

STATUS CEMARAN DAN UPAYA PENGENDALIAN AFLATOKSIN PADA KOMODITAS SEREALIA DAN ANEKA KACANG

Contamination Status and Aflatoxin Controlling Efforts on Cereals and Nuts Commodities

Wisnu Broto

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian
Jalan Tentara Pelajar No. 12, Cimanggu, Bogor, 16114
Telp. (0251) 8321879; Faks. (0251) 8327010
E-mail: wboto56@gmail.com

Diterima: 4 Maret 2018; Direvisi: 22 Oktober 2018; Disetujui: 16 November 2018

ABSTRAK

Komoditas sereal dan aneka kacang memegang peran penting dalam konsumsi pangan pada saat ini dan ke depan. Peningkatan produksi komoditas tersebut tidak berarti manakala tidak aman dikonsumsi. Cemar aflatoxin merupakan salah satu indikator keamanan pangan yang menentukan penerimaan konsumen. Prevalensi aflatoxikosis yang tinggi di Asia Selatan (81%) dan Asia Tenggara (54%) menyiratkan masih tingginya cemaran aflatoxin pada produk sereal dan aneka kacang yang dikonsumsi. Cemaran aflatoxin di Indonesia, khususnya pada jagung dan kacang tanah, terdeteksi lebih dari 20 ppb, sehingga perlu penanganan serius. Teknologi pengurangan atau penghilangan cemaran aflatoxin hingga 97% pada produk pangan telah banyak dihasilkan dari berbagai penelitian. Penerapan teknologi tersebut secara komersial terkendala dari aspek kerumitan prosedural dan keterbatasan perangkat pendukung industri dari hulu hingga hilir. Cemaran aflatoxin selain berdampak negatif pada kesehatan juga menyebabkan kerugian ekonomi, namun pengaturan batasannya sangat beragam. Indonesia menetapkan batas maksimum aflatoxin pada sereal dan aneka kacang relatif tinggi (20–35 ppb) daripada negara lain, sehingga perlu dicermati kembali melalui penelitian komprehensif multidisiplin agar lebih teruji secara ilmiah dengan pertimbangan ekonomis dan politis untuk menghadapi persaingan yang semakin ketat di pasar global.

Kata kunci: Sereal, aneka kacang, aflatoxin, keamanan pangan.

ABSTRACT

Cereals and nuts commodities play a major role in present and future human consumption patterns. Increased production of these commodities that have been achieved will not mean when both are not safe for consumption. Aflatoxin contamination is one of the food safety indicators that determine consumer acceptance. The high prevalence of aflatoxicosis in South and Southeast Asia are 81% and 54% respectively implies high aflatoxin contamination of cereals and nuts consumed in the area. Aflatoxin contamination in Indonesia, especially in corn and peanut is detected more than 20 ppb, so it needs attention for the handling and controlling. The technology for reducing or eliminating aflatoxin contamination in food products up to 97% has been generated from many studies.

The application of such technology is commercially constrained by aspects of the procedural complexity and limitations of industrial support devices from upstream to downstream. Aflatoxin contamination in addition to adversely affecting health also causes economic losses of the commodities concerned, but the regulatory limitations vary greatly. Indonesia sets the maximum limit of aflatoxin on cereals and nuts relatively higher (20–35 ppb) than any other country in the world, so it needs to be re-examined through multidisciplinary research and comprehensive studies to be scientifically tested with economic and political considerations to deal with the increasingly competitive competition in the global market.

Keywords: Cereals, various nuts, aflatoxin, food safety

PENDAHULUAN

Bahan pangan yang tersedia secara alami pada dasarnya aman dikonsumsi, tetapi dalam proses pengelolaannya sering kali menghasilkan produk yang tidak lagi aman bagi kesehatan. Perubahan lingkungan yang secara umum diakibatkan oleh perubahan iklim juga menjadi pemicu timbulnya masalah keamanan pangan (Peterson and Lima 2010; 2011). Perubahan status keamanan pangan akibat cemaran unsur tertentu terjadi selama proses pengelolaan menjadi produk yang siap dikonsumsi (*from farm to table*). Keamanan pangan dalam skala terbatas dan mendasar bergantung pada kebersihan proses produksi menjadi produk pangan.

Komoditas sereal seperti padi, jagung, gandum, dan sorghum merupakan pangan pokok bagi sebagian besar penduduk dunia, sementara komoditas aneka kacang seperti kedelai dan kacang tanah berperan penting dalam pemenuhan kebutuhan protein dan lemak bagi konsumen. Tanaman sereal dan aneka kacang tumbuh dan berproduksi dengan baik di wilayah dengan rentang kondisi iklim yang luas, mulai dari kawasan tropika hingga wilayah dengan musim dingin yang panjang. Indonesia dengan jumlah penduduk lebih dari 250 juta jiwa memerlukan bahan pangan dari komoditas sereal dan aneka kacang (khususnya padi, jagung dan kedelai) dalam

jumlah yang memadai. Kementerian Pertanian RI dalam kurun waktu 2015–2019 memrogramkan upaya peningkatan produksi, produktivitas, dan mutu hasil komoditas pangan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Produksi nasional padi, jagung, dan kedelai yang pada tahun 2015 berturut-turut menduduki peringkat ke-3, 7, dan 13 dunia perlu diselamatkan, baik kuantitatif maupun kualitatif. Artinya, pangan yang tersedia harus aman untuk dikonsumsi.

Perubahan iklim akibat aktivitas manusia seperti manufaktur, transportasi dengan kendaraan bermotor, dan pembuangan limbah/sampah menghasilkan gas rumah kaca yang berdampak terhadap peningkatan suhu di beberapa wilayah dan praktik budi daya yang memicu perkembangan jamur yang menghasilkan racun (*mycotoxin*) pada tanaman sereal dan aneka kacang. Mikotoksin merupakan metabolit sekunder dengan struktur molekul beragam yang kebanyakan berbobot molekul kecil, terutama oleh beberapa jamur berfilamen pada suhu dan kelembaban yang cocok untuk berkembang pada berbagai produk pangan dan pakan di lapangan maupun selama penyimpanan yang berisiko bagi kesehatan manusia dan hewan (Bryden 2012; Zain 2011; Siegel and Babuscio 2011; Kumar *et al.* 2008). Mikotoksin terutama aflatoksin, citrinin, okratoksin, dan trichothecenes sering mencemari bahan pangan dan pakan yang berpengaruh pada kesehatan manusia dan hewan (Paterson and Lima 2010).

Aspergillus, *Fusarium*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Claviceps*, dan *Stachybotrys* yang merupakan jamur penghasil utama mikotoksin seperti aflatoksin, fumonisin, okratoksin, patulin, zearalenon, nivalenol, dan *cyclopiazonic acid* dapat mencemari bahan pangan dan pakan pada pra dan pascapanen (Kumar *et al.* 2008; Milicevic *et al.* 2010; Paterson dan Lima 2010). Kontaminasi mikotoksin pada produk pangan menimbulkan masalah serius bagi kesehatan manusia karena sifat *toxigenic* (beracun), *nephrotoxic* (beracun bagi ginjal), *neurotoxic* (beracun bagi jaringan syaraf), *hepatotoxic* (beracun bagi hati/liver), *carcinogenic* (penyebab kanker), *immunosuppressive* (menekan respon kekebalan), *estrogenicgastro-intestinal toxicity* (beracun bagi sistem reproduktif dan pencernaan), dan *mutagenic* (memicu mutasi genetik) (da Rocha *et al.* 2014; Demaegdt *et al.* 2016).

Aflatoksin merupakan salah satu mikotoksin yang harus diwaspadai, mengingat jamur *Aspergillus* sp. sebagai produsennya berpeluang besar meracuni padi, jagung, kedelai, dan kacang tanah yang berpotensi merusak kesehatan manusia dan hewan. Keracunan aflatoksin (aflatoksikosis) sering terjadi di hampir seluruh belahan dunia, terutama di negara-negara berkembang yang sistem keamanan pangannya tidak atau belum berjalan dengan baik. Di lain pihak, konsumen di negara maju memiliki kepedulian yang tinggi terhadap isu keamanan pangan dan menuntut diberlakukannya peraturan atau standar cemaran mikotoksin.

Cemaran aflatoksin di Indonesia lebih banyak diteliti pada komoditas jagung dan kacang tanah yang sebagian besar berasal dari sentra produksi di Jawa dan Sumatera. Jagung dari beberapa simpul rantai pasok, khususnya di Jawa Timur, memiliki kadar aflatoksin (AfB₁) melebihi ambang batas yang dipersyaratkan (Bahri *et al.* 2005; Rahayu 2006). Sementara kandungan aflatoksin pada kacang tanah yang berasal dari pasar tradisional dan pedagang pengumpul di Kabupaten Pasuruan dalam periode Maret 2005 - Juni 2006 adalah > 10 ppb bahkan sebagian terdeteksi > 3.000 ppb (Rahmianna dan Yusnawan 2015). Di samping kerusakan polong dan biji, kadar air selama proses budi daya (prapanen) hingga pascapanen merupakan faktor penting yang menentukan infeksi jamur *A. flavus* dan cemaran aflatoksin pada kacang tanah (Sumijati 2009; Rahmianna *et al.* 2007; Rahmianna dan Yusnawan 2015). Nugraha *et al.* (2018) memperkirakan kanker hati yang terkait dengan paparan AfB₁ umumnya di atas 0,1 kasus/100.000 individu/75 tahun. Dengan demikian, upaya pengendalian cemaran aflatoksin terutama pada jagung dan kacang tanah menjadi sangat penting guna mewujudkan keamanan pangan. Upaya pencegahan, pengurangan, dekontaminasi, dan detoksifikasi produk pangan tercemar aflatoksin juga perlu dibahas untuk memberikan gambaran tambahan penanganan produk pangan, khususnya berbasis sereal dan aneka kacang. Regulasi atau peraturan perundangan yang berkenaan dengan cemaran aflatoksin pada produk pertanian pangan juga dipaparkan dalam makalah ini sebagai pembanding bagi Indonesia dalam era perdagangan bebas.

AFLATOKSIN DAN AFLATOKSIKOSIS

Aflatoksin

Aflatoksin adalah salah satu mikotoksin yang dihasilkan oleh sekitar 20 spesies kapang yang termasuk ke dalam tiga kelompok genus *Aspergillus*, yaitu kelompok *Flavi*, *Nidulantes*, dan *Ochraceorosei* (Bluma and Etcheverry 2008; Bryden 2012; Perrone *et al.* 2014; Baranyi *et al.* 2015). Kapang *Aspergillus* sp. mudah tumbuh dan menghasilkan toksin pada kisaran suhu 12–48°C dengan pertumbuhan optimal pada suhu 37°C dengan kisaran a_w 0,86–0,96 (Hedayati *et al.* 2007; Vujanovic *et al.* 2001). Kelembaban yang tinggi memicu perkembangan *A. flavus* untuk memproduksi aflatoksin. Sebaliknya, kondisi anaerob menghambat pertumbuhan *A. flavus* sehingga akan menurunkan risiko produksi aflatoksin, khususnya pada komoditas sereal dan aneka kacang (Saleemullah *et al.* 2006). Jenis aflatoksin yang dihasilkan jamur atau kapang dari tiga kelompok *Aspergillus* tersebut adalah aflatoksin B₁ (AfB₁), B₂ (AfB₂), G₁ (AfG₁), dan G₂ (AfG₂). Kelompok kapang dan jenis aflatoksin yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kelompok jamur *Aspergillus* sp dan tipe aflatoksin yang dihasilkan.

Kelompok dan spesies <i>Aspergillus</i> sp.	Tipe aflatoksin
Kelompok <i>Flavi</i>	
<i>A. arachidicola</i>	B ₁ , B ₂ dan G ₁ , G ₂
<i>A. bombycis</i>	B ₁ , B ₂ dan G ₁ , G ₂
<i>A. flavus</i>	B ₁ , B ₂
<i>A. miniscerotigenes</i>	B ₁ , B ₂ dan G ₁ , G ₂
<i>A. nomius</i>	B ₁ , B ₂ dan G ₁ , G ₂
<i>A. novoparasiticus</i>	B ₁ , B ₂ dan G ₁ , G ₂
<i>A. parasiticus</i>	B ₁ , B ₂ dan G ₁ , G ₂
<i>A. parvisclerotigenus</i>	B ₁ , B ₂ dan G ₁ , G ₂
<i>A. pseudocaelatus</i>	B ₁ , B ₂ dan G ₁ , G ₂
<i>A. pseudonomius</i>	B ₁ , B ₂ dan G ₁ , G ₂
<i>A. pseudotamarii</i>	B ₁
<i>A. togoensis</i>	B ₁
<i>A. transmontanensis</i>	B ₁ , B ₂ dan G ₁ , G ₂
<i>A. mottae</i>	B ₁ , B ₂ dan G ₁ , G ₂
<i>A. sergii</i>	B ₁ , B ₂ dan G ₁ , G ₂
Kelompok <i>Ochraceorosei</i>	
<i>A. ochraceoroseus</i>	B ₁ , B ₂
<i>A. rambellii</i>	B ₁ , B ₂
Kelompok <i>Nidulantes</i>	
<i>A. stellatus (Emericella astellata)</i>	B ₁
<i>A. olivicola (E. olivicola)</i>	B ₁
<i>A. venezuelensis (E. venezuelensis)</i>	B ₁

Sumber: Baranyi *et al.* (2015).

Di samping itu juga dikenal aflatoksin M₁ (AfM₁) dan M₂ (AfM₂), yaitu metabolit aflatoksin B₁ dan B₂ terhidroksilasi, sejenis aflatoksin yang dijumpai pada susu sapi yang mengonsumsi pakan tercemar AfB₁ dan AfB₂ (Tenkinsen dan Eken 2008). Penelitian yang terus berkembang sejak beberapa dekade terakhir memperlihatkan produksi aflatoksin merupakan hasil interaksi antara genotipe strain dan lingkungan tempat tumbuh *Aspergillus* sp. Pratiwi *et al.* (2015) mendapati pertumbuhan dan produksi aflatoksin dari *A. flavus* BIO2237 sangat dipengaruhi oleh suhu, kelembaban, dan media tumbuh. Jagung dan kacang tanah merupakan media yang sangat baik untuk pertumbuhan jamur penghasil aflatoksin dan jenis mikotoksin lainnya (Tabel 1), sehingga digolongkan sebagai komoditas berisiko

tinggi atau sangat rentan terhadap kontaminasi mikotoksin (Kumar *et al.* 2008).

Kontaminasi aflatoksin dapat terjadi sejak di areal pertanian sebelum panen maupun pada saat komoditas tersebut disimpan pada suhu >20°C dan kadar air tinggi (>14%) (Richard 2007). Urutan tingkat toksisitas berdasarkan kajian efek aflatoksin terhadap sel hati secara *in vitro* adalah B₁ > G₁ > G₂ > B₂. Karakteristik enam jenis aflatoksin tersebut disajikan dalam Tabel 2 dan struktur kimiawinya dapat dilihat pada Gambar 1.

Aflatoksin B₁ sebagai toksin dan karsinogen yang sangat kuat dapat menginduksi banyak efek samping dan sistemik merugikan yang mengganggu fungsi organ dan jaringan normal yang berakibat pada penghambatan pertumbuhan, pembengkakan, dan penekanan kekebalan yang berkontribusi terhadap peningkatan risiko kanker hati manusia (Khlangwiset *et al.* 2011; Kensler *et al.* 2011; Wogan *et al.* 2012).

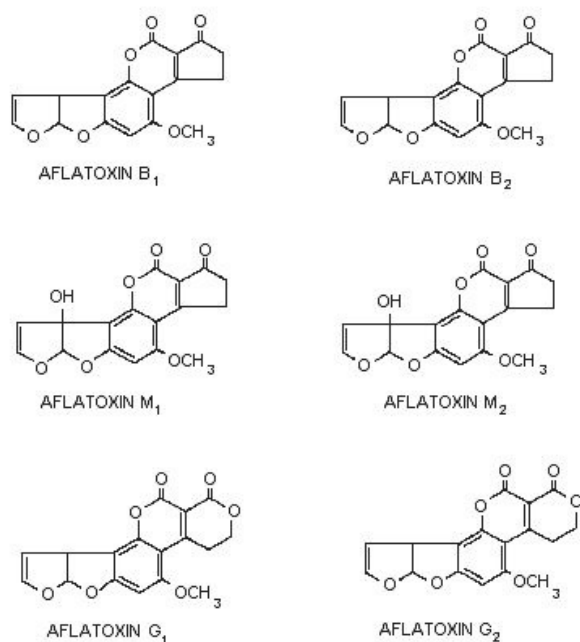
Aflatoksikosis

Aflatoksikosis adalah istilah yang digunakan untuk penyakit yang disebabkan oleh mengonsumsi makanan yang tercemar aflatoksin. Aflatoksikosis berpengaruh akut dan kronis pada manusia dan ternak, khususnya ternak monogastrik seperti unggas, bergantung pada spesies dan kerentanannya terhadap spesies (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives/JECFA 2016 à rujukan ini belum ada di Daftar Pustaka). Aflatoksikosis berstatus akut apabila terpapar aflatoksin 20-120 µg/kg bobot badan/hari untuk jangka waktu 1-3 minggu atau bagi makanan pokok yang mengandung 1 mg/kg atau lebih tinggi sebagai penyebab hepatotoksitas yang dapat berlanjut menjadi hepatitis akut yang bersifat *lethal* dengan gejala muntah, nyeri perut, pendarahan, kerusakan hati akut, edema, *alteration in digestion*, absorpsi dan atau metabolisme zat gizi, sehingga terjadi malnutrisi hingga menyebabkan kematian. Aflatoksikosis kronis terjadi apabila terpapar aflatoksin 2-5 kali lipat lebih rendah daripada dosis yang terkait dengan efek akut, merupakan risiko utama bagi terjadinya gangguan imunitas, malnutrisi, dan karsinoma-hepatoseluler,

Tabel 2. Karakteristik aflatoksin B₁, B₂, G₁, G₂, M₁, dan M₂.

Jenis	Formula	Bobot molekul	Titik leleh (°C)	Fluoresen	LD ₅₀ * (mg/kg)
B1	C ₁₇ H ₁₂ O ₆	312	268–269	Biru	< 0,4
B2	C ₁₇ H ₁₄ O ₆	314	286–289	Biru	1,6960
G1	C ₁₇ H ₁₂ O ₇	328	244–246	Hijau	0,784–1,200
G2	C ₁₇ H ₁₄ O ₇	330	229–231	Hijau	3,4500
M1	C ₁₇ H ₁₂ O ₇	328	299	Biru-violet	0,3320
M2	C ₁₇ H ₁₄ O ₇	330	293	Violet	1,2400

* LD₅₀ adalah konsentrasi senyawa yang dapat mematikan/membunuh separuh populasi itik.
Sumber: Moreau (1979).



Gambar 1. Struktur kimiawi aflatoxin B₁, B₂, G₁, G₂, M₁, dan M₂ (Dhanasekaran *et al.* 2011).

terutama di negara yang terinfeksi hepatitis B, penyakit endemik.

Hewan ruminansia umumnya lebih tahan terhadap aflatoxin karena mikroflora dalam rumen mampu mendegradasi mikotoksin (Hussein and Brasel 2001). Sementara pengaruh paparan aflatoxin secara akut maupun kronis pada manusia belum ada data yang dapat digunakan untuk mengevaluasi luas dan bobotnya akibat aspek biologis yang ditimbulkan (William *et al.* 2004; Yenny 2006).

Kejadian luar biasa aflatoxikosis yang berlangsung selama 2 bulan pada tahun 1974 di 200 desa bagian barat India dilaporkan telah mengakibatkan 106 kematian penduduk, khususnya yang mengonsumsi jagung sebagai makanan pokok. Korban tersebut diperkirakan telah mengonsumsi jagung tercemar aflatoxin dengan kadar 2.000–6.000 ppb setiap hari selama 1 bulan (Reddy and Raghavender 2007). Sementara di Indonesia dilaporkan terjadi kasus serupa pada tahun 1972, 1974, dan 1977 tanpa kejelasan jumlah korban. Korban terbanyak dalam sejarah ledakan aflatoxikosis terjadi pada tahun 2004 di Kenya, khususnya di provinsi bagian timur dan tengah, mencapai 125 orang tewas akibat mengonsumsi jagung tercemar aflatoxin (Anonymous 2004a).

Status Cemarkan Aflatoksin

Kementerian Pertanian (2015) pada tahun 2015–2019 mengembangkan komoditas sereal dan aneka kacang, khususnya padi, jagung, dan kedelai yang merupakan

pangan pokok strategis dalam upaya untuk peningkatan ketahanan pangan nasional. Produksi, pengolahan, penyimpanan, transportasi, pemasaran, dan distribusi kepada konsumen merupakan kegiatan hulu - hilir yang harus diperhatikan agar produk yang diterima konsumen terjaga mutu dan keamanannya. Penerapan praktik penanganan yang baik sebagaimana diuraikan dalam pedoman budi daya yang baik (*Good Agricultural Practices - GAP*), penanganan pascapanen yang baik (*Good Handling Practices - GHP*), pengolahan yang baik (*Good Manufacturing Practices - GMP*), dan distribusi yang baik (*Good Distribution Practices - GDP*) menjadi faktor penentu keberhasilan dalam menjamin keamanan, mutu, dan gizi pangan hingga di tangan konsumen.

Karakteristik *Aspergillus* sp. yang menyangkut daya hidup dan produksi aflatoxin dalam cakupan agroklimat yang luas berpotensi mencemari komoditas sereal dan aneka kacang. Status cemarkan aflatoxin pada beberapa komoditas sereal dan kacang di berbagai negara dapat dilihat pada Tabel 3.

Data cemarkan aflatoxin pada kacang tanah di Indonesia diperoleh melalui penelitian di tingkat petani, pedagang pengecer, pengumpul, dan pedagang pasar di Banjarnegara, Pati, Bogor, dan Sinjai. Cemarkan aflatoxin pada kedelai lokal yang dijual di pasar tradisional juga telah dikaji, sementara belum diperoleh data *valid* cemarkan aflatoxin pada beras. Oleh karena itu, penelitian terhadap cemarkan aflatoxin pada beras perlu mendapat perhatian serius karena merupakan makanan pokok sebagian besar penduduk Indonesia. Selain aspek kesehatan konsumen, penelitian terhadap cemarkan aflatoxin pada beras juga berperan penting dalam meningkatkan saing produksi padi dalam negeri di pasar regional dan global.

Pencegahan dan Pengurangan Cemarkan Aflatoksin

Cemarkan aflatoxin pada komoditas pangan tidak dapat ditiadakan sama sekali. Meski demikian, upaya pencegahan dan penurunan kandungan cemarkan aflatoxin pada suatu komoditas dapat dilakukan sebelum dan sesudah panen melalui manajemen *Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP)* pada pengembangan *GAP* dan *GMP* dalam rantai produksi (Kumar *et al.* 2008; Torres *et al.* 2014; Anonymous 2003). Kegiatan pra dan pascapanen tersebut antara lain rotasi tanaman, pengelolaan lahan berdasarkan uji tanah yang valid, kebersihan benih, penggunaan varietas tahan *A. flavus*, jarak tanam, pengendalian hama secara terpadu, pengendalian gulma, irigasi, dan pemupukan yang memadai, pemanenan yang tepat, pengeringan, penggunaan kemasan yang bersih, penyimpanan yang baik, dan penggunaan bahan pengawet dan pestisida yang diizinkan (Anonymous 2003; Albert *et al.* 2016). Kajian Somantri *et al.* (2011) menunjukkan titik kritis penanganan pascapanen yang berisiko terhadap

Tabel 3. Status cemaran aflatoksin pada komoditas serealial dan aneka kacang di beberapa negara.

Negara	Jenis serealial dan aneka kacang	Cemaran aflatoksin (ppb)	Sumber
Indonesia	Jagung pipil	11,98–19,63	Kusumaningrum <i>et al.</i> (2010)
	Kedelai	107,1	Utami <i>et al.</i> (2012)
	Kacang tanah	0,3–329,7	Rahmianna <i>et al.</i> (2015)
Malaysia	Kacang tanah	17,2–350	Leong <i>et al.</i> (2010)
	Jagung	0,2–101,8	Hejri <i>et al.</i> (2013)
	Beras	0,12–4,54	Redzwan <i>et al.</i> (2013)
Filipina	Kacang tanah	<5,0–1600	Anukul <i>et al.</i> (2013)
	Beras (<i>brown rice</i>)	0,03–8,66	Ferre (2016)
Thailand	Beras	0,8–14,4	Anukul <i>et al.</i> (2013)
	Kacang tanah	2,20–171,30	
	Jagung	1,2–380,0	
Vietnam (Utara)	Beras	2,06–77,8	Huong <i>et al.</i> (2016)
	Jagung	20,5–110,0	
Pakistan	Beras	4,6–19,54	Lutfullah & Hussain (2012)
	Jagung	10,4–12,08	Iqbal <i>et al.</i> (2013)
	Kedelai	6,4	Majeed <i>et al.</i> (2013)
	Kacang tanah	9,6	
	Sorghum	5,0	
	Gandum	6,6	
	Barley	9,3	
Bangladesh	Jagung	33,0	Farombi (2006)
	Kacang tanah	65,0	
Brazil	Jagung	6,0–1600	Machinski Jr <i>et al.</i> (2001)
	Kacang tanah	24,0–87,5	Hoeltz <i>et al.</i> (2012)
	Beras	0,54–2,04	Ferre (2016)
China	Beras	650	Lai <i>et al.</i> (2015)
	Jagung	9–1396	Farombi (2006)
	Kacang tanah	0,01–720	Ding <i>et al.</i> (2012)
India	Beras	0,1–308	Reddy <i>et al.</i> (2009)

penularan *A. flavus* yang menghasilkan aflatoksin pada jagung di Sragen adalah pada saat panen (penundaan panen), selama pengeringan produk dalam bentuk tongkol melalui penjemuran maupun penggunaan mesin pengering jagung dan selama penyimpanan.

Pemilihan kualitas komoditas menjadi faktor kunci keberhasilan upaya pengurangan cemaran aflatoksin pada serealial dan aneka kacang. Pemilihan didasarkan pada standar mutu, antara lain warna, ukuran, bentuk, densitas, dan pertumbuhan jamur. Pemisahan atau pembuangan biji rusak (menyimpang dari standar mutu) akan mengurangi cemaran aflatoksin maupun material asing lainnya. Pemilihan secara fisik tersebut sebagai rangkaian dari pengukuran dalam aliran proses pabrikasi yang adakalanya tidak praktis, tidak efisien, dan melelahkan, sehingga penggunaan teknik pengukuran nondestruktif berbasis pencitraan komputer menjadi pilihan terkait akurasi dan ketelitian pengukuran. Udonkum *et al.* (2017) mencatat pemisahan komoditas

berbasis citra komputer berdasarkan densitas, warna, dan fluoresensi dapat mengurangi cemaran aflatoksin pada kacang tanah dan kacang pistachio hingga 95%.

Penghilangan atau pengurangan cemaran aflatoksin pada komoditas serealial dan aneka kacang dapat dilakukan secara fisik, kimiawi, dan biologis. Beberapa hasil penelitian berkenaan dengan upaya pengurangan cemaran aflatoksin pada komoditas serealial dan aneka kacang disajikan pada Tabel 4.

Penghilangan atau pengurangan cemaran aflatoksin sebagaimana disajikan pada Tabel 4 dapat menjadi pilihan karena spesifik, efektif, ramah lingkungan, dan berperan penting menjaga dan meningkatkan keamanan pangan. Meskipun demikian, dalam penerapannya banyak faktor pembatas yang harus dibenahi seperti prosedur yang rumit, keterbatasan perangkat pendukung yang dipersyaratkan, konsekuensi industrial seperti perbaikan bahan baku kemasan yang mampu menjembatani petani produsen dan pasar, serta keterkaitan dengan praktik budi

Tabel 4. Upaya pengurangan cemaran aflatoksin pada komoditas sereal dan aneka kacang.

Upaya	Perlakuan	Sumber
Fisik		
<i>Pulse Light</i> (PL)	Perlakuan PL (0,52 J/cm ²) selama 80 detik mengurangi AfB1 dan AfB2 masing masing 75% dan 39,2% pada beras pecah kulit (PK)	Bei Wang <i>et al.</i> (2016)
Iradiasi sinar γ	Iradiasi sinar γ pada dosis 5 kGy mampu menghambat pertumbuhan dan produksi aflatoksin B1 pada biji kedelai yang disimpan lebih dari 60 hari tanpa perubahan komposisi kimiawi yang berarti. Sementara iradiasi sinar γ dengan dosis 10 kGy pada biji jagung mereduksi kandungan aflatoksin pada level aman untuk konsumsi dan kesehatan manusia	Mahrous (2007), Markov <i>et al.</i> (2015)
Irradiasi UV-C	Irradiasi UV-C pada 265 nm selama 45 menit mereduksi AfB1 pada kacang tanah hingga 97%	Jubeen <i>et al.</i> (2012)
Ekstrusi	Pangan berbasis kacang tanah yang diekstrusi pada kondisi suhu laras /barrel 150°C, kadar air 40 g/100 g, laju umpan 17 g/menit dan kecepatan putaran 152 rpm mendegradasi aflatoksin B1 77,6 $\pm$ 2,2%	Zheng <i>et al.</i> (2015)
Kimiawi		
Minyak esensial	Minyak esensial yang diekstrak dari <i>Thymus daenensia</i> pada konsentrasi 2000 mg/l mampu mengurangi cemaran AfB1 97% Sintesis AfB1 dihambat total pada jagung oleh perlakuan minyak esensiil dari <i>Pimpinella nissum</i> L., <i>Peumus boldus</i> Mol. dan <i>Hedeoma multiflora</i> Benth pada konsentrasi 2000–3000 μ g/g yang diinkubasi selama 11 hari.	Goran <i>et al.</i> (2013) Bluma dan Etcheverry (2008)
Biologis		
Penggunaan khamir (<i>yeast antagonist</i>)	Penggunaan <i>S. cerevisiae</i> ATCC 9376 menghambat pertumbuhan <i>Aspergillus flavus</i> BIO 2237 masing-masing sebesar 47% pada media jagung dan 45% pada media kedelai	Rahayu <i>et al.</i> (2015).

daya. Perangkat pendukung yang dipersyaratkan seperti pembangkit pulse light, iradiasi sinar, dan UV, di samping belum tersedia di pasar juga harganya mahal. Penelitian dan pengembangan teknologi secara komprehensif dan multidisiplin masih diperlukan untuk memanfaatkan potensi keuntungan dari implementasi teknologi tersebut.

Kegiatan pascapanen praktis sebagai contoh dalam pengendalian cemaran aflatoksin pada kacang tanah (Torres *et al.* 2014; Anonymous 2007) adalah sebagai berikut:

- 1) Panen dilakukan pada saat 75% polong telah terbentuk atau pada tanaman dengan kisaran umur 90–100 hari, bergantung pada varietas, dan segera dirontok.
- 2) Polong segera dikeringkan sampai kadar air < 10% melalui penjemuran ($\pm$ 3 hari) maupun penggunaan mesin pengering yang disetel pada suhu 50°C (12 jam).
3. Pengupasan polong secara hati-hati dan memisahkan kacang yang muda, keriput, luka atau rusak, dan busuk.
4. Penyimpanan yang baik untuk polong adalah pada kadar air < 9% dan untuk biji kacang tanah pada kadar air < 7% pada kondisi suhu 25–27°C dan RH 56–70%, dikemas dalam karung goni yang dirangkap dengan kantung plastik PE tipis, dan disusun pada

rak-rak yang berjarak dengan dinding ruang penyimpanan.

Biji kacang tanah yang disimpan perlu diperiksa secara rutin untuk mengamati pertumbuhan jamur. Bila berjamur, biji segera dibuang. Kegiatan pengendalian aflatoksin pada kacang tanah dapat dimodifikasi untuk padi, jagung, kedelai, dan komoditas sereal dan kacang lainnya.

STATUS PENGATURAN PEMBATAAN AFLATOKSIN

Hasil survei Biomin (2018), perusahaan nutrisi hewan, menunjukkan prevalensi aflatoksin di seluruh dunia pada Januari-Desember 2017 berkisar antara 0-81%, tertinggi dijumpai di Asia Selatan (81%) dan Asia Tenggara (54%). Aflatoksikosis sebagai penyakit akibat mengonsumsi pangan tercemar aflatoksin menjadi isu keamanan pangan internasional. Seiring berjalannya waktu semakin banyak negara yang menetapkan batas maksimum aflatoksin pada komoditas dan produk pangan. Pengaturan batas maksimum aflatoksin selain ditentukan oleh beberapa faktor seperti ketersediaan data toksikologis, paparan, sebaran pada berbagai komoditas, metode analisis, dan status pengaturan batas aflatoksin dari negara lain,

faktor ekonomis dan politis juga berperan penting dalam perdagangan dan kecukupan pasokan pangan (Mazumder dan Sasmal 2001; van Egmond 2002). Pengaturan yang ketat atas batasan aflatoksin oleh suatu negara (umumnya negara maju) merugikan bagi produsen yang umumnya di negara berkembang dengan keterbatasan penguasaan ilmu dan teknologi. Keberagaman pengaturan batasan aflatoksin sebagaimana disajikan dalam Tabel 5 menjadi bahan pertimbangan dalam upaya harmonisasi peraturan antarnegara agar tersusun “aturan komprehensif yang lebih berkeadilan”.

Pertanian Indonesia yang beriklim tropis basah/lembab dan bersuhu relatif tinggi menghasilkan komoditas pangan yang sangat rentan terhadap jamur penghasil mikotoksin, khususnya aflatoksin. Oleh karena itu, aflatoksikosis menjadi masalah serius di Indonesia. Di sisi lain, upaya penanggulangan cemaran aflatoksin masih kurang memadai sebagaimana tercermin dari masih terbatasnya petani produsen yang menerapkan pedoman budi daya dan penanganan pascapanen yang baik untuk

mengurangi perkembangan jamur penghasil aflatoksin pada komoditas sereal dan aneka kacang.

Berkaitan dengan isu keamanan pangan, Indonesia memiliki peraturan perundangan, yaitu Undang-Undang No. 18 tahun 2012 tentang Pangan, Peraturan Pemerintah No. 28 tahun 2004 tentang Keamanan, Mutu, dan Gizi Pangan yang secara lebih teknis dan rinci diurai dalam Keputusan Kepala Badan POM-RI No. HK.00.05.1.4057 tahun 2004 dan No. 00.06.1.52.4011 tahun 2009. Khusus aflatoksin, BPOM-RI telah mengeluarkan batas maksimum kandungannya dalam beberapa jenis pangan (Tabel 6).

Batasan aflatoksin yang dipersyaratkan Indonesia pada bahan pangan relatif tinggi dibandingkan dengan beberapa negara lain (Tabel 5). Hal ini perlu peninjauan kembali di samping dampaknya pada kesehatan masyarakat dan perdagangan komoditas sereal dan aneka kacang di pasar internasional. Jika diperlukan, ketentuan tersebut direview dan direvisi sesuai dengan perkembangan ilmu dan teknologi pangan serta kebutuhan mendesak lainnya.

Tabel 6. Batas maksimum cemaran aflatoksin di berbagai negara.

Negara	Jenis pangan	Batas aflatoksin (ppb)	
		B1	Total
Malaysia ¹⁾	Kacang tanah	-	15
	Kacang tanah siap konsumsi	-	10
	Kacang tanah untuk diproses lanjut	-	15
Filipina ¹⁾	Jagung pipil	-	20
	Jagung <i>grit</i>	-	20
	Pangan Olahan berbasis Jagung	-	20
Singapura ¹⁾	Semua pangan kecuali untuk bayi atau anak-anak	5	5
Vietnam ¹⁾	Kacang tanah untuk diolah lanjut	8	15
	Kacang tanah siap konsumsi	2	4
	Beras dan jagung untuk diolah lanjut	5	10
Uni Eropa ²⁾	Kacang tanah untuk diolah lanjut	8	15
	Kacang tanah siap konsumsi	2	4
	Jagung untuk diolah lanjut	5	10
	Jagung siap konsumsi	2	4
	Beras untuk diolah lanjut	5	10
	Sereal siap konsumsi	2	4
Meksiko ³⁾	Jagung	-	20
Cina ⁴⁾	Kacang tanah	20	-
	Jagung	20	-
Hongkong ⁴⁾	Kacang tanah	-	20
India ⁴⁾	Semua pangan	30	-
Jepang ⁴⁾	Beras	10	-
	Semua pangan	-	10
Srilangka ⁴⁾	Semua pangan	-	30
Taiwan ⁴⁾	Kacang tanah	-	15
	Jagung	-	15
	Beras	-	10
	Sorgum	-	10
	Aneka kacang	-	10
	Kacang tanah kupas kulit	20	35
Indonesia ⁵⁾	Biji jagung	20	35
	Pangan olahan berbasis kacang tanah	15	20
	Pangan olahan berbasis jagung	15	20

Sumber: ¹⁾Anonymous 2015; ²⁾Vandercammen dan Seifarth 2010; ³⁾Guzman-de-Pena dan Pena-Gabriales 2005; ⁴⁾Anukul *et al.* 2013; ⁵⁾Anonymous 2004b dan Anonymous 2009.

Tabel 6. Batas maksimum aflatoksin B1 dan aflatoksin total dalam produk yang terbuat dari jagung dan kacang-kacangan di Indonesia.

Kategori	Jenis pangan	Batas aflatoksin (ppb)	
		B1	Total
4.1	Kacang tanah kupas kulit ^{a)}	20	35
4.2	Kacang tanah biasa ^{a)}	20	35
4.3	Biji jagung ^{a)}	20	35
4.4	Tepung jagung ^{a)}	20	35
4.5	Pati jagung ^{a)}	20	35
8.2	Pangan olahan berbasis kacang tanah ^{b)}	15	20
8.3	Pangan olahan berbasis jagung ^{b)}	15	20

Sumber: ^{a)}Anonymous 2004b; ^{b)}Anonymous 2009.

STRATEGI PENGENDALIAN AFLATOKSIN

Mengingat komoditas sereal dan aneka kacang berperan sebagai pangan strategis di Indonesia diperlukan strategi pencegahan cemaran aflatoksin sebagai berikut:

- 1) Sosialisasi teknik budi daya dan pascapanen sereal dan aneka kacang yang baik secara terus menerus untuk meningkatkan kesadaran pihak kompeten dalam mengurangi risiko cemaran aflatoksin terhadap kesehatan masyarakat.
- 2) Pemantauan dan evaluasi rutin terhadap cemaran aflatoksin pada komoditas sereal dan aneka kacang di sentra produksi, sekaligus sebagai bahan untuk penyusunan strategi pembinaan yang lebih baik kepada petani produsen dan pihak yang terlibat dalam tata niaga sereal dan aneka kacang.
- 3) Pembentukan forum atau pemanfaatan media yang sudah ada untuk memfasilitasi pertemuan berbagai pihak terkait seperti petani, pedagang, pengolah, ilmuwan, dan penentu kebijakan untuk bertukar informasi dan pengalaman mengenai berbagai aspek yang berkaitan dengan cemaran aflatoksin pada produk pangan.
- 4) Penelitian dan pengembangan yang sinergis dan berkelanjutan oleh lembaga penelitian dan perguruan tinggi untuk menghasilkan teknologi pengendalian aflatoksin yang efektif, efisien, mudah, murah, dan ramah lingkungan.
- 5) Meningkatkan komunikasi antarlembaga, institusi, dan otoritas kompeten pada point 1-4 dan melakukan sintesis untuk menghasilkan rekomendasi strategi pengendalian cemaran aflatoksin guna meminimalisasi kerugian dan menjamin keamanan pangan nasional, sekaligus meningkatkan daya saing pangan dalam negeri di pasar global.

KESIMPULAN

Cemaran mikotoksin, khususnya aflatoksin yang dihasilkan oleh kapang *Aspergillus* sp., merupakan salah satu faktor penentu keamanan pangan berbasis sereal dan aneka kacang. Oleh karena itu, cemaran mikotoksin pada komoditas pangan harus diwaspadai karena berdampak terhadap kesehatan manusia dan perdagangan. Teknologi pengendalian cemaran aflatoksin pada komoditas pangan secara fisik, kimiawi, dan biologis telah dihasilkan melalui berbagai penelitian, namun kerumitan prosedural dan keterbatasan perangkat pendukung industrial dari hulu hingga hilir menjadi kendala dalam penerapannya.

Batasan maksimum cemaran aflatoksin di Indonesia relatif tinggi dibandingkan dengan negara lain, sehingga perlu dicermati kembali melalui penelitian dan kajian konpresensif multidisiplin agar lebih teruji secara ilmiah dengan pertimbangan ekonomis dan politis untuk menghadapi persaingan yang semakin ketat di pasar global. Strategi pengendalian cemaran aflatoksin pada sereal dan aneka kacang sebagai upaya peningkatan daya saing memerlukan komitmen kuat dari semua pihak yang terlibat dalam produksi dan tata niaga.

DAFTAR PUSTAKA

- Albert, J.F., M. Lily, J.P. Rheeder, H-M. Burger, G.S. Shephard, and W.C.A. Gelderblom. 2016. Technological and community – based methods to reduce mycotoxin exposure. *Food Control* XXX: 1–9
- Anonymous. 2003. Code of practice for the prevention and reduction of mycotoxin contamination in cereals, including annexes on ochratoxin A, zearalenone, fumonisins and tricothecenes. CAC/RCP 51–2003.
- Anonymous. 2004a. Outbreak of aflatoxin poisoning – Eastern and Central Provinces, Kenya, January – July 2004. *MMWR, Weekly*, 53(34): 790–793.
- Anonymous. 2004b. Keputusan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia No. HK.00.05.1.4057 tanggal 9 September 2004 tentang Batas Maksimum Aflatoksin dalam

- Produk Pangan. à tajuk Anonymous bisa diganti dengan Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM).
- Anonymous. 2007. Aflatoksin. Food Watch Sistem Keamanan Pangan Terpadu, vol II. Badan POM RI.
- Anonymous. 2015. Regulatory limits of mycotoxins in ASEAN Countries (Aflatoxin). http://www.hsa.gov.sg/content/dam/HAS/ASG/Food_Safety/ASEANRefLab/Aflatoxins_2015.pdf. (17 Oktober 2017).
- Anonymous. 2016. Evaluations of Contaminants. Summary report of the eighty-third meeting of JECFA (JECFA/83/SC), Rome 8-17 November 2016. JOINT FAO/WHO EXPERT COMMITTEE ON FOOD ADDITIVES
- Anonymous. 2009. Keputusan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia No. HK.00.06.1.52.4011 tanggal 28 Oktober 2009 tentang Penetapan Batas Maksimum Cemaran Mikroba dan Kimia dalam Makanan. à tajuk Anonymous bisa diganti dengan Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM).
- Anukul, N., K. Vangnai, and W. Mahakarnchanakul. 2013. Significance of regulation limits in mycotoxin contamination in Asia and risk management programs at the national level. *Journal of Food and Drug Analysis* 21: 227–241.
- Bahri, S., R. Maryam dan R. Widiastuti. 2005. Cemaran aflatoksin pada bahan pakan dan pakan di beberapa daerah Propinsi Lampung dan Jawa Timur. *JITV* 10(3): 236–241
- Baranyi, N., S. Kocsube and J. Varga. 2015. Aflatoxins: Climate change and biodegradation. *Current Opinion in Food Science*, 5: 60–66.
- Biomim. 2018. Biomim: World Mycotoxins Survey 2017 Annual Report No. 14 <http://www.biomim.net/id/home/> (14 Maret 2018).
- Bluma, R.V., and M.G. Etcheverry. 2008. Application of essential oils in maize grain : Impact on *Aspergillus section Flavi* growth parameter and aflatoxin accumulation. *Food Microbiology* 25: 324–334.
- Bryden, W.L., 2012. Mycotoxin contamination of the feed supply chain: implication for animal productivity and feed security. *Animal Feed Sci. Technol.* 173 (Issues: 1–2): 134–158.
- Cheng, Y., Q. Kong, C. Chi, S. Shan, and B. Guan. 2015. Biotransformation of aflatoxin B1 and aflatoxin G1 in peanut meal by anaerobic solid fermentation of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp *bulgaricus*. *International Journal of Food Microbiology* 211: 1–5.
- da Rocha, M.E.B., F. da C.O. Freire, F.E.F. Maia, M.I.F. Guedes and D. Rondina. 2014. Mycotoxins and their effects on human and animal health. *Food Control* 36(2): 159–165.
- Demaegdt, H., B. Daminett, A. Evrard, M-L. Scippo, M. Muller, L. Pussemier, A. Callebaut, and K. Vandermeiren. 2016. Endocrine activity of mycotoxins and mycotoxins mixtures. *Food and Chemical Toxicology* 96: 107–116.
- Ding, X., P. Li, Y. Bei, and H. Zhou. 2012. Aflatoxin B1 in post-harvest peanuts and dietary risk in China. *Food Control* 23: 143–148.
- Farombi, E.O. 2006. Aflatoxin contamination of foods in developing countries: Implications for hepatocellular carcinoma and chemopreventive strategies. *African Journal of Biotechnology* 5(1): 1–14.
- Ferre, F. S., 2016. Worldwide occurrence of mycotoxins in rice. *Food Control* 62: 291–298.
- Gorran, A., M. Farzaneh, M. Shivazad, M. Razaiean, and A. Ghassempour. 2013. Aflatoxin B1 – Reduction of *Aspergillus flavus* by three medicinal plants (*Lamiaceae*). *Food Control* 31: 218–223.
- Guzman-de-ena, D. and J.J. ena-Cbriales. 2005. Regulatory considerations of aflatoxin contamination of food in Mexico. *Rev Latinoam Microbiol* 2005, 47(3–4): 160–164.
- Hedayati, M.T., A.C. Pasqualotto, P.A. Warn, P. Bowyer and D.W. Denning. 2007. *Aspergillus flavus*: Human pathogen, allergen and mycotoxin producer. *Microbiology* 153: 1677–1692.
- Hejri, L. A., S. Jinap, P. Hajeb, S. Radu, and Sh. Shakibazadeh, 2013. A review on mycotoxins in food and feed : Malaysia case study. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 12: 629–651.
- Hoeltz, M., T. C. Einloft, V. P. Aldoni, H. A. Dottori, and I. B. Noll. 2012. The occurrence of aflatoxin B1 contamination in peanuts and peanut products marketed in Southern Brazil. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 55(2): 5.
- Huong, B.T.M., L.D. Tuyen, T.T. Do, H. Madsen, L. Brimer, and A. Dalsgaard. 2016. Aflatoxins and fumonisins in rice and maize staple cereals in Northern Vietnam and dietary exposure in different ethnic groups. *Food Control* 70: 191–200.
- Hussein, H. S., and J. M. Brasel. 2001. Toxicology, metabolism, and impact of mycotoxins on humans and animals. *Toxicology* 167: 101–134.
- Iqbal, S. Z., M. R. Asi, M. Zuber, N. Akram, and N. Batool, 2013. Aflatoxin contamination in peanut and peanut products commercially available in retail markets of Punjab, Pakistan. *Food Control* 32: 83–86.
- Jubeen, F., Bhatti, I.A., Khan, M.Z. Zahoor-UI-Hassan and Shahid, M. 2012. Effect of UV-C irradiation on aflatoxins in groundnut (*Arachis hypogea*) and three nuts (*Juglan regia*, *Prunus dulcis* and *Pistachio vera*). *Journal of the Chemical Society of Pakistan* 34: 1366–1374.
- Kensler, T.W., Roebuck, B.D., Wogan, G.N., and J.D. Groopman. 2011. Aflatoxin: 50-year odyssey of mechanistic and translational toxicology. *Toxicol. Sci.* 120 (Suppl. 1), S28–S48.
- Khlangwiset, P., Shephard, G.S., and Wu, F., 2011. Aflatoxins and growth impairment: a review. *Crit. Rev. Toxicol.* 41: 740–755.
- Kumar, V., M.S. Basu and T.P. Rajendran. 2008. Mycotoxin research and mycoflora in some commercially important agricultural commodities. *Crop Protection* 27: 891–905.
- Kusumaningrum, H. D., Suliantari, Aris D. Toha, Sindhu H. Putra, dan Aldilla S. Utami, 2010. Cemaran *Aspergillus flavus* dan aflatoksin pada rantai distribusi produk pangan berbasis jagung dan faktor yang mempengaruhinya. *J. Teknol. dan Industri Pangan* Vol. XXI, No. 2.
- Lai, X., R. Liu, C. Ruan, He Zhang, and C. Liu, 2015. Occurrence of aflatoxins and ochratoxin A in rice samples from six provinces in China. *Food Control* 50: 401–404.
- Leong, Y-H., N. Ismail, A. A. Latif, and R. Ahmad, 2010. Aflatoxin occurrence in nuts and commercial nutty products in Malaysia. *Food Control* 21: 334–338.
- Lutfullah, G. and A. Hussain, 2012. Studies on contamination level of aflatoxin in some cereals and beans of Pakistan. *Food Control* 23: 32–36.
- Machinski Jr., M., L. M. V. Soares, E. Sawazaki, D. Bolonhezi, J.L. Castro and N. Bortoletto. 2001. Aflatoxins, ochratoxin A and zearalenone in Brazilian corn cultivars. *Journal of Food Science of Food and Agriculture*, Vol. 81 issue 10 page: 1001–1007.
- Mahrous, S.R. 2007. Chemical properties of *Aspergillus flavus* infected soybean seeds exposed to γ -irradiation during storage. *International Journal of Agriculture and Biology* 9: 231–238.
- Majeed, S., M. Iqbal, M. R. Asi, and S. Z. Iqbal, 2013. Aflatoxin and ochratoxin A contamination in rice, corn and corn products from Punjab, Pakistan. *Journal of Cereal Science* 58: 446–450.
- Markov, K., B. Mihaljevic, Domijan, AM.J. Pleadin, F. Delas, and J. Frece. 2015. Inactivation of aflatoxigenic fungi and the reduction of aflatoxin B1 in vitro and in situ using gamma radiation. *Food Control* 54: 79–85.
- Mazumder, M. and D. Sasmal. 2001. Mycotoxins—Limits and Regulations. *Ancient Science of Life* XX: 1: 1–19.
- Milicevic, D., Skrinjar, S., and T. Baltic. 2010. Real and perceived risks for mycotoxin contamination in foods and feeds : Challenges for food safety control. *Toxins* 2: 572–592.

- Moreau, C., 1979. Moulds, toxins and food. Translated and edited by M.O. Moss. A Wiley – Interscience Publication. John Wiley & Sons, Chichester–New York–Brisbane–Toronto.
- Nugraha, A., K. Khotimaha, I.M.C.M. Rietjens. 2018. Risk assessment of aflatoxin B1 exposure from maize and peanut consumption in Indonesia using the margin of exposure and liver cancer risk estimation approaches. *Food and Chemical Toxicology* 113(2018): 134–144.
- Paterson, R. R. M. and N. Lima. 2010. How will climate change affect mycotoxin in food ? *Food Research International* 43: 1902–1914.
- Paterson, R.R.M. and N. Lima. 2011. Further mycotoxin effects from climate change. *Food Research International* 44: 2555– 2566.
- Perrone, G, M. Haidukowski, G. Stea, F. Epifani, R. Bandoypadhyay, J.F. Leslie, and A. Logrieco. 2014. Population structure and aflatoxin production by *Aspergillus Sect. Flavi* from maize in Nigeria and Ghana. *Food Microbiology* 41: 52–59.
- Pratiwi, C., Rahayu, W.P., Lioe, H.N., Herawati, D., Broto, W., and S. Ambarwati. 2015. The effect of temperature and relative humidity for *Aspergillus flavus* BIO 2237 growth and aflatoxin production on soybeans. *International Food Research Journal* 22(1): 82–87.
- Rahayu, E.S. 2006. Aflatoxin in Indonesian Foods: Occurrence, Prevention and Control. Presented in 5th Asia-Pacific Biotechnology Congress on May 10–13, 2006. Tagbilaran, Bohol, Philippines, 6 p.
- Rahayu, W.P., D. Herawati, W. Broto, S. Ambarwati, H.N. Lioe, S. Simatupang, C. Pratiwi and D. Rahayu. 2015. Biocontrol of toxigenic molds by *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9376. hlm. 261–272. In Nur Wulandari, Lilis Nuraida, Sukarno, Puspo E. Giriwono, Winiati P. Rahayu, H.D. Kusumaningrum dan S. Widowati (Ed). Proceeding International Conference: Food for a Quality Life. Jakarta, October 15–16: 2014.
- Rahmianna, A.A., A. Taufiq and E.Yusnawan. 2007. Effect of harvest timing and postharvest storage conditions on aflatoxin contamination in groundnuts harvested from the Wonogiri regency in Indonesia. *Journal of SAT Agricultural Research* 5(1).
- Rahmianna, A.A. and E. Yusnawan. 2015. Monitoring of Aflatoxin Contamination at Market Food Chain in East Java. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, August-2015; 3(4)
- Rahmianna, A. A., E. Ginting dan E. Yusnawan. 2015. Kontaminasi aflatoksin dan cara pengendaliannya melalui penanganan pra dan pascapanen. hlm. 329-347. *Dalam* A. Kasno, A.A. Rahmianna, I M.J. Mejaya, D. Harnowo, S. Purnomo (Ed.). *Kacang Tanah: Inovasi Teknologi dan Pengembangan Produk*. Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi, Malang
- Reddy, B.N. and C.R. Raghavender. 2007. Outbreak of aflatoxicoses in India. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development* 7(5): 2007.
- Reddy, K.R.N., C.S. Reddy, and K. Muralidharan. 2009. Etction of Asprgillus spp and Aflatoxins B1 in rice in India. *Food Microbiology* 26: 27–31.
- Redzwan, S. M., R. Jamaluddin, M. S. A. Muthalib and Z. Ahmad. 2013. A mini review on aflatoxin exposure in Malaysia : pst, present, and future. *Frontiers in Microbiology*, 4 (articel 334): 1–8.
- Richard, J.L. 2007. Some major mycotoxins and their mycotoxicoses – An overview. *International Journal of Food Microbiology* 119: 3–10.
- Siegel, D., and T. Babuscio. 2011. Mycotoxin management in the European cereal trading sector. *Food Control* 22: 1145–1153.
- Somantri, A.S., Miskiyah and W. Broto. 2011. Risk analysis of supply chain management system : A case study on corn in the district Sragen. p: 377-383. In: Martono, E. *et al.* Proceeding of International Conference on Food Safety and Food Security. Gadjah Mada University. Yogyakarta, December 1st – 2nd , 2010. Published by Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta 55281, Indonesia, March, 2011.
- Sumijati. 2009. Studi Tentang *Aspergillus Flavus* dan Aflatoksin pada Tahap Budi Daya Kacang Tanah dari Beberapa Lokasi Lahan Kering di Kabupaten Karanganyar. *Sains Tanah – Jurnal Ilmu Tanah dan Agroklimatologi* 6(2) : 91 – 98
- Tekinsen, K.K. and H.S. Eken. 2008. Aflatoxin M1 levels in UHT milk and khasar cheese consumed in Turkey. *Food and Chemical Toxicology* 46: 3287–3289.
- Torres, A.M., G.G. Baros, S.A. Palacios, S.N. Chulze, and P. Battilani. 2014. Review on pre- and post-harvest management of peanuts to minimize aflatoxin contamination. *Food Research International* 62: 11–19.
- Udonkum, P., A.N. Wiredu, M. Nagle, J. Muller, B. Vanlauwe, and R. Bandyopadhyay. 2017. Innovative technologies to manage aflatoxin in foods and feeds and the profitability of application – A review. *Food Control* 76: 127–138.
- Utami, T., FX. H. A. Nugroho, S. Usmiati, S. Marwati, dan E. S. Rahayu, 2012. Penurunan kadar aflatoksin B1 pada sari kedelai oleh sel hidup dan sel mati *Lactobacillus acidophilus* SNP-2. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan XXIII* (1): 58–63.
- Van Egmond HP, 2002. Worldwide regulations for mycotoxins. *Adv. Exp. Med. Biol.* 504: 257–269.
- Vandercammen, G, and K. Seifarth. 2010. New EU Aflatoxin Levels and Sampling Plan. GAIN Report Number: E50018.
- Vujanovic, V., W. Smoragiewicz, and K. Kryzysniak. 2001. Airborne fungal ecological niche determination as one of the possibilities for indirect mycotoxin risk assesmentin indoor air. *Environ. Toxicol.* 16 : 1 – 8.
- Wang, B., N.E. Mahoney, Z. Pan, R. Khir, B. Wu, H. Ma, and L. Zao. 2016. Effectiveness of pulsed light treatment for degradation and detoxification of Aflatoxin B1 and B2 in rough rice and rice bran. *Food Control* 59: 461–467.
- William, J.H., T.D. Phillips, P.E. Jolly, J.K. Stiles, C.M. Jolly, and D. Aggarwal. 2004. Human aflatoxicosis in developing countries: a review of toxicology, exposure, potential health consequences, and interventions. *Am. J. Clin. Nutr.* 80: 1106–1122.
- Wogan, G.N., Kensler, T.W., and Groopman, J.D., 2012. Present and future directions of translational research on aflatoxin and hepatocellular carcinoma : a review. *Food Addit. Contam Part A Chem. Anal. Control Expo. Risk Assess.* 29, 249-257.
- Yenny, 2006. Aflatoksin dan aflatoksikosis pada manusia. *Universa Medica* 25(1): 41–52.
- Zain, M.E., 2011. Impact of mycotoxins on humans and animals. *Journal of Saudi Chemical Society* 15 : 129 – 144.
- Zheng, H., S. Wei, Y. Xu, and M. Fan. 2015. Reduction of aflatoxin B1 in peanut meal by extrusion cooking. *LWT-Food Science and Tehnology* 64:515 – 519.