

Review

Mikovirus, Pengembangannya sebagai Agens Pengendali Hayati

Mycoviruses, Their Development toward Biological Control Agents

Supyani¹⁾*

¹⁾Laboratorium Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan
Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret, Surakarta
Jln. Ir. Sutami 36A, Ketingan, Surakarta, Jawa Tengah 57126

*E-mail: supyani_id@yahoo.com

Diterima 11 Januari 2017; diterima untuk diterbitkan 17 April 2017

ABSTRACT

Mycoviruses are viruses that infect fungus. In plant pathogenic fungi, mycoviruses infection may cause hypovirulence. Therefore, mycoviruses could be developed as biological control agents against the plant pathogenic fungi. Abroad, mycoviruses have long been studied and developed into biological control agents. So far, many mycoviruses have been and are being developed as biological control agents. One that has been successfully manipulated is the Cryphonectria hypovirus 1 to control blight disease on chestnut trees (Castanea dentata). In Indonesia, in brief, mycoviruses has not been sufficiently investigated. This article is aimed to introduce mycoviruses in Indonesia, as well as to inform that a study on mycoviruses has been underway in the country.

Keywords: fungal-virus, hypovirulent, mycophage, virocontrol

INTISARI

Mikovirus adalah virus yang menginfeksi jamur. Pada jamur patogen tumbuhan, infeksi mikovirus dapat menyebabkan hipovirulen. Dengan demikian mikovirus dapat dikembangkan sebagai agens pengendali hayati terhadap jamur patogen tumbuhan. Di luar negeri mikovirus sudah sejak lama dikaji, di antaranya adalah untuk dikembangkan sebagai agens pengendali hayati. Sampai sekarang sudah banyak mikovirus yang telah/sedang dikembangkan sebagai agens pengendali hayati. Salah satu yang sudah berhasil adalah *Cryphonectria hypovirus 1* untuk mengendalikan penyakit hawar kastanye (*Castanea dentata*). Di tanah air, mikovirus dapat dibilang belum dikaji secara memadai. Artikel ini bertujuan untuk memperkenalkan mikovirus di tanah air, sekaligus menginformasikan rintisan kajian mikovirus yang telah dilakukan di tanah air.

Kata kunci: hipovirulen, mikofage, virokontrol, virus-jamur

PENGANTAR

Mikovirus adalah virus yang menginfeksi jamur dan bereplikasi di dalam sel jamur. Istilah lain dari mikovirus adalah virus jamur atau mikofage (Nuss, 2011; Xie & Jiang, 2014). Sampai dengan tahun 2015, sudah ada lebih dari 250 spesies mikovirus yang genomnya telah dirunut dan diregistrasi di dalam pusat data NCBI (*National Center for Biotechnology Information*) (King *et al.*, 2011; Xie & Jiang, 2014). Kebanyakan mikovirus genomnya berupa RNA utas ganda (dsRNA) bersegmen, sedangkan beberapa mikovirus yang lainnya genomnya berupa RNA utas tunggal (ssRNA). Belakangan telah ditemukan mikovirus yang genomnya berupa DNA utas tunggal (ssDNA) dengan struktur cincin. Kebanyakan mikovirus tersebut partikelnya (virion) berbentuk isometrik

dengan diameter antara 25–50 nm (Ghabrial & Suzuki, 2009; Pearson *et al.*, 2009; Yu *et al.*, 2010).

Berdasarkan organisasi genomnya, mikovirus-mikovirus yang telah ditemukan tersebut diklasifikasikan/masuk ke dalam 13 famili sebagai berikut: *Totiviridae*, *Partitiviridae*, *Chrysoviridae*, *Reoviridae*, *Narnaviridae*, *Hypoviridae*, *Megabirnaviridae*, *Quadriviridae*, *Endornaviridae*, *Alphaflexiviridae*, *Barnaviridae*, *Gammaflexiviridae*, *Mycomononegaviridae* (Ghabrial *et al.*, 2015). Dari ke-13 famili tersebut, lima famili yang pertama merupakan yang paling banyak dikaji (Hull, 2014; Xie & Jiang, 2014) (Gambar 1). Mikovirus-mikovirus tersebut diketahui menginfeksi berbagai spesies jamur yang meliputi empat filum utama dari jamur sejati, yaitu *Zygomycota*, *Chytridiomycota*, *Ascomycota*, dan *Basidiomycota*.

Sejarah Mikovirus

Mikovirus dapat merugikan atau menguntungkan manusia. Adanya mikovirus pertama kali dilaporkan oleh Hollings pada tahun 1962 yang berupa mikovirus yang merugikan manusia. Virus ini menyebabkan penyakit *La France* pada jamur yang dibudidayakan yaitu jamur merang (*Agaricus bisporus*). Infeksi virus ini menyebabkan kerugian berupa berkurangnya hasil, pertumbuhan miselium terhambat, jaringan berair, malformasi, yang keseluruhannya menyebabkan penurunan harga jual di pasaran. Borodynko *et al.* (2010) mengidentifikasi virus penyebab penyakit ini, genomnya berupa RNA utas ganda dan diberi nama *La France isometric virus* (LFIV).

Di era 1970-an mulai dikaji adanya fenomena hipovirulensi (menurunnya virulensi) pada jamur *Cryphonectria parasitica*, patogen penyakit “chestnut blight” yang secara baku diterjemahkan ke dalam bahasa Indonesia menjadi “hawar kastanye” (Semangun, 1996) pada pohon kastanye (*Castanea dentata*). Kemudian diketahui penyebab hipovirulensi jamur tersebut adalah karena infeksi mikovirus yang termasuk ke dalam famili *Hypoviridae*, yang diberi nama *Cryphonectria hypovirus 1* (CHV-1). Pada waktu itu ditemukan pula beberapa hipovirus yang lain pada jamur *C. parasitica*. Pada era inilah awal mula ditemukan mikovirus pada jamur patogen tumbuhan (Anagnostakis & Day, 1979; Hillman & Suzuki, 2004). Mikovirus yang menginfeksi jamur patogen tumbuhan dan menyebabkan hipovirulensi menguntungkan manusia, karena dapat dikembangkan sebagai agens pengendali hayati.

Seiring dengan kemajuan bidang ilmu yang lain, terutama yang mendukung perkembangan virologi, semisal biologi molekuler, maka semakin banyak ditemukan mikovirus-mikovirus baru pada jamur patogen tumbuhan. Dewasa ini kajian tentang mikovirus semakin mudah dan cepat dengan memanfaatkan berbagai teknologi terkini, semisal mikroskopi elektron, elektroforesis, ELISA (*Enzyme linked immunosorbent assay*), RT-PCR (*Reverse transcription-polymerase chain reaction*), metode analisis metatranskriptom terhadap fitobioma filosphere, dan lain sebagainya (Marzano & Domier, 2016).

Penularan Mikovirus

Salah satu sifat umum dari mikovirus adalah tidak adanya fase ekstra selular (di luar sel inangnya) dalam siklus hidupnya. Dengan demikian, secara umum mikovirus tidak dapat ditularkan dengan






inokulasi mekanik menggunakan ekstrak yang mengandung virus seperti yang lazim dilakukan pada virus tumbuhan. Secara alami, penularan mikovirus dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu penularan secara vertikal dan penularan secara horisontal (Gambar 2). Penularan secara vertikal terjadi melalui sporulasi, baik itu spora aseksual (konidia) maupun spora seksual. Penularan melalui spora aseksual dilaporkan lebih sering terjadi dibanding penularan melalui spora seksual (Ghabrial & Suzuki, 2009).

Penularan secara horisontal terjadi lewat dua cara yaitu pembelahan sel dan anastomosis. Penularan lewat pembelahan sel maksudnya adalah sel anakan akan selalu membawa virus dari sel induknya. Ini berarti bahwa sepotong hifa yang terinfeksi virus akan tumbuh menjadi koloni jamur yang mengandung virus. Anastomosis adalah pencampuran sitoplasma antara dua hifa yang saling bertemu kemudian selnya saling melebur (fusi), apabila kedua hifa tersebut saling kompatibel (termasuk ke dalam kelompok kompatibilitas vegetatif yang sama) (Ghabrial & Suzuki, 2009). Adanya keragaman kelompok kompatibilitas vegetatif spesies jamur tertentu di lapangan akan menjadi kendala penyebaran mikovirus di alam.

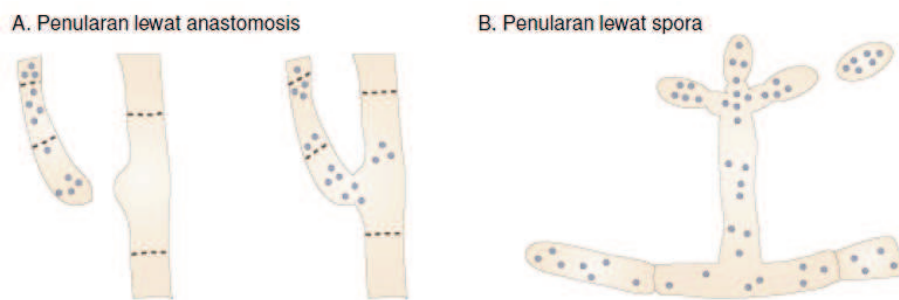
Mikovirus sebagai Agens Pengendali Hayati

Hipovirulensi merupakan salah satu fenomena dari infeksi mikovirus yang menguntungkan manusia. Parameter utama dari hipovirulensi adalah menurunnya tingkat virulensi (keganasan) patogen terhadap inangnya. Parameter lain yang biasanya terkait dengan hipovirulensi adalah menurunnya laju pertumbuhan koloni, menurunnya tingkat sporulasi, perubahan warna koloni jamur inangnya, dan lain sebagainya. Apabila jamur inangnya adalah jamur patogen tumbuhan, maka mikovirus ini dapat dimanfaatkan untuk mengendalikan jamur tersebut (dikembangkan sebagai agens pengendali hayati/agens virokontrol) (Ghabrial & Suzuki, 2009; Chiba *et al.*, 2010).

Adapun mekanisme hipovirulensi ini sampai sekarang belum bisa dijelaskan dengan gamblang. Namun demikian, untuk menjelaskan ini sudah ada beberapa hipotesis yang diajukan oleh beberapa kelompok peneliti yang berbeda. Dua hipotesis utama yang telah diajukan adalah hipotesis jalur sinyal transduksi yang diajukan oleh Turina dan Rostagno (2007) dan hipotesis mekanisme *quelling* (semacam RNA *silencing* pada jamur) yang diajukan oleh Nuss (2011). Di samping itu juga ada beberapa hipotesis lain yang dilaporkan; di antaranya adalah hipotesis mutasi mitokondria, mutasi inti, dan plasmid.

	<i>Hypoviridae</i>	<i>Totiviridae</i>	<i>Partitiviridae</i>	<i>Chrysoviridae</i>	<i>Reoviridae</i>
Genom :	monopartit	monopartit	bipartit	tetrapartit	multisegmen
Jumlah kapsid :	 tidak berkapsid Membran vesikel				
Menyebabkan hipovirulensi :	iya	iya	-	tidak	iya
Inang :	jamur	jamur, protozoa	Invertebrata	jamur tanaman	jamur tanaman, protozoa, vertebrata

Gambar 1. Karakteristik dari famili mikovirus yang paling banyak dikaji; Totivirus dan Chrysovirus membentuk partikel isometrik berdiameter 30–35 nm, sedangkan Reovirus membentuk partikel double kulit dengan diameter 80 nm (Nuss, 2005; Sande *et al.*, 2010)



Gambar 2. Penularan mikovirus. Penularan mikovirus dapat terjadi secara horisontal lewat pertukaran sitoplasma saat anastomosis (fusi hifa) (A) atau secara vertikal lewat pembentukan spora (B) baik seksual maupun aseksual (Nuss, 2005)

CONTOH MIKOVIRUS DAN PEMANFAATANNYA SEBAGAI AGENS PENGENDALI HAYATI

Cryphonectria hipovirus 1 (CHV-1) untuk Mengendalikan Penyakit Hawar Kastanye

Mikovirus yang pertama kali dikembangkan sebagai agens pengendali hayati adalah *Cryphonectria hipovirus 1 (CHV-1)* untuk mengendalikan penyakit hawar pada pohon kastanye (*Castanea dentata*) yang disebabkan oleh jamur *C. parasitica*. CHV-1 ini termasuk ke dalam famili *Hypoviridae*. Genomnya berupa RNA utas tunggal linear berukuran 12,7 kilo basa. Virus ini tidak mempunyai partikel sejati (Nuss & Hillman, 2011).

Penyakit hawar kastanye mula-mula dilaporkan di Amerika pada tahun 1904 menyerang pohon kastanye Amerika. Pada tahun 1926, jamur patogennya yaitu *C. parasitica* ditemukan menginfeksi pohon

kastanye asli/ras Amerika. Semenjak pertama kali ditemukan pada tahun 1904 tersebut, penyakit hawar tersebut menyebar dengan cepat, dengan kecepatan penyebaran sekitar 20–50 mil per tahun. Sampai tahun 1950, penyakit telah merusak hutan seluas 9 juta acre, dengan mematikan beberapa billion pohon kastanye Amerika (Anagnostakis & Day, 1979).

Pada tahun 1965, Jene Grente melaporkan adanya strain hipovirulen (terinfeksi mikovirus) jamur *C. parasitica* asal Perancis. Strain hipovirulen ini berhasil digunakan sebagai agens pengendali hayati penyakit hawar kastanye di Perancis. Pada tahun 1972, strain hipovirulen dari Grente ini diimpor ke Amerika sebagai agens pengendali hayati hawar kastanye di negara tersebut (Anagnostakis & Day, 1979). Dengan berjalannya penelitian lebih lanjut, akhirnya diidentifikasi bahwa mikovirus penyebab

hipovirulensi strain jamur *C. parasitica* tersebut adalah CHV-1 yang diuraikan di atas.

Mycoreovirus 1 (MyRV-1) untuk Mengendalikan Penyakit Hawar Kastanye

Selain CHV-1, mikovirus yang telah/sedang dikembangkan untuk mengendalikan penyakit hawar kastanye adalah Mycoreovirus 1 (MyRV-1). Virus ini pertama kali diisolasi dari permukaan kanker yang virulen pada pohon kastanye yang disebabkan oleh jamur *C. parasitica* di Virginia Barat pada bulan September 1982. Mikovirus ini merupakan anggota Famili *Reoviridae* (Hillman & Suzuki, 2004).

Partikel virus ini berbentuk bulat dengan diameter 80 nm. Genomnya berupa 11 segmen RNA utas ganda linear, dengan segmen terpanjang berukuran 4127 pasangan basa dan segmen terpendek berukuran 732 pasangan basa (Gambar 3). Total runutan genomnya sudah diketahui, dan beberapa protein enzim yang penting sudah diidentifikasi. Runutan genom dan proteinnya sudah terdeposit di Pusat Data Bank Gen (*GeneBank Data Base*) NCBI yang bisa diakses bebas dengan nomor akses berturut-turut mulai dari AY277888 sampai dengan AB179643. Penemuan virus ini sekaligus menginisiasi usulan pembentukan genus baru di dalam Famili *Reoviridae*, yaitu genus *Mycoreovirus* dengan MyRV-1 sebagai tipe spesies. Usulan tersebut sudah disetujui oleh *International Committee on Taxonomy of Viruses* (ICTV) pada tahun 2004 dan dimuat di dalam publikasinya yang ke VIII (Suzuki *et al.*, 2004; Fauquet *et al.*, 2005; Supyani *et al.*, 2006; Supyani, 2007).

Dari hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa MyRV1 ini mempunyai beberapa keunggulan dibanding CHV-1, diantaranya adalah daya tekan terhadap virulensi jamur inangnya yang lebih kuat (lebih dari 80%, sedangkan CHV1 sekitar 20%) dan tingkat sporulasi yang lebih tinggi (sekitar 90%, sedangkan CHV1 sekitar 30%) (Gambar 4) (Hillman *et al.*, 2004; Supyani, 2007). Dengan demikian MyRV1 ini lebih prospektif untuk dikembangkan sebagai agens pengendali hayati di lapangan, karena disamping lebih kuat menurunkan virulensi jamur inangnya, jamur inangnya juga akan lebih mudah menyesuaikan kondisi lingkungan di lapangan (lebih mudah menyebar di lapangan).

Rhizoctonia solani Partitivirus 2 (RsPV2) untuk Mengendalikan Penyakit Hawar Pelelepah Padi

Hawar pelelepah pada tanaman padi merupakan penyakit penting yang tersebar di seluruh dunia,

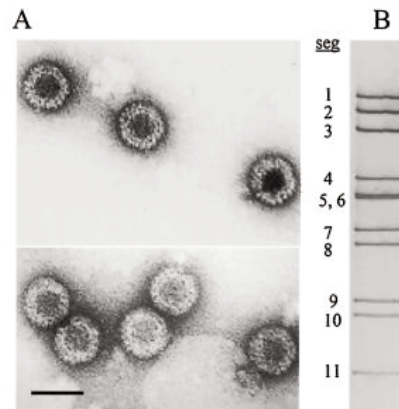
termasuk di Indonesia (Semangun, 1996). Penyakit ini disebabkan oleh jamur *Rhizoctonia solani*. Pada strain hipovirulen jamur *R. solani* GD-11 ditemukan mikovirus *Rhizoctonia solani* partitivirus 2 (RsPV2). Virus ini mempunyai genom berupa dua segmen RNA utas ganda linear. Virus ini termasuk ke dalam famili *Partitiviridae*. Akibat dari infeksi virus ini, jamur inangnya menjadi hipovirulen. Parameter lain yang terkait pada jamur inangnya adalah menurunnya laju pertumbuhan koloni (Zheng *et al.*, 2014).

Apabila partikel virus murni RsPV2 ditransfeksikan ke dalam protoplasma strain jamur *R. solani* bebas virus GD-118, maka akan menghasilkan turunan strain yang isogenik yaitu GD-118T yang mempunyai karakter yang sama dengan strain GD-11. Hal ini mengindikasikan bahwa virus RsPV2 akan dapat dikembangkan sebagai agens pengendali hayati terhadap jamur *R. solani* di lapangan (Zheng *et al.*, 2014).

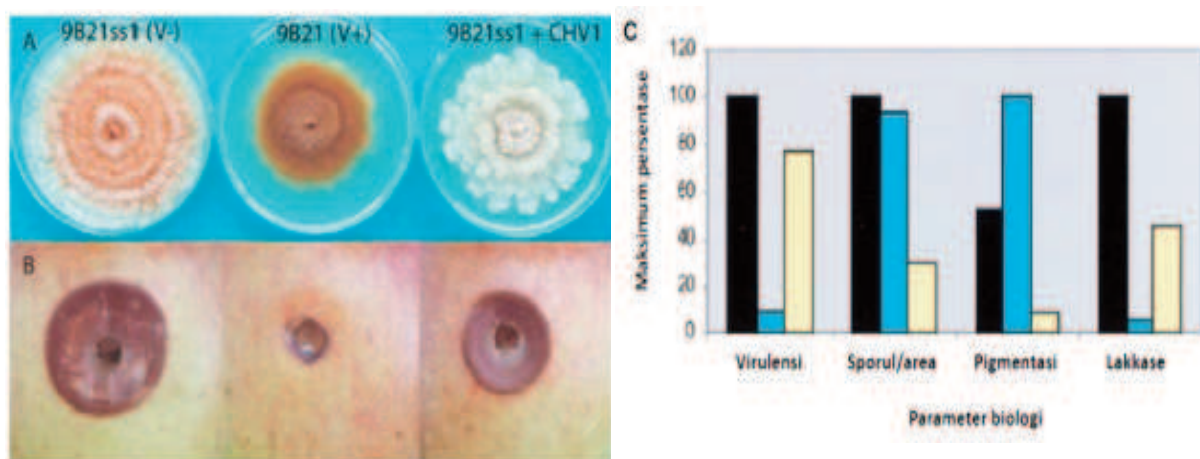
Fusarium graminearum Virus Isolat China-9 (FgV-ch9) untuk Mengendalikan Penyakit yang Disebabkan oleh Fusarium

Fusarium merupakan patogen penting pada tanaman pertanian dengan kisaran inang yang luas. Hampir semua kelompok komoditas tanaman, yaitu padi-padian, hortikultura, tanaman perkebunan, tanaman hias, dan lain-lain dapat diserangnya. Jamur ini diketahui menyebar di seluruh dunia. Di Indonesia, *Fusarium* menyebabkan penyakit penting pada berbagai komoditas tanaman pertanian misalnya layu pada tomat (Semangun, 1996; Pedai, 2015), busuk batang pada panili (Semangun, 1996), layu pada pisang (Semangun, 1996; Suryanti, 2003; Sumardiyono, 2007; Sudirman, 2011), berbagai penyakit pada pembibitan, serta berbagai komoditas tanaman yang lain (Semangun, 1996; Sutejo, 2008).

Ada beberapa mikovirus yang telah diisolasi serta diidentifikasi dari Genus *Fusarium* (Cho *et al.*, 2013). Salah satu mikovirus yang telah/sedang dikembangkan untuk mengendalikan jamur *Fusarium* adalah *Fusarium graminearum* virus isolat China-9 (FgV-ch9). Mikovirus ini berasosiasi dengan fenomena hipovirulensi pada *Fusarium graminearum* isolat China-9 terhadap tanaman inangnya yaitu tanaman gandum dan jagung. Parameter lain yang terkait dengan virulensi ini adalah menurunnya laju pertumbuhan koloni, menurunnya sporulasi (konidiasi), dan perubahan morfologi koloni jamur inangnya. Percobaan penularan (transfeksi) partikel virus FgV-ch9 terhadap jamur *F. graminearum* isolat PH-1



Gambar 3. MyRV1: partikel MyRV1 hasil foto mikroskopi elektron yang diwarnai dengan uranil asetat, yang dimurnikan dengan sentrifugasi gradien sukrosa (skala = 100 nm) (A); genom MyRV1 berupa 11 segmen dsRNA, yang di-elektroforesis pada 11% gel poliakrilamid, diwarnai dengan pewarna perak (seg = segmen genom) (B) (Hillman *et al.*, 2004)



Gambar 4. Pengaruh MyRV1 terhadap morfologi dan karakter biologi *Cryphonectria parasitica*: 9B21 (V+) adalah isolat *C. parasitica* yang mengandung virus; 9B21ss1 (V-) adalah isolat bebas virus yang diperoleh dari isolat 9B21 (V+) dengan cara isolasi konidia tunggal; 9B21ss1+CHV1 adalah isolat bebas virus yang ditransfeksi dengan RNA virus CHV1-EP713; morfologi koloni biakan yang ditumbuhkan pada media PDA selama 7 hari (A); lesio pada buah apel 7 hari setelah inokulasi (B); hasil kuantitatif dari virulensi, sporulasi, pigmentasi, dan uji *Laccase* dari ketiga isolat (hitam, 9B21ss1; biru, 9B21; kuning, 9B21ss1+ CHV1) (C) (Hillman *et al.*, 2004)

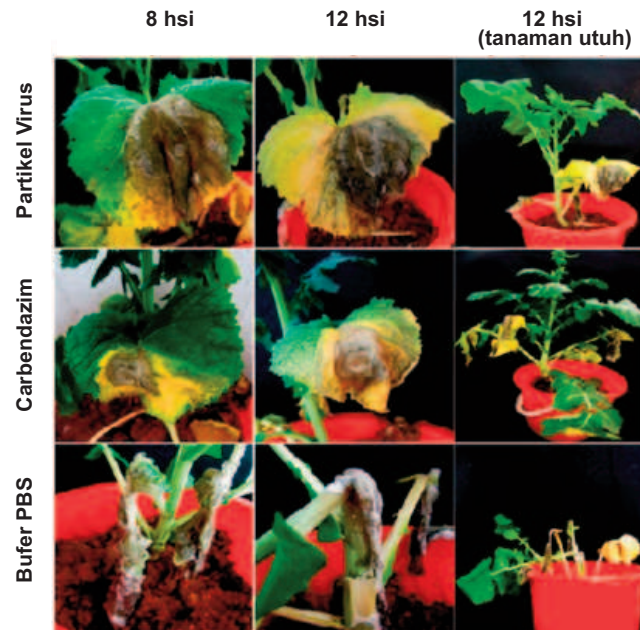
menyebabkan penurunan virulensi, sporulasi, serta parameter biologi lain yang terkait dengan hipovirulensi dari jamur inangnya. Hal ini menunjukkan bahwa FgV-ch9 adalah virus yang menyebabkan hipovirulensi pada *F. graminearum* (Darissa *et al.*, 2012).

Mikovirus untuk Mengendalikan Penyakit yang Disebabkan oleh Jamur *Rosellinia necatrix*

Rosellinia necatrix merupakan patogen tular tanah yang penting yang menyebabkan penyakit busuk akar putih pada pohon buah-buahan dan pepohonan yang lain. Beberapa mikovirus dari famili *Victoriviridae*, *Partitiviridae*, dan famili lain ditemukan menginfeksi

dan menyebabkan hipovirulen pada spesies jamur ini (Chiba *et al.*, 2013; Kondo *et al.*, 2013).

Di Jepang sejak beberapa tahun yang lalu sedang dikembangkan Mycoreovirus-3 (MyRV-3), suatu anggota *Reoviridae* dengan genom berupa 12 segmen RNA utas ganda, untuk mengendalikan penyakit yang disebabkan oleh jamur *R. necatrix* ini. Virus ini mula-mula ditemukan pada *R. necatrix* isolat W370. *R. necatrix* isolat W370 yang mengandung mikovirus ini apabila diinokulasikan pada bibit apel menyebabkan kematian bibit berkisar 0–16,7%. Sebagai pembanding, isolat *R. necatrix* yang bebas virus apabila diinokulasikan pada bibit serupa



Gambar 5. Perlindungan tanaman dari serangan *Sclerotinia sclerotiorum* menggunakan partikel virus SsHADV-1; sediaan partikel virus setengah murni menghambat serangan jamur *S. sclerotiorum* pada tanaman *rapeseed* (*Brassica napus* L.) serta menyembuhkan lesio; potongan agar yang mengandung miselia *S. sclerotiorum* digunakan untuk menginokulasi daun tanaman uji, lalu tanaman diinkubasi selama dua 2 hari agar lesio berkembang; kemudian sediaan partikel virus, Carbendazim (100 ppm) atau bufer PBS disemprotkan pada tanaman pada 2 hsi dan 3 hsi; tiga daun diinokulasi untuk tiap tanaman; tanaman dipelihara di dalam inkubator dengan kelembapan tinggi (100%) pada 20°C; foto diambil pada 8 dan 12 hsi (Yu *et al.*, 2012)

menyebabkan kematian sebesar 50–100%. Hal ini membuktikan bahwa mikovirus pada isolat jamur *R. necatrix* tersebut menyebabkan hipovirulen (Kanematsu *et al.*, 2004).

Mikovirus untuk Mengendalikan Jamur *Sclerotinia sclerotiorum*

Sclerotinia sclerotiorum merupakan jamur patogen tumbuhan yang penting yang tersebar di seluruh dunia. Jamur ini menyerang lebih dari 450 spesies dan subspecies tanaman termasuk banyak tanaman pertanian bernilai ekonomi tinggi seperti caisin, kedelai, bunga matahari serta sejumlah buah-buahan.

Beberapa mikovirus telah diidentifikasi menginfeksi dan menyebabkan hipovirulen pada jamur *S. sclerotiorum*. Salah satunya adalah *Sclerotinia sclerotiorum* hypovirulence-associated DNA virus 1 (SsHADV-1), yang mula-mula diisolasi dari strain hipovirulen DT-8 jamur ini. Genom SsHADV-1 berupa DNA utas tunggal dengan struktur lingkaran (cincin) yang berukuran sekitar 2.2 kb. Berdasarkan hasil analisis genom, virus ini berkerabat dekat dengan Geminivirus. Partikel SsHADV1 berbentuk isometrik dengan diameter sekitar 21 nm (Yu *et al.*, 2010).

Mikovirus ini mempunyai karakter yang berbeda dengan mikovirus-mikovirus yang telah ditemukan selama ini. Dengan bantuan senyawa kimia polietilenglikol (PEG), partikel virus murni dan atau genom SsHADV-1 ini dapat menginfeksi protoplast *S. sclerotiorum*. Lebih lanjut, virus ini mudah menular dari strain DT-8 ke strain lain di luar kelompok VCG-nya. Hal ini mengindikasikan bahwa mikovirus ini memiliki cara yang berbeda dengan mikovirus RNA dalam menginisiasi infeksi pada inangnya. Sediaan partikel SsHADV-1 juga dapat secara langsung menginfeksi hifa *S. sclerotiorum* pada media buatan di cawan petri. Lebih lanjut, sediaan partikel SsHADV-1 mampu melindungi tanaman uji dari infeksi dan kerusakan akibat *S. sclerotiorum* (Yu *et al.*, 2010; Yu *et al.*, 2012) (Gambar 5).

Dari uraian tersebut di atas menunjukkan bahwa SsHADV-1 dapat ditularkan melalui jalur ekstra-selular, dan berpotensi untuk dikembangkan menjadi agens pengendali hayati jamur *S. sclerotiorum*.

PENELITIAN MIKOVIRUS DI INDONESIA

Di Indonesia, isolasi mikovirus sudah mulai dirintis. Isolasi mikovirus dimulai dari isolat-isolat

jamur patogen tumbuhan yang dikoleksi dari berbagai wilayah di Jawa Tengah. Isolat-isolat jamur tersebut berasal dari genus *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Colletotrichum*, serta berbagai jamur tular tanah. Beberapa di antaranya diuraikan di bawah ini.

Mula-mula, mikovirus diisolasi dari jamur *Fusarium*. Sekitar 100 isolat *Fusarium* telah diisolasi dari pertanaman cabai di daerah Boyolali, Jawa Tengah. Berdasarkan uji virulensi menggunakan buah apel, diperoleh empat isolat *Fusarium* hipovirulen. Berdasarkan analisis molekuler dengan ekstraksi RNA total terhadap keempat isolat jamur hipovirulen tersebut menunjukkan adanya pita RNA yang spesifik pada isolat C15. Diduga, pita RNA tersebut berkaitan dengan genom mikovirus. Dengan demikian diduga hipovirulensi pada isolat C15 disebabkan karena infeksi mikovirus (Supyani & Widadi, 2014).

Isolasi mikovirus juga telah dilakukan dari jamur *Colletotrichum*. Sekitar 50 isolat *Colletotrichum* telah dikoleksi dari daerah endemik jamur tersebut di pusat-pusat produksi cabai di wilayah eks. Karesidenan Surakarta, Jawa Tengah. Berdasarkan uji biologi dan virulensi diperoleh empat isolat hipovirulen. Berdasarkan uji molekuler dengan ekstraksi RNA total menunjukkan bahwa pada keempat isolat hipovirulen tersebut terdapat pita RNA dengan ukuran di atas 1000 pasangan basa, yang tidak terdapat pada isolat yang virulen. Diduga RNA tersebut berkaitan dengan genom mikovirus, yang menyebabkan hipovirulensi pada jamur inangnya tersebut (data tidak dipublikasi).

Isolasi mikovirus juga telah dicoba dilakukan dari jamur *R. solani*. Sejumlah 400 isolat *R. solani* telah diisolasi dari daerah sentra pertanaman padi di wilayah Karanganya, Jawa Tengah. Berdasarkan uji virulensi menggunakan buah apel, diperoleh lima isolat hipovirulen. Berdasarkan analisis molekuler dengan cara ekstraksi RNA total terhadap miselium kelima isolat hipovirulen jamur tersebut menunjukkan tidak adanya genom mikovirus. Diduga hipovirulensi pada ke-5 isolat hipovirulen jamur tersebut bukan karena infeksi mikovirus, tetapi karena faktor genetik (Supyani & Gutomo, 2014).

KESIMPULAN

Mikovirus adalah virus-virus yang menginfeksi jamur dan bereplikasi di dalam sel jamur. Sampai dengan tahun 2015, sudah ada lebih dari 250 spesies mikovirus yang telah diidentifikasi/ dikarakterisasi

dan diklasifikasikan ke dalam 13 famili. Kebanyakan mikovirus genomnya berupa dsRNA bersegmen, sedangkan beberapa mikovirus yang lainnya genomnya berupa ssRNA atau ssDNA. Kebanyakan mikovirus tersebut partikelnya berbentuk isometrik dengan diameter antara 25–50 nm. Secara alami, penularan mikovirus dapat terjadi secara vertikal yaitu melalui sporulasi dan secara horisontal melalui pembelahan sel dan anastomosis.

Mikovirus pertama kali dilaporkan oleh Hollings pada tahun 1962, menyebabkan penyakit *La France* pada jamur yang dibudidayakan. Di era 1970-an mulai dikaji mikovirus yang menyebabkan hipovirulensi pada jamur patogen tumbuhan, yaitu *Cryphonectria hypovirus 1* (CHV-1) yang kemudian dikembangkan sebagai agens pengendali hayati terhadap jamur *Cryphonectria parasitica*, patogen penyakit hawar kastanye (*Castanea dentata*). Beberapa mikovirus lain yang telah/sedang dikembangkan sebagai agens pengendali hayati adalah Mycoreovirus 1 (MyRV-1) untuk mengendalikan penyakit hawar kastanye, *Rhizoctonia solani* partitivirus 2 (RsPV2) untuk mengendalikan penyakit hawar pelepah padi, berbagai mikovirus untuk mengendalikan penyakit yang disebabkan oleh jamur *Rosellinia necatrix* dan jamur *Sclerotinia sclerotiorum*, serta mikovirus yang lain.

Di Indonesia, isolasi mikovirus sudah mulai dirintis. Isolasi mikovirus dilakukan terhadap isolat-isolat jamur dari genus *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Colletotrichum*, serta berbagai jamur patogen tular tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Anagnostakis, S.L. & P.R. Day. 1979. Hypovirulence Conversion in *Endothia parasitica*. *Phytopathology* 69: 1226-1229.
- Borodynko, N., B.H. Jaroszewska, N. Rymelska, & H. Pospieszny. 2010. La France Disease of the Cultivated Mushroom *Agaricus bisporus* in Poland. *Acta Virologica* 54: 217–219.
- Chiba, S., H. Kondo, S. Kanematsu & N. Suzuki. 2010. Mycoviruses and Virocontrol. *Virus* 60: 163–176
- Chiba, S., Y.H. Lin, H. Kondo, S. Kanematsu & N. Suzuki. 2013. A Novel Victorivirus from a Phytopathogenic Fungus, *Rosellinia necatrix*, is Infectious as Particles and Targeted by RNA Silencing. *Journal of Virology* 87: 6727–6738.

- Cho, W.K., K.M. Lee, J. Yu, M. Son & K.H. Kim. 2013. Insight into Mycoviruses Infecting *Fusarium* Species. *Advances in Virus Research* 86: 273–288.
- Darissa, O., G. Adam & W. Schafer. 2012. A dsRNA Mycovirus Causes Hypovirulence of *Fusarium graminearum* to Wheat and Maize. *European Journal of Plant Pathology* 134: 181–189.
- Fauquet, C.M., M.A. Mayo, J. Maniloff, U. Desselberger & L.A. Ball (eds.). 2005. Virus Taxonomy: *Eighth Report of The International Committee on Taxonomy of Viruses*. Elsevier Academic Press, San Diego. 1162 p.
- Ghabrial, S.A. & N. Suzuki N. 2009. Viruses of Plant Pathogenic Fungi. *Annual Review of Phytopathology* 47: 353–384.
- Ghabrial, S.A., J.R. Castón, D. Jiang, M.L. Nibert & N. Suzuki. 2015. Review: 50-plus Years of Fungal Viruses. *Virology* 479–480: 356–368.
- Hillman, B.I. & N. Suzuki. 2004. Viruses in the Chestnut Blight Fungus. *Advances in Virus Research* 63: 423–472.
- Hillman, B.I., S. Supyani, H. Kondo & N. Suzuki. 2004. A Reovirus of the Fungus *Cryphonectria parasitica* that is Infectious as Particles and Related to the *Coltivirus* Genus of Animal Pathogens. *Journal of Virology* 78: 892–898.
- Hollings, M. 1962. Viruses Associated with Dieback Disease of Cultivated Mushrooms. *Nature* 196: 962–965.
- Hull, R. 2014. *Plant Virology*. 5th Edition, Elsevier Academic Press, San Diego. 1104 p.
- Kanematsu, S., M. Arakawa, Y. Oikawa, M. Onoue, H. Osaki, H. Nakamura, K. Ikeda, Y. Kuga-Uetake, H. Nitta, A. Sasaki, K. Suzaki, K. Yoshida & N. Matsumoto. 2004. A Reovirus Causes Hypovirulence of *Rosellinia Necatrix*. *Phytopathology* 94: 561–568.
- King, A.M.Q., E.M. Lefkowitz, J. Adams & E.B. Carstens (eds.). 2011. Virus Taxonomy: *Ninth Report of the International Committee on Taxonomy of Viruses* (ICTV). Elsevier Academic, San Diego, CA. 1338 p.
- Kondo, H., S. Kanematsu & N. Suzuki. 2013. Viruses of the White Root Rot Fungus, *Rosellinia necatrix*. *Advances in Virus Research* 86: 177–214.
- Marzano, S.Y.L. & L.L. Domier. 2016. Novel Mycoviruses Discovered from Metatranscriptomics Survey of Soybean Phyllosphere Phytobiomes. *Virus Research* 219: 11–21.
- Nuss, D.L. 2011. Mycoviruses, RNA Silencing, and Viral RNA Recombination. *Advances in Virus Research* 80: 25–48.
- Nuss, D.L. & B.I. Hillman. 2011. Family *Hypoviridae*. Ninth Report of the International Committee for the Taxonomy of Viruses, p 1029–1033. In A.M.Q. King, M.J. Adams, E.B. Carstens, & E.J. Lefkowitz (eds.), *Virus Taxonomy*. Elsevier Academic Press, San Diego.
- Pearson, M.N., R.E. Beever, B. Boine & K. Arthur. 2009. Review: Mycoviruses of Filamentous Fungi and their Relevance to Plant Pathology. *Molecular Plant Pathology* 10: 115–128.
- Pedai, T., B. Hadisutrisno, & A. Priyatmojo. 2015. Pemanfaatan Jamur Mikoriza Arbuskular untuk Mengendalikan Layu *Fusarium* pada Tomat. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia* 19: 89–93.
- Sande, W.W.J., J. R. Lo-Ten-Foe, A. Belkum, M. G. Netea, B.J. Kullberg & A.G. Vonk. 2010. Mycoviruses: Future Therapeutic Agents of Invasive Fungal Infections in Humans? *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases* 29:755–763.
- Semangun, H. 1996. *Pengantar Ilmu Penyakit Tumbuhan*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta. 754 p.
- Sudirman, A., C. Sumardiyono, & S.M. Widyastuti. 2011. Pengendalian Hayati Penyakit Layu *Fusarium* Pisang (*Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*) dengan *Trichoderma* sp. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia* 17: 31–35.
- Sumardiyono, C., A. Wibowo, & Suryanti. 2007. Pengendalian Penyakit Layu Pisang dengan *Fusarium* Non-Patogenik dan *Fluorescent Pseudomonads*. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia* 13: 142–150.
- Supyani, S., B.I. Hillman, & N. Suzuki. 2007. Baculovirus Expression of All the *mycoreovirus 1* Genome Segments and Identification of the Guanylyltransferase-Encoding Segment. *Journal of General Virology* 88: 342–350.

- Supyani. 2007. *Characterization of a Novel Reovirus Isolated from a Hypovirulent Strain (9B21) of the Chestnut Blight Fungus That is Infectious as Particles*. Ph.D Thesis. The Graduate School of Natural Science and Technology. Okayama University, Okayama. 102 p.
- Supyani & Gutomo. 2014. Hypovirulent Isolates of *Rhizoctonia solani* Collected from Rice in Karanganyar Regency, Central Java, Indonesia. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science* 9: 19–23.
- Supyani & S. Widadi. 2015. Hypovirulent Isolates of *Fusarium* Collected From Chili Crops in Boyolali Regency, Central Java, Indonesia. *AGRIVITA* 37: 67–74.
- Suryanti, A. Wibowo, & C. Sumardiyono. 2003. Pengendalian Penyakit Layu *Fusarium* pada Pisang dengan Inokulasi Jamur Mikoriza Vesikular Arbuskular pada Bibit. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia* 9: 63–96.
- Sutejo, A.M., A. Priyatmojo, & A. Wibowo. 2008. Identifikasi Morfologi Beberapa Spesies Jamur *Fusarium*. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia* 14: 7–13.
- Suzuki, N., S. Supyani, K. Maruyama, & B.I. Hillman. 2004. Complete Genome Sequence of *Mycoreovirus-1/Cp9B21*, a Member of a Novel Genus within the Family *Reoviridae*, Isolated from the Chestnut Blight Fungus *Cryphonectria parasitica*. *Journal of General Virology* 85: 3437–3448.
- Turina, M. & L. Rostagno. 2007. Virus-Induced Hypovirulence in *Cryphonectria parasitica*: Still an Unresolved Conundrum. *Journal of Plant Pathology* 89: 165–178.
- Xie, J. & D. Jiang. 2014. New Insights into Mycoviruses and Exploration for the Biological Control of Crop Fungal Diseases. *Annual Review of Phytopathology* 52: 45–68.
- Yu, X., B. Li, Y. Fu, D. Jiang, S.A. Ghabrial, G. Li, Y. Peng, J. Xie, J. Cheng, J. Huang, & X. Yi. 2010. A Geminivirus-Related DNA Mycovirus that Confers Hypovirulence to a Plant Pathogenic Fungus. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107: 8387–8392.
- Yu, X., B. Li, Y.Fu, J. Xie, J. Cheng, S.A. Ghabrial, G. Li, X. Yi, & D. Jiang. 2013. Extracellular Transmission of a DNA Mycovirus and its Use as a Natural Fungicide. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110: 1452–1457.
- Zheng, L., M. Zhang, Q. Chen, M. Zhu, & E. Zhou. 2014. A Novel Mycovirus Closely Related to Viruses in the Genus *Alphapartitivirus* Confers Hypovirulence in the Phytopathogenic Fungus *Rhizoctonia solani*. *Virology* 456: 220–226.