

Interaksi Bakteri Antagonis dengan Tanaman: Ketahanan Terinduksi pada Tanaman Jagung

Interactions of Antagonistic Bacteria and Plants: With Induced Systemic Resistance on Maize

Nurasiah Djaenuddin*

Balai Penelitian Tanaman Serealia

Jl. Dr. Ratulangi No. 274, Maros, Sulawesi Selatan, Indonesia

*E-mail: asia_dj@ymail.com

Naskah diterima 16 Februari 2016, direvisi 29 November 2016, dan disetujui diterbitkan 5 Desember 2016

ABSTRACT

*Biological control against soil-borne pathogens is an option to reduce disease activity by pathogens through one or more resistance mechanisms. In the last two decades, interest in biological control usage against soil borne plant pathogens has increased because this approach can control disease not only solely, but can also be combined with other strategic control. Colonization of plant roots is an important step for soil borne pathogens and beneficial bacteria (bacterial antagonists and rhizobacteria). Colonization patterns indicate that rhizobacteria act as a biocontrol agent or as a growth promoter bacteria formation of microcolonies. Microcolonies are used as the media for bacteria to interact one with another in order to effectively coincide with the root exudates. Elicitation or the process of adding elicitor (chemical compounds) in the plant cell is aimed to induce and enhance the establishment of secondary metabolites, initially shown by *Pseudomonas* spp. and other gram-negative bacteria. Some strains of the species *Bacillus subtilis*, *B. cereus* and *B. pumilus* elicit significantly the incidence or severity of various diseases in a variety of host plants. Elicitation of systemic induced resistance by these strains is shown in experiments in the greenhouse or in the field on maize, rice, tomatoes, watermelon, and cucumber. Elicitation by *Bacillus* spp. was reported to establish induced systemic resistance mechanisms in plants affected by leaf spot fungus and bacteria, viruses, nematodes, damping off and blight disease. With the advancement of this knowledge, one can explore strains of bacterial species efficiently use as advantageous agents in biological control strategy.*

Keywords: Induced resistance, antagonistic bacteria, biocontrol, maize.

ABSTRAK

Pengendalian secara biologi terhadap patogen tular tanah dilakukan untuk menurunkan aktivitas penyakit oleh patogen melalui satu atau lebih mekanisme. Dalam dua dekade terakhir perhatian pada pengendalian secara biologi terhadap patogen tanaman tular tanah meningkat, karena dapat memberikan manfaat pengendalian terhadap penyakit, tidak hanya satu cara, namun dipadukan dengan pengendalian strategis lainnya. Kolonisasi akar tanaman adalah langkah penting untuk bakteri patogen tular tanah dan bakteri yang menguntungkan (bakteri antagonis dan rizobakteria). Pola kolonisasi menunjukkan rizobakteria bertindak sebagai agens biokontrol atau bakteri pemacu pertumbuhan terbentuknya mikrokoloni. Mikrokoloni digunakan sebagai tempat bagi bakteri untuk berinteraksi satu sama lain agar terkoordinasi lebih baik dengan eksudat akar. Elisitasi atau proses penambahan elisitor (senyawa kimia) pada sel tumbuhan ditujukan untuk menginduksi dan meningkatkan pembentukan metabolit sekunder, awalnya ditunjukkan oleh *Pseudomonas* spp. dan bakteri gram negatif lainnya. Beberapa strains dari spesies *Bacillus subtilis*, *B. cereus*, dan *B. pumilus* mengelisitasi secara signifikan kejadian atau keparahan berbagai penyakit pada tanaman jagung, padi, dan hortikultura. Elisitasi dari ketahanan terinduksi sistemik oleh strain tersebut ditunjukkan pada percobaan di rumah kaca dan lapang pada jagung, padi, tomat, semangka, dan mentimun. Elisitasi oleh *Bacillus* spp. membentuk mekanisme ketahanan sistemik terinduksi pada tanaman yang tertular penyakit bercak daun cendawan dan bakteri, virus, nematode, mati kecambah, dan penyakit hawar. Berdasarkan pemahaman pengetahuan ini maka terdapat peluang eksplorasi strains spesies bakteri yang efisien sebagai pendekatan dalam pengendalian secara biologi.

Kata kunci: Ketahanan terinduksi, bakteri antagonis, biokontrol, jagung.

PENDAHULUAN

Mikroorganisme menyukai tanah yang sehat dan eksudat akar untuk pertumbuhan dan multiplikasi di permukaan akar tanaman. Hubungan simbiotik antara bakteri dan tanaman di daerah rizosfer diistilahkan sebagai *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR), yang didefinisikan sebagai bakteri pada akar/rizosfer yang memberikan efek menguntungkan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Choudhary and Johri 2009). Tanaman memiliki mekanisme pertahanan diri yang dapat diaktifkan dalam menanggapi tekanan biotik (patogen dan parasit) pada berbagai tingkatan, mulai dari virus mikroskopis hingga serangga fitofag. Kecepatan respon tanaman sangat penting dalam menentukan perbedaan cara mengatasi tekanan biotik (Choudhary *et al.* 2007).

Ketahanan terinduksi diartikan sebagai proses ketahanan aktif yang bergantung pada penghalang fisik atau kimia tanaman inang, yang diaktifkan oleh agensia biotik atau abiotik (agens penginduksi), yang dapat melindungi tanaman dari infeksi patogen tanah. Ketahanan dapat diinduksi secara lokal maupun sistemik (Soesanto 2008).

Ketahanan terinduksi berkembang setelah tanaman diinokulasi dengan elisitor biotik (mikroorganisme avirulen, nonpatogenik, saprofit) dan elisitor abiotik (asam salisilat, asam kloroetil fosfonat) (Choudhary *et al.* 2008). Menurut Koumutsi *et al.* (2007), berdasarkan ekspresi gejala pada bagian tanaman dapat dibedakan dua ketahanan terinduksi, yaitu induksi ketahanan lokal dan induksi ketahanan sistemik.

Ketahanan terinduksi dikategorikan sebagai perlindungan secara biologi pada tanaman target. Induksi resistensi menyebabkan kondisi fisiologis yang mengatur sistem ketahanan menjadi aktif dan atau menstimulasi mekanisme resistensi alami yang dimiliki tanaman inang (Zhang *et al.* 2007).

Mikroba yang bersifat menguntungkan bagi tanaman, seperti rizobakteri dari kelompok *Pseudomonas spp.*, dapat berfungsi sebagai penyubur, sarana pengendali hayati patogen tanaman, dan meningkatkan ketahanan tanaman (*induced systemic resistance* (ISR) (McMilan 2007). Makalah ini membahas interaksi antara bakteri antagonis dengan tanaman yang menyebabkan timbulnya mekanisme ketahanan terinduksi terhadap patogen penyakit dan pertumbuhan tanaman jagung.

BAKTERI ANTAGONIS DAN KETAHANAN TERINDUKSI SISTEMIK TANAMAN

Keberadaan dan Penyebaran

Beberapa mikroba yang menyelimuti perakaran tanaman sehat diketahui sebagai pelindung dari patogen layu. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa isolat bakteri lebih banyak diperoleh dari bahan organik dibandingkan dari rizosfer. Tanah yang sehat bukan hanya subur dan banyak mengandung bahan yang menunjang kesehatan tanaman, tetapi juga mampu menyediakan lingkungan yang cocok bagi mikroba tanah, sehingga tanaman dapat terlindungi dari patogen tanah (Nion and Toyota 2008).

Kemampuan bakteri, khususnya aktinomycetes yang bersifat parasit dan mampu menurunkan spora cendawan patogen tanaman, memperlihatkan awal yang baik. Kitin tidak hanya berperan penting pada mekanisme pertahanan tanaman, tetapi juga pada proses mikoparasit cendawan (Chen *et al.* 2006).

Bakteri Antagonis dan Kesehatan Tanaman

Mikroba antagonis dapat berfungsi sebagai agens pengendali patogen melalui mekanisme kompetisi, antibiosis, parasitisme atau ketahanan terinduksi. Penggunaan bakteri antagonis untuk meningkatkan hasil panen dan melindungi tanaman dari organisme pengganggu tanaman (OPT) merupakan pendekatan yang menjanjikan dalam sistem pertanian modern (Kuswinanti 2014). Perlakuan benih menggunakan formula bakteri antagonis *B. subtilis* BR23 (Muis and Quimio 2006) dapat mengendalikan penyakit hawar pelepah dan upih daun *Rhizoctonia solani* pada tanaman jagung dan juga meningkatkan hasil panen dibandingkan dengan penggunaan fungisida sintetik.

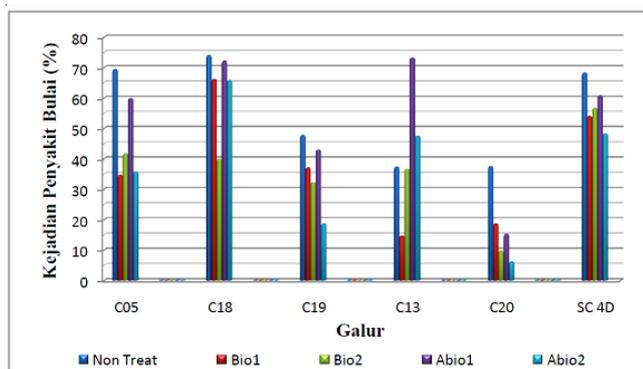
Hasil penelitian Handini dan Nawangsih (2014) menunjukkan *B. subtilis* merupakan bakteri yang mengkolonisasi akar tanaman dan dapat memacu pertumbuhan. Dikemukakan oleh Kamilova *et al.* (2006) bahwa hasil biosintesis *Indole Acetic Acid* (IAA) oleh *B. amyloliquefaciens* FZB42 memiliki kemampuan meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan penggunaan kombinasi analisis kimia dan genetik. Namun, kemampuan ini bergantung pada triptofan yang merupakan salah satu senyawa utama dalam beberapa eksudat tanaman.

Mekanisme Kerja Ketahanan Terinduksi

Apabila mekanisme pertahanan tanaman digerakkan oleh rangsangan karena infeksi patogen tanaman, maka kejadian penyakit dapat dikurangi. Ketahanan terinduksi

bukan ketahanan tanaman yang sebelumnya tidak mempunyai ketahanan, tetapi pengaktifan mekanisme ketahanan laten melalui inokulasi patogen atau mikroba (Soesanto 2008).

Pengendalian penyakit tanaman dapat dilakukan dengan pemanfaatan bakteri antagonis, yang berdampak terhadap ketahanan tanaman dari gangguan patogen. Pertahanan tanaman dapat dilakukan secara fisik dan kimia (Chen *et al.* 2007). Hasil penelitian Hoerussalam *et al.* (2013) menyimpulkan bahwa elisitor Bio1, Bio2, Abio1, dan Abio2 dapat menginduksi ketahanan tanaman jagung terhadap penyakit bulai (Gambar 1). Hal ini dapat dilihat dari rendahnya kejadian penyakit pada perlakuan Bio1 dan Bio2 yang mengindikasikan bahwa kedua elisitor tersebut berperan dalam mekanisme ketahanan terimbas.

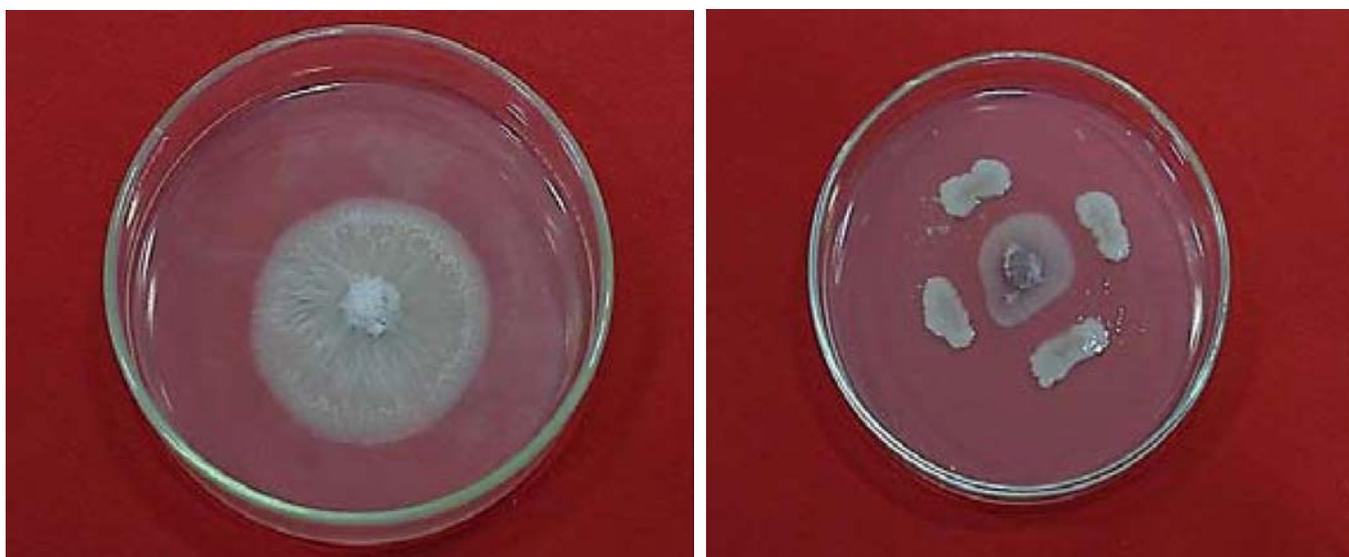


Gambar 1. Kejadian penyakit pada enam galur jagung. Sumber: Hoerussalam *et al.* (2013).

P. fluorescens tidak hanya dapat menghasilkan pigmen pioverdin dan atau fenazin, tetapi juga dapat menekan populasi patogen dengan cara melindungi akar dari patogen dengan mengkolonisasi akar, menghasilkan senyawa kimia berupa antimikroba dan antibiotik, dan berkompetisi dalam penyerapan Fe^{2+} (Couillerot *et al.* 2009).

Peran Senyawa Volatil pada Ketahanan Terinduksi

Ketahanan terinduksi sistemik merupakan mekanisme yang efektif pada kondisi lapang dan menyediakan mekanisme alami pengendalian hayati penyakit tanaman. Penginduksian ketahanan secara *Systemic Acquired Resistance* (SAR) dihubungkan dengan asam salisilat. Hal ini ditunjukkan oleh peningkatan daya pertahanan tanaman yang melibatkan ketahanan terinduksi sistemik, yang berhubungan dengan peningkatan senyawa penghambat patogen tanaman, seperti fitoaleksin (Soesanto 2008). Penelitian Luna *et al.* (2012) juga mengindikasikan bahwa ketahanan terinduksi melalui jalur SAR dapat diwariskan secara epigenetik, gen ketahanan menjadi aktif pada keturunan arabidopsis yang induknya telah diberi perlakuan, sehingga keturunannya lebih tahan terhadap patogen *Hyaloperonospora arabidopsis*. Hasil penelitian Ariawan *et al.* (2015) menunjukkan bahwa perlakuan rizobakteri sangat nyata ($P < 0,01$) menghambat pertumbuhan jamur *Fusarium* sp. (Gambar 2). Adanya rizobakteri *Aeromonas hydrophila* mampu menghambat pertumbuhan koloni jamur *Fusarium* sp. secara *in vitro*.



Gambar 2. Koloni jamur *Fusarium* sp. pada pengamatan 5 HSI (hari setelah inkubasi). (a) Koloni Jamur *Fusarium* sp. Kontrol; (b) Koloni Jamur *Fusarium* sp. dengan perlakuan rizobakteri *A. hydrophila* isolat KtBit2. (1) *A. hydrophila*; (2) Jamur *Fusarium* Sumber: Ariawan *et al.* (2015).

Pada rizobakteri *A. hydrophila* isolat KtBlt2, mekanisme penghambatannya terhadap patogen melalui produksi antibiotik, toksin, kompetisi ruang dan nutrisi, menghasilkan siderofor, enzim kitinase, dan HCN (Fernando *et al.* 2005 *dalam* Ariawan *et al.* 2015).

Bakteri antagonis dapat menginduksi resistensi tanaman terhadap patogen dengan cara mengaktifkan lintasan sinyal dan melibatkan hormon asam jasmoik dan etilen tanaman. Selain itu bakteri antagonis khususnya rizobakteria dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman (Van Loon 2000 *dalam* Nurhayati 2011).

Ketahanan tanaman juga dapat diinduksi dengan cara menginokulasi dengan mikroba nonpatogenik dan perlakuan kimia tertentu. Ketahanan sistemik terinduksi pada berbagai tanaman yang disebabkan oleh agens penginduksi mikroba maupun senyawa kimia ditunjukkan oleh peningkatan kandungan senyawa tertentu, seperti enzim β -1.3.glukanase, kitinase, β -1.4 glukosidase, citonase, peroksidase, fenol, dan asam salisilat (Wei *et al.* 1996 *dalam* Widnyana *et al.* 2014). Sadoma *et al.* (2011) melaporkan pengendalian hayati dengan menggunakan agensia hayati tunggal atau kombinasi dapat menekan perkembangan penyakit bulai pada jagung yang disebabkan oleh cendawan *Peronosclerospora sorghi*.

Hubungan Biofertilizer Bakteri Antagonis dengan Ketahanan Sistemik

Akibat adanya penginduksi adalah berkurangnya intensitas penyakit tanaman dibandingkan dengan tanpa inokulasi penginduksi. Penggunaan *Pseudomonas* yang dipilih untuk mendukung kemampuan pertumbuhan tanaman (PGPR) memperlihatkan ketahanan sistemik terinduksi dalam tanaman (Soesanto 2008). Makarewicz *et al.* (2006) melaporkan bahwa biofertilisasi yang terjadi adalah akibat enzim fitase yang dikeluarkan dalam kondisi keterbatasan fosfat pada kolonisasi akar yang dapat berkontribusi pada pertumbuhan tanaman akibat peningkatan aktivitas strains *B. amyloliquefaciens* FZB.

PEMANFAATAN BAKTERI ANTAGONIS PADA TANAMAN JAGUNG DI INDONESIA

Banyak kasus penyakit tanaman yang belum dapat diatasi sampai sekarang, selalu ada pada setiap musim tanam, serta dijumpai pada semua jenis tanaman termasuk jagung. Oleh karena itu, munculnya pengendalian hayati yang salah satunya menggunakan mikroba bakteri antagonis perlu diapresiasi dan dimasyarakatkan, untuk mendukung keseimbangan

ekosistem pertanian dalam menunjang keberlanjutan sistem produksi pertanian.

Beberapa justifikasi penggunaan bakteri antagonis untuk mengatasi masalah penyakit tanaman jagung, menurut Soesanto (2009), di antaranya ketidakmampuan fungisida sintetis. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh patogen telah resisten terhadap jenis fungisida sintetis yang selalu digunakan, atau patogen target mampu membentuk struktur istirahat, sehingga sulit dikendalikan dengan fungisida sintetis. Hal ini ditunjukkan oleh penelitian Muis *et al.* (2015b), bahwa aplikasi gabungan antara formula *B. subtilis* TM4 dan 0,5% *gum arabic* sebagai perlakuan benih, dapat menekan cendawan *R. solani in vivo* dengan tingkat penularan hanya 2,7%, lebih rendah di antara perlakuan fungisida sintetis dan tidak berdampak negatif terhadap daya tumbuh jagung (Tabel 1).

Di dunia pertanian memungkinkan timbulnya polusi, terutama yang disebabkan oleh penggunaan bahan kimia, baik pestisida maupun pupuk atau hormon yang tidak bijaksana atau terus menerus. Kemungkinan ini perlu diantisipasi dengan mengurangi penggunaan pestisida atau bahan kimia sintetis dengan menggiatkan penggunaan agensia hayati, khususnya untuk mengendalikan patogen tanaman, sehingga sistem produksi tanaman dapat berkelanjutan.

Meskipun harga pestisida terjangkau oleh petani, tetapi bila diterapkan dalam skala luas tetap menambah biaya produksi. Apabila tanaman diperlakukan dengan agensia hayati untuk mencegah timbulnya penyakit tanaman, mulai sejak perlakuan benih, awal tanam, hingga awal berbunga, maka masalah penyakit tanaman dapat dicegah, khususnya pada tanaman di tanah yang sudah tercemar patogen.

Ketersediaan bakteri antagonis yang melimpah di alam, masing-masing daerah mempunyai kekhususan agensia hayati sendiri. Mikroba beradaptasi dan membutuhkan

Tabel 1. Daya tumbuh dan tingkat infeksi *R. solani* pada tanaman jagung yang mendapat beberapa perlakuan.

Perlakuan	Daya tumbuh (%)	Tingkat <i>R. solani</i> (%)
<i>Seed treatment</i> dengan larutan <i>Bacillus</i>	98,7	3,4 ^b
<i>Seed treatment</i> larutan <i>Bacillus</i> +0,5% <i>gum</i>	99,3	2,7 ^{ab}
<i>Seed treatment</i> dengan fungisida nordox	99,3	5,4 ^{bc}
<i>Seed treatment</i> dengan fungisida metalaxyl	98,7	7,4 ^c
<i>Seed treatment</i> dengan nordox + metalaxyl	99,3	8,1 ^c
Kontrol positif (inokulasi <i>R. solani</i>)	98,7	18,9 ^d
Kontrol negatif (tanpa inokulasi)	98,7	0,0 ^a

Angka selanjur yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji Duncan 5%

Sumber: Muis *et al.* (2015b).

Tabel 2. Populasi bakteri pada perakaran beberapa tanaman Graminae.

Jenis tanaman graminae	Kerapatan populasi bakteri (Log cfu/bobot basah akar)	
	Rizosfer	Endofit
Rumput gajah	8,12	3,60
Jagung	7,64	3,80
Padi gogo	7,40	3,71
Sorgum	7,42	4,02

Sumber: Eliza *et al.* (2007).

kondisi ekologi dan iklim tersendiri. Hal ini dibuktikan oleh Eliza *et al.* (2007) yang melaporkan bahwa populasi bakteri endofit pada perakaran tanaman famili Graminae lebih banyak ditemukan pada akar sorgum (Tabel 2).

Mekanisme penghambatan yang terjadi oleh adanya bakteri antagonis juga ditentukan oleh metabolit sekunder yang dihasilkan. *B. subtilis* TM4 diduga menghasilkan senyawa antibiotik sehingga efektif mengendalikan cendawan *R. solani* (penyebab penyakit hawar pelepah dan upih daun jagung) secara *in vitro* dengan jarak penolakan 1,0 cm untuk mekanisme penekanan antagonis. *B. subtilis* BNt8 efektif untuk mengendalikan cendawan *F. moniliforme* (penyebab penyakit busuk batang dan busuk tongkol jagung) secara *in vitro* dengan jarak penolakan 3,7 cm untuk mekanisme penekanan antagonis, dan penekanan secara antibiosis efektif untuk *R. solani* dengan pertumbuhan miselia 3,5 cm (Tabel 3).

Adanya peluang pemanfaatan mikrobial antagonis akan memberikan teknologi yang lebih aman dalam pengendalian patogen secara hayati, sehingga produksi pertanian lebih aman dan sehat guna mendukung ketahanan pangan secara berkelanjutan (Soesanto 2009).

KESIMPULAN

Bakteri antagonis dapat menimbulkan reaksi mekanisme ketahanan terinduksi pada tanaman jagung sehingga mengurangi keparahan penyakit oleh berbagai patogen. Bakteri antagonis pada spesies yang sama juga dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman. Bakteri antagonis mampu memproduksi senyawa metabolit sekunder sehingga menyebabkan timbulnya mekanisme ketahanan terinduksi pada tanaman.

Keberadaan dan fungsi bakteri antagonis dalam tanah merupakan langkah awal dalam pengelolaan penyakit pada tanah supresif. Untuk itu, karakter tanah yang bersifat supresif perlu diketahui, seperti struktur dan komposisi tanah sebagai salah satu strategi pengendalian patogen tular tanah.

Tabel 3. Daya antagonistik beberapa strain *Bacillus* spp. terhadap patogen *R. solani* dan *F. moniliforme*.

Perlakuan	Jarak penolakan (cm) cendawan		Mekanisme penekanan
	<i>R. solani</i>	<i>F. moniliforme</i>	
TM4	1,0	2,0	Antagonis
BNt8	1,0	3,7	Antagonis
JA5	0,7	0,0	Antagonis
BJ6	0,7	0,7	Antagonis
Pertumbuhan miselia (cm)			
TM4	4,4	4,4	Antibiosis
BNt8	3,5	4,2	Antibiosis
JA5	3,7	4,1	Antibiosis
BJ6	4,6	4,1	Antibiosis

Sumber: Muis *et al.* (2015a).

DAFTAR PUSTAKA

- Ariawan, I.W.G., D.N. Suprpta, dan N.W. Suniti. 2013. Pemanfaatan *Aeromonas hydrophila* untuk mengendalikan penyakit layu *Fusarium* pada beberapa varietas sorgum manis (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). E-J. Agroekotekno Tropika 4(2):81-92.
- Chen, X-H., J. Vater, J. Piel, P. Franke, R. Scholz, and K. Schneider. 2006. Structural and functional characterization of three polyketide synthase gene clusters in *Bacillus amyloliquefaciens* FZB 42. J. Bacteriol. 188:4024-36.
- Chen, X-H., A. Koumoutsis, R. Scholz, A. Eisenrech, K. Schneider, dan I. Schneider. 2007. Comparative analysis of the complete genome sequence of the plant growth promoting *Bacillus amyloliquefaciens* FZB 42. Nat. Biotechnol. 25:1007-14.
- Choudary, D.K., A. Prakash, and B.N. Johri. 2007. Induced systemic resistance (ISR) in plants: mechanism of action. Indian J. Microbiol. 47:289-97.
- Choudary, D.K., B.N. Johri, and A. Prakash. 2008. Volatiles as priming agent that initiate plant growth and defense responses. Curr. Sci. 94 595-604.
- Choudhary, D.K. and B.N. Johri. 2009. Interactions of *Bacillus* spp. and plants-with special reference to induced systemic resistance (ISR). J. Microbial. 164:493-513.
- Couillerot, O., C.P. Combaret, J.C. Mellado, and Y.M. Loco. 2009. *Pseudomonas fluorescens* and closely-related fluorescent pseudomonads as biocontrol agents of soil-borne phytopathogens. Lett. Appl. Microbiol. 48:505-512.
- Eliza, A. Munif, I. Djatnika, dan Widodo. 2007. Karakter fisiologis dan peranan antibiosis bakteri perakaran graminae terhadap fusarium dan pemacu pertumbuhan tanaman pisang. J. Hort. 17(2):150-160.
- Handini Z.V.T. dan A.A. Nawangsih. 2014. Keefektifan bakteri endofit dan bakteri perakaran pemacu pertumbuhan

- tanaman dalam menekan penyakit layu bakteri pada Tomat. J. Fitopatol. Indones. 10(2):61-67.
- Hoerussalam, A. Purwantoro, dan A. Khaeruni. 2013. Induksi ketahanan tanaman jagung (*Zea mays* L.) terhadap penyakit bulai melalui seed treatment serta pewarisannya pada generasi S1. Ilmu Pertanian 16(2):42-59.
- Kamilova, F., L.V. Kravchenko, A.I. Shaposhnikov, T. Azarova, N. Makarova, and B. Lugtenberg. 2006. Organic acids, sugars, and L-tryptophane in exudates of vegetables growing on stonewool and their effects on activities of rhizosphere bacteria. Mol. Plant-Microbe Interact. 19:250-6.
- Koumoutsis, A., X-H. Chen, J. Vater, and R. Borriss. 2007. DegU and YczE positively regulate the synthesis of Bacillomycin D by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42. Appl. Environ. Microbiol. 73:6953-64.
- Kuswinanti, T., Baharuddin, dan S. Sukmawati. 2014. Efektivitas isolat bakteri dari rizosfer dan bahan organik terhadap *Ralstonia solanacearum* dan *Fusarium oxysporum* pada tanaman kentang. J. Fitopatologi Indonesia 10(2):68-72.
- Luna, E., J.A.B. Toby, M.R. Roberts, V. Flors, and J. Ton. 2012. Next-generation systemic acquired resistance. Plant Physiology 158:844-853.
- Makarewicz, O., S. Dubrac, T. Msadek, and R. Borriss. 2006. Dual role of the PhoP~P response regulator: *Bacillus amyloliquefaciens* FBZ45 phytase gene transcription is directed by positive and negative interaction with the phy C promoter. J. Bacteriol. 188:6953-65.
- McMilan, S. 2007. Promoting growth with PGPR. The Canadian Organic Grower. Soil Foodweb Canada Ltd. Soil Biology Lab. & Learning Centre. p. 32-34.
- Muis, A. and A.J. Quimio. 2006. Biological control of banded leaf and sheath blight disease (*Rhizoctonia solani* Kuhn) in corn with formulated *Bacillus subtilis* BR23. Indon. J. of Agric. Sci. 7(1):1-7.
- Muis, A., N. Djaenuddin, dan N. Nonci. 2015a. Uji virulensi beberapa isolat bakteri antagonis putative *Bacillus subtilis* (Ehrenberg) Cohn sebagai agensia pengendali hayati penyakit tanaman jagung. Buletin Penelitian Tanaman Serealia 1(1):8-15.
- Muis, A., N. Djaenuddin, dan N. Nonci. 2015b. Evaluasi lima jenis inner carrier dan formulasi *Bacillus subtilis* untuk pengendalian hawar pelepah jagung. J. HPT Tropika 15(2):164-169.
- Nion, Y.A. and K. Toyota. 2008. Suppression of bacteria wilt and fusarium wilt by a *Burkholderia nodosa* strain isolated from Kalimantan soils, Indonesia. Microbes Environ. 23(2):134-141.
- Nurhayati. 2011. Penggunaan jamur dan bakteri dalam pengendalian penyakit tanaman secara hayati yang ramah lingkungan. Prosiding Semirata Bidang Ilmu-ilmu Pertanian BKS-PTN Wilayah Barat. p.316-321.
- Sadoma, M.T., A.B.B. El-Sayed, and S.M. El-Moghazy. 2011. Biological control of downey mildew disease of maize caused by *Peronosclerospora sorghi* using certain biocontrol agents alone or in combination. J. Agric. Res. Kafer El-Sheikh Univ. 37(1):1-11.
- Soesanto, L. 2008. Pengantar pengendalian hayati penyakit tanaman, suplemen ke gulma dan nematoda. Rajawali Pers. 573p.
- Soesanto, L. 2009. Pengendalian hayati patogen tanaman: peluang dan tantangan dalam menunjang ketahanan pangan berkelanjutan. Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar Pada Fakultas Pertanian Universitas Jenderal Soedirman. Departemen Pendidikan Nasional, Universitas Jenderal Soedirman.
- Widnyana, I.K., N.P. Pandawani, dan N.I.GAG.E. Martiningsih. 2014. Uji aplikasi bakteri *Pseudomonas alcaligenesis* terhadap kandungan asam salisilat dan total fenol dalam upaya menekan penyakit layu fusarium pada tanaman tomat. Prosiding Seminar Nasional Hasil-Hasil Penelitian Unmas, Bali. p.414-419.
- Zhang, Z., Q. Li, Z. Li, P.E. Staswick, M. Wang, and Y. Zhu. 2007. Dual regulation role of GH3.5 in salicylic acid and auxin signaling during *Arabidopsis-Pseudomonas syringae* interaction. Plant Physiol. 145:450-64.