

INOVASI PERLAKUAN BENIH DAN IMPLEMENTASINYA UNTUK MEMPRODUKSI BENIH BERMUTU TANAMAN REMPAH DAN OBAT

Seed Treatment Innovation and Its Implementation to Produce Qualified Spice and Medicinal Seeds

Supriadi

Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat
Jalan Tentara Pelajar No. 3, Bogor 16111, Indonesia
Telp. (0251) 8321879; Faks. (0251) 8327010
Email: supriadi_balitro@yahoo.co.id

Diterima: 7 November 2017; Direvisi: 20 Oktober 2018; Disetujui: 6 November 2018

ABSTRAK

Benih tanaman dapat berupa biji, pucuk, setek, sulur, atau umbi. Perlakuan benih merupakan strategi dalam pengendalian hama dan patogen (OPT) paling dini, aman, dan ramah lingkungan. Perlakuan benih tanaman rempah dan obat dapat dilakukan secara fisik, kimia, dan biologi, seperti perendaman dalam air panas (45°C), perlakuan pestisida kimia dan nabati, serta agens hayati. Pestisida kimia yang khusus direkomendasikan untuk perlakuan benih tanaman rempah dan obat sangat terbatas atau bahkan belum ada di Indonesia, padahal permasalahan dalam produksi benih sangat besar, terutama berupa setek dan rimpang. Jenis OPT tular benih tanaman rempah dan obat cukup banyak dan merugikan. Beberapa inovasi perlakuan benih tanaman rempah dan obat sudah dirintis di dalam negeri, seperti metode pencelupan dan pelapisan, tetapi masih terbatas pada benih lada dan jahe. Keefektifan perlakuan benih vegetatif yang massanya cukup besar, seperti rimpang-rimpangan, adalah terbatasnya penyerapan bahan aktif ke dalam jaringan benih sehingga pengaruhnya terhadap OPT yang sudah ada dalam benih kurang berhasil. Inovasi yang sudah ada perlu diperbaiki untuk menghasilkan perlindungan yang lebih optimal, antara lain dengan metode "seed priming", yaitu merendam benih di dalam larutan bahan aktif sampai benih mengembang sehingga bahan aktif akan lebih banyak diserap oleh benih. Metode "seed priming" cocok untuk perlakuan benih dengan bahan aktif berupa agens hayati, seperti mikroba endofit. Dalam pengembangannya, metode ini dapat mengombinasikan beberapa jenis agens hayati dan bahan pembawa, seperti bahan pengisi, pengikat, perekat, dan surfaktan untuk meningkatkan stabilitas formula selama penyimpanan dan keefektifannya di lapangan.

Kata kunci: Perlakuan benih, hama, patogen, tanaman rempah dan obat.

ABSTRACT

Plant seeds can be seeds, shoots, cuttings, tendrils, or tubers. Seed treatment is the earliest, safest, and environmentally friendly strategy in controlling plant pests and pathogens. The seed treatment can be physical, chemical, and biological, such as soaking in hot water (45°C), treatments with chemical and

botanical pesticides, as well as biological agents. Chemical pesticides that are specifically recommended for the treatment of spice and medicinal plants (SMPs) seeds are very limited or even not yet in Indonesia, even though the problems in seed production are very large, especially in the form of cuttings and rhizomes. The types of infectious pests of SMPs are quite numerous and harmful. Several innovations have been pioneered domestically, such as the method of deeping and coating of seeds, but are still limited to pepper and ginger seeds. The effectiveness of seed treatment for bulky vegetative seeds, such as rhizomes, is hampered due to its limitation in the absorption of active ingredients into the seed tissue so that its effect on pests and pathogens already present in the seed is less successful. Existing methods of seed treatments need to be improved, such as by seed priming, i.e. soaking the seeds in active ingredients until the seeds imbibed so that more active ingredients are absorbed. The seed priming method is suitable for treating seeds with active ingredients in the form of biological agents, such as endophytic microbes. In its development, this method can combine several types of biological agents and carriers, such as fillers, binders, adhesives, and surfactants to improve the stability of formulas during storage and their effectiveness in the field.

Keywords: seed treatment, pests, pathogens, medicinal and spice plants.

PENDAHULUAN

Benih adalah bagian tanaman yang digunakan untuk memperbanyak dan/atau mengembangkan tanaman itu sendiri (Kementan 2013). Perlakuan benih (*seed treatment*) bertujuan untuk melindungi bagian tanaman yang akan dijadikan benih dalam bentuk biji, pucuk, setek, sulur, atau umbi dari serangan hama dan patogen. Perlakuan benih dapat dilakukan secara fisik, kimia, atau biologi untuk mengendalikan serangga hama, patogen atau gangguan lainnya yang terbawa benih (Sharma *et al.* 2015). Bahan yang umum digunakan untuk perlakuan benih adalah pestisida kimia. Namun, agens hayati, senyawa kimia lainnya, dan panas juga dapat digunakan sebagai perlakuan benih.

Pestisida kimia yang digunakan untuk perlakuan benih berkembang pesat, terutama di luar negeri. Sayangnya, informasi tentang inovasi teknologi perlakuan benih, khususnya pada tanaman rempah dan obat atau tanaman lainnya di Indonesia sangat terbatas, baik dalam jumlah maupun jenis. Dalam *Buku Hijau Pestisida* tahun 2014, misalnya, dari 3005 formulasi pestisida yang telah mendapat izin tidak satu pun yang secara khusus diperuntukkan sebagai perlakuan benih (Direktorat Pupuk dan Pestisida 2014). Hal ini menunjukkan pestisida untuk perlakuan benih tanaman masih kurang diminati, berbeda dengan di negara-negara maju. Menurut Crop Life Foundation (2013), benih jagung yang sudah mendapat perlakuan benih ditanam di hampir semua wilayah di Amerika Serikat (AS) sejak tahun 2011. Keuntungan yang diperoleh petani dari menanam jagung yang sudah mendapat perlakuan benih mencapai hampir 80 milyar dolar AS. Secara khusus dinyatakan fungisida yang digunakan untuk perlakuan benih meningkat 9,2% per tahun dan pada tahun 2018 dengan nilai yang diperkirakan mencapai 1,4 milyar dolar AS, sedangkan penggunaan insektisida lebih tinggi, mencapai 10,8% per tahun dengan nilai 4,2 milyar dolar AS pada tahun 2018.

Menurut Fraser (2012), peningkatan pangsa pasar benih tanaman yang sudah mendapat perlakuan benih sejalan dengan keyakinan petani bahwa perlakuan benih merupakan strategi paling aman dan ramah lingkungan untuk mengendalikan hama, patogen, dan faktor abiotis seperti stres lingkungan pada tanaman. Dengan kata lain, perlakuan benih merupakan komponen penting dalam mengendalikan gangguan hama dan patogen yang dapat mengganggu kesinambungan produksi tanaman (Sharma *et al.* 2015).

Ada beberapa keuntungan dari perlakuan benih, seperti dinyatakan oleh (Sharma *et al.* 2015), antara lain (1) melindungi benih dari gangguan hama dan patogen selama penyimpanan dan setelah penanaman, (2) mengurangi jumlah pestisida atau bahan lain yang digunakan dalam pengendalian hama dan patogen, (3) meminimalisasi pengaruh buruk terhadap lingkungan, seperti risiko terhadap organisme nontarget, cemaran pestisida, biaya pembelian dan meningkatkan efisiensi penggunaan pestisida, (4) meningkatkan vigor benih dan keragaan tanaman di lapangan, dan (5) memungkinkan untuk mengombinasikan beragam jenis bahan kimia (pestisida, pupuk) dalam satu paket perlakuan benih. Namun demikian, Nettles *et al.* (2016) mengingatkan walaupun praktek perlakuan benih dengan pestisida sudah meluas dilakukan petani pada berbagai tanaman seperti jagung dan kedelai, dampak perlakuan benih terhadap mikroorganisme nontarget perlu tetap diwaspadai. Hasil penelitian mereka di lapangan selama tiga tahun (2013–2015) menunjukkan perlakuan benih dengan insektisida dan fungisida berpengaruh terhadap rizosfer bakteri. Perlakuan benih jagung dengan campuran pestisida kimia (insektisida sistemik thiamethoxam, fungisida kontak ðuidoxonil, dan fungisida sistemik

mefenoxam + azoxystrobin + thiabendazole), serta perlakuan benih kedelai dengan campuran insektisida thiamethoxam + imidacloprid, dan fungisida sistemik mefenoxam + sedaxane menyebabkan terjadi pergeseran kelimpahan relatif taksa atau komposisi jenis bakteri di sekitar rizosfer. Perubahan komposisi jenis bakteri rizosfer tersebut terhadap tanaman atau lingkungan perlu dipelajari lebih lanjut. Zaller *et al.* (2016) melaporkan penyalutan benih (*seed dressing*) dengan fungisida dapat memperlambat proses dekomposisi bahan organik.

Banyak jenis tanaman rempah dan obat, tetapi yang menjadi unggulan nasional adalah cengkeh, lada, pala, vanilla, kayumanis, dan gambir. Tiga jenis tanaman rempah tersebut (cengkeh, pala, kayumanis) diperbanyak melalui biji, sedangkan lada, vanilla, dan gambir melalui sulur atau setek. Jenis tanaman obat lebih banyak lagi dibandingkan dengan tanaman rempah. Menurut Pribadi (2009), tanaman obat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu dari hasil budi daya dan pemanenan langsung di alam. Di antara sekian banyak jenis tanaman obat, 13 di antaranya termasuk paling penting dan sudah dibudidayakan, seperti jahe, lengkuas, kencur, kunyit, lempuyang, temulawak, temu ireng, keji beling, dringo, kapolaga, temukunci, mengkudu, dan sambiloto.

Biaya usaha tani yang harus dialokasikan untuk perlakuan benih cukup besar. Menurut Alloreng *et al.* (2005), proporsi biaya untuk benih pada beberapa jenis tanaman obat berkisar antara 28,9%–42,6% dari total biaya. Hal ini menunjukkan benih sangat penting dan perlu dikelola secara optimal (Tabel 1). Oleh karena itu, perlakuan benih, merupakan bagian penting dari keberhasilan agribisnis tanaman.

Benih tanaman rempah dan obat dapat berupa biji (cengkeh, jambu mete, pala), sulur (lada, sirih, pegagan), dan setek (nilam). Perlakuan benih tanaman rempah dan obat dapat dilakukan secara fisik, kimia, atau biologi dengan tujuan utama untuk menekan, mengendalikan atau menolak patogen dan hama, serta gangguan lainnya (Crop Life Foundation 2013; Sharma *et al.* 2015). Ada beragam cara perlakuan benih, antara lain melaburi, melapisi, dan membentuk benih menjadi bentuk pelet (Sharma *et al.* 2015).

Makalah ini menguraikan perkembangan inovasi hasil penelitian perlakuan benih dan potensi penerapannya pada tanaman rempah dan obat.

PATOGEN TULAR BENIH TANAMAN REMPAH DAN OBAT

Benih tanaman rempah dan obat yang dikembangkan di Indonesia sebagian besar berupa biji, rimpang, dan setek. Biji relatif mudah dikelola, sedangkan setek atau sulur relatif lebih sulit karena harus diambil langsung dari tanaman induknya di lapangan, perlu pengepakan supaya

Tabel 1. Analisis input biaya tenaga kerja, benih, dan sarana produksi beberapa jenis tanaman obat.

Komoditas	Tenaga kerja (%)	Benih (%)	Sarana produksi (%)	Total biaya (Rp '000)
Jahe putih besar (<i>Zingiber officinale</i>)	16.436 (52,79)	9.000 (28,91)	5.695,0 (18,29)	31.131,0
Kencur (<i>Kaempferia galanga</i>)	7.950 (30,11)	14.000 (53,03)	4.450,0 (16,85)	26.400,0
Kunyit (<i>Curcuma domestica</i>)	9.950 (44,69)	6.000 (26,95)	6.312,5 (2,83)	22.262,5
Temulawak (<i>Curcuma xanthorrhiza</i>)	9.950 (47,49)	7.000 (33,41)	4.000,0 (19,09)	20.950,0
Purwoceng (<i>Pimpinella pruatjan</i>)	6.000 (6,38)	40.000 (42,55)	48.000,0 (51,06)	94.000,0

Sumber: Allorerung *et al.* (2005).

Tabel 2. Beberapa jenis patogen dan hama terbawa benih pada tanaman rempah dan obat.

Komoditas	Jenis patogen/hama utama	Cara penyebaran	Referensi
Cengkeh (<i>Syzygium aromaticum</i>)	Jamur <i>Phyllosticta</i> sp.	Biji	Oniki <i>et al.</i> (1992);
Jahe (<i>Zingiber officinale</i>), kunyit (<i>Curcuma domestica</i>), kencur (<i>Kaempferia galanga</i>), temulawak (<i>Curcuma xanthorrhiza</i>), lengkuas (<i>Alpinia galanga</i>)	Bakteri <i>Ralstonia solanacearum</i> ; Nematoda <i>Meloidogyne</i> spp.	Rimpang	Djiwanti dan Kurniati (2016); Supriadi <i>et al.</i> (2000)
Lada (<i>Piper nigrum</i>)	Jamur (<i>Phytophthora capsici</i> , <i>Fusarium solani</i>); nematoda (<i>Radopholus similis</i> , <i>Meloidogyne incognita</i>); virus (PYMV, CMV); serangga vektor (<i>Planococcus citri</i>); hama penggerek batang (<i>Lophobaris piperis</i>)	Sulur atau setek	Balfas <i>et al.</i> (2007); Laba dan Trisawa (2006); Manohara <i>et al.</i> (2005); Mustika (2005)
Vanila (<i>Vanilla planifolia</i>)	Jamur <i>Fusarium oxysporum</i> fsp. <i>vanillae</i>	Sulur atau setek	Tombe <i>et al.</i> (1994)
Nilam (<i>Pogostemon cablin</i>)	Bakteri <i>Ralstonia solanacearum</i> , virus (CMV), jamur <i>Synchytrium pogostemonis</i>	Setek	Miftakhurohmah <i>et al.</i> (2017); Nasrun dan Nuryani (2005); Wahyuno (2007)

mutunya aman selama transportasi, dan perlu persemaian untuk pengecambahan atau induksi akar dan tunas. Apabila pertumbuhan dan kesehatan tanaman induk dalam kondisi sehat, kemungkinan besar benih yang akan dihasilkan juga sehat. Sebaliknya, apabila tanaman induk sudah terserang hama dan patogen maka kualitas benihnya akan buruk, bahkan tidak layak dijadikan sebagai sumber benih.

Mengidentifikasi serangga hama yang terbawa benih (biji, setek, rimpang) umumnya lebih mudah karena dapat dilakukan secara visual. Namun, untuk mengetahui patogen terbawa benih lebih sulit dan memerlukan metode khusus, seperti penggunaan mikroskop, media tumbuh, deteksi serologi, molekuler dengan metode *polymerase change reaction* (PCR), dan lainnya. Sebagai contoh, keberadaan Cucumber Mosaic Virus (CMV) atau Piper Yellow Mosaic Virus (PYMV) pada tanaman lada dapat diketahui berdasarkan gejala daun mosaik dan kerdil

kalau serangannya sudah berat, tetapi kalau masih sangat awal (serangan dini) maka perlu dideteksi secara serologi atau teknik PCR menggunakan primer khusus (Miftakhurohmah *et al.* 2016). Demikian juga virus CMV pada setek nilam, perlu dideteksi secara khusus (Miftakhurohmah *et al.* 2017). Keberadaan bakteri patogen, seperti *Ralstonia solanacearum* pada fase awal tanaman jahe di lapangan, hanya dapat diketahui melalui teknik khusus seperti serologi dan PCR (Supriadi 2011). Untuk jenis mikroba yang ukurannya lebih besar, seperti nematoda *Meloidogyne* sp. pada rimpang jahe, cara mendeteksinya dapat menggunakan teknik ekstraksi dan pengamatan menggunakan mikroskop cahaya.

Beberapa patogen tular benih yang sangat merugikan pada tanaman rempah dan obat adalah *Ralstonia solanacearum*, *Phytophthora capsici*, *Fusarium oxysporum*, *Meloidogyne* spp., dan virus (Tabel 2).

Tabel 3. Prinsip kerja beberapa metode perlakuan benih.

Metode perlakuan	Prinsip kerja	Keuntungan	Kelemahan
Pencelupan	Benih direndam selama periode tertentu. Bahan aktif akan masuk atau meresap melalui cara infiltrasi, imbibisi.	Efektif terhadap patogen/serangga pada permukaan benih. Aplikasinya mudah; benih dikemas dalam karung sebelum direndam.	Tidak efektif untuk patogen yang sudah ada di dalam benih. Permukaan benih yang dilapisi senyawa hidrofobik sulit menyerap bahan aktif. Benih perlu dikering-anginkan. Bisa fitotoksik terhadap bagian titik tumbuh/lembaga.
Penyalutan (<i>seed dressing</i>)	Permukaan benih dilumuri dengan bahan aktif kemudian benih dikering-anginkan.	Aplikasi mudah. Aplikasi sederhana; menggunakan alat drum, ember, kantong plastik tebal. Bahan aktif dapat menutupi permukaan benih secara merata.	Bisa fitotoksik terhadap titik tumbuh atau embrio. Memperlambat proses dekomposisi.
Pelapisan (<i>seed coating</i>)	Benih dilapisi dengan bahan aktif dalam bentuk lapisan tipis (film) berupa cairan atau tepung yang diformulasikan secara khusus dengan perekat supaya dapat menempel dan bertahan lama pada permukaan benih.	Dapat digunakan untuk aplikasi mikro nutrien, agens hayati (jamur, bakteri), mikroba penambat nitrogen, fosfat, dll. Memudahkan aplikasi, khususnya benih yang berukuran kecil.	Perlu alat pengaduk khusus untuk mendapatkan pelapisan yang merata. Dapat mengakibatkan luka pada permukaan benih. Penetrasi bahan aktif ke dalam jaringan benih rendah.
Pelet (<i>seed pelleting</i>)	Benih dibentuk menjadi pelet dengan bahan aktif yang diformulasikan secara khusus dengan bahan pengisi berupa tanah halus (clay) atau bahan organik, bahan perekat (adesif).	Proses pembuatan pelet dapat diulang berkali-kali sampai diperoleh bentuk pelet benih yang diinginkan.	Memerlukan alat khusus untuk dapat membentuk ukuran pelet benih yang seragam. Memerlukan proses pengeringan supaya pelet melekat pada permukaan biji.
Gel (<i>fluid drilling</i>)	Benih dikecambahkan kemudian dilapisi dengan bahan berupa gel sehingga benih lebih terlindungi.	Benih dapat lebih terlindung dari luka. Kelembaban benih terjaga selama penyimpanan. Viabilitas benih lebih baik. Apabila menggunakan agens hayati maka agens hayati dapat memenerasi kecambah sebelum ditanam sehingga benih lebih terlindungi.	Memerlukan formula dan alat khusus. Biaya lebih mahal.
<i>Seed priming</i>	Pencelupan benih di dalam larutan dan membiarkan biji mengembang serta berkecambah sehingga bahan aktif akan diserap oleh kecambah.	Penanganan benih mudah.	Perkecambahan biji dan pertumbuhan tanaman lebih baik.
Bola benih (<i>seed ball</i>)	Prinsipnya seperti pembuatan pelet. Biji dicampur dengan tanah dan humus sehingga membentuk lapisan yang tebal pada permukaan benih.	Mudah diaplikasikan, terutama biji yang berukuran kecil. Dapat dicampur dengan bahan aktif berupa agens hayati atau pupuk anorganik. Mudah pengemasan.	Harus kedap air supaya benih tidak berkecambah sewaktu disimpan.

Sumber: Sharma *et al.* (2015).

TEKNIK PERLAKUAN BENIH

Menurut Sharma *et al.* (2015), perlakuan untuk mengendalikan patogen dan serangga tular benih dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu (1) secara fisik, seperti membersihkan bagian benih yang bergejala penyakit atau rusak; (2) perlakuan panas dengan merendam benih dalam air panas pada suhu tertentu, menjemur benih di bawah sinar matahari (solarisasi) dan dengan uap panas atau microwave; (3) irradiasi (sinar

gama, UV); (4) penggunaan senyawa kimia (pestisida kima, nabati, dan hayati, atau senyawa kimia lainnya); dan (5) agens hayati. Prinsip umum metode perlakuan benih adalah pencelupan, penyalutan, pelapisan, pelet, gel, *priming*, dan bola benih (Tabel 3).

Pemilihan metode perlakuan benih untuk tanaman rempah dan obat bergantung pada jenis hama/patogen tular benih yang akan dikendalikan dan kondisi fisik benih yang akan diperlakukan. Benih yang permukaannya dilapisi oleh lilin atau senyawa lain yang sulit ditembus air,

metode penyalutan dan pelapisan akan lebih efektif dibandingkan dengan pencelupan. Misalnya, merendam rimpang jahe dengan larutan antibiotik mengandung streptomisin dan oksitertasiklin hanya dapat meresap pada permukaan bekas potongan rimpang dan jaringan rimpang sedalam ±1–2 mm, sehingga akan efektif membunuh bakteri *R. solanacearum* di sekitar permukaan rimpang, tetapi tidak efektif mengendalikan bakteri pada jaringan rimpang bagian dalam (Hartati dan Supriadi 1994). Hal ini disebabkan karena larutan antibiotik tidak dapat menembus permukaan rimpang jahe akibat terhalang oleh lignin yang melapisi permukaan rimpang. Perlakuan benih dengan merendam rimpang di dalam air panas (50°C, selama 10 menit) dapat membunuh nematoda, tetapi kurang efektif terhadap *R. solanacearum* yang sudah ada dalam benih rimpang (Nelson 2013).

kimiawi. Hal ini tidak hanya sejalan dengan konsep pengendalian ramah lingkungan, tetapi juga sifat alami benih tanaman rempah dan obat yang banyak digunakan, yaitu benih vegetatif seperti rimpang dan setek. Untuk benih rimpang jahe, misalnya, perlakuan panas terkendala dengan jumlah benih yang *volumenous* sehingga mengatur suhu yang diinginkan (50°C) selama 10 menit sulit diaplikasikan di lapangan. Perlakuan pada suhu >50°C menyebabkan matinya titik tumbuh rimpang jahe. Sebaliknya, perlakuan pada suhu <50°C menyebabkan bakteri *R. solanacearum* atau nematoda *Meloidogyne* dalam rimpang jahe tidak mati. Hasil penelitian Hartati dan Supriadi (1994) menunjukkan perlakuan penggunaan antibiotik oksitetrasiklin dan streptomisin sulfat kurang efektif mengendalikan *R. solanacearum* yang sudah ada dalam jaringan rimpang karena antibiotik tidak dapat meresap ke dalam rimpang karena terhalang lapisan lignin pada permukaan rimpang. Dalam hal ini, antibiotik hanya merembes pada 1-2 mm bekas potongan rimpang.

INOVASI TEKNOLOGI PERLAKUAN BENIH TANAMAN REMPAH DAN OBAT

Inovasi perlakuan benih untuk mengendalikan hama atau patogen pada tanaman rempah dan obat masih terbatas pada komoditas jahe, lada, vanili, dan nilam (Tabel 4). Metode perlakuan benih yang dikembangkan juga terbatas secara fisik menggunakan air panas; secara kimiawi menggunakan pestisida sintetik dan nabati; serta penggunaan agens hayati. Penggunaan agens hayati cukup dominan dibandingkan dengan cara fisik dan

Pengendalian Penyakit Cacar Daun Cengkeh (CDC)

CDC disebabkan oleh jamur *Phyllosticta* sp. Infeksi jamur pada biji terjadi sejak biji cengkeh masih melekat pada tanaman di lapangan. Gejala CDC pada biji berupa bercak berwarna merah terang dan sedikit menonjol, pada bagian tengah terdapat titik-titik hitam berisi konidia jamur. Biji yang sudah tertelur *Phyllosticta* sp. tidak digunakan sebagai benih karena akan menginfeksi benih dan tanaman

Tabel 4. Inovasi teknologi perlakuan benih pada beberapa tanaman rempah dan obat.

Komoditas	Patogen (Penyakit)	Perlakuan benih	Referensi
Jahe (<i>Zingiber officinale</i>)	Bakteri (<i>R. solanacearum</i>); nematoda (<i>Meloidogyne</i> sp.),	Fisik: direndam dalam air panas 50°C selama 10 menit Kimia: penggunaan karbendazim, karbofuran, mankozeb, oksitrasiklin, streptomisin sulfat; minyak atsiri (cengkeh, kayu manis, dan cengkeh); ekstrak mimba Biologi: penggunaan <i>T. viride</i> dan <i>T. harzianum</i>	Hartati dan Supriadi (1994); Aeny <i>et al.</i> (2002); Djiwanti (2014); Djiwanti dan Kurniati (2016a); Khatso and Ao (2013) (2013); Rahardjo (2011)
Lada (<i>Piper nigrum</i>)	<i>Phytophthora capsici</i>	Biologi: penggunaan <i>Fusarium</i> nonpatogenik; <i>Pseudomonas fluorescens</i> ; <i>Trichoderma</i> sp.; cendawan endofit E-5, E-7 dan E-15	Cheriyana (2015); Manohara <i>et al.</i> (2005a); Wahyuno <i>et al.</i> (2017, 2016)
Vanilla (<i>Vanilla planifolia</i>)	<i>F. oxysporum</i> fsp. <i>vanillae</i>	Biologi: penggunaan formula Bio-Fob mengandung konidia <i>F. oxysporum</i> nonpatogenik; formula Bio-Triba mengandung <i>Bacillus pantothenicus</i> dan <i>Trichoderma lactae</i>	Tombe (2008)
Nilam (<i>Pogostemon cablin</i>)	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Biologi: penggunaan formula tepung berisi agens hayati bakteri <i>Pseudomonas fluorescens</i>	Nasrun dan Burhanuddin (2016); Nasrun dan Nurmansyah (2016)

cengkeh di sekitarnya. Di samping itu, lokasi pesemaian juga harus cukup jauh, sekitar 5 km dari pertanaman cengkeh yang terjangkit *Phylosticta* sp. untuk menghindari penularan jamur patogen tersebut (Wahyuno dan Martini 2015). Selama di persemaian, tanaman cengkeh perlu dipelihara dengan baik, termasuk pemberian pupuk dan penyemprotan rutin dengan fungisida.

Pengendalian Hama dan Patogen Terbawa Rimpang

Janis hama dan patogen terbawa rimpang cukup banyak, seperti bakteri *Ralstonia solanacearum*, nematoda *Meloidogyne* sp., kutu perisai (*Aspidiella* sp.), lalat rimpang (*Mimegralla coeruleifrons*), dan jamur busuk kering (*Fusarium* sp.). Infeksi patogen dan serangga hama dapat terjadi sejak tanam masih di lapangan. Patogen yang berada dalam tanah (*soil borne*) dapat bertahan hidup tanpa tanaman inang utama dengan berasosiasi dalam partikel tanah, bahan organik, dan gulma. Pada kondisi lingkungan yang kondusif untuk perkembangannya, seperti lembab dan panas, kebanyakan patogen tular tanah akan terangsang aktivitasnya oleh eksudat akar, kemudian menginfeksi akar melalui lubang alami (titik munculnya akar lateral) atau luka akibat infeksi nematoda dan serangga. Setelah berhasil memenetrasi akar, patogen akan berkembang biak dalam jaringan tanaman, kemudian menyebar ke pangkal batang, batang, dan bagian tanaman lainnya sampai akhirnya tanaman mati. Tanaman rimpang yang sudah membawa serangga hama dan penyakit sejak fase benih (rimpang) biasanya pertumbuhannya tidak normal dan akan menjadi sumber inokulum hama/patogen. Kalau pun sampai menghasilkan, produksinya akan rendah.

Apabila serangan hama dan patogen terjadi pada fase pertumbuhan, perkembangan tanaman terganggu dan menjadi sumber inokulum hama/patogen. Rimpang yang berasal dari tanaman sakit biasanya akan membawa hama/patogen, sehingga tidak dianjurkan digunakan sebagai benih. Di samping terbawa dari lapangan, masuknya hama/patogen pada benih juga bisa terjadi setelah benih dipanen, misalnya akibat pelukaan pada benih, kondisi lingkungan selama penyimpanan kurang baik, atau tercampur dengan benih yang sudah membawa hama/patogen.

Perlakuan benih rimpang harus dimulai sejak awal (panen), dengan membersihkan permukaan rimpang dari sisa-sisa tanah dan bagian tanaman yang menempel, menggunakan air bertekanan tinggi (melalui pompa air) sambil disikat dengan sikat halus untuk menghindari pelukaan pada benih. Selanjutnya, rimpang direndam dalam larutan pestisida (fungisida, nematisida,

insektisida, atau bakterisida) untuk membunuh hama/patogen yang masih ada pada permukaan benih. Untuk patogen yang sudah ada dalam benih, seperti bakteri *R. solanacearum*, proses perendaman dalam antibiotika tidak banyak membantu karena permukaan rimpang dilapisi oleh lilin sehingga sulit ditembus oleh larutan antibiotika. Rimpang yang sudah diperlakukan perlu segera dikering-anginkan pada rak pengering supaya tidak membusuk.

Perlakuan benih rimpang yang dianjurkan antara lain merendam rimpang dalam larutan minyak atsiri, seperti minyak cengkeh dan minyak serai wangi (Sukarman dan Ermiyati 2014; Supriadi 2011), larutan antibiotika streptomisin sulfat 20% (4g) (Aeny *et al.* 2002), serta pelumuran dengan formula campuran fungisida mankozeb dan insektisida karbosulfan (Rahardjo 2011). Untuk mengendalikan nematoda *Meloidogyne* spp., perlakuan benih yang dianjurkan adalah merendam rimpang dalam air panas 50°C selama 10 menit; merendam rimpang dalam larutan 2,5% ekstrak mimba atau nematisida sintetik karbofuran (Djiwanti 2014; Djiwanti dan Kurniati 2016). Di luar negeri, perlakuan benih rimpang dengan cara dicelupkan ke dalam larutan agens hayati mengandung *Trichoderma viride* dan *T. Harzianum*, serta fungisida karbendazim. Cara ini ternyata efektif (Khatso dan Ao 2013).

Pengendalian Penyakit Busuk Pangkal Batang pada Lada

Phytophthora capsici adalah jamur patogen tular tanah yang sangat berbahaya pada tanaman lada. *P. capsici* bertahan dalam tanah dan jaringan tanaman. Pada lingkungan yang sesuai (lembab dan suhu 25°C), konidia yang sedang dalam status dorman (istirahat) akan membentuk zoospora, kemudian menginfeksi akar tanaman lada atau bagian tanaman lainnya. Mekanisme masuknya zoosporan ke dalam jaringan tanaman dapat melalui luka, stomata atau menginfeksi secara langsung. Salah satu perlakuan benih yang dapat menekan jamur *P. capsici* adalah merendam setek lada dalam suspensi jamur *Fusarium nonpatogenik* (FoNP) (Manohara *et al.* 2005a). Perlakuan setek lada dengan cara dicelupkan selama sekitar 5 menit ke dalam larutan fungisida, seperti Dethane M-45, merupakan prosedur yang biasa diterapkan untuk mendapatkan benih lada yang bermutu. Selama di persemaian, tanaman lada juga perlu mendapat pengawasan supaya tidak terjangkit patogen. Paul dan Sarma (2005) merekomendasikan perlakuan benih lada yang sudah berdaun 3–4 helai dengan agens hayati *Pseudomonas fluorescens* untuk menginduksi ketahanan tanaman terhadap penyakit busuk pangkal lada (*P. capsici*).

Pengendalian Penyakit Busuk Pangkal Batang pada Vanila

Fusarium oxysporum fsp. *vanillae* dapat ditularkan melalui partikel tanah, setek batang vanila, dan air. Untuk menghasilkan tanaman vanila yang sehat maka perlindungan harus diberikan sejak tanaman masih di persemaian. Hasil penelitian Tombe (2008) menunjukkan perlakuan dengan agens hayati *Fusarium oxysporum* nonpatogenik (Bio-FOB), *Bacillus pantothenicus* dan *Trichoderma lactae* (Bio-TRIBA) dapat menginduksi ketahanan vanila terhadap *Fusarium oxysporum* fsp. *vanillae*

Pengendalian Penyakit Layu Bakteri pada Nilam

Perlakuan formula agens hayati *P. fluorescens* Pf19 dapat mengendalikan penyakit layu bakteri serta memperbaiki pertumbuhan dan meningkatkan produksi tanaman nilam (Nasrun dan Burhanuddin 2016; Nasrun dan Nurmansyah 2016). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Perlakuan pencelupan benih nilam umur 28 hari dan 40 hari di polibag, serta penyiraman tanaman nilam di lapangan berumur 30 hari dengan formula tepung *P. fluorescens* isolat (isolat Pf19+Pf101) konsentrasi 75 g/liter mampu mengurangi intensitas penyakit layu bakteri pada tanaman nilam menjadi 11,3-24,15% dibandingkan dengan kontrol (74,57%). Perlakuan agens hayati juga meningkatkan berat basah daun per petak (10 tanaman) sebesar 45,97–55,86 g dan berat kering daun sebesar 18,82–25,60 g, dibanding dengan kontrol, yaitu 24,84g dan 14,56g, masing-masing (Nasrun dan Burhanuddin, 2016). Aplikasi formula agens hayati *P. fluorescens* isolat isolat Pf19 dengan dosis yang lebih tinggi (100 g/liter) dan diberikan sebanyak dua kali pada umur 30 dan 60 hari setelah tanam dapat intensitas penyakit 16,50–24,12% dibandingkan dengan perlakuan kontrol (72,5%) dan bobot basah daun per petak (234,55–263,45 g) dan bobot kering daun (25,32–29,28 g) dibandingkan dengan kontrol (25,4g bobot basah daun dan 3,21 g bobot kering daun) (Nasrun dan Nurmansyah 2016).

Pengendalian Penyakit Budok Nilam

Jamur *Synchytrium pogostemonis* yang menyebabkan penyakit budok pada tanaman nilam pertama kali diidentifikasi oleh Wahyuno (2007). Gejala utama penyakit budok adalah timbulnya karat (*scab*) pada daun muda, kemudian daun menggulung dan berukuran lebih kecil berwarna merah. Pada kondisi tertular berat, jamur juga dapat menginfeksi hampir semua bagian tanaman, seperti

petiole dan batang yang masih muda, sehingga cara pengendalian harus dilakukan dengan cara mengeradikasi seluruh bagian tanaman sakit di lapangan (Wahyuno 2010b). Pada kondisi penularan yang sangat parah, tanaman nilam tumbuh kerdil, lemah, dan rentan terhadap kekeringan. Jamur ini menghasilkan zoospora yang mampu berenang pada permukaan daun atau batang sakit pada kondisi basah setelah hujan.

Perkembangan Inovasi dan Implementasi Teknologi Perlakuan Benih

Perkembangan

Perkembangan inovasi teknologi perlakuan benih pada tanaman rempah dan obat (Tabel 4) jauh tertinggal dibandingkan dengan inovasi yang sudah dan sedang berkembang dewasa ini (Tabel 3). Sebagian besar tanaman rempah dan obat diperbanyak secara vegetatif, seperti setek dan rimpang, sehingga fokus penelitian perlakuan benih sebaiknya diarahkan pada benih berbentuk setek dan rimpang.

Salah satu bentuk formulasi yang dapat dikembangkan dalam perlakuan benih tanaman rempah dan obat berupa setek, seperti benih tanaman lada dan nilam, adalah dengan metode pelapisan (*seed coating*) yang mengandung agens hayati. Untuk melindungi benih setek lada, terutama luka pada ujung setek dari infeksi patogen tular tanah, seperti *P. capsici* dan *Meloidogyne* sp., Cheriyan (2015) menganjurkan benih pada bagian ujung setek perlu dicelup terlebih dahulu ke dalam formula agens hayati berbentuk lumpur (*slurry*) selama 20 menit. Formula agens hayati tersebut mengandung bahan aktif bakteri *P. fluorescens*. Selanjutnya, setek lada yang sudah diperlakukan ditanam dalam kantong plastik. Strategi serupa juga dilakukan oleh Wahyuno *et al.* (2017), tetapi dengan cara merendam setek lada yang sudah berakar selama 24 jam dalam suspensi cendawan endofit untuk mengendalikan *P. capsici*. Kemudian, benih yang sudah diperlakukan dengan jamur endofit ditanam pada polibag atau di lapangan. Untuk mempertahankan agens hayati agar tetap melekat pada permukaan ujung setek atau akar setek lada dapat ditambahkan bahan pengikat mikroba agens hayati, seperti metil selulosa (CMC) yang berfungsi sebagai pengikat dan pelapis, serta mempertahankan kelembaban.

Penggunaan bahan penyalut dan pelapis yang dapat mengurangi penguapan sekaligus mempertahankan kelembapan benih sangat diperlukan untuk benih yang permukaannya cukup luas seperti dalam bentuk rimpang. Menurut Sukarman dan Ermiyati (2014), salah satu kunci untuk mempertahankan mutu rimpang jahe selama penyimpanan adalah mengurangi penyusutan bobot yang terlalu besar. Selama penyimpanan, bobot rimpang

jahe dapat menyusut hingga 20%. Memperkaya formula perlakuan benih dengan bahan pelekat dan pelapis diharapkan viabilitas benih akan stabil selama penyimpanan.

Implementasi

Benih tanaman rempah dan obat lebih banyak dalam bentuk vegetatif, seperti rimpang dan setek. Secara alami, rimpang merupakan bentuk perlindungan terbaik untuk patogen tular benih. Misalnya, *R. solanacearum*, yang sudah hidup dan berkembang biak dalam jaringan pembuluh rimpang jahe sejak di lapangan, akan terlindung dari berbagai pengaruh luar yang merugikan, termasuk perlakuan benih. Pestisida sintetik sekalipun sulit menembus sel-sel bakteri dalam pembuluh rimpang. Namun, agens hayati seperti mikroba endofit yang berasal dari dalam jaringan tanaman diharapkan mampu menembus sistem perlindungan tersebut. Oleh karena itu, perlakuan yang efektif mengendalikan OPT terbawa benih rimpang adalah dalam bentuk *seed priming*.

Seed priming adalah pencelupan benih ke dalam larutan agens hayati dan membiarkan benih mengembang dan berkecambah. Dengan cara ini, agens hayati dapat mengolonisasi tunas rimpang. Formula *seed priming* agens hayati dapat berupa kombinasi dari beberapa jenis mikroba berbeda dan saling melengkapi, seperti *Bacillus subtilis* dan *P. fluorescens*, serta bahan pembawa yang berfungsi meningkatkan kinerja bahan aktif di lapangan atau menstabilkan formula selama penyimpanan. Ada beberapa jenis bahan pembawa dalam formula pestisida, antara lain: (a) pewarna untuk membedakan benih yang sudah diperlakukan dengan untuk konsumsi, (b) pengisi (*filler*), (c) pengikat (*binder*), (d) perekat (*sticker*), (e) antibusa (*antifoam agent*) seperti minyak parafin, silikon cair, atau minyak nabati, untuk mencegah pembentukan gelembung dalam proses pembuatan formula atau pada waktu aplikasi di lapangan, (f) pelumas (*lubricant*) seperti grafit atau talk, untuk mencegah gesekan fisik antara benih dengan peralatan yang digunakan pada saat aplikasi (grafit atau talk), dan (f) unsur mikro, serta bahan lainnya untuk memperkuat kinerja formula (Paulsrud *et al.* 2001).

Menurut Schisler *et al.* (2004), untuk meningkatkan karakter dan keefektifan formula agens hayati, maka diperlukan penambahan bahan penstabil seperti laktosa atau sodium benzoat, serta sumber karbon seperti molase dan pepton. Penambahan bahan penstabil ini berperan penting mendukung kehidupan mikroba selama proses penyimpanan dan di lapangan. Bahan pengikat atau pengental dapat menggunakan gum arab, gum xantan, atau CMC (karboksi metil selulosa). Di samping itu, juga

dapat ditambahkan surfaktan seperti Tween 80 dan polioksi-etilen alkohol. Pemilihan jenis dan konsentrasi bahan dalam formula agens hayati perlu disesuaikan dengan kebutuhan mikroba bahan aktifnya. Selanjutnya, bahan-bahan tersebut diformulasikan dalam bentuk padat (*wettable powder*), cair (*liquid*), suspensi, atau lumpur (*slurry*).

KESIMPULAN

Jenis hama dan patogen tular benih pada tanaman rempah dan obat cukup banyak. Inovasi perlakuan benih umumnya dilakukan secara fisik dengan air panas (50°C), kimia (pestisida sintetik dan nabati), dan agens hayati. Penggunaan agens hayati berupa mikroba sudah berkembang cukup baik pada tanaman lada, vanili, dan jahe, tetapi hasilnya belum optimal.

Metode pengendalian patogen tular benih dengan metode *seed priming* dalam mikroba antagonis diharapkan lebih efektif mengendalikan patogen yang ada dalam rimpang atau setek, karena sifat pengendaliannya dapat dari dalam jaringan tanaman. Metode *seed priming* dapat diperkaya dengan mengombinasikan beberapa jenis agens hayati dan bahan pembawa yang bersifat sinergis, seperti pengisi, pengikat, perekat, dan surfaktan dalam formula untuk meningkatkan stabilitas formula selama penyimpanan dan keefektifannya di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aeny, T.N., Feriansyah, dan Mujim, S. 2002. Pengaruh perlakuan bibit terhadap perkembangan penyakit layu bakteri pada jahe (*Zingiber officinale*). Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika. 2(2): 60-64.
- Allorerung, D., Rostiana, O., Rizal, M., Rahardjo, M., Yuiani, S. dan Sugiharto. 2005. Prospek dan Arah Pengembangan Agribisnis Tanaman Obat. Jakarta, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Balfas, R., Lakani, I., Samsudin, dan Susanto. 2007. Penularan penyakit kerdil pada tanaman lada. Jurnal Penelitian Tanaman Industri. 13(4): 136-141.
- Cheriyon, H. 2015. Good Agricultural Practices Black Pepper (*Piper nigrum L.*). Cheriyon, H. (ed.) Calicut, India, Directorate of Arecanut and Spices Development, Department of Agriculture and Cooperation, Ministry of Agriculture.
- Crop Life Foundation. 2013. The role of seed treatment in modern US crop production: A review of benefits. http://www.minnesotafarmguide.com/news/crop/the-role-of-seed-treatment-in-modern-u-s-crop/pdf_85a4a3a6-5ebb-11e3-be43-001a4bcf887a.html.
- Direktorat Pupuk dan Pestisida. 2014. Pestisida Pertanian dan Kehutanan Terdaftar 2014. Jakarta, Direktorat Jenderal Prasarana dan sarana Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Djiwanti, S.R. 2014. Perlakuan benih air panas, ekstrak mimba dan jarak kepyar untuk mengendalikan nematoda (*Meloidogyne*

- spp.) terbawa benih rimpang jahe. Buletin Tanaman Rempah dan Obat. 26(1): 55–62.
- Djiwanti, S.R. dan Kurniati. 2016a. Infestasi nematoda parasit pada benih jahe dan cara pengendaliannya. Warta Balitro. 33(65): 4–5.
- Djiwanti, S.R. dan Kurniati. 2016b. Infestasi nematoda parasit pada benih jahe dan cara pengendaliannya. Warta Balitro. 33(65): 5–7.
- Fraser, A. 2012. The seed treatment toolbox. (Nuffield Australia Project No.1209).
- Hartati, S.Y. and Supriadi. 1994. Systemic Action of Bactericide Containing Oxytetracycline and Streptomycin Sulphate in Treated Ginger Rhizomes. Journal of Spice and Medicinal Crops 3(1): 7–11.
- Kementan (Kemneterian Pertanian). 2013. Peraturan Menteri Pertanian Nomor 10/Permentan/OT.140/1/2013OT.140/11/2012 tentang Pedoman Teknis Pembangunan Kebun Induk Lada. hlm. 37.
- Khatso, K. and N. Ao. 2013. Biocontrol of rhizome rot disease of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.). International Journal of Bio-resource and Stree Management 4(2): 317–321.
- Laba, I.W. dan Trisawa, I.M. 2006. Pengelolaan Ekosistem Untuk Pengendalian Hama Lada. Perspektif 5(3): 86–97.
- Manohara, D., Wahyuno, D. dan Noveriza, R. 2005a. Penyakit busuk pangkal batang lada dan strategi pengendaliannya. Perkembangan Teknologi Tanaman Rempah dan Obat. 17(2): 41–57.
- Manohara, D., Wahyuno, D. dan Noveriza, R. 2005b. Penyakit busuk pangkal batang tanaman lada dan strategi pengendaliannya. Perkembangan Teknologi Tanaman Rempah dan Obat. 17(2): 41–55.
- Miftakhurohmah, Mariana, M. dan Wahyuno, D. 2016. Deteksi Piper yellow mottle virus (PYMoV) penyebab penyakit kerdil pada tanaman lada secara Polymerase Chain Reaction (PCR). Buletin Tanaman Rempah dan Obat 27(1): 77–84.
- Miftakhurohmah, Nyana, I.D.N., Damayanti, T.A. dan Noveriza, R. 2017. Identifikasi molekuler Cucumber Mosaic Virus (CMV) asal tanaman nilam (*Pogostemon cablin*). Jurnal Penelitian Tanaman Industri 23(1): 11–17.
- Mustika, I. 2005. Penyakit kuning pada tanaman lada dan cara pengendaliannya. Perkembangan Teknologi Tanaman Rempah dan Obat. XVII(2): 77–98.
- Nasrun dan Burhanuddin. 2016. Evaluasi efikasi formula *Pseudomonas fluorescens* untuk pengendalian penyakit layu bakteri (*Ralstonia solanacearum*) nilam. Buletin Tanaman Rempah dan Obat 27(1): 67–76.
- Nasrun dan Nurmansyah. 2016. Keefektifan formula *Pseudomonas fluorescens* untuk mengendalikan penyakit layu bakteri dan meningkatkan pertumbuhan tanaman nilam. Jurnal Fitopatologi Indonesia 12(2): 46–52. doi:10.14692/jfi.12.2.46.
- Nasrun dan Nuryani, Y. 2005. Penyakit layu bakteri pada nilam dan strategi pengendaliannya. Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian 26(1): 9–15.
- Nelson, S. 2013. Bacterial wilt of edible ginger in Hawaii. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii. (October). p. 8.
- Nettles, R., Watkins, J., Ricks, K., Boyer, M., Licht, M., Atwood, L.W., Peoples, M., Smith, R.G., Mortensen, D.A. and Koide, R.T. 2016. In fl uence of pesticide seed treatments on rhizosphere fungal and bacterial communities and leaf fungal endophyte communities in maize and soybean. Applied Soil Ecology 102, Elsevier B.V., 61–69. doi:10.1016/j.apsoil.2016.02.008.
- Oniki, M., S.R. Djiwanti, D. Wahyuno, K. Mulya, D. Manohara, dan T. Kobayashi. 1992. Present condition of distribution and damage caused by CDC disease and future control strategy. In: Programme ATA-380 (Strengthening Research on Diseases of Industrial Crops in Indonesia). ISMCRI. pp.12–21.
- Paul, D. and Y.R. Sarma. 2005. *Pseudomonas fluorescens* mediated systemic resistance in black pepper (*Piper nigrum* L.) is driven through an elevated synthesis of defence enzymes. Archives of Phytopathology and Plant Protection 38 (May), 139–149. doi:10.1080/03235400500094324.
- Paulsrud, B., D. Martin, M. Babadoost, D. Malvick, R. Weinziert, K. Lindholm, W. Pederson, M. Reed, and R. Maynard. 2001. Seed Treatment: Oregon Pesticide Applicator Training Manual. The University of Illinois Board of Trustees.
- Pribadi, E.R. 2009. Pasokan dan permintaan tanaman obat Indonesia serta arah penelitian dan pengembangannya. Perspektif 8(1): 52–64.
- Rahardjo, M. 2011. Pengaruh perlakuan benih dan aplikasi pestisida sintetik dan nabati terhadap produksi rimpang benih jahe. Buletin Tanaman Rempah dan Obat 22(2): 157–165.
- Roberts, S.J., Eden-Green, S.J., Jones, P. and Ambler, D.J. 1990. *Pseudomonas syzygii*, sp. nov., the cause of Sumatra Disease of cloves. Systematic and Applied Microbiology 13 (1): 34–43. doi:10.1016/S0723-2020(11)80178-5.
- Schisler, D.A., P.J. Slininger, R.W. Behle, and M.A. Jackson. 2004. Formulation of *Bacillus* spp. for biological control of plant diseases. Phytopathology 94(11): 1267–1271.
- Sharma, K.K., U.S. Singh, P. Sharma, A. Kumar, and L. Sharma. 2015. Seed treatments for sustainable agriculture-A review. Journal of Applied and Natural Science 7(1): 521–539.
- Sukarman dan Ermiyati. 2014. Daya simpan benih rimpang jahe putih besar di dataran tinggi dengan perlakuan pestisida nabati dan analisis ekonominya. Jurnal Penelitian Tanaman Industri. 20(1): 1–8.
- Supriadi, Mulya, K. dan D. Sitepu. 2000. Strategy for controlling wilt disease of ginger caused by *Pseudomonas solanacearum*. Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian 19(3): 106–111.
- Supriadi. 2011. Penyakit layu bakteri (*Ralstonia solanacearum*): Dampak, bioekologi, dan peranan teknologi pengendaliannya. Pengembangan Inovasi Pertanian 4(4): 279–293.
- Tombe, M., K. Kobayashi, and A. Ogoshi. 1994. Vegetative compatibility grouping of *Fusarium oxysporum* f.sp. vanillae in Indonesia. Indonesian Indonesian Journal of Crop Science 9: 29–39.
- Tombe, M. 2008. Peluang pemanfaatan teknologi Bio-FOB dalam budidaya tanaman scara organik. Warta Penelitian dan Pengembangan Tanaman Industri 14(2): 26–28. <http://perkebunan.litbang.pertanian.go.id/wp-content/uploads/2015/08/warta-Vol-14-No.2-2008.pdf>.
- Wahyuno, D. 2007. *Synchytrium*: A potential threat of pachouli in Indonesia. In: Rusli, M.S. et al. (eds.) Proceeding of International Seminar on Essential Oil. Jakarta, Dewan Atsiri Indonesia.
- Wahyuno, D. 2010a. Pengelolaan perbenihan nilam untuk mencegah penyebaran penyakit budok (*Synchytrium pogostemonis*). Perspektif 9(1): 1–11.
- Wahyuno, D. 2010b. The life cycle of *Synchytrium pogostemonis* on *Pogostemon cablin*. Microbiology Indonesia 4(3): 127–131. doi:10.5454/mi.4.3.5.
- Wahyuno, D., Florina, D. dan Manohara, D. 2017. Cendawan endofit akar lada untuk meningkatkan pertumbuhan dan menekan busuk pangkal batang lada. Buletin Tanaman Rempah dan Obat 28(1): 57–64. doi:<http://dx.doi.org/10.21082/bullitro.v28n1.2017.57-64>.
- Wahyuno, D., D. Manohara, and O. Trisilawati. 2016. Pretreatment effect of black pepper seedlings with *Pseudomonas*, *Trichoderma* and mycorrhiza on foot rot disease incidence. Buletin Tanaman Rempah dan Obat 27(1): 55–66.

- Wahyuno, D. dan E. Martini. 2015. Pedoman Budi Daya Cengkeh di Kebun Campur. World Agroforestry Centre (ICRAF). <http://www.worldagroforestry.org/sea/Publications/files/booklet/BL0052-15.pdf>.
- Zaller, J.G., N. König, A. Tiefenbacher, Y. Muraoka, P. Querner, A. Ratzenböck, M. Bonkowski, and R. Koller. 2016. Pesticide seed dressings can affect the activity of various soil organisms and reduce decomposition of plant material. *BMC Ecology* 16 (37): 1–11. doi:10.1186/s12898-016-0092-x.