

Potensi Bakteri Endofit Asal *Lantana camara*, Kelapa Sawit, dan Mangrove untuk Mengendalikan *Meloidogyne* spp. pada Tanaman Terung

Potential of the Endophytic Bacteria from *Lantana camara*, Palm Oil, and Mangroves to control *Meloidogyne* spp. on Eggplant

Siti Zulaiha, Abdul Munif*, Abdjad Asih Nawangsih
Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680

ABSTRAK

Nematoda puru akar (NPA) *Meloidogyne* spp. merupakan salah satu patogen penting pada tanaman terung. Puru akar sangat merugikan karena menurunkan hasil produksi. Penelitian ini bertujuan mendapatkan bakteri endofit dari *Lantana camara* dan mengevaluasinya bersama bakteri endofit dari akar kelapa sawit, dan mangrove yang berpotensi untuk mengendalikan *Meloidogyne* spp. dan menentukan pengaruhnya pada pertumbuhan tanaman terung, serta mengidentifikasi bakteri endofit yang potensial sebagai agens pengendalian hayati. Potensi agens hayati mengacu pada hasil pengujian uji mortalitas, uji senyawa organik volatil (SOV) dan uji penekanan puru akar dievaluasi dengan mengukur persentase penurunan jumlah puru, kerusakan akar, dan jumlah paket telur. Hasil uji menunjukkan seluruh isolat bakteri endofit berpotensi menyebabkan mortalitas, menghasilkan SOV, dan dapat menekan persentase jumlah puru pada akar, serta memberikan pengaruh terhadap bobot dan tinggi tanaman. Bakteri endofit LCA5 dan LCA13 menyebabkan mortalitas lebih dari 90% terhadap *Meloidogyne* spp. J2. selama 24 jam dan pada uji SOV menyebabkan mortalitas lebih dari 60% selama 24 jam. Bakteri endofit yang memiliki potensi sebagai pengendalian hayati diidentifikasi sebagai *Dyella marenensis*, *Stenotrophomonas rhizophilla*, dan *Providencia vermicola*.

Kata kunci: identifikasi, mortalitas, senyawa organik volatil

ABSTRACT

Root knot nematodes *Meloidogyne* spp. is one of the important pathogens in eggplant. Root gall is very detrimental disease that can cause production reduces. This study aims to obtain endophytic bacteria from *Lantana camara* and evaluate them together with endophytic bacteria from oil palm roots and mangroves which have the potential to control *Meloidogyne* spp. and determine its effect on eggplant growth, as well as identify potential endophytic bacteria as biological control agents. The biological control agents' potency was referred to screening results such as mortality test, volatile organic compound (SOV) and suppress test on root gall was evaluated by measuring percentage of gall reduction, root damage scale and egg package. The results showed that all endophytic bacteria isolates had the potential to mortality of *Meloidogyne* spp. and produce SOV as well as can suppressing the percentage of gall reduction in eggplant root and have effect to the weight and height of the plant. Isolates LCA5 and LCA13 had the potential to mortality of *Meloidogyne* spp. above 90% during 24 hours, and the SOV test causes mortality above 60% for 24 hours. Endophytic bacteria that have potential as biological control were identified as *Dyella marenensis*, *Stenotrophomonas rhizophilla*, and *Providencia vermicola*.

Keywords: identification, mortality, volatile organic compound

*Alamat penulis korespondensi: Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor, 16680.
Tel: 0251-8629364, Faks: 0251-8629362, Surel: abdulmunif@apps.ipb.ac.id

PENDAHULUAN

Terung (*Solanum melongena*) merupakan salah satu sayuran di Indonesia. Buahnya kaya nutrisi dan bermanfaat bagi kesehatan. Tingginya permintaan mengakibatkan produksi terung meningkat menjadi 676 339 ton dengan luas lahan 50 161 Ha pada tahun 2021 (BPS 2021). Namun terdapat beberapa kendala produksi yang dihadapi, antara lain penurunan tingkat kesuburan lahan akibat degradasi kualitas lingkungan, sistem budi daya yang belum tepat, sarana prasarana yang belum mendukung, penyimpangan iklim dan gangguan organisme pengganggu tanaman. Salah satu patogen yang menyebabkan penurunan produksi terung ialah nematoda puru akar (NPA) *Meloidogyne* spp. yang dapat menghambat distribusi air dan hara melalui akar ke bagian atas tanaman. Tanaman menjadi layu pada siang hari, menguning, dan kerdil. *Meloidogyne* spp. pada tanaman *Solanaceae* di wilayah iklim tropis dan subtropis menyebabkan penurunan produksi hingga 80% (Sikora dan Fernandez 2005) dan merusak akar hingga 31.7% (Khotimah *et al.* 2020).

Teknik pengendalian NPA yang biasa dilakukan ialah penggunaan varietas tahan, rotasi tanaman, serta penggunaan nematisida. Teknik pengendalian biologi menggunakan bakteri, khususnya bakteri endofit belum banyak dilaporkan. Bakteri endofit merupakan bakteri yang hidup dalam jaringan perakaran, dalam berinteraksi tanaman menyediakan nutrisi dan relung untuk bakteri. Sebagai gantinya, interaksi ini secara langsung atau tidak langsung dapat meningkatkan pertumbuhan dan kesehatan tanaman inang (Mastretta 2009). Bakteri endofit memiliki beberapa jenis enzim seperti kitinase, protease, lipase, dan kolagenase yang mampu memecahkan susunan biokimia utama dari kutikula dan kulit telur nematoda (Alvarez dan Aballay 2016). Bakteri endofit meningkatkan pertumbuhan tanaman seperti menyediakan unsur Fe melalui produksi siderofor dan pelarutan fosfat, menghambat nitrogen, dan menghasilkan senyawa fitohormon asam indol-3-asetat (Ma *et al.* 2015).

Lantana camara merupakan gulma liar yang memiliki kemampuan adaptasi tinggi di berbagai kondisi lingkungan. Spesies ini dimanfaatkan dalam dunia farmakologi sebagai antioksidan dan antimikrob (Patil 2000). Bakteri endofit yang berasosiasi dengan *L. camara* mayoritas berasal dari *Bacillus* (Janardhan dan Vijayan 2012). *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas fluorescens* merupakan bakteri antagonis yang berpotensi untuk mengendalikan *M. incognita* karena menghasilkan enzim protease dan kitinase yang dapat mendegradasi dinding sel *M. incognita* dan *M. javanica* (Kalaiarasan *et al.* 2006).

Penelitian sebelumnya telah menemukan bakteri endofit *B. subtilis* EG26 yang berasal dari perakaran kelapa sawit dan *B. toyonensis* BAT27 berasal dari mangrove. Kedua bakteri endofit ini diketahui mampu menekan insidensi dan keparahan penyakit karena *Ganoderma boninense* (Anggita 2019). Penelitian ini bertujuan mengevaluasi potensi bakteri endofit asal *L. camara*, *B. toyonensis* asal kelapa sawit, dan *B. subtilis* asal mangrove sebagai agens biokontrol nematoda puru akar serta menentukan potensinya dalam memacu pertumbuhan tanaman terung.

BAHAN DAN METODE

Bakteri Endofit

Isolasi bakteri endofit dari akar *L. camara* mengikuti metode yang dilakukan oleh Munif *et al.* (2015). Selain itu digunakan juga 2 galur bakteri endofit, yaitu *Bacillus subtilis* EG26 berasal dari kelapa sawit dan *B. toyonensis* BAT27 berasal dari mangrove, keduanya merupakan koleksi Laboratorium Nematologi Tumbuhan, Fakultas Pertanian, IPB. Kedua galur bakteri ini telah diuji keamanan hayatinya. Semua bakteri endofit diremajakan pada medium *tryptic soy agar* (TSA).

Pengujian Keamanan Hayati

Uji Reaksi Hipersensitivitas. Bakteri endofit dibiakkan pada medium *tryptic soy broth* (TSB) selama 48 jam. Sebanyak 1 mL suspensi bakteri endofit diinfiltrasikan

menggunakan alat suntik pada bagian bawah permukaan daun tembakau. Reaksi dinyatakan positif apabila terjadi nekrosis dalam waktu 24 jam dan hanya bakteri endofit yang tidak mengakibatkan nekrosis dilanjutkan untuk uji hemolisis (Heath 2000).

Uji Hemolisis. Bakteri endofit dibiakkan pada medium agar-agar darah dan diinkubasi selama 48 jam. Bakteri yang menghasilkan zona bening atau mengubah warna pada medium tidak digunakan pada uji lanjut karena berpotensi sebagai patogen terhadap mamalia (Beutin 1991).

Pengujian Bakteri Endofit terhadap Mortalitas *Meloidogyne* spp. secara *in Vitro*

Uji bakteri endofit terhadap mortalitas *Meloidogyne* spp. juvenil 2 (J2) mengikuti metode Yus *et al.* (2014). Nematoda yang digunakan ialah *M. incognita* dan *M. javanica* yang telah dibiakkan pada tanaman terung. Nematoda dibiakkan dari paket telur yang diambil menggunakan metode *mist chamber* kemudian nematoda yang menetas disiapkan untuk diuji. Bakteri endofit yang diuji terdiri atas 5 isolat, yaitu EG26, BAT27, LCA5, LCA13, dan LCA19. Bakteri endofit dibiakkan pada medium TSA selama 48 jam. Suspensi bakteri endofit dengan kerapatan 10^7 cfu mL⁻¹ digunakan untuk menguji mortalitas nematoda.

Pengujian dilakukan dengan merendam 35 ekor, masing-masing *M. incognita* dan *M. javanica* J2, dengan 5 mL suspensi bakteri endofit dan sebagai kontrol digunakan medium TSB dan air. Inkubasi dilakukan pada ruangan steril selama 6 jam dan 24 jam. Mortalitas nematoda dipastikan dengan membilas kembali nematoda yang tidak bergerak menggunakan air steril selama 4 jam untuk selanjutnya dihitung menggunakan rumus:

$$N = \frac{n1}{n2} \times 100\%, \text{ dengan}$$

N, mortalitas nematoda; n1, jumlah nematoda yang mati; dan n2 jumlah nematoda yang diuji. Data dianalisis menggunakan analisis ragam. Pemisahan nilai tengah tiap perlakuan menggunakan program Minitab 20. Data mortalitas kemudian diuji lanjut dengan uji Tukey pada taraf 5%.

Uji Senyawa Organik Volatil

Senyawa volatil yang dihasilkan bakteri endofit untuk menonaktifkan *Meloidogyne* spp. diamati mengikuti metode Xu *et al.* (2015). Cawan petri disekat, satu bagian diisi 5 mL suspensi bakteri endofit dengan kerapatan 10^1 cfu mL⁻¹, sedangkan bagian lainnya diisi dengan agar-agar air. Sebanyak 100 ekor *Meloidogyne* spp. J2 ditambahkan ke permukaan agar-agar air, kemudian cawan ditutup rapat dan diinkubasi selama 24 jam. Jumlah nematoda bergerak dan tidak bergerak dihitung menggunakan mikroskop.

Uji Keefektifan Bakteri Endofit terhadap *Meloidogyne* spp. secara *in Vivo*

Uji ini dilakukan dalam rumah kaca yang bertujuan mengamati kemampuan bakteri endofit dalam menekan *Meloidogyne* spp. dan memacu pertumbuhan tanaman. Benih terung varietas Antaboga direndam di dalam 100 mL suspensi bakteri endofit uji dengan kerapatan 10^7 cfu mL⁻¹ selama 4 jam. Bibit terung disiram suspensi bakteri setiap 2 minggu hingga tanaman berumur 8 minggu, kemudian diinfestasi dengan 200 ekor *Meloidogyne* spp. J2. Kontrol menggunakan bibit terung yang direndam dan disiram menggunakan air steril. Percobaan ini disusun dalam rancangan acak lengkap dan diulang sepuluh kali. Peubah yang diamati ialah tinggi dan bobot basah tanaman, massa telur *Meloidogyne* spp. yang terbentuk.

Kerusakan akar diamati berdasarkan pada jumlah puru mengikuti metode Taylor dan Sasser (1978): skala 0, tidak ada kerusakan akar atau puru pada akar; skala 1, terdapat 1 atau 2 puru pada akar; skala 2, terdapat 3–10 puru pada akar; skala 3, terdapat 11–30 puru pada akar; dan skala 4, terdapat 31–100 puru pada akar. Persentase penurunan jumlah puru (P) dihitung menggunakan rumus:

$$P = \frac{(P1 - P2)}{P1} \times 100\%, \text{ dengan}$$

P1, jumlah puru pada tanaman kontrol; dan P2, jumlah puru pada tanaman perlakuan bakteri endofit, sedangkan jumlah paket merupakan nilai rata-rata paket telur per akar (\bar{x}) dihitung menggunakan rumus:

$$\bar{x} = \frac{\sum X_i}{n}, \text{ dengan}$$

$\sum X_i$, jumlah seluruh data; dan n , banyaknya data. Data dianalisis dengan sidik ragam. Pemisahan nilai tengah tiap perlakuan menggunakan program Minitab 20. Data uji *in vivo* kemudian diuji lanjut dengan uji Dunnet pada taraf 5%.

Identifikasi Molekuler Bakteri Endofit Asal *Lantana camara*

Sebanyak tiga isolat bakteri dari hasil uji *in vivo* pada tanaman terung dipilih untuk diidentifikasi molekuler. Ekstrasi DNA bakteri endofit mengikuti metode Sambrook dan Russel (2001). Amplifikasi PCR menggunakan primer universal, yaitu primer forward 27F dan primer reverse 1492R (Frank *et al.* 2008). Produk PCR hasil amplifikasi dikirim ke First BASE Malaysia untuk dirunut susunan nukleotidanya. Analisis dilakukan dengan BLAST yang terdapat dalam situs NCBI

HASIL

Sebanyak 48 bakteri endofit berhasil diisolasi dari akar *L. camara*. Hasil uji hipersensitif menunjukkan sebanyak 35 dari 48 bakteri endofit tidak menunjukkan nekrosis dan dari uji hemolisis diperoleh 23 bakteri endofit yang tidak menunjukkan perubahan pada medium agar-agar darah. Sebanyak 3 isolat bakteri asal *L. camara*, yaitu isolat LCA5, LCA13, dan LCA19, serta isolat asal kelapa sawit EG26 dan isolat asal mangrove BAT27 diujikan secara *in vitro* dan *in vivo*

terhadap *Meloidogyne* spp. dan pertumbuhan tanaman terung.

Peran Bakteri Endofit terhadap Mortalitas *Meloidogyne* spp.

Bakteri endofit memiliki kemampuan nematisidal terhadap *Meloidogyne* spp. J2 sebesar 34.3% dan 96.2% pada perlakuan 6 jam dan 24 jam. Hasil uji suspensi bakteri endofit secara *in vitro* menunjukkan seluruh bakteri endofit memberikan pengaruh berbeda nyata 6 jam setelah perlakuan, yakni mortalitas meningkat setelah 24 jam perlakuan. Bakteri endofit LCA5 dan LCA13 meningkatkan mortalitas *Meloidogyne* spp. di atas 90% pada 24 jam, yaitu 96.2% dan 95.2%. (Tabel 1).

Aktivitas Senyawa Organik Volatil Bakteri Endofit pada *Meloidogyne* spp.

Hasil pengujian *in vitro* kemampuan bakteri endofit menunjukkan bahwa seluruh bakteri endofit uji memberikan pengaruh nyata terhadap mortalitas *Meloidogyne* spp. J2. LCA5 dan LCA13 menyebabkan mortalitas masing-masing sebesar 62.3% dan 72.7% setelah 24 jam perlakuan (Tabel 2).

Kemampuan Bakteri Endofit sebagai Agens Hayati *Meloidogyne* spp. dan Pemacu Pertumbuhan Terung

Seluruh bakteri endofit uji menunjukkan tingkat kerusakan akar lebih rendah (Tabel 3) serta meningkatkan tinggi dan bobot tanaman (Tabel 4) dibandingkan dengan kontrol. Seluruh bakteri endofit uji juga

Tabel 1 Mortalitas *Meloidogyne* spp. juvenil 2 secara *in vitro* pada 6 dan 24 jam oleh bakteri endofit

| Bakteri endofit | Asal tanaman | Mortalitas (%) | |
|----------------------------------|-----------------------|----------------|---------|
| | | 6 jam | 24 jam |
| Kontrol medium TSB | - | 2.9 c | 24.8 d |
| Kontrol air | - | 0.0 c | 5.02 e |
| LCA5 | <i>Lantana camara</i> | 67.6 a | 96.2 a |
| LCA13 | <i>Lantana camara</i> | 65.7 a | 95.2 a |
| LCA19 | <i>Lantana camara</i> | 52.4 ab | 77.1 bc |
| <i>Bacillus toyonensis</i> BAT27 | Mangrove | 50.5 ab | 83.8 b |
| <i>Bacillus subtilis</i> EG26 | Kelapa Sawit | 52.4 ab | 82.9 b |

Angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey pada α 5%.

Tabel 2 Uji senyawa organik volatil bakteri endofit

| Bakteri endofit | Mortalitas (%) |
|----------------------------------|----------------|
| Kontrol | 12.3 c |
| LCA5 | 62.3 ab |
| LCA13 | 72.7 a |
| LCA19 | 58.6 b |
| <i>Bacillus toyonensis</i> BAT27 | 42.0 b |
| <i>Bacillus subtilis</i> EG26 | 48.0 b |

Angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey pada α 5%.

Tabel 3 Peran bakteri endofit terhadap kerusakan dan penurunan jumlah puru akar, serta jumlah paket telur *Meloidogyne* spp. J2.

| Bakteri endofit | Kerusakan akar (skala) | Penurunan jumlah puru (%) | Jumlah paket telur per akar |
|----------------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Kontrol | 3.1 a | 0.00 a | 8.6 a |
| LCA5 | 1.8 b | 81.3 b | 2.2 b |
| LCA13 | 2.1 b | 74.8 b | 2.6 b |
| LCA19 | 2.5 b | 47.5 b | 4.4 b |
| <i>Bacillus toyonensis</i> BAT27 | 2.5 b | 50.4 b | 5.8 b |
| <i>Bacillus subtilis</i> EG26 | 2.9 bcd | 28.8 b | 3.6 b |

Angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji Dunnet pada α 5%.

Tabel 4 Peran bakteri endofit terhadap tinggi bobot tanaman

| Bakteri endofit | Tinggi tanaman (cm) | Bobot tanaman (g) |
|----------------------------------|---------------------|-------------------|
| Kontrol | 40.9 a | 77.7 a |
| LCA5 | 48.1 b | 98.9 b |
| LCA13 | 48.2 b | 95.2 b |
| LCA19 | 51.3 b | 104.3 b |
| <i>Bacillus toyonensis</i> BAT27 | 46.4 b | 88.6 b |
| <i>Bacillus subtilis</i> EG26 | 47.6 b | 92.6 b |

Angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji Dunnet pada α 5%.

dapat menurunkan skala kerusakan akar dan menurunkan massa telur pada akar terung.

Identifikasi Molekuler Bakteri Endofit Asal *Lantana camara*

Peruntukan DNA bakteri endofit LCA5 memiliki homologi 99.93% dengan *Dyella marensis* asal Korea Selatan, LCA13 memiliki homologi 98.03% dengan *Stenotrophomonas rhizophila* asal Slovakia, dan LCA19 memiliki homologi 99% dengan *Providencia vermicola* asal Indonesia (Tabel 5).

PEMBAHASAN

Bakteri endofit sering dimanfaatkan keberadaannya sebagai agens hayati pengendali patogen. Bakteri ini mampu menghasilkan lebih dari satu karakter fisiologi sehingga berpotensi menjadi agens pengendali patogen. Keberadaan enzim sering dimanfaatkan sebagai biokontrol *Meloidogyne* spp. karena kemampuan yang cepat merusak struktur biokimia kutikula nematoda. Enzim yang berperan dalam proses pemecahan susunan biokimia dari kutikula nematoda dan kulit telur

Tabel 5 Identifikasi molekuler bakteri endofit dari *Lantara camara*

| Bakteri endofit | Nama spesies | Query cover (%) | Identitas (%) | No akses | Asal |
|-----------------|------------------------------------|-----------------|---------------|------------|-----------|
| LCA5 | <i>Dyella marensis</i> | 100 | 99.93 | LN890104 1 | Korea |
| LCA13 | <i>Stenotrophomonas rhizophila</i> | 100 | 98.03 | MG788289 1 | Slovakia |
| LCA19 | <i>Providencia vermicola</i> | 100 | 99.80 | KY671146 1 | Indonesia |

nematoda ialah enzim kolagenase, kitinase, dan protease (Chen *et al.* 2015). Lokalisasi jaringan akar tomat yang dikolonisasi oleh bakteri endofit *Bacillus cereus* memiliki sifat repellent infeksi *M. incognita* J2 dan memacu pertumbuhan tanaman (Hu *et al.* 2017). Bakteri endofit memiliki senyawa volatil yang berkaitan dengan mortalitas nematoda. *Pseudochrobactrum saccharolyticum* menghasilkan senyawa *S-methyl thiobutyrate* dan *Nonan-2-one* yang menyebabkan mortalitas hingga 100% terhadap *M. incognita* J2 setelah 24 jam (Xu *et al.* 2015). *Bacillus cereus* Bc-cm103 dapat menyebabkan mortalitas *M. incognita* J2 sebesar 90.08% setelah 24 jam pemaparan. Bakteri ini menghasilkan senyawa dimetil disulfida (30.63%) dan S-metil ester butan asam etinoat (30.29%) yang dilaporkan memiliki aktivitas nematisida terhadap *M. incognita* (Yin *et al.* 2021). Kemampuan *Bacillus* spp. sudah banyak dilaporkan sebagai agens biokontrol bagi patogen. Bakteri ini menghasilkan berbagai zat antimikrob, sebagian besar menjadi peptida antimikrob dengan bobot molekul rendah dan beberapa antagonis protein (Kong *et al.* 2018).

Dalam penelitian ini bakteri endofit menekan kerusakan akar, menurunkan jumlah puru serta jumlah telur secara signifikan. Bakteri endofit diduga mampu memengaruhi proses fisiologi akar dengan mencegah kerusakan yang diakibatkan oleh nematoda dan menghambat perkembangan dan reproduksi nematoda (Sikora *et al.* 2007). Bakteri *Stenotrophomonas* dikenal berpotensi memacu pertumbuhan tanaman. *Stenotrophomonas* galur 169 melalui uji *in vitro* terhadap pertumbuhan tanaman mampu meningkatkan panjang pucuk dan bobot pucuk serta pertumbuhan pucuk akar secara signifikan (Ulrich 2021). *Stenotrophomonas*

sp. dan *Rhizobium* sp. dari gandum liar mampu mensintesis IAA lebih dari 250 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (Tapia *et al.* 2020). *Stenotrophomonas rhizophila* secara signifikan menurunkan populasi kepadatan *Meloidogyne incognita*. Bakteri ini memproduksi siderofor dan nitrogenase sehingga mampu menaikkan bobot dan volume akar rumput bermuda (Groover *et al.* 2020). *Dyella marensis* yang diisolasi dari tumbuhan anggrek liar memproduksi siderofor (Herrera *et al.* 2020). Siderofor dapat digunakan dalam pengendalian penyakit tumbuhan dengan memanfaatkan perannya untuk menyerap besi sehingga tersedia untuk digunakan tanaman dan kompetisi nutrisi dengan membatasi ketersediaan besi bagi patogen untuk menghambat pertumbuhannya (Yadav 2018).

Semua bakteri endofit uji mampu meningkatkan tinggi dan bobot tanaman. Dalam penelitian ini, bakteri endofit *Providencia vermicola* LCA19 memiliki kemampuan optimal dalam meningkatkan tinggi dan bobot tanaman. Bakteri *P. vermicola* menghasilkan IAA dan pelarut fosfat (Aish *et al.* 2019). Inokulasi tanaman dengan bakteri pelarut fosfat meningkatkan pertumbuhan tanaman karena fosfat terlarut dapat diasimilasi langsung oleh tanaman (Oteino *et al.* 2015). Inokulasi bakteri pelarut fosfat menghasilkan asam glukonat pada rizosfer tanaman. Bakteri *P. vermicola* Cuc1 dapat mengurangi kerusakan akibat terakumulasinya tembaga dalam tanah. Aplikasi berbagai macam bakteri pemacu pertumbuhan yang tahan terhadap logam memiliki potensi sebagai pupuk hayati pada tanah yang terkontaminasi logam (Islam *et al.* 2015).

Hasil penelitian ini memberikan indikasi yang kuat bahwa bakteri endofit asal tumbuhan *L. camara*, kelapa sawit, dan mangrove memiliki potensi sebagai agens

biokontrol terhadap *Meloidogyne* spp. pada tanaman terung serta dapat memacu pertumbuhan tanaman terung dalam kondisi rumah kaca. Pengendalian biologi baik dengan memanfaatkan bakteri endofit maupun dengan pemanfaatan ekstrak tanaman yang mengandung efek biopestisida untuk mengendalikan *Meloidogyne* spp. pada tanaman terung perlu terus dikembangkan mengingat terung adalah komoditas tanaman sayuran strategis di Indonesia. Studi lanjut diperlukan terhadap senyawa kimia yang dihasilkan oleh bakteri endofit, selain itu perlu dilakukan penelitian untuk melihat induksi ketahanan tanaman oleh perlakuan bakteri endofit.

DAFTAR PUSTAKA

- Aish AA, Mohammad MS, Sahar, AY, Samiya IM. 2019. *Providencia vermicola* mediated growth alteration and inhibited gall formation on tomato plants infected with the root knot nematode *Meloidogyne javanica*. Plant Archives. 19(2):3865–3873.
- Alvarez C, Aballay E. 2016. Rhizobacteria with nematicide aptitude: enzymes and compounds associated. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 23(12):32–203. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2165-6>.
- Anggita SA. 2020. Potensi bakteri endofit sebagai agens biokontrol penyakit busuk pangkal batang (*Ganoderma boninense*) pada tanaman kelapa sawit [tesis]. Bogor (ID): IPB University.
- Beutin L. 1991. The different hemolysins of *Escherichia coli*. Medical Microbiology and Immunology. 180(4):167–182. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00215246>.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2021. Statistik Pertanian 2021: Produksi tanaman terung, luas panen terung, dan produktivitas terung. Jakarta (ID): Badan Pusat Statistik. <https://www.pertanian.go.id/home/?show=page&act=view&id=61> [diakses 20 Maret 2022].
- Chen L, Jiang H, Cheng Q, Cheng J, Wu G, Kumar A, Sun M, Liu Z. 2015. Enhanced nematicidal potential of the chitinase pachi from *Pseudomonas aeruginosa* in association with Cry21Aa. Scientific Reports. 14(395):2045–2322. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep14395>.
- Frank JA, Claudia I, Reich, Sharma S, Weisbaum JS, Wilson BA, Olsen GJ. 2008. Critical evaluation of two primers commonly used for amplification of bacterial 16S rRNA Genes. Applied and Environmental Microbiology. 74(8):2461–2470. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.02272-07>.
- Groover W, Held D, Lawrence K, Carson K. 2020. Plant growth-promoting rhizobacteria: a novel management strategy for *Meloidogyne incognita* on turfgrass. Pest Management Science. 76(9):3127–3138. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5867>.
- Heath MC. 2000. Hypersensitive response-related death. Plant Molecular Biology. 44(3):321–334. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-010-0934-8_6.
- Herrera H, Sanhueza T, Novotná A, Charles TC, Arriagada C. 2020. Isolation and identification of endophytic bacteria from mycorrhizal tissues of terrestrial orchids from Southern Chile. Diversity. 12(2):55. DOI: <https://doi.org/10.3390/d12020055>.
- Hu HJ, Chen YL, Wang YF, Tang YY, Chen SL, Yan SZ. 2017. Endophytic *Bacillus cereus* effectively controls *Meloidogyne incognita* on tomato plants through rapid rhizosphere occupation and repellent action. Plant Disease. 101(3):448–455. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-16-0871-RE>.
- Islam F, Yasmeen T, Ali Q, Mubin M, Ali S, Arif MS, Hussain S, Riaz M, Abbas F. 2015. Copper-resistant bacteria reduces oxidative stress and uptake of copper in lentil plants: potential for bacterial bioremediation. Environment Science and Pollution Research. 23(1):220–233. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5354-1>.
- Janardhan BS, Vijayan K. 2012. Types of endophytic bacteria associated with

- traditional medicinal plant *Lantana camara* Linn. *Pharmacognosy Journal*. 4(32):20–23. DOI: <https://doi.org/10.5530/pj.2012.32.4>.
- Kalaiarasan P, Lakshmanan P, Rajendran G, Samiyappan R. 2006. Chitin and chitinolytic biocontrol agents for the management of root knot nematode, *Meloidogyne arenaria* in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) cv Co3. *Indian Journal Nematology*. 36(2):181–186.
- Kong WJ, Yan YC, Li XY, Liu ZY. 2018. Draft genome sequence of *Bacillus velezensis* peba20 a strain with a plant growth-promoting effect and biocontrol potential genome announcements. *American Society for Microbiology*. (6):21. DOI: 10.1128/genomeA.00286-18
- Khotimah N, Wijaya IN, Sritamin M. 2020. Perkembangan populasi nematoda puru akar (*Meloidogyne* spp.) dan tingkat kerusakan pada beberapa tanaman familia Solanaceae. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*. 9(1):23–31. ISSN 2301-6515.
- Ma Y, Oliveira RS, Nai F, Rajkumar M, Luo Y, Rocha I, Freitas H. 2015. The hyper accumulator *Sedum plumbizincicola* harbors metal-resistant endophytic bacteria that improves its phytoextraction capacity in multi-metal contaminated soil. *Journal Environment Management*. 1(156):62–69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.03.024>.
- Mastretta C, Taghavi S, Lelie VD, Mengoni A, Galardi F, Gonnelli C, Barac T, Bouler J, Weyens N, Vangronsveld J. 2009. Endophytic bacteria from seeds of *Nicotiana tabacum* can reduce cadmium phytotoxicity. *International Journal of Phytoremediation*. 11(3):251–267.
- Munif A, Wibowo AR, Herliyana EN. 2015. Bakteri endofit dari tanaman kehutanan sebagai pemacu pertumbuhan tanaman tomat dan agens pengendali *Meloidogyne* spp. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 11(6):179–186. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.11.6.179>.
- Oteino N, Lally RD, Kiwanuka S, Llyord A, Ryan D, Germaine KJ, Dowling DN. 2015. Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates. *Frontiers in Microbiology*. 6(9):1–9. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00745>.
- Patil RS, Ghormade V, Deshpande MV. 2000. Chitinolytic enzymes: an exploration. *Enzyme and Microbial Technology*. 26(7):473–483. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(00\)00134-4](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(00)00134-4).
- Sambrook JF, Russel DW. 2001. Molecular cloning: In vitro amplification of DNA by the polymerase chain reaction. Di dalam Green MR, Sambrook J, editor. *A Laboratory Manual*. New York (US): Cold Spring Harbor Laboratory Press. hlm:748–752.
- Sikora RA, Fernandez. 2005. Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture: Nematode parasites of vegetables. Di dalam: Luc M, Sikora RA, Bridge J, editor. *Library of Congress Cataloging-in-Publication Data*. Wallingford (UK): CABI publishing. hlm:319–393.
- Sikora RA, Schafer K, Dababat AA. 2007. Modes of action associated with microbially induced in planta suppression of plant parasitic nematodes. *Australasian Plant Pathology*. 36:124–134. DOI: <https://doi.org/10.1071/AP07008>.
- Tapia-Garcia EY, Hernández-Trejo V, Guevara-Luna J, Rojas FU, Arroyo-Herrera I, Meza-Radilla G, Vásquez-Murrieta MS, Estrada-de los Santos P. 2020. Plant growth-promoting bacteria isolated from wild legume nodules and nodules of *Phaseolus vulgaris* L. trap plants in central and southern Mexico. *Microbiological Research*. 239:126522. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126522>.
- Taylor AI, Sasser JN. 1978. Biology identification and control of root knot nematodes (*Meloidogyne* spp.): Physiological variation within *Meloidogyne*

- populations. Di dalam: Sasser JN, editor. *International Meloidogyne Project*. Raleigh (NC): Department of Plant Pathology. hlm 29–30.
- Ulrich K, Kube M, Becker R, Volker S, Ulrich A. 2021. Genomic analysis of the endophytic *Stenotrophomonas* strain 169 reveals features related to plant-growth promotion and stress tolerance. *Frontiers in Microbiology*. 12:687463. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.687463>.
- Xu YY, Lu H, Wang X, Zhang KQ, Li GH. 2015. Effect of volatile organic compounds from bacteria on nematodes. *Chemistry and Biodiversity*. 12(9):1415–1421. DOI: <https://doi.org/10.1002/cbdv.201400342>.
- Yadav AN. 2018. Biodiversity and biotechnological applications of host-specific endophytic fungi for sustainable agriculture and allied sectors. *Acta Scientific Microbiology*. 1(44):2581–3226.
- Yin N, Liu R, Zhao JL, Khan RAA, Li Y, Ling J, Liu W, Yang YH, Xie BY, Mao ZC. 2021. Volatile organic compounds of *Bacillus cereus* strain Bc-cm10 exhibit fumigation activity against *Meloidogyne incognita*. *Plant Disease*. 105(4):904–911. DOI: 10.1094/PDIS-04-20-0783-RE
- Yus IDM, Rahardjo BT, Himawan T. 2014. Pengaruh aplikasi bakteri *Pseudomonas fluorescens* dan *Bacillus subtilis* terhadap mortalitas nematoda puru akar (*Meloidogyne javanica*) di laboratorium. *Jurnal Hama Penyakit Tumbuhan*. 2(3):9–17.