

Pemanfaatan Rhizobakteria untuk Mengendalikan Nematoda Puru Akar (*Meloidogyne* spp.) pada Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.)

Kristiana Sri Wijayanti

Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat
Jln. Raya Karangploso, Kotak Pos 199, Malang, Indonesia
E-mail: anna_wkf@yahoo.com

Diterima: 31 Oktober 2018; direvisi: 8 Februari 2019; disetujui: 18 Februari 2019

ABSTRAK

Penyakit puru akar yang disebabkan oleh nematoda *Meloidogyne* spp. merupakan salah satu penyakit penting pada tanaman kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.). Infeksi yang parah dapat mengakibatkan gagal panen dan memicu terjadinya infeksi oleh patogen lain. Pada kenaf, infeksi nematoda yang parah dapat menimbulkan kematian dan penurunan produktifitas tanaman. Aplikasi berlebihan bahan kimia dalam pengendalian penyakit puru akar dapat menyebabkan kerusakan lingkungan dan mengganggu ekosistem, karena residu kimia yang dihasilkan dapat mempengaruhi populasi mikroba lain. Salah satu metode pengendalian yang dapat diaplikasikan adalah pemanfaatan rhizobakteria yang secara umum banyak terdapat pada rizosfer tanaman kenaf. Rhizobakteria memiliki kemampuan sebagai pengendali hayati. Beberapa mekanisme yang terjadi dalam aplikasi rhizobakteria adalah mekanisme antagonisme dan ketahanan terimbis. Alternatif pengendalian yang dapat dilakukan yaitu dengan cara pola tanam polikultur, pemanfaatan tanaman antagonis, teknik biofumigan, penggunaan ekstrak nabati serta aplikasi metabolit sekunder dari mikroba. Teknik pengendalian yang ramah lingkungan sangat perlu dilakukan dalam rangka mewujudkan pertanian berkelanjutan. Dalam tinjauan ini dibahas peran rhizobakteria dalam pengendalian nematoda.

Kata kunci: kenaf, *Meloidogyne* spp., nematoda puru akar, rhizobakteria

Utilization of Rhizobacteria for Controlling Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* spp.) in Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.)

ABSTRACT

Root-knot nematode caused by *Meloidogyne* spp. is one of important diseases in kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.). Severe infection resulting crop loss and causing synergy with other pathogens. In kenaf, severe nematode infections can cause death and decrease the productivity of the plant. Nematicide applications caused environmental damage. Negative impact of chemical nematicide can be reduced by using rhizobacteria. Application of nematicidal causing environmental damage and disrupt the ecosystem, effected microbial population and sustainable agriculture. Environmentally-friendly-control methods are needed to secure of environment, so the negative impact of using nematicides can be suppressed by Rhizobacteria. Some mekanisme of rhizobacteria application are antagonism and resistance induction. Alternative control methodes can be done by polyculture planting system, utilization of antagonistic plant, biofumigan, using vegetable extracts and application of secondary metabolites from microbes. Environmentally friendly control techniques really need to be done in order to manifest sustainable agriculture. In this review we discuss the role of rhizobacteria to control nematodes.

Keyword: kenaf, *Meloidogyne* spp., root-knot, rhizobacteria

PENDAHULUAN

Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) merupakan tanaman penghasil serat dan pulp non-kayu yang telah digunakan di berbagai negara (Mossello, 2010). Salah satu kendala pada budidaya kenaf adalah infeksi nematoda puru akar. Infeksi *Meloidogyne* spp. pada tanaman kenaf dilaporkan dapat menurunkan tinggi tanaman hingga 9% pada bulan pertama dan 12% pada bulan ketiga, serta mengurangi panjang diameter hingga 10% pada bulan pertama dan 15% pada bulan ketiga (Tahery et al., 2011); sehingga menyebabkan terjadinya penurunan produksi serat kenaf sekitar 20–60% (Zhang & Noe, 1999).

Tanaman yang terinfeksi nematoda menunjukkan tanda kekurangan nutrisi seperti pertumbuhan lambat, daun menguning, layu. Pada infeksi yang berat pertumbuhan tanaman akan terhambat sehingga tanaman menjadi kerdil. Gejala yang khas adalah terbentuknya hipertropi dan hiperplasia (puru) pada akar tanaman. Terjadinya puru diakibatkan karena teradanya pembelahan dan pembesaran sel secara berlebihan pada jaringan perisel tanaman (Agrios, 2005).

Nematoda puru akar mulai hidup dari telur yang berkembang menjadi nematoda juvenil I (J1). Tahap J1 berada sepenuhnya di dalam telur yang selanjutnya akan berganti kulit menjadi J2. Tahap J2 adalah satu tahap memulainya infeksi. J2 menyerang ujung akar yang tumbuh dan memasuki antar sel akar. J2 berpindah ke areal pemanjangan sel dan akan memulai tempat makan dengan menyuntikkan sekresi kelenjar esofagus ke dalam sel-sel akar. Sekresi tersebut menyebabkan terjadinya perubahan fisiologis sel-sel yang diparasitasi sehingga pada sel yang terparasitasi terjadi *gall* (puru) (Mitkowski & Abawi, 2003).

Beberapa metode pengendalian nematoda yang pernah dilakukan antara lain: rotasi tanaman, pengolahan tanah, penggunaan varietas tahan dan penggunaan nematisida. Rotasi tanaman dapat dilakukan bertujuan untuk memutus siklus nematoda.

Sistem pengolahan lahan dengan solarisasi juga merupakan salah satu alternatif metode pengendalian nematoda. Pemberoan efektif dilakukan pada daerah yang memiliki suhu tinggi, karena pada suhu sekitar 45°C nematoda parasit akan mengalami kematian, dan pada kedalaman tanah 10–20 cm dengan aplikasi solarisasi dapat menurunkan populasi nematoda Juvenil 2 sekitar 96% (Saleh et al., 1989). Penggunaan varietas kenaf yang tahan terhadap nematoda dibutuhkan dalam pengelolaan penyakit terpadu. Varietas kenaf yang sudah dilepas seperti KR 9, KR 11, dan 12 masih peka terhadap nematoda.

Peran rhizobakteria di rizosfer sangat beragam, diantaranya adalah sebagai agensia antagonis terhadap nematoda. Secara langsung rhizobakteria mampu menghasilkan zat atau racun yang mempengaruhi telur dan juvenil nematoda. Bakteri *Pseudomonas* adalah salah satu rhizobakteria yang dapat menghasilkan zat yang bersifat toksik terhadap telur dan juvenil nematoda (Wescott & Kluepfel, 1993). Ashoub & Amara, (2010) menyatakan bahwa dengan pemberian lima strains *Pseudomonas* secara individu dapat membunuh 100% nematoda J2 pada 72 jam setelah inokulasi, sedangkan untuk pemberian kombinasi antara *P. fluorescens* dan *P. putida* dapat membunuh nematoda J2 pada 24 dan 48 jam setelah inokulasi. Hal ini disebabkan karena adanya metabolit sekunder yang dihasilkan oleh bakteri yang berperan sebagai racun bagi nematoda, misalnya *phenazines*, *indoles*, *phenyl pyrroles* dan *pterines*.

Salah satu peran tidak langsung rhizobakteria adalah meningkatkan ketahanan terimbas tanaman. Mekanisme peningkatan ketahanan tanaman yaitu rhizobakteria yang mampu berkoloni di jaringan tanaman akan menstimulasi tanaman dalam peningkatan beberapa produksi senyawa metabolit yang berperan dalam ketahanan tanaman. Misalnya enzim peroksidase yang berperan dalam peningkatan aktifitas kitinase, fitoaleksin PR

protein serta β -1.3 glukonase (Press et al., 1997).

Studi terbaru menunjukkan bahwa *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescent* dan *Trichoderma viride* efektif dalam mengurangi infestasi nematoda pada berbagai tanaman (Meena et al., 2012). Wijayanti et al., (2016) menyatakan bahwa aplikasi rhizobakteria dengan merendam benih kenaf pada tiga kombinasi rhizobakteria memberikan pengaruh positif terhadap (penurunan) populasi juvenil nematoda dalam tanah. Proses ini berkaitan dengan kolonisasi rhizobakteria dalam tanah yang bersifat antagonis terhadap nematoda. Populasi rhizobakteria yang dominan dapat meningkatkan penyerapan unsur hara secara maksimal yang nantinya akan mempengaruhi produksi fitohormon. Peran rhizobakteria dalam meningkatkan serapan nutrisi pada tanaman dapat terjadi melalui lima cara, yaitu: (1) meningkatkan fiksasi nitrogen; (2) meningkatkan ketersediaan unsur hara yang dibutuhkan tanaman di rizosfer; (3) meningkatkan luas permukaan akar; (4) terjadinya simbiosis mutualisme antara akar dan rhizobakteri; dan (5) adanya kombinasi "*mode of action*" (Akhtar et al., 2012).

Tujuan dari penulisan review ini adalah untuk membahas pemanfaatan rhizobakteria dalam mengendalikan nematoda pada akar *Meloidogyne* spp. pada tanaman kenaf.

RHIZOBAKTERIA SEBAGAI AGENSI BOKONTROL NEMATODA

Rhizobakteria menghasilkan zat yang melindungi tanaman terhadap infeksi patogen secara langsung dengan cara interaksi antagonis antara agen biokontrol dengan nematoda, serta menginduksi ketahanan inang tanaman. Rhizobakteria juga memproduksi siderofor yang dapat dimanfaatkan untuk biokontrol. Pengembangan teknik untuk produksi siderofor bisa dilakukan pada perlakuan benih atau perakaran. Rhizobakteria secara tidak langsung meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui penekanan

patogen dengan berbagai mekanisme. diantaranya adalah:

1. Mensintesis antibiotik, enzim kitinase yang dapat mendegradasi dinding sel patogen (nematoda) (Ashoub & Amara, 2010).
2. Kemampuan untuk melakukan persaingan nutrisi pada rizosfer.

Permukaan akar dan rizosfer merupakan penyerap karbon yang signifikan, alokasi fotosintat ke zona tersebut dapat mencapai 40% (Degenhardt et al., 2003). Pada sepanjang permukaan akar terdapat berbagai niche (relung) kaya nutrisi yang sesuai dan menarik beragam mikroorganisme termasuk nematoda dan patogen lain untuk menginfeksi. Persaingan nutrisi merupakan mekanisme dasar rhizobakteria dalam melindungi tanaman dari patogen. rhizobakteria mencapai permukaan akar dengan motilitas aktif yang difasilitasi oleh flagella dan dipandu oleh respon kemotaktik (Kremer, 2013). Zat kimia yang disekresikan oleh akar dan digunakan dalam menciptakan kondisi yang kondusif bagi mikroba diantaranya adalah asam organik, asam amino dan gula khusus. Ada sebagian eksudat akar yang efektif sebagai anti mikroba, umumnya bersifat enzimatik, digunakan untuk melindungi diri dari patogen, termasuk nematoda, bakteri, dan jamur.

Lugtenberg & Kamilova (2009) menyatakan bahwa bakteri yang sesuai sebagai biokontrol, tidak hanya mampu mensintesis dan melepaskan antibiotik, tetapi juga harus mampu bersaing dengan organisme lain dalam menyediakan nutrisi di perakaran yang berperan dalam menyediakan antibiotik di rizosfer. Bakteri harus memenuhi populasi tertentu agar lolos dari bakteri lain yang biasanya disebut *protozoa grazers*. Bakteri harus menghasilkan antibiotik yang tepat pada permukaan akar. Antibiotik yang teridentifikasi dari bakteri gram negatif yaitu termasuk senyawa HCN, phenazines, asam phenazine-1-karboksilat dan phenazine-1-carboxamide; 2,4-diacetyl phloroglucinol, pyoluteorin, dan pyrrolnitrin.

Salah satu bakteri yang bereperan sebagai agensia biokontrol adalah *Bacillus*. *Bacillus* sp. dapat menghambat penetasan telur nematoda dengan cara memproduksi komponen exotoxin dan mempengaruhi juvenil nematoda. Efek antagonisme terhadap *M. incognita* menyebabkan terjadinya permeabilitas kutikula juvenile, ditandai dengan permeabilitas selektif, efek yang sangat jelas dapat dilihat dari jumlah penetasan telur nematoda yang berkurang (Akhtar et al., 2012). Hal ini menandakan bahwa bakteri dari jenis *Bacillus* diketahui sebagai bakteri penghasil enzim kitinolitik. Enzim kitinase bertanggung jawab dalam mendegradasi pembentukan kitin pada dinding telur nematoda dan massa telur sehingga bakteri ini dikenal dengan bakteri kitinolitik.

MEKANISME RHIZOBAKTERIA SEBAGAI AGENSIA BIOKONTROL

1. Antagonisme

Bakteri yang menunjukkan aktifitas antagonisme terhadap patogen didefinisikan sebagai antagonis. Rhizobakteria yang bersifat antagonis memiliki kemampuan hidup dan tumbuh yang cepat pada kondisi lingkungan yang terbatas, misalnya pada kondisi nutrisi rendah. Lingkungan rizosfer yang digunakan untuk aktifitas antagonis bakteri dapat berupa (1) sintesis enzim hidrolitik, seperti kitinase, glukonase, protease, dan lipase, yang dapat melisis sel jamur patogen; (2) kompetisi untuk nutrisi dan kolonisasi yang sesuai dari nice di permukaan akar; (3) pengaturan tingkat etilena tanaman melalui enzim ACC-deaminase, yang dapat bertindak untuk memodulasi tingkat etilen dalam tanaman sebagai respon terhadap stres yang ditimbulkan oleh infeksi; (4) produksi siderophores dan antibiotik.

Mekanisme organisme yang berperan sebagai agensia biokontrol yang melalui mekanisme antagonis harus bertindak secara langsung (pada patogen) atau melalui

perantara inang. Tahap tanaman Fase yang sangat berpeluang dalam pengendalian nematoda secara biologis pada tanaman adalah pada saat nematoda dalam fase telur dan juvenil tahap kedua. Fase tersebut merupakan fase saat populasi nematoda berada di luar tanaman (pada partikel tanah) yang memungkinkan peluang rhizobakteria bersentuhan, menginfeksi atau memparasitasi nematoda. Jika dua tahap atau fase nematoda ini dapat dikendalikan maka akan mempengaruhi populasi berikutnya. Mendoza et al., (2008) menyatakan bahwa tingkat kematian yang signifikan terhadap tiga jenis nematoda yaitu *M. incognita*, *Radopholus similis*, dan *Ditylencus dipsaci* adalah akibat dari aplikasi kultur filtrat bakteri *Bacillus* sp. Hal tersebut disebabkan karena bakteri memproduksi senyawa bioaktif atau metabolit sekunder yang dapat menjadi racun bagi nematoda sehingga dapat menyebabkan kematian pada nematoda.

Contoh rhizobakteria yang banyak diaplikasikan untuk pengendalian secara hayati adalah bakteri *Pseudomonas fluorescens* dan dari genus *Bacillus*. Bakteri *P. fluorescens* merupakan bakteri berbentuk batang, gram negatif, motil dengan satu atau lebih flagella. Ciri spesifik dari bakteri ini adalah menghasilkan pigmen yang berpendar. Pigmen tersebut disebut "fluorescens". Rhizobakteria memiliki kemampuan sebagai antagonis terhadap patogen dan sebagai pemacu pertumbuhan tanaman. Sebagai antagonis tanaman, *P. fluorescens* memproduksi beberapa komponen yang bersifat antagonis terhadap mikroba tanah, seperti phenazine atau HCN (tipe antibiotic) (Akhtar et al., 2012). Beberapa metabolisme bioaktif yang dihasilkan oleh *P. fluorescens* adalah antibiotik, siderofor dan substansi pemacu pertumbuhan tanaman.

Mekanisme pengendalian nematoda dengan menggunakan *P. fluorescens* dijelaskan oleh Kumar et al., (2007) bahwa *P. fluorescens* menghasilkan enzim protease dan kitinase. Enzim yang dihasilkan tersebut dapat mendegradasi telur nematoda. Mugiastuti et

al., (2012) menjelaskan bahwa *P. fluorescens* adalah bakteri terbaik dalam menekan perkembangan penyakit layu tomat dan menekan kerusakan akar yang disebabkan oleh nematoda. Ashoub & Amara (2010) menyatakan bahwa genus dari bakteri *Bacillus* dan *Pseudomonas* dari kelompok *fluorescens* dapat menghasilkan senyawa volatil atau senyawa metabolit yang bisa mematikan larva maupun telur nematoda. Reitz et al., (2002) menunjukkan bahwa lipopolysakarida, LPS (lipid. A) yang didefinisikan sebagai bagian yang tidak terpisah dari membran terluar dari sel bakteri, dapat diekstraksi dari biakan bakteri yang bersifat antagonis bagi nematoda. Lebih dari itu, lipid A diketahui sebagai endotoxin yang dihasilkan oleh membran sel bakteri.

Bakteri *Bacillus* merupakan bakteri gram positif yang berbentuk batang. Beberapa spesies bakteri ini memiliki sifat aerob obligat dan an aerob fakultatif. Pada kondisi lingkungan yang tidak mendukung bakteri akan menghasilkan endospora sebagai struktur untuk bertahan. *Bacillus* memiliki beberapa kelebihan diantaranya lebih dapat bertahan hidup dalam waktu dan kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan, yaitu dapat bertahan hidup pada kondisi suhu 80 derajat celsius (Stein, 2005). Bakteri *Bacillus* selain berperan sebagai antagonis bakteri, juga sebagai penginduksi ketahanan tanaman. Harni et al., (2012) menjelaskan bahwa bakteri *Bacillus* menginduksi ketahanan tanaman dengan cara meningkatkan kadar asam salisilat, peroksidase dan fenol. Mekanisme dalam menginduksi ketahanan tanaman dengan cara mengkolonisasi jaringan tanaman sehingga akan menstimulasi tanaman untuk meningkatkan beberapa produksi senyawa metabolit yang berperan dalam ketahanan tanaman, misalnya enzim peroksidase yang berperan dalam peningkatan aktifitas kitinase, fitoaleksin PR protein serta β -1.3 glukonase (Press et al., 1997).

2. Induksi Ketahanan

Pertahanan suatu tanaman ialah suatu reaksi tanaman akibat infeksi patogen. Dalam hubungannya dengan ketahanan tanaman banyak sekali dikaitkan dengan adanya infeksi dari mikroorganisme lain, baik dari infeksi bakteri, virus, jamur maupun nematoda. Secara umum tanaman dapat melakukan pertahanan terhadap infeksi patogen dengan cara memanfaatkan sifat struktural dan melalui rekasi kimia akibat adanya patogen.

Induksi ketahanan sistemik didefinisikan sebagai peningkatan pertahanan tanaman terhadap infeksi patogen dan hama yang diperoleh setelah adanya stimulasi atau rangsangan secara mekanis (Ramamoorthy, et al., 2001). Stimulasi yang diberikan dapat dalam bentuk perlakuan fisik, kimia dan pemberian agensia biotik sebelum terjadi infeksi atau sebelum inokulasi patogen. Aplikasi rhizobakteria pada tanaman kenaf dapat meningkatkan kandungan fenolik dan asam salisilat. Kandungan total fenol dan asam salisilat meningkat secara signifikan sebagai reaksi pemberian rhizobakteria secara konsorsium serta mampu menurunkan intensitas penyakit puru akar pada kenaf yang disebabkan oleh nematoda (Wijayanti et al., 2017). Aplikasi PGPR dalam pengendalian nematoda dapat meningkatkan metabolit sekunder yang digunakan dalam induksi ketahanan. Diantara metabolit sekunder yang dihasilkan adalah senyawa fenolik dan asam salisilat. Akumulasi senyawa fenolik pada tanaman dapat meningkatkan peran enzim phenylalanine ammonium lyase (PAL) dan mensistesis enzim kitinase yang secara fungsional berfungsi dalam sifat ketahanan tanaman (Shaul et al., 2001). Asam salisilat (AS) bersama dengan fito hormon lainnya seperti jasmonic acid atau etilen dalam merespon satu kondisi tekanan dari faktor lingkungan, memiliki peran penting sebagai sinyal dalam aktifitas respon pertahanan terhadap patogen (Fragniere et al., 2011).

Rhizobakteria dapat bertindak sebagai bioprotektan atau *Induced Systemic Resistance* (ISR), yang sudah ditunjukkan oleh rhizobakteria dan bakteri endofit. Ciri bakteri yang dapat digunakan sebagai agen PGPR adalah bakteri yang bisa menghasilkan siderofor, lipopolisakarida dan asam salisilat (Compant et al., 2005).

Studi spesifik ISR *Bacillus* sp. pada nematoda parasit telah dilaporkan. Kloepper et al., (2004) menyatakan bahwa ISR yang dipacu oleh *Bacillus* spp. akan memunculkan pengurangan yang signifikan dalam kejadian atau tingkat keparahan berbagai penyakit pada tanaman inang. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya induksi kimia dan biologis, yang dapat berpengaruh terhadap pengurangan fekunditas nematoda (meningkatkan proporsi jumlah nematoda jantan).

Ketahanan tanaman terhadap patogen diartikan sebagai kemampuan tanaman untuk mengurangi, menghambat dan membatasi adanya infeksi patogen. Ilmu nematologi tanaman mengartikan bahwa ketahanan tanaman dalam arti luas merupakan kemampuan tanaman untuk menekan atau mengurangi perkembangan nematoda. Tanaman yang rentan dapat menyebabkan nematoda mudah berkembangbiak dan juga dapat menyebabkan kerusakan yang parah. (Agrios, 2005) menyatakan bahwa tanaman akan bertahan terhadap serangan patogen karena adanya dua kombinasi dua penghalang yaitu (1) Sifat struktural yang berperan sebagai penghalang fisik yang dapat menghambat masuknya atau berkembangnya patogen dalam tanaman dan (2) Adanya reaksi biokimia dalam sel dan jaringan tanaman yang akan menghasilkan senyawa racun sehingga menghambat pertumbuhan patogen tanaman atau nematoda parasit tanaman.

Tanaman memiliki respon yang sangat bervariasi terhadap serangan patogen. Beberapa tanaman menggunakan respon untuk menghambat, mencegah perkembangan patogen. Secara genetik tanaman memiliki kemampuan dalam melakukan pertahanan

terhadap patogen (nematoda). Agrios, (2005) menjelaskan bahwa terdapat beberapa mekanisme yang dilakukan tanaman sebagai reaksi dari infeksi nematoda yaitu menghasilkan zat beracun, reaksi hipersensitif dan fitoaleksin.

Ketahanan tanaman dapat terjadi secara genetik maupun secara terinduksi. Ketahanan melalui cara terinduksi dapat melalui proses SAR (*Systemic Acquired Resistance*) dan ISR (*Induced Systemic Resistance*). Baik SAR maupun ISR memiliki peranan yang sangat penting dalam peningkatan ketahanan tanaman. Vanloon, (2001) menjelaskan bahwa ketahanan melalui SAR menyebabkan reaksi hipersensitif dan terjadi setelah adanya infeksi patogen. Tanaman yang terinfeksi kemudian mengaktifkan gen-gen yang berperan dalam ketahanan (PR gen). Ketahanan yang terinduksi secara SAR tergantung pada asam salisilat (SA). SAR mampu menginduksi protein yang terhubung dengan patogenesis yang berhubungan dengan anti patogen. Pada ketahanan yang terinduksi secara ISR terjadi bukan disebabkan oleh adanya infeksi patogen, tetapi adanya infeksi mikroba non patogenik. Dalam proses ISR aktivasi senyawa pertahanan tidak terhubung dengan peran gen-gen pertahanan. Senyawa-senyawa pertahanan yang terbentuk seperti asam jasmonat dan senyawa etilen (Pieterse et al., 2009).

Sehubungan dengan peranannya sebagai pemacu pertumbuhan, *P. fluorescens* mampu memacu terbentuknya Indole Acetic Acid melalui hormon pertumbuhan IAA yang dihasilkan. Hormon IAA (auksin) dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman baik pada akar maupun batang. *P. fluorescens* dapat meningkatkan produktivitas daun murbai sampai 30%. Meningkatkan panjang akar, batang dan menghasilkan hormon cytokinin dalam perakaran (Akhtar et al., 2012). *P. fluorescens* juga berperan dalam menginduksi ketahanan secara sistemik. Induksi ketahanan sistemik merupakan ketahanan yang dipicu oleh adanya infeksi bakteri non patogen. Induksi ketahanan didapatkan dari aplikasi *P.*

fluorescens yang dapat meningkatkan ketahanan tanaman dengan cara mengurangi terhadap infeksi nematoda puru akar (*Meloidogyne* sp.) melalui sinyal transduksi independen yang berasal dari asam salisilat yang terdapat dan terakumulasi di perakaran (Siddiqui & Shaukat, 2004). Pemberian rhizobakteria secara tunggal dan konsorsium antara bakteri *Bacillus subtilis*, *P. fluorescens*, dan *Azotobacter* sp. memberikan pengaruh yang positif terhadap panjang akar tanaman kenaf (Wijayanti et al., 2016). Hal tersebut terjadi karena bakteri yang diaplikasikan mampu menghasilkan senyawa seperti hormon pertumbuhan yang dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman.

RHIZOBAKTERIA SEBAGAI PEMACU PERTUMBUHAN KENAF

Pengaruh rhizobakteria terhadap pertumbuhan tanaman terjadi secara tidak langsung, beberapa rekasi yang terjadi sebagai akibat pengaplikasian rhizobakteria pada tanaman diantara adalah:

1. Produksi Fitohormon

Hasil penelitian menyatakan bahwa perawatan benih dengan aplikasi bakteri non patogenik seperti *Agrobacterium* sp., *Bacillus* sp, *Pseudomonas* sp, *Streptomyces* sp menginduksi pertumbuhan akar di beberapa tanaman, karena bakteri menghasilkan zat untuk merangsang pertumbuhan secara alami. Zat yang dihasilkan rhizobakteria berupa fitohormon seperti IAA (Indol-3-acetic acid). IAA adalah salah satu auxin aktif fisiologis yang paling penting. IAA adalah produk umum dari metabolit L-tryptophan yang diproduksi oleh mikroba rhizobakteria. Tryptophan adalah asam amino esensial yang dapat mengalami oksidasi oleh aktifitas enzim tryptophanase bakteri. Tidak semua bakteri menghasilkan enzim tersebut. Pengaruh yang paling penting dari asam asetat adalah mempromosikan perkembangan akar dan batang, melalui perenggangan sel-sel yang baru terbentuk di meristem (Jatav et al., 2017).

2. Pelarut Fosfat

Rhizobakteria sebagai pelarut fosfat sangat penting dalam menyediakan nutrisi tanaman. Rhizobakteri akan mensekresikan berbagai jenis asam organik (misalnya asam karboksilat) yang dapat menurunkan pH sehingga melepaskan ikatan fosfat seperti $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ di tanah berkapur. Pemanfaatan rhizobakteri sebagai biofertilizer yang ramah lingkungan membantu mengurangi penggunaan pupuk fosfat yang mahal. Pupuk hayati fosfat dapat membantu meningkatkan efisiensi fiksasi nitrogen, ketersediaan Fe, Zn melalui produksi hormon promosi pertumbuhan tanaman (Oteino et al., 2015).

3. Produksi Siderofor

Salah satu kemampuan rhizobakteria adalah menghasilkan siderofor. Siderofor adalah senyawa pengompleks atau pengkelat besi (Fe^{3+}) spesifik yang dihasilkan oleh mikroba. Pembentukan siderofor tersebut bertujuan untuk menyembunyikan unsur besi yang berada di daerah perakaran (rizosfer) sehingga unsur besi tidak tersedia bagi patogen. Kemampuan rhizobakteri menghasilkan siderofor berpengaruh positif terhadap pengendalian patogen (Hu & Xu, 2011). Aplikasi *Enterobacter* sp. pada tanaman kenaf dapat mengurangi akumulasi logam dan mengurangi bioavailabilitas (ketersediaan hayati) logam dalam tanah (Chen et al., 2017). Aplikasi *B. subtilis* juga dapat berperan dalam pertumbuhan tanaman kenaf, hal tersebut terjadi karena Fe dalam tanah termasuk unsur hara esensial yang berperan dalam proses fotosintesis dan respirasi. Kemampuan *B. subtilis* dalam memacu pertumbuhan tanaman ditunjukkan dengan adanya peningkatan serapan Fe, tinggi tanaman, jumlah daun, volume akar dan bobot kering tanaman.

PENINGKATAN EFEKTIVITAS RHIZOBAKTERIA

Efektifitas aplikasi rhizobakteria pada tanaman kenaf dapat ditingkatkan dengan

beberapa perpaduan teknik pengendalian. Salah satunya adalah penambahan pupuk organik. Sumber bahan organik dapat berupa kompos dan pupuk kandang. Kompos dapat berupa limbah dari tanaman atau hewan yang melalui proses pembusukan. Pengaplikasian pupuk organik berupa kompos atau pupuk kandang dapat memfasilitasi tersedianya hara pada tanah. Fasilitasi hara tersebut dapat digunakan sebagai akses mikroba dalam meningkatkan populasinya baik oleh jamur maupun bakteri. Penyediaan unsur hara tersebut berlangsung secara simbiosis dan non simbiosis.

Selain penambahan bahan organik, pemberoan lahan atau pergiliran tanaman perlu dilakukan untuk mempertahankan kesuburan tanaman, menghindari efek alelopati serta memutus siklus perkembangan penyakit. Pergiliran tanaman secara polikultur mampu menghindari adanya epidemi penyakit. Penanaman secara polikultur dapat memutus siklus perkembangan nematoda dengan cara tidak menyediakan inang yang sesuai. Beberapa tanaman yang dapat digunakan dalam memutus siklus nematoda adalah *Tagetes* (*Tagetes erecta*), *Clotalaria* (*Clotalaria* sp), *tithonia* (*Tithonia diversifolia*). Tanaman tersebut bersifat antagonis terhadap keberadaan nematoda. Beberapa senyawa terpenoid yang disekresikan berperan sebagai zat pengusir nematoda.

KESIMPULAN

Kemampuan rhizobakteria sebagai penghasil fitohormon, pelarut fosfat dan penghasil siderofor, serta penghasil anti biotik dapat dimanfaatkan untuk menekan infeksi nematoda puru akar pada tanaman kenaf. Selain dapat menekan infeksi nematoda puru akar, rhizobakteria juga dapat berfungsi sebagai agent hayati yang dapat meningkatkan ketahanan tanaman. Aplikasi *Bacillus subtilis*, *P. fluorescens* dan *Azotobamter* sp., baik secara tunggal maupun konsorsium mem-

berikan pengaruh yang positif terhadap pertumbuhan kenaf, yang selanjutnya dapat meningkatkan ketahanan tanaman kenaf terhadap infeksi nematoda puru akar. Dengan demikian, aplikasi rhizobakteria pada pertanaman kenaf yang diintegrasikan dengan teknik pengelolaan lahan dan tanaman mampu memberikan pengaruh positif terhadap ketahanan tanaman dan dapat direkomendasikan sebagai strategi pengendalian nemaoda puru akar yang ramah lingkungan, sehingga dapat terwujud sistem pertanian berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih Prof. Ir. Nurindah, PhD. dan Dr. Ir. Titiiek Yulianti, M.Agr., Ph.D. atas saran dan masukannya dalam penulisan review ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrios, G.N., 2005. Plant diseases caused by nematodes, 5th ed. Departemnt of Plant Pathology Universitas of Florida, New York.
- Akhtar, A., Hisamuddin, M., Robab, A., Sharf, R., 2012. Plant Growth Promoting Rhizobacteria. An Overview. J. Nat. Prod. Plant Resour 2, 19–31.
- Ashoub, A., Amara, M., 2010. Biocontrol Activity of same Bacteria Genera Against Root-knot Nematoda *Meloidogyne incognita*. J Amer Sci 6, 321–328.
- Chen, Y., Yang, W., Yang, C., Wang, S., 2017. Metal tolerant enterobacter sp. strain EG16 enhanced phytoremediation using *Hibiscus cannabinus* via siderophore mediated plant growt promoting under metal contamination. Plant Soil 413, 203–216.
- Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clement, C., Barka, E., 2005. Use of Plant Growth-Promoting Bacteria for Biological Control of Plant Diseases: Principles, Mechanims of Action, and Future Prospects. App Env. Microbio 71, 4951–4959.
- Degenhardt, J., Gershenzon, I., Baldwin, Kessler, A., 2003. Attracting friends to feast on foes:

- engineering terpene emission to make crop plants more attractive to herbivore enemies. *Curr. Opin. Biotechnol* 14, 169–176.
- Fragniere, C., Serrano, M., Abou-Mansour, E., Metraux, J., L'Haridon, F., 2011. Salicylic acid and its location in response to biotic and abiotic stress. *FEBS Lett* 585, 1847–1852.
- Harni, R.M., Supramana, S., Sinaga, Giyanto, Supriadi, 2012. Mekanisme Bakteri Endofit Mengendalikan Nematoda *Pratylenchus brachyurus* Pada Tanaman Nilam. *Bul. Litro* 23, 102–114.
- Hu, Q.P., Xu, J.G., 2011. A simple double-layered chrome azurol S agar (SDCASA) plate assay to optimize the production of siderophores by a potential biocontrol agent *Bacillus*. *Afr J Microbiol Res.* 5, 4321–4327.
- Jatav, P., Gupta, A., Ahirwar, S., Jatav, S., Jatav, A., Kushwaha, K., 2017. Production of plant growth hormones indole-3-acetic acid (iaa) using *Bacillus* by batch fermentation. *G.J.B.B* 6, 112–116.
- Kloepper, J., Ryu, C., Zhang, S., 2004. Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. *Phytopathology* 94, 1259–1266.
- Kremer, R., 2013. Interactions between the plants and microorganisms. *Allelopath. J.* 31, 51–70.
- Kumar, A., Min-Jeong, K., Chul, K., Kumar, M., 2007. Role of Chitinase and β -1, 3-glucanase Activities Produced by Fluorescent *Pseudomonas* and In vitro Inhibition of *Phytophthora capsici* and *Rhizoctonia solani*. *Can. Jour Microbiol* 53, 207–212.
- Lugtenberg, B., Kamilova, F., 2009. Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annu. Rev. microbiol*, 63, 541–560.
- Meena, S., Jonathan, E., Kavitha, P., 2012. Viability of *Pseudomonas fluorescens* in liquid formulation and its effect on plant growth promoting and inhibition of root knot nematode, *Meloidogyne incognita*. *Madras Agric. J.* 9, 850–853.
- Mendoza, A., Kiewnick, S., Sikora, R., 2008. In vitro activity of *Bacillus firmus* against the burrowing nematode *Radopholus similis*, the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* and the stem nematode *Ditylenchus dipsaci*. *Biocontrol Sci. Technol.* 18, 377–389.
- Mitkowski, N., Abawi, G., 2003. Root-knot Nematodes. The plant health instruction. DOI:10.1094/PHI-I-2003-0917-01.
- Mossello, A., 2010. A review of literatures related of using kenaf for pulp production (beating, fractionation, and recycled fiber). *Mod. Appl. Sci.* 4, 21–29.
- Mugiastuti, E., Rahayuniati, R., Sulistyanto, P., 2012. Pemanfaatan *Bacillus* sp dan *Pseudomonas fluorescens* Untuk Mengendalikan Penyakit layu Tomat Akibat Sinergi *R. solanacearum* dan *Meloidogyne* sp. *Pros. Semin. Nas. Pengemb. Sumberd. Pedesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan II* 72–77.
- Oteino, N., Lally, R., Kiwanuka, S., Lloyd, A., Ryan, D., Germaine, K., Dowling, D., 2015. Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates. *Front Microbiol.* *Front Microbiol* 6, 745–750.
- Pieterse, C., Lenon, R., Van-derEnt, S., Van-Wees, S., 2009. Networking by Small-molecule Hormones in Plant Immunity. *Nat Chemical Biol* 5, 305–316.
- Press, C., Wilson, M., Tuzun, S., Kloepper, J., 1997. Salicylic acid produced by *Serratia marcescens* 90-166 is not the primary determinant of induced systemic resistance in cucumber or tobacco. *Mol. Plant-Microbe Interac.* 6, 761–768.
- Ramamoorthy, VR Viswanathan, T Raguchander, V., Prakasam, Samiyappan, R., 2001. Induction of Systemic resistance by Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Crop Plants against Pest and Diseases. *Crop Prot.* 20, 1–11.
- Reitz, M., Oger, P., Meyer, A., Niehaus, K., Farrand, S., Hallman, J., Sikora, R., Richard, S., 2002. Importance of the O-antigen, core-region and lipid A of rhizobial induction of systemic resistance in potato to *Globodera pallida*. *Nematology* 4, 73–79.
- Saleh, H., Abu-Gharbieh, W., Al-Banna, L., 1989. Augmentation of soil solarization effects by application of solar-heated water. *Nematol. Medit* 17, 127–129.
- Shaul, O., David, R., Sinvani, G., Ginzberg, Ganon, D., Wininger, S., Badani, H., Ovdad, N., Kapulnik, Y., 2001. Plant defence response during arbuscular mycorrhiza symbiosis. Current advances in mycorrhizae research. The American Phytopathological Society St Paul Minnesota.
- Siddiqui, J., Shaukat, S., 2004. Systemic Resistance in Tomato Induced by Biocontrol Bacteria Against the Root-knot Nematode. *Meloidogyne*

- javanica is Independent of Salicylic Acid Production. *J. Phytopathol.* 152, 48–54.
- Stein, T., 2005. *Bacillus subtilis* antibiotics: structures, syntheses and specific functions. *Mol Microbiol* 56, 845–857.
- Tahery, Y., Shukor, N., Abdul-Hamid, H., Abdullah, M., Norlia, B., 2011. Yaghoob Tahery, 2Nor Aini Ab Shukor, 2Hazandy Abdul-Hamid, 3Mohd Puad Abdullah and 4B. Norlia. Status of Root-Knot Nematode Disease on Kenaf Cultivated on Bris Soil in Kuala Terengganu, Malaysia. *World Appl. Sci. J.* 15, 1287–1295.
- Vanloon, L., 2001. Systemic Induced Resistance. Kluwer Academic Publisher.
- Wescott, S., Kluepfel, D., 1993. Inhibition of *Criconeilla xenoplax* Egg Hatch by *Pseudomonas aerofaciens*. *J Phytop* 83, 1245–1249.
- Wijayanti, K., Rahardjo, B., Himawan, T., 2017. Pengaruh rizobateri dalam meningkatkan kandungan asam salisilat dan total fenol tanaman terhadap penekanan nematoda puru akar. *Bul. Tanam. tembakau, Serat & Minyak Ind.* 9, 54–63.
- Wijayanti, K., Rahardjo, B., Himawan, T., 2016. Pengaruh PGPR terhadap penekanan populasi nematoda puru akar (meloidogyne incognita (kofoid and white) chitwood) pada tanaman kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.). *Bul. Tanam. Tembakau, Serat & Minyak Ind.* 8, 30–39.
- Zhang, F., Noe, J., 1999. Damage potential and reproduction of Meloidogyne incognita Race 3 and *M. arena* Fria Race 1 on Kenaf. *J Nematol* 28, 668–675.