

CEMARAN MIKOTOKSIN, BIOEKOLOGI PATOGEN *Fusarium verticillioides* DAN UPAYA PENGENDALIANNYA PADA JAGUNG

Mycotoxin Contamination, Bioecology of Fusarium verticillioides Pathogen and Its Control on Maize

Syahrir Pakki

Balai Penelitian Tanaman Serealia

Jalan Dr. Ratulangi No.274, Kotak Pos 173 Maros 90514, Indonesia

Telp. (0411) 371529, Faks. (0411) 371961

E-mail: pakki_syahrir@yahoo.com, balitsereal@yahoo.com, balitsereal@litbang.pertanian.go.id

Diterima: 13 Juni 2015; Direvisi: 15 Januari 2016; Disetujui: 22 Januari 2016

ABSTRAK

Fusarium sp. merupakan salah satu patogen penting pada tanaman jagung di Indonesia, yang menginfeksi batang, tongkol, dan biji jagung di lapangan maupun pada tempat penyimpanan. Cemaran *F. verticillioides* perlu diwaspadai karena patogen tersebut menghasilkan toksin fumonisin (FB1, FB2, dan FB3). *Fusarium* sp. terdiri atas enam spesies, dan spesies yang dominan menginfeksi jagung ialah *F. verticillioides*. Infeksi patogen tersebut pada biji jagung dapat menimbulkan gejala maupun tanpa gejala (*symptomless*). Pengendalian hayati pada tanaman di lapangan dengan *Bacillus amyloliquefaciens*, *B. mojavensis*, dan bahan kimia berbahan aktif asam amonia dan propionat efektif menekan infeksi *F. verticillioides* dan selanjutnya mengurangi kontaminasi fumonisin di tempat penyimpanan. Pengendalian patogen di tempat penyimpanan dapat dilakukan melalui sanitasi dan aplikasi propionat, menyimpan biji jagung dengan kadar air 12–13%, serta menjaga suhu dan kelembapan tetap rendah.

Kata kunci: Jagung, *Fusarium verticillioides*, mikotoksin, bioekologi, pengendalian penyakit

ABSTRACT

Fusarium sp. is one of the important pathogens on maize in Indonesia. It infects stems, cobs and kernels of corn in the field as well as in storage. *F. verticillioides* contamination control is needed because the pathogen has strains that produce toxins namely fumonisin (FB1, FB2 and FB3). *Fusarium* sp. consists of six species and the dominant species that infects corn is *F. verticillioides*. Pathogen infections on kernels cause symptoms or symptomless. Biological control of pathogen on maize plant using *Bacillus amyloliquefaciens*, *B. mojavensis* and chemicals with active ingredients ammonia acid and propionate was able to decrease *F. verticillioides* infection and suppress fumonisin contamination in storage. Pathogen control in a storage could be done by applying sanitation and propionate, storing corn seed at 12–13% moisture content, as well as keeping the temperature and humidity remaining low.

Keywords: Maize, *Fusarium verticillioides*, mycotoxin, bioecology, disease control

PENDAHULUAN

Fusarium sp. merupakan salah satu patogen penting pada tanaman jagung. Patogen ini menginfeksi batang, tongkol, dan biji jagung di pertanaman maupun di tempat penyimpanan. Spesies *Fusarium verticillioides* merupakan patogen utama yang menginfeksi jagung di sentra-sentra produksi di Sulawesi Selatan, Gorontalo, dan Nusa Tenggara Timur. Di tempat penyimpanan, infeksi *F. verticillioides* menempati posisi kedua setelah *Aspergillus flavus* (Pakki dan Mas'ud 2005). *F. verticillioides* dapat memproduksi mikotoksin yang bersifat karsinogenik yang dapat membahayakan kesehatan manusia maupun ternak (Makun *et al.* 2011).

F. verticillioides dapat bertahan hidup di dalam tanah. Selanjutnya, tanah yang terinfestasi akan menjadi sumber utama infeksi melalui pelukaan, kemudian propagul patogen berkembang pada jaringan tanaman dan menjadi sumber awal infeksi pada semua bagian tanaman jagung (Ncube dan Plett 2013). Infeksi dominan ditemukan setelah jagung dipanen. Konidia pada biji jagung dari lapangan dapat berkembang dan menginfeksi biji yang lain di tempat penyimpanan (Pakki dan Talanca 2007). Dinamika infeksi patogen pada biji jagung di gudang penyimpanan dipengaruhi oleh kelembapan dan kadar air biji. Makin tinggi kandungan air pada biji jagung, makin besar peluang penyebaran penyakit dalam gudang penyimpanan.

Para ahli taksonomi menyatakan bahwa spesies *F. verticillioides* merupakan sinonim *F. moniliforme* dan dominan menginfeksi jagung (Oren *et al.* 2003; Ono *et al.* 2010; Stumpf *et al.* 20013). Di Indonesia, penelitian cemaran mikotoksin dari *F. verticillioides* dan tingkat toleransinya dalam pakan ternak belum banyak dilaporkan. Ke depan spesies cendawan ini perlu diwaspadai karena dapat menghasilkan mikotoksin penyebab penyakit pada manusia maupun ternak (Nayaka *et al.* 2009).

Infeksi *F. verticillioides* pada pertanaman jagung menyebabkan kehilangan hasil hingga 1,8 t/ha (Eller *et al.* 2008). Cemaran mikotoksin juga dapat menurunkan kualitas biji jagung sehingga dapat menjadi faktor pembatas dalam penentuan harga jagung di tingkat petani maupun pemanfaatannya sebagai bahan pangan maupun pakan ternak.

Upaya untuk mengurangi kerusakan biji jagung akibat *F. verticillioides* yaitu melalui pencegahan infeksi secara dini di lapangan dengan menggunakan fungisida sintesis maupun kombinasinya dengan varietas tahan. Di Indonesia, varietas jagung yang agak tahan sampai tahan terhadap *F. verticillioides* belum banyak dilaporkan. Selama ini, pencegahan yang dilakukan oleh petani ialah dengan cara mengeringkan jagung yang telah dipanen hingga mencapai kadar air yang rendah.

Makalah ini memberikan informasi tentang cemaran mikotoksin, bioekologi, faktor-faktor yang memengaruhi perkembangan penyakit, dan teknik pengendalian *F. verticillioides*. Informasi tersebut diharapkan dapat digunakan dalam pengendalian terpadu patogen *F. verticillioides* pada jagung.

BIOEKOLOGI

Di Sulawesi Selatan, infeksi *Fusarium* sp. terutama ditemukan pada pertanaman jagung yang ditanam setelah padi sawah. Sumber inoculum patogen berasal dari sisa-sisa jerami padi dengan kelembapan mikro yang tinggi (Pakki dan Muis 2007). Spesies patogen yang menginfeksi jagung ialah *F. verticillioides*. Patogen ini terutama menginfeksi biji, tetapi juga dapat menginfeksi akar dan batang tanaman (Glenn *et al.* 2004; Cao *et al.* 2014). *F. verticillioides* dapat bertahan hidup dan berkembang di dalam tanah di sekitar perakaran tanaman jagung (William *et al.* 2006). Penyebarannya pada pertanaman jagung dapat melalui angin dan serangga kelompok herbivora (penggerek batang). Infeksi berlangsung cepat jika tanaman jagung mengalami cekaman (Shutless *et al.* 2002; Ncube dan Plett 2013). Serangga penggerek batang berperan sebagai vektor. Penularan terjadi ketika serangga aktif mencari makanan. Konidia *Fusarium* sp. terbawa serangga dari satu tanaman ke tanaman lainnya sehingga penyebarannya berlangsung cepat. Pada fase vegetatif tanaman, perkembangan penyakit dipengaruhi oleh suhu sedang dan kelembapan yang tinggi. *F. verticillioides* menginfeksi tongkol jagung, tetapi infeksi sistemik dari tanaman ke biji tidak banyak dipengaruhi oleh suhu (William dan Munkvold 2008).

Fusarium sp. terdiri atas 31 spesies (Glenn *et al.* 2004), dan tergolong dalam kelompok fungi tidak sempurna karena tidak memiliki fase seksual. Organ yang menonjol ialah organ reproduksi berupa konidia. Sebagian dari kelompok fungi ini termasuk filum Ascomycota, famili Hypocreaceae. Spesies *F. verticillioides* yang menginfeksi jagung menghasilkan spora aseksual dengan

miselia yang terdiri atas 3–7 sekat, berukuran 2,4–4,9 μm x 150 μm x 160 μm .

Konidia dihasilkan dari rantai hifa, berdiameter 25–50 μm x 3–9 μm . Cendawan ini banyak terdapat di alam pada berbagai medium inang, seperti makanan, tumbuhan, bahan organik, dan tanah. *F. verticillioides* berkembang dengan baik di daerah dingin dengan suhu 5°C hingga wilayah tropis dengan suhu sekitar 30°C. Cendawan ini berkembang dengan baik di wilayah kering dan kelembapan tinggi dengan curah hujan < 250 mm/tahun (Pakki dan Talanca 2007). Di Indonesia, terdapat enam spesies *Fusarium* sp. dan satu di antaranya ialah *F. verticillioides* yang merupakan sinonim dari *F. moniliforme* (Bachri 2001). Inokulum awal *Fusarium* sp. selalu tersedia di area pertanaman jagung karena cendawan tersebut dapat hidup dan bertahan lama di dalam tanah.

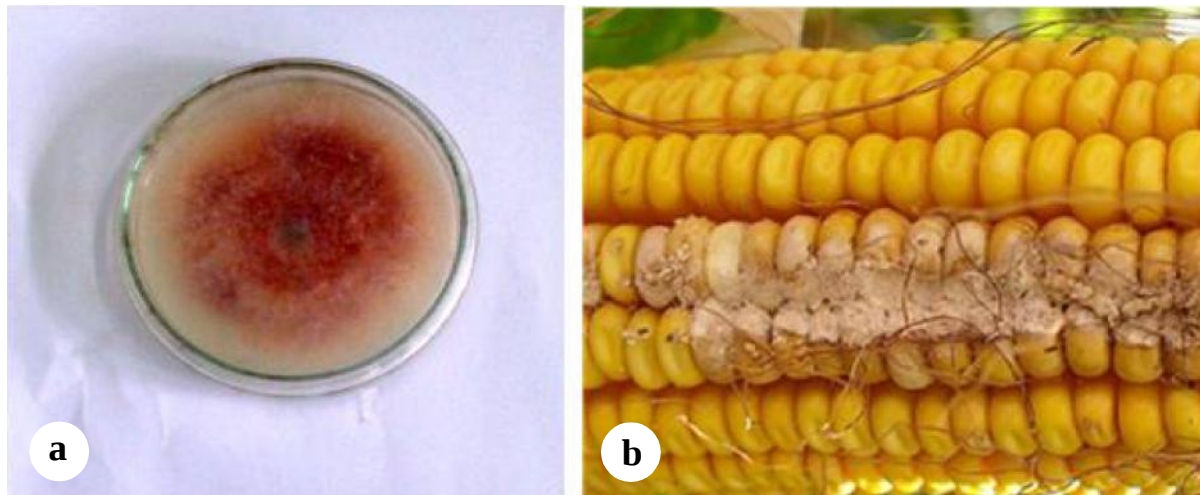
Gejala khas infeksi *F. verticillioides* yaitu miselia berkumpul pada bagian yang terinfeksi seperti batang, tongkol, dan biji jagung. *F. verticillioides* dalam bentuk biakan murni dan yang tumbuh pada tongkol jagung dapat dilihat pada Gambar 1. Miselia berwarna agak keputihan dengan warna dominan merah jambu. Infeksi berat pada batang biasanya menyebabkan pembusukan dan layu. Hal ini karena *F. verticillioides* mengeluarkan toksin yang dapat mengubah permeabilitas dinding sel sehingga tanaman kehilangan air dan layu.

Infeksi awal cendawan pada biji jagung berasal dari konidia di permukaan tanah, sisa-sisa hasil panen, atau tanaman yang terinfeksi. Konidia kemudian terdepositasi pada rambut jagung di ujung tongkol, selanjutnya masuk ke dalam tongkol dan menginfeksi biji (Duncan dan Richard 2010). Infeksi *F. verticillioides* sering tidak menampakkan gejala pada biji, tetapi bagian dalam jaringan sel biji rusak (Bacon *et al.* 2008; Thomas *et al.* 2014). *F. verticillioides* dapat ditularkan melalui biji jagung dan terbawa ke gudang penyimpanan. Makin tinggi kandungan kadar air biji jagung yang disimpan, makin besar peluang penyebaran cendawan sehingga jagung menjadi busuk.

Pada kondisi *in vitro*, patogen *F. verticillioides* dapat menghambat perkembangan akar tanaman jagung (Nurasia dan Muis 2013). Patogen ini memproduksi enzim pektin metil esterase, poligalakturonase, dan enzim pengurai lainnya (Yunus 2000). Enzim-enzim tersebut menyebabkan dinding sel rusak sehingga aktivitas perakaran berkurang dan pertumbuhan tanaman terhambat. Di Indonesia, intensitas serangan patogen ini bersifat sporadis. Serangan pada area yang luas belum banyak dilaporkan. *F. verticillioides* lebih banyak menginfeksi biji dan menurunkan kualitas hasil panen.

TOKSISITAS PADA TERNAK DAN MANUSIA

Cendawan *F. verticillioides* dapat memproduksi mikotoksin (fumonisin) yang merupakan pencemar utama



Gambar 1. (a) Koleksi, biakan murni isolat *F. verticillioides* pada media PDA, (b) Gejala *F. verticillioides* pada tongkol jagung (Anonymous 2015).

pada biji jagung (Oren *et al.* 2003; Wiliam *et al.* 2006; Dass *et al.* 2007; Sahankar *et al.* 2007; Balconi *et al.* 2011; Becker *et al.* 2014). Fumonisin tahan terhadap kondisi selama proses pengolahan sehingga dapat menyebar pada hasil olahan. Fumonisin merupakan salah satu penyebab utama penyakit kanker tenggorokan, liver, dan pembengkakan paru-paru serta berpotensi menimbulkan kebutaan pada manusia maupun ternak (Baht dan Miller 1991; Karthikeyan *et al.* 2011).

Kandungan mikotoksin pada jagung di Indonesia tergolong tinggi, berkisar antara 0,4–60 ppb (Ginting 1986; Okky *et al.* 1993). Infeksi *F. verticillioides* sekitar 99,1% pada biji jagung dapat menghasilkan fumonisin 7,4 ppm (Schaapsma *et al.* 2000). Di Indonesia, belum ada laporan tingkat toleransi kandungan fumonisin pada pakan ternak. Di luar negeri, tingkat toleransi kandungan fumonisin pada jagung sebagai pakan kuda adalah 5 ppm, pakan babi 10 ppm, dan pakan sapi 50 ppm (Stack 2000).

Kajian literatur tahun 2000–2011 (Tabel 1) menunjukkan terdapat tiga strain fumonisin, yaitu fumonisin B1, B2, dan B3 dengan kandungan toksin yang tergolong tinggi. Fumonisin memiliki arti penting sebagai toksin beracun karena bersifat stabil dan dapat bertahan selama proses pengolahan jagung. Konsentrasi fumonisin hanya dapat menurun melalui proses penggilingan basah karena senyawa ini dapat larut dalam air.

Hasil penelitian Pakki dan Mas'ud (2005) di 14 kabupaten penghasil jagung di wilayah Indonesia Timur menunjukkan bahwa *F. verticillioides* menjadi penyebab rendahnya kualitas biji dan nilai jual jagung. Kontaminasi cendawan *F. verticillioides* pada biji memengaruhi kualitas dan menentukan nilai jual jagung di tingkat petani. Makin tinggi kontaminasi *F. verticillioides*, makin rendah nilai jual jagung petani.

Selain cendawan patogen *Aspergillus flavus* yang memproduksi aflatoksin, cemaran *F. verticillioides* yang memproduksi fumonisin juga perlu diwaspadai karena

Tabel 1. Mikotoksin dari *Fusarium verticillioides* pada komoditas jagung untuk pakan ternak besar.

Mikotoksin <i>F. verticillioides</i>	Kandungan mikotoksin	Referensi
Fumonisin B1 (FB1)	20–2.168 µg/g	Almeida <i>et al.</i> (2000)
Fumonisin B2 (FB2)	10–380 µg/g	
Fumonisin B1 (FB1)	5,6–25.846 µg/g	Acuna <i>et al.</i> (2005)
Fumonisin B2 (FB2)	3,4–7.507,5 µg/g	
Fumonisin B1 (FB1)	2,41–3,996,36 µg/g	Ono <i>et al.</i> (2010)
Fumonisin B2 (FB2)	1.18–1.209,91 µg/g	
Fumonisin B1 (FB1)	16.302 ppm	Makun <i>et al.</i> (2011)
Fumonisin B2 (FB1)	6.423 ppm	
Fumonisin B3 (FB1)	2.456 ppm	

dapat menurunkan kualitas dan nilai jual jagung. Dalam jangka panjang, kajian korelasi intensitas cemaran *F. verticillioides* dengan kandungan fumonisin hendaknya menjadi acuan dalam menduga besarnya kandungan cemaran fumonisin pada jagung di tingkat petani. Hal tersebut dapat bermanfaat sebagai standar fisik serta penentuan harga jual jagung di tingkat petani.

UPAYA PENGENDALIAN

Penggunaan Varietas Tahan

Tanaman tahan merupakan salah satu komponen utama dalam penanggulangan penyakit secara terpadu pada

komoditas sereal dan tanaman pangan lainnya. Pemanfaatan varietas tahan dalam pengendalian patogen *Fusarium* sp. dapat mencegah atau menghindarkan tanaman dari serangan patogen (*escape strategy*). Wakman dan Kontong (2003) melaporkan bahwa jagung hibrida varietas Bisi-1, 2, 3, 4, 5, dan 6, Pioneer 4, 8, 9, 11, 12, dan 14, serta jagung bersari bebas Gumarang, Bisma, Semar-9, dan Palakka tergolong tahan terhadap *Fusarium* sp. (Tabel 2). Terdapat perbedaan sifat ketahanan di antara varietas jagung terhadap *F. verticillioidea* (Schjoth *et al.* 2008; Balconi *et al.* 2011; Anonymous 2013). Penggunaan varietas tahan berperan penting dalam menekan akumulasi cecairan fumonisin. Makin rentan suatu varietas terhadap *F. verticillioidea*, makin tinggi intensitas serangan dan berkorelasi positif dengan kandungan fumonisin (Nayaka *et al.* 2009).

Ketahanan suatu varietas terhadap patogen dikendalikan oleh gen-gen yang dikandung varietas tersebut. Pada varietas rentan, kompatibilitas spora dan inang tinggi sehingga memungkinkan miselia spora berkembang dalam jaringan tanaman. Hal ini menyebabkan produksi spora optimal dan intensitas infeksi tinggi. Sebaliknya varietas tahan memiliki sifat fisik dan genetik yang mampu mencegah proses infeksi patogen sehingga intensitas serangan rendah dan tanaman mampu memproduksi secara optimal.

Gen dominan yang memengaruhi ketahanan tanaman jagung terhadap *F. verticillioidea* belum banyak

dilaporkan. Di masa mendatang, teknologi molekuler perlu dimanfaatkan untuk mendeteksi ketahanan tanaman melalui pembuatan marka molekuler. Hal tersebut dapat membantu percepatan penemuan gen-gen tahan, yang dapat menjadi acuan bagi pemulia tanaman dalam merakit varietas jagung tahan terhadap *F. verticillioidea*.

Pengendalian Hayati

Agen hayati yang efektif mengendalikan *F. verticillioidea* ialah *Bacillus amyloliquefaciens* (Pereira *et al.* 2011) dan *Bacillus mojavensis* (Bacon *et al.* 2008). Kedua agen hayati tersebut dapat meningkatkan kualitas biji dan mengurangi kandungan toksin fumonisin akibat infeksi *F. verticillioidea*. Perlakuan cendawan *Pseudomonas fluorescens* yang diformulasi dalam bentuk *seed treatment* dan diaplikasikan melalui penyemprotan dapat mengurangi infeksi *F. verticillioidea* serta menekan produksi toksin fumonisin (Nayaka *et al.* 2009). *P. fluorescens* banyak ditemukan di daerah perakaran tanaman jagung dan dapat berfungsi ganda, yaitu menghasilkan zat pengatur tumbuh dan berperan sebagai pelarut fosfat. Baharuddin *et al.* (2005) mengemukakan bahwa *P. fluorescens* dapat memproduksi sianida (HCN) yang berperan sebagai toksin yang menghalangi perkembangan patogen. Sementara itu, Cavaglieri *et al.* (2005) melaporkan bahwa bakteri *Azotobacter armeniacus* efektif menurunkan koloni *F. verticillioidea* di area perakaran tanaman jagung. Muis (2006) juga melaporkan bahwa *Bacillus subtilis* juga berpotensi sebagai pengendali hayati *F. verticillioidea* pada tanaman jagung.

Hasil-hasil penelitian tersebut memberi gambaran bahwa pengendalian hayati dengan memanfaatkan bakteri sangat potensial di sentra-sentra produksi jagung di Indonesia. Pemanfaatan bakteri-bakteri tersebut untuk mengendalikan patogen *F. verticillioidea* sejalan dengan konsep pengendalian patogen terpadu. Teknik pengendalian ramah lingkungan lebih murah dibanding dengan menggunakan fungisida, mudah dikembangkan, dan dapat bertahan lama.

Strategi Penghindaran (*Escape Strategy*)

Strategi pengendalian penyakit melalui penghindaran tanaman dari infeksi (*escape strategy*) dapat dilakukan dengan panen tepat waktu dan tidak bertepatan dengan hari hujan. Panen terlambat dalam keadaan hujan dengan kelembapan tinggi akan meningkatkan infeksi awal *F. verticillioidea* pada tongkol jagung.

Upaya penghindaran lain ialah meminimalkan sumber inokulum awal *F. verticillioidea* dengan cara menjemur biji jagung hasil panen sampai kadar air 13%, kemudian biji disimpan dalam suhu 15°C dan kelembapan 61,5%. Keadaan ini merupakan kondisi ideal untuk

Tabel 2. Persentase tanaman jagung yang terinfeksi penyakit busuk batang (*Fusarium* sp.) melalui inokulasi buatan, Maros, 2003.

Varietas	Tanaman terinfeksi (%)	Ketahanan
Bisi-1	0	Tahan
Bisi-2	0	Tahan
Bisi-3	0	Tahan
Bisi-4	0	Tahan
Bisi-5	0	Tahan
Bisi-6	0	Tahan
Pioner-4	0	Tahan
Pioner-8	0	Tahan
Pioner-9	0	Tahan
Pioner-11	0	Tahan
Pioner-12	1	Tahan
Pioner-14	1	Tahan
Gumarang	1	Tahan
Bisma	0	Tahan
Semar-9	1	Tahan
Lamuru	7	Agak tahan
Pop 31 C8	33	Rentan
MS 2	23	Rentan
MK-A-C8	53	Rentan
Sticky corn	60	Rentan
Lokal Pulut (pembandingan rentan)	100	Rentan

Kriteria ketahanan berdasarkan persentase tanaman layu; 0–5% = tahan, 6–10% = agak tahan, 11–20% = agak rentan, > 20% = rentan (Wakman dan Kontong 2003).

menekan produksi mikotoksin dari cendawan patogen yang menginfeksi biji jagung (Asevedo *et al.* 1993). Upaya lain yang dapat dilakukan ialah mengurangi kerusakan fisik biji jagung pada saat pemrosesan dan menekan infestasi serangga, terutama selama penyimpanan. Kumbang bubuk (*Sitophilus zeamais*) berperan penting dalam penyebaran mikotoksin di tempat penyimpanan (Stack 2000). Sanitasi tempat penyimpanan secara teratur dengan asam propionat dapat membersihkan sisa-sisa cendawan sebagai sumber infeksi awal dan mencegah infeksi pada biji jagung yang sehat.

Hasil penelitian Wakman *et al.* (2003) yang dilakukan secara *in vitro* pada media *Potato Dextrose Agar* menunjukkan bahwa fungisida berbahan aktif mankozeb dan karbendazim sangat efektif mematikan cendawan *Fusarium* sp. Pakki dan Muis (2009) melaporkan bahwa bahan kimia amonia dan propionat dapat berefek ganda, yaitu selain dapat mengendalikan *A. flavus* juga menekan perkembangan *Fusarium* sp. pada jagung. Pencegahan penularan cendawan oleh serangga dengan insektisida juga dapat mengurangi penyebaran *F. verticillioides* pada pertanaman jagung.

KESIMPULAN

Cemaran patogen *F. verticillioides* perlu diwaspadai karena dapat menghasilkan toksin fumonisin FB1, FB2, dan FB3. *Fusarium* sp. yang mempunyai inang utama jagung terdiri atas 31 spesies. Enam spesies terdapat di Indonesia dan spesies yang dominan menginfeksi jagung ialah *F. verticillioides*. Infeksi pada biji jagung dapat menimbulkan gejala maupun tanpa gejala.

Pada stadia prapanen, pengendalian patogen dapat dilakukan secara hayati dengan *Bacillus amylo-liquefaciens* dan *B. mojavensis*. Bahan kimia berbahan aktif asam amonia dan propionat efektif mengendalikan inokulum dari lapangan dan menekan kontaminasi toksin di tempat penyimpanan. Pengendalian *F. verticillioides* di tempat penyimpanan dapat dilakukan dengan menyimpan jagung dengan kadar air 12–13%, menjaga kondisi suhu dan kelembapan tempat penyimpanan tetap rendah, serta sanitasi secara reguler dengan asam propionat.

DAFTAR PUSTAKA

Acuna, A., M.C. Lozano, M.C. Garcia, and G.J. Diaz. 2005. Prevalence of *Fusarium* species of the liseola section on selected Colombian animal feedstuffs and their ability to produce fumonisin. *Mycopathologia* 160: 63–66.

Almeida, A.P., B. Corea, M. Mallozi, E. Sawazaki, and L.M. Valente-Soares. 2000. Mycoflora and aflatoxin/fumonisin production by fungal isolate from freshly harvested corn hybrids. *Braz. J. Microbiol.* 31: 321–326.

Anonymous. 2013. Pathogenicity variation in *Fusarium verticillioides* population from maize in Northern Italy. <http://www.sciencedirect.com/science/> [24 September 2014].

Anonymous. 2015. Pioneer hybrid disease *Fusarium* ear rot. <https://www.pioneer.com/home/site/mobile/grow/corn/fusarium-ear-rot>. [25 March 2015].

Asevedo, I.G., E. Genble, B. Correa, C.R. Paula, R.M.A. Almedia, and V.M.S. Firamil. 1993. Influence of temperature and relative humidity on production of aflatoxin in sample of stored maize artificially contaminated with *Aspergillus flavus* (Link). *Revista de Microbiologia* 24(1): 32–37.

Bachri, S. 2001. Mewaspadai cemaran mikotoksin pada bahan pangan, pakan, dan produk ternak di Indonesia. *J. Penel. Pengembangan Pert.* 20(2): 55–64.

Bacon, C.W., A.E. Glenn, and I.E. Yates. 2008. *Fusarium verticillioides*: Managing the endophytic association with maize for reduced fumonisins accumulation. *Res. Article* 27(3–4): 411–446.

Baharuddin, Badawi, dan Z. Maskur. 2005. Uji efektivitas formulasi seed coating berbahan aktif bakteri *Pseudomonas fluorescens* dan *Bacillus subtilis* untuk pengendalian penyakit layu *Fusarium* (*Fusarium oxysporum*) pada tanaman tomat. *Prosiding Seminar Ilmiah dan Pertemuan Tahunan PEI dan PFI XVI Sulsel*.

Baht, R.V. and J.D. Miller. 1991. Mycotoxins and food supply. *Food Nutr. Agric.* 1: 27–31.

Balconi, C., N. Berardo, S. Locatelli, C. Lanzanova, A. Torri, and R. Ridaelli. 2011. Evaluation of ear root (*Fusarium verticillioides*) resistance and fumonisin accumulation in Italian maize inbred lines. *Phytopathologia Mediterraena*. Firenze Press. <http://dx.doi.org/10.14601/PhytopatholMediterr-11776>. [18 November 2014].

Becker, E.M., C. Herrfurth, S. Irmisch, T.G. Koller, I. Feussner, P. Karlovsky, and R. Splivallo. 2014. Infection of corn ears by *Fusarium* spp. induces the emission of volatile sesquiterpenes. *J. Agric. Food Chem.* 62(22): 5226–5236.

Cao, C.C., S.C. Ana, S.C. Rogelio, A.J. Ramos, X.C. Sauto, Olga, M.P.R. Ana, and P.G.A. Maria. 2014. Critical environmental and genotypic factor for *Fusarium verticillioides* infection, fungal growth and fumonisin contamination in maize grown in North Western Spain. *Int'l. J. Food Microbiol.* 177: 63–71. <http://digital.csic.es/handle/10261/97747>. [24 September 2014].

Cavaglieri, L.R., L. Andres, M. Ibanez, and M.G. Etchverry. 2005. *Rhizobacteria* and their potential to control *Fusarium verticillioides* effect of maize bacterisation and inoculum density. *Antonie van Leeuwenhoek* 87(3): 179–187.

Dass, R.S., Sreenivasa, and G.N. Janardhana. 2007. High incidence of *Fusarium verticillioides* in animal and poultry feed mixtures produced in Karnataka. *Plant Pathol. J.* 6(2): 174–178.

Duncan, K.E. and J.H. Richard. 2010. Biology of maize kernel infection by *Fusarium verticillioides*. *APS Press in cooperation with International Society for Molecular Plant - Microbe Interaction* 23(1): 6–16.

Eller, M.S., L.A. Robertson, G.A. Payne, and J.B. Holland. 2008. Grain yield and *Fusarium* ear rot of maize hybrids developed from lines with varying levels of resistance. *Maydica* 53: 231–137.

Ginting. 1986. Variasi kejadian dan kandungan aflatoksin pada jagung yang bersumber dari Tegal, Taiwan, dan Lampung pada pabrik makanan ternak di Bogor. *Penyakit Hewan* 18(31): 79–81.

Glenn, A., E.A. Richardson, and W.C. Bacon. 2004. Genetic and morphological characterization of *Fusarium verticillioides* conidiation mutant. *Mycologia USA* 96(5): 968–980.

Karthikeyan, I., S.P. Rajarajan, Saranavanakumar, Siva, and Valani. 2011. PCR based detection of fumonisin producing strains of

- Fusarium verticillioides* and gen related to toxin production. Curr. Bot. India 2(3). <http://currentbotany.org/index.php/currentbotany/article/view/6669> [18 November 2014].
- Makun, H.A., M.F. Dulton, M. Mwanza, and P.B. Njoben. 2011. Mycotoxin profiling of the culture material of *Fusarium verticillioides* (Sacc) Nitrenberg culture (Cabi-IMI 392688) isolate from rice in Niger State. Afr. J. Biotechnol. <http://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/96241>. [12 May 2014].
- Muis, A. 2006. Pathogenicity test of *Fusarium verticillioides* on corn and formulation of *Bacillus subtilis* BS10 for seed treatment as biological control agent. Prosiding Seminar dan Lokakarya Nasional. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor.
- Nayaka, S. Chandra, U. Shankar, C. Arakere, Reddy, Munagala, Niranjana, Siddapura, H.S. Prakas, Setty, and Huntrike. 2009. Control of *Fusarium verticillioides*, cause of ear rot of maize, by *Pseudomonas fluorescens*. Pest Management Science. Indian Academy of Sciences. 65(7): 769–775.
- Ncube, E. and B. Plett. 2013. *Busseola fusca*, *Fusarium verticillioides* interaction in maize. ARC Grain Crops Institute. Potchefstroom. <http://www.grainza.co.za>. [24 September 2014].
- Nurasia, D. dan A. Muis. 2013. Uji patogenitas *Fusarium moniliforme* Sheldon pada jagung. Prosiding Seminar Nasional Serealia. Meningkatkan Peran Penelitian Serealia Menuju Pertanian Bioindustri. Balai Penelitian Tanaman Serealia, Maros.
- Okky, S.D., S. Haryanto, dan Ambarwati. 1993. Asosiasi *Fusarium* sp. dengan beberapa tanaman yang mempunyai arti ekonomi penting di Jawa Barat dan produksi mikotoksinya pada biji jagung. Prosiding Kongres Perhimpunan Fitopatologi Indonesia (PFI) dan Seminar Nasional ke XII Yogyakarta.
- Ono, E.Y.S., M.H.P. Fungaro, S.H. Sopia, T.A. Miguel, Y. Sugiura, and E.Y. Hirooka. 2010. *Fusarium verticillioides* strains isolated from corn feed: characterization by fumonisin production and RAPD fingerprinting. Braz. Arch. Biol. Technol. 53(4) http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-89132010000400026&script=sci_arttext [24 September 2014].
- Oren, L., E. Smadar, D. Cohen, and A. Sharon. 2003. Early event in the *Fusarium verticillioides* - Maize interaction characterized by using a green fluorescent protein-expressing transgenic isolate. Environ. Am. Soc. Microbiol. 69(3): 1695–1701.
- Pakki, S. dan S. Mas'ud. 2005. Inventarisasi dan identifikasi patogen cendawan yang menginfeksi benih jagung. Prosiding Seminar Ilmiah dan Pertemuan Tahunan PEI dan PFI XVI Komda Sulawesi Selatan.
- Pakki, S. dan A. Talanca. 2007. Pengelolaan penyakit pascapanen jagung, Dalam Jagung. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor. hlm. 351–363.
- Pakki, S. dan A. Muis. 2007. Patogen utama pada tanaman jagung setelah padi rendengan di lahan sawah tadah hujan. Penelitian Pertanian 26(1): 55–61.
- Pakki, S. dan A. Muis. 2009. Efektivitas ammonia, asam propionate, dan ekstrak daun cengkih dalam pengendalian *Aspergillus flavus* pada jagung. J. Penel. Pert. 28(3): 158–164.
- Pereira, P., N. Andrea, C. Castillo, and Etcheverry. 2011. Field study on the relationship between *Fusarium verticillioides* and maize: Effect of biocontrol agents on fungal infection and toxin content of grain at harvest. Int'l. J. Agron. (7): 1–7.
- Sahankar, S., B.D. Shaw, and Won-Bo Shim. 2007. *Fusarium verticillioides* GAP 1, a gene encoding a putative glycolipid-anchored surface protein, participates in conidiation and cell wall structure but not virulence. Microbiology 153(9): 2850–2861.
- Schaapsma, A.W., T. Phibbs, D. Paul, and I.L. Tamburic. 2000. Testing corn hybrids for resistance to *Fusarium* ear rot in 2000. Ridgetown College, University of Guelph, Ridgetown, Ontario NOP 2CO http://www.ridgetownc.uoguelph.ca/research/documents/Schaafsma_vertic2000.pdf. [25 January 2016].
- Schjoth, E., A.M. Trosno, and L. Sundheim. 2008. Resistance to *Fusarium verticillioides* in Zambian maize hybrids. J. Phytopathol. 156(7–8): 470–479.
- Shutless, F., K.F. Cardwell, and Gounou. 2002. The effect of endophytic *Fusarium verticillioides* infestation of two maize variety by Lepidoptera stemborer and Coleoptera grain feeders. The American Phytopathological Society 92(2): 120–128.
- Stack. 2000. Grain mould and mycotoxin in corn. University of Nebraska Lincoln and the United States of Agriculture. 19 pp.
- Stumpf, R., J.D. Santos, L.D. Gomes, C.N. Silva, J.D. Tessmann, F.D. Ferreira, J. Machinski, and E.M. del Ponte. 2013. *Fusarium* species and fumonisin associated with maize kernels produced in Rio Grande do Sul State for the 2008/09 and 2009/10 growing seasons. Braz. J. Microbiol. 44(1): 89–95.
- Thomas, T., Z.T. Nicolas, T. Zitomer, R.M. Trevor, M.Z. Anne, W.B. Charles, T.R. Ronald, and E.G. Anthony. 2014. Maize seedling blight induced by *Fusarium verticillioides* accumulation of fumonisin B1 in leaves without colonization of the leaves. Agric. Food Chem. 62(9): 2118–2125.
- Wakman, W. dan S. Kontong. 2003. Identifikasi ketahanan varietas/galur jagung dari berbagai sumber yang berbeda terhadap penyakit busuk batang. Hasil Penelitian Hama dan Penyakit. Balai Penelitian Tanaman Jagung dan Serealia Lain, Maros. hlm. 20–28.
- Wakman, W., S. Rahamma, dan S. Kontong. 2003. Penyakit busuk batang jagung dan pengendaliannya. Hasil Penelitian Hama dan Penyakit. Balai Penelitian Tanaman Jagung dan Serealia Lain, Maros. hlm. 20–29.
- William, L.D., A.E. Gleen, C.W. Bacon, M.A. Smith, and T.R. Riley. 2006. Fumonisin production and bioavailability to maize seedling grown from seeds inoculated with *Fusarium verticillioides* and grown in natural soil. J. Agric. Food. Chem. 54(15): 5694–5700.
- William and Munkvold. 2008. Systemic infection by *Fusarium verticillioides* in maize plants grown under three temperature regimes. The American Phytopathological Society 92(12): 1695–1700.
- Yunus, A. 2000. Pengaruh ekstrak *Fusarium moniliforme* terhadap pertumbuhan dan resistensi tanaman tebu terhadap penyakit pokahbung. Agrosains 2(1): 1–9.