

Potensi Isolat Bakteri Asal Gambut sebagai Agens Pengendali Nematoda Puru Akar *Meloidogyne incognita*

Potential of Bacterial Isolates from Peat Land as Controlling Agent for the Root Knot Nematodes *Meloidogyne incognita*

Elvina Efendi, Supramana*, Giyanto
Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680

ABSTRAK

Nematoda penyebab puru akar (*Meloidogyne* spp.) merupakan parasit penting tanaman budi daya dan memiliki kisaran inang yang luas. Salah satu alternatif pengendalian fitonematoda yang potensial ialah pemanfaatan bakteri non-patogen. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi potensi bakteri asal gambut sebagai agens pengendali biologi nematoda puru akar (*M. incognita*). Pengujian secara *in vitro* menggunakan filtrat 15 isolat bakteri terhadap *M. incognita* juvenil 2 (J2) dalam cawan petri. Sebanyak 4.5 mL filtrat bakteri dimasukkan ke dalam cawan petri berdiameter 5 cm, kemudian ditambahkan 50 individu J2 *M. incognita* dan diinkubasi pada suhu 27 °C. Pengamatan mortalitas nematoda dilakukan pada 6, 12, dan 24 jam setelah perlakuan. Percobaan disusun dalam rancangan acak lengkap dengan 3 ulangan. Peubah yang diamati ialah persentase mortalitas serta lamanya waktu paparan dalam mematikan nematoda. Karakterisasi fisiologis yang dilakukan terhadap isolat bakteri meliputi uji produksi HCN dan enzim kitinase. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 9 isolat bakteri yaitu: GA2 GAA1, GT1 GTA7, GT1 GTB3, GT1 GTB4, GT1 GTB6, GT1 GTB7, GT1 GTC2, GT1 GTC4, dan STDHC4 memiliki kemampuan nematisidal dengan mortalitas mencapai 83%–94%. Isolat bakteri GT1 GTB4 dan GT1 GTB7 memiliki homologi 99% dengan *Serratia marcescens* asal Cina, dan GT1 GTC2 memiliki homologi 99% dengan *Streptomyces* sp. AT67 asal Korea Selatan. Ketiga isolat tersebut mampu menghasilkan enzim kitinase dengan indeks lisis >1, namun semua isolat tidak ada yang menghasilkan senyawa HCN.

Kata kunci: indeks lisis, kitinase, mortalitas nematoda

ABSTRACT

The root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) is an important parasite of cultivated plants and have a wide host range. One of the potential alternative to controlling this pathogen is by utilizing non-pathogenic bacteria. This study aims to evaluate the potential of bacteria from peat as a biological control agent for the root-knot nematodes (*M. incognita*). *In vitro* testing was conducted by using filtrate of 15 bacterial isolates against *M. incognita* juvenile 2 (J2) in a 5 cm petri dish. Fifty juveniles (J2) of *M. incognita* were added to 4.5 mL of bacterial filtrate and incubated at 27 °C. Nematode mortality was observed at 6, 12, and 24 hours after treatment. The experiment was arranged in a completely randomized design with three replications. The variables observed include the percentage of nematode mortality and the length of lethal exposure to nematodes. Physiological characterization test was carried out to the bacterial isolates including the production of HCN and chitinase enzymes. The results showed that nine bacterial isolates, that are GA2GAA1, GT1 GTA7, GT1 GTB3, GT1 GTB4, GT1 GTB6, GT1

Alamat penulis korespondensi: Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680.
Tel: 0251-8629364, Faks: 0251-8629362, Surel: smulyadisastra@gmail.com

GTB7, GT1 GTC2, GT1 GTC4, and STDHC4 perform nematicidal activities with mortality level 83% to 94%. Three bacterial isolates, that are GT1 GTB4, GT1 GTB7, and GT1 GTC2 produce chitinase enzymes with lysis index above 1, but none of those isolates produce HCN. Bacterial isolates GT1 GTB4 and GT1 GTB7 had 99% homology with *Serratia marcescens* from China, and GT1 GTC2 had 99% homology with *Streptomyces* sp. AT67 from South Korea.

Key words: lysis index, chitinase, nematode mortality.

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki lahan gambut terluas di Asia dan menempati urutan keempat dunia (Sorensen 1993). Ekosistem gambut merupakan ekosistem yang berperan penting dalam aspek ekologi maupun ekonomi, sifatnya unik dibandingkan tipe lahan lain. Lahan gambut memiliki kandungan bahan organik tinggi, derajat keasaman rendah, dan kandungan oksigen terlarut rendah yang menyebabkan laju dekomposisi bahan organik pada lahan gambut menjadi lambat. Namun demikian, lahan gambut merupakan habitat dari berbagai jenis mikroba yang berperan penting dalam ekosistem, salah satunya ialah bakteri (Mace *et al.* 2012; Pankratov *et al.* 2011).

Bakteri merupakan kelompok mikro-organisme yang paling beragam dalam aspek fisiologi terutama terkait keragamannya pada berbagai tipe habitat. Akhir-akhir ini, konsep konservasi pada lahan gambut kurang memperhatikan peran bakteri. Padahal, bakteri pada lahan gambut mampu memanfaatkan bahan organik dalam aliran energi dan siklus unsur hara. Sifat dan karakter fisiologi khusus yang dimiliki bakteri yang mampu hidup pada kondisi lahan gambut dapat dimanfaatkan kemampuannya dalam bidang pertanian salah satunya sebagai agens pengendali hayati penyakit tanaman. Munif *et al.* (2015) melaporkan beberapa mekanisme seperti produksi enzim protease dan enzim kitinase dimiliki oleh bakteri endofit yang dapat dimanfaatkan untuk mendegradasi dinding sel telur dan dinding tubuh juvenil nematoda. Berdasarkan sifat dan karakteristik yang dimiliki bakteri asal gambut dapat menjadi alternatif lain sebagai agens pengendali hayati penyakit tanaman. Dengan demikian, dilakukan

penelitian untuk mengevaluasi potensi bakteri gambut dalam pengendalian nematoda *M. incognita* yang diharapkan dapat menjadi komponen dalam pengendalian nematoda parasit tanaman secara komprehensif.

BAHAN DAN METODE

Karakterisasi Isolat Bakteri

Sebanyak 40 isolat asal gambut merupakan koleksi Laboratorium Bakteriologi Tumbuhan, Fakultas Pertanian, IPB. Isolat-isolat tersebut berasal dari beberapa tipe ekologi gambut yaitu: ekologi gambut yang masih asli, lahan gambut yang pernah terbakar, lahan gambut terbakar yang telah ditanami kembali, lahan sawah pada bekas lahan gambut, dan lahan sawah pasang surut di Kabupaten Banyuwangi, Sumatera Selatan dengan kedalaman pengambilan sampel tanah 0–50 cm. Isolat dikumpulkan dengan pengenceran berseri (konvensional).

Nematoda Uji

Nematoda uji diambil dari tanaman tomat yang terinfeksi nematoda, yaitu tanaman tomat yang menunjukkan gejala kerdil dan menguning. Akar tanaman tomat yang menunjukkan puru diamati dan didokumentasikan. Perbanyakan puru akar dilakukan di Rumah Kaca Cikabayan IPB Bogor.

Perbanyakan Masal *M. incognita*. Paket telur *M. incognita* dikumpulkan dari akar tanaman tomat yang bergejala puru. Paket telur berwarna kuning kecoklatan diinfestasikan ke dalam 5 pot plastik (polibag) berisi tanaman mentimun yang sudah ditanam sebelumnya. Metode infestasi yang dilakukan ialah 1) paket telur secara langsung diletakkan di masing-masing polibag; 2) paket telur ditetaskan terlebih dahulu di cawan petri selama tiga

hari dua malam kemudian disiram ke dalam polibag; 3) paket telur dipecahkan dengan cara ditekan menggunakan *cover glass* di kaca objek kemudian disiram ke dalam polibag. Setelah didapatkan gejala puru pada akar tanaman mentimun, nematoda penyebab puru diidentifikasi berdasarkan karakter morfologi yaitu dengan mengamati pola perineal. Nematoda puru akar yang selanjutnya digunakan ialah *M. incognita*. Perbanyakan masal *M. incognita* kemudian dilakukan pada tanaman tomat varietas Palupi di rumah kaca.

Evaluasi Pengujian *in vitro* terhadap Mortalitas *M. incognita*

Isolat bakteri ditumbuhkan pada medium *tryptic soy agar* (TSA) selama 48 jam pada suhu ruang. Sebanyak satu loop biakan dipindahkan ke dalam 50 mL medium *tryptic soy broth* (TSB) kemudian diinkubasikan pada suhu ruang lalu digoyang selama 48 jam dengan kecepatan 150 rpm. Filtrat bakteri diperoleh dengan cara mensentrifugasi biakan filtrat kultur bakteri dengan kecepatan 6500 rpm selama 20 menit, kemudian disaring menggunakan *syringe milipore* berdiameter 0.22 µm. *M. incognita* juvenil 2 (J2) dihitung sampai dengan mendapatkan jumlah individu 50 individu per 0.5 mL untuk dilakukan pengujian *in vitro*. Sebanyak 4.5 mL filtrat bakteri 100% dimasukkan ke dalam cawan petri, kemudian ditambahkan 50 individu *M. incognita* J2. Pengamatan dilakukan terhadap mortalitas nematoda pada 6, 12, 24, dan 12 jam setelah pembilasan menggunakan akuades steril atau 36 jam setelah pemaparan.

Evaluasi Mekanisme Antagonisme *in vitro* 15 Isolat Bakteri Asal Gambut terhadap *M. incognita*

Uji Produksi HCN. Isolat bakteri uji digoreskan pada medium TSA + glisin 4.4 g L⁻¹. Pada bagian tutup cawan petri diletakkan kertas saring steril berukuran 1 cm × 1 cm yang telah direndam dalam larutan *cyanide detection solution* (CDS) hingga berwarna kuning. Inkubasi dilakukan selama 7 hari. Metode pengujian produksi HCN ini mengacu pada Wei *et al.* (1991).

Uji Aktivitas Kitinolitik. Isolat bakteri yang berumur 24 jam digoreskan pada medium koloidal kitin (medium TSA 100% steril yang diperkaya koloidal kitin 0.4%). Inkubasi dilakukan pada suhu ruang selama 24–72 jam. Metode ini mengacu pada Hariprasad *et al.* (2011) yang dimodifikasi. Kemampuan mendegradasi kitin dapat diukur dari waktu yang dibutuhkan lebih cepat serta dapat diukur dari indeks lisis. Pengukuran indeks lisis berdasarkan Muharni dan Widjajanti (2011).

$$\text{Indeks lisis} = \frac{(A-B)}{B}, \text{ dengan}$$

A, diameter zona bening; dan B, koloni bakteri.

Identifikasi Bakteri Asal Gambut secara Molekuler

Sebanyak tiga isolat bakteri terseleksi ditumbuhkan pada medium TSB selama 24 jam dan disentrifugasi menggunakan Mikro 200R, Hettich Zentrifugen, Jerman, pada kecepatan 10.000 rpm selama 5 menit untuk memperoleh pelet guna ekstraksi DNA. DNA genom bakteri diekstraksi mengikuti protokol isolasi DNA Geneaid Presto™ Mini gDNA Bacteria Kit, PT. Genetika Science Indonesia. Jumlah DNA yang digunakan untuk PCR yaitu 1 µL. Hasil ekstraksi diukur kualitas dan kuantitas DNA genom menggunakan spektrofotometer Spectronic 200D, Thermo-Spectronic, Jepang. Amplifikasi gen 16S rRNA dari genom bakteri dilakukan menggunakan primer forward 27 F dan primer reverse 1429 R (Lane 1991). Komposisi PCR per reaksi meliputi: 1 µL primer 27 F dan primer 1492 R; 9.5 µL ddH₂O steril dan 12.5 µL *Taq DNA polymerase*. Sebanyak 1 µL DNA templat dimasukkan sehingga diperoleh campuran dengan volume 25 µL. Amplifikasi DNA menggunakan prosedur umum PCR dengan mesin PCR GeneAmp® PCR System 9700, Singapura. Elektroforesis dilakukan pada mesin elektroforasi Mupid-exU Advance, TAKARA Jepang dengan tegangan 50 volt selama 50 menit. Penanda ukuran DNA (*marker*) menggunakan 1 kb *ladder*. Visualisasi hasil PCR dilakukan pada Transilluminator UV ULTRA.LUM, Quantum Scientific, Australia.

Perunutan DNA dilakukan dengan mengirimkan fragmen DNA hasil amplifikasi ke FirstBase®, Malaysia. Hasil perunutan dianalisis menggunakan program *basic local alignment search tool* (BLAST) dengan program optimasi untuk mendapatkan urutan basa DNA yang terdapat dalam situs *National Center for Biotechnology Information* (NCBI).

Analisis Data

Pengaruh perlakuan uji *in vitro*, dianalisis ragam dan perlakuan yang berpengaruh nyata diuji lanjut dengan uji Tukey pada $\alpha=0.05$ menggunakan piranti SPSS.

HASIL

Karakter Morfologi Isolat Bakteri

Sebanyak sebanyak 15 isolat diremajakan lagi pada medium TSA. Karakterisasi morfologi isolat bakteri meliputi ukuran, bentuk, elevasi, tepian, dan warna koloni dapat dilihat pada Tabel 1. Bentuk koloni berbeda-beda, tepian koloni lebih banyak yang memiliki ciri filamentous dan elevasi banyak yang memiliki ciri flat. Isolat-isolat tersebut selanjutnya diremajakan lagi pada medium TSA. Uji sifat gram menggunakan KOH 3% menunjukkan 11 isolat bakteri Gram positif dan 4 isolat Gram negatif.

Identitas Nematoda Puru Akar

Tanaman yang berhasil diinfestasi oleh paket telur *Meloidogyne* spp. menunjukkan gejala puru pada akar setelah 3 bulan inkubasi. Hasil identifikasi secara morfologi menunjukkan bahwa nematoda yang diperbanyak merupakan *M. incognita*. Ciri khas pola perineal *M. incognita* ialah adanya ciri lengkung dorsal yang tinggi dan menyempit (Gambar 1c). Keseluruhan polibag yang diinfestasi oleh *Meloidogyne* spp. semuanya menunjukkan spesies *M. incognita*.

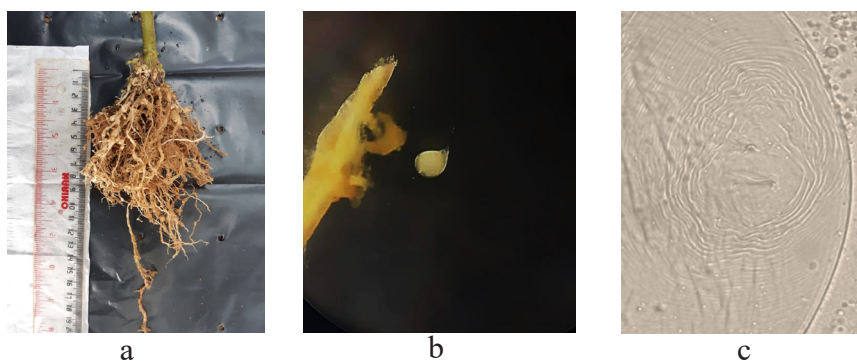
Aktivitas Nematisidal dari Filtrat Bakteri

Isolat bakteri asal gambut dapat menekan populasi *M. incognita* J2 sebesar 69.10%–94.14%. Sembilan isolat bakteri (GA2 GAA1, GT1 GTA7, GT1 GTB3, GT1 GTB4, GT1 GTB6, GT1 GTB7, GT1 GTC2, GT1 GTC4, dan STDHC4) memberikan pengaruh penekanan yang nyata lebih besar daripada perlakuan kontrol. Hasil uji *in vitro* menunjukkan 9 isolat bakteri memiliki kemampuan nematisidal dengan mortalitas J2 mencapai 83%–94% (Tabel 2).

Nematoda yang mati pada uji *in vitro* menunjukkan adanya kerusakan yang disebabkan adanya aktivitas kitinolitik oleh enzim kitinase yang dihasilkan bakteri (Gambar 2).

Tabel 1 Karakter morfologi 15 isolat bakteri asal gambut pada medium *natrium agar*

Kode isolat	Ukuran	Bentuk	Elevasi	Tepian	Warna	Gram
GT1 GTA7	Besar	Circular	Flat	Filamentous	Putih	+
GT1 GTB3	Kecil	Punctiform	Convex	Smooth	Transparan	-
GT1 GTB4	Kecil	Punctiform	Convex	Smooth	Transparan	-
GT1 GTB5	Besar	Irregular	Flat	Filamentous	Putih	+
GT1 GTB6	Besar	Circular	Flat	Filamentous	Putih	-
GT1 GTB7	Kecil	Circular	Convex	Smooth	Transparan	-
GT1 GTC1	Besar	Circular	Flat	Filamentous	Putih	+
GT1 GTC2	Kecil	Punctiform	Convex	Filamentous	Kuning	+
GT1 GTC4	Besar	Irregular	Flat	Filamentous	Putih	+
GT1 GTC9	Besar	Circular	Convex	Smooth	Putih	+
GT2 GTB9	Besar	Irregular	Flat	Filamentous	Putih	+
GT3 GTC6	Besar	Circular	Flat	Filamentous	Putih	+
GA2 GAA1	Besar	Irregular	Flat	Filamentous	Putih	+
GA3 GAB7	Besar	Irregular	Flat	Filamentous	Putih	+
STDHC 4	Kecil	Irregular	Convex	Smooth	Kuning	+



Gambar 1 Nematoda puru akar pada tanaman mentimun. a, Puru pada akar; b, Nematoda betina; dan c, Pola perineal *Meloidogyne incognita* pada perbesaran mikroskop 20 × 10.

Tabel 2 Mortalitas *Meloidogyne incognita* juvenil 2 pada perlakuan bakteri asal gambut secara *in vitro*

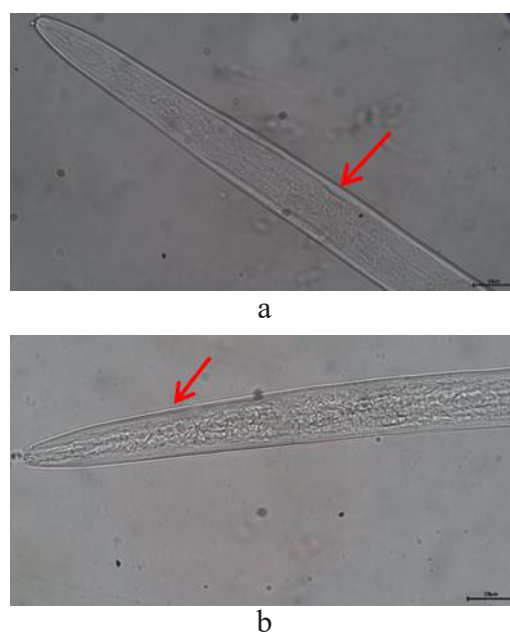
Jenis isolat	Mortalitas (%)
Kontrol air	17.02 a
Kontrol medium	54.12 b
GT1 GTC9	69.10 bc
GT2 GTB9	70.63 bc
GA3 GAB7	72.72 bc
GT1 GTB5	78.15 bc
GT1 GTC1	80.22 bc
GT3 GTC6	81.45 bc
GT1 GTC4	83.11 c
GT1 GTC2	83.57 c
GT1 GTB3	85.96 c
STDHC4	87.04 c
GT1 GTA7	87.08 c
GT1 GTB6	91.13 c
GA2 GAA1	92.45 c
GT1 GTB4	93.61 c
GT1 GTB7	94.14 c

Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan pada uji Tukey $\alpha = 0.05$.

Tubuh nematoda mengalami degradasi baik pada dinding tubuh serta pada organ dalam tubuh nematoda. Nematoda yang tidak mengalami kerusakan masih terlihat adanya gerigi pada lapisan luar tubuh serta esofagus terlihat dengan jelas.

Karakter Fisiologi Isolat Bakteri

Berdasarkan pengujian, keseluruhan isolat bakteri tidak memproduksi senyawa HCN. Hal ini ditandai dengan tidak adanya perubahan warna pada kertas saring (Gambar 3).



Gambar 2 Pengaruh enzim kitinase pada tubuh nematoda. a, Tubuh terdegradasi dan rusak; dan b, Tubuh nematoda tanpa kerusakan.

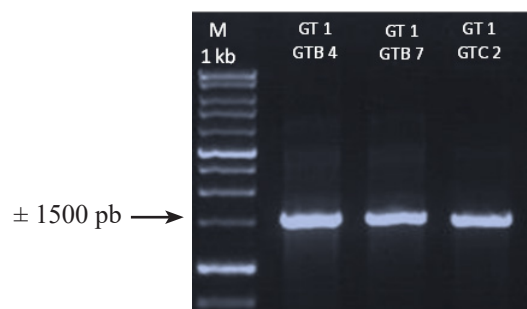
Pengujian produksi enzim kitinase menunjukkan 11 isolat menghasilkan enzim kitinase, yang ditandai dengan terbentuknya zona bening pada medium kitin (Gambar 3). Isolat bakteri GT1 GTB4, GT1 GTB7, dan GT1 GTC2 memiliki indeks kitin tinggi (>1) yaitu 1.09–1.80 (Tabel 3).

Identifikasi Molekuler Bakteri Asal Gambut secara Molekuler

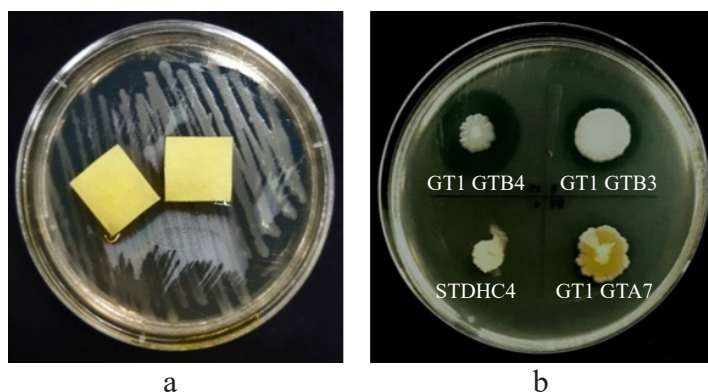
Isolat GT1 GTB4, GT1 GTB7, dan GT1 GTC2 merupakan isolat penghasil kitin yang baik sehingga dipilih untuk diidentifikasi secara molekuler. Sekuen parsial gen 16S rRNA ketiga isolat dibandingkan dengan

sekuen yang ada pada database Genbank. Amplifikasi sekuen 16S rRNA (*small subunit ribosome*) pada sampel DNA hasil ekstraksi menunjukkan adanya pita DNA berukuran ± 1500 pb (Gambar 4).

Hasil peruntan DNA menunjukkan bahwa isolat GT1 GTB4 dan GT1 GTB7 memiliki homologi sebesar 99% dengan *Serratia marcescens* asal Cina, dan GT1 GTC2 homologi 99% dengan *Streptomyces* sp. Isolat asal Korea Selatan (Tabel 4).



Gambar 4 Amplifikasi DNA isolat bakteri asal gambut menggunakan sekuen 16S rRNA terdeteksi pada ± 1500 pb.



Gambar 3 Karakter fisiologi isolat bakteri asal tanaman gambut. a, Bakteri tidak menghasilkan senyawa HCN; dan b, Produksi enzim kitinase oleh isolat bakteri (terbentuk zona bening).

Tabel 3 Rata-rata indeks lisis kitinase 9 isolat bakteri terbaik pada medium kitin secara *in vitro*

Kode isolat	Indeks lisis (hari ke-)				
	1	2	3	4	5
GT1 GTB4	0.57	1.67	1.56	1.44	1.80
GT1 GTB7	0.67	0.96	1.40	1.19	1.73
GT1 GTC2	0.00	0.00	0.00	0.00	1.09
GT1 GTB3	0.83	0.72	1.33	1.14	0.90
GT1 GTB6	0.44	0.68	0.64	0.70	0.82
GT1 GTA7	0.00	0.28	0.34	0.29	0.32
GA2 GAA1	0.00	0.00	0.07	0.16	0.20
STDHC4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GT1 GTC4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabel 4 Homologi nukleotida gen 16S rRNA isolat GT1 GTB4, GT1 GTB7, dan GT1 GTC2 dengan bakteri lain pada GenBank NCBI

Isolat bakteri gambut	Identitas bakteri	Kode aksesori	Homologi (%)	Query cover (%)
GT1 GTB4	<i>Serratia marcescens</i>	MN519524.1	99	100
	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	FJ652595.1	99	99
GT1 GTB7	<i>Serratia marcescens</i>	MN519524.1	99	99
	<i>Serratia marcescens</i>	HQ242736.1	99	99
GT1 GTC2	<i>Streptomyces</i> sp. AT67	KU141342.1	99	99
	<i>Streptomyces</i> sp.	MK757964.1	99	99

PEMBAHASAN

Nematoda puru akar *M. incognita* berhasil diidentifikasi secara morfologi. Keseluruhan polibag yang diinfestasi, semuanya menunjukkan spesies *M. incognita*. Keberadaan dan keseragaman jenis spesies *Meloidogyne* spp. di suatu tempat dipengaruhi oleh kondisi tanah dan iklim. *M. incognita* berkembang optimum pada suhu 15–25 °C (Utami *et al.* 2017).

Sebanyak 9 isolat bakteri asal gambut berpotensi sebagai agens pengendali *M. incognita* pada pengujian *in vitro*, yaitu tersebut antara lain GA2 GAA1, GT1 GTA7, GT1 GTB3, GT1 GTB4, GT1 GTB6, GT1 GTB7, GT1 GTC2, GT1 GTC4, dan STDHC 4. Isolat bakteri yang mampu mematikan nematoda dengan persentase tinggi merupakan nematoda penghasil enzim kitinase. Hal ini ditunjukkan dengan kemampuan isolat tersebut dalam melisis medium kitin yang diukur dengan indeks lisis. Bakteri penghasil enzim kitinase dan β -1,3-glucanase yang bersifat antagonis terhadap *Meloidogyne* spp. ialah *Streptomyces cacaoi* GY525 (Yoon *et al.* 2012). Selain itu, enzim ini dapat mendegradasi lapisan tengah telur nematoda seperti *Meloidogyne javanica*, *Rotylenchulus reniformis*, *Tylenchulus semipenetrans*, dan *Pratylenchus minyus* (Tian *et al.* 2007).

Dalam penelitian ini tidak ditemukan adanya bakteri penghasil *Hydrogen cyanide* (HCN). HCN merupakan senyawa volatil hasil metabolit sekunder dari bakteri. Mena dan Pimentel (2002) menyatakan bahwa bakteri *Corynebacterium paurometabolum* dapat mengganggu penetasan telur serta bersifat nematisidal. Selain itu, senyawa HCN dapat mengendalikan beberapa patogen di antaranya *Pythium ultimum* pada bit gula (Wiyono 2004).

Hasil analisis sekuen gen 16SrRNA menunjukkan bahwa isolat terpilih (GT1 GTB4 dan GT1 GTB7) memiliki homologi 99% dengan *Serratia marcescens* asal Cina, dan GT1 GTC2 memiliki homologi 99% dengan *Streptomyces* sp. AT67 asal Korea Selatan. Rahul *et al.* 2014 menyatakan bahwa ekstrak

pigmen dari *Serratia marcescens* memiliki sifat antagonis terhadap juvenil *Radopholus similis* dan *M. javanica* pada konsentrasi rendah. Selain *Serratia marcescens*, *Streptomyces* sp. merupakan mikroba dari golongan aktinomiset yang mampu menjadi agens biokontrol bagi nematoda. *Streptomyces rubrogriseus* HDZ-9-47 yang dikombinasikan dengan biofumigasi tanah berhasil mengurangi jumlah puru akibat *M. incognita* hingga 41% (Jin *et al.* 2019).

Sembilan isolat bakteri asal tanah gambut, yaitu GA2 GAA1, GT1 GTA7, GT1 GTB3, GT1 GTB4, GT1 GTB6, GT1 GTB7, GT1 GTC2, GT1 GTC4, dan STDHC4 memiliki kemampuan nematisidal *in vitro* dengan mortalitas mencapai 83–94%. Isolat bakteri GT1 GTB4 dan GT1 GTB7 memiliki kemampuan menghasilkan enzim kitinase dengan indeks lisis lebih besar dari 1. Isolat GT1 GTB4 dan GT1 GTB7 memiliki homologi 99% dengan *Serratia marcescens* asal Cina, dan GT1 GTC2 memiliki homologi 99% dengan *Streptomyces* sp. AT67 asal Korea Selatan. Seluruh isolat bakteri asal gambut yang diuji tidak menghasilkan senyawa HCN.

DAFTAR PUSTAKA

- Hariprasada P, Divakara S, Niranjana S. 2011. Isolation and characterization of chitinolytic bacteria for the management of Fusarium wilt in tomato. *Crop Prot.* 30(12):1606–1612. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.02.032>.
- Jin N, Lu X, Wang X, Liu Q, Peng D, Jian H. 2019. The effect of combined application of *Streptomyces rubrogriseus* HDZ-9-47 with soil biofumigation on soil microbial and nematode communities. *Scientific Reports.* 9(1):1–12. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52941-9>.
- Lane DJ. 1991. 16S/23S rRNA sequencing. Di dalam: Stackebrandt E, Goodfellow M, editor. *Nucleic Acid Techniques in Bacterial Systematic.* New York (US): Wiley. hlm 115–175.
- Mace GMK, Norris AH, Fitter. 2012. Biodiversity and ecosystem services: A

- multilayered relationship. *Trends Ecol Evol.* 27(1):19–26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.08.006>.
- Mena J, Pimentel E. 2002. Mechanism of action of *Corynebacterium paurometabolum* strain C-924 on nematodes. *Nematol.* 4:287 (abstract).
- Muharni, Widjajanti H. 2011. Skrining bakteri kitinolitik antagonis terhadap pertumbuhan jamur akar putih (*Rigidoporus lignosus*) dari rizosfir tanaman karet. *J Penelit Pen Sains.* 14(1):51–56.
- Munif A, Wibowo AR, Herliyana EN. 2015. Bakteri endofit dari tanaman kehutanan sebagai pemacu pertumbuhan tanaman tomat dan agen pengendali *Meloidogyne* sp. *J Fitopatol Indones.* 11(6):179–186. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.11.6.179>.
- Pankratov TA, Ivanova AO, Desysh SN, Liesack W. 2011. Bacterial populations and environmental factors controlling cellulose degradation in an acidic sphagnum peat. *Environ Microbiol.* 13(7):1800–1814. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2011.02491.x>.
- Rahul S, Chandrashekhar P, Hemant B, Chandrakant N, Laxmikant S, Satish P. 2014. Nematicidal activity of microbial pigment from *Serratia marcescens*. *Natural Product Research.* 28(17):1399–1404. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786419.2014.904310>.
- Sorensen KW. 1993. Indonesian peat swamp forests and their role as a carbon sink. *Chemosphere.* 27(6):1065–1082. DOI: [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(93\)90068-G](https://doi.org/10.1016/0045-6535(93)90068-G).
- Tian B, Yang J, Zhang K. 2007. Bacteria used in the biological control of plant-parasitic nematodes: Populations, mechanism of action, and future prospects. *FEMS Microbiol Ecol.* 61(2):197–213. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2007.00349.x>.
- Utami BC, Supramana, Giyanto. 2017. Deteksi dan identifikasi spesies *Meloidogyne* penyebab umbi berbintil pada kentang asal Sulawesi Utara. *J Fitopatol Indones.* 13(3):98–104. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.13.3.98>.
- Wei G, Kloepper JW, Tuzun S. 1991. Induction of systemic resistance of cucumber to *Colletotrichum orbiculare* by select strains of plant growth-promoting rhizobacteria. *Phytopathology.* 81(11):1508–1512. DOI: <https://doi.org/10.1094/Phyto-81-1508>.
- Wiyono S. 2004. Optimization of biocontrol of damping off of sugar beet caused by *Pythium ultimum* Trow by using *Pseudomonas fluorescens* B5 [disertasi]. Gottingen (DE): University of Gottingen.
- Yoon GY, Lee YS, Lee SY, Park RD, Hyun HN, Nam Y, Kim KY. 2012. Effects on *Meloidogyne incognita* of chitinase, glucanase and a secondary metabolite from *Streptomyces cacaoi* GY525. *Nematology.* 14(2):175–184. DOI: <https://doi.org/10.1163/138855411X584124>.