

MEKANISME ANTAGONISME *Trichoderma* spp. TERHADAP BEBERAPA PATOGEN TULAR TANAH

Mechanism of Antagonism of Trichoderma spp. Against Several Soil Borne Pathogens

Intan Berlian, Budi Setyawan, dan Hananto Hadi
Balai Penelitian Getas, Jl. Patimura Km 6, Kotak Pos 804 Salatiga 50702, email: baligetas@yahoo.com

Diterima tgl 20 Februari 2013 /Disetujui tgl 8 Juli 2013

Abstrak

Karet memiliki peran sangat penting bagi perekonomian Indonesia. Beberapa kendala rendahnya produktivitas karet di Indonesia adalah kurangnya penerapan teknologi budidaya karet, gangguan cuaca, iklim dan hama penyakit. Penyakit jamur akar putih yang disebabkan patogen *Rigidoporus microporus* merupakan penyakit penting pada tanaman karet. Salah satu alternatif untuk pengendalian JAP adalah pemanfaatan jamur *Trichoderma* spp. Mekanisme pengendalian *Trichoderma* spp. terhadap jamur patogen tumbuhan yaitu dengan kompetisi terhadap tempat tumbuh dan nutrisi, antibiosis, dan parasitisme. Antibiosis mempunyai peran penting dalam proses pengendalian dan hampir selalu terkait dengan mekanisme lain yaitu kompetisi dan mikoparasitisme. Satu mekanisme penghambatan yang dimiliki *Trichoderma* spp. tidak dapat bekerja sendiri untuk menghasilkan penghambatan yang signifikan. Konsep pengendalian penyakit dengan agen hayati akan berhasil jika terdapat keseimbangan antara faktor suhu, pH, dan kelembaban yang optimum. Mekanisme antagonisme yang dimiliki oleh *Trichoderma* spp. berpotensi besar sebagai pengendali patogen tular tanah *Rigidoporus microporus* penyebab penyakit jamur akar putih.

Kata kunci: *Trichoderma* spp., *Rigidoporus microporus*, kompetisi, mikoparasitisme, antibiosis

Abstract

Rubber has played an important role in supporting Indonesia's economic. The low productivity of rubber plantations in Indonesia is

caused inappropriate adoption of the recommended rubber cultivation technology, due to weather/climate, pest and disease. White root disease caused by Rigidoporus microporus is an important disease in rubber plants. Trichoderma spp. have been reported to be an effective antagonists against many plant pathogenic fungi, including Rigidoporus microporus. The inhibitory mechanism of Trichoderma spp. against Rigidoporus microporus was through space competition, mycoparasitism and antibiosis. Antibiosis has an important role in the process of disease control and it is most likely associated with other mechanisms of competition and mycoparasitism. Only one mechanism of inhibition by Trichoderma spp. will not provide an effective or significant inhibition. The concept of disease control by using biological agents will be successful only if there is a balance amongst temperature, pH and humidity factors. The mechanism of antagonism of Trichoderma spp. have a great potential as the controlling agent the soil borne pathogens of Rigidoporus microporus that causes white root disease in rubber plant.

Key words: Trichoderma spp., Rigidoporus microporus, competition, mycoparasitism and antibiosis.

Pendahuluan

Karet merupakan salah satu komoditi perkebunan penting di Indonesia, baik sebagai sumber pendapatan, kesempatan kerja dan devisa, pendorong pertumbuhan ekonomi sentra-sentra baru di wilayah sekitar perkebunan karet maupun pelestarian lingkungan dan sumberdaya hayati. Menurut data Direktorat Jenderal Perkebunan (2012), pada tahun 2011 luas perkebunan karet di Indonesia yaitu 3.450.144 ha dengan total produksi 2.640.849 ton karet kering. Meskipun

Indonesia sebagai negara dengan luas areal terbesar dan produksi kedua terbesar dunia, tetapi masih ada beberapa kendala yang dihadapi. Beberapa kendala yang menyebabkan rendahnya produktivitas karet di Indonesia adalah kurangnya penerapan teknologi budidaya karet, gangguan cuaca dan iklim serta serangan hama dan penyakit.

Kerugian yang disebabkan penyakit tanaman tidak hanya kehilangan hasil akibat kerusakan tanaman tetapi juga besarnya biaya yang diperlukan untuk pengendaliannya. Penyakit pada tanaman karet biasanya disebabkan oleh serangan jamur dan gangguan fisiologis seperti kekurangan unsur hara, lingkungan yang tidak mendukung untuk pertumbuhan karet dan drainase yang kurang baik. Penyakit jamur akar putih (JAP) yang disebabkan patogen *Rigidoporus microporus* (*R. microporus*) merupakan penyakit penting pada tanaman karet. JAP dapat menyerang semua umur tanaman, tetapi lebih banyak di kebun karet muda. Tanaman yang terserang daunnya akan tampak kusam, melengkung ke bawah (daun yang sehat berbentuk seperti perahu), daun menguning, mudah rontok, kadang-kadang terbentuk bunga dan buah sebelum waktunya. Serangan berat menyebabkan akar busuk sehingga tanaman mudah rebah. Pada permukaan akar akan terdapat benang-benang miselium jamur (rizomorf) berwarna putih menjalar di sepanjang akar dan dapat mencapai ± 180 cm (Nadris *et al.*, 1987; Semangun, 2004).

Penularan JAP pada umumnya melalui kontak akar tanaman sehat dengan tanaman sakit. Patogen JAP merupakan jamur polifag yang dapat menyerang bermacam-macam tanaman seperti teh, kopi, kakao, kelapa, kelapa sawit, mangga, nangka, ubi kayu, jati, cengkeh dan tanaman kayu lainnya. Jamur *R. microporus* merupakan patogen tular tanah (*soil-borne pathogens*) yaitu kelompok mikroorganisme yang sebagian besar siklus hidupnya berada di dalam tanah dan memiliki kemampuan untuk menginfeksi perakaran atau pangkal batang sehingga dapat menyebabkan infeksi dan kematian bagi tanaman. Ciri-ciri utama patogen tular tanah

adalah mempunyai stadia penyebaran dan masa bertahan yang terbatas di dalam tanah, walaupun beberapa patogen tular tanah ini dapat menghasilkan spora udara sehingga dapat menyebar ke areal yang lebih luas. Patogen *R. microporus* dapat bertahan dalam tanah tergantung dari banyak sedikitnya sisa-sisa akar dan kayu yang tertinggal dalam tanah, dan dari berbagai faktor yang mempengaruhi pembusukan (Nadris *et al.*, 1987; Semangun, 2004). JAP dapat bertahan sampai 6, 20, dan 40 bulan pada akar dengan diameter 0,6 cm, 2,5 cm, dan 7,5 cm (Semangun, 2004).

Pengendalian JAP pada tanaman karet dapat dilakukan dengan membersihkan sumber infeksi sebelum dan sesudah penanaman karet. Salah satu alternatif pengendalian JAP yang mempunyai prospek baik adalah pemanfaatan agen hayati jamur *Trichoderma spp.* Jamur ini dapat ditemukan pada berbagai jenis tanah.

Tahun 1791 empat spesies dari genus *Trichoderma* telah diperkenalkan di Jerman. Spesies *Trichoderma* dibedakan berdasarkan warna dan bentuk konidia serta penampilan koloni. Sebagian besar spesies diidentifikasi sebagai *Trichoderma lignorum* (*T. lignorum*/*T. viride*) dengan ciri konidia bulat dan *T. koningii* mempunyai konidia lonjong. Potensi penggunaan *Trichoderma spp.* sebagai agen pengendalian hayati telah disarankan lebih dari 75 tahun yang lalu oleh Weindling berdasarkan aktivitas penghambatan *Trichoderma spp.* terhadap patogen tular tanah *Rhizoctonia solani* (*R. solani*) (Elad dan Hadar, 1981; Strashnov *et al.*, 1985; Mohidin *et al.*, 2010).

Menurut Sivan dan Chet (1986) dan Calvet *et al.* (1990) beberapa jenis *Trichoderma spp.* dapat mengurangi insiden patogen tular tanah pada kondisi alamiah. Faktor seperti pH tanah, aerasi dan sumber nutrisi merupakan faktor yang mempengaruhi perkembangan *Trichoderma spp.* di lapangan. Pada pH rendah dan keadaan yang lembab, *Trichoderma sp.* akan berkembang dengan baik. *Trichoderma spp.* banyak digunakan sebagai agen hayati untuk mengendalikan patogen tular tanah

Sclerotinia sp., *Fusarium* sp., *Pythium* sp., *Rhizoctonia* sp. (Hajieghrari *et al.*, 2008), *Ganoderma* sp. dan *Rigidoporus microporus* (Widyastuti, 2006; Jayasuriya dan Thennakoon, 2007).

Penelitian di Rubber Research Institute of Nigeria (RRIN) tentang pengendalian *R. microporus* menggunakan tiga jamur antagonis yaitu *Trichoderma* sp, *Penicillium* dan *Aspergillus* menunjukkan bahwa *Trichoderma* sp. paling efektif menghambat *R. microporus* dengan penghambatan 81,85%, diikuti oleh *Penicillium* (65,27%), sedangkan *Aspergillus* tidak mempunyai daya hambat (Omorusi *et al.*, 2011).

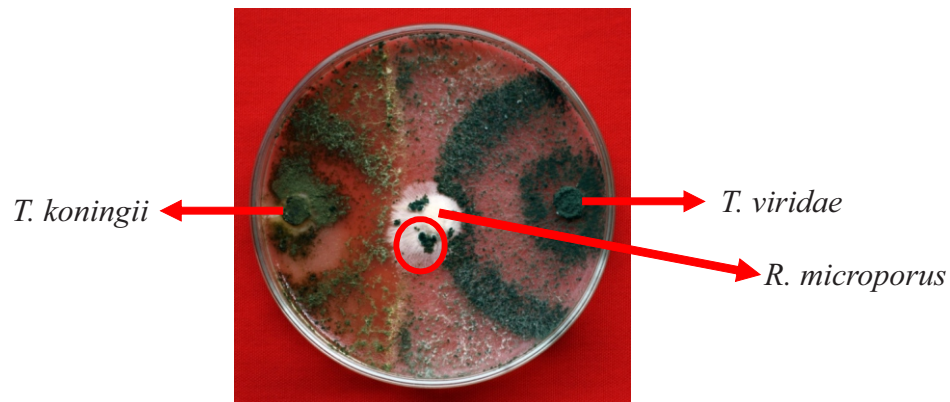
Keuntungan menggunakan *Trichoderma* spp. yang berpotensi sebagai agen hayati adalah pertumbuhannya cepat, mudah dikulturkan dalam biakan maupun kondisi alami. Selain itu, beberapa jenis *Trichoderma* spp. dapat bertahan hidup dengan membentuk klamidospora pada kondisi yang tidak menguntungkan dan cukup tahan terhadap fungisida dan herbisida.

Menurut Hajieghrari (2008), *T. harzianum*, *T. viridae*, *T. virens*, *T. hamatum*, *T. roseum* dan *T. koningii* merupakan spesies yang sering digunakan sebagai agen pengendalian hayati. Perkembangan selanjutnya, *Trichoderma* diproduksi untuk tujuan komersial. *T. harzianum* isolat T39 (Trichodex[®] oleh Machteshim, Israel) adalah produk pertama yang terdaftar untuk dikomersialisasikan sebagai agen hayati dan banyak diaplikasikan di kebun anggur (Freeman *et al.*, 2004.). Ecofit[®] (*T. viridae*) dan Tri 002[®] (*T. harzianum*) yang dipasarkan di India dan Eropa, masing-masing untuk mengendalikan patogen tanah pada berbagai tanaman sayuran yang ditanam di lapangan dan di rumah kaca (Koch, 1999). Soilgard[®] (*T. virens* GL21) merupakan biopestisida yang terdaftar di Amerika Serikat (Lumsden *et al.*, 1996). Produk komersial biopestisida Binab-T[®], GlioGard[®] dan RootShield[®] juga dilaporkan efektif untuk mengendalikan patogen tanah penyebab rebah semai dan busuk akar (Barbosa *et al.*, 2001), Supresivit[®] (*T. harzianum*) untuk mengendalikan *Phytophthora* sp. dan *Pythium ultimum* (Brožová, 2004).

Mekanisme Antagonisme *Trichoderma* spp.

Mekanisme pengendalian dengan agen hayati terhadap jamur patogen tumbuhan secara umum dibagi menjadi tiga macam, yaitu kompetisi terhadap tempat tumbuh dan nutrisi, antibiosis, dan parasitisme (Baker dan Cook, 1982). Umumnya kematian mikroorganisme disebabkan kekurangan nutrisi, oleh karena itu pengendalian dengan agen hayati salah satunya bertujuan untuk memenangkan kompetisi dalam mendapatkan nutrisi. Beberapa jenis *Trichoderma* spp. menghasilkan siderofor yang mengkhelat besi dan menghentikan pertumbuhan jamur lain. Pada siklus hidup *Fusarium* sp., kebutuhan nutrisi sangat diperlukan untuk mempertahankan tingkat perkecambahan spora 20-30%. Perkecambahan tersebut dapat menurun jika terjadi kompetisi nutrisi dengan mikroorganisme lain. Mohidin *et al.*, (2010) melaporkan *T. harzianum* T35 berhasil mengendalikan *Fusarium oxysporum* (*F. oxysporum*) dengan cara mengkoloni rizosfer dan mengambil nutrisi lebih banyak. Kompetisi nutrisi juga dilakukan *T. viride* untuk mengendalikan *Chondrostereum purpureum* (Grosclaude *et al.*, 1973).

Trichoderma spp. adalah jamur saprofit tanah yang secara alami merupakan parasit dan menyerang banyak jenis jamur penyebab penyakit tanaman atau memiliki spektrum pengendalian yang luas. Jamur *Trichoderma* spp. dapat menjadi hiperparasit pada beberapa jenis jamur penyebab penyakit tanaman dan pertumbuhannya sangat cepat (Gambar 1). Dalam keadaan lingkungan yang kurang baik, miskin hara atau kekeringan, *Trichoderma* spp. akan membentuk klamidospora sebagai propagul untuk bertahan dan berkembang kembali jika keadaan lingkungan sudah menguntungkan. Oleh karena itu dengan sekali aplikasi *Trichoderma* spp. akan tetap tinggal dalam tanah. Hal ini merupakan salah satu kelebihan pemanfaatan *Trichoderma* spp. sebagai agen pengendalian hayati khususnya untuk patogen tular tanah.



Gambar 1. Spektrum pertumbuhan *Trichoderma* spp. yang lebih cepat dan dapat memarasit *R. microporus* (lingkaran merah) (Chet *et al.*, 2005)

Antibiosis adalah mekanisme antagonisme yang melibatkan hasil metabolit penyebab lisis, enzim, senyawa folatil dan non-folatil atau toksin yang dihasilkan oleh suatu mikroorganisme. Meskipun mikoparasitisme dianggap sebagai mekanisme antagonisme yang utama, tetapi penelitian lebih lanjut mengungkapkan bahwa metabolit sekunder yang dihasilkan *Trichoderma* spp. juga berperan penting dalam aktifitas antijamurnya (Chet *et al.*, 2005). Beberapa metabolit sekunder yang dihasilkan *Trichoderma* spp. yaitu :

a. *Lytic activity*. *Trichoderma* spp. diketahui mempunyai kemampuan mendegradasi dinding sel jamur inang. Howell (2003) mempelajari mekanisme molekuler enzim litik yang terlibat dalam aktivitas agen hayati *T. harzianum* dan menyatakan bahwa degradasi dinding sel jamur terutama disebabkan kitinase, glukanase dan protease. Jika hifa *Trichoderma* spp. melekat dan melilit hifa jamur inang, maka hifa inang mengalami vakoulasi, lisis dan akhirnya hancur. *Trichoderma* spp. melakukan penetrasi ke dalam dinding sel inang tersebut dengan bantuan enzim pendegradasi dinding sel seperti kitinase, glukanase, dan protease, serta menggunakan isi hifa inangnya sebagai sumber makanan. Hasil penelitian selanjutnya (Howell, 2005) menyebutkan interaksi tersebut dapat dibuktikan dengan adanya fluoresensi menggunakan pewarna *fluorescein*

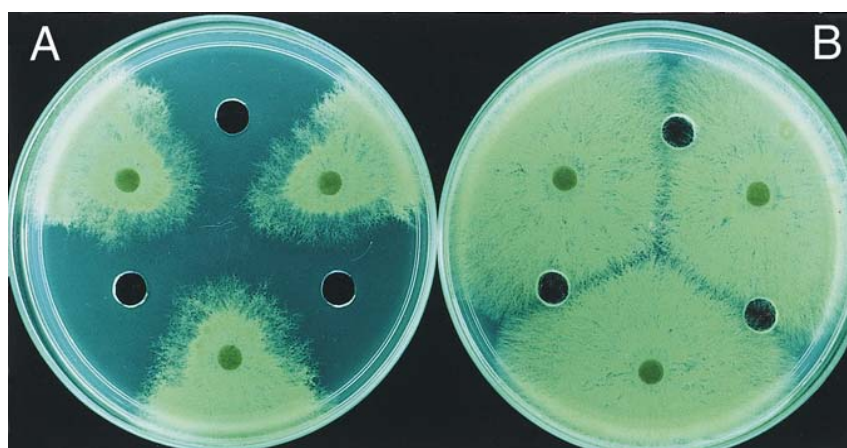
isothiocyante-terkonjugasi lectin yang mengikat *chitotriose*, atau dengan *Calcofluor White* yang mengikat oligomer β -glucan dan *N-asetil-D-glukosamin* (GlcNAc).

- b. *Alkyl pyrones*. Metabolit sekunder ini merupakan antibiotik yang dihasilkan oleh *T. harzianum*, *T. viride*, *T. koningii* dan *T. hamatum* (Howell, 2005). Menurut Rajathilagam (2001) *cit.* Rajeswari & Kannabiran (2011), *T. harzianum* memproduksi senyawa folatil (*alkil pyrones*) yang bersifat antijamur yaitu dapat menghambat perkecambahan dan pertumbuhan miselia *Colletotrichum capsici*. *T. harzianum* juga menghasilkan *6-n-pentyl-2H-pyran-2-1* and *6-n-pentenyl-2H-pyran-2-1*. *Pentyl* merupakan metabolit utama yang dapat mengendalikan *R. solani* penyebab rebah semai (Claydon *et al.*, 1987).
- c. *Isonitriles*. Salah satu antibiotik yang termasuk senyawa ini adalah *isonitrin* A-D dan *isonitrinic acids* E dan F yang dihasilkan oleh *T. hamatum*, *T. harzianum*, *T. koningii*, *T. polysporum*, dan *T. viride* (Howell, 2005), dan pola produksinya tergantung masing-masing spesies. *Isonitrin* A efektif sebagai antibakteria dan antijamur, sedangkan *isonitrin* D hanya efektif sebagai antijamur. Menurut Faull *et al.*, (1994), antibiotik *isonitrile* dapat mengendalikan *F. oxysporum*, *R. solani* dan *Pythium ultimum*.

- d. *Polyketides*. Salah satu antibiotik yang termasuk senyawa ini adalah *harzianolide* yang diproduksi oleh *T. harzianum* dan diketahui dapat menghambat pertumbuhan jamur patogen. Senyawa ini juga menekan perkecambahan spora *F. oxysporum* f.sp. *melonis* dan klamidospora *F. oxysporum* f.sp. *vasinfectum*. *Harzianolide* juga dihasilkan oleh *T. koningii* (Howell, 2005). *Harzianolide* yang dihasilkan *T. harzianum* dapat menghambat perkecambahan konidia dan klamidospora *F. oxysporum* (Sharma, 2011), *G. graminis*, *F. culmorum*, *F. moniliforme* (Kucuk dan Kivan, 2004) dan *Cladosporium herbarum* (Barbosa *et al.*, 2001).
- e. *Peptaibols*. Salah satu antibiotik yang termasuk senyawa ini adalah *peptide trichopolyns* A dan B yang dihasilkan oleh *T. polysporum* dan mempunyai daya hambat terhadap perkembangan jamur patogen dan bakteri gram positif (Fuji *et al.*, 1978). Hasil ekstraksi jamur *T. koningii* menghasilkan 19-residu *peptaibol trikoningin* KAV dan 11-residu *lipopeptaibols trikoningins* KBI and KBII (Auvin-Guette *et al.*, 1993). Ketiganya terbukti sangat aktif terhadap bakteri gram positif *Staphylococcus aureus* tetapi tidak aktif terhadap gram negatif *Escherichia coli*. Senyawa lain yang juga

termasuk senyawa ini adalah *Trichorzianines* yang dihasilkan oleh *T. harzianum*. *Trichorzianines* merupakan peptida dengan 19-residu asam amino yang sebagian besar adalah *α-aminoisobutyric acid*. Masing-masing *trichorzianines* A dan B pernah dibuktikan dapat menekan pertumbuhan *Sclerotium rolfsii* sebesar 70% dan 36% (Correa *et al.*, 1995).

- f. *Diketopiperazines*. Refisi yang mengklasifikasikan *Gliocladium virens* ke dalam genus *Trichoderma* menyebabkan daftar antibiotik yang dihasilkan oleh anggota genus ini semakin luas dan mencakup *diketopiperazines*. Antibiotik yang dihasilkan oleh *T. virens* pertama kali diisolasi oleh Weindling dan Emerson (1936), kemudian disebut sebagai gliotoksin (Weindling, 1941). Gliotoksin telah terbukti dapat menghambat pertumbuhan miselia, pembentukan sporangium, dan motilitas zoospora dari beberapa spesies *Phytophthora*. Howell (2003) melaporkan bahwa gliotoksin hanya diproduksi oleh strain tertentu (yang disebut strain "Q") dalam *T. virens*. Penelitian lebih lanjut menunjukkan bahwa strain penghasil gliotoksin memberikan penghambatan yang baik terhadap *R. solani* (Gambar 2).

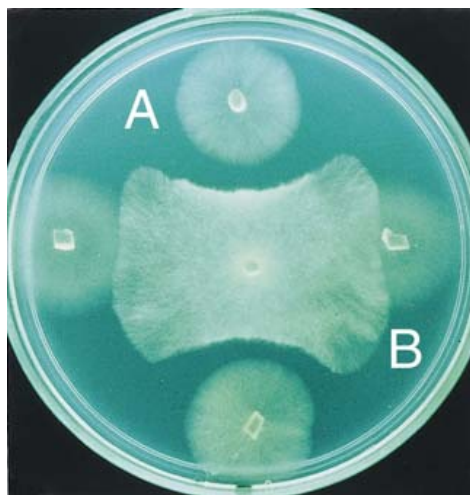


Gambar 2. Mekanisme penghambatan antibiotik gliotoksin terhadap *R. solani* (A), medium tanpa antibiotik gliotoksin (B) (Howell, 2003).

Antibiotik *diketopiperazine* gliovirin juga diproduksi oleh *T. virens* (Gambar 3), tetapi tidak oleh strain yang memproduksi gliotoksin. Gliovirin yang diproduksi oleh jamur strain "P" sangat toksik terhadap *P. ultimum*, dan strain "P" adalah agen pengendalian hayati yang lebih efektif dibandingkan strain "Q" (Howell, 2005).

- g. *Sesquiterpenes*. Metabolit *carotane sesquiterpene* CAF-603 dihasilkan oleh *T. virens* dan memiliki aktivitas antibiotik (Watanabe *et al.*, 1990). *T. virens* juga menghasilkan *heptelidic acid* bersama dengan *T. viride* dan *T. koningii*. Metabolit ini juga telah terbukti memiliki aktivitas antibiotik terhadap beberapa jenis bakteri anaerob, jamur *P. ultimum* dan *R. solani* dengan cara menghambat biosintesis kolesterol.

- h. *Steroids*. Salah satu antibiotik yang termasuk senyawa tersebut yaitu viridin (Brian dan McGowan, 1945 *cit.* Chet *et al.*, 2005) yang pertama kali diisolasi dari *T. viride* dan mempunyai kemampuan menghambat perkecambahan spora terhadap beberapa jamur. Kombinasi viridin dengan gliotoksin terbukti mampu menekan penyakit *black scurf* yang disebabkan *R. solani* pada kentang. Viridin juga dapat menekan secara langsung pertumbuhan *R. solani* dan *P. ultimum* serta perkecambahan sklerotia dari *Sclerotium rolfsii*. Pada jalur prekursor viridian dapat dihasilkan produk akhir bernama viridiol.



Gambar 3. Mekanisme penghambatan antibiotik gliovirin *T. virens* terhadap *Pythium ultimum* (A). *T. virens* dengan antibiotik gliovirin mutan (B). (Howell, 2003).

Mekanisme parasitisme merupakan fenomena menarik yang berperan penting dalam proses pengendalian hayati. *Trichoderma sp.* biasanya menggunakan mekanisme ini bersama mekanisme lain yaitu kompetisi dan antibiosis. *Trichoderma spp.* telah diujikan terhadap beberapa patogen tanaman seperti *Ganoderma sp.* (Widyastuti *et al.*, 1998a), *R. lignosus* (Widyastuti dan Sumardi, 1998; Widyastuti *et al.*, 1998b; Widyastuti *et al.*, 2001), *Rhizoctonia sp.*,

Fusarium sp. (Lumsden *et al.*, 1992 *cit.* Chet *et al.*, 2005) dan *Sclerotium rolfsii* (Widyastuti *et al.*, 2003) dan hasilnya menunjukkan *Trichoderma sp.* secara efektif dapat menekan pertumbuhan jamur patogen.

Menurut Baker dan Cook (1982), pada umumnya mekanisme antagonisme *Trichoderma spp.* dalam menekan patogen yaitu sebagai mikoparasitik dan kompetitor yang agresif. Awalnya, hifa *Trichoderma spp.* tumbuh memanjang, kemudian membelit dan

mempenetrasi hifa jamur inang (Gambar 4) sehingga hifa inang mengalami vakoulasi, lisis dan akhirnya hancur. Menurut Harjono dan Widyastuti (2001), *Trichoderma* spp. melakukan penetrasi ke dalam dinding sel inang dengan bantuan enzim pendegradasi dinding sel yaitu kitinase, glukonase, dan protease, selanjutnya menggunakan isi hifa inang sebagai sumber makanan. Pada saat melilit dan menghasilkan enzim untuk

menembus dinding sel inang, *Trichoderma* sp. juga menghasilkan antibiotik seperti gliotoksin dan viridian. Widyastuti (2006) *cit.* Hadisudarmo (2009) menguji tiga spesies *Trichoderma* terhadap patogen *Ganoderma pilippii* yang diisolasi dari berbagai macam pohon dan hasilnya menunjukkan bahwa *T. reesei* paling efektif sebagai mikoparasit diikuti oleh *T. koningii* dan *T. harzianum*.



Gambar 4. Mekanisme mikoparasit oleh *Trichoderma* spp. terhadap *R. solani*. (Howell, 2005).

Baker dan Cook (1982) melaporkan bahwa *T. harzianum* dan *T. hamatum* bertindak sebagai mikoparasit terhadap jamur *R. solani* dan *S. rolfsii* dengan menghasilkan enzim β -(1,3) glukonase dan kitinase yang menyebabkan eksolisis pada hifa inang. Selain itu, *T. hamatum* juga menghasilkan enzim selulase sehingga menambah kemampuannya sebagai mikoparasit pada jamur *Phytium* spp. Laporan lain menunjukkan kombinasi kedua enzim β -(1,3) glukonase dan kitinase meningkatkan kemampuan mengkoloni sklerotium (Elad *et al.*, 1980). Baker dan Cook (1982) juga menyatakan bahwa enzim β -(1,3) glukonase dihasilkan oleh jamur *T. koningii* dan mampu menghancurkan miselia *Sclerotinia sclerotiorum*.

Kesimpulan

1. Mekanisme antagonisme *Trichoderma* spp. melalui kompetisi terhadap tempat tumbuh dan nutrisi, antibiosis, dan parasitisme.

2. Satu mekanisme penghambatan yang dimiliki *Trichoderma* spp. tidak dapat bekerja sendiri untuk menghasilkan penghambatan yang signifikan. Konsep pengendalian penyakit dengan agen hayati tersebut akan berhasil jika terdapat keseimbangan antar faktor yang mempengaruhi.
3. Mekanisme antagonisme yang dimiliki oleh *Trichoderma* spp. berpotensi besar sebagai pengendali patogen tular tanah *R. microporus* penyebab penyakit jamur akar putih.

Daftar Pustaka

- Auvin-Guette, C., S. Rebuffat, I. Vuidepot, M. Massias and B. Bodo. 1993. Structural elucidation of trikoningins KA and KB, Peptaibols from *Trichoderma koningii*. J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1: 249 – 255.

- Baker, K. F. dan R. J. Cook. 1982. Biological control of plant pathogens. The American Phytopathology Society. Minnesota Fravel.
- Barbosa, M. A. G., K. G. Rehn, M. Menezes, and R. de L.R. Mariano. 2001. Antagonism of *Trichoderma* species on *Cladosporium herbarum* and their enzymatic characterization. Brazilian Journal of Microbiology 32 :98-104.
- Brožová, J. 2004. Mycoparasitic fungi *Trichoderma* spp. in plant protection. Plant Protect. Sci. 40(2) :63-74.
- Calvet, C, J. Pera, and J. M. Barea. 1990. Interactions of *Trichoderma* spp. with *Glomus mosseae* and two wilt pathogenic fungi. Agriculture, Ecosystems and Environment-29(1 4) :59-65.
- Chet, I., N. Benhamou, and S. Haran. 2005. Mycoparasitism and lytic enzymes. In Harman, G. E. and C. P. Kubicek (Eds), *Trichoderma* and *Gliocladium* enzymes biological control and commercial applications Volume 2. Taylor and Francis. London.
- Claydon, N., M. Allan, J. R. Hanson, A. G. Avent. 1987. Antifungal alkyl pyrones of *Trichoderma harzianum*. Transactions of the British Mycological Society. 88 (4) : 503 – 513.
- Correa, A., S. Rebuffat, B. Bodo, M. F. Roquebert, J. Dupont, and L. Bettucci. 1995. In vitro inhibitory activity of trichorzianines of *Sclerotium rolfsii* Sacc. Crypt. Mycol. 16:185-190.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2012. Luas areal dan produksi perkebunan seluruh indonesia menurut pengusaha. <www.ditjenbun.go.id>. Diakses tanggal 23 Januari 2013.
- Elad, Y., I. Chet, and J. Katan. 1980. *Trichoderma harzianum*: a biocontrol agent effective against *Sclerotium rolfsii* and *Rhizocionia solani*. Phytopathology 70:119-121.
- Elad, Y and Y. Hadar. 1981. Biological Control of *Rhizoctonia solani* by *Trichoderma harzianum* in Carnation. Plant Disease 65 : 675-677.
- Faull, J. L, K. A. Graeme-Cook, and B. L. Pilkington. 1994. Production of an isonitrile antibiotic by an UV-induced mutant of *Trichoderma harzianum*. Phytochemistry. 36(5):1273-1276.
- Freeman, S, D. Minz, I. Kolesnik, O. Barbul, A. Zveibil, M. Maymon, Y. Nitzani, B. Kirshner, D. Rav-David, A. Bilu, A. Dag, S. Shafir, and Y. Elad. 2004. *Trichoderma* biocontrol of *Colletotrichum acutatum* and *Botrytis cinerea* and survival in strawberry. European Journal of Plant Pathology 110: 361-370.
- Fuji, K., E. Fujita, Y. Takaishi, T. Fujita, I. Arita, M. Komatsu, and N. Hiratsuka. 1978. New antibiotics, trichopolyns A and B: isolation and biological activity. Experientia 34:237-239.
- Grosclaude, C., J. L. Ricard, and B. Dubos, 1973 Inoculation of *Trichoderma viride* spores via pruning shears for biological control of *Stereum purpureum* on plum tree wounds. Plant Dis. Rep. 57: 25-28.
- Hadisudarmo, P. 2009. Biologi tanah: kajian pengelolaan tanah berwawasan lingkungan. Galang Press, Yogyakarta.
- Hajieghrari, B., M. Torabi-Giglou, M. R. Mohammadi, and M. Davari. 2008. Biological potential of some Iranian *Trichoderma* isolates in the control of soil borne plant pathogenic fungi. African Journal of Biotechnology 7 (8) :967-972.
- Harjono and S. M. Widyastuti. 2001. Antifungal activity of purified endochitinase produced by biocontrol agent *Trichoderma reesei* againsts *Ganoderma philippii*. Pakistan J. Biol. Sc. 4 (10) : 1232 - 1234.
- Howell, C. R. 2003. Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: the history and evolution of current concepts. Plant Disease 87 (1) : 4-10.
- Howell, C. R. 2005. The role of antibiosis in biocontrol. In Harman, G. E. and C. P. Kubicek (Eds). *Trichoderma* and *Gliocladium* enzymes biological control and commercial applications Vol 2. Taylor and Francis, London.

- Jayasuriya, K. E. and B. I. Thennakoon. 2007. Biological control of *Rigidoporus Microporus*, the cause of white root disease in rubber. Cey. J. Sci. (Bio. Sci.) 36 (1): 9 – 16.
- Koch, E. 1999. Evaluation of commercial products for microbial control of soil-borne plant diseases. Crop Protection 18 (2) : 119 – 125.
- Kucuk, C. and M. Kivan. 2004. *In vitro* antifungal activity of strains of *Trichoderma harzianum*. Turk J. Biol 28 : 111 - 115.
- Lumsden, R. D., J. F. Walter and C. P. Baker. 1996. Development of *Gliocladium virens* for damping-off disease control. Can. J. Plant Pathol 18 : 463 – 468.
- Mohiddin, F. A., M. R. Khan, S. M. Khan and B.H. Bhat. 2010. Why *Trichoderma* is considered super hero (super fungus) against the evil parasites ? Plant Pathology Journal 9 : 92 - 102.
- Nandris, D., M. Nicole, and J. P. Geiger. 1987. Root rot diseases. Plant Disease 71 (4) : 298 – 306.
- Omorusi, V. I., E. E. Omo-Ikerodah, and M. U. B. Mokwunye. 2011. Evaluation of effect of antagonistic fungi and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on incidences of some disease of *Hevea brasiliensis* (Muell. Arg). Nature and Science 9(12):151-154.
- Rajeswari, P. and B. Kannabiran. 2011. *In vitro* effects of antagonistic microorganisms on *Fusarium oxysporum* [Schlecht. Emend. Synd and Hans] infecting *Arachis hypogaea* L. Journal of Phytology 3(3): 83-85.
- Sharma, P. 2011. Complexity of *Trichoderma-Fusarium* interaction and manifestation of biological control. Australian Journal Crop Science 5 (8) : 1027 – 1038.
- Semangun, 2004. Penyakit-Penyakit Tanaman Perkebunan di Indonesia. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Sivan, A. and I. Chet. 1986. Biological control of *Fusarium* spp. in cotton, wheat and muskmelon by *Trichoderma harzianum*. Journal of Phytopathology 116 : 39 – 47.
- Y. Strashnov, Y. Elad, A. Sivan, Y. Rudich, and I. Chet. 1985. Control of *Rhizoctonia solani* fruit rot of tomatoes by *Trichoderma harzianum* Rifai. Crop Protection 4 (3) : 359–364.
- Watanabe, N., M. Yamagishi, T. Mizutani, H. Kondoh, S. H. Omura, H. Anada, and K. Kushida. 1990. CAF-603: A new antifungal carotane sesquiterpene: isolation and structure elucidation. J. Nat. Prod. 53: 1176–1181.
- Widyastuti, S. M. 2006. The biological control of *Ganoderma* root rot by *Trichoderma*. ACIAR Proceedings No. 124.
- Widyastuti, S. M. and Sumardi. 1998. Antagonistic potential of *Trichoderma* spp. against root rot pathogens of tree species. Asian J. Sust. Agric. 1 (2) : 1-8.
- Widyastuti, S. M., Sumardi, A. Sulthoni dan Harjono. 1998a. Pengendalian hayati penyakit akar merah pada akasia dengan *Trichoderma* spp. J. Perlind. Tan. Indon. 4 (2) : 65-72.
- Widyastuti, S. M., Sumardi, dan N. Hidayati. 1998b. Kemampuan *Trichoderma* spp untuk pengendalian hayati fungi akar putih pada *Acacia mangium* secara in vitro. Bull. Kehutanan 36 : 24-38.
- Widyastuti, S. M., Sumardi, dan P. Sumantoro. 2001. Efektivitas *Trichoderma* spp. sebagai pengendali hayati terhadap tiga patogen tular tanah pada beberapa jenis tanaman kehutanan. J. Perlind. Tan. Indon. 7(2) : 98-107.
- Widyastuti, S. M., Harjono, Sumardi, and D. Yuniarti. 2003. Biological control of *Sclerotium rolfsii* damping-off with three isolates of *Trichoderma* spp. Online J. Biol. Sc. 3(1) : 95-102.
- Weeden, C. R., A. M. Shelton and M. P. Hoffmann. 2008. Biological control: a guide to natural enemies in North America. < www.plant-health.co.za >. Diakses tanggal 22 Januari 2013.
- Weindling, R. 1941. Experimental consideration of the mold toxins of *Gliocladium* and *Trichoderma*. Phytopathology 31:991–1003.
- Weindling, R. and O. H. Emerson. 1936. The isolation of a toxic substance from the culture filtrate of *Trichoderma*. Phytopathology 26:1068–1070.