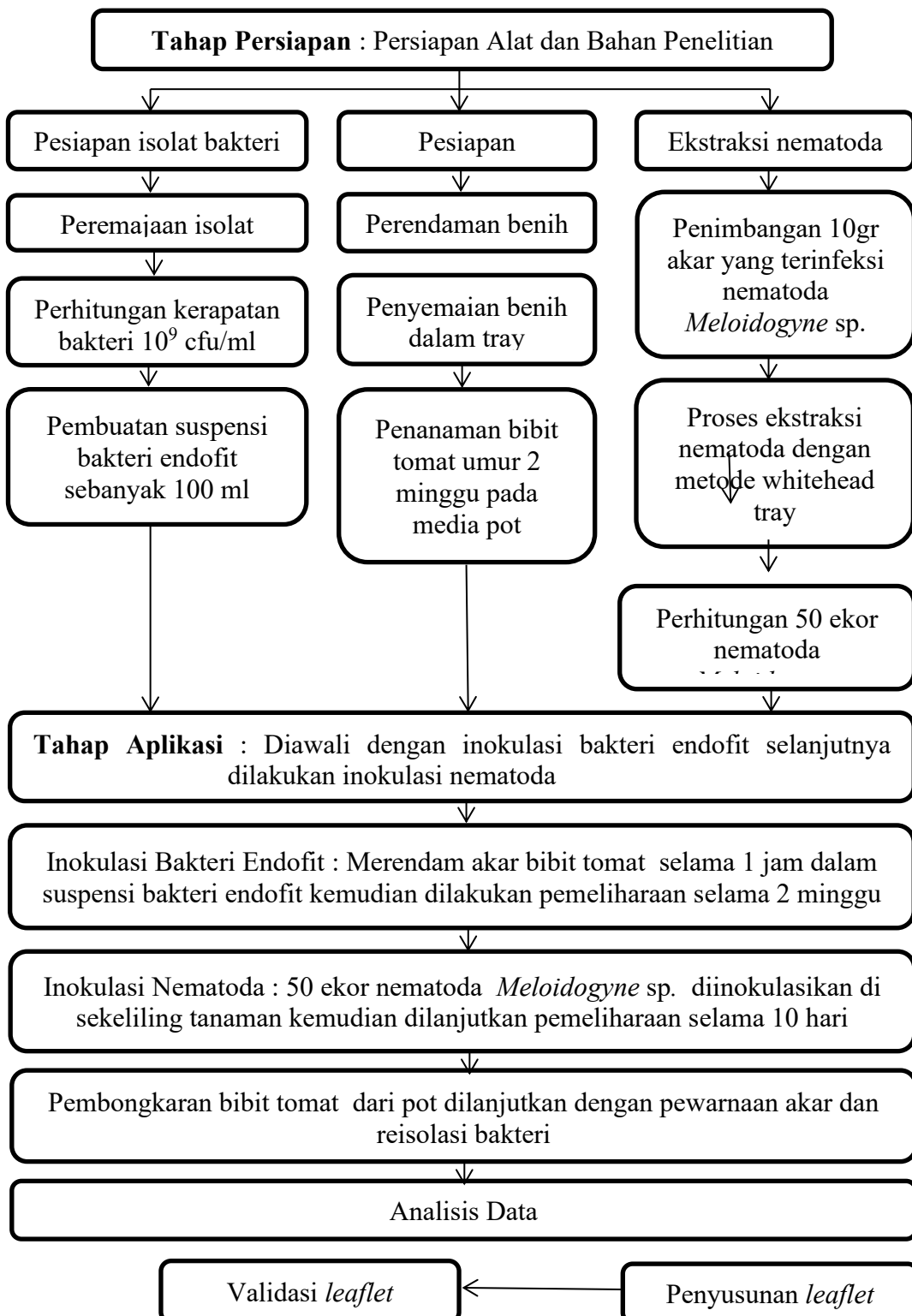
Persentase nilai yang diperoleh kemudian dapat dikategorikan berdasarkan tabel di bawah ini:

Tabel 3. 1 Kriteria Validasi *leaflet*

No	Persentase (%)	Kategori Validitas
1	81,25 - 100	Sangat layak
2	62,51 – 81,24	layak
3	43,75 – 62,50	Cukup layak
4	25 – 43,74	Kurang layak

3.7 Alur Penelitian

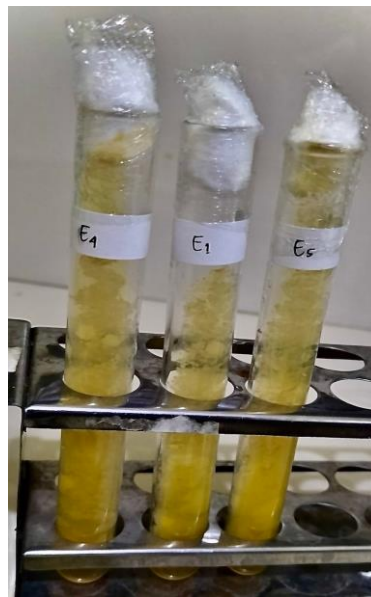
Penelitian yang akan dilakukan mengikuti alur penelitian sebagai berikut:



BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil penelitian

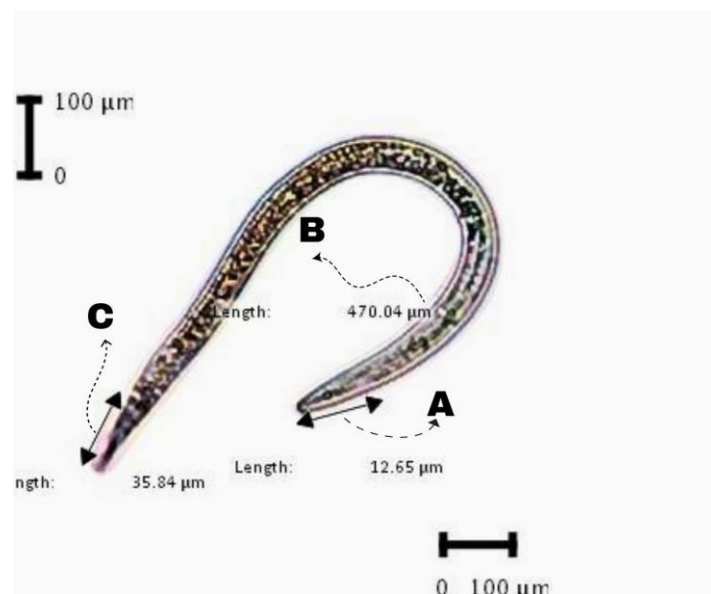
Penelitian ini menggunakan isolat bakteri endofit potensial yang dipilih berdasarkan dari aktivitas enzim protease. Berdasarkan nilai Indeks Protease (IP), Bakteri genus *Streptobacillus* dan Bakteri genus *Veilonella* memiliki nilai sebesar 2,62 , serta Bakteri genus *Staphylococcus* dengan nilai sebesar 2,5. Penelitian ini diawali dengan peremajaan bakteri (Gambar 4.1) bertujuan untuk mengaktifkan kembali bakteri yang mungkin sudah dorman, melemah atau mengalami penurunan viabilitas selama penyimpanan. Pertumbuhan bakteri pada media miring TSA menunjukkan tumbuh dengan dengan baik, bentuk koloni yang padat, dan tidak terkontaminasi.



Gambar 4. 1 Peremajaan Bakteri

Berdasarkan Gambar 4.1 hasil peremajaan bakteri terlihat bahwa isolat bakteri dalam kondisi masih aktif dan layak digunakan untuk tahap perbanyakan dan pembuatan suspensi bakteri. Karena tidak ditemukan adanya kontaminasi maupun pertumbuhan jamur pada media. Selain itu pengamatan terhadap morfologi koloni dilakukan untuk memastikan kesesuaian isolat hasil peremajaan dimana genus *Streptobacillus* memiliki bentuk koloni *Beaded*, genus *Veilonella* dan genus *Staphylococcus* bentuk koloni *Plumose*.

Proses uji penetrasi diawali dengan identifikasi nematoda *Meloidogyne* sp. sebanyak 50 ekor untuk setiap perlakuan. Proses ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop binokuler. Hasil pengamatan *Meloidogyne* sp. dapat dilihat Gambar 4.2



Gambar 4. 2 Nematoda *Meloidogyne* juvenil 2 pada perbesaran 40x, A) *Styilet*; B) Tubuh ; C) Ekor *Meloidogyne* (Sumber : Dokumentasi pribadi)

Meloidogyne sp. Memiliki beberapa tahapan perkembangan, mulai dari telur, empat stadium juvenil sampai dewasa. Stadium juvenil kedua (J2) diamati dan digunakan dalam penelitian ini karena merupakan tahapan infeksi yang mampu menembus atau berpenetrasi ke dalam akar. Gambar 4.2 menunjukkan morfologi (J2) yang diamati menggunakan mikroskop perbesaran 40x. Stadium ini memiliki tubuh ramping dan memanjang dengan panjang mencapai $\pm 470 \mu\text{m}$. Bagian anterior dilengkapi stilet yang tajam dan kokoh berukuran sekitar $12,65 \mu\text{m}$ yang berfungsi untuk menembus jaringan tanaman. Ekor tampak meruncing di bagian posterior dengan panjang sekitar $35,84 \mu\text{m}$. Pada tahap J2, organ reproduksi seperti vulva sudah terbentuk secara morfologi, namun belum berkembang aktif karena belum memasuki fase dewasa. Hasil pengamatan menunjukkan ukuran dan bentuk tubuh sesuai dengan deskripsi literatur. Menurut Parsiaaref (2022), *Meloidogyne* J2 memiliki panjang tubuh sedang ($468\text{--}784 \mu\text{m}$), ekor sepanjang $34,6\text{--}44,5 \mu\text{m}$, serta bagian anterior ekor yang dilapisi kutikula hialin dengan lekukan ventral.

4.1.1 Hasil Pengaruh Bakteri Endofit terhadap Penetrasi Nematoda *Meloidogyne* sp. pada Bibit Tomat (*Solanum lycopersicum* L.)

Pengaruh bakteri endofit terhadap penetrasi nematoda *Meloidogyne* sp. dapat dilihat dari jumlah nematoda yang mampu berpenetrasi ke dalam akar bibit tomat. Hasil perhitungan jumlah nematoda pada bibit tomat dapat dilihat pada Tabel 4.1. Tabel 4. 1 Pengaruh bakteri endofit terhadap penetrasi nematoda *Meloidogyne* sp. pada Bibit Tomat (*Solanum lycopersicum* L.)

No	Perlakuan	Rerata Jumlah Penetrasi Nematoda akar Bibit Tomat \pm Std. Deviasi	Persentase Penetrasi Nematoda (%)	Persentase Penekanan Nematoda (%)
1	Bakteri genus <i>Streptobacillus</i> 10^{-8} + 50 ekor <i>Meloidogyne</i>	1,33 \pm 0,58 ^a	2,66	94,68
2	Bakteri genus <i>Streptobacillus</i> 10^{-9} + 50 ekor <i>Meloidogyne</i>	4,33 \pm 0,58 ^{ab}	8,66	91,34
3	Bakteri genus <i>Veilonella</i> 10^{-8} + 50 ekor <i>Meloidogyne</i>	3,00 \pm 1,00 ^{ab}	6	94
4	Bakteri genus <i>Veilonella</i> 10^{-9} + 50 ekor <i>Meloidogyne</i>	6,67 \pm 1,53 ^b	13,34	86,78
5	Bakteri genus <i>Staphylococcus</i> 10^{-8} + 50 ekor <i>Meloidogyne</i>	3,67 \pm 3,05 ^{ab}	7,34	92,66
6	Bakteri genus <i>Staphylococcus</i> 10^{-9} + 50 ekor <i>Meloidogyne</i>	5,00 \pm 1,00 ^{ab}	10	90
7	Tanpa bakteri + 50 ekor <i>Meloidogyne</i>	20,67 \pm 1,53 ^c	41,34	58,66

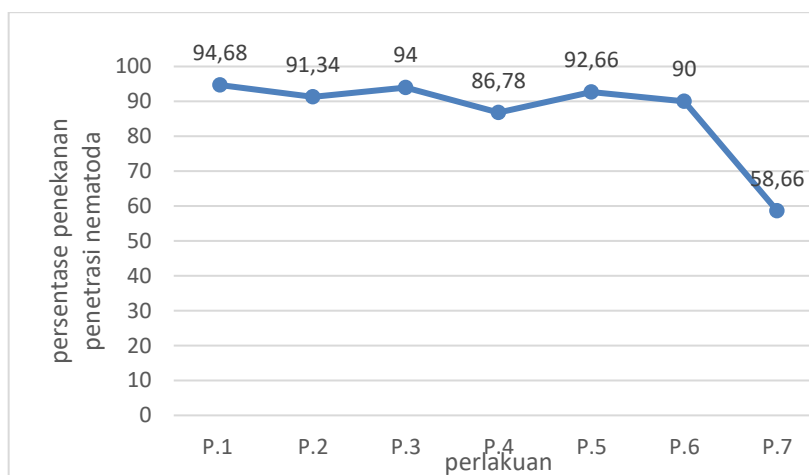
Keterangan : Rerata yang diikuti huruf menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji Duncan menggunakan α 5%

$$*) \text{ Persentase penekanan nematoda} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \times 100\%$$

$$*) \text{ Persentase penekanan nematoda} = \text{rerata nematoda/nematoda awal} \times 100$$

Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa perlakuan dengan bakteri endofit dengan kerapatan 10^{-8} dan 10^{-9} cfu per bibit terbukti mampu menurunkan jumlah nematoda *Meloidogyne* yang masuk ke dalam akar tanaman tomat secara signifikan ($p = 0.000$). Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 tanaman yang tidak diberi perlakuan 7 sebagai kontrol memiliki jumlah nematoda tertinggi sebesar 20,67 ekor dengan penetrasi 41,34. Sebaliknya perlakuan 1 bakteri *Streptobacillus* kerapatan 10^{-8} cfu per bibit menunjukkan jumlah nematoda terendah, yaitu rata-rata 1,33 ekor dengan penetrasi 2,66.

Berdasarkan hasil uji lanjut menggunakan uji Duncan pada Tabel 4.1 diketahui bahwa rerata jumlah nematoda *Meloidogyne* pada akar bibit tomat yang diberi perlakuan bakteri endofit dengan dua kerapatan (10^{-8} dan 10^{-9} cfu) tidak menunjukkan perbedaan yang nyata antarperlakuan. Namun, jika dibandingkan dengan perlakuan tanpa bakteri (perlakuan 7), perbedaannya terlihat signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian bakteri endofit mampu menekan jumlah nematoda *Meloidogyne* secara signifikan dibandingkan tanaman yang tidak mendapat perlakuan bakteri.

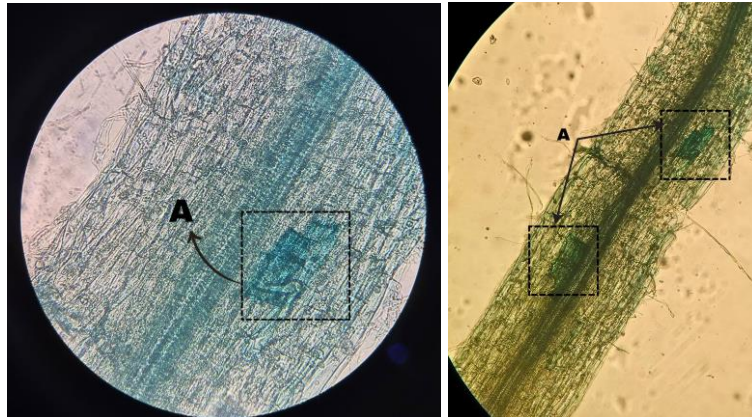


Gambar 4. 3 Grafik persentase penekanan penetrasi nematoda *Meloidogyne* sp. Pada akar Bibit Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) bakteri endofit yang terhitung dalam persen (%)

$$*)\text{Persentase penekanan nematoda} = \frac{n1-n2}{n1} \times 100\%$$

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan bakteri endofit mampu menekan jumlah nematoda *Meloidogyne* pada akar bibit tomat. Perlakuan 1 dengan bakteri

genus *Streptobacillus* kerapatan 10^{-8} memberikan penekanan penetrasi tertinggi hingga 94,68%, sedangkan perlakuan tanpa bakteri menunjukkan jumlah nematoda tertinggi dengan nilai persentase penekanan terendah yaitu 58,66%. Hal ini menunjukkan tanaman dengan perlakuan bakteri endofit dapat menekan penetrasi nematoda lebih dari 50%.



Gambar 4.4 Penampang akar tomat dengan penetrasi nematoda (A) (Sumber: Dokumentasi Pribadi).


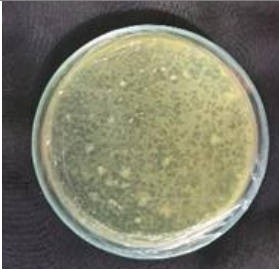
Berdasarkan Gambar 4.4 menunjukkan bahwa nematoda yang berhasil masuk kedalam jaringan akar terlihat berwarna lebih gelap ditunjukkan dengan kode A. Proses penetrasi ini dilakukan dengan bantuan stilet, yaitu alat penusuk menyerupai jarum yang digunakan nematoda untuk menembus dinding sel tanaman. Setelah penetrasi, nematoda mengeluarkan berbagai enzim degradasi dinding sel, seperti *cellulase* yang memecah selulosa, *pectate lyase* dan *polygalacturonase* yang melunakkan pektin, serta *xylanase* yang menghancurkan hemiselulos. Pelunakan ini menyebabkan jaringan korteks terbuka dan memudahkan jalur migrasi nematoda ke jaringan lebih dalam. Di dalam jaringan tersebut nematoda membentuk ruang makan (*feeding site*) melalui sekresi senyawa yang memodifikasi sel menjadi sumber nutrisi tetap.

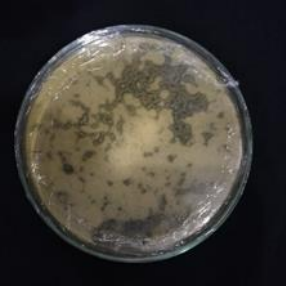

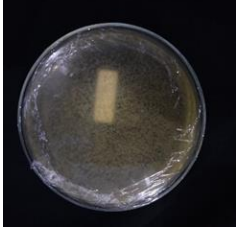

Proses pembentukan *feeding site* tersebut menyebabkan perubahan fisiologis pada akar. Sel raksasa bersifat sebagai “*nutrient sink*” yang menarik unsur hara dari jaringan sekitar, menyebabkan distribusi hara menjadi terfokus pada area infeksi. Selain itu, keberadaan sel raksasa dan perubahan struktur sel akar mengganggu jalur transport nutrisi, baik melalui jalur apoplas (ruang antar sel) maupun simplas

(sitoplasma antar sel), akibat penebalan dinding sel dan perubahan plasmodesmata. Gangguan ini diperparah dengan rusaknya rambut akar akibat penetrasi, yang mengurangi luas permukaan penyerapan air dan hara. Akibatnya, fungsi akar sebagai organ utama dalam penyerapan menjadi terganggu, yang dapat berdampak pada munculnya gejala defisiensi seperti klorosis dan penghambatan pertumbuhan (Maulana, 2024; Wang *et al.*, 2024).

Proses reisolasi akar dilakukan untuk mengambil kembali bakteri endofit yang telah diinokulasikan sebelumnya. Tujuan dari langkah ini adalah untuk memastikan bahwa bakteri mampu bertahan dan tumbuh pada akar bibit tomat setelah perlakuan diberikan. Data yang diperoleh dari reisolasi dapat memperkuat keakuratan hasil perhitungan jumlah nematoda. Koloni bakteri hasil reisolasi kemudian dicocokkan dengan koloni dari isolat bakteri endofit asal. Suatu koloni dinyatakan identik apabila menunjukkan paling sedikit 5 kesamaan dari 7 karakteristik yang diamati. Jika syarat ini terpenuhi, maka bakteri endofit yang diinokulasikan dianggap berhasil tumbuh pada akar bibit tomat (*Solanum lycopersicum* L.)

Tabel 4. 2 Perbandingan karakteristik morfologi koloni bakteri isolat asal dengan koloni bakteri hasil reisolasi dari akar bibit tomat (*Solanum lycopersicum* L.)

Isolat Bakteri	Isolat asal	Hasil Reisolasi	Persentase Kesamaan
<i>Streptobacillus</i>			71,42%
	<ul style="list-style-type: none"> - Pertumbuhan : Permukaan - Warna : Putih Susu - Ukuran : Kecil - Bentuk Koloni : Bundar - Permukaan : Licin - Elevasi : Convex - Tepi : Entire 	<ul style="list-style-type: none"> - Pertumbuhan : Permukaan - Warna : Putih Susu - Ukuran : sedang - Bentuk Koloni : Bundar - Permukaan : Licin - Elevasi : Convex - Tepi : Berlekuk 	

<i>Veilonella</i>			71,42%
	<ul style="list-style-type: none"> - Pertumbuhan : Permukaan - Warna : Putih Susu - Ukuran : Besar - Bentuk Koloni : irregular - Permukaan : Licin - Elevasi : Convex - Tepi : Undulate 	<ul style="list-style-type: none"> - Pertumbuhan : Permukaan - Warna : Putih Susu - Ukuran : kecil - Bentuk Koloni : Bundar - Permukaan : Licin - Elevasi : convex - Tepi : Undulate 	
<i>Staphylococcus</i>			100%
	<ul style="list-style-type: none"> - Pertumbuhan : Permukaan - Warna : Putih Susu - Ukuran : Kecil - Bentuk Koloni : Bundar - Permukaan : Licin - Elevasi : Convex - Tepi : Entire 	<ul style="list-style-type: none"> - Pertumbuhan : Permukaan - Warna : Putih Susu - Ukuran : kecil - Bentuk Koloni : Bundar - Permukaan : Licin - Elevasi : convex - Tepi : Entire 	

Berdasarkan hasil reisolasi bakteri yang tercantum pada Tabel 4.2 diketahui bahwa bakteri endofit yang diinokulasikan mampu berkembang pada akar bibit tomat. Hal ini ditunjukkan oleh terbentuknya koloni bakteri dengan tingkat kemiripan morfologi lebih dari 70%, atau memiliki setidaknya 5 hingga 6 kemiripan dari 7 karakter morfologi yang dianalisis. Reisolasi bakteri genus *Streptobacillus* dan bakteri genus *Veilonella* dari akar bibit tomat menunjukkan 5 karakter morfologi yang serupa dengan koloni bakteri asal dengan tingkat kesamaan morfologinya mencapai 71,42%. Sementara itu, koloni bakteri genus *Staphylococcus* hasil reisolasi menunjukkan kesamaan pada seluruh 7 karakter

morfologi dengan koloni induknya sehingga tingkat kemiripan morfologinya mencapai 100%.

4.1.2 Hasil Uji Validasi Leaflet

Uji validasi leaflet berguna untuk mengetahui kelayakan suatu leaflet yang telah dibuat berdasarkan hasil penelitian. Uji validasi laflet yang berjudul “Potensi Isolat Bakteri Endofit dalam Menekan Penetrasi Nematoda *Meloidogyne* sp. Pada Bibit Tomat “ ini dilakukan oleh 3 orang validator yaitu ahli media, ahli materi dan pengguna. Adapun hasil uji validasi leaflet ditunjukkan pada Tabel 4.3

Tabel 4. 3 Hasil uji validasi leaflet

Validator	Jumlah Skor	Persentase (%)	Kategori	Komentar dan Saran
Ahli Materi	36	80	Layak	- Leaflet disusun dengan baik sesuai judul, namun urutan penyampaian belum sistematis - Hasil gambar belum diberi label sehingga pembaca belum bisa Menginterpretasi data
Ahli Media	37	82,22	Sangat layak	- Leaflet masih terlalu ilmiah - Terlalu banyak kalimat dalam leaflet
Pengguna	36	80	Layak	- Pemilihan warna - Tata letak gambar dan teks bisa di tata sedemikiann agar lebih menarik
Rerata	36,33	80,74	Layak	

Berdasarkan hasil uji validasi leaflet (Tabel 4.3) diketahui rerata dari skor yang diberikan oleh ketiga validator adalah 36,33 dengan persentase rerata skor validasi adalah sebesar 80,74, maka dengan ini dapat disimpulkan bahwa media leaflet yang telah diuji dinyatakan layak untuk digunakan sebagai media penyampaian informasi kepada petani Setelah dilakukan validasi selanjutnya leaflet disempurnakan lagi berdasarkan saran dan komentar dari para validator.

4.2 Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana potensi bakteri endofit dalam menekan penetrasi nematoda *Meloidogyne* sp. ke dalam akar bibit tomat (*Solanum lycopersicum* L.). Pada tahap Peremajaan isolat bakteri dilakukan untuk memastikan viabilitas, kemurnian, dan aktivitas sel tetap terjaga sebelum diaplikasikan pada tahap pengujian. Hasil pengamatan menunjukkan koloni tumbuh seragam dan tidak terkontaminasi, sehingga kultur layak digunakan. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Ismiani dan Wilujeng (2023) menyatakan bahwa peremajaan diperlukan agar isolat tetap aktif dan tidak kehilangan kemampuan tumbuh.

Nematoda berperan sebagai variabel kontrol dalam penelitian ini. Spesies yang digunakan termasuk dalam genus *Meloidogyne* sp. dan diperoleh melalui proses ekstraksi dari akar tanaman tomat yang menunjukkan gejala pembengkakan (*gall*) pada jaringan akar. Sampel diambil dari lahan pertanian hortikultura di Kabupaten Jember, Jawa Timur. Menurut Parsiaref (2022), juvenil stadium kedua (J2) *Meloidogyne* sp. memiliki tubuh ramping dan memanjang, dengan panjang berkisar antara 468–784 μm . Bagian anterior tubuh meruncing, dilengkapi dengan stilet yang tajam dan kokoh sepanjang 11,5–13,2 μm yang berfungsi untuk menembus jaringan akar tanaman inang. Bagian posterior tubuh berakhir meruncing dengan panjang ekor antara 34,6–44,5 μm , dan terdapat struktur transparan yang dikenal sebagai *hyaline tail* terminus, yang merupakan ciri khas stadium J2. Hasil pengamatan morfologi pada sampel nematoda *Meloidogyne* sp. dalam penelitian ini menunjukkan kesesuaian dengan deskripsi tersebut, yaitu tubuh ramping dan memanjang dengan panjang ± 470 μm , stilet tajam sepanjang $\pm 12,65$ μm , dan ekor meruncing dengan panjang $\pm 35,84$ μm .

Meloidogyne sp. memiliki ciri morfologi khas pada stadium juvenil kedua (J2), yaitu memiliki stilet berukuran pendek sekitar 12–16 μm dengan knop basal berbentuk bulat dan tampak jelas terpisah dari batang stilet. Bagian kepala terdiri atas beberapa anulasi dan *disk labial* yang kecil. Ciri-ciri ini membedakan *Meloidogyne* dari nematoda parasit akar lainnya seperti *Pratylenchus* dan *Radopholus*. Hasil pengamatan ini sejalan dengan laporan Kurniawan dan

Handayani (2022) yang menyatakan bahwa bentuk knop yang bulat dan ukuran stilet yang pendek merupakan karakter diagnostik utama genus *Meloidogyne*. Bagian bibir tidak menonjol secara jelas (*non-set-off*) dan dilengkapi stilet tipe *stomato* stylet yang tampak jelas bersama knop-nya. *Median bulb* berbentuk oval, dan kelenjar esofagus memanjang ke arah ventral usus. Ujung ekor terlihat bergerigi dengan bagian hialin yang jelas, serta terdapat anulasi halus pada kutikula di seluruh permukaan tubuh (Hamidi, 2022).

4.2.1 Pengaruh Bakteri Endofit terhadap Penetrasi Nematoda *Meloidogyne* sp. pada Bibit Tomat (*Solanum lycopersicum* L.)

Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa bakteri endofit berpotensi menekan penetrasi nematoda *Meloidogyne* sp. stadium J2 ke dalam akar bibit tomat (*Solanum lycopersicum* L.) menunjukkan bahwa rata-rata jumlah nematoda yang berhasil menembus akar bervariasi antartiap perlakuan, dengan kisaran $1,33 \pm 0,58$ hingga $16,00 \pm 1,53$ ekor pada perlakuan dengan bakteri, dan tertinggi pada kontrol ($43,33 \pm 0,58$ ekor). Hal ini menunjukkan bahwa semua perlakuan bakteri endofit perlakuan 1 hingga 6 mampu menekan invasi nematoda dibandingkan dengan kontrol (P7). Perlakuan yang menunjukkan penekanan tertinggi adalah perlakuan 1 (Bakteri *Streptobacillus* 10^{-8} + 50 ekor *Meloidogyne*), dengan rata-rata hanya $1,33 \pm 0,58$ ekor, setara dengan persentase penekanan sebesar 94,68 %. Sementara itu, penekanan paling rendah terdapat pada perlakuan tanpa bakteri (kontrol) yaitu sebesar 58,66%.

Berdasarkan penelitian terlihat penurunan signifikan jumlah nematoda pada perlakuan 1 hingga 6 dibandingkan kontrol, menunjukkan bahwa semua jenis bakteri endofit yang diuji memiliki aktivitas nematisidal J2 *Meloidogyne* sp. Hal ini sejalan dengan penelitian Oliveira *et al.* (2024), yang menyatakan bahwa bakteri endofit dapat menghasilkan metabolit sekunder seperti enzim *protease*, *chitinase*, dan senyawa antimikroba yang mampu menghambat mobilitas dan penetrasi J2 nematoda. Uji statistik Duncan juga menunjukkan bahwa perlakuan bakteri endofit memberikan pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$) terhadap jumlah penetrasi nematoda, menandakan bahwa setiap jenis bakteri yang digunakan secara nyata

berbeda efektivitasnya dalam menekan penetrasi nematoda yang berhasil masuk ke jaringan akar.

Beragam isolat bakteri endofit dalam penelitian ini menunjukkan aktivitas biokontrol terhadap nematoda. Isolat bakteri dari genus *Streptobacillus* menunjukkan efektivitas tertinggi dalam menekan jumlah nematoda *Meloidogyne* sp. yang berpenetrasi ke akar bibit tomat. Persentase penekanan yang tinggi ini mengindikasikan adanya aktivitas biologis kuat terhadap nematoda. Secara umum, *Streptobacillus* dikenal sebagai bakteri patogen pada manusia dan hewan, khususnya *Streptobacillus moniliformis* sebagai penyebab rat-bite fever (Levinson & Jawetz, 2020).

Aktivitas proteolitik yang dimiliki genus *Streptobacillus* berperan dalam memecah protein penyusun dinding sel *Meloidogyne* sp., sehingga bakteri ini berpotensi menekan infeksi nematoda melalui kerusakan struktur dinding sel serta gangguan metabolisme proteinnya. Keberadaan genus *Streptobacillus* sebagai bakteri endofit telah dilaporkan oleh Maulani *et al.* (2021), yang berhasil mengisolasi beberapa strain dari jaringan tanaman mangrove. Bakteri endofit umumnya menghasilkan beragam metabolit sekunder serupa senyawa tanaman inang, di antaranya tanin. Senyawa tanin diketahui memiliki kemampuan untuk mengendapkan protein dan asam amino. Fitriani *et al.* (2022) menyebutkan bahwa tanin memiliki efek anthelmintik yang mampu menghambat proses penetasan telur serta meningkatkan mortalitas larva nematoda. Selain itu, penelitian lain juga mendukung bahwa metabolit sekunder dari mikroba endofit dapat memberikan aktivitas biokontrol terhadap hama invertebrata (Putri *et al.*, 2023; Sirajudin *et al.*, 2022).

Isolat bakteri dari Genus *Veillonella* seperti salah satu spesiesnya yaitu *Veillonella dispar* diketahui mampu memfermentasi asam laktat menjadi asam propionat dan asetat selama fase pertumbuhan stasioner, sehingga dapat memengaruhi kondisi mikro di sekitar akar tanaman (Zhang & Huang, 2023). Aktivitas ini secara tidak langsung dapat menciptakan lingkungan yang kurang mendukung bagi perkembangan mikroorganisme patogen. Selain itu, keberadaan *Veillonella* sebagai bakteri endofit telah dilaporkan pada jaringan daun mangrove,

yang menunjukkan kemampuannya berkolonisasi di dalam tanaman (Azzahra et al., 2024). Produksi metabolit organik tersebut berpotensi mendukung penghambatan aktivitas nematoda melalui perubahan pH mikro dan kompetisi ruang kolonisasi.

Isolat bakteri dari genus *Staphylococcus*. Hasil penelitian Li et al. (2023) menunjukkan bahwa isolat *Staphylococcus saprophyticus* dari jaringan akar tanaman obat mampu menghasilkan siderofor dan enzim protease yang mendukung aktivitas bioprotektan. *Staphylococcus* sp. diketahui memiliki aktivitas proteolitik yang berpotensi dimanfaatkan dalam pengendalian hayati. Rustini (2022) melaporkan isolat *Staphylococcus* sp. dari kulit jeruk nipis yang mampu menghasilkan enzim protease dengan aktivitas cukup tinggi. Produksi enzim ini secara teoritis dapat membantu memecah protein struktural pada organisme target, termasuk kutikula nematoda. Berdasarkan hasil penetrasi ,bakteri dengan kemampuan terbaik dalam menekan penetrasi yaitu bakteri genus *Streptobacillus*, diikuti bakteri *Veillonella*, dan selanjutnya dari genus *Staphylococcus*.

Reisolasi bakteri endofit dari akar bibit tomat (*Solanum lycopersicum* L.) merupakan tahap penting untuk memastikan bahwa bakteri yang diinokulasi benar-benar berhasil mengkolonisasi jaringan. Proses sterilisasi akar menggunakan alkohol 70 %, Natrium Hipoklorit 2 %, dan aquades steril bertujuan membuang epifit dari permukaan akar agar koloni yang tumbuh di media *Nutrient Agar* benar-benar berasal dari jaringan dalam (Santoyo et al., 2016). Berdasarkan data hasil reisolasi menunjukkan bakteri *Streptobacillus* dan *Veilonella* memiliki persentase kesamaan morfologi koloni dengan isolat asli sebesar 71,42 %, sedangkan bakteri *Staphylococcus* berhasil mempertahankan 100 % karakteristik koloni termasuk warna, bentuk, margin, ukuran, elevasi, permukaan, dan letak pertumbuhan. Hal ini mengindikasikan kolonisasi yang sukses pada jaringan akar, sesuai pola bakteri endofit yang stabil dan mampu bertahan hidup di lingkungan endosfer tanaman (Banihashemian et al., 2022).

Diperlukan ketelitian dalam mengamati morfologi bakteri khususnya pada proses reisolasi. Hal ini dikarenakan bakteri hasil reisolasi masih dapat bercampur dan dalam satu cawan bisa tumbuh lebih dari satu jenis koloni bakteri. El-Deeb (2021) menyatakan bahwa isolat endofit dari akar tanaman tomat menunjukkan

variasi karakteristik morfologi yang signifikan, baik dari bentuk, warna, margin, elevasi, hingga ukuran koloni. Variasi ini tetap dapat terjadi meskipun semua isolat ditanam pada media yang sama, sehingga dibutuhkan perbandingan sekurang-kurangnya 5 hingga 6 dari 7 karakteristik utama koloni untuk memastikan kesamaan dengan isolat asli. Persentase kesamaan morfologi koloni yang diperoleh dari hasil reisolasi berkisar antara 71% hingga 100%. Nilai ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat beberapa variasi, koloni tersebut tetap dianggap berasal dari isolat asli karena variasinya masih berada dalam ambang kesamaan morfologi. Menurut Zakaria (2024), perubahan karakter koloni bakteri endofit sering kali disebabkan oleh faktor lingkungan selama proses pertumbuhan, seperti perbedaan kondisi nutrisi, intensitas cahaya, oksigen, bahkan interaksi dengan mikroba lain di media tanam.

4.2.2 Uji Validasi leaflet

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan selanjutnya dimanfaatkan untuk penyusunan leaflet yang berjudul “Potensi Isolat Bakteri Endofit dalam Menekan Penetrasi Nematoda *Meloidogyne* sp pada Bibit Tomat ”. Adapun untuk mengetahui kelayakan leaflet ini maka dilakukan uji validasi. Validasi tersebut dilakukan oleh 3 orang validator yang terdiri dari seorang ahli materi, ahli media dan pengguna. Setelah dilakukan validasi oleh 3 orang validator diketahui bahwa masing-masing validator memberikan penilaian yang baik. Adapun rerata total skor yang diberikan oleh ahli materi, ahli media, dan pengguna yaitu 36,33 dan rerata persentase skor sebesar 80,74%.

Penilaian kelayakan leaflet tidak hanya dilihat berdasarkan kriteria-kriteria yang mengacu pada instrumen penilaian, tetapi juga memperhatikan komentar umum yang diberikan oleh masing-masing validator mengenai leaflet tersebut. Validator ahli materi menyatakan bahwa leaflet sudah disusun dengan baik sesuai judul, namun urutan penyampaiannya belum sistematis. Selain itu, hasil gambar belum diberi label sehingga pembaca belum bisa menginterpretasi data dengan jelas. Validator ahli media menyampaikan bahwa isi leaflet masih terlalu ilmiah dan terdapat terlalu banyak kalimat dalam leaflet. Validator pengguna

menyampaikan bahwa tata letak bisa lebih ditata biar menarik dan pemilihan warna Berdasarkan hasil analisis terhadap skor yang diperoleh serta masukan dari para validator, leaflet yang berjudul “Potensi Isolat Bakteri Endofit dalam Menekan penetrasi Nematoda *Meloidogyne* sp. pada Bibit Tomat (*Solanum lycopersicum*)” dinyatakan Layak digunakan sebagai media informasi bagi petani.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang Potensi Isolat Bakteri Endofit dalam Menekan Penetrasi Nematoda *Meloidogyne* sp. pada Bibit Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) serta pemanfaatannya sebagai leaflet, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Isolat bakteri endofit berpotensi menurunkan jumlah nematoda yang mampu berpenetrasi ke dalam akar bibit tomat (*Solanum lycopersicum* L.) sebesar 86,78% hingga 94,68%. Isolat bakteri dari genus *Streptobacillus* dengan kerapatan 10^{-8} merupakan yang paling efektif, dengan kemampuan menekan penetrasi nematoda hingga 94,68%. Selanjutnya diikuti oleh isolat dari genus *Veillonella* (10^{-8}) sebesar 94%, genus *Staphylococcus* (10^{-8}) sebesar 92,66%, genus *Streptobacillus* (10^{-9}) sebesar 91,34%, genus *Staphylococcus* (10^{-9}) sebesar 90%, dan genus *Veillonella* (10^{-9}) sebesar 86,78%
- b. Leaflet yang berjudul “Potensi Bakteri Endofit dalam Menekan Penetrasi Nematoda *Meloidogyne* sp. pada Bibit Tomat” dinyatakan layak dan valid digunakan sebagai media informasi bagi petani dengan rerata persentase skor 80,74% berdasarkan hasil penilaian tiga orang validator.

5.2 Saran

Peneliti memberikan beberapa saran yang didasarkan atas hasil penelitian yang telah dilaksanakan, diantaranya sebagai berikut :

1. Diperlukan uji lanjutan di lapangan dalam kondisi agroekosistem nyata dengan melibatkan lahan petani untuk mengevaluasi efektivitas isolat bakteri endofit dalam menekan populasi nematoda serta meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman tomat secara langsung.
2. Diperlukan identifikasi molekuler isolat bakteri yang paling potensial guna mengetahui spesies secara tepat

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, G., Khan, A., Khan, A. A., Ali, A., & Mohhammad, H. I. (2021). Biological control: a novel strategy for the control of the plant parasitic nematodes. *Antonie van Leeuwenhoek*, 114(7), 885-912
- Ali, M. Y., Sina, A. A. I., Khandker, S. S., Neesa, L., Tanvir, E. M., Kabir, A., ... & Gan, S. H. (2020). Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: A review. *Foods*, 10(1), 45.
- Althaf, M., Widayati, W., & Purnawati, A. (2022). Potensi bakteri endofit asal lahan basah kalimantan selatan sebagai agensia hayati nematoda puru akar (*Meloidogyne* sp.) Pada tanaman seledri (*Apium graveolens* l.) Secara in vitro. *Jurnal Pertanian Agros*, 24(2), 474-486.
- Arifien, Y., Putra, R. P., Wibaningwati, D. B., Anasi, P. T., Masnang, A., Rizki, F. H., ... & Indrawati, E. (2022). *Pengantar Ilmu Pertanian*. Get Press.
- Ankardiansyah, P. P., Munif, A., & Supramana, S. (2016). Bakteri endofit asal berbagai akar tanaman sebagai agens pengendali nematoda puru akar *Meloidogyne incognita* pada tomat. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 12(3), 75-75.
- Arti, I. M., Ramdhan, E. P., & Manurung, A. N. H. (2020). Pengaruh larutan garam dan kunyit pada berat dan total padatan terlarut buah tomat (*Solanum lycopersicum* L.). *Jurnal Pertanian Presisi (Journal of Precision Agriculture)*, 4(1), 64-75.
- Assadiyah, A. N., Dewanti, F. D., & Sulistyono, A. (2023). Respon Hasil Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) terhadap Macam Media Tanam dan Konsentrasi Pupuk Organik Cair Limbah Kulit Buah. *Agro Bali: Agricultural Journal*, 6(1), 93-104.
- Astari, S. M., Rialita, A., & Mahyarudin, M. (2021). Aktivitas Antibakteri Isolat Bakteri Endofit Tanaman Kunyit (*Curcuma longa* L.) Terhadap Pertumbuhan *Staphylococcus aureus*. *Jurnal Fitofarmaka Indonesia*, 8(2), 9-16.
- Azzahra, M. K., Arifin, Z., Astuti, I. P., Kurniasih, R. A., & Fauziyah, A. (2024). The effectiveness of β -glucan *Saccharomyces cerevisiae* and endophytic bacteria *Sonneratia alba* leaves on the immune response of *Litopenaeus*

vannamei infected with *Vibrio harveyi*. *Journal of Aquaculture Science*, 9(2), 107–115.

Banihashemian, S. N., Jamali, S., Golmohammadi, M., & Ghasemnezhad, M. (2022). Isolation and identification of endophytic bacteria associated with kiwifruit and their biocontrol potential against *Meloidogyne incognita*. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 32(1), 111.

Bharata, W., Sutejo, M. S., Syarah, N. K., Ariani, N. A., Priambodo, F. A., Verdiansyah, V., & Hasbar, M. H. A. (2023). Budidaya Tanaman Holtikultura Sebagai Perwujudan Ketahanan Pangan Masyarakat Desa Liang Ulu. Darmabakti: *Jurnal Pengabdian dan Pemberdayaan Masyarakat*, 4(1), 64-69.

Chamzurni, T., Mutiara, N., Jauharlina, J., Sriwati, R., & Oktarina, H. (2021). Uji Tepung Daun Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.) Untuk Mengendalikan Nematoda Puru Akar (*Meloidogyne* spp.) Pada Tanaman Tomat. *Jurnal Agrista*, 25(3), 129-135.

Durahman, D., Tarno, H., & Rahardjo, B. T. (2014). Eksplorasi Nematoda Parasit Tumbuhan pada Tanaman Nilam (*Pogostemon cablin* Benth) di Kecamatan Kesamben Kabupaten Blitar. *Jurnal HPT (Hama Penyakit Tumbuhan)*, 2(4), 1-10.

El-Deeb, B., Fayez, K., Gherbawy, Y., & Althubiani, A. (2021). Endophytic bacteria associated with *Moringa oleifera* leaves: Isolation, identification and their potential antibacterial activity. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(1), 720–726.

Fadiji, A. E., Ayangbenro, A. S., & Babalola, O. O. (2020). Metagenomic profiling of the community structure, diversity, and nutrient pathways of bacterial endophytes in maize plant. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 113, 1559-1571.

Fitriana, N., & Asri, M. T. (2022). Aktivitas Proteolitik pada Enzim Protease dari Bakteri Rhizosphere Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.) di Trenggalek. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*. 11(1) : 144-152.

Maulani, B. I. G., Rasmi, D. A. C., & Zulkifli, L. (2019). Isolation and characterization of endophytic bacteria from mangrove *Rhizophora mucronata* Lam. and antibacterial activity test against some pathogenic bacteria. *Journal of Physics*. 3(1402).

- Halimah, D., Munif, A., & Giyanto, G. (2016). Potensi *Ochrobactrum intermedium*-C939A31, *Klebsiella oxytoca*-C939A32, *Bacillus subtilis*-I308A32 Asal Tanaman Kopi untuk Mengendalikan Nematoda Luka Akar *Pratylenchus coffeae*. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 12(2), 62-62.
- Hamidi, I. (2022). Spesies *Meloidogyne* Penyebab Umbi Kentang Berbintil Pada Tiga Sentra Produksi Di Sumatera (Doctoral dissertation, IPB University).
- Harni, R. (2016). Prospek Pengembangan Bakteri Endofit Sebagai Agens Hayati Pengendalian Nematoda/the Prospect of Developing Endophytic Bacteria as Nematodes Biological Control. *Perspektif: Review Penelitian Tanaman Industri*, 15(1), 31-49.
- Harni, R. 2014. Prospek penggunaan bakteri endofit untuk pengendalian nematoda *Pratylenchus brachyurus* pada tanaman nilam. *Jurnal Perspektif* 13(1) : 1 – 12.
- Hay F, Striling G, Walker G, Keller KO, Cobon J, Vanstone V, Bulman S, Griffin D .(2014). Managemet of Root-Knot Nematode in Vegetable Crops Horticulture Australia Ltd. (HAL). Australia.
- Hong, C. E., & Park, J. M. (2016). Endophytic bacteria as biocontrol agents against plant pathogens: current state-of-the-art. *Plant Biotechnology Reports*, 10, 353-357.
- Ismiani, M., & Wilujeng, T. (2023). Analisis viabilitas isolat bakteri penambat nitrogen *Azotobacter* 33 pada bahan pembawa dan suhu penyimpanan yang berbeda. *Prosiding Agropross, Politeknik Negeri Jember*, 3(1), 87–93.
- Khotimah, N., Wijaya, I. N., & Sritamin, M. (2020). Perkembangan populasi nematoda puru akar (*Meloidogyne* spp.) dan tingkat kerusakan pada beberapa tanaman familia Solanaceae. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika ISSN, 2301*, 6515.
- Kurniawan, S. Y., & Ariami, P. (2023). SI PINTER Sebagai Alat Penghitung Koloni Bakteri Penunjang Laboratorium Mikrobiologi. *Jurnal Biotek*, 11(1), 88-98.

- Kurniawan, R. N., & Handayani, T. (2022). Identifikasi Morfologi dan Molekuler *Meloidogyne* spp. pada Tanaman Tomat di Jawa Timur. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 18(2), 145–154
- Kurniawati, F., Nursipa, N. T., & Munif, A. (2020). Nematoda parasit pada seledri (*Apium graveolens* L.) dan pengendaliannya menggunakan bakteri endofit secara in vitro. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 13(1), 70-81.
- Kusrini, K., & Aryuni, V. T. (2020). Faktor Berpengaruh dalam Produktivitas Tomat di Gurubunga Kota Tidore Kepulauan. *Jurnal Geocivic*, 3(1), 262-265.
- Leitão, D. A. H. S., et al. (2021). Upward migration of second-stage juveniles of *Meloidogyne floridensis* and *M. incognita* under different plant stimuli. *European Journal of Plant Pathology*, 161, 301–311.
- Lestari, D. E., Haryani, T., & Igianny, P. D. (2021). Efektivitas Media *Leaflet* untuk Meningkatkan Pengetahuan Siswi Tentang Sadari. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 2(2), 148-154
- Li, K., Liu, L., McClements, D. J., Liu, Z., Liu, X., & Liu, F. (2024). A review of the bioactive compounds of kiwifruit: Bioactivity, extraction, processing and challenges. *Food Reviews International*, 40(3), 996-1027.
- Lubis, E. R. (2020). *Bercocok tanam tomat untung melimpah*. Jakarta : Bhuana Ilmu Populer.
- Marwan, H., Nusifera, S., & Mulyati, S. (2021). Potensi bakteri endofit sebagai agens hayati untuk mengendalikan penyakit blas pada tanaman padi. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 26(3), 328-333.
- Maulana Sembiring, A. I. (2024). Keefektifan Senyawa Bioaktif Klon Pustaka Metagenomik sebagai Biokontrol *Meloidogyne incognita* dan Pemacu Pertumbuhan Tanaman. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 20(2).
- Mohamad, R., Salleh, M. M., & Abdullah, R. (2022). Chitinase-producing endophytes and their roles in plant defense activation. *Journal of Plant Interactions*, 17(2), 123–135.
- Nurjannah, N., Muhandi, M., & Hadid, A. (2021). Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Tomat (*Solanum Lycopersicum* L.) Terhadap Pemangkasan Tunas Air Dan

- Dosis Pemberian Pupuk Hijau *Tithonia diversifolia*. *Agrotekbis: E-Jurnal Ilmu Pertanian*, 9(5), 1171-1182.
- Oroh, A. R., Kindangen, P., & Pondaag, J. J. (2023). Analisis Supply Chain Komoditas Tomat di Desa Tumaratas Kecamatan Langowan Barat Kabupaten Minahasa. *Jurnal EMBA: Jurnal Riset Ekonomi, Manajemen, Bisnis dan Akuntansi*, 11(4), 188-199.
- Pangaribuan, N. U. A., & Liestiany, E. (2020). Penekanan Populasi Nematoda Puru Akar (*Meloidogyne* spp.) Dengan Menggunakan Serbuk Daun Sirsak (*Annona muricata* L.) Pada Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Jurnal Proteksi Tanaman Tropika*, 3(1), 175-180.
- Pangestu, D. C., Srihastuti, L. D., & Masni, E. (2023). Pengendalian *Meloidogyne* Hapla Pada Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum*) Menggunakan Agen Biokontrol Jamur Pemerangkap Nematoda. *Scripta Biologica*, 10(3).
- Parsiaaref, S., Cao, A., Li, Y., Ebadollahi, A., Parmoon, G., Wang, Q., ... & Zhang, M. (2024). The main compounds of bio-fumigant plants and their role in controlling the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood. *Agriculture*, 14(2), 261.
- Rustini, R., Ismed, F., & Nabila, G. S. 2022. Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Bakteri Endofit dan Identifikasi Bakteri yang Diisolasi dari Kulit Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia* Swingle). *Jurnal Sains Farmasi & Klinis*, 9(1),42-49.
- Santo, D., & Inorih, E. Efektivitas ekstrak daun jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) Dalam menghambat serangan nematoda puru akar (*Meloidogyne* spp.) Pada tanaman tomat. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, 21(1),1-8.
- Santoyo, G. *et al.* (2016). Plant growth-promoting bacterial endophytes. *Microbiological Research*, 183, 92–99.
- Sari, E. P., Basri, S., & Kasmawati, K. (2021). Pengaruh Media Pembelajaran *Leaflet* Terhadap Hasil Belajar Biologi. *Binomial*, 4(1), 1-14.
- Singh, R. R., & Wesemael, W. M. L. (2022). *Paenibacillus polymyxa* LMG27872 inhibits *Meloidogyne incognita* parasitism and promotes tomato growth in a dose-dependent manner. *Frontiers in Plant Science*, 13, 961085.

- Sirajudin, F. U. Datta, & E. J. L. Lazarus. (2022). Efek Penggunaan Ekstrak Daun Kersen (*Muntingia calabura*) Terhadap Mortalitas Cacing *Haemonchus contortus* Secara In Vitro. *Journal of Tropical Animal Production*, 23(1).
- Syahid, A., Swibawa, I. G., & Fitriana, Y. (2021). Identifikasi Berbasis Morfologi Nematoda Puru Akar (*Meloidogyne* Spp.) Pada Pertanaman Jambu Biji Kristal Di Provinsi Lampung. *Agrotek Tropika*, 9(1), 35-44.
- Syahrok, S. F., Widiyati, W., Pribadi, D. U., Wiyatiningsih, S., & Suryaminarsih, P. (2021). Pengaruh Pemberian *Trichoderma* sp. dan *Streptomyces* sp. Terhadap Keberadaan Nematoda Puru Akar Dan Pertumbuhan Tanaman Tomat Ceri. *Jurnal Agrohita: Jurnal Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Tapanuli Selatan*, 6(2), 132-138.
- Tapia-Vázquez, I., Montoya-Martínez, A. C., De los Santos-Villalobos, S., Ek-Ramos, M. J., Montesinos-Matías, R., & Martínez-Anaya, C. (2022). Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) a threat to agriculture in Mexico: Biology, current control strategies, and perspectives. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 38(2), 26.
- Wang, L., Yan, X., & Tang, Z. (2024). Joint Impacts of *Meloidogyne incognita* and Soil Nutrition on *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*. *Plant Disease*,
- Wei, L., Zhang, J., & Liu, H. (2024). Role of lipase-producing endophytes in maintaining root membrane stability under oxidative stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 200, 111–119.
- Wulandari, D. R., Sudana, I. M., & Singarsa, I. D. P. (2019). Tingkat Fekunditas Nematoda (*Meloidogyne* spp.) pada Beberapa Tanaman yang Tergolong Familia Solanaceae. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika ISSN, 2301*, 6515.
- Wulandari, E., Suryaningsih, L., Pratama, A., Putra, D. S., & Runtini, N. (2016). Karakteristik Fisik, Kimia dan Nilai Kesukaan Nugget Ayam Dengan Penambahan Pasta Tomat . *Jurnal Ilmu Ternak Universitas Padjadjaran*, 16(2).
- Yu, X. *et al.* (2023). Evaluation of *Bacillus* colonization dynamics in tomato roots and correlation with biocontrol efficacy against *Meloidogyne incognita*. *European Journal of Plant Pathology*, 169,

- Zakaria, M. A. (2024). Pertumbuhan Koloni Bakteri dan Karakteristik Morfologi Bakteri Akar Tebu dalam Cairan Terfermentasi. *Jagad Tani: Jurnal Ilmu Pertanian*, 1(1), 29-43.
- Zhang, S., & Huang, S. (2023). The commensal anaerobe *Veillonella dispar* reprograms its lactate metabolism and short-chain fatty acid production during the stationary phase. *Microbiology Spectrum*, 11(2), e03558-22.
- Zulaiha, S., Munif, A., & Nawangsih, A. A. (2022). Potensi Bakteri Endofit Asal *Lantana camara*, Kelapa Sawit, dan Mangrove untuk Mengendalikan *Meloidogyne* spp. pada Tanaman Terung. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 1

LAMPIRAN

Lampiran	QR Code
Lampiran 1. Matriks Penelitian	 https://unej.id/MatriksPenelitianInayatul
Lampiran 2. Lembar Validasi <i>Leaflet</i>	 https://unej.id/LembarValidasiLeafletInayatul
Lampiran 3. Data Hasil Pengamatan	 https://unej.id/DataHasilPengamatanInayatul
Lampiran 4. Alat dan Bahan	 https://unej.id/AlatdanBahanInayatul

Lampiran 5. Akar tanaman
Tomat



<https://unej.id/AkarTanamanTomatInayatul>

Lampiran 6. Dokumentasi
Kegiatan



<https://unej.id/DokumentasiKegiatanInayatul>

Lampiran 7. Hasil Validasi
Leaflet



<https://unej.id/HasilValidasiLeafletInayatul>

Lampiran 8. *Leaflet*



<https://unej.id/LeafletInayatul>
