

POTENSI PEMANFAATAN JAMUR SEBAGAI AGENS HAYATI PENGENDALI PENYAKIT TANAMAN PERKEBUNAN

UTILIZATION OF *Trichoderma* FUNGI AS BIOCONTROL OF ESTATE CROPS DISEASE

Samsudin dan Widi Amaria

Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar
Jalan Raya Pakuwon Km 2 Parungkuda, Sukabumi 43357
samsudin.afaqih@gmail.com

ABSTRAK

Pengendalian penyakit yang disebabkan oleh jamur dan bakteri patogen pada komoditas perkebunan sulit dilakukan dan sangat mahal karena membutuhkan volume yang besar dalam waktu yang cukup lama. Pemanfaatan agens hayati untuk mengendalikan penyakit utama tanaman merupakan upaya untuk menekan populasi sumber inokulum dan melindungi tanaman dari infeksi patogen. *Trichoderma* merupakan salah satu jamur antagonis yang telah terbukti mampu menekan pertumbuhan dan perkembangan patogen tanaman. Mekanisme kinerja *Trichoderma* untuk mengendalikan patogen tanaman adalah sebagai kompetitor dalam memanfaatkan ruang dan substrat, menghasilkan antibiotik yang dapat mematikan patogen, dan bersifat mikoparasit bagi jamur patogen. Beberapa jenis *Trichoderma* juga terbukti bekerja sebagai agens penginduksi ketahanan terhadap penyakit dan mampu merombak bahan organik dalam tanah menjadi unsur hara bagi tanaman sehingga berfungsi sebagai promotor pertumbuhan tanaman. Penggunaan *Trichoderma* untuk mengendalikan penyakit utama tanaman perkebunan sangat berpotensi untuk dikembangkan.

Kata kunci: *Trichoderma*, agens hayati, pengendalian, tanaman perkebunan.

ABSTRACT

Control of diseases caused by fungal and bacterial pathogens in estate crops is difficult and costly due to the large volume and long period. Utilization of biological agents to control plant pathogens is an attempt to suppress the inoculum populations and protect plants from pathogen infection. Trichoderma is one fungal antagonist that has been shown suppress the growth and development of plant pathogens. Mode of actions of Trichoderma in controlling plant pathogens are as competitors in the use of the substrate, producing antibiotics that are lethal for the pathogen and as micoparasite for fungal pathogens. Some species of Trichoderma also proven to act as inducer of disease resistancy and able to remodel soil organic matter into nutrients for plants thus serves as a plant growth promoter. The use of Trichoderma to control key diseases of estate crops is potential to be developed.

Keywords: Trichoderma, biological agents, control, plantation crops

PENDAHULUAN

Penyakit tanaman yang disebabkan oleh mikroorganisme patogen merupakan salah satu penyebab menurunnya kuantitas dan kualitas hasil tanaman yang dibudidayakan termasuk tanaman perkebunan. Pengendalian penyakit yang disebabkan oleh jamur dan bakteri patogen pada komoditas perkebunan sulit dilakukan dan sangat mahal karena membutuhkan volume yang besar dalam waktu yang cukup lama. Pengendalian penyakit

tanaman perkebunan selama ini masih bertumpu pada penggunaan pestisida kimia sintetis, yang akan berdampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia. Dampak negatif penggunaan pestisida kimia sintetis antara lain: menyebabkan resistensi hama dan penyakit sasaran (Oka, 2005), terbunuhnya musuh alami (Tengkano *et al.*, 1992), meningkatnya residu pada hasil, mencemari lingkungan, gangguan kesehatan bagi pengguna (Schumutterer, 1995), bahkan beberapa pestisida disinyalir memiliki kontribusi pada

fenomena pemanasan global (*global warming*) dan penipisan lapisan ozon (Msayleb, 2014).

Pemanfaatan agens hayati untuk mengendalikan patogen tanaman merupakan upaya untuk menekan populasi sumber inokulum dan melindungi tanaman dari infeksi patogen. Diantara sekian banyak jenis agens hayati yang telah diuji keamanannya, tiga di antaranya yaitu *Trichoderma* spp., *Pseudomonas fluorescens*, dan *Bacillus* spp. paling lengkap data keamanannya (Supriadi, 2006). Dari ketiga jenis agens hayati tersebut jamur antagonis *Trichoderma* spp. merupakan agens hayati yang paling berkembang dan sudah digunakan secara luas untuk mengendalikan penyakit utama tanaman budi daya. Menurut Kamalakannan & Gopalakrishnan (2011) saat ini *Trichoderma* telah digunakan sebagai agens hayati yang efektif untuk mengendalikan penyakit tanaman dan juga berfungsi sebagai pemicu pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Trichoderma merupakan jamur saprofit kosmopolit yang tumbuh pada berbagai jenis substrat seperti sisa-sisa tanaman, sampah organik dan kayu yang sudah lapuk. Karakteristik *Trichoderma* yang menjadi dasar pertimbangan ilmiah untuk dijadikan sebagai agens hayati pengendali penyakit tanaman, antara lain: (1) memiliki tingkat reproduksi yang tinggi sehingga dapat bertahan cukup lama pada kondisi yang kurang menguntungkan, (2) efektif dalam memanfaatkan nutrisi, (3) mampu memodifikasi rizosfir dengan menginduksi perubahan pH dan populasi mikrob, (4) sangat agresif menekan patogen tanaman, (5) sebagai agens pemicu pertumbuhan tanaman, (6) berfungsi sebagai promotor pertahanan tanaman (Garcia *et al.*, 2005), berfungsi sebagai antagonis dan hiperparasitik bagi patogen tanaman (Harman *et al.*, 2004).

Beberapa jenis *Trichoderma* yang sudah digunakan untuk mengendalikan berbagai penyakit tanaman budi daya, adalah: *T. viride*, *T. harzianum*, *T. virens*, *T. hamatum* (Nakkeeran *et al.*, 2011), *T. konigii*, *T. polysporum* (Cavaleante *et al.* 2008), dan *T. longibrachiatum* (Matroudi *et al.*, 2009). Tulisan ini mengulas tentang bioekologi, cara kerja (*mode of action*), dan pemanfaatan

Trichoderma untuk mengendalikan penyakit pada komoditas perkebunan.

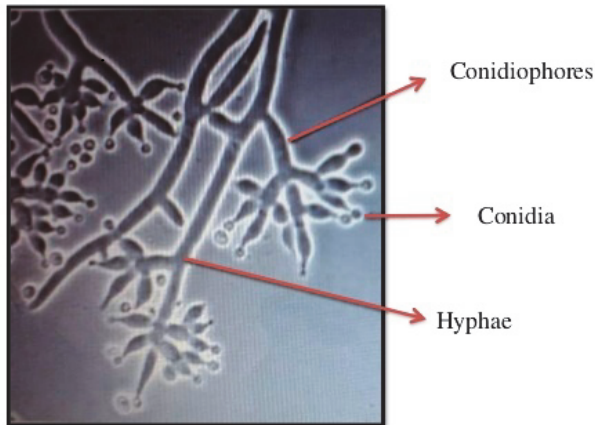
BIOEKOLOGI *Trichoderma*

Jamur *Trichoderma* termasuk dalam Famili Moniliaceae, Ordo Moniliales, Kelas Deuteromycetes. Karakteristik morfologi dari *Trichoderma* adalah hifanya memiliki ruas (septat) dan bercabang banyak, konidiofor memiliki ruas dan cabang paling ujung berfungsi sebagai sterigma. Pada bagian ujung konidiofornya tumbuh sel yang bentuknya menyerupai botol (phialid), sel ini dapat berbentuk tunggal maupun berkelompok. Konidia *Trichoderma* berbentuk bulat, berwarna hijau cerah dan bergerombol membentuk menjadi seperti bola (Gambar 1.)

Koloni *Trichoderma* pada media *potato dextrose agar* (PDA) sangat cepat pertumbuhannya. Pada suhu 25°C koloni sudah menutupi seluruh permukaan cawan petri berukuran diameter 9 cm paling lama hanya dalam waktu 5 hari (Kamalakkanan & Gopalakrishnan, 2011). Koloni awalnya berwarna hialin, kemudian menjadi putih kehijauan dan selanjutnya hijau redup terutama pada bagian yang menunjukkan banyak terdapat konidia (Gambar 2.)

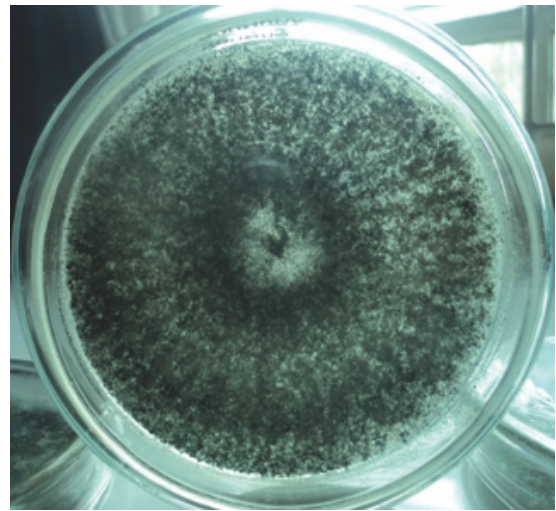
Jamur dari marga *Trichoderma* dikenal sebagai jamur saprofit yang dapat mendekomposisi bahan-bahan organik seperti serasah dan kayu mati di permukaan tanah (Reza, Motlagh, & Samimi, 2013). Jamur ini banyak dipelajari karena memiliki karakteristik sebagai kompetitor ulung dalam menggunakan nutrisi dan ruang, serta efisien mengalahkan organisme pesaingnya (Schmoll & Schuster, 2010). *Trichoderma* hidup pada daerah yang agak lembap, sedangkan pada kondisi tanah yang kering populasinya akan lebih rendah. Selain kelembapan tanah, perkembangan populasi *Trichoderma* dalam tanah juga dipengaruhi oleh pH, aerasi, dan nutrisi. Populasi *Trichoderma* dapat berkembang dengan baik pada pH rendah didukung keadaan yang lembap (Berlian, Setyawan, & Hadi, 2013). Menurut Kamalakannan & Gopalakrishnan (2011) umumnya pada tanah-tanah subur yang berada dari daerah iklim

sedang dan daerah tropis mengandung 10^1 – 10^3 propagul *Trichoderma* per gram tanah. Jamur ini juga menyukai kondisi tanah yang asam dan termasuk peka terhadap sinar atau cahaya langsung. Jenis-jenis *Trichoderma* lebih banyak ditemukan di tanah perakaran daripada pada tanah non vegetasi dan tunggul pohon (Suharna, 2002).



Gambar 1. Struktur morfologi *Trichoderma* (Sumber: <http://image.slidesharecdn.com>)
 Figure 1. Morphological structure of *Trichoderma* (Source: <http://image.slidesharecdn.com>)

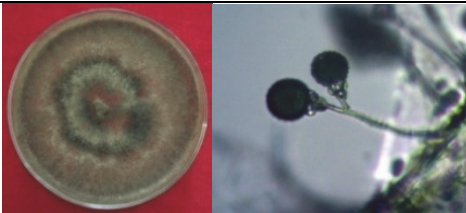
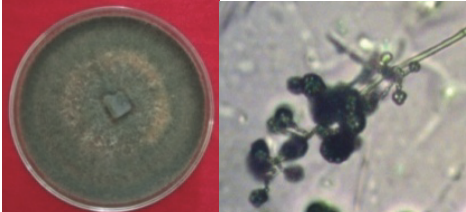
Beberapa karakteristik morfologi jenis *Trichoderma* yang berpotensi sebagai agens hayati yang telah diamati berdasarkan koloni dan secara mikroskopis tersaji pada Tabel 1.



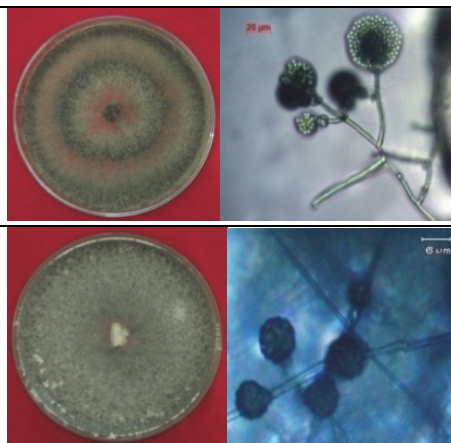
Gambar 2. Koloni *Trichoderma viride* pada media PDA umur 5 hari. (Sumber: Samsudin)

Figure 2. The colony of *Trichoderma viride* in PDA media at 5 days. (Source: Samsudin)

Tabel 1. Karakteristik morfologi *Trichoderma* sp.
 Table 1. Morphological characteristics of *Trichoderma* sp.

Jenis <i>Trichoderma</i>	Karakteristik morfologi
<i>T. virens</i>	Koloni hijau keputihan, permukaan halus dan tipis seperti beludru, tumbuh pesat, bentuk koloni bulat, terdapat seperti cincin, menyebar ke segala arah. Hifa hialin, konidia hijau, konidiofor bercabang tidak teratur, 3-6 phialid. 
<i>T. hamatum</i>	Koloni hijau tua pekat, permukaan halus dan agak tebal, tumbuh agak pesat dan menyebar ke segala arah. Pada biakan yang tua terdapat warna kekuningan. Hifa hialin, konidia hijau tua, konidiofor bercabang tidak teratur, phialid 3-6. 

Jenis	Karakteristik morfologi
<i>Trichoderma</i>	
<i>T. amazonicum</i>	Koloni hijau keputihan, berbentuk bulat dan cincin yang konsentris, permukaan halus dan tipis seperti beludru. Hifa hialin, konidia hijau tua, konidiofor bercabang tidak teratur, phialid 3-6.
<i>T. atroviride</i>	Koloni awalnya putih dan pada bagian tengah hijau, kemudian menjadi hijau pada semua permukaannya, namun tetap tampak jelas warna putih di permukaan bawah, koloni lebih tebal, kasar, dan tidak terdapat cincin, tumbuh pesat dan menyebar ke segala arah. Hifa hialin, konidia hijau tua, konidiofor bercabang tidak teratur, phialid 3-6.



Sumber: Amaria, Taufiq, & Harni (2013)

Source: Amaria, Taufiq, & Harni (2013)

CARA KERJA (MODE OF ACTION)

Trichoderma

Jamur dari marga *Trichoderma* merupakan mikroorganisme antagonis yang dapat menggunakan satu atau lebih mekanisme kerjanya dalam menekan patogen tanaman. Beberapa mekanisme kerja *Trichoderma* dalam menekan pertumbuhan dan perkembangan patogen tanaman adalah: kompetisi, mikoparasitisme, dan antibiosis (Benítez, Rincón, Limón, & Codón, 2004; Harman, 2006; Verma, Brar, Tyagi, Surampalli, & Valéro, 2007). Menurut Trigiano, Windham, & Windham (2008), kompetisi adalah mekanisme yang terjadi antara dua atau lebih mikroorganisme yang menggunakan atau memperebutkan makanan (karbon dan nitrogen) atau sumber mineral yang sama, maupun menempati habitat atau inang yang sama. Mikroorganisme yang satu dapat mengalahkan mikroorganisme lainnya karena pertumbuhannya lebih cepat sehingga dapat menggunakan secara efisien sumber makanannya. *Trichoderma* merupakan kompetitor ulung yang mampu menguasai nutrisi dan ruang pertumbuhan (Benítez *et al.*, 2004). Untuk mengetahui cara kerja kompetisi ini umumnya dilakukan pengujian biakan ganda (*dual culture*) dengan meletakkan kultur agens

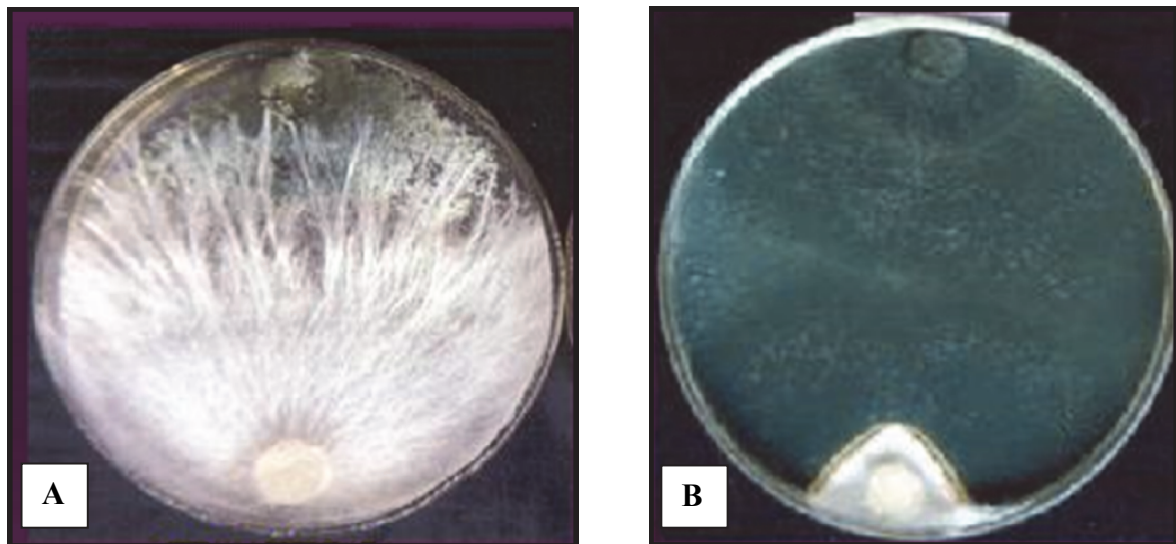
hayati di satu sisi dan kultur patogen di sisi lainnya yang berseberangan (Gambar 3.). Tingkat antagonisme *Trichoderma* kemudian diklasifikasi sesuai dengan kriteria menurut Chandrasekar *et al.* (2011) (Tabel 2.).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa koloni *T. viride* dapat menutup penuh permukaan cawan petri berukuran 9 cm dalam waktu 4 hari. Melalui uji *dual culture* dengan beberapa patogen menunjukkan bahwa jamur ini mampu menghambat 29% ruang pertumbuhan *Fusarium roseum*, 44% *Epicoccum* sp., 21% *Monileilla* sp, dan 15% *Absidia* sp. (Bouziane, Dehimat, Abdel, Benabdelkader, & Kacem, 2011). Koloni *T. viride* dan *T. harzianum* mampu secara sempurna menutupi koloni *F. oxysporum* (Yadav, 2012). *T. virens*, *T. hamatum*, *T. amazonicum*, dan *T. atroviride* menghambat koloni *Rigidoporus microporus* sebesar 80%–85% (Amaria *et al.*, 2013).

Persentase penghambatan *Trichoderma* terhadap patogen sangat bervariasi tergantung dari metabolit sekunder yang diproduksinya (Eziashi, Uma, Adekunle, & Airede, 2006). Metabolit volatil yang dihasilkan *T. viride* sangat efektif mengendalikan *F. oxysporum* (Tapwal *et al.*, 2011). Hasil penelitian terbaru memperkuat hasil penelitian sebelumnya bahwa *T. viride* ini memiliki aktivitas

antagonistik yang sangat kuat terhadap jamur *F. oxysporum* pada kondisi *in vitro* (Perveen & Bokhari, 2012). Penghambatan jenis *Trichoderma* lainnya karena pengaruh metabolit sekunder yang dihasilkan, juga diteliti oleh Amaria, Harni, & Samsudin (2015), bahwa metabolit sekunder volatil dan non volatil yang dihasilkan oleh *T. virens* dapat menghambat pertumbuhan *R. microporus* masing-masing sebesar 56,29% dan 88,52%. Secara umum, perbedaan kemampuan penghambatan oleh *Trichoderma* sp. jamur disebabkan oleh perbedaan jenis, strain jamur *Trichoderma*, serta jenis patogen. Metabolit sekunder yang dihasilkan *Trichoderma* spp. dalam

menghambat pertumbuhan patogen juga dipengaruhi oleh faktor-faktor lainnya seperti jenis dan konsentrasi senyawa antibiotik yang dihasilkan, jenis dan strain jamur, kehadiran jamur lain, laju keseimbangan biosintesis, serta biotransformasi (Degenkolb *et al.*, 2008; Vinale *et al.*, 2009). Lebih lanjut dijelaskan bahwa metabolit sekunder yang dihasilkan oleh marga *Trichoderma* di antaranya adalah *harzianic acid*, *alamethicins*, *peptaibols (trichor-zianine)*, *6-penthy-l- α -pyrone*, *viridin*, *gliovirin*, *gliotoxin*, *heptelidic* atau *koningic acid*, *isocyano derivatives (dermadin acid)* (Schuhmacher *et al.*, 2007; Zeilinger & Omann, 2007).



Gambar 3. Cara kerja kompetisi dari jamur *Trichoderma* terhadap jamur patogen: (A) patogen (kontrol), dan (B) metode *dual culture* (Sumber: Nakkeeran, 2011)

Figure 3. Description of how *Trichoderma* competing with fungal pathogens (A) pathogen (control), and (B) dual culture method. (Source: Nakkeeran, 2011)

Penelitian tentang pemanfaatan *Trichoderma* sebagai agens hayati lebih terfokus pada kinerjanya yang bersifat mikoparasitisme dan antibiosis karena memiliki pengaruh langsung terhadap pengendalian patogen tanaman (Harman, *et al.*, 2004). Hasil penelitian tentang kinerja mikoparasitisme menunjukkan bahwa jamur ini menghasilkan enzim antijamur seperti kitinase dan β -1,3 glucanases. Enzim-enzim ini bekerja secara sinergis satu sama lain untuk menghancurkan sel patogen (Harman, 2006). Menurut Chet

(1987) mikoparasitisme dari *Trichoderma* merupakan proses yang sangat kompleks dan terdiri dari beberapa tahap. *Trichoderma* melakukan interaksi awal dengan patogen, yaitu dengan cara membelokkan hifanya ke arah jamur inang sebagai fenomena respon kemotropik adanya rangsangan dari hifa inang ataupun senyawa kimia yang dikeluarkan oleh jamur inang. Setelah hifa *Trichoderma* menjangkau hifa inangnya, kemudian membelit dengan membentuk struktur seperti kait (*hook-like structure*) dan melakukan penetrasi

terhadap miselium inang. Bersamaan dengan penetrasi tersebut, jamur *Trichoderma* mengeluarkan enzim yang akan menghancurkan dinding sel jamur patogen, antara lain kitinase, protease, dan glukonase (Gambar 4). Protease akan bekerja mengkatalis hidrolisis molekul protein menjadi fragmen-fragmen besar dan peptidase yang menghidrolisis fragmen polipeptida menjadi asam amino. Kitinase

merupakan enzim yang mengkatalis degradasi hidrolitik kitin, terlibat dalam induksi ketahanan tanaman terhadap serangan jamur patogen, bekerja melarutkan dinding hifa patogen sehingga pertumbuhannya terhambat. Glukonase adalah enzim hidrolitik yang mampu menyebabkan lisis pada dinding sel patogen, yaitu β -1,3-glukanase yang berperan penting dalam menghambat pertumbuhan patogen.

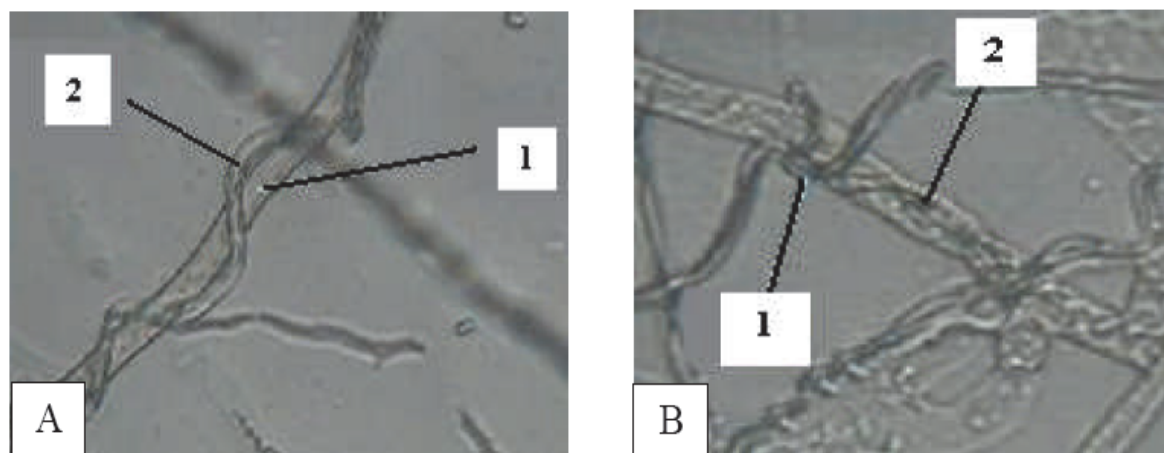
Tabel 2. Klasifikasi antagonis *Trichoderma* spp. terhadap pathogen

Table 2. Antagonistic characteristics of *Trichoderma* spp. toward pathogen

Kelas antagonis	Deskripsi
1	Patogen menutupi sebagian/seluruh koloni strain <i>Trichoderma</i>
2	Patogen/ <i>Trichoderma</i> mengkoloni setengah dari media, dan satu dengan yang lain saling mendominasi
3	Inisiasi <i>Trichoderma</i> tumbuh menutupi koloni patogen
4	<i>Trichoderma</i> tumbuh menutupi 2/3 permukaan koloni patogen
5	<i>Trichoderma</i> secara sempurna menutupi koloni patogen dan menutupi seluruh permukaan media

(Sumber: Chandrasekar *et al.* 2011)

(Source: Chandrasekar *et al.* 2011)



Gambar 4. Aktivitas mikoparasit *Trichoderma* sp.: (1) terhadap *Sclerotinia sclerotiorum* (2), A. bentuk struktur gulungan, B. struktur pengait (Sumber: Matroudi, *et al.*, 2009)

Figure 4. *Micoparasites activity of Trichoderma* sp.: (1) on *Sclerotinia sclerotiorum* (2), A. spiral structure, B. hook structure. (Source: Matroudi *et al.* 2011)

Hasil penelitian Amaria *et al.* (2015) melaporkan bahwa *T. virens* dan *T. atroviride* mempunyai mekanisme mikoparasitisme dalam menghambat pertumbuhan *R. microporus*, yaitu

memparasit patogen, menyebabkan dinding sel patogen lisis, tidak dapat berkembang, dan mati. *T. virens* menghasilkan enzim yang berfungsi sebagai antifungal, antara lain

trichodermin, gliotoxin, dan gliovirin (Viterbo, Inbar, Hadar, & Chet, 2007; Gupta *et al.*, 2014), sedangkan *T. atroviride* menghasilkan enzim hydrolytic seperti β -1,3-glucanases, β -1,6-glucanases, kitinase, dan protease untuk proses penetrasi (Kullnig, Mach, Lorito, & Kubicek, 2000; Gupta *et al.*, 2014).

Beberapa anggota dari marga *Trichoderma* dalam menekan patogen tanaman dengan cara antibiosis, yaitu menghasilkan antibiotik berupa senyawa toksin yang mampu menghancurkan propagul yang berisi spora-spora patogen di sekitarnya (Meidiantie, *et al.*, 2010). Hasil penelusuran yang dilakukan oleh Chandrasekar, *et al.* (2011) jamur *Trichoderma* menghasilkan lebih dari 43 jenis metabolit sekunder yang menunjukkan aktivitas antibiotik. Jamur *T. viride* menghasilkan trichodermin, dermadin, trichoviridin dan sesquiterpene heptalic acid. *T. hamatum* menghasilkan trichoviridin dan acrylic acid, sedangkan *T. harzianum* menghasilkan trichozianines.

Selain menghasilkan antibiotik, beberapa jenis *Trichoderma* juga menghasilkan berbagai senyawa yang mampu menginduksi respons resistensi tanaman terhadap patogen (Harman *et al.*, 2004), dan senyawa yang menjadi agens pemicu pertumbuhan tanaman (Garcia *et al.*, 2005). Dibandingkan dengan mekanisme mikoparasitisme, antibiosis dan kompetisi, induksi ketahanan terhadap penyakit sebenarnya merupakan mekanisme kerja *Trichoderma* yang paling penting untuk mengendalikan patogen tanaman (Cumagun, 2012). Demikian pula kemampuan dari *Trichoderma* untuk menghasilkan senyawa yang mampu memicu pertumbuhan tunas, akar dan buah, merupakan bentuk manfaat lain yang sangat penting untuk dikembangkan (John, *et al.*, 2010).

PEMANFAATAN *Trichoderma* SEBAGAI AGENS HAYATI PENGENDALI PENYAKIT TANAMAN PERKEBUNAN

Pemanfaatan *Trichoderma* sebagai agens hayati pengendali penyakit penting tanaman

perkebunan sudah lama dilakukan. Keunggulan menggunakan *Trichoderma* antara lain memiliki karakteristik kompetensi rizosfir dan saprofit, penghambatan terhadap patogen tinggi, mudah diperbanyak, berspektrum luas, aman untuk lingkungan, dan kompatibel dengan agens hayati lain (Jeyarajan & Nakkeeran, 2000). Berlian *et al.* (2013) menambahkan bahwa beberapa jenis *Trichoderma* merupakan agens hayati yang dapat membentuk struktur bertahan (klamidospora) sehingga mempunyai ketahanan terhadap pestisida kimia serta kondisi lingkungan yang miskin nutrisi. Hal inilah yang menyebabkan *Trichoderma* mudah beradaptasi dan memiliki persistensi tinggi sehingga berpotensi dalam menghambat perkembangan jamur patogen serta menekan serangan penyakit tanaman.

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa jamur antagonis ini efektif mengendalikan beberapa patogen yang menyerang berbagai tanaman budi daya termasuk komoditas perkebunan. *Trichoderma* sp. mampu menekan perkembangan *Phytophthora palmivora* pada buah kakao (Umrah, Anggraeni, Esyanti, & Aryantha, 2009). Hasil penelitian Bae *et al.* (2016) menunjukkan bahwa metabolit sekunder yang dihasilkan oleh jamur *Trichoderma* berpotensi untuk digunakan sebagai pengendali hayati penyakit yang disebabkan oleh jamur *Phytophthora*.

Jamur *T. harzianum* mampu menekan pertumbuhan dari jamur *Alternaria alternata* penyebab penyakit bercak cokelat (*brown spot*) pada tanaman tembakau (Gveroska & Ziberoski, 2012). *T. virens*, *T. hamatum*, *T. amazonicum*, dan *T. atroviride* mampu menghambat pertumbuhan jamur *Rigidoporus* sp. penyebab penyakit jamur akar putih (JAP) pada tanaman karet (Amaria *et al.*, 2013; Amaria & Wardiana, 2014)). Jamur *T. harzianum* mampu memperlambat masa inkubasi, menurunkan intensitas penyakit, menurunkan tingkat kevirulenan, menurunkan jumlah konidium akhir jamur *F. oxysporum* penyebab busuk rimpang, dan meningkatkan hasil rimpang kencur (Probowo, Prihatiningsih, & Soesanto, 2006).

Jamur *Trichoderma* selain memegang peranan penting dalam mengendalikan jamur patogen tanaman terutama jamur patogen tular tanah (*soil borne*) (Ha, 2010), juga dapat diandalkan untuk mengendalikan patogen yang berada di permukaan bagian tanaman. Sebagai agens biokontrol *Trichoderma* yang menghasilkan beberapa enzim seperti pectinases, cutinase, glucanase dan chitinase, dan terutama aktivitas enzim protease yang diaplikasikan pada bagian permukaan tanaman mampu menurunkan infeksi beberapa jamur patogen, antara lain: *Botrytis cinerea*, *Pseuoperonospora cubensis*, *Sclerotinia sclerotiorum*, dan *Sphaerotheca fusca* (syn. *S. fuliginea*) (Elad, 2000).

KESIMPULAN

Trichoderma merupakan jamur kosmopolit yang memiliki kemampuan adaptasi yang baik pada berbagai kondisi lingkungan dan berfungsi sebagai saprofit. Jamur ini berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai pengendali hayati penyakit penting tanaman budi daya. Mekanisme kinerja *Trichoderma* dalam mengendalikan patogen adalah sebagai kompetitor, menghasilkan antibiotik yang dapat mematikan patogen dan bersifat mikoparasit bagi jamur patogen. Beberapa jenis *Trichoderma* juga terbukti bekerja sebagai agens penginduksi ketahanan terhadap penyakit dan mampu merombak bahan organik dalam tanah menjadi unsur hara bagi tanaman, sehingga berfungsi sebagai promotor pertumbuhan tanaman. Jamur *Trichoderma* telah dimanfaatkan untuk pengendalian penyakit penting tanaman perkebunan, antara lain: penyakit busuk buah pada kakao, bercak coklat pada tembakau, jamur akar putih (JAP) pada karet, dan busuk rimpang pada kencur.

DAFTAR PUSTAKA

- Amaria, W., Taufiq, E., & Harni, R. (2013). Seleksi dan identifikasi jamur antagonis sebagai agens hayati jamur akar putih *Rigidoporus microporus* pada tanaman karet. *Buletin Riset Tanaman Rempah dan Aneka Tanaman Industri*, 4(1), 55–64. doi: <http://dx.doi.org/10.21082/jtidp.v4n1.2013.p55-64>.
- Amaria, W., & Wardiana. (2014). Pengaruh waktu aplikasi dan jenis *Trichoderma* terhadap penyakit jamur akar putih pada bibit tanaman karet. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*, 1(1), 45–54. doi: <http://dx.doi.org/10.21082/jtidp.v1n2.2014.p79-86>.
- Amaria, W., Harni, R., & Samsudin. (2015). Evaluasi jamur antagonis dalam menghambat pertumbuhan *Rigidoporus microporus* penyebab penyakit jamur akar putih pada tanaman karet. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*, 2(1), 235–244. doi: <http://dx.doi.org/10.21082/jtidp.v2n1.2015.p51-60>.
- Bae, S. J., Mohanta, T. K., Chung, J. Y., Ryu, M., Park, G., Shim, S., ... Bae, H. (2016). *Trichoderma* metabolites as biological control agents against *Phytophthora* pathogens. *Biological Control*, 92, 128–138.
- Benítez, T., Rincón, A.M., Limón, M.C., Codón, A.C. (2004). Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *Int Microbiol.*, 7(4), 249–60.
- Berlian, I., Setyawan, B., & Hadi, H. (2013). Mekanisme antagonisme *Trichoderma* spp. terhadap beberapa patogen tular tanah. *Warta Perkaretan*, 32(2), 74–82.
- Bouziane, Z., Dehimat, L., Abdel, A., Benabdelkader, M., & Kacem, C. (2011). The antagonism between *Trichoderma viride* and other pathogenic fungal strains in *Zea mays*. *Agric. Biol. J. N. Am.*, 2(4), 584–590. <http://doi.org/10.5251/abjna.2011.2.4.584.590>
- Cavaleante R.S., Lima, H.L.S, Pinto, G.A.S., Gava, C.A.T. & Rodrigues S. (2008). Effect of moisture on *Trichoderma* conidia production on corn and wheat bran by solid state fermentation. *Food*

- Bioprocess Technol.*, 1, 100–1004.
- Chet, I. (1987). *Innovative approaches to plant diseases control* (pp. 11–210). USA: John Wiley and Sons, A Wiley-Interscience Publication.
- Chandrasekar, G., Nakkeeran, S., Renukadevi, P., & Raguchander, T. (2011). Selection of fungal biocontrol agents (pp. 25–37). *International Workshop on “Production of Biocontrol agents” (Pseudomonas and Trichoderma)* 18–22 July. Coimbatore, India.
- Cumagun, C. J. R. (2012). Managing plant diseases and promoting sustainability and productivity with *Trichoderma*: The Philippine experience. *J. Agr. Sci. Tech.*, 14, 699–714.
- Degenkolb, T., von Dohren, H., Nielsen, K.F., Samuels, G.J., Bruckner, H. (2008). Recent advances and future prospects in peptaibiotics, hydrophobin, and mycotoxin research, and their importance for chemotaxonomy of *Trichoderma* and *Hypocrea*. *Chem. Biodiversity*, 5, 671–680.
- Elad, Y. (2000). Biological control of foliar pathogens by means of *Trichoderma harzianum* and potential modes of action. *Crop Protection*, 19(8–10), 709–714.
- Eziashi, E., Uma, N., Adekunle, A., & Airede, C. (2006). Effect of metabolites produced by *Trichoderma* species against *Ceratocystis paradoxa* in culture medium. *African Journal of Biotechnology*, 5(9), 703–706.
- Garcia, B.F.J, Santamarina, M.P., & Rosello, J. (2005). *Trichoderma*: mecanismos de control. *Phytoma*, 172, 106–107.
- Gupta, V.K., SchMoll, M., Herrera-EStrella, A., Upadhyay, R.S., Druzhinina, I., & Tuohy, M.G. (2014). *Biotechnology and biology of Trichoderma* (p. 527). Amsterdam, Netherlands: Elsevier B.V.
- Gveroska, B., & Ziberoski, J. (2012). *Trichoderma harzianum* as a biocontrol agent against *Alternaria alternata* on tobacco. *Applied Technologies & Innovations*, 7(2), 67–76.
- Ha, T. (2010). Using *Trichoderma* species for biological control of plant pathogens in Vietnam. *J. ISSAAS*, 16(1), 17–21.
- Harman, G. E. (2006). Overview of Mechanisms and Uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology*, 96(2), 190–194.
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species--opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews. Microbiology*, 2(1), 43–56. <http://doi.org/10.1038/nrmicro797>.
- John, R. P., Tyagi, R. D., Prévost, D., Brar, S. K., Pouleur, S., & Surampalli, R. Y. (2010). Mycoparasitic *Trichoderma viride* as a biocontrol agent against *Fusarium oxysporum* f. sp. adzuki and *Pythium arrhenomanes* and as a growth promoter of soybean. *Crop Protection*, 29(12), 1452–1459. <http://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.08.004>
- Kamalakaran, A. & Gopalakrishnan, C. (2011). Isolation of *Trichoderma* species from soil (pp. 9–12). *International Workshop on “Production of Biocontrol agents” (Pseudomonas and Trichoderma)* 18–22 July. Coimbatore, India.
- Kullnig, C., Mach, R. L., Lorito, M., & Kubicek, C. P. (2000). Enzyme diffusion from *Trichoderma atroviride* (= *T. harzianum* P1) to *Rhizoctonia solani* is a prerequisite for triggering of *Trichoderma* ech42 gene expression

- before mycoparasitic contact. *Appl. Environ. Microbiol.*, 66, 2232–2239.
- Matroudi, S., Zamani, M., & Motallebi, M. (2009). Antagonistic effects of three species of *Trichoderma* sp. on *Sclerotinia sclerotiorum*, the causal agent of canola stem rot. *Egyptian Journal of Biology*, 11, 37–44.
- Meidiantie, S., Muanis N.A., & Raharjo, A. (2010). *Petunjuk praktis membuat pestisida organik* (pp. 25–36). PT. Agromedia Pustaka. Cet-1.
- Msayleb, N. 2014. Soil ozonation as a sustainable alternative to methyl bromide fumigation and synthetic pesticides. Graduate Theses and Dissertation, Iowa State University. Ames, Iowa. 101 p.
- Nakkeeran, S., Chandrasekar, G., Renukadevi, P., & Raguchander, T. (2011). Mass production of *Trichoderma viride* (pp. 119–129). *International Workshop on "Production of Biocontrol agents" (Pseudomonas and Trichoderma)* 18–22 July. Coimbatore, India.
- Oka, I.N. (2005). *Pengendalian Hama Terpadu dan Implementasinya di Indonesia*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta. 255 h.
- Perveen, K., & Bokhari, N. A. (2012). Antagonistic activity of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma viride* isolated from soil of date palm field against *Fusarium oxysporum*. *African Journal of Microbiology Research*, 6(13), 3348–3353.
<http://doi.org/10.5897/AJMR12.247>
- Probowo, A., Prihatiningsih, N., & Soesanto, L. (2006). Potensi *Trichoderma harzianum* dalam mengendalikan sembilan isolat *Fusarium oxysporum* Schlecht. f. sp. zingiberi Trujillo pada kencur. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, 8(2), 76–84.
- Reza, M., Motlagh, S., & Samimi, Z. (2013). Evaluation of *Trichoderma* spp., as biological agents in some of plant pathogens, 4(3), 173–179.
- Schmoll, M., & Schuster, A. (2010). Biology and biotechnology of *Trichoderma*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 87(3), 787–99. doi: 10.1007/s00253-010-2632-1.
- Schumutterer, H. (1995). *The Neem Tree, Source of Unique Natural Product for Integrated Pest Management, Medicine Industrial Other Purpose*. VCH Verlagsgesellschaft, Vanheim. Federal Republic of Germany. p 9.
- Schuhmacher, R., Stoppacher, N., & Zeilinger, S. (2007). Peptaibols of *Trichoderma atroviride*: Screening, identification, and structure elucidation by liquid chromatography-tandem mass spectrometry (pp. 609–617). In Méndez Vilas, A. (Ed.), *Communicating current research and educational topics and trends in applied microbiology*.
- Suharna, N. (2002). Keberadaan dan distribusi jenis-jenis *Trichoderma* di hutan kawasan taman nasional Gunung Halimun. *Berita Biologi*, 6(1), 159–165.
- Supriadi. (2006). Analisis risiko agens hayati untuk pengendalian patogen pada tanaman. *Jurnal Litbang Pertanian*, 25(3), 75–80.
- Tengkano, W., Harnoto, Taufik, M., & Iman, M. (1992). Dampak negatif insektisida terhadap musuh alami pengisap polong. Seminar Hasil Penelitian Pendukung Pengendalian Hama Terpadu. Kerjasama Program Nasional PHT, BAPPENAS dengan Faperta-IPB. 29 p.
- Tapwal, A., Singh, U., Teixeira, J. A., Singh, G., Garg, S., & Kumar, R. (2011). In Vitro Antagonism of *Trichoderma viride* against Five Phytopathogens. *Pest*

- Technology*, 5(1), 59–62.
- Trigiano, R.N., Windham, M.T., & Windham, A.S. (2008). *Plant pathology: Concepts and laboratory exercises* (p. 558). Second Edition. New York: CRC Press.
- Umrah, Anggraeni, T., Esyanti, R. R., & Aryantha, I. N. P. (2009). Antagonisitas dan efektivitas *Trichoderma* sp dalam menekan perkembangan *Phytophthora palmivora* pada buah kakao. *J. Agroland*, 16(1), 9–16.
- Verma, M., Brar, S. K., Tyagi, R. D., Surampalli, R. Y., & Valéro, J. R. (2007). Antagonistic fungi, *Trichoderma* spp.: Panoply of biological control. *Biochemical Engineering Journal*.
- Vinale, F., Ghisalberti, E.L., Sivasithamparam, K., Marra, R., Ritieni, A., Ferracane, R., ...Lorito, M. (2009). Factors affecting the production of *Trichoderma harzianum* secondary metabolites during the interaction with different plant pathogens. *Lett. Appl. Microbiol.*, 48, 705–711.
- Viterbo, A., Inbar, J., Hadar, Y., & Chet, I. (2007). Plant disease biocontrol and induced resistance via fungal mycoparasites. In C. P. Kubicek and I. Druzhinina (Ed.), *The Mycota IV: Environmental and microbial relationships* (pp. 127–146). Heidelberg, Germany: Springer.
- Yadav, L. S. (2012). Antagonistic activity of *Trichoderma* sp and evaluation of various agro wastes for mass production, 1(June), 109–112.
- Zeilinger, S., & Omann, M. (2007). *Trichoderma* biocontrol: Signal transduction pathways involved in host sensing and mycoparasitism. *Gene Regul. Syst. Biol.*, 1, 227–234.

