
DAMPAK KERUSAKAN OLEH JAMUR KONTAMINAN PADA BIJI KAKAO SERTA TEKNOLOGI PENGENDALIANNYA

THE IMPACT OF COCOA BEANS DAMAGE CAUSED BY FUNGAL CONTAMINANTS AND ITS CONTROL TECHNOLOGIES

Widi Amaria, Tajul Iflah, dan Rita Harni

BALAI PENELITIAN TANAMAN INDUSTRI DAN PENYEGAR

Jalan Raya Pakuwon Km 2 Parungkuda Sukabumi 43357

w_amarial@yahoo.com

ABSTRAK

Mutu biji kakao kering dapat dipengaruhi oleh beberapa hal di antaranya kerusakan yang disebabkan oleh jamur kontaminan penghasil toksin (mikotoksin). Keberadaan jamur tersebut dapat dideteksi sejak kegiatan panen dan pasca panen, seperti sortasi, fermentasi, pencucian, pengeringan, dan penyimpanan. Jenis jamur kontaminan yang sering ditemukan selama tahapan ini berlangsung antara lain marga *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Rhizopus*, dan *Mucor*. Faktor-faktor yang mempengaruhi perkembangan jamur antara lain: suhu dan kelembaban, kadar air, aktivitas serangga, dan penanganan pascapanen. Mikotoksin dihasilkan dari metabolit jamur-jamur kontaminan, dan jenis yang mendominasi pada biji kakao adalah aflatoxin dan okratoksin. Kedua jenis mikotoksin tersebut selain dapat menurunkan mutu maupun kuantitas biji dan produk olahannya, juga bersifat toksik/racun yang berbahaya bagi manusia karena dapat menyebabkan gangguan kesehatan seperti kanker hati dan ginjal. Oleh karena itu, perlu dilakukan pencegahan dan pengendalian terhadap jamur kontaminan penghasil mikotoksin pada semua tahapan kegiatan untuk memperoleh biji kakao kering dengan mutu terbaik.

Kata kunci: Biji kakao, jamur kontaminan, mikotoksin, pengendalian

ABSTRACT

*Quality of dried cocoa beans can be affected by several things, one of them is the damage caused by fungal contaminants that produce toxin (mycotoxin). The existence of these fungi can be detected from the harvest and post-harvest activities, including sorting, fermentation, washing, drying, and storage. These types of fungal contaminants that often found during those processes are genera *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Rhizopus*, and *Mucor*. Factors that influence the development of fungi are temperature and humidity, moisture, insect activity, and postharvest handling. Mycotoxins are generated from metabolites of fungal contaminants, in which the most dominant types on cocoa beans are aflatoxin and ochratoxin. These two types of fungal contaminants can reduce the quality and quantity of cocoa beans and its processed products. Besides, this toxin is also toxic/poison to humans because it can cause health problems such as liver and cancer. Therefore, it is necessary to prevent and control these fungal contaminants at all stages of activities in order to obtain dry beans with the best quality.*

Keywords: Cocoa beans, fungal contaminants, mycotoxin, control

PENDAHULUAN

Permintaan pasar untuk komoditas kakao dari tahun ke tahun mengalami peningkatan. Pada tahun 2012 nilai ekspor Indonesia sebesar 1.053,4 juta US dolar dan tahun 2013 mencapai 1.151,5 juta US dolar (Kementerian Perdagangan, 2014). Oleh karena itu, untuk memenuhi peningkatan permintaan tersebut maka perlu dilakukan upaya peningkatan produksi maupun mutunya. Mutu biji kakao harus selalu diperhatikan karena sangat menentukan tingkat harga di perdagangan pasar internasional. Persyaratan umum dan khusus untuk memenuhi standar mutu biji kakao tersebut telah diatur dalam Standar Nasional Indonesia Biji Kakao (SNI 01-2323-1991). Apabila biji kakao yang dihasilkan tidak memenuhi standar maka penahanan terhadap produk yang dihasilkan (*automatic detention*) akan sering terjadi, dan hal ini sangat merugikan karena akan terkena potongan harga (*automatic discount*) untuk biaya fumigasi dan gudang. Dampak yang

paling serius karena kejadian tersebut akan dapat menurunkan daya saingnya di pasar internasional.

Mutu biji kakao Indonesia sampai saat ini masih belum memenuhi persyaratan yang dianjurkan SNI. Hal ini terutama disebabkan oleh penanganan pasca panen yang belum dilakukan dengan baik dan benar yang mengacu kepada *good handling practices* (GHP) dan *good manufacturing practices* (GMP), serta adanya infestasi dan infeksi serangga maupun jamur. Rahmadi & Fleet (2008) mengemukakan alasan terjadi penolakan terhadap biji kakao Indonesia adalah sering ditemukannya jamur, kotoran, serangga, dan benda asing lainnya. Keberadaan jamur merupakan salah satu penentu mutu biji kakao, dan batas maksimal yang diperkenankan untuk biji kakao grade I adalah 3%, sedangkan untuk grade II adalah 4%.

Kerusakan yang disebabkan oleh jamur dapat berpotensi sebagai mikotoksin yang mengganggu kesehatan manusia dan hewan. Jamur dapat ditemukan serta mudah tumbuh dan

berkembang pada setiap tahapan panen dan pasca panen serta pada jalur distribusi atau rantai perdagangan. Jenis jamur pasca panen yang banyak ditemukan antara lain dari marga *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Rhizopus*, dan *Mucor* (Dharmaputra, Sunjaya, Retnowati, & Ambarwati, 2000; Asrul, 2009). Di tingkat petani, pedagang pengumpul, dan eksportir ditemukan puluhan jenis jamur pasca panen yang bersifat kosmopolit (terdapat dimana-mana) dan berpotensi menghasilkan toksin (Rahmadi & Fleet, 2008; Asrul, 2009).

Jenis mikotoksin yang paling banyak ditemukan pada biji kakao adalah okratoksin dan aflatoksin yang dihasilkan dari jenis *Aspergillus* dan *Penicillium* (Copetti, Iamanaka, Pitt, & Taniwaki, 2014). Senyawa ini tidak bisa dihilangkan selama proses pengolahan kakao yang dapat menyebabkan kontaminasi pada produk-produk olahan kakao sehingga berbahaya bagi kesehatan manusia. Badan Penelitian Kanker Internasional (International Agency for Research on Cancer [IARC], 1993) telah membuktikan bahwa okratoksin bersifat karsinogen, nefrotoksik, teratogenik, immunotoksik, dan hepatoksik pada berbagai jenis hewan percobaan dan kemungkinan besar bisa juga terjadi pada manusia. Seperti halnya okratoksin, aflatoksin juga dapat menyebabkan kanker dan kerusakan ginjal pada manusia bila dikonsumsi secara berlebihan. Handajani & Setyaningsih (2006) mengemukakan bahwa kontaminasi aflatoksin pada komoditi pertanian lebih sering terjadi di daerah beriklim tropik dan sub tropik karena suhu dan kelembabannya sesuai untuk pertumbuhan jamur.

Sampai saat ini, kerusakan pada biji kakao yang disebabkan oleh keberadaan jamur kontaminan masih menjadi kendala utama dalam upaya meningkatkan mutu biji kakao nasional. Sehubungan dengan itu maka perlu diketahui jamur penyebab kerusakan, faktor-faktor yang menyebabkan perkembangan jamur, serta teknologi pengendalian yang dapat dilakukan untuk mencegah maupun mengendalikan jamur kontaminan serta mikotoksin pada biji kakao.

JENIS DAN PENYEBAB KERUSAKAN PADA BIJI KAKAO

Terjadinya penolakan terhadap produk biji kakao Indonesia salah satunya karena belum memenuhi persyaratan yang tertera dalam Standar Nasional Indonesia Biji Kakao SNI 01-2323-1991. Penjelasan secara detail tentang syarat umum dan khusus biji kakao yang dapat diperdagangkan termasuk karakteristik fisik, bau, dan kontaminasi dari serangga dan jamur tercantum pada Tabel 1 dan 2.

Jenis Kerusakan

Secara umum kerusakan yang terjadi pada biji kakao selama proses panen, penanganan pasca panen, hingga proses penyimpanan akan menyebabkan penurunan mutu (susut berat, jumlah, dan mutu). Jenis kerusakan yang ditemukan pada biji kakao di antaranya kerusakan fisik dan mekanis, biologis, mikrobiologis, serta kimia (Supriyanto, 2012).

Tabel 1. Syarat umum Standar Nasional Indonesia Biji Kakao SNI 01 2323-1991

Table 1. General requirement of the Indonesian National Standard for Cocoa Beans SNI 01 2323-1991

Karakteristik	Persyaratan
Kadar air (b/b)*	Maks. 7,5 %
Biji berbau asap dan atau abnormal dan atau berbau asing	Tidak ada
Serangga hidup	Tidak ada
Kadar biji pecah dan atau pecahan biji dan atau pecahan kulit (b/b)	Maks. 3 %
Kadar benda-benda asing (b/b)	Maks. 0 %

Sumber: Balai Pengujian dan Sertifikasi Mutu Barang (1993)

Source: Balai Pengujian dan Sertifikasi Mutu Barang (1993)

Tabel 2. Syarat khusus Standar Nasional Indonesia Biji Kakao SNI 01 2323-1991

Table 2. Special requirement of the Indonesian National Standard for Cocoa Beans SNI 01 2323-1991

Karakteristik	Persyaratan (Maks.)	
	Mutu I	Mutu II
Kadar biji berkapang (b/b)	3%	4%
Kadar biji tidak terfermentasi (biji/biji)	3%	8%
Kadar biji berserangga, pipih, dan berkecambah	3%	6%

Sumber: Balai Pengujian dan Sertifikasi Mutu Barang (1993)

Source: Balai Pengujian dan Sertifikasi Mutu Barang (1993)

1. Kerusakan fisik dan mekanis

Kerusakan fisik pada biji kakao dapat disebabkan oleh perlakuan fisik, misalnya penggunaan peralatan pada saat pemecahan atau pengupasan buah kakao yang menyebabkan biji dapat tergores atau luka. Kerusakan mekanis terjadi akibat benturan, gesekan atau goresan selama penanganan pasca panen, pengemasan, pengangkutan, dan penyimpanan. Benturan antar biji, tertindih atau tertekan, serta gesekan dengan bahan kemasan dapat mengakibatkan biji mengalami perubahan bentuk, memar, pecah, kotor, tercampur dengan benda asing, dan berbau asap/asing.

2. Kerusakan biologis

Kerusakan biologis disebabkan oleh hama gudang dan binatang pengerat/rodensia seperti tikus, bajing, dan lain-lain. Jenis hama gudang antara lain *Cadra cutella*, *Lasioderma serricacarne*, *Araecerus fasciculatus*, dan *Tribolium castaneum*. Laju kerusakan biologis dipengaruhi oleh kadar air, suhu penyimpanan, dan oksigen. Kondisi iklim di negara produsen kakao pada umumnya sangat cocok untuk perkembangbiakan dan pertumbuhan hama gudang yang dapat merusak biji kakao. Serangan hama gudang tersebut sulit dikendalikan terutama pada biji kakao yang disimpan di karung-karung dalam jumlah besar.

3. Kerusakan mikrobiologis

Kerusakan mikrobiologis lebih banyak disebabkan oleh jamur, yaitu melalui proses hidrolisis (merusak jaringan/makromolekul penyusun bahan menjadi molekul-molekul kecil). Proses ini menyebabkan penurunan pH, penyimpangan bau dan rasa, bahkan dapat menghasilkan toksin/racun yang berbahaya bagi manusia. Jamur dapat tumbuh dan berkembang pada biji kakao yang rusak, yaitu bila proses pengeringan tidak optimal atau pada biji kering yang telah menyerap air selama penyimpanan karena kelembaban lingkungan terlalu tinggi.

4. Kerusakan kimia

Kerusakan kimia biasanya disebabkan perubahan komposisi/kandungan kimia pada biji selama proses pasca panen dan penyimpanan. Kerusakan kimia terjadi karena faktor intrinsik/dalam (reaksi biologis yang masih berlangsung di dalam biji) ataupun faktor ekstrinsik/luar. Faktor-faktor yang mempengaruhi kerusakan kimia antara lain: suhu selama reaksi berlangsung, oksigen yang mempercepat reaksi oksidasi, reaksi biologis seperti enzimatis, pH yang mempengaruhi denaturasi protein atau perubahan warna, dan logam yang menjadi prekursor reaksi.

Kerusakan yang terjadi pada biji kakao, baik akibat perlakuan fisik, mekanis, kimia, infestasi biologis maupun mikrobiologis, saling berhubungan satu sama lain. Biji kakao yang pecah akibat kerusakan mekanis atau luka dan berlubang karena infestasi serangga, dapat memudahkan jamur untuk tumbuh. Kondisi lingkungan dengan kelembaban yang tinggi juga dapat mendukung perkembangan jamur kontaminan. Hal lain yang perlu diwaspadai adalah keberadaan serangga sebagai vektor yang berperan dalam menyebarkan kontaminasi jamur ke biji sehat lainnya. Sementara itu, keberadaan serangga dapat dipengaruhi oleh perubahan kandungan kimia pada biji kakao sehingga akan meningkatkan penyebaran jamur kontaminan.

Biologi Jamur Penyebab Kerusakan

Jamur dianggap sebagai penyebab utama kerusakan pada biji kakao karena semua jenis kerusakan yang terjadi pada saat pra panen, panen, dan pasca panen dapat memicu tumbuh dan berkembangnya jamur. Jenis jamur yang mengkontaminasi dan menyebabkan kerusakan pada biji kakao dapat berpotensi sebagai mikotoksin. Jamur tersebut dapat terbawa oleh biji dan ditemukan di permukaan biji atau telah menginfeksi ke dalam biji. Jamur patogen dapat mengkontaminasi dan menginfeksi biji sejak di lapang (pra panen), saat penanganan panen, dan pasca panen (pengangkutan, pengolahan, dan penyimpanan). Namun demikian, jamur kontaminan lebih sering ditemukan pada saat kegiatan pengolahan dan penyimpanan, karena pada saat tahapan pemanenan tidak terlalu menjadi perhatian dan jamur kemungkinan belum berkembang. Terdapat empat kategori jamur yang mengkontaminasi produk pangan, antara lain *field fungi*, *storage fungi*, *contaminant fungi*, dan *invasive fungi*. Jamur yang ditemukan pada saat proses pemanenan disebut *field fungi*, sementara pada proses penyimpanan dikenal dengan *storage fungi*. *Invasive fungi* adalah jamur yang dapat menyerang biji kakao sedangkan *contaminant fungi* merupakan jamur yang mengkontaminasi pada saat proses pengolahan (International Commission on Microbiological Specification for Foods [ICMSF], 2005).

Populasi jamur biasanya baru terlihat pada saat biji akan difermentasi dan saat penjemuran, jumlahnya akan semakin meningkat selama masa penyimpanan. Biji yang sudah terkontaminasi ditandai dengan munculnya spora maupun hifa yang menempel di permukaan biji, serta perubahan bentuk dan warna biji (Gambar 1). Biji-biji yang sebelumnya tampak sehat dan bersih, bisa juga terkontaminasi jamur karena bersinggungan dan ditularkan dari biji lain.



Gambar 1. Biji kakao yang terkontaminasi jamur
Figure 1. Cocoa beans that contaminated with fungi

Tabel 3. Populasi berbagai jenis jamur yang ditemukan di tingkat petani, pedagang pengumpul, dan eksportir di Sulawesi Tengah

Table 3. Population of various types of fungi found in the level of farmers, traders, and exporters in Central Sulawesi

Jenis Jamur	Populasi jamur (cfu/ml)		
	Petani	Pedagang pengumpul	Eksportir
<i>Aspergillus flavus</i>	$7,2 \times 10^8$	$4,5 \times 10^5$	$4,1 \times 10^3$
<i>Aspergillus niger</i>	$4,7 \times 10^6$	$9,0 \times 10^6$	$5,1 \times 10^5$
<i>Aspergillus fumigatus</i>	$3,3 \times 10^4$	-	-
<i>Penicillium</i> sp.	$6,4 \times 10^7$	$7,2 \times 10^5$	$9,2 \times 10^5$
<i>Fusarium</i> sp.	$6,1 \times 10^8$	$5,5 \times 10^7$	-
<i>Trichoderma</i> sp.	$4,4 \times 10^5$	$6,1 \times 10^4$	-
<i>Trichoderma viride</i>	-	-	$7,7 \times 10^5$
<i>Rhizopus</i> sp.	$5,3 \times 10^6$	-	-
<i>Mucor</i> sp.	$3,9 \times 10^8$	$4,8 \times 10^6$	-
<i>Verticillium</i> sp.	$5,6 \times 10^7$	-	-
<i>Geotrichum</i> sp.	-	-	$6,0 \times 10^4$

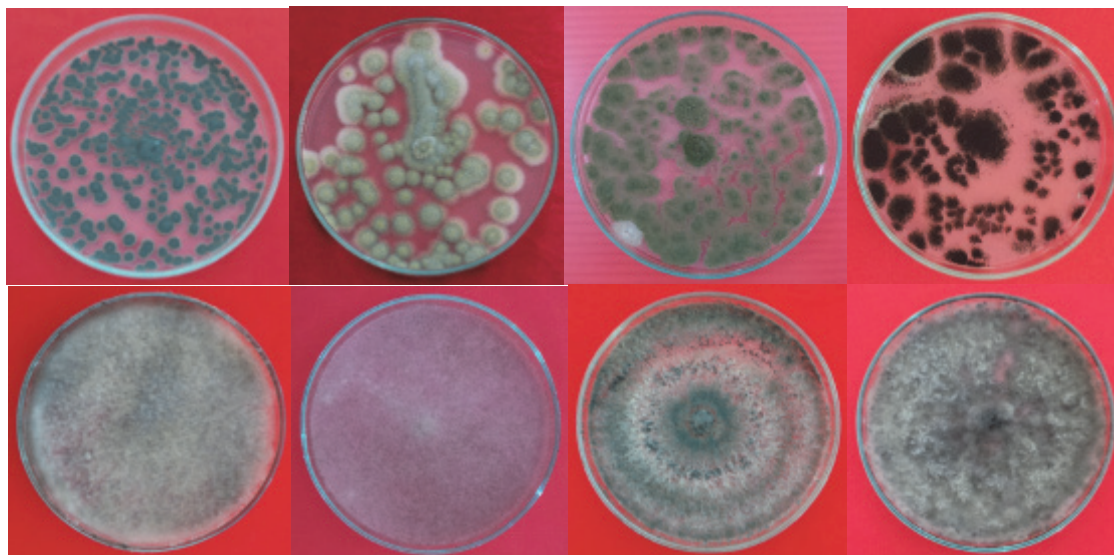
Sumber : Asrul (2009)

Source: Asrul (2009)

Jamur yang dominan ditemukan pada biji kakao selama proses penanganan pasca panen dan pengolahan yang tidak tepat adalah marga *Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium*, dan *Rhizopus* (Aroyeun & Adegoke, 2006; Mounjouenpou *et al.*, 2008). Selanjutnya Rahmadi & Fleet (2008) dan Asrul (2009) bahwa jenis yang banyak ditemukan adalah *A. flavus*, *A. niger*, dan *A. fumigatus*. Jamur *Aspergillus* dan *Penicillium* merupakan jamur pasca panen yang ditemukan di setiap tingkatan perdagangan biji kakao. Asrul (2009) menjelaskan berbagai jenis jamur kontaminan yang diisolasi dari biji kakao asal Sulawesi Tengah baik di tingkat petani, pedagang pengumpul, ataupun eksportir mempunyai jumlah populasi yang berbeda. Jumlah populasi tertinggi terdapat pada tingkat petani, kemudian pedagang pengumpul, dan selanjutnya yang terendah adalah pada tingkat eksportir (Tabel 3).

Sembilan jenis jamur yang menginfeksi biji kakao ditemukan di tingkat petani, 6 jenis jamur di tingkat pedagang pengumpul, dan 5 jenis jamur di tingkat eksportir. Jamur *A. flavus*, *A. niger*, dan *Penicillium* sp. selalu berhasil ditemukan di ketiga tingkatan tata niaga tersebut (Asrul, 2004). Keadaan ini menunjukkan jenis jamur tersebut memiliki stabilitas hidup yang tinggi walaupun telah melewati proses pengolahan dan distribusi transportasi. Hasil penelitian yang menunjukkan bahwa jenis jamur yang mendominasi pada setiap tahapan pasca panen adalah kelompok *Aspergillus* (*A. flavus* dan *A. niger*) (Rahmadi & Fleet, 2008).

Secara umum, jamur kontaminan yang banyak ditemukan pada biji kakao antara lain dari marga *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Fusarium*, dan *Trichoderma* (Gambar 2) (Kubicek & Harman, 2002; Mycology online, 2014).



Gambar 2. Jenis-jenis jamur kontaminan pada biji kakao
 Figure 2. Several types of contaminant fungi on cocoa beans

1. *Aspergillus*

Jamur *Aspergillus* dikenal sebagai salah satu jamur yang mudah tumbuh di berbagai substrat, lebih mudah dideteksi keberadaannya, dan jenisnya sangat beragam. Koloni *Aspergillus* dapat tumbuh dengan cepat, ada yang berwarna putih, kuning, kuning-cokelat, cokelat hitam atau warna hijau. Konidiofor berakhir pada vesikel dengan phialid tunggal. Konidia bersel satu, berdinding polos atau kasar, hialin (tidak berwarna) atau berpigmen, membentuk rantai panjang, dan mengelompok. Jenis dari *Aspergillus* yang banyak ditemukan sebagai kontaminan dan menghasilkan toksin antara lain *A. flavus*, *A. niger*, dan *A. fumigatus*. Jamur ini dapat mengeluarkan beberapa warna pigmen pada media agar.

2. *Penicillium*

Jamur *Penicillium* dikenal cukup beragam. Seperti halnya *Aspergillus*, jamur ini juga mudah tumbuh di berbagai substrat. Koloni *Penicillium* tumbuh dengan cepat, berwarna kehijauan, kadang-kadang putih, koloni ditemukan dengan agak tebal, ada juga yang tipis, permukaan seperti tepung, dan mudah menyebar tidak teratur ke segala arah. Konidia membentuk rantai panjang dan berpangkal pada phialid yang diproduksi secara tunggal, dalam kelompok atau dari percabangan metulae, berbentuk seperti kuas atau sapu. Konidiofor hialin, berdinding halus atau kasar. Konidia berbentuk bulat, elips, silinder atau fusiform, hialin, berdiameter tidak lebih dari 3 μm . Beberapa jenis jamur *Penicillium* dapat menghasilkan sclerotia. Jenis dari *Penicillium* yang mengkontaminasi biji dan berpotensi sebagai mikotoksin antara lain: *P. citrinum*, *P. exansum*, dan *P. viridicatum*.

3. *Mucor*

Morfologi marga *Mucor* secara sekilas hampir sama dengan *Absidia*, dan *Rhizopus*, namun sebenarnya kedua jenis jamur ini dapat dibedakan

dari keberadaan stolons dan rhizoids dimana *Mucor* tidak mempunyai stolons dan rhizoid. Koloni jamur ini juga dapat berkembang sangat cepat pada media *potato dextrose agar* (PDA), dengan permukaan menyerupai kapas berbulu, berwarna putih kekuningan, dan berubah menjadi abu-abu gelap, serta mengalami perkembangan sporangia. Sporangiofor berbentuk tegak, sederhana atau bercabang dengan diameter 60-300 μm , bulat, sporangia *multispored*, dan berkembang dengan baik. Sporangiospora hialin, abu-abu atau kecokelatan, bulat sampai elips, berdinding halus, serta dapat membentuk klamidiospora dan zigospora. Jenis *Mucor* yang menyebabkan penyakit bagi hewan dan manusia antara lain *M. amphibiorum*, *M. circinelloides*, *M. indicus*, dan *M. ramosissimus*.

4. *Rhizopus*

Jamur *Rhizopus* mempunyai stolons dan rhizoids, sporangiofor tunggal atau berkelompok di atas rhizoids, multi-spora, dan sporangia berbentuk bulat. Sporangiospora berbentuk bulat sampai bulat telur, bersel satu, hialin sampai cokelat. Koloni jamur tumbuh dengan cepat dan menutupi permukaan agar, seperti kapas berwarna putih menjadi abu-abu atau cokelat kekuningan.

5. *Fusarium*

Koloni *Fusarium* tumbuh dengan cepat, seperti kapas berwarna pucat atau cerah. Warna talus bervariasi dari keputihan hingga kuning, kecokelatan, merah muda, kemerahan atau ungu. *Fusarium* menghasilkan makrokonidia dan mikrokonidia dari phialid yang ramping, selain itu kadang-kadang juga ditemukan klamidokonidia. Makrokonidia hialin dan berbentuk sabit, sedangkan mikrokonidia bersel 1 dan 2, hialin, bulat sampai bulat telur, lurus atau melengkung. Beberapa jenis *Fusarium* yang menginfeksi biji dapat menghasilkan toksin yang berbahaya bagi manusia.

6. *Trichoderma*

Koloni jamur mudah tumbuh pada berbagai media, umumnya berwarna hijau, permukaan halus dan agak tebal, tumbuh pesat dan menyebar ke segala arah. Hifa hialin konidia berwarna hijau tua berbentuk oval/silinder, konidiofor bercabang tidak teratur, setiap cabang terdapat 3-6 phialid. Jamur *Trichoderma* umumnya bukan merupakan patogen, namun lebih banyak bersifat antagonis dan berperan sebagai agens hayati untuk mengendalikan penyakit.

JENIS MIKOTOKSIN PADA BIJI KAKAO DAN FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PERKEMBANGANNYA

Jenis Mikotoksin Pada Biji Kakao

Mikotoksin merupakan produk metabolit sekunder yang dihasilkan oleh suatu jamur yang bersifat racun bagi manusia maupun hewan. Metabolit sekunder dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain: keadaan jenis atau strain jamur tertentu, substrat tempat tumbuh jamur, dan faktor fisik (suhu, kelembaban, kadar air bahan). Sejauh ini diperkirakan terdapat sekitar 300 jenis mikotoksin. Jamur penghasil mikotoksin ini biasanya tumbuh pada komoditas hasil pertanian tertentu, baik sebelum hasil pertanian dipanen maupun ketika tahapan proses penanganan pasca panen. Jamur ini tidak hanya menghasilkan mikotoksin tetapi juga menyebabkan kerusakan sehingga menurunkan mutu dan kuantitas komoditas tersebut.

Penelitian tentang mikotoksin pada biji kakao telah banyak dilakukan, di antara informasi yang diperoleh menunjukkan jenis mikotoksin yang paling dominan ditemukan adalah Aflatoksin dan Okratoksin, yaitu dari jenis jamur *Aspergillus* dan *Penicillium*. ICMSF (2005) melaporkan kemungkinan adanya aflatoksin dan okratoksin pada produk kakao, coklat, kacang-kacangan, dan sereal. Studi lanjut yang mengkonfirmasi pernyataan ini dilakukan oleh Tafuri, Ferracane, & Ritieni (2004) dan sekaligus mempublikasikan tentang keberadaan okratoksin pada produk kakao. Jenis mikotoksin lainnya yang juga ditemukan pada biji kakao, antara lain fumonisin dan patulin. Keberadaan mikotoksin pada produk biji kakao kering tersebut juga perlu diwaspadai sehingga upaya pencegahan dan pengendalian dapat dilakukan secara menyeluruh.

1. Aflatoksin

Kata aflatoksin berasal dari *Aspergillus flavus* toksin. Aflatoksin dapat dihasilkan dari jamur *A. flavus*, *A. parasiticus*, *A. nomius*, *A. pseudotamarii*, dan *A. ochraceoroseus*. Jamur *A. flavus* dan *A. parasiticus* merupakan jenis yang dominan sebagai kontaminan aflatoksin yang dapat ditemukan pada tanaman sebelum panen maupun selama penyimpanan (Miller, 1995; Yu, Whitelaw, Nierman, Bhatnagar, & Cleveland, 2004.). Maryam (2002) menjelaskan jamur *A. flavus* dikenal sebagai penghasil utama aflatoksin yang memproduksi B₁ dan B₂ (AFB₁ dan AFB₂), sedangkan *A. parasiticus* memproduksi AFB₁, AFB₂, AFG₁ dan AFG₂.

Setiap jenis aflatoksin dapat tumbuh dengan berbagai kisaran suhu dan pH. Jamur *A. flavus* dan *A. parasiticus* tumbuh pada kisaran suhu yang panjang, dari 10–12 °C sampai 42–43 °C dengan suhu optimum 32–33 °C dan pH optimum 6, sedangkan suhu optimum *A. nomius* untuk memproduksi aflatoksin adalah 25 °C (Peterson, Ito, Horn, & Goto, 2004). Sejauh ini mikotoksin jenis aflatoksin masih dianggap paling penting pada produk biji kering karena efek toksik yang ditimbulkannya berdampak buruk pada kesehatan manusia, dan secara langsung menurunkan mutu serta kuantitas produk, yang merupakan syarat mutu pada perdagangan biji kakao.

2. Okratoksin

Mikotoksin jenis okratoksin (OTA) lebih banyak dihasilkan dari jamur *Aspergillus* dan *Penicillium*. Jenis *Aspergillus* antara lain: *A. ochraceus*, *A. carbonarius*, *A. cretensis*, *A. flocculosus*, *A. pseudoalegans*, *A. roseoglobulosus*, *A. sclerotiorum*, *A. melleus*, *A. ostianus*, *A. niger*, dan *A. tubingensis*, sedangkan jenis *Penicillium* adalah *P. verrucosum*, *P. nordicum*, *P. citrinum*, dan *P. viridicatum* (Bragulat, Abarca, & Caban˜es, 2004; Mounjouenpou *et al.*, 2008; Sanchez-Hervas *et al.*, 2008.). Jenis-jenis okratoksin adalah okratoksin A (OA), okratoksin B (OB), dan okratoksin C (OC). OTA ditemukan dengan konsentrasi yang tinggi pada sampel biji kakao, sebaliknya rendah pada sampel kakao olahan (Mounjouenpou *et al.*, 2008; de Magalhães *et al.*, 2011). Okratoksin mempunyai sifat stabil pada proses pemanasan atau pengolahan pangan, mempunyai titik leleh 169 °C dan bersifat larut dalam khloroform, metanol, asetonitril, dan natrium bikarbonat cair (Munarso, 2010).

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Perkembangan Jamur

Di negara tropis seperti Indonesia, kontaminasi mikotoksin sangat sulit untuk dihindari karena kondisi iklim dengan tingkat kelembaban, curah hujan, dan suhu yang tinggi, serta faktor-faktor lainnya yang sangat mendukung pertumbuhan dan perkembangan jamur penghasil mikotoksin. Hampir setiap jenis jamur dan populasinya sangat mudah tumbuh dan berkembang pada hampir semua substrat yang memiliki kelembaban tertentu. Penyebaran jamur sangat mudah, yaitu melalui angin, hujan, manusia, binatang, alat dan bahan yang digunakan, serta persinggungan dari yang sakit dengan yang sehat.

Perkembangan jamur dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain suhu dan kelembaban, kadar air, aktivitas serangga, dan penanganan pasca panen. Faktor-faktor yang mempengaruhi perkembangan jamur ini dikaitkan dengan tahapan panen dan pasca panen karena keberadaan jamur kontaminan selain merugikan kesehatan manusia, juga mempengaruhi citarasa hasil pengolahan.

1. Suhu dan kelembaban

Biji kakao yang disimpan dalam gudang atau tempat penyimpanan sangat rentan terkontaminasi oleh jamur. Suhu dan kelembaban yang tinggi baik wadah penyimpanan biji maupun gudang penyimpanan, sangat sesuai untuk pertumbuhan dan perkembangan jamur. Suttajit (2014) menjelaskan jamur akan tumbuh selama penyimpanan biji karena iklim yang lembab dan suhu hangat (25-40 °C). Biji kakao dalam penyimpanan saling bersinggungan satu sama lain sehingga jika ditemukan jamur tumbuh di permukaan biji atau yang telah menginfeksi biji maka akan cepat menular pada biji sehat. Suhu dan kelembaban yang mendukung maka akan meningkatkan perkembangan infeksi.

2. Kadar air

Kadar air yang tinggi pada biji kakao baik saat proses panen maupun pasca panen dapat mengakibatkan tumbuhnya jamur kontaminan. Jika faktor kadar air bahan berinteraksi dengan substrat dan suhu maka dapat memicu tumbuh dan berkembangnya jamur penghasil mikotoksin (okratoksin) (Wangge, Suprpta, & Wirya, 2012).

Kegiatan panen buah kakao di tingkat petani seringkali dilakukan sebelum waktunya, yaitu pada saat buah kakao belum matang optimal, di samping itu juga dipengaruhi oleh penggunaan peralatan yang kurang bersih. Kondisi ini dapat menyebabkan biji kakao mudah terkontaminasi jamur. Buah kakao yang dipanen terlalu cepat akan mengandung biji kakao dengan kadar air tinggi dan mengakibatkan jamur mudah tumbuh. Menurut Maryam (2006) biji muda banyak mengandung air yang sangat menguntungkan untuk pertumbuhan dan perkembangan jamur sehingga dapat merusak citarasa dan penampakkannya.

Proses pencucian dan pengeringan setelah fermentasi juga mempengaruhi keberadaan jamur. Tujuan pencucian atau perendaman biji dimaksudkan untuk membersihkan biji kakao setelah fermentasi supaya meminimalisir dan mencegah jamur-jamur kontaminan yang kemungkinan dapat terbawa biji. Akan tetapi, jika pencucian tidak dilakukan dengan baik maka dapat menyebabkan kadar air biji tinggi sehingga mempermudah tumbuhnya jamur, serta menjadi sumber inokulum bagi biji sehat lainnya. Proses pengeringan dengan penjemuran di bawah sinar matahari pada pengolahan primer biji kakao bertujuan menghentikan proses biologis dan kimia serta untuk mengurangi kadar air dari biji kakao hingga mencapai kadar air aman untuk penyimpanan. Pengeringan biji kakao yang tidak maksimal akan mengakibatkan tumbuhnya jamur penghasil okratoksin seperti jenis *A. niger* (Wangge *et al.*, 2012).

Pada proses penyimpanan biji kakao di gudang atau tempat penyimpanan yang tersedia akan mengakibatkan penyimpangan fisik, mengingat biji kakao tersebut bersifat higroskopis sehingga menyebabkan kadar air biji menyeimbangkan dengan kelembaban udara disekelilingnya. Dijelaskan oleh

Suttajit (2014) selama penyimpanan biji, jamur akan mudah tumbuh, disebabkan kadar air yang tinggi.

3. Aktivitas serangga

Aktivitas serangga hama juga mempengaruhi keberadaan jamur pada biji kakao karena dapat berperan sebagai vektor untuk menyebarkan kontaminasi jamur (Dharmaputra *et al.*, 2000; Suttajit, 2014). Lebih lanjut dijelaskan Dharmaputra *et al.* (2000) bahwa selama penyimpanan, persentase populasi jamur pada biji kakao meningkat akibat infestasi serangga hama *Ephestia cautella*. Gejala yang ditimbulkan akibat infestasi serangga pada biji kakao adalah biji luka dan berlubang sehingga jamur semakin mudah untuk menginfeksi dan mendukung perkembangannya.

4. Penanganan pasca panen

Peralatan maupun wadah yang kurang bersih pada saat penanganan pascapanen, misalnya proses pemecahan/pengupasan buah dan fermentasi biji kakao, dapat menyebabkan munculnya jamur kontaminan. Biji kakao yang masih berada di dalam buah dan belum dibuka relatif steril dari kontaminasi mikrobiologis. Namun, pada saat dilakukan proses pemecahan atau pengupasan buah yang bersamaan dengan sortasi buah dan biji, dapat terjadi kontaminasi jamur. Demikian juga halnya pada saat berlangsungnya proses fermentasi. Kontaminasi ini disebabkan tangan pekerja, alat yang digunakan, wadah/tempat yang tidak terucui, maupun polong-polong kering yang tertinggal di wadah fermentasi (Suttajit, 2014; Schwan & Wheals, 2004). Selain itu cara fermentasi biji kakao yang digunakan akan mempengaruhi tingkat konsentrasi mikotoksin yang dihasilkan. Abrokwah, Takramah, Ocloo, & Sackey (2013) melaporkan penggunaan cara fermentasi biji dari buah kakao sehat dengan *heap fermentation* (fermentasi dengan tumpukan) tidak ditemukan kontaminasi okratoksin, dengan *box fermentation* diperoleh konsentrasi okratoksin sebesar 0,03 µg/kg, sedangkan *tray fermentation* dengan okratoksin sebesar 0,04 µg/kg. Sementara itu jika yang difermentasi adalah biji dari buah terserang penyakit maka menghasilkan okratoksin dengan konsentrasi 0,11 µg/kg, sedangkan biji dari buah yang mengalami kerusakan dapat menghasilkan okratoksin 0,18 µg/kg. Selain faktor alat dan wadah fermentasi, pada akhir proses fermentasi seringkali juga ditemukan jamur kontaminan pada biji kakao walaupun jenis dan populasinya lebih rendah dibandingkan biji tanpa difermentasi (Dharmaputra *et al.*, 2000). Hasil isolasi yang dilakukan oleh Mounjouenpou *et al.* (2008) mendapatkan bermacam-macam jenis jamur yang mengkontaminasi biji kakao pada proses fermentasi, antara lain dari marga *Penicillium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Geotrichum*, *Trichoderma*, *Rhizopus*, dan *Fusarium*.

DAMPAK MIKOTOKSIN DAN TEKNOLOGI PENGENDALIANNYA

Panjangnya rangkaian kegiatan pasca panen kakao, yang dimulai dari pemanenan, fermentasi, pengeringan, pengemasan, dan distribusi hingga sampai ke industri cokelat memungkinkan terjadinya kontaminan di setiap tahapan proses (Minifie, 1999). Selain itu mengingat faktor-faktor yang mempengaruhi keberadaan mikotoksin serta dampak yang ditimbulkannya dapat menimbulkan kekhawatiran konsumen sewaktu mengonsumsi produk olahan dari biji kakao kering ini maka perlu diketahui teknologi pengendalian yang dapat dilakukan untuk mencegah maupun menekan perkembangan jamur penghasil mikotoksin.

Dampak Mikotoksin bagi Kesehatan

Mikotoksin tidak dapat rusak selama proses pengolahan sehingga menyebabkan terjadinya mikotoksikosis yang membahayakan kesehatan manusia sebagai konsumen. Pitt & Hocking (1997) mengatakan penyakit kanker hati yang terjadi pada sebagian penduduk Indonesia diduga berhubungan erat dengan konsumsi pangan yang mengandung aflatoksin. Hal ini didukung dengan tingginya kasus kematian di Indonesia yang setiap tahunnya sebesar 20.000 orang karena menderita penyakit kanker hati yang disebabkan oleh aflatoksin.

Mengingat ketahanan dari mikotoksin selama proses pengolahan dan kemampuannya menginduksi penyakit degeneratif seperti kanker hati dan *Alzheimer's disease* maka penting untuk mengetahui batas maksimum kontaminasi mikotoksin pada produk pangan. Rahmadi & Fleet (2008) menyebutkan tingkat kontaminasi mikotoksin pada biji kakao dapat mencapai 4 µg/kg produk, angka ini sedikit di bawah ambang batas yang ditetapkan oleh Komisi Eropa (*Europe Commission*) untuk produk pangan secara umum, yaitu 5 µg/kg produk. Namun demikian, komisi Eropa (*Europe Commission*) menyatakan tidak perlu untuk mengatur ambang batas okratoksin pada kakao dan produk olahan kakao. Hal yang sama juga dinyatakan oleh Kementerian Kesehatan Kanada (*Health Canada*), yang mengidentifikasi kakao atau produk-produk cokelat sebagai produk yang tidak harus dipertimbangkan jumlah kandungan okratoksin maksimum (Turcotte, Scott, & Tague, 2013).

Beberapa negara menghendaki kandungan okratoksin pada produk-produk hasil pertanian dalam jumlah yang rendah. Data *Food and Agriculture Organization* [FAO] (2014) mencatat baru 44 negara dari 104 negara anggota FAO yang melakukan pengaturan okratoksin dalam bahan pangan dengan batas maksimum yang masih sangat bervariasi. Sebagian besar negara menetapkan kandungan okratoksin pada sereal sebesar 5 ppb, sedangkan produk olahan siap konsumsi sebesar 3 ppb. Untuk kopi, beberapa negara menetapkan batas maksimum yang bervariasi, yaitu dari 2,5 ppb hingga 50 ppb. Sementara untuk jagung 50 ppb dan buah kering sebesar 10 ppb.

Berbeda dengan okratoksin, aflatoksin merupakan senyawa metabolit yang paling toksik dibanding mikotoksin lainnya. Aflatoksin dapat menyebabkan kanker dan kerusakan ginjal pada manusia bila dikonsumsi secara berlebihan. Mengingat bahaya yang ditimbulkan, maka WHO, FAO dan UNICEF telah menetapkan ambang batas kandungan aflatoksin pada produk pertanian tidak lebih dari 30 ppb. Bahkan Komisi Eropa (*Europe Commission*) menetapkan batas maksimal total aflatoksin lebih rendah, yaitu 4 ppb untuk produk sereal (Miskiyah & Widaningrum, 2008).

Teknologi Pengendalian Jamur Kontaminan

Keberadaan jamur kontaminan terutama mikotoksin dapat mempengaruhi kuantitas dan mutu atau mutu biji kakao, serta berdampak terhadap kesehatan manusia. Beberapa tahun mendatang, persyaratan mutu perdagangan biji kakao diperkirakan akan semakin ketat. Sebagai ilustrasi, dalam pertemuan meja bundar yang membahas ekonomi kakao dunia berkelanjutan (*Roundtable on a Sustainable World Cacao Economy*), negara-negara maju, telah membuat sebuah standar mutu kakao kering fermentasi yang dapat diterima oleh semua pihak. Salah satu standar yang diterapkan adalah bersertifikasi HACCP (*hazard analysis critical control point*) (Yasa, 2004).

Pendekatan HACCP merupakan salah satu cara untuk mengendalikan kontaminasi jamur khususnya jamur yang menghasilkan aflatoksin (Anonymous, 2001). Selain itu, HACCP juga merupakan suatu pendekatan untuk mencegah dan mengontrol penyakit karena keracunan makanan. Sistem ini dirancang untuk mengidentifikasi bahaya yang berhubungan dengan beberapa tahapan produksi, pengolahan atau penyiapan makanan, serta memperkirakan risiko yang akan terjadi dan menentukan prosedur operasi untuk prosedur kontrol yang efektif (Bryan, 1992).

Sistem HACCP merupakan alat yang tepat untuk menetapkan sistem pengendalian karena berfokus pada pencegahan daripada pengujian produk akhir. FAO (1995) mengatakan sistem ini dirancang untuk mencegah dan meminimalkan risiko melalui identifikasi, kontrol, serta pengawasan (*monitoring hazard*). Konsep HACCP yang dirancang oleh FAO meliputi penerapan *good agricultural practices* (GAP) dan *good manufacturing practices* (GMP) yang mencakup pengendalian pra-panen, saat panen, dan pasca panen.

HACCP dapat diterapkan pada seluruh rantai pangan dari produk primer sampai pada konsumsi akhir, yang penerapannya harus dipandu oleh bukti secara ilmiah terhadap risiko kesehatan manusia. Prosesnya berdasarkan 7 prinsip sistem HACCP yang direkomendasikan oleh Standar Nasional Indonesia dari Badan Standarisasi Nasional (1999), meliputi:

- Prinsip 1: Analisis bahaya dan pencegahannya
- Prinsip 2: Identifikasi *critical control points* (CCP) di dalam proses
- Prinsip 3: Menetapkan batas kritis untuk setiap CCP
- Prinsip 4: Menetapkan cara pemantauan CCP
- Prinsip 5: Menetapkan tindakan koreksi

Prinsip 6: Menyusun prosedur verifikasi

Prinsip 7: Menetapkan prosedur pencatatan (dokumentasi)

Sejalan dengan penggunaan prinsip HACCP maka pencegahan maupun pengendalian terhadap jamur pasca panen terutama jamur kontaminan penghasil mikotoksin, perlu dilakukan pada setiap tahapan mulai panen dan pasca panen. Teknologi yang digunakan sebaiknya bersifat ramah lingkungan untuk meminimalkan penggunaan bahan kimia yang berdampak negatif pada lingkungan dan manusia, meliputi: 1) tindakan pencegahan pada tahapan panen dan penanganan pasca panen, 2) tindakan pengendalian dengan penggunaan pestisida nabati dan agens hayati.

1. Tindakan pencegahan

Tindakan pencegahan infestasi dan infeksi jamur kontaminan pada biji kakao dilakukan mulai kegiatan panen dan pasca panen. Tindakan ini dimaksudkan agar dapat memonitor semua kegiatan pada setiap tahapan panen dan pasca panen untuk meminimalisir pertumbuhan jamur sehingga diperoleh biji kakao dengan mutu terbaik. Dari aspek pasca panen, mutu terbaik biji kakao dapat dipengaruhi oleh tiga hal, yaitu buah kakao yang sehat, fermentasi yang sempurna, dan teknik pengeringan yang cepat dan tepat. Tindakan pencegahan yang perlu dilakukan antara lain:

- a. Kegiatan panen buah kakao sebaiknya dilakukan lebih awal untuk mengurangi risiko kontaminasi aflatoksin. Jika panen ditunda atau tidak segera dilakukan dan cuaca sedang tidak menentu maka dapat mempengaruhi hasil panen buah kakao (Gambar 3a). Sejalan yang dijelaskan oleh Rachaputi, Krosch, & Wright (2002) untuk mengurangi risiko aflatoksin dapat dilakukan panen lebih awal, dibandingkan jika panen tertunda dengan risiko kadar aflatoksin tinggi.
- b. Kegiatan sortasi dilakukan pada buah setelah panen serta biji saat pemecahan dan pengupasan (Gambar 3b). Buah yang busuk dan biji-biji yang rusak, berlubang, busuk atau berubah warna, bentuk tidak sempurna, dipisahkan kemudian dibuang, atau dimusnahkan untuk mengurangi sumber inokulum dan tertularnya buah dan biji sehat. Demikian juga jika pada permukaan biji terdapat spora atau hifa jamur, baik sudah terinfestasi maupun terinfeksi jamur maka langsung dipisahkan dari yang sehat. Sesuai yang dijelaskan oleh Amezqueta *et al.* (2008) selama panen, sebaiknya dipilih buah kakao sehat yang bebas dari mikroorganisme karena hal ini mengindikasikan bebas dari kontaminasi mikotoksin. Bankole & Adebajo (2003) menambahkan dalam memilih biji-bijian yang rusak secara fisik dan terinfeksi merupakan salah satu metode yang efisien untuk mengurangi kontaminasi mikotoksin. Hal ini dapat dilakukan secara manual atau dengan menggunakan penyortir elektronik.
- c. Pada proses fermentasi terlebih dahulu memastikan wadah (bak-bak) fermentasi dalam keadaan bersih (Gambar 3c). Selain dari segi kehygienisan peralatan yang digunakan, kondisi fermentasi yang sempurna juga harus diperoleh untuk menghasilkan biji kakao kering dengan kualitas terbaik. Suhu optimal di dalam bak fermentasi sekitar 45-60 °C. Pada saat proses fermentasi, jamur kontaminan dapat tumbuh dan berkembang sehingga populasinya harus ditekan agar tidak mempengaruhi kualitas produk. Produk metabolit mikroorganisme yang ditemukan pada saat fermentasi sangat dipengaruhi oleh populasi mikroorganisme yang mendominasi proses fermentasi, seperti kandungan alkohol tinggi yang dihasilkan oleh ragi (*yeast*), asam asetat, dan asam laktat. Faktor lain seperti pH rendah, asam organik, suhu yang tinggi karena reaksi eksotermik dan kondisi mikroaerofilik dapat meminimalisir pertumbuhan jamur berfilamen pada biji kakao selama proses fermentasi (Copetti *et al.*, 2014).
- d. Pencucian biji kakao dilakukan setelah proses fermentasi, untuk meminimalisir dan mencegah jamur-jamur kontaminan yang kemungkinan dapat terbawa biji (Gambar 3d). Setelah pencucian, selanjutnya proses pengeringan yang dapat dilakukan dengan penjemuran biji kakao di bawah sinar matahari (Gambar 3e). Menurut Suttajit (2014), pada proses pengeringan, kandungan air biji harus rendah, yaitu 7-9% baik dijemur di bawah sinar matahari, maupun menggunakan mesin pengering ataupun kombinasi keduanya. Pengeringan dapat dilakukan secara berulang agar jamur kontaminan dapat mati atau populasinya tertekan pada suhu tertentu. Menurut Bankole & Adebajo (2003), pengeringan yang dilakukan dengan cepat dapat menyebabkan kelembaban lebih rendah sehingga keberadaan jamur kontaminan terutama mikotoksin selama penyimpanan dapat ditekan. Infestasi mikotoksin pada produk biji sangat erat kaitannya dengan kelembaban. Pada tahapan ini, juga perlu dilakukan sortasi biji kakao untuk menghilangkan sumber inokulum, yaitu memisahkan biji berubah warna, bentuk, busuk, terinfestasi atau terinfeksi jamur.
- e. Gudang maupun *container* yang digunakan untuk penyimpanan dipersiapkan terlebih dahulu sesuai dengan kebutuhan standar penyimpanan biji kakao kering. Setelah pengeringan, biji kakao kering disimpan dalam karung-karung atau tempat penyimpanan yang terjaga kebersihan dan kelembabannya (Gambar 3f). Sejalan yang disampaikan Suttajit (2014) bahwa kadar air biji kakao selama penyimpanan harus tetap rendah, yaitu 7%, oleh karena itu gudang atau *container* tetap dijaga dengan suhu dan

kelembaban yang rendah, serta bebas dari infestasi serangga dan mikroorganisme. Pengembangan teknologi juga perlu memperhatikan mengenai kelayakan gudang penyimpanan. Gudang penyimpanan yang terbuat dari bahan tanaman (bambu) yang biasa digunakan oleh petani dinilai kurang memadai karena akan lebih mempermudah masuknya serangga dan terkontaminasinya biji dengan jamur. Selain itu juga suhu dan kelembaban kurang stabil. Oleh karena itu, gudang penyimpanan perlu dikembangkan dan diperbaiki agar dapat terjangkau secara ekonomi dan sesuai dengan kebutuhan (Bankole & Adebajo, 2003).

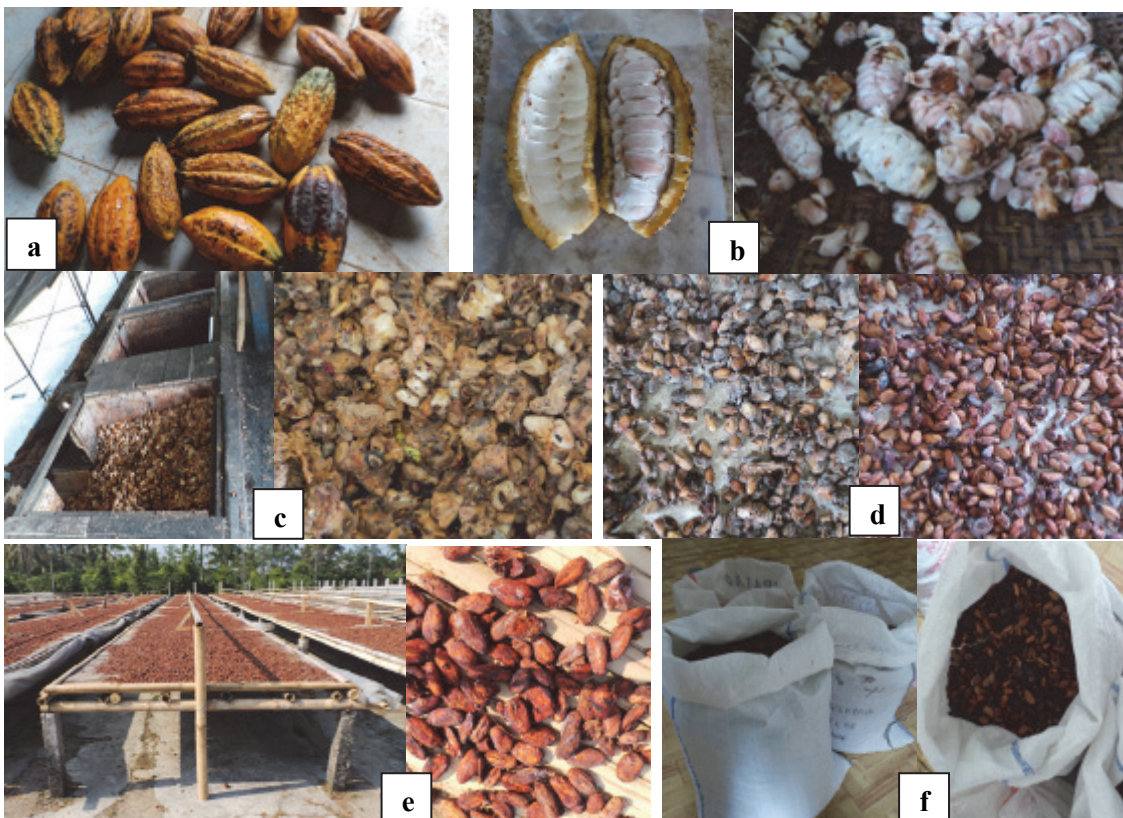
- f. Sanitasi dilakukan secara berkala baik di lapang, setelah panen, maupun di gudang penyimpanan untuk mencegah tumbuhnya jamur kontaminan. Membersihkan sisa-sisa panen dan menghancurkan sisa-sisa tanaman adalah tindakan sanitasi dasar yang harus dilakukan untuk memusnahkan sumber inokulum. Membersihkan gudang

sebelum digunakan sebagai tempat penyimpanan berkorelasi dengan penurunan tingkat aflatoksin (Hell *et al.*, 2000; Bankole & Adebajo, 2003).

- g. Pemantauan (monitoring) berkala selama penyimpanan biji kakao perlu dilakukan, agar tetap terjaga suhu dan kelembaban, kadar air biji, serta memastikan tidak adanya kotoran, benda asing, infestasi serangga, dan jamur kontaminan yang menyebabkan kerusakan, penyakit, dan kandungan toksin pada biji kakao.

2. Tindakan pengendalian

Tindakan pengendalian dilakukan secara ramah lingkungan agar terhindar dari pencemaran maupun residu kimia yang memberikan dampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan. Penggunaan pestisida nabati dari minyak dan ekstrak tanaman, serta penggunaan agens hayati dari mikroorganisme antagonis untuk menekan perkembangan jamur dan serangga pada biji selama di penyimpanan (Suttajit, 2014).



Gambar 3. Penanganan pasca panen: (a) buah kakao hasil panen, (b) pemecahan dan pengupasan, (c) fermentasi biji kakao, (d) pencucian, (e) pengeringan dengan penjemuran sinar matahari, dan (f) penyimpanan biji kakao kering

Figure 3. Postharvest handling: (a) harvested cocoa pods, (b) splitting and separating the beans from pod husks, (c) fermentation of cocoa beans, (d) washing process, (e) drying under the sun, and (f) dried cocoa beans that keep in storage

a. Pestisida nabati

Beberapa peneliti telah menggunakan ekstrak tanaman maupun minyak atsiri yang bersifat fungitoksik untuk mengendalikan jamur kontaminan dan mikotoksin pada produk pasca panen. Produksi metabolit sekunder yang berupa senyawa kimia fungitoksik tersebut adalah *tannin*, *terpenoid*, *alkaloid*, dan *flavonoid*. Penggunaan ekstrak tanaman anti jamur ini dipilih karena mudah dalam membuat dan aplikasinya, aman, dan bersifat sistemik serta tidak ada efek residu (Naganawa *et al.*, 1996; Kubo *et al.*, 1995).

Jenis tanaman yang berpotensi sebagai pestisida nabati untuk mengendalikan jamur toksigenik pada biji kakao antara lain bubuk dari ekstrak lada (*Piper nigrum*) yang dapat mengurangi produksi aflatoksin *A. parasiticus* dan *A. flavus*, serai (*Cymbopogon citratus*) yang menghambat pertumbuhan jamur *A. flavus* dan *A. fumigatus*, cengkeh (*Syzygium aromaticum*) sebagai penghambat *A. ochraceus*, dan kembang bulan (*Tithonia diversifolia*) yang menghambat *A. flavus* dan *F. moniliforme* (Ito *et al.*, 1994; Adegoke & Odesola, 1996; Uli, Nurtjahja, & Zuhra, 2012). Cara kerja senyawa kimia yang dihasilkan, yaitu dengan menghambat pembentukan asam *nonsorbic*, prekursor dalam sintesis aflatoksin. Penggunaan pestisida nabati untuk skala besar dapat menggunakan tanaman yang bersifat atraktan sebagai anti mikroorganisme seperti *azadirachtin* dari mimba (*Azadirachta indica*), *eugenol* dari cengkeh (*S. aromaticum*), dan *carvone* dari jintan (*Carum carvi*) (Singh *et al.*, 2008). Potensi lainnya yaitu bawang putih yang dapat menghambat pertumbuhan *Aspergillus* dan *Penicillium* 60-82% (Afzal *et al.*, 2010). Tanaman bawang putih bersifat fitokimia, mengandung senyawa allicin yang terurai menjadi senyawa anti mikroorganisme *diallyl sulfida*, *diallyl disulfida*, *diallyl trisulfida*, *alil metil trisulfida*, *dithiins* dan *ajoene* (Salim 2014; Tagoe, 2014).

Di samping menggunakan ekstrak tanaman, juga dapat menggunakan minyak atsiri tanaman (*essensial oil*) yang bersifat anti jamur (Varma & Dubey, 2004). Bankole, Ogunsanwo, Osho, & Adewuyi (2006) dan Mossini (2009) melaporkan *neem oil* yang diekstrak dari mimba berpotensi mengendalikan jamur toksigenik (*A. flavus*, *P. verrucosum*, dan *P. brevicompactum*) dan toksin yang dihasilkannya (aflatoksin dan okratoksin).

Namun demikian, perlu diketahui bahwa penggunaan bahan tanaman untuk pestisida nabati juga harus dilakukan seleksi terlebih dahulu yang sesuai dan dapat menekan perkembangan jamur kontaminan biji kakao karena beberapa penelitian menunjukkan terdapat peningkatan kadar aflatoksin setelah aplikasi pestisida nabati. Hal ini sejalan dengan pendapat Udoh, Cardwel, & Ikotun (2000), yaitu jenis tanaman untuk pengendalian mikotoksin sebaiknya dipilih secara benar dan dengan hati-hati karena beberapa jenis tanaman merupakan media yang baik bagi pertumbuhan jamur *A. flavus*.

b. Pengendalian hayati

Pengendalian hayati dengan menggunakan mikroorganisme (jamur dan bakteri) juga merupakan pengendalian ramah lingkungan dan tidak mempunyai efek residu bagi lingkungan dan kesehatan. Mikroorganisme yang digunakan sebagai agens hayati

bersifat antagonis terhadap patogen, dengan mekanisme kompetisi ruang dan nutrisi, antibiosis dengan menghasilkan antibiotik, maupun parasit dengan melilit hifa patogen. Setiap agens hayati dapat memiliki satu atau lebih mekanisme dalam menghambat pertumbuhan dan perkembangan jamur patogen, bahkan menyebabkan hifa patogen lisis (Trigiano, Windham, & Windham, 2007).

Mikroorganisme yang dapat diaplikasikan sebagai agens hayati untuk mengendalikan jamur kontaminan maupun toksin yang dihasilkan pada biji kakao dapat berasal dari jenis jamur maupun bakteri. Beberapa penelitian telah menggunakan mikroorganisme untuk mengendalikan jamur kontaminan, antara lain: atoksigenik *A. flavus*, *Lactic acid bacteria*, *Phyllosphere yeasts* (*Aureobasidium pullulans*) (Tsitsigiannis, Dimakopoulou, Antoniou, & Tjamos, 2012), bakteri *Bacillus subtilis* yang menghasilkan antibiotik Bacillomycin D untuk mengendalikan kontaminan aflatoksin yang disebabkan *A. flavus* (Moyne, A. L., Shelby, R., Cleveland, T. E., & Tuzun, 2001). Penelitian Reddy, Raghavender, Reddy, & Salleh (2010) juga melaporkan bahwa *B. subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, dan *Trichoderma viride* mampu menekan perkembangan *A. flavus* pada sorghum masing-masing dengan daya hambat 72, 74, dan 65%. Selain dari marga *Trichoderma*, marga *Alternaria* dan *Cladosporium* juga mempunyai potensi sebagai agens hayati untuk mencegah atau mengurangi mikotoksin jenis OTA (Abrunhosa, Serra, & Venâncio, 2002).

Mikroorganisme antagonis diketahui juga menghasilkan metabolit sekunder berupa senyawa kimia (*volatile compound*) yang dapat diproduksi untuk menghambat perkembangan patogen. Hasil penelitian Agüero, Alvarado, Martinez, & Dorta, (2008) melaporkan metabolit sekunder dari jamur *Trichoderma harzianum* dapat menghambat pertumbuhan jamur penghasil toksin sebesar 90%.

PENUTUP

Jumlah populasi jamur kontaminan penyebab mikotoksin akan mempengaruhi mutu biji kakao kering, dan dalam waktu yang lama berdampak negatif bagi kesehatan manusia yang mengkonsumsinya. Mikotoksin yang dihasilkan dari jamur-jamur yang terdapat pada biji kakao relative tidak berkurang populasinya selama pengolahan. Oleh karena itu, perlu perhatian dari semua pihak mulai dari tahap *on-farm* hingga proses pasca panen untuk meminimalisasi tumbuh dan berkembangnya jamur tersebut dengan cara pencegahan dan pengendalian serta melakukan tahapan-tahapan pasca panen yang tepat.

Tindakan pencegahan dapat dilakukan melalui pengawasan secara teliti dan berkala terhadap kondisi fisik biji kakao, demikian juga halnya dengan monitoring keberadaan jamur kontaminan pada setiap tahapan panen dan pasca panen. Di samping pencegahan, tindakan pengendalian dapat dilakukan dengan menggunakan bahan tanaman yang bersifat anti jamur serta

pemanfaatan mikroorganisme sebagai agens hayati yang aman bagi manusia dan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrokwah, Takramah, Ocloo, & Sackey. (2013). Studies on factors which predispose fermented cocoa (*Theobroma cacao*) beans to mycotoxin contamination. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 1(3), 174-180.
- Abrunhosa, L., Serra, R., & Venâncio A. (2002). Biodegradation of ochratoxin A by fungi isolated from grapes. *J. Agric. Food Chem.*, 50, 7493-7496.
- Adegoke G. O, & Odelusola B. A. (1996) Storage of maize and cowpea and inhibition of microbial agents of biodeterioration using the powder and essential oil of *Cymbopogon citratus*. *Internat. Biodeter. Biodegrad.*, 37, 81-84.
- Afzal, R., Mughal, S.M., Munir, M., Kishwar, S., Qureshi, R., Arshad, M., & Laghari, M.K. (2010). Mycoflora associated with seeds of different sunflower cultivars and its management. *J. Botany*, 42, 435-445.
- Agüero, L.E.M., Alvarado, R., Martínez, A., & Dorta, B. (2008). Inhibition of *Aspergillus flavus* growth and aflatoxin B1 production in stored maize grains exposed to volatile compounds of *Trichoderma harzianum* Rifai. *Interciencia*, 33(3), 219-222.
- Amezqueta, S., Gonzalez-Penas, C., Dachoupan, M., Murillo-Arbizu, A., Lopez De Cerain, A., & Guiraud, J. P. (2008). OTA-producing fungi isolated from stored cocoa beans. *Letters in Applied Microbiology*, 47, 197-201.
- Anonymous. (2004). *Manual on the application HACCP to mycotoxin prevention and control*. Italy: Food and Agriculture Organization.
- Aroyeun, S.O., & Adegoke, G.O. (2006). Reduction of ochratoxin A (OTA) in spiked cocoa powder and beverage using aqueous extracts and essential oils of *Aframomum danielli*. *Afr. J. Biotechnol.*, 6, 612-616.
- Asrul. (2009). Populasi jamur mikotoksigenik dan kandungan aflatoksin pada beberapa contoh biji kakao (*Theobroma cacao* L.) asal Sulawesi Tengah. *J. Agroland*, 16(3), 258-267.
- Badan Standardisasi Nasional. (1999). *Pedoman penyusunan rencana sistem analisa bahaya dan pengendalian titik kritis (HACCP) Pedoman 1004-1999*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Balai Pengujian dan Sertifikasi Mutu Barang. (1993). Standar Nasional Indonesia Biji Kakao SNI 01 2323-1991. Retrieved from http://sisni.bsn.go.id/index.php?/sni_main/sni/detail_sni/2626
- Bankole, S.A., & Adebajo, A. (2003). Mycotoxins in food in West Africa: Current situation and possibilities of controlling it. *African Journal of Biotechnology*, 2(9), 254-263.
- Bankole, S.A., Ogunsanwo, B.M., Osho, A., & Adewuyi, G.O. (2006) Fungal contamination and aflatoxin B1 of 'egusi' melon seeds in Nigeria. *Food Control* 17, 814-818.
- Bragulat, M.R., Abarca, M.L., & Caban˜es, F.J. (2004). An easy screening method for fungi producing ochratoxin A in pure culture. *International Journal of Food Microbiology*, 71, 139-144.
- Bryan. (1992). *Hazard analysis critical control point evaluations*. Geneva: World Health Organization.
- Copetti, M.V., Iamanaka, B.T., Pitt, J.I., & Taniwaki, M.H. (2014). Fungi and mycotoxins in cocoa: from farm to chocolate. *Int. J. Food Microb*, 178, 13-20.
- Dharmaputra, O.S., Sunjaya, Retnowati, I., & Ambarwati, S. (2000). Stored cocoa beans quality affected by fermentation and *Ephesia cautella* Walker (Lepidoptera: Phycitidae) infestation. *BIOTROPIA*, 15, 58-75.
- Food and Agriculture Organization. (2014). *Worldwide regulations for mycotoxins in food and feed in 2003*. Italy: Food and Agriculture Organization.
- Handajani, N.S., & Setyaningsih, R. (2006). Identifikasi jamur dan deteksi aflatoksin B1 terhadap petis udang komersial. *Biodiversitas*, 8(3), 212-215.
- Hell, K., Cardwell, K.F., Setamou, M., & Poehling, H.M. (2000). The influence of storage practices on aflatoxin contamination in maize in four agroecological zones of Benin, West Africa. *J. Stored Prod. Res.*, 36, 365-382.
- International Agency for Research on Cancer. (1993). *Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Some naturally occurring substances: food items and constituents, heterocyclic aromatic amines and mycotoxins* (pp. 489-524). Lyon: International Agency for Research on Cancer.
- International Commission on Microbiological Specification for Foods. (2005). *Microorganisms in food, microbial ecology of food commodities*. International Commission on Microbiological Specification for Foods. New York: Blackie Academic and Professional.

- Ito, H., Chen, H., & Bunnak, J. (1994). Aflatoxin production by microorganisms of the *Aspergillus flavus* group in spices and the effect of irradiation. *J. Sci. Food Agric.*, *65*, 141-142.
- Kementerian Perdagangan. (2014). Profil ekonomi. Retrieved from <http://www.kemendag.go.id/id/economic-profile/indonesia-export-import/growth-of-non-oil-and-gas-export-commodity>
- Kubicek, C.P., & Harman, G.E. (2002). *Trichoderma & Gliocladium: Basic biology, taxonomy and genetics. Vol 1* (p. 278). The Taylor & Francis e-Library.
- Kubo, A., Lunde, C.S., & Kubo, I. (1995) Antimicrobial activity of the olive oil flavor compounds. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, *43*, 1629-1633.
- Naganawa, R., Iwata, N., Ishikawa, K., Fukuda, H., Fujino, T., & Suzuki A. (1996) Inhibition of microbial growth by ajoene, a sulfur-containing compound derived from garlic. *Appl. Environ. Microbiol.*, *62*, 4238-4242.
- Maryam, R. (2002). *Mewaspadai bahaya kontaminasi mikotoksin pada makanan* (Tesis, Pascasarjana IPB, Bogor).
- Maryam, R. (2006). Pengendalian terpadu kontaminasi mikotoksin. *Wartazoa*, *16*(1), 21-30.
- Miller, J. D. (1995). Fungi and mycotoxins in grain: Implications for stored product research. *J. Stored Prod. Res.*, *31*, 1-16.
- Minifie, B. W. (1999). *Chocolate, cocoa, and confectionery: Science and technology*. 3rd edn. New York: Van Nostrand & Reinhold.
- Miskiyah, & Widaningrum. (2008). Pengendalian aflatoksin pada pasca panen jagung melalui penerapan HACCP. *J. Standarisasi*, *10*(1), 1-10.
- Mossini, S.A.G., Carla, C., & Kimmelmeier, C. (2009). Effect of neem leaf extract and neem oil on *Penicillium* growth, sporulation, morphology, and ochratoxin A production. *Toxins*, *1*, 3-13.
- Mounjouenpou, P., Gueule, D., Fontana-Tachon, A., Guyot, B., Tondje, P.R., & Guiraud, Joseph-Pierre. (2008). Filamentous fungi producing ochratoxin a during cocoa processing in Cameroon. *International Journal of Food Microbiology*, *121*, 234-241.
- Moyne, A. L., Shelby, R., Cleveland, T. E., & Tuzun, S. (2004). Bacillomycin D: An iturin with antifungal activity against *Aspergillus flavus*. *J. Appl. Microbiol.* *90*, 622-629.
- Munarso, S.J. (2010). Status dan regulasi kontaminan mikotoksin penting dalam produk pangan. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Inovatif Pasca Panen untuk Pengembangan Industri Berbasis Pertanian*. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pasca Panen Pertanian.
- Mycology online. (2014). *Hyaline Hyphomycetes*. Australia: The University of Adelaide. Retrieved from [http://www.mycology.adelaide.edu.au/Fungal_Descriptions/Hyphomycetes_\(hyaline\)/](http://www.mycology.adelaide.edu.au/Fungal_Descriptions/Hyphomycetes_(hyaline)/)
- Peterson, S. W., Ito, Y., Horn, B. W., & Goto, T. (2004). *Aspergillus bombycis*, A new aflatoxigenic species and genetic variation in its sibling species, *A. nomius*. *Mycologia*, *93*, 689-703.
- Pitt, J.I., & Hocking, A.D. (1997). *Fungi and food spoilage*. Second Edition. Blackie Academic & International.
- Rachaputi, N.R., Krosch, S., & Wright, G. (2002). Management practices to minimize pre-harvest aflatoxin contamination in Australia peanuts. *Animal Production Science*, *42*(5), 595-605. doi: 10.1071/EA01139.
- Rahmadi, A., & Fleet. G.H. (2008). The Occurrence of mycotoxigenic moulds in cocoa beans from Indonesia and Queensland, Australia. *Proceeding on International Seminar on Food Science*. Semarang: University of Soegiyapranata.
- Reddy, K.R.N., Raghavender, C.R., Reddy, B.N., & Salleh, B. (2010). Biological control of *Aspergillus flavus* growth and subsequent aflatoxin B1 production in sorghum grains. *African Journal of Biotechnology*, *9*(27), 4247-4250.
- Salim, A.B. (2011). Effect of some plant extracts on fungal and aflatoxin production. *Int. J. Acad. Res.*, *3*, 116-120.
- Sánchez-Hervás, M., Gil, J.V., Bisbal, F., Ramón, D., Martínez-Culebras, P.V. (2008). Mycobiota and mycotoxin producing fungi from cocoa beans. *International Journal of Food Microbiology*, *125*, 336-340.
- Schwan, R. F., & Wheals, A. F. (2004). The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, *44*, 205-221.
- Supriyanto, H. (2012). *Teknologi cokelat*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Suttajit, M. (2014). *Prevention and control of mycotoxins*. FAO Corporate Document Repository. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/x5036e/x5036E0q.htm>

- Tafari, A., Ferracane, R., & Ritieni, A. (2004). Ochratoxin A in Italian marketed cocoa products. *Food Chem.*, *88*, 487–494.
- Tagoe, D., Baidoo, S., Dadzie, I., Kangah, V., & Nyarko, H. (2014). A comparison of the antimicrobial (antifungal) properties of onion (*Allium cepa*), ginger (*Zingiber officinal*) and garlic (*Allium sativum*) on *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, and *Cladosporium herbarum* using organic and water base extraction methods. *Res. J. Med. Plant*, *5*, 281-287.
- Trigiano, R.N., Windham, M.T., & Windham, A.S. (2008). *Plant pathology: Concepts and laboratory exercises*. (p. 558). Second Edition. New York: CRC Press.
- Tsitsigiannis, D.I., Dimakopoulou, M., Antoniou, P.P., & Tjamos, E.C. (2012). Biological control strategies of mycotoxigenic fungi and associated mycotoxins in Mediterranean basin crops. *Phytopathologia Mediterranea*, *51*(1), 158–174.
- Turcotte, A.M., Scott, P.M., & Tague, B. (2013). Analysis of cocoa products for ochratoxin A and aflatoxins. *Mycotoxin Res*, *29*, 193-201. doi: 10.1007/s12550-013-0167-x.
- Udoh, J. M., Cardwel K.F., & Ikotun, T. (2000). Storage structures and aflatoxin content of maize in five agro-ecological zones of Nigeria. *Journal of Stored Product Reserve*, *36*, 187–201.
- Uli, A.D.S., Nurtjahja, K., & Zuhra, C.F. (2012). Penghambatan pertumbuhan *Aspergillus flavus* dan *Fusarium moniliforme* oleh ekstrak seruni (*Wedelia biflora*) dan kembang bulan (*Tithonia diversifolia*). *Saintia Biologi*, *1*(1), 1-6.
- Varma, J., & Dubey, N.K. (2001). Efficacy of essential oils of *Caesulia axillaris* and *Mentha arvensis* against some storage pests causing biodeterioration of food commodities. *International Journal Food Microbiology*, *68*, 207-210.
- Wangge, E.S.A., Suprpta, D.N., & Wirya, G.N.A.S. (2012). Isolasi dan identifikasi jamur penghasil mikotoksin pada biji kakao kering yang dihasilkan di Flores. *J. Agric. Sci. and Biotechnol.*
- Yasa, I.W. (2004). *Indonesian cocoa beans: Current situation*. Retrieved from <http://www.icco.org/pdf/Farmers/8.%20Mr.%20OI.%20Wayan%20Yasa.pdf>.
- Yu, J., Whitelaw, C. A., Nierman, W. C., Bhatnagar, D., & Cleveland, T. E. (2004). *Aspergillus flavus* expressed sequence tags for identification of genes with putative roles in aflatoxin contamination of crops. *FEMS Microbiol. Lett.*, *237*, 333–340.