

## POTENSI BEBERAPA MIKROBA PEMACU PERTUMBUHAN TANAMAN SEBAGAI BAHAN AKTIF PUPUK DAN PESTISIDA HAYATI

### *Potency of Some Plant Growth Promoting Microbes as Active Ingredients of Bio Fertilizers and Biopesticides*

Hanudin, Kurniawan Budiarto, dan Budi Marwoto

Balai Penelitian Tanaman Hias  
Jalan Raya Pacet – Ciharang, Kotak Pos 8 Sindanglaya Cianjur 43253  
Telp. (0263) 517056, Faks. (0263) 514138;  
E-mail: hanudin@pertanian.go.id

Diterima: 16 Januari 2018; Direvisi: 1 Oktober 2018; Disetujui: 20 Oktober 2018

#### ABSTRAK

Tuntutan konsumen terhadap keamanan produk pertanian menuntut pula perlunya proses produksi dilakukan secara ramah lingkungan. Salah satu upaya untuk mengurangi atau mensubstitusi penggunaan pupuk dan pestisida kimia sintetik ialah memanfaatkan mikroba. Makalah ini membahas spesies mikroba yang berpotensi dan dapat dijadikan sebagai bahan aktif pupuk dan pestisida hayati. Berbagai spesies mikroba dari kelompok cendawan dan bakteri telah berhasil diisolasi dan dievaluasi keefektifannya sebagai bahan aktif pupuk dan pestisida hayati yang efektif. Mikroba pemacu pertumbuhan tanaman dengan mekanisme langsung maupun tidak langsung mampu menginduksi pertumbuhan tanaman dan beberapa mikroba juga berfungsi sebagai dekomposer, sehingga membantu penyediaan unsur hara bagi tanaman. Badan Litbang Pertanian telah menghasilkan beberapa formulasi pupuk hayati dan biopestisida dengan bahan aktif mikroba yang diisolasi dari sentra produksi pertanian. Aplikasi pupuk dan pestisida hayati tersebut efektif mengendalikan penyakit penting tanaman hias, seperti Bio Nutri-V dapat menekan perkembangan penyakit karat putih (*Puccinia horina* Henn) pada krisan 32,2% dan mempertahankan hasil panen kentang dan krisan masing-masing 25% dan 34% dibandingkan dengan aplikasi fungisida kimia sintetik. Pengembangan pupuk dan pestisida hayati yang dihasilkan diharapkan dapat meningkatkan daya saing komoditas pertanian melalui sistem produksi ramah lingkungan dengan memanfaatkan sumber daya alam secara optimal guna mendukung industri pertanian berdaya saing dan berkelanjutan.

**Kata kunci:** Mikroba, pupuk hayati, biopestisida, sayuran, tanaman hias, hortikultura

#### ABSTRACT

Consumer demands on safe agricultural products have made the shifting of the production system to be more environmental friendly. An attempt to reduce or totally substitute chemical fertilizers and pesticides on agricultural production process was through the utilization of potential microbes. The purpose of the study was to provide information on potential microbial species that can be used as active ingredients of biofertilizers and biopesticides. The mechanisms of action have been studied, both directly and indirectly, in protecting the plant from pest and disease attacks.

Several of these microbes also functioned as decomposer that might improve soil characteristic and nutrient availability for the crops. The Indonesian Agency for Agricultural Research and Development for has released formulated biopesticides and bio fertilizers with the active ingredients isolated from agricultural production centers. The application of these biopesticides and biofertilizers have been effectively controlled important diseases in horticultural crops, i.e. Bio Nutri-V could suppress white rust disease (*Puccinia horina* Henn) 32.15% in chrysanthemum and increased 25% and 34% harvestable products in chrysanthemum and potato, respectively, compared with synthetic fungicide. The utilization of biopesticides and biofertilizers is expected to improve the competitiveness of national agricultural commodities by utilizing natural resources to support highly competitive and sustainable agricultural industries.

**Keywords:** Microbes, biofertilizer, biopesticide, vegetable, ornamentals, horticulture.

#### PENDAHULUAN

Terdapat lebih dari 70.000 spesies organisme pengganggu tanaman (OPT) dan 10% di antaranya tergolong hama dan penyakit utama yang merugikan secara ekonomi. OPT yang terdiri atas serangga hama, penyakit, dan gulma berpotensi menurunkan hasil tanaman sayuran dan tanaman hias sebesar 40% bila tidak dikendalikan. Kehilangan hasil yang disebabkan oleh OPT pada proses produksi diperkirakan 15% disebabkan oleh serangga hama, 13% oleh penyakit, dan 12% oleh gulma. Kehilangan hasil sebesar 20% pada pascapanen disebabkan oleh kelompok OPT yang lain (Pimentel 2005). Penyakit tanaman dapat disebabkan oleh cendawan, bakteri, virus, viroid, dan mikoplasma. Kelompok cendawan merupakan patogen yang lebih dominan dibandingkan dengan bakteri dan kelompok penyakit lainnya. Lebih dari 10.000 spesies cendawan tergolong sebagai patogen dan sebagian besar dapat merusak lebih dari satu spesies tumbuhan (Fang dan Ramasamy 2015).

Di antara bahan aktif yang terdapat dalam pestisida, senyawa organoklor semula banyak digunakan pada sistem produksi pertanian di seluruh dunia. Setelah tahun 1960-an, organoklor salah satunya dalam bentuk Dichlorodiphenyl-trichloroetha (DDT) dilarang penggunaannya karena pestisida ini menyerang syaraf pusat yang dapat menyebabkan kejang ataupun bisa menyebabkan koma, sesak nafas, serta bisa juga berujung pada kematian (Kepripolitik 2010). Introduksi pestisida berbahan aktif organofosfat pada tahun 1960-an, karbamat pada tahun 1970-an, piretroid pada tahun 1980-an banyak mempengaruhi arah pengendalian hama dan penyakit tanaman budi daya karena pestisida-pestisida tersebut lebih aman bagi lingkungan dengan persistensi rendah (Aktar *et al.* 2009). Idealnya, aplikasi pestisida mempunyai target yang spesifik pada satu jenis hama dan patogen, bukan spesies lain. Namun kenyataannya, penggunaan pestisida secara tidak bijaksana telah berdampak negatif terhadap kehidupan manusia dan lingkungan (Sabur dan Molla 2001). Di Indonesia, penggunaan pupuk dan pestisida kimia sintetik (anorganik) di sentra produksi pertanian sudah tergolong tinggi. Hal ini menyebabkan terjadinya degradasi kesuburan lahan, terutama lahan sawah, yang ditunjukkan oleh penurunan kualitas fisik, kimia, dan biologi tanah sehingga menurunkan kandungan bahan organik dan pH tanah (Al-Zaidi *et al.* 2011; Carvalho *et al.* 2014).

Aplikasi pestisida kimia sintetik dapat mempertahankan produksi tanaman pangan, tetapi meningkatnya harga pestisida maka penggunaannya secara berlebihan berdampak terhadap peningkatan biaya produksi. Di samping itu, aplikasi senyawa kimia (misalnya organofosfat) yang diserap tanaman dan dikonsumsi manusia akan terakumulasi dalam darah, sehingga dapat mengganggu syaraf otak (Thanos *et al.* 2016). Di sisi lain, pemberlakuan ISO 14000 dan era Masyarakat Ekonomi ASEAN (MEA) 2015 menuntut jaminan kesehatan selama proses produksi tanaman (Wastra 2015). Oleh karena itu perlu dicari alternatif lain untuk mengurangi atau bahkan mensubstitusi penggunaan pupuk dan pestisida kimia sintetik. Salah satu alternatif yang prospektif ialah mengaplikasikan pupuk dan pestisida hayati, yang mengandung bakteri atau cendawan pemicu pertumbuhan tanaman dan aman terhadap lingkungan (Santosa 2009).

Bakteri pemacu pertumbuhan tanaman (BP2T) diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu spesies bakteri ekstraseluler dan intraseluler. BP2T ekstraseluler umumnya terdapat di permukaan tanah, daerah perakaran, dan di antara sel-sel korteks akar. BP2T intraseluler terdapat pada struktur nodul yang spesifik pada sel-sel akar. Jenis bakteri yang tergolong ekstraseluler ialah *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Caulobacter*, *Chromobacterium*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, dan *Serratia* (Ahemad dan Kibret 2014). Sementara bakteri yang termasuk BP2T intraseluler umumnya tergolong famili *Rhizobiaceae* seperti *Allorhizobium*,

*Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, endofitik *Rhizobium* dan *Frankia* yang dapat bersimbiosis dengan tanaman dalam memfiksasi nitrogen dari udara (Bhattacharyya dan Jha 2012).

*Trichoderma* sp. dan aktinomiset adalah spesies mikroba lainnya yang berfungsi sebagai agens hayati pengendali patogen dan pemicu pertumbuhan tanaman. Hasil penelitian Yudha *et al.* (2016) menunjukkan cendawan *Trichoderma* sp. dapat menekan penyakit akar bengkak yang disebabkan oleh *Plasmodiophora brassicae* sebesar 34,5% dan meningkatkan bobot basah tanaman caisin 30,8%. Sementara itu, Candra dan Giyanto (2014) melaporkan aktinomiset galur nomor APS-9 dapat menekan penyakit hawar daun bakteri (*Xanthomonas orizae* pv. *orizae*) hingga 88,9% dan meningkatkan pertumbuhan tajuk tanaman padi 36,1%. Tulisan ini membahas spesies mikroba yang berpotensi digunakan sebagai bahan aktif pupuk dan pestisida hayati.

## JENIS MIKROBE YANG POTENSIAL SEBAGAI PUPUK DAN PESTISIDA HAYATI

Berbagai spesies mikroba telah berhasil diisolasi dan dievaluasi keefektifannya sebagai bahan aktif pupuk dan pestisida hayati yang efektif dan dikelompokkan menjadi bakteri dan cendawan. Kelompok bakteri yang telah digunakan sebagai bahan aktif pestisida dan pupuk hayati di antaranya ialah penambat nitrogen simbiotik (Rhizobia) dan nonsimbiotik (antara lain *Azotobacter* dan *Azospirillum*), mikroba pelarut P (*Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp.), dan antagonis seperti *Agrobacterium* dan *Pseudomonas*. Kelompok bakteri dari genus *Agrobacterium* dan *Pseudomonas* telah dimanfaatkan sebagai agen pengendalian biologi, walaupun beberapa strain kedua bakteri ini juga dikenal sebagai patogen. Pada tanah di sekeliling perakaran tanaman yang sakit, perbandingan kedua strain patogen ini lebih tinggi dibanding strain antagonis. Sebaliknya, pada perakaran tanaman yang sehat, proposi bakteri antagonis lebih tinggi rendah (Putri *et al.* 2015).

Kelompok cendawan juga banyak yang bersifat antagonis terhadap patogen tanaman. Penghambatan cendawan antagonis terhadap patogen adalah melalui beberapa mekanisme seperti antibiosis (*Gliocladium* dan *Trichoderma*), hyperparasitisme/mycoparasitisme (*Trichoderma* dan *Sporidium*), serta kompetisi ruang dan nutrisi (*Trichoderma* dan *Fusarium oxysporum*) (Bhattacharjee dan Dey 2014). Beberapa mikroba perombak bahan organik adalah *Trichoderma reesei*, *T. harzianum*, *T. koningii*, *Gliocladium* sp., *Phanerochaeta chrysosporium*, *Cellulomonas*, *Pseudomonas*, *Thermopora*, *Aspergillus niger*, *A. terreus*, *Penicillium* dan *Streptomyces* (Saraswati dan Sumarno 2008). Beberapa jenis cendawan dan bakteri yang telah dimanfaatkan sebagai agensia hayati untuk pemacu pertumbuhan tanaman disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Beberapa jenis bakteri dan cendawan yang telah dimanfaatkan sebagai pengendali hayati pada berbagai tanaman inang.**

Jenis mikroba/strain	Patogen	Tanaman inang	Referensi
<b>Kelompok bakteri</b>			
<i>Pseudomonas fluorescens</i> strain CHA0	<i>Thielaviopsis basicola</i>	Tembakau	Almario <i>et al.</i> 2014
<i>Pseudomonas putida</i> strain M17	<i>Erwinia carotovora</i> pv. <i>carotovora</i>	Tomat	Colyer dan Mount 1984
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>	Padi	Saikia <i>et al.</i> 2006
<i>Bacillus amyloliquesfacien</i> strain NJZJSB3	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Canola	Wu <i>et al.</i> 2014
<i>Bacillus amyloliquesfacien</i> strain W2	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Crocus sativus</i>	Gupta <i>et al.</i> 2014
<i>Bacillus cereus</i> UW 85	<i>Phytophthora megasperma</i> f. sp. <i>medicaginis</i>	Alfafa	Lozano <i>et al.</i> 2016
<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Alternaria alternata</i>	Melon	Wang <i>et al.</i> 2010
	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Tomat	Chen <i>et al.</i> 2013
	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Cabai	Ashwini dan Srividya 2014
	<i>Pseudocercospora purpurea</i>	Alpokas	Korsten <i>et al.</i> 1997
<i>Bacillus subtilis</i> strain QST731	<i>Xanthomonas citri</i> subsp. <i>citri</i>	Jeruk	Ibrahim <i>et al.</i> 2016
<i>Bacillus subtilis</i> strain S1-0210	<i>Botrytis cinerea</i>	Strawberry	Hang <i>et al.</i> 2005
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> strain MR 18	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Tomat	Deshwal 2012
<i>Cryptococcus laurentii</i>	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Mangga	Bautista-Rosales <i>et al.</i> 2014
<i>Brevundimonas diminuta</i>	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Mangga	Kefialew dan Ayalew 2008
<i>Lysobacter</i> spp. strain SB-K88	<i>Aphanomyces cochlioides</i>	Gula bit	Islam <i>et al.</i> 2005
<i>Bulkholderia cepacia</i> GanoEB2	<i>Ganoderma</i> sp.	Kelapa sawit	Ramli <i>et al.</i> 2016
<i>Agrobacterium radiobacter</i> K84 dan K1026	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	Persik	Vicedo <i>et al.</i> 1993
<i>Pantoea agglomerans</i> strain E325	<i>Erwinia amylovora</i>	Apel	Pusey <i>et al.</i> 2011
<i>Streptomyces</i> sp.	<i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>oryzae</i>	Padi	Kim <i>et al.</i> 2015
	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>vesicatoria</i>	Cabai	
	<i>Pectobacterium carotovorum</i> pv. <i>carotovorum</i>	Wortel	
<b>Kelompok cendawan</b>			
<i>Trichoderma harzianum</i>	<i>Fusarium moniliforme</i>	Jagung	El-Hasan <i>et al.</i> 2007
	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>tuberosi</i>	Kentang	Nosir 2016
	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>phaseoli</i>	Kacang buncis	Carvalho <i>et al.</i> 2014
	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis-cucumerinum</i>	Mentimun	Rose <i>et al.</i> 2003
	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i>	Pisang	Wibowo <i>et al.</i> 2013
	<i>Fusarium oxysporum</i>	Melon	Gava dan Pinto 2016
<i>Trichoderma viride</i>	<i>Sclerotium rolfsii</i>	Tomat	Ekundayo <i>et al.</i> 2015
	<i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Sclerotium rolfsii</i> , <i>Macrophomina phaseolina</i> , <i>Alternaria alternata</i> , <i>Fusarium solani</i> dan <i>Colletotrichum capsici</i>	Kacang hijau	Mishra <i>et al.</i> 2011
	<i>Pestalotia theae</i> , <i>Fusarium solani</i>	Teh	Naglot <i>et al.</i> 2015
<i>Trichoderma hamatum</i>	<i>Phytophthora capsici</i>	Mentimun	Khan <i>et al.</i> 2004
<i>Trichoderma virens</i>	<i>Rhizotonia solani</i> , <i>Phytium ultimum</i>	Kapas	Howell <i>et al.</i> 1997
<i>Trichoderma asperellum</i>	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	Tomat	El-Komy <i>et al.</i> 2015
	<i>Pythium myriotylum</i>	Talas	Mbarga <i>et al.</i> 2012
<i>Trichoderma</i> spp.	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	Tomat	Sundaramoorthy dan Balabaskar 2013
<i>Trichoderma</i> sp.	<i>Lasioidiplodia theobromae</i> , <i>Colletotrichum musae</i>	Pisang	Sangeetha <i>et al.</i> 2009
<i>Coniothyrium minitans</i>	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Bunga matahari, Selada	Whipps <i>et al.</i> 2008
<i>Ampelomyces quisqualis</i>	<i>Oidium anacardii</i>	Jambu mete	Dominic dan Marthamakobe 2017

## MEKANISME KERJA BAKTERI PEMACU PERTUMBUHAN TANAMAN

Cara BP2T mempengaruhi pertumbuhan tanaman adalah melalui beberapa mekanisme. Menurut Mabood *et al.* (2014), BP2T menginduksi pertumbuhan tanaman melalui perubahan komunitas mikroba pada perakaran (rhizosfer) untuk memproduksi berbagai macam senyawa organik. Secara umum, BP2T dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman secara langsung melalui kemampuannya meningkatkan ketersediaan nutrisi (nitrogen, fosfor, kalium, dan elemen lain) dan secara tidak langsung mengendalikan OPT dengan cara menghasilkan antibiosis, mengkoloni jaringan akar tanaman, dan mendominasi lingkungan rhizosfer sehingga tidak sesuai bagi pertumbuhan penyakit tanaman (Gambar 1).

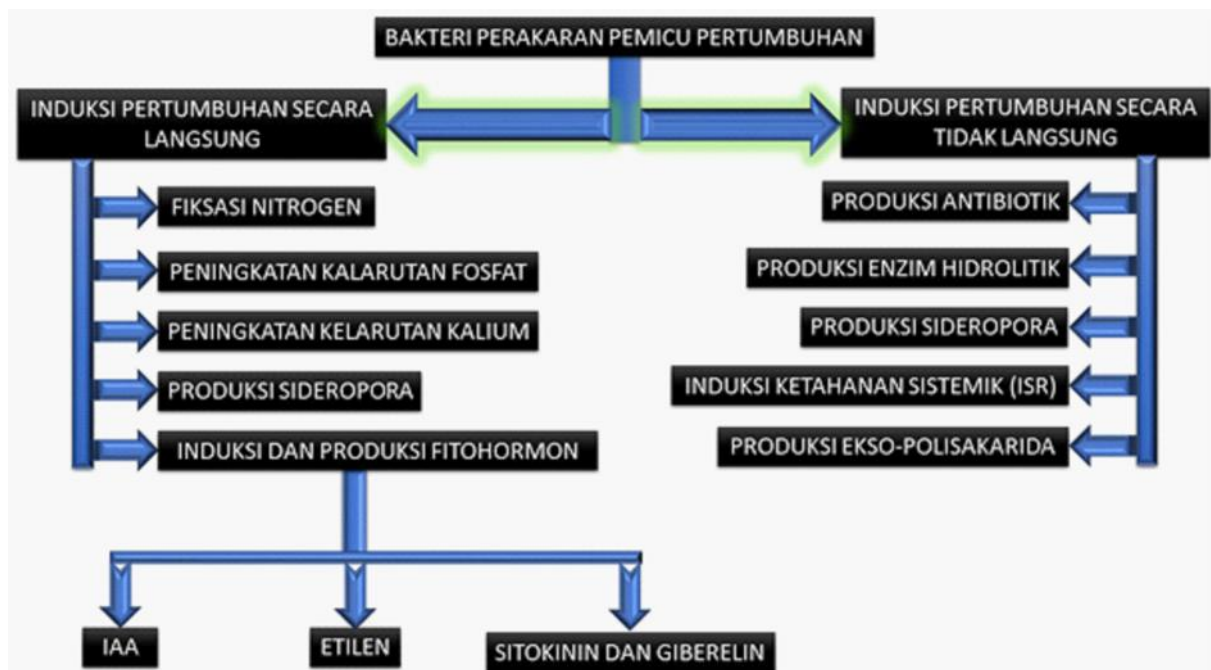
### Mekanisme Langsung

BP2T menginduksi pertumbuhan tanaman secara langsung dengan meningkatkan penyerapan dan ketersediaan unsur hara melalui fiksasi nitrogen, meningkatkan kelarutan mineral, mineralisasi senyawa organik dan produksi fitohormon (Bhardwaj *et al.* 2014). Nitrogen merupakan unsur vital yang mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman dengan keberadaan terbesar (78%) di atmosfer. Namun tidak satu pun spesies tanaman yang mampu mengikat unsur yang secara alami dalam bentuk dinitrogen untuk pertumbuhan. Nitrogen umumnya dikonversi oleh mikroba penambat

nitrogen menjadi bentuk yang dapat digunakan tanaman (nitrogen menjadi amonia) dengan bantuan kompleks enzim nitrogenase (Gaby dan Buckley 2012).

BP2T mengikat dan menyediakan nitrogen untuk tanaman melalui dua mekanisme, yaitu simbiosis dan nonsimbiosis. Mekanisme simbiosis memungkinkan BP2T memasuki jaringan akar dan membentuk nodul seperti kelompok Rhizobia (Ahemad dan Kibret 2014). Kelompok Rhizobia ialah *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium* dan *Mesorhizobium* yang umumnya bersimbiosis dengan tanaman legum dan *Frankia* dengan tanaman nonlegum berbentuk pohon dan semak (Zahran 1999; Santi *et al.* 2013). Mekanisme nonsimbiotik umumnya melalui diazotrof yang hidup bebas dan banyak ditemukan pada pertanaman padi dan lobak. Bakteri nonsimbion yang dapat memfiksasi nitrogen umumnya termasuk golongan genus *Azoarcus*, *Azotobacter*, *Acetobacter*, *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Diazotrophicus*, *Enterobacter*, *Gluconacetobacter*, *Pseudomonas* dan golongan Cyano-bakteri (*Nostoc* dan *Anabaena*) (Bhattacharyya dan Jha 2012; Hafeez *et al.* 2008; Vejan *et al.* 2016). Gen yang mengendalikan fiksasi nitrogen (*nif*) juga ditemukan pada bakteri simbiotik dan nonsimbiotik (Reed *et al.* 2011).

Seperti halnya nitrogen, fosfor juga merupakan unsur penting bagi pertumbuhan tanaman. Proses metabolisme dan reaksi fisiokimia seperti fotosintesis, transformasi electron (*energy transfer*), transduksi sinyal, biosintesis makromolekul, dan respirasi melibatkan fosfor sebagai unsur utama (Khan *et al.* 2010). Fosfor banyak terdapat di tanah dalam bentuk senyawa organik dan anorganik.



**Gambar 1.** Mekanisme BP2T dalam menginduksi pertumbuhan tanaman secara langsung dan tidak langsung (Gupta *et al.* 2015).

Namun 95–99% fosfat yang ada secara alami dalam bentuk terikat, tidak larut dan mengendap (Alori *et al.* 2017). Tanaman umumnya menyerap fosfat dalam bentuk ion  $H_2PO_4$  dan  $HPO_4^{2-}$  (Bhattacharyya dan Jha 2012). Mekanisme BP2T dalam meningkatkan ketersediaan fosfat melalui beberapa cara yaitu: (1) mengeluarkan senyawa mineral kompleks seperti anion asam organik, proton, ion hidroksil, dan  $CO_2$ ; (2) membebaskan enzim ekstraseluler (mineralisasi fosfat melalui rekasi biokimiawi); dan (3) membebaskan fosfat pada saat dekomposisi substrat (mineralisasi fosfat melalui proses biologis) (Sharma *et al.* 2013; Oteino *et al.* 2015). BP2T yang dapat meningkatkan kelarutan dan ketersediaan fosfat dalam tanah umumnya tergolong genera *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Microbacterium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Rhodococcus* dan *Serratia* dan dapat diaplikasikan secara terpisah maupun kombinasi dengan mikroba perakaran lain (Gupta *et al.* 2015; Saharan dan Nehra 2011).

BP2T juga mampu meningkatkan ketersediaan unsur kalium dengan meningkatkan kelarutan batuan yang mengandung hara K melalui produksi dan sekresi asam organik (Parmar *et al.* 2016). Bakteri yang mampu meningkatkan ketersediaan kalium umumnya berasal dari jenis *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Bacillus edaphicus*, *Bacillus mucilaginosus*, *Burkholderia*, *Paenibacillus* sp. dan *Pseudomonas* (Setiawati dan Mutmainnah 2016; Parmar *et al.* 2016). Selain kalium, BP2T juga dapat membantu penyediaan unsur Fe melalui mekanisme siderofor yang melibatkan asimilasi spesifik untuk menghasilkan senyawa Fe-kelat berbobot molekul rendah (siderofor) sehingga dapat dimanfaatkan tanaman (Radzki *et al.* 2013). Golongan bakteri yang dapat menghasilkan siderofor yaitu *Aeromonas*, *Azadirachta*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia* dan *Streptomyces* sp. (Yadav *et al.* 2017) sehingga meningkatkan kandungan klorofil pada daun (Sharma *et al.* 2013).

BP2T juga dapat memproduksi fitohormon seperti auksin, sitokinin, giberelin, dan etilen yang mempengaruhi proliferasi sel pada sistem perakaran tanaman sehingga membentuk lebih banyak akar lateral dan rambut akar untuk meningkatkan penyerapan hara dan air. Sekitar 80% BP2T yang berkoloni pada permukaan akar dapat memproduksi auksin dan menginduksi peningkatan produksi IAA endogen. Triptopan merupakan salah satu asam amino yang sering ditemukan pada eksudat akar dan diidentifikasi sebagai molekul prekursor utama dalam proses biosintesis IAA pada bakteri (Etesami *et al.* 2009). Sejumlah BP2T seperti *Azotobacter* sp., *Rhizobium* sp., *Pantoea agglomerans*, *Rhodospirillum rubrum*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis*, dan *Paenibacillus polymyxa* juga dilaporkan dapat memproduksi sitokinin dan giberelin (Glick 2012). Beberapa BP2T seperti *Acinobacter*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*,

*Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Anterobacter*, *Pseudomonas*, *Ralstonia*, *Serratia*, dan *Rhizobium* dapat menghasilkan etilen (Premachandra *et al.* 2016). Dalam tubuh tanaman, etilen banyak diperlukan dalam proses morfofisiologis seperti inisiasi akar, penghambatan pemanjangan akar, percepatan pemasakan buah, pengendalian pelayuan akibat stress lingkungan, percepatan perkecambahan biji dan aktivasi biosintesis fitohormon lain (Glick 2014).

## Mekanisme Tidak Langsung

Keberadaan mikroorganisme fitopatogen merupakan salah satu kendala dalam proses produksi tanaman. Pengendalian secara kimiawi dilaporkan berdampak negatif seperti merusak ekosistem tanah, degradasi kesuburan lahan, kerusakan lingkungan, hingga kesehatan manusia. Penggunaan BP2T dapat mengurangi penggunaan pestisida dan pupuk kimiawi dan mempertahankan kesuburan tanah serta meningkatkan kualitas lingkungan (Lugtenberg dan Kamilova 2009; Tariq *et al.* 2014). Mekanisme kerja tidak langsung BP2T dalam menekan patogen sekaligus memperbaiki kesuburan tanah melalui beberapa cara seperti produksi senyawa antibiotik, siderofor, HCN, enzyme hidrolitik, dan lain-lain.

Kemampuan memproduksi senyawa antibiotik merupakan salah satu faktor pendukung BP2T sebagai mikroba pengendali hayati OPT tanaman. Beberapa jenis senyawa antibiotik yang dihasilkan sejumlah BP2T dan berhasil diidentifikasi meliputi amphisin, 2,4-dizetylphloroglucinol (DAPG), oomycin A, phenazine, pyoluteorin, pyrrolnitrin, tensin, tropolone dan cyclic lipopeptide yang dihasilkan kelompok *Pseudomonas* (Loper dan Gross 2007) dan oligomycin A, kanosamine, zwittermicin A dan zanthobaccin yang dihasilkan oleh *Bacillus*, *Streptomyces*, dan *Stenotrophomonas* sp. yang dapat menghambat proliferasi patogen (umumnya cendawan patogen) (Compant *et al.* 2005). Mikroorganisme patogen juga dapat membangun mekanisme resistensi terhadap antibiotik tertentu karena terlalu seringnya suatu BP2T digunakan. Untuk menghindari hal ini disarankan pengendalian suatu penyakit dilakukan dengan mengaplikasikan kombinasi lebih dari satu jenis BP2T yang kompatibel sehingga dapat mensintesis lebih dari satu jenis antibiotik (de Souza *et al.* 2003). BP2T juga diketahui dapat memproduksi hidrogen sianida (HCN) yang dilaporkan efektif mengendalikan penyakit busuk akar yang disebabkan oleh *Thielaviopsis basicola* (Voisard *et al.* 1989).

Beberapa BP2T memiliki kemampuan menghasilkan enzim seperti chitinase, dehydrogenase,  $\beta$ -glucanase, lipases, phosphatases, protease, dan lain-lain (Joshi *et al.* 2012). Enzim tersebut bersifat hiperparasit pada patogen dan memiliki kemampuan mendegradasi atau menghidrolisis dinding sel patogen. Beberapa BP2T teridentifikasi menampakkan karakteristik ini dalam

menekan perkembangan beberapa patogen, di antaranya *Pseudomonas fluorescens* terhadap *Thielaviopsis basicola* (Voisard *et al.* 1989), *Pseudomonas putida* terhadap *Macrophomina phaseolina* dan *Azotobacter chroococcum* terhadap *Fusarium oxysporum* (Choure dan Dubey 2012; Attia *et al.* 2017).

Kemampuan beberapa BP2T dalam menghasilkan siderofor tidak hanya membantu pemenuhan kebutuhan unsur Fe bagi tanaman, tetapi juga mengurangi ketersediaan Fe untuk patogen. Unsur Fe umumnya kurang tersedia pada tanah ber-pH netral hingga basa. Pada kondisi ini, siderofor BP2T akan menghambat mikroba patogen dalam mengikat Fe di sekitar areal perakaran (Gupta dan Gopal 2008). Siderofor akan mengikat ion Fe dan membentuk kompleks Fe-siderofor yang sekaligus berikatan dengan reseptor pengikat ion Fe bebas (Tailor dan Joshi 2012).

Mekanisme ketahanan tanaman terhadap patogen juga dapat distimulasi dengan mekanisme induksi ketahanan sistemik. Mekanisme ini dilakukan oleh BP2T melalui sekresi beberapa senyawa seperti lipopolysaccharides (LPS), flagella, siderofor, cyclic lipopeptides, 2,4-diacetylphloroglucinol, homoserine lactone, dan senyawa volatile seperti acetoin dan 2,3-butanediol (Doornbos *et al.* 2012). Keberadaan senyawa tersebut akan menstimulasi tanaman untuk memproduksi senyawa jasmonate dan etilen yang merupakan sinyal peningkatan ketahanan tanaman terhadap patogen (Glick 2012).

Beberapa BP2T memiliki kemampuan dalam mensintesis berbagai fungsi dan bentuk polisakarida, termasuk intraseluler, struktural, dan ekstraseluler polisakarida. Produksi eksopolisakarida bertujuan membentuk biofilm yang menghubungkan BP2T dengan apendiks akar. Hubungan kolonisasi ini berguna untuk menjerap beberapa unsur hara penting termasuk fosfat sehingga dapat digunakan tanaman dan menghalangi patogen merusak akar (Qurashi dan Sabri 2012). Penelitian juga menunjukkan eksopolisakarida yang dihasilkan BP2T juga dapat mengikat ion  $NA^+$  yang berlebihan di

daerah perakaran dan menahannya pada kompleks jerapan. Mekanisme ini membantu tanaman untuk dapat bertahan pada kondisi salinitas tinggi (Paul dan Lade 2014).

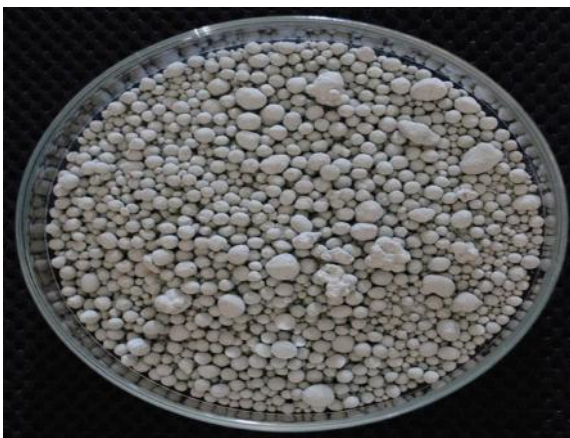
## PUPUK DAN PESTISIDA HAYATI UNTUK TANAMAN HIAS

Beberapa invensi berbentuk pupuk dan pestisida hayati yang berdaya guna dan berhasil guna, menurut bahan aktifnya adalah sebagai berikut.

### Pupuk Hayati Berbahan Aktif Kombinasi Rhizobakteria dan Cendawan

Formulasi pupuk hayati dan pembenah tanah berbentuk butiran berbahan aktif *plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR) dan cendawan yang berfungsi sebagai penambat hara makro dan mikro ramah lingkungan di tanah efektif meningkatkan mutu produksi tanaman krisan dengan peningkatan produktivitas 5,6% lebih tinggi dibanding menggunakan pupuk kimia sintetik, sekaligus menghemat penggunaan pupuk kimia sintetik 75-100%. Formulasi ini diberi nama dagang Agrihort BioNutri-V (Gambar 2).

Hasil analisis ekonomi menunjukkan aplikasi Agrihort BioNutri-V lebih menguntungkan dibandingkan dengan penggunaan pupuk dan pestisida kimia sintetik yang biasa digunakan petani. Hal tersebut ditunjukkan oleh R/C ratio yang lebih tinggi 1,61 dibandingkan dengan R/C ratio pupuk dan pestisida kimia sintetik 1,31 (Hanudin *et al.* 2017). Produk ini belum dilisensikan dan belum digunakan oleh stakeholder, namun telah didaftarkan di Kementerian Hukum dan Hak Azasi Manusia RI Melalui Direktorat Jenderal Hak Kekayaan Intelektual (Ditjen Haki) untuk memperoleh sertifikat paten dengan nomor pendaftaran P00201605271, 10 Agustus 2016 (Hanudin *et al.* 2016).



Gambar 2. Bentuk formulasi (kiri) dan kemasan Agrihort Bionutri-V (kanan).

## Biopestisida Berbahan Aktif Rhizobakteria

### Berbahan aktif bakteri *B. subtilis* dan *P. fluorescens*

Biopestisida ini diberi nama Prima BAPF (Gambar 3), efektif mengendalikan beberapa penyakit tanaman seperti penyakit akar bengkak yang disebabkan oleh *P. brassicae* pada aneka kubis (Cicu 2006), penyakit layu bakteri yang disebabkan oleh *R. solanacearum* pada tanaman aneka terung (Mawarni *et al.* 2002), *R. solani* pada tanaman krisan, penyakit layu fusarium pada tanaman krisan dan anyelir dengan tingkat penekanan 28,6–71,5% (Hanudin *et al.* 2011). Biopestisida tersebut juga dapat menekan penyakit karat putih (*Puccinia horina* Henn) 39,5% dan mempertahankan hasil panen krisan 14,6% dibandingkan dengan aplikasi fungisida kimia sintetik berbahan aktif azoksistobin 200 g/l dan difenokonazol 125 g/l (Hanudin *et al.* 2010). Prima BAPF berbentuk cair, berbahan aktif *B. subtilis* yang ditemukan pada biakan murni *B. bassiana* isolat ulat jambu batu (*C. angulata* f atau *C. subtilis* wlk) asal Segunung, Cianjur, Jawa Barat, dan *P. fluorescens* yang diisolasi dari rhizosfer tanaman krisan yang tumbuh di Segunung. Zat pembawa yang berfungsi sebagai suspensor adalah larutan monosodium (Na) glutamat 1% yang ditambah dengan 0,1 m MgSO<sub>4</sub>. 7H<sub>2</sub>O. Prima BAPF telah mendapat sertifikat paten dari Kementerian Hukum dan Hak Azasi Manusia RI, dengan nomor ID. 0 022 384, 12 Januari 2009 (Hanudin *et al.* 2009). Produk ini belum dilisensikan, namun telah diuji efikasinya terhadap beberapa patogen di berbagai tempat dengan hasil yang memuaskan.

### Berbahan aktif bakteri *P. fluorescens*

Biopestisida berbentuk cair ini berbahan aktif bakteri *Pseudomonas* kelompok *fluorescens* dengan nomor isolat



**Gambar 3.** Prima-BAPF, biopestisida produksi Badan Litbang Pertanian dengan bahan aktif *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas fluorescens*.

MR 96 dan diberi nama Bio-PF (Gambar 4). Produk ini telah dikembangkan pada tanaman hortikultura dalam beberapa tahun terakhir. Hasil penelitian menunjukkan biopestisida ini efektif mengendalikan patogen tular tanah seperti layu bakteri, layu fusarium, penyakit rebah kecambah, dan busuk buah pada tanaman hortikultura. Pada tanaman cabai, aplikasi Bio-PF dapat menekan penyakit busuk buah yang disebabkan oleh *Colletotrichum* sp. 52,8% dan mempertahankan produksi 30,6% dibanding menggunakan pupuk dan pestisida kimia sintetik yang biasa digunakan petani (Nuryani *et al.* 2018). Produk ini belum memperoleh sertifikat paten dan belum dilisensikan, namun telah diuji efikasinya terhadap beberapa patogen di berbagai tempat dengan hasil yang memuaskan.

### Pupuk dan Pestisida Hayati Berbahan Aktif Cendawan dan Rhizobakteria

Produk ini diberi nama Gliocompost (Gambar 5). Gliocompost sebenarnya merupakan biofungisida yang juga dapat berperan sebagai pupuk hayati. Sebagai biofungisida, Gliocompost memiliki bahan aktif *Gliocladium* sp. yang sangat efektif mengendalikan berbagai patogen tanaman seperti *Fusarium oxysporum* f.sp *dianthy* pada anyelir, *F. oxysporum* f.sp *cubence* pada pisang, dan penyakit busuk buah pada cabai. Sebagai pupuk hayati, Gliocompost diperkaya dengan mikroba penambat hara N, P, dan K seperti *Azotobacter* sp., *P. fluorescens*, dan *B. subtilis*.

Gliocompost berbentuk tepung berwarna cokelat kehitam-hitaman. Mikroba yang terkandung dalam Gliocompost terdiri atas *Gliocladium* sp., *P. fluorescens*, dan *B. subtilis* yang diisolasi dan diseleksi dari rhizosfer tanaman cabai asal Sukabumi, Jawa Barat. Biopestisida ini efektif mengendalikan patogen tular tanah yang disebabkan oleh *Fusarium* spp., *Pythium* sp. (rebah kecambah), *Ganoderma boninense*, dan layu fusarium pada tanaman krisan. Aplikasi Gliocompost dapat



**Gambar 4.** Bio-PF, biopestisida cair berbahan aktif *Pseudomonas fluorescens*.



**Gambar 5.** Gliocompost, biopestisida berbentuk tepung dengan bahan aktif *Gliocladium* spp.

menekan patogen 30% dan mempertahankan hasil panen krisan 1,85% dibanding pupuk dan pestisida, serta mengurangi penggunaan pupuk dan pestisida sintetis 50%. Gliocompost telah mendapatkan paten dari Kementerian Hukum dan Hak Azasi Manusia RI dengan nomor sertifikat IDP000034666, 1 Oktober 2013 (Nuryani *et al.* 2013). Gliocompost telah dilisensi oleh PT Agro Indo Mandiri (AIM) Bogor pada 24 Desember 2014 dan telah digunakan secara meluas di Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, DKI Jakarta, Bali, Sumatera Selatan, dan Lampung.

### KEUNGGULAN DAN KELEMAHAN PESTISIDA DAN PUPUK BERBAHAN AKTIF MIKROBA

Penggunaan pupuk dan pestisida hayati untuk meningkatkan produktivitas tanaman mempunyai beberapa keunggulan, antara lain tidak beracun sehingga lebih aman bagi lingkungan, pekerja maupun petani pengguna produk dibandingkan dengan pestisida sintetis. Produk akhir pertanian dengan kandungan bahan aktif kimia sintetis yang rendah juga meningkatkan kualitas hidup konsumen melalui peningkatan kesehatan. Pestisida dan pupuk hayati juga mempunyai relung ekologi tersendiri yang spesifik, sehingga tidak berdampak negatif terhadap organisme bukan sasaran, termasuk musuh alami OPT atau organisme berguna lainnya, dan mencegah ledakan OPT sekunder (Bale *et al.* 2008). Aplikasi mikroba pengendali hayati lebih mudah, murah, dan efisien dibandingkan dengan pemupukan kimia dan pestisida sintetis (Hanudin *et al.* 2017). Dengan demikian, pengendalian hayati mampu mengurangi ketergantungan proses produksi tanaman terhadap pupuk, pestisida, dan hormon kimiawi.

Penggunaan mikroba terbukti mampu meningkatkan kualitas lahan dan daya dukung lingkungan dan menguntungkan bagi sistem pertanian berkelanjutan. Di sisi lain, penggunaan biopestisida berbahan aktif mikroba juga mempunyai beberapa keterbatasan, antara lain adanya mikroba yang dapat berubah fungsi menjadi patogen tanaman. Hal ini dapat ditemukan pada proses pembuatan pupuk dan pestisida hayati berbahan aktif mikroorganisme lokal (MOL) oleh petani. Dalam pembuatan produk tersebut mereka menggunakan bahan aktif MOL, bukan mikroba yang diseleksi dan diuji kompatibilitas serta efektivitasnya terhadap sesama mikroba bahan aktif maupun tanaman. Namun, petani menggunakan limbah sayuran atau buah yang tidak layak jual dan langsung dijadikan sebagai bahan aktif MOL. Pada material tersebut (limbah sayuran) kemungkinan besar terdapat mikroba patogenik dan nonpatogenik. Kedua mikroba tersebut dicampurkan dalam suatu tempat fermentasi. Dalam hal ini, mikroba nonpatogenik yang diharapkan dapat digunakan menjadi bahan aktif pupuk dan pestisida hayati tidak kompatibel (kalah bersaing) dengan mikroba patogenik, sehingga pupuk dan pestisida hayati yang dihasilkan adalah berbahan aktif mikroba patogenik yang dapat menimbulkan penyakit bagi tanaman.

Penapisan dan evaluasi terhadap mikroba pengendali hayati perlu dilakukan untuk menjamin kestabilan sifatnya sebagai antagonis. Reaksi pestisida hayati terhadap target OPT juga lebih lambat dibandingkan dengan pestisida kimia sintetis, apalagi jika langsung diaplikasikan pada tanaman yang tertular penyakit dengan tingkat keparahan tinggi. Oleh karena itu, pengendalian hayati lebih efektif digunakan sebagai pencegahan dengan aplikasi sedini mungkin (Ahmad *et al.* 2008; Garima dan Nath 2015).

Mikroba pengendali hayati juga mudah rusak dan memiliki tingkat penurunan efektivitas bila digunakan lewat masa kadaluarsa. Pupuk dan pestisida hayati formula cair umumnya mempunyai viabilitas dan efektivitas lebih pendek dibandingkan dengan produk yang sama dalam bentuk padat (tepung dan butiran). Masa aktif biopestisida cair dipersyaratkan minimal dapat bertahan enam bulan untuk menjamin keefektifan bahan aktif terhadap mikroorganisme patogen target (Pesticide Board of Malaysia 2016). Sementara masa aktif biopestisida formula padat dapat bertahan hingga dua tahun (Djatnika 2018, komunikasi pribadi). Mikroba pengendali hayati dari kelompok *Bacillus* mempunyai kerentanan jika terpapar sinar matahari.

### KESIMPULAN

Mikroba pemacu pertumbuhan tanaman umumnya berasal dari jenis bakteri dan cendawan (seperti *Azotobacter* sp., *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, dan *Trichoderma* sp.) berpotensi dan dapat dijadikan sebagai



bahan aktif pupuk, dan pestisida hayati. Badan Litbang Pertanian telah menghasilkan beberapa formula pupuk, pestisida hayati dan pembenah tanah (Agrihort Bionutri-V), pupuk dan pestisida hayati (Gliocompost), serta biopestisida (Prima BAPF dan Bio PF).

Agrihort Bionutri-V berbahan aktif *Azotobacter* sp., *B. subtilis*, dan *P. fluorescens*. Aplikasi Agrihort Bionutri-V dapat mempertahankan mutu produksi tanaman krisan dengan peningkatan produktivitas 5,6% lebih tinggi dibanding menggunakan pupuk kimia sintetis, sekaligus menghemat penggunaan pupuk kimia sintetis 75–100%. R/C ratio penggunaan Agrihort Bionutri dan pupuk - pestisida kimia sintetis masing-masing adalah 1,61 dan 1,31.

Gliocompost berbahan aktif *B. subtilis*, *P. fluorescens*, dan *Trichoderma* sp. Produk tersebut efektif mengendalikan beberapa penyakit penting dan dapat mempertahankan produksi tanaman hias. Aplikasi Gliocompost dapat menekan patogen 30% dan mempertahankan hasil panen krisan 1,85% dibanding pupuk dan pestisida, serta mengurangi penggunaan pupuk dan pestisida sintetis 50%.

Prima BAPF biopestisida berbentuk cair, berbahan aktif *B. subtilis* dan *P. fluorescens* yang diisolasi dari Zat pembawa yang berfungsi sebagai suspensor adalah larutan monosodium (Na) glutamat 1% yang ditambah dengan 0,1 m MgSO<sub>4</sub>. 7H<sub>2</sub>O. Biopestisida tersebut juga dapat menekan penyakit karat putih (*Puccinia horina* Henn) 39,5% dan mempertahankan hasil panen krisan 14,6% dibandingkan dengan aplikasi fungisida kimia sintetis berbahan aktif azoksistirobin 200 g/l dan difenokonazol 125 g/l.

Bio PF biopestisida berbentuk cair berbahan aktif bakteri *Pseudomonas* kelompok *fluorescens* dengan nomor isolat MR 96. Pada tanaman cabai, aplikasi Bio-PF dapat menekan penyakit busuk buah yang disebabkan oleh *Colletotrichum* sp. 52,8% dan mempertahankan produksi 30,6% dibanding menggunakan pupuk dan pestisida kimia sintetis yang biasa digunakan petani.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahemad, M., and M. Kibret. 2014. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University - Science*, 26(1), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2013.05.001>
- Ahmad, F., Ahmad, I., and M.S. Khan. 2008. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiological Research*, 163(2), 173–181. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2006.04.001>
- Aktar, W., D. Sengupta, and A. Chowdhury. 2009. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, 2(1), 1–12. <https://doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7>
- Al-Zaidi, A.A., E.A. Elhag, S.H. Al-Otaibi, and M.B. Baig. 2011. Negative effects of pesticides on the environment and the farmers awareness in Saudi Arabia: A case study. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 21(3): 605–611.
- Almario, J., D. Muller, G. Défago, and Y. Moëne-Loccoz. 2014. Rhizosphere ecology and phytoprotection in soils naturally suppressive to thielaviopsis black root rot of tobacco. *Environmental Microbiology*, 16(7): 1949–1960. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12459>
- Alori, E. T., B.R. Glick, and O.O. Babalola. 2017. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Frontiers In Microbiology*, 8, 971. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>
- Ashwini, N., and S. Srividya. 2014. Potentiality of *Bacillus Subtilis* as biocontrol agent for management of anthracnose disease of chilli caused by *Colletotrichum gloeosporioides* Ogc1. 3 *Biotech*, 4(2), 127–136. <https://doi.org/10.1007/s13205-013-0134-4>
- Attia, M., N.M. Awad, A.S. Turky, and H. A. Hamed. 2017. Induction of defense responses in soybean plants against *Macrophomina phaseolina* by some strains of plant growth promoting rhizobacteria. *Journal of Applied Sciences Research*, 7(11): 1507–1517.
- Bale, J. S., J.C. Van Lenteren, and F. Bigler. 2008. Biological control and sustainable food production. *Philosophical Transactions of The Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492): 761–776. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2182>
- Bautista-Rosales, P. U., M. Calderon-Santoyo, R. Servín-Villegas, N.A. Ochoa-Álvarez, R. Vázquez-Juárez, and J. A. Ragazzo-Sánchez. 2014. Biocontrol action mechanisms of *Cryptococcus laurentii* on *Colletotrichum gloeosporioides* of mango. *Crop Protection*, 65: 194–201. <https://doi.org/10.1016/j.cpro.2014.07.019>
- Bhardwaj, D., M.W. Ansari, R.K. Sahoo, and N. Tuteja. 2014. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial Cell Factories*, 13: 66. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-66>
- Bhattacharjee, R., and U. Dey. 2014. An overview of fungal and bacterial biopesticides to control plant pathogens/diseases. *African Journal of Microbiology Research*, 8(17), 1749–1762. <https://doi.org/10.5897/ajmr2013.6356>
- Bhattacharyya, P. N., and D. K. Jha. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(4): 1327–1350. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0979-9>
- Candra Putra dan Giyanto. 2016. Kompatibilitas *Bacillus* spp. dan Aktinomiset Sebagai Agens Hayati *Xanthomonas Oryzae* pv. *oryzae* dan Pemacu Pertumbuhan Padi. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 10(5): 160–169. DOI: 10.14692/j?.10.5.160
- Carvalho, D. D. C., M. Lobo Júnior, I. Martins, P.W. Inglis, and A.C.M. Mello. 2014. Biological control of *Fusarium oxysporum* f.sp. *phaseoli* by *Trichoderma harzianum* and its use for common bean seed treatment. *Tropical Plant Pathology*, 39(5): 384–391. <https://doi.org/10.1590/s1982-56762014000500005>
- Chen, Y., F. Yan, Y. Chai, H. Liu, R. Kolter, R. Losick, and J. Guo. 2013. Biocontrol of tomato wilt disease by *Bacillus subtilis* isolates from natural environments depends on conserved genes mediating biofilm formation. *Environmental Microbiology*, 15(3): 848–864. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2929.2012.02860.x>
- Choure, K., and R.C. Dubey. 2012. Development of plant growth promoting microbial consortium based on interaction studies to reduce wilt incidence in *Cajanus cajan* L. var. Manak. *World Journal of Agricultural Sciences*, 8(1): 118–128. <https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2012.12.11.7>
- Cicu. 2006. Penyakit akar gada (*Plasmiodiophora brassicae* Wor.) pada kubis-kubisan dan upaya pengendaliannya. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 25(25): 16–21.
- Colyer, P. D., and M.S. Mount. 1984. Bacterization of potatoes with *Pseudomonas putida* and its influence on postharvest soft rot disease. *Plant Disease*, 68: 703–706.

- Compant, S., B. Reiter, J. Nowak, A. Sessitsch, C. Clément, and E.A. Barka. 2005. Endophytic colonization of *Vitis vinifera* L. by plant growth promoting bacterium *Burkholderia* sp. strain PJSN. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(4): 1685–1693. <https://doi.org/10.1128/aem.71.4.1685>
- de Souza, J. T., D.M. Weller, and J.M. Raaijmakers. 2003. Frequency, diversity, and activity of 2,4-diacetylphloroglucinol producing *Fluorescent pseudomonas* spp. in Dutch take-all decline soils. *Phytopathology*, 93(1): 54–63. <https://doi.org/10.1094/phyto.2003.93.1.54>
- Deshwal, V. K. 2012. *Pseudomonas aeruginosa* as biological control agent against plant pathogenic fungus *Sclerotinia sclerotiorum*. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 2(1): 14–17.
- Dominic, M., and M. Marthamakobe. 2017. Biological control of cashew powdery mildew using *Ampelomyces quisqualis* Ces. *Journal of Biological Control*, 30(4): 226. <https://doi.org/10.18311/jbc/2016/15591>
- Doornbos, R. F., L.C. Van Loon, and P.A.H.M. Bakker. 2012. Impact of root exudates and plant defense signaling on bacterial communities in the rhizosphere. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1): 227–243. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0028-y>
- Ekundayo, E.A., F.O. Ekundayo, and I.A. Osinowo. 2015. Antifungal activities of *Trichoderma viride* and two fungicides in controlling diseases caused by *Sclerotium rolfsii* on tomato plants. *Advances in Applied Science Research*, 6(3): 12–19.
- El-Hasan, A., F. Walker, J. Schöne, and H. Buchenauer. 2007. Antagonistic effect of 6-pentyl-alpha-pyrone produced by *Trichoderma harzianum* toward *Fusarium moniliforme*. *Journal Of Plant Diseases and Protection*, 114(2): 62–68. <https://doi.org/10.1007/bf03356205>
- El-Komy, M. H., A.A. Saleh, A. Eranthodi, and Y.Y. Molan. 2015. Characterization of novel *Trichoderma asperellum* isolates to select effective biocontrol agents against tomato fusarium wilt. *Plant Pathology Journal*, 31(1): 50–60. <https://doi.org/10.5423/ppj.oa.09.2014.0087>
- Etesami, H., H.A. Alikhani, and A.A. Akbari. 2009. Evaluation of plant growth hormones production (IAA) ability by iranian soils rhizobial strains and effects of superior strains application on wheat growth indexes. *World Applied Sciences Journal*, 6(11): 1576–1584. Retrieved from [http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnq=search&q=intitle:evaluation+ of+ plant+ growth+hormones+production+\(+iaa+\)+ability+by+iranian+soils+rhizobial+strains+and+effects+of+superior+strains+application+on+wheat+growth+ indexes#0](http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnq=search&q=intitle:evaluation+ of+ plant+ growth+hormones+production+(+iaa+)+ability+by+iranian+soils+rhizobial+strains+and+effects+of+superior+strains+application+on+wheat+growth+ indexes#0)
- Fang, Y., and R.P. Ramasamy. 2015. Current And Prospective Methods For Plant Disease Detection. *Biosensors*, 5(3): 537–561. <https://doi.org/10.3390/bios5030537>
- Gaby, J.C., and D.H. Buckley. 2012. A comprehensive evaluation of PCR primers to amplify the nifh gene of nitrogenase. *Plos ONE*, 7(7): E42149. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042149>
- Garima, G., and J.P. Nath. 2015. Screening of potential PGPR candidates as future biofertilizers - a strategic approach from lab to field. *Research Journal of Biotechnology*, 10(11): 48–62.
- Gava, C.A.T., and J.M. Pinto. 2016. Biocontrol of melon wilt caused by *Fusarium oxysporum* Schlecht f.sp. *melonis* using seed treatment with *Trichoderma* spp. and liquid compost. *Biological Control*, 97, 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.02.010>
- Glick, B. R. 2012. Plant growth promoting bacteria: Mechanisms and applications. *Scientifica*, 963401. <https://doi.org/10.6064/2012/963401>
- Glick, B.R. 2014. Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. *Microbiological Research*, 169(1), 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.009>
- Gordon, T. C., and W.F. Pfender. 2012. Effects of the mycoparasite *Sphaerellopsis filum* on overwintering survival of stem rust in perennial ryegrass. *Plant Disease*, 96(10): 1471–1481. <https://doi.org/10.1094/pdis-10-11-0837-re>
- Gupta, A., and M. Gopal. 2008. Siderophore production by plant growth promoting rhizobacteria. *Indian Journal of Agricultural Research*, 42(2): 153–156.
- Gupta, G., S.S. Parihar, N.K. Ahirwar, S.K. Snehi, and V. Singh. 2015. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Current and future prospects for development of sustainable agriculture. *Journal of Microbial & Biochemical Technology*, 7(2): 96–102. <https://doi.org/10.4172/1948-5948.1000188>
- Gupta, R., J. Vakhlu, A. Agarwal, and P.D. Nilawe. 2014. draft genome sequence of plant growth promoting *Bacillus amyloliquefaciens* strain W2 associated with *Crocus sativus* (Saffron). *Genome Announcements*, 2(5): E00862-14. <https://doi.org/10.1128/genomea.00862-14>
- Hafeez, F. Y., S. Yasmin, D. Ariani, M. Rahman, Y. Zafar, and K.A. Malik. 2008. agronomy for sustainable development. *Agronomy for Sustainable Development*, 26: 143–150. <https://doi.org/10.1051/agro:2006007>
- Hang, N. T. T., S.O. Oh, G.H. Kim, J.S. Hur, and Y.J. Koh. 2005. *Bacillus subtilis* S1-0210 as a biocontrol agent against *Botrytis cinerea* in strawberries. *Plant Pathology Journal*, 21(1): 59–63.
- Hanudin, Budiarto, K., and B. Marwoto. 2017. Application of PGPR and antagonist fungi-based biofungicide for white rust disease control and its economic analysis in chrysanthemum production. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 39(3): 266–278. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v39i3.1326>
- Hanudin, Muchtaromi, B. Marwoto, R. Soehendy, W. Nuryani, I. Djatnika, E.S. Yusuf, K. Budiarto, dan I.B. Rahardjo. 2016. Komposisi dan proses pembuatan pupuk hayati dan pembenah tanah berbahan aktif *plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR) dan cendawan menguntungkan. Pendaftaran Paten No. P00201605271, 10 Agustus 2016. Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia, Jakarta, 13 hlm.
- Hanudin, W. Nuryani, W., E.S. Yusuf, dan B. Marwoto. 2011. Biopestisida organik berbahan aktif *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas fluorescens* untuk mengendalikan penyakit layu fusarium pada anyelir. *Jurnal Hortikultura*, 21(212): 152–163. <https://doi.org/10.21082/jhort.v21n2.2011>
- Hanudin, W. Nuryani, E. Silvia, I. Djatnika, dan B. Marwoto. 2010. Formulasi Biopestisida Berbahan Aktif *Bacillus subtilis*, *Corynebacterium* sp. non patogenik, dan *Pseudomonas fluorescens* untuk mengendalikan penyakit karat putih pada Krisan. *Jurnal Hortikultura*, 20(3): 247–261.
- Hanudin, B. Marwoto, B. Tjahjono, M. Machmud, dan K. Mulya. 2009. Komposisi biopestisida cair berbahan aktif *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas fluorescens* untuk pengendalian penyakit tanaman hias dan tanaman lainnya. Sertifikat paten no. I. D. 0 022 384. Departemen Hukum dan Hak Asasi Manusia, Dirjen Haki, Jakarta. 19 hlm.
- Howell, C.R., J.E. Devay, R.H. Garber, and W.E. Batson. 1997. Field control of cotton seedling diseases with *Trichoderma virens* in combination with fungicide seed treatments. *The Journal of Cotton Science*, 20(1): 15–20.
- Ibrahim, Y. E., A.A. Saleh, M.H. El Komy, and M.A. Al-Saleh. 2016. *Bacillus subtilis* QST713, copper hydroxide, and their tank mixes for control of bacterial citrus cancer in Saudi Arabia. *Journal of Citrus Pathology*, iocv\_journalcitruspathology\_30994.
- Islam, M. T., Y. Hashidoko, A. Deora, T. Ito, and S. Tahara. 2005. Suppression of damping-off disease in host plants by the rhizoplane bacterium *Lysobacter* sp. strain SB-K88 is linked to plant colonization and antibiosis against soilborne *Peronosporomycetes*. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(7): 3786–3796. <https://doi.org/10.1128/aem.71.7.3786-3796>. 2005.

- Joshi, M., R. Srivastava, A.K. Sharma, and A. Prakash. 2012. Screening of resistant varieties and antagonistic *Fusarium oxysporum* for biocontrol of fusarium wilt of chilli. *Journal Of Plant Pathology & Microbiology*, 3(5): 134. <https://doi.org/10.4172/2157-7471.1000134>
- Kefialew, Y., and A. Ayalew. 2008. Postharvest biological control of anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) on mango (*Mangifera indica*). *Postharvest Biology and Technology*, 50(1): 8–11. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.03.007>
- Keppipolitik. 2010. Dampak penggunaan DDT (Dichloro-diphenyl-trichloroethan) sebagai pestisida. <http://mantrihewan.blogspot.com/2010/05/dampak-penggunaan-ddt-dichloro-diphenyl.html>
- Khan, J., J.J. Ooka, S.A. Miller, L.V. Madden, and H.A.J. Hoitink. 2004. Systemic resistance induced by *Trichoderma hamatum* 382 in cucumber against *Phytophthora* crown rot and leaf blight. *Plant Disease*, 88(3): 280–286. <https://doi.org/10.1094/pdis.2004.88.3.280>
- Khan, M. S., A. Zaidi, M. Ahemad, M. Oves, and P.A. Wani. 2010. Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi - Current perspective. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 56(1): 73–98. <https://doi.org/10.1080/03650340902806469>
- Kim, S. H., J. Cheng, S.H. Yang, J.W. Suh, E.S. Song, L.W. Kang, and J.G. Kim. 2015. Screening the antibacterial activities of streptomycetes extracts against phytopathogens *Xanthomonas oryzae* pathovar *oryzae*, *Xanthomonas campestris* pathovar *vesicatoria*, and *Pectobacterium carotovorum* pathovar *carotovorum*. *Journal of Applied Biological Chemistry*, 58(3), 253–258. <https://doi.org/10.3839/jabc.2015.040>
- Korsten, L., E.E. De Villiers, F.C. Wehner, and J.M. Kotzé. 1997). Field sprays of *Bacillus subtilis* and fungicides for control of preharvest fruit diseases of avocado in South Africa. *Plant Disease*, 81(5): 455–459. <https://doi.org/10.1094/pdis.1997.81.5.455>
- Loper, J.E., and H. Gross. 2007. Genomic analysis of antifungal metabolite production by *Pseudomonas fluorescens* Pf-5. *European Journal of Plant Pathology*, 119: 265–278. <https://doi.org/10.1005/s10658-007-9179-8>
- Lozano, G.L., J. Holt, J. Ravel, D.A. Rasko, M.G. Thomas, and J. Handelsman. 2016. Draft genome sequence of biocontrol agent *Bacillus cereus* UW85. *Genome Announcements*, 4(5): E00910-16. <https://doi.org/10.1128/genomea.00910-16>
- Lugtenberg, B., and F. Kamilova. 2009. Plant growth promoting rhizobacteria. *Annual Review Of Microbiology*, 63(1): 541–556. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918>
- Mabood F, X. Zhou, and D.L. Smith. 2014. Microbial signaling and plant growth promotion. *Canadian Journal of Plant Science*, 2014, 94(6): 1051–1063, <https://doi.org/10.4141/cjps2013-148>.
- Mawarni, T., L. Soesanto, and D.S. Utami. 2002. Tanggapan beberapa varietas terung terhadap penyakit layu bakteri dan pengendalian hayatinya dengan *Pseudomonas fluorescens*. *Jurnal Pembangunan Pedesaan*, 2(2): 1–8.
- Mbarga, J.B., G.M. Ten Hoopen, J. Kuate, A. Adiobo, M.E.L. Ngonkeu, Z. Ambang, and B.A.D. Begoude. 2012. *Trichoderma asperellum*: A potential biocontrol agent for *Pythium myriotylum*, causal agent of cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) root rot disease in Cameroon. *Crop Protection*, 36, 18–22. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.02.004>
- Mishra, B. K., R.K. Mishra, R.C. Mishra, A.K. Tiwari, R.Y. Singh, and A. Dikshit. 2011. Biocontrol efficacy of *Trichoderma viride* isolates against fungal plant pathogens causing disease in *Vigna radiata* L. *Archives of Applied Science Research*, 3(2): 361–369.
- Naglot, A., S. Goswami, I. Rahman, D.D. Shrimali, K.K. Yadav, V.K. Gupta, and V. Veer. 2015. Antagonistic potential of native *Trichoderma viride* strain against potent tea fungal pathogens in North East India. *Plant Pathology Journal*, 31(3): 278–289. <https://doi.org/10.5423/ppj.oa.01.2015.0004>
- Nosir, W. S. 2016. *Trichoderma harzianum* as a growth promoter and biocontrol agent against *Fusarium oxysporum* f.sp. tuberosi. *Advances in Crop Science and Technology*, 4, 217. <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000217>
- Nuryani, W., I. Djatnika, E.S. Yusuf, Hanudin, dan Muhidin. 2013. Formulasi kompos berbahan aktif *Gliocladium* sp. dan proses pembuatannya. Sertifikat Paten No. IDP000034666, 1 Oktober 2013. Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia.
- Nuryani W, Hanudin, I.P. Wardana, and K. Budiarto. 2018. Evaluation of Several Formulated Biofertilizers To Control Fruit Rot And Improve Yield On Chili Pepper. *International Journal of Agriculture, Environment and Bioresearch*. 3(5): 17–32.
- Oteino, N., R.D. Lally, S. Kiwanuka, A. Lloyd, D. Ryan, K.J. Germaine, and D.N. Dowling. 2015. Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates. *Frontiers in Microbiology*, 6, 745. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00745>
- Parmar, K.B., B.P. Mehta, and M.D. Kunt. 2016. Isolation, characterization and identification of potassium solubilizing bacteria from rhizosphere soil of maize (*Zea mays*), 5(5): 3030–3037.
- Paul, D., and H. Lade. 2014. Plant growth promoting rhizobacteria to improve crop growth in saline soils: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(4): 737–752. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0233-6>.
- Pesticide Board Malaysia. 2016. Guidelines For Biopesticide Registration. Pesticides Board Department Of Agriculture Jalan Sultan Salahuddin 50632 Kuala Lumpur Malaysia. 18 p. [http://www.doa.gov.my/index/resources/aktiviti\\_sumber\\_sumber\\_awam/maklumat\\_racun\\_perosak/pendaftaran\\_rmp/garis\\_panduan\\_biopesticide\\_gp7\\_2016.pdf](http://www.doa.gov.my/index/resources/aktiviti_sumber_sumber_awam/maklumat_racun_perosak/pendaftaran_rmp/garis_panduan_biopesticide_gp7_2016.pdf). [12 Maret 2018].
- Pimentel, D. 2005. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the united states. *Environment, Development and Sustainability*, 7: 229–252. <https://doi.org/10.1007/s10666-005-7314-2>
- Premachandra, D., L. Hudek and L. Brau. 2016. Bacterial modes of action for enhancing of plant growth. *Journal of Biotechnology & Biomaterials*, 6: 3. <https://doi.org/10.4172/2155-952x.1000236>
- Pusey, P. L., V.O. Stockwell, C.L. Reardon, T.H.M. Smits, and B. Duffy. 2011. Antibiosis activity of *Pantoea agglomerans* biocontrol strain E325 against *Erwinia amylovora* on apple flower stigmas. *Phytopathology*, 101(10): 1234–1241. <https://doi.org/10.1094/phyto-09-10-0253>
- Putri, W. K., S. Khotimah, dan R. Linda. 2015. Jamur rizosfer sebagai agen antagonis pengendali penyakit lapuk fusarium pada batang tanaman karet (*Hevea brasiliensis* Muellarg). *Protobiont*, 4(3): 14–18.
- Qurashi, A. W., and A.N. Sabri. 2012. Bacterial exopolysaccharide and biofilm formation stimulate chickpea growth and soil aggregation under salt stress. *Brazilian Journal of Microbiology*, 43(3): 183–1191. <https://doi.org/10.1590/s1517-83822012000300046>
- Radzki, W., F.J. Gutierrez Mañero, E. Algar, J.A. Lucas García, A. García-Villaraco, and S.B. Ramos. 2013. Bacterial siderophores efficiently provide iron to iron-starved tomato plants in hydroponics culture. *Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology*, 104(3): 321–330. <https://doi.org/10.1007/s10482-013-9954-9>
- Ramli, N. R., M.S. Mohamed, I.A. Seman, M.A. Zairun, and M. Mohamad. 2016. The potential of endophytic bacteria as a biological control agent for Ganoderma disease in oil palm. *Sains Malaysiana*, 45(3): 401–409.
- Reed, S. C., C.C. Cleveland, and A.R. Townsend. 2011. Functional ecology of free-living nitrogen fixation: A contemporary perspective. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 42(1): 489–512. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102710-145034>

- Rose, S., M. Parker, and Z.K. Punja. 2003. Efficacy of biological and chemical treatments for control of *Fusarium* root and stem rot on greenhouse cucumber. *Plant Disease*, 87(12): 1462–1470. <https://doi.org/10.1094/pdis.2003.87.12.1462>
- Sabur, S. A., and A.R. Molla. 2001. Pesticide use, its impact on crop production and evaluation of IPM technologies in Bangladesh. *Bangladesh Journal of Agricultural Economics*, 24(1–2): 21–38.
- Saharan, B.S., and V. Nehra. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria/: A critical review. *Life Science And Medicine Research*, Ismr-21, 1–30.
- Saikia, R., R. Kumar, D.K. Arora, D.K. Gogoi, and P. Azad. 2006. *Pseudomonas aeruginosa* inducing rice resistance against *Rhizoctonia solani*: Production of salicylic acid and peroxidases. *Folia Microbiologica*, 51(5): 375–380. <https://doi.org/10.1007/bf02931579>
- Sangeetha, G., S. Usharani, and A. Muthukumar. 2009. Biocontrol with *Trichoderma* species for the management of postharvest crown rot of banana. *Phytopathologia Mediterranea*, 48(2): 214–225.
- Santi, C., D. Bogusz, and C. Franche. 2013. Biological nitrogen fixation in non-legume plants. *Annals Of Botany*, 111(5): 743–767. <https://doi.org/10.1093/aob/mct048>
- Santosa, D.A. 2009. Kajian resiko lingkungan untuk penggunaan agen hayati di bidang pertanian. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*, 11(1): 14–20.
- Saraswati, R., dan Sumarno. 2008. Pemanfaatan mikroba penyubur tanah sebagai komponen teknologi pertanian. *Iptek Tanaman Pangan*, 3(1): 41–58. Retrieved from <http://ejournal.litbang.go.id/index.php/ippan/article/view/2649/2288>
- Setiawati, T.C., and L. Mutmainnah. 2016. Solubilization of potassium containing mineral by microorganisms from sugarcane rhizosphere. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9: 108–117. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.134>
- Sharma, S. B., R.Z. Sayyed, M.H. Trivedi, and T.A. Gobi. 2013. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *Springer Plus*, 2: 587. Retrieved from <http://www.springerplus.com/content/2/1/587>
- Sundaramoorthy, S., and P. Balabaskar. 2013. Biocontrol efficacy of *Trichoderma* spp. against wilt of tomato caused by *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 1(3): 36–40. <https://doi.org/10.7324/jabb.2013.1306>.
- Taylor, A. J., and B.H. Joshi. 2012. Characterization and optimization of siderophore production from *Pseudomonas fluorescens* strain isolated from sugarcane rhizosphere. *Journal of Environmental Research and Development*, 6(3): 688–694.
- Tariq, M., S. Hameed, T. Yasmeen, M. Zahid, and M. Zafar. 2014. Molecular characterization and identification of plant growth promoting endophytic bacteria isolated from the root nodules of pea (*Pisum sativum* L.). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30(2): 719–725. <https://doi.org/10.1007/s11274-013-1488-9>
- Thanos, C. AA., D. Tomuka, dan NTS Malo. 2016. Livor mortis pada keracunan insektisida golongan organofosfat di kelinci. *Jurnal e-clinic (ecl)*, 4(1): 10–20.
- Vejan, P., R. Abdullah, T. Khadiran, S. Ismail, and A.N. Boyce. 2016. Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability - A review. *Molecules*, 21(5): 1–17. <https://doi.org/10.3390/molecules21050573>
- Vicedo, B., R. Penalver, M.J. Asins, and M.M. Lopez. 1993. Biological control of *Agrobacterium tumefaciens*, colonization, and PAGK84 transfer with *agrobacterium radiobacter* K84 and the tra-mutant strain K1026. *Applied and Environmental Microbiology*, 59(1): 309–315.
- Voisard, C., C. Keel, D. Haas, and G. Defago. 1989. Cyanide production by *Pseudomonas fluorescens* helps suppress black root rot of tobacco under gnotobiotic conditions. *The EMBO Journal*, 8(2): 351–358. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.1997.tb00394.x>
- Wang, Y., Z. Xu, P. Zhu, Y. Liu, Z. Zhang, Y. Mastuda, and L. Xu. 2010. Postharvest biological control of melon pathogens using *Bacillus subtilis* EXWB1. *Journal of Plant Pathology*, 92(3): 645–652. <https://doi.org/10.4454/jpp.v92i3.309>
- Wastra, A.R. 2015. Perlindungan produk pertanian menghadapi pasar bebas asean (MEA 2015). *Jurnal Agribisnis*, 8(2): 111–124.
- Whipps, J.M., S. Sreenivasaprasad, S. Muthumeenakshi, C.W. Rogers, and M.P. Challen. 2008. use of coniothyrium minitans as a biocontrol agent and some molecular aspects of sclerotial mycoparasitism. *European Journal of Plant Pathology*, 121: 323–330. <https://doi.org/10.1007/s10658-007-9238-1>
- Wibowo, A., A. Santosa, S. Subandiyah, C. Hermanto, and M.F.P. Taylor. 2013. Control of fusarium wilt of banana by using *Trichoderma harzianum* and resistant banana cultivars. *Acta Horticulturae*, (975): 173–177. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2013.975.18>
- Wu, Y., J. Yuan, W. Raza, Q. Shen and Q. Huang. 2014. Biocontrol traits and antagonistic potential of *Bacillus amyloliquefaciens* strain NJZJSB3 against *Sclerotinia sclerotiorum*, a causal agent of canola stem rot. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24(10): 1327–1336. <https://doi.org/10.4014/jmb.1402.02061>
- Yadav, A. N., P. Verma, B. Singh, V.S. Chauhan, A. Suman, and A.K. Saxena. 2017. Plant growth promoting bacteria: biodiversity and multifunctional attributes for sustainable agriculture. *Advances in Biotechnology & Microbiology*, 5(5): 555–671. <https://doi.org/10.19080/aibm.2017.05.555671>.
- Yudha, M.K., L. Soesanto, dan E. Mugiastuti. 2016. Pemanfaatan empat isolat *Trichoderma* sp. untuk mengendalikan penyakit akar gada pada tanaman caisin. *Jurnal Kultivasi* 15(3): 14– 149.
- Zahran, H.H. 1999. Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 63(4): 968–989. Retrieved from <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=98982&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>