

PERANAN AGENS HAYATI DALAM MENGENDALIKAN PENYAKIT JAMUR AKAR PUTIH PADA TANAMAN KARET

The Role Of Biocontrol Agents To Control White Root Disease In Rubber

WIDI AMARIA, KHAERATI, dan RITA HARNI

Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar

Indonesian Research Institute for Industrial and Beverage Crops

Jalan Raya Pakuwon Km 2 Parungkuda, Sukabumi 43357, Indonesia

E-mail: w_amarial@yahoo.com

ABSTRAK

Penyakit jamur akar putih (JAP) yang disebabkan oleh *Rigidoporus microporus* merupakan penyakit penting pada tanaman karet (*Hevea brasiliensis*). Daerah serangan cukup luas dan menyebabkan kerugian ekonomi mencapai 1,8 triliun rupiah. *R. microporus* merupakan patogen tular tanah yang menginfeksi mulai pembibitan sampai tanaman dewasa di lapang melalui proses mekanis dan enzimatis. Patogen *R. microporus* menginfeksi Rhizomorf *R. microporus* cepat berkembang dan mampu bertahan selama bertahun-tahun di dalam tanah. Pengendalian dengan menggunakan fungisida kimia secara terus menerus dapat mengganggu kestabilan lingkungan. Upaya mengurangi dampak negatif tersebut, dilakukan melalui penerapan teknologi pengendalian hayati dengan pemanfaatan agens hayati. Keunggulan penggunaan agens hayati antagonis adalah mudah berkembang dan beradaptasi dengan lingkungan, mengurangi inokulum patogen, mudah didapatkan dan diperbanyak, serta aman untuk lingkungan. Agens hayati antagonis yang telah digunakan untuk mengendalikan penyakit JAP, antara lain dari kelompok jamur *Trichoderma*, *Hypocrea*, *Aspergillus*, *Chaetomium*, *Botryodiplodia*, *Penicillium*, *Paecilomyces*, dan *Eupenicillium*, kelompok bakteri adalah *Bacillus* dan *Pseudomonas*, serta kelompok aktinobakteri dari marga *Streptomyces*. Mekanisme agens hayati menekan infeksi *R. microporus* dengan kompetisi, antibiosis, hiperparasitisme, dan lisis. Keefektifan dan kestabilan agens hayati perlu diformulasi dalam bentuk biofungisida dengan menggunakan bahan pembawa dan tambahan tertentu. Keberhasilan aplikasi biofungisida sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan pH. Selain itu, juga didukung oleh komponen budi daya tanaman, seperti penggunaan pupuk organik, dan sanitasi lingkungan dengan pemusnahan sumber inokulum.

Kata kunci: *Hevea brasiliensis*, pengendalian hayati, jamur akar putih

ABSTRACT

White root disease (WRD) caused by *Rigidoporus microporus* is an important disease in rubber (*Hevea brasiliensis*). The area of attack was quite extensive and caused economic losses up to 1.8 trillion rupiahs. *R. microporus* is a soil-borne pathogen that infects from seedlings to mature plants in the field through mechanical and enzymatic processes. Rhizomorph able to spreads and survives for years in the soil. Control using chemical fungicides continuously affects the environment stability. The efforts to reduce are conducted through the application of biological control technology with the use of antagonistic biological agents. The benefits of antagonistic biological agents include: easy to develop and adapt to the environment, reducing pathogen inoculum, easily obtained and reproduced, and safe for the environment. The antagonistic biological agents to control WRD include fungus: *Trichoderma*, *Hypocrea*, *Aspergillus*, *Chaetomium*, *Botryodiplodia*, *Penicillium*, *Paecilomyces*, *Eupenicillium*, bacteria: *Bacillus* and *Pseudomonas*, and actinobacteria: *Streptomyces*. The mechanism of biological agents that suppress *R. microporus* infections with the competition, antibiosis, hyperparasitism, and lysis. The effectiveness and stability of biological agents need to be formulated into biofungicide using carriers and additives. The successful application of biofungicide is strongly influenced by environmental factors such as temperature, humidity, and pH. It is also supported by the cultivation techniques and environmental sanitation, including inoculum source.

Keywords: *Hevea brasiliensis*, biological control, white root disease

PENDAHULUAN

Penyakit jamur akar putih (JAP) yang disebabkan oleh *Rigidoporus microporus* syn. *Rigidoporus lignosus* merupakan penyakit penting pada tanaman karet. Infeksi *R. microporus* mengakibatkan penurunan produksi dan kematian tanaman. Kehilangan hasil akibat penyakit ini secara ekonomis cukup tinggi, tidak hanya kehilangan produksi akibat infeksi penyakit tetapi mahalnya biaya yang diperlukan dalam pengendalian. Di Indonesia, kerugian finansial akibat kematian tanaman mencapai 1,8 triliun rupiah per tahun dengan perkiraan keparahan penyakit sebesar 3% di perkebunan besar dan 5% di perkebunan rakyat (Situmorang *et al.* 2007). Selanjutnya Natawijaya (2007) melaporkan dari 12 provinsi di Indonesia dengan kejadian penyakit JAP seluas 80.204 hektar, diperkirakan menyebabkan kerugian sebesar 10,39 milyar rupiah. Luas serangan JAP dari tahun ketahun mengalami peningkatan, seperti yang diungkapkan Muklasin dan Matondang (2010), pada tahun 2009 luas serangan 12.535,06 ha, meningkat menjadi 26.539,47 ha pada tahun 2010, dan tahun 2011 menjadi 16.251,49 ha. Kejadian penyakit JAP bahkan mencapai 100% dengan keparahan penyakit 52,50% seperti yang diungkapkan Rahayu *et al.* (2017) di Kecamatan Air Batu Kabupaten Asahan, Sumatera Utara.

Patogen menginfeksi semua stadia umur tanaman karet, namun gejala penyakit lebih banyak ditemukan pada fase tanaman belum menghasilkan (TBM). Menurut Situmorang *et al.* (2007), umur tanaman 2-4 tahun merupakan fase yang rentan terhadap infeksi *R. microporus*. Infeksi terjadi melalui proses patogenesis mulai dari kontak patogen dengan permukaan jaringan inang, penetrasi, invasi dan kolonisasi, sampai dengan menimbulkan gejala penyakit. Keberhasilan infeksi juga ditentukan oleh peranan *cell wall degrading enzyme* (CWDE) yang dihasilkan oleh patogen (Omorusi *et al.* 2014; Omorusi 2012).

Miselium yang menginfeksi inang, banyak ditemukan di sekitar leher akar, pangkal batang, dan di daerah perakaran. Infeksi tersebut menyebabkan batang dan akar tanaman menghitam, membusuk, lunak, mudah patah,

sedangkan pada bagian atas tanaman memperlihatkan daun menjadi kusam, layu, menguning, kering, dan menyebabkan kematian tanaman (Amaria dan Wardiana 2014; Omorusi *et al.* 2014; Omorusi 2012). Kondisi ini banyak ditemukan pada kebun karet yang kurang terpelihara dengan baik, kebersihan maupun budi daya tanaman kurang diperhatikan sehingga selain kondisi lingkungan yang mendukung perkembangan penyakit, tanaman juga mudah terserang.

Teknologi pengendalian JAP sudah banyak dilaporkan salah satunya adalah pengendalian hayati. Pengendalian hayati merupakan salah satu pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT) ramah lingkungan, terutama memanfaatkan agens hayati berupa jamur, bakteri, maupun aktinobakteri yang bersifat antagonis. Soesanto (2008) mengemukakan, pengendalian hayati sangat dianjurkan terutama untuk mencegah dan menekan infeksi patogen tular tanah karena agens hayati lebih mudah berkembang dan beradaptasi dalam tanah. Di samping itu, keuntungan lainnya adalah agens hayati mudah diperoleh dan diperbanyak, kompatibel dengan komponen pengendalian lain, serta mendukung keanekaragaman hayati. Pengendalian ini akan lebih efektif jika dalam aplikasinya dikombinasikan dengan teknologi budi daya yang direkomendasikan, seperti pemupukan dan sanitasi lingkungan.

Dampak aplikasi agens hayati tidak langsung terlihat dalam waktu singkat, namun membutuhkan waktu panjang untuk memberikan kestabilan lingkungan dalam menekan perkembangan infeksi patogen serta menurunkan intensitas penyakit. Agens hayati yang telah digunakan untuk pengendalian JAP, di antaranya dari kelompok jamur adalah *Trichoderma*, *Hypocrea*, *Aspergillus*, *Chaetomium*, *Botryodiplodia*, *Penicillium*, *Paecilomyces*, dan *Eupenicillium* (Amaria *et al.* 2013; Amaria dan Wardiana 2014; Fairuzah *et al.* 2014; Kaewchai dan Soyong 2010; Kusdiana *et al.* 2015; Ogbebor *et al.* 2015; Ubogu 2013), dari kelompok bakteri adalah *Bacillus* dan *Pseudomonas* (Muharni dan Widjajanti 2011; Nasrun dan Nurmansyah 2015), dan aktinobakteri adalah *Streptomyces* (Nakaew *et al.* 2015).

Penggunaan agens hayati untuk mengendalikan JAP telah dilaporkan oleh Amaria *et al.* (2015), *T. harzianum*, *T. virens*, *T. amazonicum*, *T. atroviride* mempunyai daya hambat tinggi (>70%) terhadap *R. microporus* dan mampu mencegah perkembangan infeksi JAP pada bibit karet. Selanjutnya Ogbebor *et al.* (2015) menggunakan *Hypocrea jecorina* efektif menghambat *R. lignosus* 86,83%, sementara *P. fluorescens* dan *Bacillus* sp. dapat menekan intensitas penyakit JAP 80,95%-82,91% (Nasrun dan Nurmansyah 2015).

Dalam menyusun strategi pengendalian hayati JAP pada tanaman karet, perlu diketahui tentang bioekologi patogen, faktor-faktor yang mempengaruhi perkembangan penyakit, serta evaluasi agens hayati yang digunakan terutama dalam formula biofungisida agar sesuai dengan lingkungan dan memiliki kemampuan yang tinggi dalam menekan penyakit JAP. Tujuan penulisan adalah mengkaji bioekologi patogen *R. microporus*, serta mengulas tentang teknologi pengendalian hayati JAP pada tanaman karet yang sampai saat ini sedang dikembangkan.

BIOLOGI DAN EKOLOGI PATOGEN PENYEBAB PENYAKIT JAMUR AKAR PUTIH

Patogen Penyebab Penyakit

Patogen penyebab JAP adalah *R. microporus* (Swartz: Fr.) van Ov. sinonim dari *R. lignosus* (Klotzch) Imazeki, *Polyporus lignosus* Klotzch, dan *Fomes lignosus* (Klotzch) Bres. Jamur ini termasuk dalam kelas Basidiomycetes yang menghasilkan badan buah (basidiokarp), mempunyai dinding sel mengandung kitin dan glukukan (Nicole dan Benhamou 1991; Semangun 2008). *R. microporus* bersifat saprofit yang mampu bertahan hidup pada *food base* berupa tunggul atau bekas pohon tumbang dan sisa-sisa tanaman, serta sebagai parasit apabila bertemu inang dan menyebabkan kematian tanaman.

Rizomorf (kumpulan miselium yang kompak) berwarna putih sampai jingga, tumbuh menjalar, bercabang seperti akar pada permukaan tanaman. Miselium dengan ketebalan 1–2 mm ini, mampu berada di dalam tanah yang bebas dan terlepas dari akar atau kayu sebagai

sumber nutrisinya (Nandris *et al.* 1987; Omorusi *et al.* 2014). Kemampuan hidup di dalam tanah tersebut menyebabkan rizomorf mampu bertahan dalam tanah dalam waktu yang lama, selama bertahun-tahun sehingga mudah menyebar dan melakukan penularan dengan melekat langsung di permukaan akar tanaman (*attachment*) atau melalui kontak akar sakit dengan akar sehat.

R. microporus bersifat polifag, mempunyai kisaran inang yang luas. Selain menginfeksi tanaman perkebunan dan tanaman hutan, seperti karet, kopi, kakao, teh, kelapa sawit, cengkeh, mangga, nangka, jambu mete, jati, sengon, cemara, meranti, akasia, patogen ini juga menginfeksi tanaman penutup tanah jenis kacang-kacangan yang menjalar (Semangun 2008).

Mekanisme Infeksi dan Gejala Penyakit JAP

Mekanisme infeksi *R. microporus* pada proses patogenesis, dilakukan secara mekanis dengan membentuk struktur infeksi untuk menembus permukaan jaringan tanaman. Selain mekanis, juga dengan enzimatik, yaitu menghasilkan CWDE berupa kutinase, selulase, hemiselulase, pektinase, dan ligninase yang masing-masing memiliki fungsi mendegradasi sesuai dengan dinding sel inang.

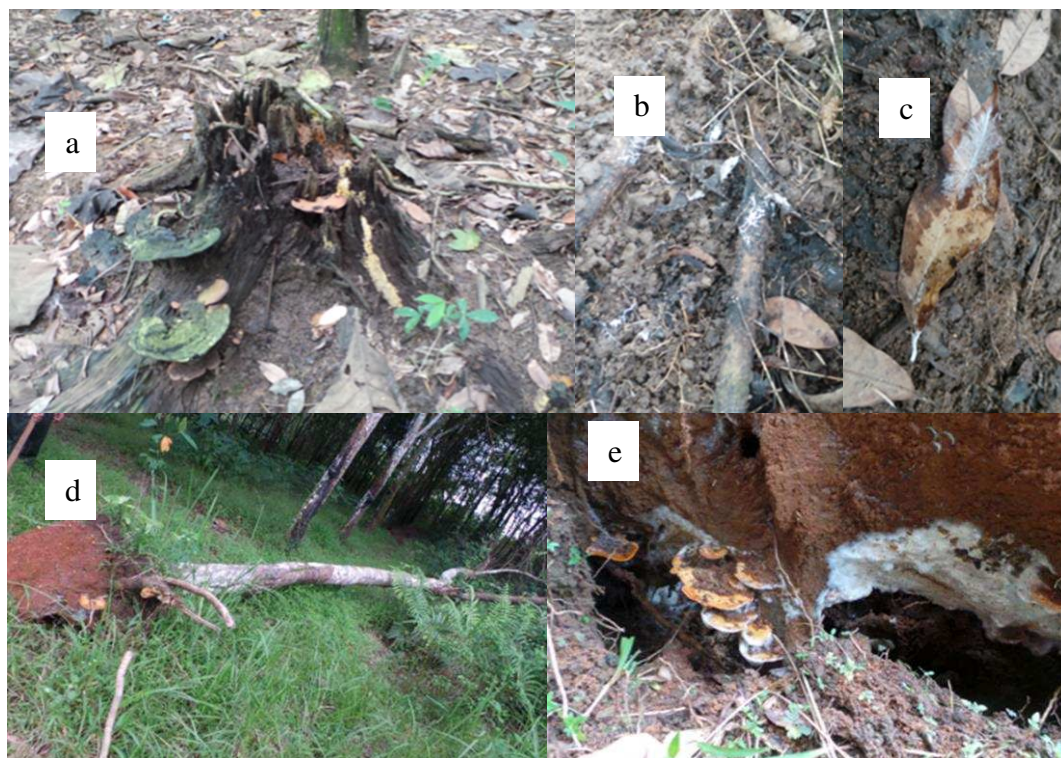
Nandris *et al.* (1987), Omorusi (2012), dan Omorusi *et al.* (2014) menjelaskan bahwa setelah rizomorf menempel pada permukaan akar tanaman karet, hifa patogen mengalami diferensiasi membentuk struktur infeksi, yaitu hifa penetrasi yang mampu menembus masuk ke dalam jaringan inang melalui lentisel, luka, atau secara langsung. Patogen menghasilkan CWDE kutinase untuk mendegradasi kutin yang merupakan halangan pertama di permukaan jaringan inang. Rizomorf masuk dalam jaringan inang dengan menekan epidermis dan korteks. Tahap kolonisasi secara intra dan interseluler dengan bantuan CWDE mampu mendegradasi pektin dan lignin yang terdapat pada lamela tengah, mengakibatkan bagian ini hancur. Kolonisasi juga meluas sampai ke jaringan xylem, dan mendegradasi dinding sel secara progresif. Enzim yang berperan dalam mendegradasi lignin adalah lakase, Mangan Peroksidase, dan Lignin Peroksidase, yang mengakibatkan akar tanaman

membusuk, kecokelatan, lunak, lapuk, serta basah. Oghenekaro *et al.* (2015) menambahkan bahwa pada saat proses delignifikasi oleh *R. microporus*, dinding sel inang akan menipis karena hilangnya lignin, serta terjadinya pemisahan fiber (serat kayu). Hal ini menyebabkan jaringan inang yang mengandung kayu mudah remah dan patah. Lebih lanjut dijelaskan, CWDE lakase diproduksi dalam jumlah tinggi oleh patogen karena sangat berperan dalam mendegradasi lignin jaringan inang serta terlibat dalam berbagai proses biologis.

Infeksi *R. microporus* ditentukan dari sumber inokulum, baik berasal dari kebun karet maupun lokasi di sekitarnya. Sumber inokulum JAP dapat berupa tunggul bekas pohon tumbang (Gambar 1a), sisa-sisa kayu dan ranting (Gambar 1b), daun-daun karet kering (Gambar 1c) yang gugur di sekitar tanaman, pohon tumbang (Gambar 1d), badan buah dan miselium *R. microporus* (Gambar 1e), serta. Sumber inokulum yang merupakan sisa-sisa akar terinfeksi di dalam tanah juga sangat menentukan penyebaran rizomorf patogen. Sesuai dengan yang dikemukakan oleh

Omorusi *et al.* (2014) bahwa kondisi ini dapat mendukung terjadinya kontak akar tanaman sakit dengan yang sehat. Oleh karena itu, pohon karet atau pohon lain yang mati/tumbang di sekitar lokasi harus segera dimusnahkan atau disingkirkan dari kebun sampai dengan perakarannya. Pada saat dilakukan pengolahan tanah untuk peremajaan karet juga perlu diperhatikan karena sisa-sisa akar tanaman terinfeksi patogen di dalam tanah, jika dibiarkan akan menjadi sumber inokulum yang dapat menginfeksi dan menyebabkan kematian bagi tanaman lainnya.

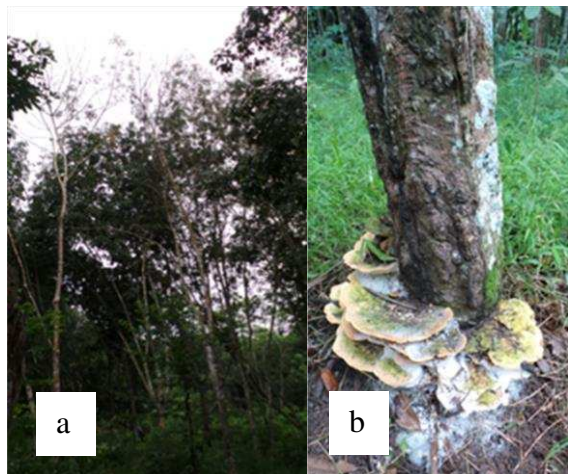
Gejala penyakit JAP baik pada bibit maupun tanaman dewasa di lapang mempunyai kesamaan, yaitu rizomorf yang melekat kuat pada perakaran, leher akar, dan pangkal batang. Hasil penelitian Amaria dan Wardiana (2014) menunjukkan bahwa gejala penyakit JAP muncul pada 24 hari setelah inokulasi (HSI), dan bibit karet akan mengalami kematian pada 60 sampai 100 HSI. Gejala JAP pada bibit karet diawali munculnya miselium berwarna putih di perakaran, yaitu akar tunggang dan lateral (Gambar 2a), rizomorf melekat kuat pada



Gambar 1. Sumber infeksi JAP di sekitar kebun karet: (a) tunggul, (b) ranting, (c) daun kering, (d) pohon tumbang, (e) badan buah dan miselium *R. microporus* (Sumber: Koleksi penulis)



Gambar 2. Gejala penyakit JAP pada bibit karet: (a) miselium putih, (b) rizomorf, (c) pembusukan akar (Sumber: Koleksi penulis)



Gambar 3. Gejala lanjut JAP pada pohon karet di lapang: (a) daun kusam, menguning, kering, dan gugur; (b) badan buah *R. microsporus*, (Sumber: Koleksi penulis)

permukaan akar tunggang (Gambar 2b), selanjutnya menghitam dan membusuk (Gambar 2c).

Pada tanaman dewasa di lapang, gejala pada tajuk tanaman, yaitu daun kusam, menguning, serta batang dan daun mengering (Gambar 3a) karena translokasi air, mineral, dan nutrisi terganggu. Gejala pada bagian perakaran

menunjukkan rizomorf melekat di permukaan akar dan pangkal batang disertai dengan munculnya warna hitam yang menyebabkan pembusukan, tekstur remah, rapuh, dan mudah patah. Apabila infeksi *R. microsporus* meningkat maka ditandai dengan kolonisasi rizomorf, dan pada pohon k c akan tampak badan buah di sekitar leher atau pangkal batang (Gambar 3b). Perkembangan badan buah diikuti dengan pembusukan jaringan tanaman di dalamnya. Hal ini menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat sehingga menyebabkan pohon tumbang atau kematian tanaman.

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Perkembangan Penyakit

Potensi kejadian penyakit JAP pada suatu areal ditentukan oleh kondisi vegetasi sebelumnya, tekstur, atau struktur tanah, keasaman tanah (pH), kadar air tanah, curah hujan per tahun, dan topografi (Tabel 1).

Curah hujan yang tinggi lebih dari 4.000 mm/tahun dapat meningkatkan kejadian penyakit karena kelembapan udara dan tanah juga meningkat sehingga patogen *R. microsporus* cepat berkembang. Pada curah hujan kurang dari 2.500 mm/tahun atau sampai 4.000 mm/tahun, kelembapan udara berkurang, namun jika

Tabel 1. Faktor lingkungan yang mempengaruhi kejadian penyakit JAP pada tanaman karet

Potensi kejadian	Faktor lingkungan					
	Tanah asal	Struktur/tekstur tanah	pH	Lengas tanah (%)	Hujan (mm/tahun)	Topografi
Ringan	Rumput, semak-semak	Lempungan/padat	3-4	<50	< 2.500	Berbukit
Sedang	Hutan sekunder	Lempungan/ sedang	4-5	50-80	2.500-4.000	Bergelombang
Berat	Lahan replanting karet/hutan primer	Berpasir/gembur	5-7	80-90	>4.000	Datar

Sumber: Wijewantha (1964), Basuki (1981), Peries dan Liyange (1983) dalam Situmorang *et al.* (2007)

kelembapan tanah masih tinggi maka patogen juga tetap dapat menginfeksi perakaran.

Kondisi topografi kebun yang datar atau landai, menyebabkan air hujan mudah tergenang sehingga mendukung perkembangan penyakit. Demikian juga dengan tekstur tanah gembur atau berpasir, meningkatkan kemampuan rizomorf untuk menembus tanah berpori. Selain itu, menurut Situmorang (2004), sumber inokulum dari bekas kebun karet tua dan hutan primer, yaitu akar-akar tunggul dalam tanah yang berongga, akan mempermudah pergerakan rizomorf sehingga mempercepat terjadinya infeksi dan penyebaran patogen.

Faktor-faktor lainnya seperti kelembapan tinggi di atas 80%, kandungan bahan organik tinggi, aerasi yang baik, dan pH 5–7 dapat meningkatkan infeksi *R. microporus* (Sinulingga dan Eddy 1989). Basuki (1986) dalam Setyawan *et al.* (2013) melaporkan hasil pengamatan di laboratorium, bahwa *R. microporus* mudah berkembang secara optimal pada pH netral (5,5–6,5), sedangkan pada pH asam pertumbuhannya semakin terhambat dan tidak berkembang pada pH 4.

Persiapan lahan merupakan faktor penting yang mempengaruhi intensitas penyakit JAP di perkebunan karet. Pada perkebunan rakyat umumnya dilakukan tanpa adanya pembongkaran tunggul, hanya ditebang, dan diikuti dengan pembakaran lahan. Oleh karena itu, sisa-sisa akar yang tertinggal di dalam tanah merupakan *food base* *R. microporus*. Berbeda pada perkebunan besar, persiapan lahan telah dilakukan dengan baik agar tunggul dan sisa-sisa akar dicabut dan dibersihkan secara mekanik kemudian dibakar. Namun, dengan adanya

larangan pembakaran pada saat persiapan lahan oleh pemerintah, tunggul dan sisa-sisa akar ditumpuk di areal gawangan. Tumpukan tersebut juga berpotensi menjadi sumber inokulum pada pertanaman yang baru dan kondisi ini akan meningkatkan tingkat kejadian penyakit JAP (Situmorang *et al.* 2007).

AGENS HAYATI UNTUK MENGENDALIKAN PENYAKIT JAMUR AKAR PUTIH PADA TANAMAN KARET

Agens Hayati

Agens hayati pengendali JAP dapat diperoleh dari sampel yang diambil di sekitar perakaran tanaman (rizosfir), atau di dalam tanah dengan kedalaman tertentu, serta jaringan tanaman (endofit) terutama bagian perakaran. Sampel tersebut selain berasal dari ekosistem tanaman karet (*indigenous*), juga dapat berasal dari tanaman lain.

Berbagai jenis agens hayati baik dari kelompok jamur, bakteri, maupun aktinobakteri telah dimanfaatkan untuk menghambat perkembangan *R. microporus* baik *in vitro* maupun pada tanaman karet. Kelompok jamur adalah *A. niger*, *Chaetomium bostrychodes*, *Ch. cupreum*, *T. hamatum*, *T. harzianum*, *Botryodiplodia theobromae* mampu menghambat pertumbuhan koloni patogen lebih dari 50% (Kaewchai dan Soyong 2010; Ubogu 2013). Hasil penelitian lain, *T. harzianum*, *T. virens*, *T. amazonicum*, *T. atroviride* mempunyai daya hambat tinggi terhadap *R. microporus* di atas 70% dan mampu mencegah perkembangan infeksi JAP pada bibit karet (Amaria *et al.* 2015; Amaria *et al.* 2013; Amaria

dan Wardiana 2014). Demikian juga, *Hypocrea jecorina* efektif menghambat *R. lignosus* sampai 86,83% (Ogbebor *et al.* 2015). Potensi kelompok bakteri yang mampu menghambat *R. microporus* adalah *Bacillus* sp. dan *B. apiarius* asal rizosfir tanaman karet, *P. fluorescens* dari akar kunyit dan karet (Damiri *et al.* 2019; Muharni dan Widjajanti 2011). Rizobakteria *P. fluorescens* dan *Bacillus* sp., dapat diaplikasikan di daerah endemik JAP pada tanaman karet berumur 5 tahun dengan penekanan intensitas penyakit 80,95%-82,91% (Nasrun dan Nurmansyah 2015). Sementara itu, dari jenis aktinobakteri *Streptomyces* asal rizosfir tanaman kunyit dan jahe dapat menekan intensitas penyakit JAP hingga 20% lebih tinggi dibandingkan fungisida kimia sintetik (Nakaew *et al.* 2015).

Mekanisme Agens Hayati

Setiap jenis agens hayati mempunyai satu atau lebih mekanisme penting dalam mencegah, menghalangi, ataupun menghambat perkembangan infeksi patogen. Komponen dasar yang penting dalam keberhasilan penghambatan

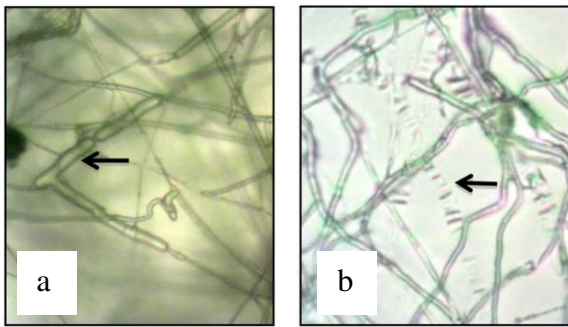
tersebut, sesuai yang dijelaskan Harman (2000), yaitu agens hayati dapat bersaing dan bertahan di dalam lingkungan tertentu, berkoloni dan berproliferasi pada tempat aplikasi, serta mampu bersimbiosis dengan tanaman. Mekanisme agens hayati menentukan keberhasilan aktivitas dalam mencegah perkembangan infeksi patogen. Mekanisme secara langsung dengan antibiosis, kompetisi, hiperparasitisme, lisis (enzim litik), dan tidak langsung misalnya dengan induksi ketahanan tanaman dan *plant growth promoting*.

Penelitian tentang mekanisme agens hayati dalam menekan perkembangan *R. microporus* yang banyak dihasilkan adalah kompetisi, antibiosis, hiperparasitisme, dan lisis (Tabel 2).

Menurut Pal dan Gardener (2006), mekanisme antibiosis menghasilkan senyawa antibiotik yang dapat menyebabkan hifa patogen abnormal (malformasi). Senyawa antibiotik termasuk 2,4-diacetylphloroglucinol, phenazines, cyclic lipopeptides, pyoluteorin, pyrrolnitrin, viscosinamide dan 2,4-diacetyl phloroglucinol, di antaranya dihasilkan oleh *Pseudomonas* spp., *Bacillus siamensis*, dan *B. amyloxylicus*,

Tabel 2. Mekanisme agens hayati dalam mengendalikan JAP

No	Mekanisme	Agens hayati	Referensi
1	Kompetisi	<i>T. virens</i> , <i>T. hamatum</i> , <i>T. amazonicum</i> , <i>H. atroviridis</i> , <i>Trichoderma</i> sp.	Amaria <i>et al.</i> (2015); Yulia <i>et al.</i> (2017)
2	Antibiosis	<i>Trichoderma</i> sp. <i>B. siamensis</i> <i>B. amyloxylicus</i> <i>P. fluorescens</i>	Damiri <i>et al.</i> (2019); Yulia <i>et al.</i> (2017) Damiri <i>et al.</i> (2019); Hardiyanti <i>et al.</i> (2018)
3	Hiperparasitisme	<i>T. virens</i> , <i>H. atroviridis</i> , <i>Chaetomium</i> sp. <i>Penicillium</i> sp.	Amaria <i>et al.</i> (2015); Suwandi (2008) Hardiyanti <i>et al.</i> (2018)
4	Lisis (enzim litik)		
	Kitinase	<i>Trichoderma</i> sp. <i>Penicillium</i> sp. <i>B. apiarius</i> <i>Bacillus</i> sp.	Herath <i>et al.</i> (2017) Muharni dan Widjajanti (2011)
	Glukanase	<i>Pseudomonas</i> sp. <i>Burkholderia</i> sp. <i>Streptomyces</i> sp. <i>Trichoderma</i> sp. <i>Penicillium</i> sp. <i>Aspergillus</i> sp.	Maiden <i>et al.</i> (2017); Nakaew <i>et al.</i> (2015) Herath <i>et al.</i> (2017)
	Protease	<i>Streptomyces</i> sp.	Nakaew <i>et al.</i> (2015)



Gambar 4. Mekanisme agens hayati: (a) hifa patogen abnormal; (b) hifa patogen lisis (Sumber: Amaria *et al.* 2015)

sedangkan *Trichoderma* spp. menghasilkan viridin, trikomidin, dan gliotoksin untuk menghambat *R. microsporus* (Damiri *et al.* 2019; Hardiyanti *et al.* 2017; Pal dan Gardener 2006). Hiperparasitisme yang melibatkan kontak langsung antara hifa agens hayati dengan hifa patogen, serta dibantu dengan mekanisme lain yang menghasilkan senyawa tertentu untuk menghambat perkembangan patogen. Sebagai contoh hifa *T. virens*, *H. atroviridis*, *Chaetomium* sp. dan *Penicillium* sp. memparasit hifa patogen *R. microsporus* (Amaria *et al.* 2015; Hardiyanti *et al.* 2017; Suwandi 2008). Kemampuan hiperparasitisme *T. virens*, selain melilit hifa patogen juga menghasilkan senyawa antifungal trichodermin, gliotoksin, dan gliovirin. Sementara itu, *H. atroviridis* membentuk kumparan yang mengelilingi hifa patogen dan dibantu enzim β -1,3-glucanases, β -1,6-glucanases, kitinase, dan protease yang menyebabkan dinding sel patogen lisis (Gupta *et al.* 2014)

Lebih lanjut Pal dan Gardener (2006) menjelaskan mekanisme enzim litik, yaitu memproduksi enzim seperti kitinase, glukonase, dan protease. Enzim ekstraseluler tersebut dihasilkan oleh mikroba, bekerja mendegradasi dengan cara menghidrolisis struktur dinding sel patogen yang mengandung kitin, glukon, dan protein sehingga dinding sel mengalami lisis (hancur atau rusak). Menurut Harman (2000) enzim yang menghidrolisis dinding sel patogen akan menghambat sintesis selaput dinding sel sehingga menyebabkan menurunnya kemampuan patogen dalam menginfeksi tanaman. Degradasi enzim kitinase dengan cara menghidrolisis polimer kitin menjadi monomer

N-asetil-glukosamin, β -glukanase menghidrolisis ikatan β -1,3-glukan dan β -1,4-glukan, sedangkan protease mampu menguraikan protein menjadi monomer peptida dan asam amino. Secara umum, penghambatan oleh agens hayati dengan cara merusak struktur atau dinding sel patogen, mempengaruhi permeabilitas membran sel, sebagai inhibitor enzim sehingga aktivitas metabolisme patogen terganggu, dan sintesis protein terhambat, selanjutnya menyebabkan pertumbuhan dan perkecambahan patogen terhambat. Agens hayati yang menghasilkan enzim litik di antaranya *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp., dan *Streptomyces* spp., memproduksi kitinase, glukonase, dan protease untuk mendegradasi dinding sel *R. microsporus* (Muharni dan Widjajanti 2011; Nakaew *et al.* 2015; Pal dan Gardener 2006). Demikian juga hasil seleksi Maiden *et al.* (2017) yang membuktikan penghambatan sembilan isolat kitinolitik dari marga *Pseudomonas*, *Burkholderia*, dan *Streptomyces* terhadap perkembangan miselium *R. microsporus* mencapai 31,69–91,63%.

Kemampuan setiap jenis agens hayati dalam menekan perkembangan patogen berbeda-beda. Satu jenis agens hayati dapat mempunyai lebih dari dua mekanisme penting. Seperti yang telah diuraikan sebelumnya bahwa marga *Trichoderma* mempunyai beberapa mekanisme penting, yaitu antibiosis, hiperparasitisme, maupun menghasilkan enzim litik. Contoh lain adalah dari jenis aktinobakteri yang berpotensi untuk mengendalikan JAP pada tanaman karet adalah dari marga *Streptomyces*. Aktinobakteri tersebut mempunyai beberapa mekanisme penting, yaitu antibiosis, produksi CWDE (kitinase, glukonase, selulase, dan protease), siderofor, fitohormon IAA, serta sebagai pelarut fosfat (Nakaew *et al.* 2015).

TEKNOLOGI PENGENDALIAN HAYATI

Berbagai teknik pengendalian hayati sampai saat ini terus dikembangkan, bahkan menjadi rekomendasi utama dalam kegiatan pengendalian OPT. Keunggulan penggunaan teknik pengendalian ini karena dapat meminimalisir aplikasi pestisida kimia sintetis, menjaga keberlangsungan ekosistem, serta mendukung keanekaragaman hayati. Untuk

meningkatkan keefektifan agens hayati dan mempermudah aplikasi maka agens hayati perlu dibuat dalam bentuk formula biofungisida. Formula adalah memformulasi agens hayati dengan komposisi tertentu untuk meningkatkan keefektifan dan kestabilannya.

Formula Biofungisida

Biofungisida merupakan salah satu komponen pendukung pengendalian hayati yang banyak dikembangkan. Kondisi ini dibuktikan semakin meningkatnya penelitian maupun munculnya produk-produk biofungisida komersial yang telah terbukti keunggulannya dalam mengendalikan penyakit tanaman. Formula biofungisida dibuat dengan komposisi tertentu menggunakan bahan pembawa (*carrier*) dan tambahan (*additive*). Komposisi dalam formula berpengaruh terhadap *shelf-life* agens hayati selama di penyimpanan sehingga juga mempengaruhi keefektifan serta kestabilannya. Komposisi yang sesuai menyebabkan agens hayati dalam formula biofungisida mampu beradaptasi dan bekerja dengan baik sesuai dengan mekanisme dalam menekan perkembangan infeksi patogen.

Tahap pertama sebelum formulasi adalah produksi massal agens hayati dengan fermentasi media cair atau padat. Agens hayati yang diperbanyak dalam bentuk propagul mikrob (misalnya konidia, miselium, dan kladospora) ataupun metabolit sekunder. Media yang dipilih sebaiknya dengan harga terjangkau, tersedia, dan mempunyai keseimbangan nutrisi yang tepat (Nakkeeran *et al.* 2018). Media cair yang digunakan antara lain molase, ragi molase, kedelai molase, ekstrak kentang gula, *V-8 juice*, dan limbah cair sulfat (Amaria *et al.* 2015; Harni *et al.* 2017; Mukesh *et al.* 2016; Nakkeeran *et al.* 2018). Media padat seperti sorgum, jagung, dedak, gandum, serbuk gergaji, ampas tebu yang dibasahi, padi sekam, empulur sabut busuk, pupuk kandang, dan substrat lain yang kaya selulosa (Nakkeeran *et al.* 2018). Produksi massal sangat penting untuk diperhatikan karena kesesuaian media, pH, dan suhu menentukan jumlah propagul maupun metabolit yang dihasilkan. Papavizas dan Lewis (1989) dalam Nakkeeran *et al.* (2018) mengemukakan bahwa

fermentasi *Trichoderma* dalam media ragi molase mampu memproduksi kladospora yang berlimpah. Penggunaan kladospora lebih efektif dibandingkan dengan konidia. Sementara itu, produksi konidia *Trichoderma* di media padat juga berhasil dilakukan oleh Cavalcante *et al.* (2008), mengungkapkan bahwa penggunaan gandum dedak mampu memproduksi konidia *T. harzianum*, *T. viride*, dan *T. polysporum* empat kali lebih tinggi dibandingkan jika menggunakan beras pada kondisi kelembapan terbaik.

Tahap formulasi merupakan kegiatan mencampur bahan aktif agens hayati, bahan pembawa, serta tambahan dalam kadar dan bentuk tertentu yang mempunyai daya kerja sesuai dengan tujuan. Bahan aktif agens hayati mempunyai kemampuan selektif tinggi terhadap patogen, tidak bersifat toksik atau toksisitasnya rendah terhadap manusia dan hewan dibandingkan dengan fungisida kimia sintetik. Sementara itu, bahan pembawa yang dipilih tidak secara langsung mempengaruhi penekanan patogen, namun berpengaruh terhadap *shelf-life* agens hayati selama penyimpanan dan kestabilan pada saat efikasi biofungisida (Fravel *et al.* 1998).

Pengembangan formula biofungisida telah berhasil dilakukan untuk jenis jamur dan bakteri. Formula tepung (*powder*) digunakan dalam formulasi *T. asperellum* dengan menggunakan bahan pembawa talk, efektif mengendalikan penyakit busuk pangkal batang *Thielaviopsis paradoxa* (Wijesinghe *et al.* 2011). Bahan pembawa talk juga digunakan dalam formulasi biofungisida *T. harzianum* dan *T. viride* untuk mengurangi kejadian penyakit layu Fusarium. Biofungisida ini dapat disimpan 6-12 bulan (Patel dan Patel 2014; Sriram *et al.* 2011). Widodo dan Wiyono (2012) juga memformulasi bakteri antagonis dengan komposisi bahan pembawa talk dan tambahan tepung cangkang rajungan 0,25% pada kadar air 20%. Biofungisida yang disimpan selama 8 bulan mampu mempertahankan populasi *P. fluorescens* dan *B. polymixa* serta efektif untuk diaplikasikan. Selain formula tepung, bentuk cair menggunakan minyak jagung untuk formulasi *T. virens* dapat memperpanjang masa inkubasi *P. palmivora* serta menurunkan kejadian penyakit busuk buah kakao (Chamzurni *et al.* 2014).

Formula biofungisida yang telah diaplikasikan dan efektif mengendalikan penyakit JAP, antara lain oleh Amaria *et al.* (2016), masing-masing dengan bahan aktif *T. virens* dan *T. amazonicum* yang diformulasi menggunakan bahan pembawa talk. Populasi *Trichoderma* dapat dipertahankan selama penyimpanan 4 bulan dengan penambahan gliserol di media perbanyak. Benny *et al.* (2013) menggunakan *Bacillus* sp. sebagai bahan aktif biofungisida yang diaplikasikan untuk perendaman maupun penyiraman di sekeliling perakaran bibit stump karet. Formula biofungisida berbahan aktif konsorsium antara lain *T. koningii* dan *T. viridae* yang diformulasi menjadi Triko SP^{PLUS} (Sujatno dan Pawirosoemardjo 2001), *T. viridae*, *T. harzianum*, *Paecilomyces lilacinus*, dan *B. subtilis* (Kusdiana *et al.* 2015), Triko Combi berbahan aktif *T. koningii*, *T. viride*, *T. harzianum*, dan satu isolat lokal (Setyawan *et al.* 2013), dan Endohevea mengandung *T. koningii*, *T. viridae*, dan *T. harzianum* (Fairuzah *et al.* 2014).

Aplikasi Biofungisida Dalam Pengendalian JAP Pada Tanaman Karet

Pengendalian penyakit JAP dilaksanakan secara terpadu berdasarkan prinsip *integrated disease management* (IDM). Khokhar dan Gupta (2014) menjelaskan IDM adalah menggabungkan semua komponen pengendalian yang tersedia seperti varietas tahan, kultur teknis, fisik, biologi, kimiawi dalam satu kesatuan pengelolaan sehingga populasi patogen tetap berada di bawah ambang kerusakan ekonomi. Prinsip tersebut mengacu pada integrasi konsep pengendalian penyakit seperti penghindaran, eksklusivitas, eradikasi, proteksi/perlindungan, dan terapi/pengobatan.

Berdasarkan konsep IDM maka aplikasi biofungisida sebagai salah satu komponen pengendalian hayati penyakit JAP sebaiknya dilakukan secara terpadu. Hal ini bertujuan meningkatkan keefektifan biofungisida dalam mencegah maupun menghambat perkembangan infeksi patogen. Penggunaan biofungisida sebagai tindakan untuk mengurangi laju infeksi patogen dapat dilakukan sejak di pembibitan sampai tanaman dewasa di lapang, yang

diaplikasikan pada saat persiapan tanam, saat tanam, maupun untuk pengendalian sesuai dengan perkembangan infeksi.

Pada makalah ini, diberikan contoh keberhasilan aplikasi biofungisida dengan bahan aktif *Trichoderma* untuk mengendalikan JAP pada tanaman karet yang sampai saat ini paling banyak dikembangkan. Keunggulan *Trichoderma* sebagai agens hayati adalah mempunyai daya adaptasi dan perkembangan yang baik, mampu mengkolonisasi rizosfir dengan cepat, melindungi akar dan menghambat infeksi patogen, mudah diperbanyak, mempunyai spektrum luas, aman untuk lingkungan, dan kompatibel dengan agens hayati lain (Faheem *et al.* 2010; Jeyarajan dan Nakkeeran 2000).

Dosis, waktu, dan cara aplikasi biofungisida *Trichoderma* mempengaruhi keberhasilan dalam mengendalikan JAP. Aplikasi dapat ditaburkan atau disiramkan di sekeliling akar tanaman (bibit atau pohon karet). Di samping itu, dapat juga dicampur dengan kompos, pupuk hayati atau pupuk organik terlebih dahulu, selanjutnya ditaburkan atau ditanamkan di sekeliling akar tanaman. Penggunaan bahan organik untuk mendukung perkembangan agens hayati juga dipilih yang bukan merupakan *food base* *R. microporus*, yaitu tidak mudah melapuk sehingga tidak mengakibatkan peningkatan intensitas penyakit.

Aplikasi biofungisida di pembibitan karet dilaporkan oleh Amaria *et al.* (2016) bahwa penggunaan biofungisida berbahan aktif *Trichoderma* spp. dengan bahan pembawa kompos, dapat meningkatkan populasi *Trichoderma* spp. tetapi juga meningkatkan infeksi JAP pada bibit karet. Namun, berbeda hasilnya jika biofungisida *Trichoderma* spp. dengan bahan pembawa talk yang diaplikasikan pada media tanam campuran tanah dan rumput kering. Dosis 50 g/tanaman dalam satu kali aplikasi efektif menekan intensitas penyakit JAP 54,59–59,38% (Amaria *et al.* 2018). Keberhasilan aplikasi pada bibit karet dengan kombinasi biofungisida dan pupuk hayati diungkapkan oleh Kusdiana *et al.* (2015), bahwa biofungisida 100 g dan pupuk hayati 200 g yang ditanamkan di dekat perakaran bibit karet, efektif menurunkan

intensitas penyakit JAP sebesar 5,56% dan meningkatkan pertumbuhan tanaman.

Aplikasi biofungisida juga dilakukan Kusdiana *et al.* (2015) pada tanaman dewasa di lapang. Dosis 20 g/pohon setiap enam bulan sekali dengan cara dibenamkan pada empat titik di sekitar perakaran pohon karet TBM bergejala JAP. Hasil penelitian melaporkan bahwa biofungisida efektif menekan JAP, dengan penurunan intensitas penyakit 18,33–23,33%. Keefektifan biofungisida *Trichoderma* pada tanaman dewasa di lapang, juga dibuktikan oleh Fairuzah *et al.* (2014), Endohevea dosis 1 tablet/5 tanaman yang diaplikasikan setiap 3 bulan sekali pada tanaman karet efektif mengendalikan penyakit JAP dengan tingkat persentase kesembuhan sebesar 78,94%.

Peningkatan keefektifan biofungisida *Trichoderma* pada tanaman dewasa di lapang juga telah dilakukan secara terpadu melalui kombinasi dengan teknik pengendalian lain. Tindakan pencegahan, proteksi, dan kuratif untuk mengendalikan JAP telah dilakukan oleh Situmorang *et al.* (2007). Tindakan pencegahan, mulai dari persiapan lahan dengan pembongkaran tunggul dan pengolahan tanah, penggunaan belerang, biofungisida *Trichoderma*, tanaman antagonis, dan penutup tanah. Proteksi tanaman pada TBM melalui penggunaan fungisida sintetis Triadimenol, penggunaan belerang, aplikasi biofungisida *Trichoderma*, tanaman antagonis (lidah mertua, kunyit, laos). Tindakan kuratif dengan menggunakan fungisida sintetis dan biofungisida *Trichoderma*. Penggunaan biofungisida *Trichoderma* tersebut dengan Triko SP^{PLUS}, dosis di pembibitan karet (*ground nursery*) 600 kg/ha, polybag 25 g/pohon, lubang tanam 50 g/pohon, TBM 75–100 g/pohon dan TM 100–150 g/pohon yang diberikan setiap 6 bulan sekali berdasarkan keparahan penyakit (Sujatno dan Pawirosoemardjo 2001). Biofungisida Triko Combi dengan dosis dan interval sama dengan Triko SP^{PLUS}, yang diaplikasikan sejak awal pada setiap tahap pertumbuhan tanaman, awal dan akhir musim penghujan, serta dilakukan juga pembongkaran tunggul dan penanaman tanaman penutup tanah. Kombinasi tersebut menunjukkan lebih efektif

meminimalkan kehilangan hasil akibat penyakit JAP (Setyawan *et al.* 2013).

Berdasarkan hasil penelitian tersebut menunjukkan aplikasi biofungisida *Trichoderma*, lebih efektif jika dilakukan sebagai pencegahan infeksi patogen, yaitu pada saat penanaman atau pengendalian dengan gejala penyakit pada skala 1, yaitu miselium patogen menempel di permukaan akar. Oleh karena patogen yang telah masuk dan kolonisasi pada jaringan tanaman dan telah memanfaatkan nutrisi di dalamnya maka lebih sulit untuk dikendalikan. Peningkatan keefektifan biofungisida melalui pengendalian terpadu perlu mempertimbangkan metode aplikasi yang tepat serta disesuaikan dengan karakteristik biofungisida karena akan mempengaruhi keberhasilan dalam mengendalikan JAP.

KESIMPULAN

Pengendalian hayati untuk menekan intensitas penyakit JAP pada tanaman karet dapat dilakukan melalui pemanfaatan agens hayati bersifat antagonis. Agens hayati antagonis yang diaplikasikan pada saat penanaman atau di sekitar perakaran tanaman dapat berkembang baik dengan mekanisme kompetisi, antibiosis, hiperparasit, maupun enzim litik. Penghambatan agens hayati dengan cara mendegradasi dinding sel patogen, mempengaruhi permeabilitas membran sel, inhibitor enzim, dan mengganggu sintesis protein.

Pengembangan biofungisida yang diformulasi menggunakan bahan aktif agens hayati, bahan pembawa dan tambahan tertentu, bertujuan meningkatkan keefektifan dan kestabilan pada saat aplikasi. Keberhasilan aplikasi beberapa biofungisida untuk mengendalikan JAP di tingkat pembibitan maupun tanaman dewasa di lapang secara terpadu merupakan salah satu komponen penting dalam rangka menyusun strategi pengendalian JAP pada tanaman karet.

DAFTAR PUSTAKA

Amaria, W., Ferry, Y., Samsudin, & Harni, R. (2016) Pengaruh penambahan gliserol

- pada media perbanyakan terhadap daya simpan biofungisida *Trichoderma*. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*. [Online] 3 (3), 159–166. Available from: doi:10.21082/jtidp.v3n3.2016.p159-166.
- 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*. [Online] 2 (1), 51–60. Available from: doi:10.21082/jtidp.v2n1.2015.p51-60.
- Amaria, W., Harni, R. & Wardiana, E. (2018) Pengaruh dosis dan frekuensi aplikasi biofungisida *Trichoderma* terhadap infeksi *Rigidoporus microporus* pada benih karet. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*. [Online] 5 (2), 49–58. Available from: doi: http://dx.doi.org/10.21082/jtidp.v5n2.2018.p49-58.
- Amaria, W., Soesanthy, F. & Ferry, Y. (2016) Keefektifan biofungisida *Trichoderma* sp. dengan tiga jenis bahan pembawa terhadap jamur akar putih *Rigidoporus microporus*. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*. [Online] 3 (1), 37–44. Available from: doi:10.21082/jtidp.v3n1.2016.p37-44.
- Amaria, W., Taufiq, E. & Harni, R. (2013) Seleksi dan identifikasi jamur antagonis sebagai agens hayati jamur akar putih *Rigidoporus microporus* pada tanaman karet. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*. [Online] 4 (1), 55–64. Available from: doi:10.21082/jtidp.v4n1.2013.p55-64.
- Amaria, W. & Wardiana, E. (2014) Pengaruh waktu aplikasi dan jenis *Trichoderma* terhadap penyakit jamur akar putih pada bibit tanaman karet. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*. [Online] 1 (2), 79–86. Available from: doi:10.21082/jtidp.v1n2.2014.p79-86.
- Benny, Lubis, L., Oemry, S. & Fairuzah, Z. (2013) Uji dosis dan cara aplikasi biofungisida *Bacillus* sp. terhadap penyakit jamur akar putih (*Rigidoporus lignosus*) pada tanaman karet di pembibitan. *Jurnal Online Agroekoteknologi*. 1 (2), 58–66.
- Cavalcante, 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 and Bioprocess Technology*. [Online] 1 (1), 100–104. Available from: doi:10.1007/s11947-007-0034-x.
- Chamzurni, T., Sriwati, R., Muarif, R., Amin, B. & Ulim, A. (2014) Formulation of *Trichoderma virens* origin of Aceh cocoa controlling black pod disease caused by *Phytophthora palmivora*. In: *Proceedings of The 4th Annual International Conference Syah Kuala University (AIC Unsyiah) 2014 In conjunction with 9th Annual International Workshop and Expo on Sumatra Tsunami Disaster and Recovery (AIWEST-DR)*. pp.140–145.
- Damiri, N., Mulawarman & Efendi, R.S. (2019) Antagonism of *Pseudomonas fluorescens* from plant roots to *Rigidoporus lignosus* pathogen of rubber white roots in vitro. *Biodiversitas*. [Online] 20 (5), 1549–1554. Available from: doi:10.13057/biodiv/d200509.
- Faheem, A., Razdan, V.K., Mohiddin, F. A., Bhat, K. A. & Banday, S. (2010) Potential of *Trichoderma* species as biocontrol agents of soil borne fungal propagules. *Journal of Phytology*. [Online] 2 (10), 38–41. Available from: 10.5897/AJB2017.15905.
- Fairuzah, Z. Dalimunthe, C.I., Karyudi, Suryaman, S. & Widhayati, W.E. (2014) Keefektifan beberapa fungi antagonis (*Trichoderma* sp.) dalam biofungisida *Endohevea* terhadap penyakit jamur. *Jurnal Penelitian Karet*. 32 (2), 122–128.
- Fravel, D.R., Connick, W.J.J. & Lewis, J.A. (1998) Formulation of microorganisms to control plant diseases. In: Burges, H.D. (ed.) *Formulation of Microbial Biopesticides. Beneficial Microorganisms, Nematodes, and Seedtreatment*. Netherland, Kluwer Academic Publisher, pp.187–202.
- Gupta, V.K., SchMoll, M., Herrera-EStrella, A., Upadhyay, R.S., Druzhinina, I. & Tuohy, M.G. (2014) *Biotechnology and Biology of Trichoderma*. Amsterdam, Netherlands,

Elsevier B.V.

- Hardiyanti, S., Soekarno, B.P.W. & Yuliani, T.S. (2017) Kemampuan mikroba endofit dan rizosfer tanaman karet dalam mengendalikan *Rigidoporus lignosus*. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. [Online] 13 (5), 153-160. Available from: doi:10.14692/jfi.13.5.153.
- Harman, G.E. (2000) Myths and dogmas of biological control: Changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. *Plant Disease*. (D)-(2000)-(0208)-(01F), 377-393.
- Harni, R., Amaria, W., Syafaruddin & Mahsunah, H. (2017) Potensi metabolit sekunder *Trichoderma* spp. untuk mengendalikan penyakit vascular streak dieback (VSD) pada bibit kakao. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*. [Online] 4 (2), 57-66. Available from: doi: http://dx.doi.org/10.21082/jtidp.v4n2.2017.p57-66.
- Herath, H.H.M.A.U., Wijesundera, R.L.C., Chandrasekharan, N. V. & Wijesundera, W.S.S. (2017) Exploration of Sri Lankan soil fungi for biocontrol properties. *African Journal of Biotechnology*. [Online] 16 (20), 1168-1175. Available from: doi:10.5897/AJB2017.15905.
- Jeyarajan, R. & Nakkeeran, S. (2000) Exploitation of microorganisms and viruses as biocontrol agents for crop disease management. In: Upadhyay et al. (eds.) *Biocontrol Potential and their Exploitation in Sustainable agriculture*. USA, Kluwer Academic/Plenum Publishers, pp.95-116.
- Kaewchai, S. & Soyong, K. (2010) Application of biofungicides against *Rigidoporus microporus* causing white root disease of rubber trees. *Journal of Agricultural Technology*. 6 (2), 349-363.
- Khokhar, M.K. & Gupta, R. (2014) Integrated disease management. *Popular Kheti*. 2 (1), 87-91.
- Kusdiana, A.P.J., Munir, M. & Suryaningtyas, H. (2015) Pengujian biofungisida berbasis mikroorganisme antagonis untuk pengendalian penyakit jamur akar putih pada tanaman karet. *Jurnal Penelitian Karet*. [Online] 33 (2), 143. Available from: doi:10.22302/jpk.v33i2.179.
- Maiden, N.A., Noran, A.S., Fauzi, M.A.F.A. & Atan, S. (2017) Screening and characterisation of chitinolytic microorganisms with potential to control white root disease of *Hevea brasiliensis*. *Journal of Rubber Research*. [Online] 20 (3), 182-202. Available from: doi:10.1007/BF03449151.
- Muharni, M. & Widjajanti, H. (2011) Skrining bakteri kitinolitik antagonis terhadap pertumbuhan jamur akar putih (*Rigidoporus lignosus*) dari rizosfir tanaman karet. *Jurnal Penelitian Sains*. 14 (1), 51-56.
- Mukesh, S., Kumar, V., Shahid, M., Pandey, S., & Singh, A. (2016) *Trichoderma*-A potential and effective bio fungicide and alternative source against notable phytopathogens: A review. *African Journal of Agricultural Research*. [Online] 11 (5), 310-316. Available from: doi:10.5897/ajar2015.9568.
- Muklasin & Matondang, C.O. (2010) *Trend Perkembangan Serangan Hama dan Penyakit Tanaman Karet Di Provinsi Sumatera Utara*. Medan.
- Nakaew, N., Rangjaroen, C. & Sungthong, R. (2015) Utilization of rhizospheric *Streptomyces* for biological control of *Rigidoporus* sp. causing white root disease in rubber tree. *European Journal of Plant Pathology*. [Online] 142 (1), 93-105. Available from: doi:10.1007/s10658-015-0592-0.
- Nakkeeran, S., Karthikeyan, G., Brindhadevi, S. & Vinodkumar, S. (2018) Mass production of fungal and bacterial antagonists. In: *Biocontrol of Soil Borne Pathogens and Nematodes*. Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore, pp.96-112.
- Nandris, D., Nicole, M. & Geiger, J.P. (1987) Root Rot Diseases. *Plant Disease*. 71 (4), 298-306.
- Nasrun & Nurmansyah (2015) Potensi rizobakteria dan fungisida nabati untuk pengendalian penyakit jamur akar putih

- tanaman karet. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*. [Online] 2 (2), 61–68. Available from: doi: <http://dx.doi.org/10.21082/jtidp.v2n2.2015.p61-68>.
- Natawijaya, H. (2007) Government policy on the control of white root disease *Rigidoporus lignosus*. In: Pawirosoemardjo, S. et al. (eds.) *Proceedings International Workshop on White Root Disease of Hevea Rubber*. Salatiga, Indonesian Rubber Research Institute, pp.3–13.
- Nicole, M.R. & Benhamou, N. (1991) Cytochemical aspects of cellulose breakdown during the infection process of rubber tree roots by *Rigidoporus lignosus*. *Phytopathology*. 81, 1412–1420.
- Ogbebor, N.O. Adekunle, A.T., Eghafona, O.N. & Ogboghodo, A.I. (2015) Biological control of *Rigidoporus lignosus* in *Hevea brasiliensis* in Nigeria. *Fungal Biology*. [Online] 119 (1), Elsevier Ltd, 1–6. Available from: doi:10.1016/j.funbio.2014.10.002.
- Oghenekaro, A.O., Daniel, G. & Asiegbu, F.O. (2015) The saprotrophic wood-degrading abilities of *Rigidoporus microporus*. *Silva Fennica*. [Online] 49 (4), 1–10. Available from: doi:10.14214/sf.1320.
- Omorusi, V.I. et al. (2014) Control of white root rot disease in rubber plantations in Nigeria. *International Journal of Microbiology and Immunology Research*. 3 (4), 046–051.
- Omorusi, V.I. (2012) Effects of white root rot disease on *Hevea brasiliensis* (Muell. Arg.) – Challenges and control approach. *Plant Science*. [Online] 139–152. Available from: doi:10.5772/54024.
- Pal, K.K. & Gardener, B.M. (2006) Biological control of plant pathogens. [Online] 1–25. Available from: doi:10.1094/PHI-A-2006-1117-02.Biological.
- Patel, R. & Patel, D. (2014) Screening of *Trichoderma* and antagonistic analysis of a potential strain of *Trichoderma* for production of a bioformulation. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 4 (10), 1–6.
- Rahayu, M.S., Lubis, L. & S., O. (2017) Distribusi peta awal serangan penyakit jamur akar putih (*Rigidoporus microporus* (Swartz: Fr)) pada beberapa perkebunan karet rakyat di Kabupaten Asahan. *Jurnal Agroekoteknologi FP USU*. 5 (1), 131–137.
- Semangun, H. (2008) *Penyakit-Penyakit Tanaman Perkebunan di Indonesia*. Yogyakarta, Gadjah Mada University Press.
- Setyawan, B., Pawirosoemardjo, S. & Hadi, H. (2013) Biofungisida Triko combi sebagai salah satu pengendali jamur akar putih pada tanaman karet. *Warta Perkebunan*. 32 (2), 83–94.
- Sinulingga, W. & Eddy (1989) Pengendalian Penyakit Jamur Akar Putih Pada Tanaman Karet. Medan.
- Situmorang, A. (2004) Status dan manajemen pengendalian penyakit akar putih di perkebunan karet. In: Situmorang, et al (ed.) *Prosiding Pertemuan Teknis. Strategi Pengelolaan Penyakit Tanaman Karet untuk Mempertahankan Potensi Produksi Mendukung Industri Perkebunan Indonesia Tahun 2020*. Palembang, Pusat Penelitian Karet, pp.66–68.
- Situmorang, A., Suryaningtyas, H. & Pawirosoemardjo, S. (2007) Current status of white root disease (*R. microporus*) and the disease control management in rubber plantation of Indonesia. In: Pawirosoemardjo, S. et al. (eds.) *Proceedings International Workshop on White Root Disease of Hevea Rubber*. Salatiga, Indonesian Rubber Research Institute, pp.82–96.
- Soesanto, L. (2008) Pengantar Pengendalian Hayati Penyakit Tanaman. Depok, Raja Grafindo Persada.
- Sriram, S., Roopa, K.P. & Savitha, M.J. (2011) Extended shelf-life of liquid fermentation derived talc formulations of *Trichoderma harzianum* with the addition of glycerol in the production medium. *Crop Protection*. [Online] 30 (10), Elsevier Ltd, 1334–1339. Available from: doi:10.1016/j.cropro.2011.06.003.
- Sujatno & Pawirosoemardjo, S. (2001) Pengenalan dan teknik pengendalian penyakit jamur akar putih pada tanaman karet secara

- terpadu. *Warta Puslit Karet*. 20 (1)–(3), 64–75.
- Suwandi, S. (2008) Evaluasi kombinasi isolat *Trichoderma* mikoparasit dalam mengendalikan penyakit akar putih pada bibit karet. *J.HPT Tropika*. 8 (1), 55–62.
- Ubogu, M. (2013) Assessment of root zone mycoflora of three *Hevea brasiliensis* (Rubber) clones at Akwete plantations and their in vitro growth inhibition of *Rigidoporus lignosus*. 3 (2), 618–623.
- Wijesinghe, C.J., Wilson Wijeratnam, R.S., Samarasekara, J.K.R.R. & Wijesundera, R. L.C. (2011) Development of a formulation of *Trichoderma asperellum* to control black rot disease on pineapple caused by (*Thielaviopsis paradoxa*). *Crop Protection*. [Online] 30 (3), Elsevier Ltd, 300–306. Available from: doi:10.1016/j.cropro.2010.11.020.
- Yulia, E., Istifadah, N., Widiyanti, F., Utami, H.S. (2017) Antagonisme *Trichoderma* spp. terhadap jamur *Rigidoporus lignosus* (Klotzsch) dan penekanan penyakit jamur akar putih pada tanaman karet. *Jurnal Agrikultura*. [Online] 28 (1), 47–55. Available from: <http://jurnal.unpad.ac.id/agrikultura/article/view/13226/6071>.