

PENGENDALIAN TERPADU KONTAMINASI MIKOTOKSIN

ROMSYAH MARYAM

Balai Penelitian Veteriner, Jl. R.E. Martadinata No. 30, Bogor 16114

ABSTRAK

Kontaminasi mikotoksin yang dihasilkan oleh kapang *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp. dan *Penicillium* spp. pada produk pertanian semakin menjadi perhatian dunia karena dampaknya yang besar terhadap kesehatan dan perekonomian dunia. Pengendalian secara terpadu dapat dilakukan melalui pendekatan *Hazard Analysis and Critical Control Point* (HACCP) dengan menerapkan *Good Agricultural Practices* (GAP) dan *Good Manufacturing Practices* (GMP) yang dilaksanakan pada prapanen, saat panen, dan pascapanen dengan kontrol kualitas pada setiap tahap produksi. Pengendalian prapanen dilakukan melalui pemilihan varietas resisten, pengendalian serangga dan gulma secara mekanik atau dengan menggunakan fungisida dan herbisida sesuai aturan, rotasi tanaman, irigasi dan pengaturan kondisi tanah, serta kontrol biologis. Saat panen yang tepat dengan menggunakan peralatan yang bebas dari cemaran kapang dan serangga dapat mencegah adanya kontaminasi mikotoksin. Pengendalian pascapanen dilakukan melalui pemisahan produk secara fisik, pencucian dan pengenceran, pengeringan, penyimpanan, penggunaan bahan kimia dan bahan pengikat toksin, penggunaan bahan alami, zat gizi dan vitamin, pemanfaatan mikroba, pemanasan dan radiasi. Meskipun, bahan kimia dapat menurunkan cemaran mikotoksin secara efektif, namun penggunaannya pada produk pertanian baik yang digunakan sebagai bahan pangan maupun pakan harus memperhatikan faktor keamanan. Penggunaan kapang nontoksigenik pada masa prapanen sebagai kontrol biologis, dan pemanfaatan mikroba merupakan cara yang lebih efektif dan aman untuk diaplikasikan pada produk pangan/pakan. Demikian pula dengan bahan alami, suplemen zat gizi dan vitamin. Pengendalian mikotoksin secara terintegrasi dengan menerapkan konsep HACCP akan menghasilkan produk pangan/pakan yang memenuhi persyaratan mutu dan keamanan.

Kata kunci: Pengendalian, mikotoksin, HACCP

ABSTRACT

INTEGRATED CONTROL SYSTEMS OF MYCOTOXIN CONTAMINATION

Contamination of mycotoxins produced by *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp. and *Penicillium* spp. in agricultural products has been a concern regarding their effect to health and economic impact. Integrated control system should be based on *Hazard Analysis and Critical Control Point* (HACCP) approach involving *Good Agricultural Practices* (GAP) and *Good Manufacturing Practices* (GMP). Prevention should be carried out through pre harvest, harvest, post harvest, as well as control quality at all stages of production. Pre harvest control is conducted through the selection of resistant varieties, insect control and weeds management mechanically or applying fungicides and herbicides, plant rotation, irrigation and soil management, as well as biological control. Harvesting at the right time using clean equipments from fungal contamination and insect infestation avoids the contamination of mycotoxins. Post harvest control by physical selection, washing and dilution, drying, storage, application of chemicals and binding agents, natural products, nutrients and vitamins, microbiological control, heating and radiation could also minimize mycotoxin in food and feed. Although chemicals can effectively reduce mycotoxin, the use of those on food/feed should be considered the safety. The addition of natural products, nutrition supplements and vitamins suppress the negative effect of mycotoxin on animals. The use of non-toxicogenic fungi and other microbes as biological control is the effective and safe methods for food/feed. The implementation of integrated mycotoxin control system by utilizing the HACCP concept would meet the qualified and safe food/feed products.

Key words: Control, mycotoxins, HACCP

PENDAHULUAN

Kontaminasi mikotoksin pada bahan pangan dan pakan semakin menjadi perhatian dunia karena dampaknya terhadap kesehatan manusia dan hewan. Metabolit sekunder dari kapang ini tidak hanya berbahaya bagi kesehatan, namun juga mengakibatkan kerugian ekonomi yang cukup besar dan berpengaruh terhadap perdagangan internasional.

Di negara tropis seperti Indonesia, kontaminasi mikotoksin sangat sulit untuk dihindari karena kondisi

iklim dengan tingkat kelembaban, curah hujan dan suhu yang tinggi sangat mendukung pertumbuhan dan perkembangbiakan kapang penghasil mikotoksin. Komoditi pertanian seperti kacang-kacangan, jagung dan sereal lainnya banyak tercemar oleh kapang *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp. dan *Penicillium* sebagai penghasil mikotoksin.

Aflatoksin yang dihasilkan oleh kapang *Aspergillus flavus* dan *A. parasiticus* adalah mikotoksin yang paling toksik dan banyak ditemukan pada produk pertanian. Keberadaan mikotoksin lain seperti

fumonisin, okratoksin, zearalenon, dan trikotesen (deoksinivalenol, nivalenol, dan T2 toksin) bersama dengan aflatoksin pada suatu komoditi dapat meningkatkan toksisitas karena adanya efek sinergis dari mikotoksin-mikotoksin tersebut. Kerugian ekonomi yang disebabkan oleh cemaran mikotoksin terutama aflatoksin di Asia mencapai 400 juta dolar per tahun (ZANELLI, 2000), sedangkan di Australia mencapai 10 juta dolar per tahun (PITT dan HOCKING, 1997).

Mikotoksin tidak rusak selama proses produksi, senyawa ini masih terdapat pada hasil olahan yang dapat menyebabkan terjadinya mikotoksikosis pada manusia maupun hewan. Selain itu, adanya mikotoksin pada pakan menimbulkan residu pada produk peternakan yang dapat membahayakan kesehatan manusia sebagai konsumen (DALVI dan ADEMOYERO, 1984; BRYDEN dan CUMMING, 1980; MADDEN dan STAHR, 1995; MARYAM *et al.*, 1995; 2003; MARYAM, 1996; STUBBLEFIELD dan SHOTWELL, 1981). Penyakit kanker hati yang terjadi pada sebagian penduduk Indonesia diduga berhubungan erat dengan konsumsi pangan mengandung aflatoksin. Bahkan, PITT dan HOCKING (1997) memperkirakan bahwa setiap tahun terjadi kematian 20.000 orang penderita kanker hati di Indonesia yang disebabkan oleh aflatoksin.

Mengingat kerugian dan bahaya yang ditimbulkan oleh mikotoksin, maka perlu dilakukan pengendalian secara terpadu melalui pendekatan *Hazard Analysis and Critical Control Point* (HACCP). HACCP adalah suatu sistem kontrol keamanan pangan berdasarkan identifikasi sistematis dan asesmen terhadap bahaya (*hazard*) pada setiap rantai makanan (PARK *et al.*, 1999). Sistem ini dirancang untuk mencegah dan meminimalkan resiko melalui identifikasi, kontrol, dan monitoring *hazard* (FAO, 1995).

Konsep HACCP yang dirancang oleh FAO meliputi penerapan *good agricultural practices* (GAP) dan *good management practices* (GMP) yang mencakup pengendalian prapanen, saat panen, dan pascapanen dengan mempertimbangkan jenis komoditi, iklim dan agronomi. Dengan penerapan GAP dan GMP yang disertai kontrol kualitas yang baik akan diperoleh bahan pangan/pakan yang memenuhi persyaratan keamanan hingga sampai pada konsumen (*from farm to table*).

KONSEP PENGENDALIAN MIKOTOKSIN SECARA TERPADU

Pengendalian prapanen

Pemilihan varietas resisten

Pemilihan bibit unggul merupakan strategi yang efektif untuk menghindari serangan kapang toksigenik pada suatu komoditi. Berdasarkan penelitian genetik yang ekstensif telah ditemukan adanya kromosom-

kromosom yang resisten terhadap aflatoksin pada beberapa komoditi pertanian, seperti jagung dan kacang tanah. Kacang tanah varietas Jerapah, Sima, dan Turangga dilaporkan lebih tahan terhadap serangan *A. flavus* dibandingkan dengan varietas Macan dan J11. Ketiga varietas tersebut telah diintroduksi di Indonesia untuk disilangkan dengan varietas lokal dan turunannya telah diuji ketahanannya terhadap *A. flavus* (KASNO, 2004; KASNO *et al.*, 2002).

Pengendalian serangga dan gulma

Infestasi serangga menyebabkan kerusakan pada bulir sehingga mempercepat infeksi kapang dan produksi mikotoksin. Pengendalian dengan menggunakan insektisida dan fungisida sesuai anjuran akan membantu mencegah pertumbuhan kapang dan produksi mikotoksin. Selain itu, gulma (alang-alang, gerinting, babadotan, dll.) juga dapat menjadi vektor bagi kapang, terutama yang tumbuh dalam tanah (*soil born pathogen*) seperti *Fusarium graminearum* dan *Fusarium moniliforme*. Tumbuhan gulma dapat dihilangkan secara mekanik, dengan menggunakan herbisida atau cara lain yang lebih aman (CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2003; NOOR, 1997).

Rotasi tanaman

Pencegahan infestasi kapang prapanen dapat dilakukan dengan rotasi tanaman untuk memutus siklus perkembangbiakan kapang toksigenik yang ada dalam tanah. Cara ini sangat efektif untuk mencegah penyebaran inokulum kapang penghasil mikotoksin. Sebagai contoh, rotasi tanaman jagung-kacang kedelai dapat mengurangi serangan *Fusarium* dibandingkan dengan penanaman jagung secara berturut-turut (LOPEZ-GARCIA dan PARK, 1998).

Irigasi dan pengaturan kondisi tanah

Stres kekeringan dan fertilitas tanah sangat berpengaruh terhadap intensitas serangan kapang dan produksi mikotoksin. Pengaturan suhu dan kelembaban tanah berperan penting dalam pengendalian kontaminasi mikotoksin. Kandungan air dan kelembaban tanah yang tinggi sangat baik untuk germinasi spora dan proliferasi kapang.

Pada tanaman kacang tanah, cekaman kekeringan pada stadium reproduktif sangat sensitif terhadap serangan *A. flavus* dan kontaminasi aflatoksin (KASNO, 2004). Sedangkan pada tanaman jagung, cekaman kekeringan dan tingkat kelembaban yang tinggi sangat ideal untuk terjadinya proliferasi *F. moniliforme* dan produksi fumonisin (LOPEZ-GARCIA dan PARK, 1998). Selain itu, tanah yang kekurangan unsur Fe sangat berpotensi untuk pertumbuhan kapang *A. flavus* dan produksi aflatoksin (KASNO, 2004).

Kontrol biologis

Pencegahan infestasi kapang toksigenik pada tanaman dapat pula dilakukan melalui pengendalian secara biologis dengan menebarkan *Aspergillus* spp. non-toksigenik yang akan berkompetisi dengan *A. flavus* dan *A. parasiticus* toksigenik, sehingga perkembangan kapang tersebut akan terhambat. Cara ini memperlihatkan hasil yang memuaskan pada tanaman kacang tanah, dimana kontaminasi aflatoksin dapat ditekan hingga 90% (COLE dan DORNER, 1999). Untuk menjamin keberhasilan tersebut, PITT (1999) menyarankan agar perbandingan penggunaan *A. flavus* dan *A. parasiticus* dengan kapang non-toksigenik yang ditebarkan pada tanah dengan *A. flavus* dan *A. parasiticus* toksigenik adalah 100 : 1.

Pengendalian saat panen

Panen sebaiknya dilakukan pada musim kering dan setelah biji benar-benar siap untuk dipanen. Biji atau bulir yang masih muda banyak mengandung air yang sangat menguntungkan untuk pertumbuhan kapang. Kandungan air pada saat panen sebaiknya diatur pada kisaran tertentu, misalnya untuk jagung pipilan 23 – 25%, sorgum 12 – 17%, kacang kedelai 11 – 15% dan kacang tanah 35 – 50% (DEPARTMENT OF CROP SCIENCES UNIVERSITY OF ILLINOIS, 1997; KASNO, 2004). Panen yang terlalu cepat atau terlambat panen menyebabkan meningkatnya kontaminasi mikotoksin pada produk pertanian.

Peralatan yang digunakan saat panen atau untuk transportasi ke tempat pengeringan dan penyimpanan dibersihkan sehingga bebas dari serangga dan kapang.

Sedapat mungkin hasil panen dijaga dari kerusakan mekanik dan kontak dengan bagian tanaman yang terinfeksi kapang. Selanjutnya, hasil panen segera dikeringkan dengan menggunakan sinar matahari, pengasapan atau mesin pengering, jika panen dilakukan pada musim hujan hingga mencapai kadar air yang memadai untuk penyimpanan.

Pengendalian pascapanen

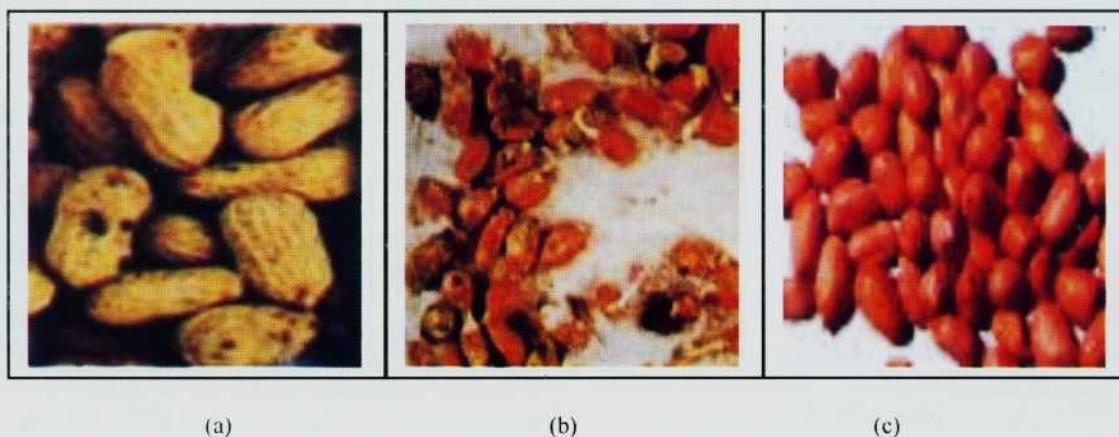
Pemisahan secara fisik

Pemisahan dilakukan melalui pengamatan visual pada produk pertanian yaitu, dengan memisahkan produk yang baik dari produk yang rusak akibat kerusakan mekanik, serangga, infeksi kapang atau busuk. Pemisahan dengan cara tersebut dapat menurunkan konsentrasi aflatoksin dan fumonisin pada jagung atau kacang tanah, dan patulin pada apel secara nyata (MURPHY *et al.*, 1993). Gambar 1 merupakan contoh pemisahan secara visual pada kacang tanah.

Pencucian dan pengenceran

Pada produk pertanian seperti kacang tanah, cemaran kapang dapat dikurangi dengan pencucian yang diikuti dengan pengeringan. Cara ini dapat mengurangi jumlah kapang, namun tidak menghilangkan/mengurangi toksin yang telah terbentuk.

Upaya mengurangi konsentrasi mikotoksin dapat pula dilakukan pengenceran (*dilution*), yaitu dengan menambahkan bahan yang masih baik sehingga kandungan cemaran tersebut menjadi sangat rendah.



Gambar 1. Visualisasi kacang tanah

(a) Terserang serangga; (b) Terinfeksi kapang; (c) Kacang tanah yang baik

Sumber: (a) <http://www.deptan.go.id>; (b) (<http://www.ipm.nsu.edu>); (c) (<http://www.baliguide.com>)

Pengeringan

Untuk mencegah produksi mikotoksin, hasil pertanian dikeringkan sesegera mungkin dalam waktu tidak lebih dari 24 – 28 jam setelah panen. Pengeringan dapat dilakukan secara tradisional dengan memanfaatkan sinar matahari, digantung di udara terbuka atau dalam ruangan dengan sedikit pemanasan/pengasapan, terutama untuk produk yang mudah terinfeksi kapang, dan dengan menggunakan mesin pengering (Gambar 2).

Penyimpanan

Produk pertanian yang disimpan harus dalam keadaan kering dengan kadar air yang sesuai untuk penyimpanan. Di negara-negara beriklim sedang, kadar air ideal adalah <13% untuk penyimpanan lebih dari 9 bulan, sedangkan untuk penyimpanan yang singkat kadar air dapat mencapai 14% (DEPARTMENT OF CROP SCIENCES UNIVERSITY OF ILLINOIS, 1997). Namun, untuk negara-negara beriklim tropis dengan suhu dan kelembaban yang tinggi, kadar air ideal berkisar antara 7 – 9% terutama untuk komoditi yang disimpan lebih dari tiga bulan (KASNO, 2004).

Produk disimpan di gudang penyimpanan dengan sirkulasi udara yang baik. Jika memungkinkan, suhu dan kelembaban diukur secara rutin selama periode penyimpanan. Kenaikkan suhu 2 – 3°C dapat menunjukkan adanya infestasi kapang atau serangga (CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2003). Untuk produk yang dikemas, sebaiknya digunakan kemasan yang memiliki pori-pori untuk sirkulasi udara, dan diletakkan dengan menggunakan alas (papan).

Penggunaan bahan kimia dan bahan pengikat

Bahan kimia dan bahan pengikat umumnya digunakan untuk pengendalian mikotoksin pada produk pertanian sebagai bahan pangan/pakan selama masa penyimpanan.

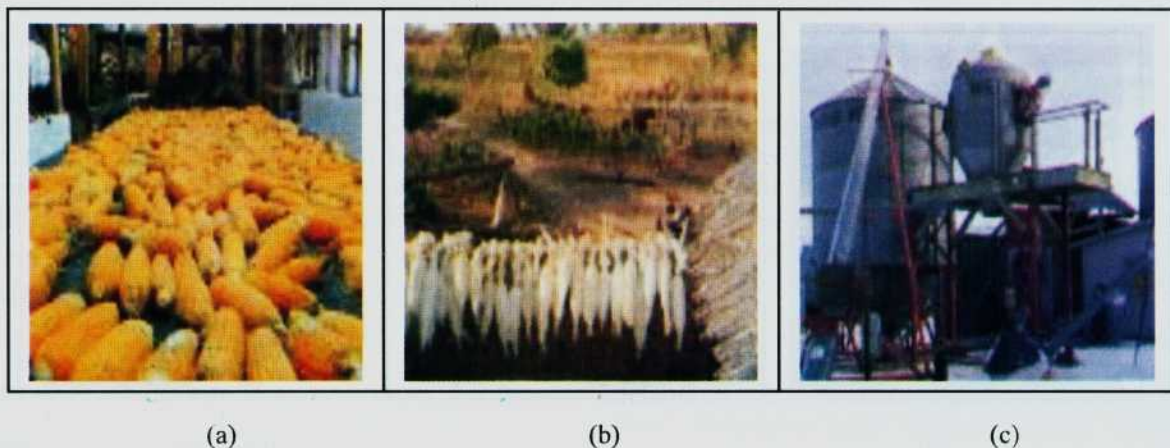
Amonia sangat efektif untuk menekan pertumbuhan kapang *Aspergillus* dan cemaran aflatoksin atau okratoksin pada kacang tanah dan jagung. Penggunaan amonia 2% pada temperatur 20 – 50°C selama 6 minggu dapat mengurangi kandungan aflatoksin lebih dari 90% (CHELKOWSKI *et al.*, 1981), begitu pula penggunaan sodium bisulfat 1% pada kelembaban 15% (GHOSH *et al.*, 1996).

Bahan kimia lain seperti hidrogen peroksida juga sering digunakan untuk mengurangi cemaran berbagai mikotoksin, namun penggunaannya pada suhu kamar kurang efektif sehingga dibutuhkan pemanasan atau suasana alkalis (FOULER *et al.*, 1994).

Kalsium hidroksida, monometilamin, dan amonium hidroksida dilaporkan efektif menekan kontaminasi zearalenon (ZEN) pada jagung, namun sodium bikarbonat 10 – 50% yang diikuti pemanasan 110°C selama 12 hari kurang efektif untuk menurunkan zearalenon (LAUREN dan SMITH, 2001).

Asam propionat 0,3 – 1% dapat mencegah pertumbuhan kapang *Fusarium culmorum* dan *F. graminearum* penghasil zearalenon pada jagung selama penyimpanan 1 – 4 bulan pada suhu 10 – 20°C dan kelembaban 19 – 40%. Bahan ini diaplikasikan hanya pada produk pertanian yang digunakan sebagai bahan pakan ternak (MULLER dan THALER, 1981).

Bahan pengikat mikotoksin seperti arang aktif (*activated charcoal*), sodium bentonit, zeolit, aluminosilikat, *gamma amino butyric acid* (GABA)



Gambar 2. Berbagai cara pengeringan produk pertanian

(a) Pengeringan dengan sinar matahari; (b) Pengeringan dengan cara digantung; (c) Pengeringan menggunakan mesin pengering

Sumber: (a) MICAELA (2001); (b) <http://www.neiu.edu>; (c) <http://www.buckwheatgrowers.com>

dan polimer seperti *Polyvinyl polypyrrolidone* (PVPP) digunakan untuk menurunkan mikotoksin dan mikotoksikosis pada hewan. Arang aktif selain dapat mengikat aflatoksin, juga cukup efektif mengikat okratoksin dan toksin T-2 (DALVI dan MCGOWAN, 1983; JINDAL *et al.*, 1994). Penggunaan 1,5% arang aktif pada pakan yang mengandung 150 ppb aflatoksin terbukti dapat menghindari terjadinya aflatoksikosis pada itik (BAHRI *et al.*, 1990). GABA juga cukup efektif terhadap aflatoksin, demikian pula dengan sodium bentonit dan aluminosilikat. Penambahan zeolit pada pakan cukup efektif untuk mengikat aflatoksin, toksin T-2 dan vomitoksin, tetapi senyawa ini tidak spesifik dan biasanya mengikat berbagai toksin lainnya secara tidak sempurna (DEVEGOWDA *et al.*, 1998; KUBENA *et al.*, 1993). Sementara itu, CELIK *et al.* (2000) mengemukakan bahwa 3 g/kg PVPP yang dicampur dalam pakan efektif menghambat toksisitas aflatoksin pada ayam broiler.

Penggunaan bahan alami, zat gizi dan vitamin

Beberapa bahan alami seperti bawang putih, kunyit dan ekstrak daun sambiloto efektif menurunkan konsentrasi aflatoksin pada pakan dan mencegah aflatoksikosis pada unggas (MARYAM *et al.*, 1995; SENGNGENG, 1996; RACHMAWATI *et al.*, 1999). Begitu pula senyawa-senyawa yang terdapat dalam kopi, strawberi, teh, lada, anggur, kunyit, bawang putih, kol, dan bawang-bawangan diketahui dapat mencegah efek negatif mikotoksin (GALVANO *et al.*, 2001).

Zat gizi, seperti metionin dapat mempertahankan penampilan ternak yang pakannya tercemar aflatoksin. Hal ini terjadi karena proses detoksifikasi aflatoksin di dalam tubuh (terutama organ hati) memerlukan glutathion, dimana metionin diperlukan untuk pembentukan glutathion tersebut (MOBIUDDIN, 2000).

Enzim juga dapat menginaktivasi mikotoksin dalam tubuh pada proses metabolisme mikotoksin, seperti enzim esterase yang dapat memecah cincin lakton dari zearalenon. Enzim lainnya seperti epoksidase dapat memecah grup epoksi 12 dan 13 dari senyawa trikotesena (toksin T-2, deoksinivalenol, nivalenol dan diasetoksiskirfenol) pada proses metabolisme di dalam tubuh, sehingga dihasilkan metabolit yang tidak toksik yang kemudian diekskresikan ke luar tubuh (RILEY dan NORRED, 1998).

Vitamin C (1000 mg/kg diet) mempunyai daya proteksi terhadap efek hepatotoksin aflatoksin pada marmut (GALVANO *et al.*, 2001), sedangkan vitamin E yang bersifat antioksidan dapat menanggulangi prooksidatif dari okratoksin yang ditandai dengan penurunan konsentrasi malondialdehid yang terbentuk di hati pada dosis 1000 IU/kg diet dan toksin T-2 pada ayam (HOEHLER dan MARQUARDT, 1996). Kedua vitamin tersebut merupakan senyawa antioksidan

(scavenger anion superoksida) yang berpotensi mengurangi pengaruh mikotoksin.

Pemanfaatan mikroba

Penggunaan mikroba merupakan salah satu alternatif untuk menurunkan mikotoksin pada bahan pangan/pakan atau untuk meminimalkan efek mikotoksin. Proses biodegradasi dengan menggunakan berbagai jenis mikroba dilaporkan dapat menurunkan kandungan mikotoksin secara *in vitro* dan *in vivo*.

Bakteri asam laktat (*L. bacillus rhamnosus* GG dan *L. rhamnosus* LC-705) mengikat senyawa AFB₁ di dalam saluran pencernaan sehingga menghambat absorpsi AFB₁ ke dalam tubuh, dan selanjutnya diekskresikan bersama bakteri tersebut ke luar tubuh (EL-NEZAMI *et al.*, 1998; KAN-KAANPAA *et al.*, 2000). Bakteri lainnya yang dapat mengikat AFB₁ secara *in vitro* adalah *Bifidobacteria* (OATLEY *et al.*, 2000).

Reduksi aflatoksin dan penghambatan pertumbuhan kapang *A. parasiticus* juga dapat dilakukan dengan menggunakan pasta kacang kedelai hasil fermentasi dengan *Lactobacillus casei* yang mengandung bahan aktif asam linoleat. Efek ini terlihat dengan adanya penurunan bobot miselium sebesar 1,5 – 12,9% dan penurunan konsentrasi aflatoksin sebesar 14,3 – 41,7% (KIM *et al.*, 2000). Selain itu, pasta tersebut dapat menurunkan toksisitas aflatoksin dan residunya pada telur (KIM *et al.*, 2003).

Di sisi lain, HUA *et al.* (1999) telah mempelajari interaksi khamir saprofit yang diisolasi dari buah *almond*, *pistachio* dan *walnut* dengan *nor-mutant* dari *Aspergillus flavus*. Dari 6 khamir yang berhasil diisolasi, ternyata *Candida krusei* WRL-038 dan *Pichia anomala* WRL-076 memiliki daya hambat paling tinggi terhadap biosintesis aflatoksin.

Kultur ragi (*yeast cell wall*), dan *Saccharomyces cerevisiae* juga banyak digunakan sebagai pengikat mikotoksin pada bahan pakan (MOBIUDDIN, 2000). Penggunaan *S. cerevisiae* terbukti efektif dalam mengurangi pengaruh negatif aflatoksin pada ayam (STANLEY *et al.*, 1993). Demikian pula, kultur ragi (*yeasacc*) dan *yeast cell wall* (Bio-MOS) dapat mengurangi efek negatif aflatoksin pada unggas. Secara *in vitro*, bahan ini dapat menurunkan AFB₁ hingga 88% (DEVEGOWDA *et al.*, 1998), dan zearalenon sebesar 80% pada pH 4 (TRENHOLM *et al.*, 1994). Modifikasi manan dan glukukan yang terdapat dalam dinding sel *S. cerevisiae* dapat mengikat aflatoksin >90%, zearalenon >77%, fumonisin 59% dan deoksinivalenol 12% (TRENHOLM *et al.*, 1994). Selain itu, kedua komponen tersebut memiliki sifat immunomodulator. Nukleotida yang terkandung dalam *S. cerevisiae* juga dapat memperbaiki kerusakan sel akibat mikotoksin (SAVAGE *et al.*, 1996).

Pemanasan dan radiasi

Cara ini umumnya diaplikasikan pada produk pertanian dan hasil olahannya. Efektivitas pemanasan tergantung pada jenis mikotoksin, lama pemanasan, suhu, dan kadar air dari bahan. Aflatoksin, zearalenon, dan trikotesena sangat stabil pada suhu tinggi, tetapi sitrinin dan alkaloid ergot relatif mudah rusak oleh pemanasan (MOBIUDDIN, 2000).

Cara memasak juga sangat menentukan derajat kerusakan senyawa mikotoksin. KAIMURA (1999) menyatakan bahwa perebusan pada suhu 110°C tidak menurunkan kandungan mikotoksin, tetapi pemasakan dengan cara menggoreng pada suhu 150 – 180°C dapat mendekomposisi mikotoksin. Pemanggang di atas api secara langsung dengan suhu sekitar 210°C dapat merusak lebih banyak mikotoksin, misalnya nivalenol berkurang hingga 90% dengan pemanggang selama 15 menit.

Sinar ultraviolet dan radiasi juga dapat mendegradasi mikotoksin, antara lain menurunkan kandungan AFM₁ dalam susu (YOUSEF dan MARTH, 1985). Namun, sinar ultraviolet dan radiasi dapat merusak senyawa-senyawa nutrisi pada bahan pangan/pakan tersebut (MOBIUDDIN, 2000). Radiasi dan pemanasan kacang tanah dalam *microwave* selama 3 menit dan 5 menit dapat mengurangi kandungan aflatoksin masing-masing sebesar 25% dan 49,25% (CHINAPHUTI, 1999).

Transportasi

Alat transportasi dipastikan bersih dari kontaminasi kapang dan serangga. Selama transportasi sedapat mungkin dihindari peningkatan kelembaban dan fluktuasi suhu sehingga kondusif untuk pertumbuhan kapang dan produksi mikotoksin. Serangan serangga, burung dan tikus juga sebagai salah satu faktor penyebab meningkatnya kontaminasi mikotoksin selama transportasi. Hal ini dapat dicegah dengan menutupi produk sehingga terhindar dari gangguan-gangguan tersebut.

Penerapan konsep pengendalian mikotoksin di Indonesia

Pada dasarnya, beberapa tahapan dari prinsip GAP telah dilakukan di Indonesia, namun penerapannya belum dilaksanakan secara terpadu dan terkontrol. Sebagai contoh, pada saat prapanen pengendalian serangga dilakukan dengan menggunakan pestisida secara tidak terkendali akan menimbulkan resistensi hama. Begitu pula, rotasi tanaman yang dilakukan tanpa memilih jenis tanaman yang sesuai dapat

meningkatkan peluang tumbuhnya kapang penghasil mikotoksin. Varietas tanaman yang resisten terhadap mikotoksin juga belum digunakan oleh setiap petani karena keterbatasan benih dan umumnya masih dalam tahap penelitian.

Pada saat panen, pemanenan seringkali dilakukan sebelum masanya sehingga produk masih memiliki kadar air yang tinggi. Hal ini sangat kondusif bagi pertumbuhan kapang pascapanen, terutama pada masa penyimpanan, jika pengeringan yang dilakukan tidak memadai. Selain itu, adanya kontak dengan sumber kontaminan (produk terkontaminasi dan inokulum kapang dalam tanah), dan panen yang dilakukan pada musim hujan akan memperbesar tingkat pencemaran mikotoksin.

Pengeringan dan penyimpanan merupakan pengendalian pascapanen yang terpenting, untuk menghindari/mengurangi pertumbuhan kapang penghasil mikotoksin. Pemisahan produk tercemar merupakan tahap awal pengendalian kontaminasi mikotoksin. Adanya kerusakan oleh hama dan pertumbuhan kapang merupakan indikator adanya kontaminasi mikotoksin. Sebagai contoh, cemaran aflatoksin dapat diketahui dengan adanya kerusakan pada butir atau polong, dan adanya pertumbuhan kapang *Aspergillus* spp. yang berwarna kuning kehijauan. Cemaran fusarium toksin diindikasikan oleh adanya kapang berwarna putih hingga pink (*F. moniliforme*) atau merah keunguan (*F. graminearum*) yang menyebabkan busuk batang dan busuk tongkol pada jagung (CAST, 2003; CLEMENTS dan KLEINSCHMIDT, 2003). Tabel 1 menyajikan beberapa strategi pengendalian mikotoksin secara terpadu yang dapat diaplikasikan di Indonesia.

Di Indonesia, konsep ini dapat diterapkan dengan menyempurnakan sistem yang sudah diterapkan sebelumnya dan melalui pembinaan, penyuluhan dan sosialisasi kepada petani tentang pelaksanaan GAP dan GMP dalam upaya pengendalian mikotoksin. Monitoring setiap tahapan pada prapanen, saat panen, dan pascapanen perlu dilakukan untuk memantau konsistensi pelaksanaan GAP dan GMP. Konsep ini dapat berlangsung dengan baik jika ada koordinasi dan kerjasama yang baik antara petani, pemerintah, dan produsen pangan. Peran aktif dari produsen pangan sangat dibutuhkan untuk memberikan insentif yang layak sehingga petani termotivasi untuk menghasilkan bahan baku yang bermutu. Pemerintah, melalui institusi terkait melakukan pengawasan mutu setiap produk pangan yang dihasilkan. Melalui teknik deteksi yang mudah dan murah pengendalian mikotoksin dapat dilakukan secara cepat. Dengan demikian akan dapat dihasilkan produk pangan yang memenuhi persyaratan keamanan.

Tabel 1. Strategi pengendalian mikotoksin pada beberapa komoditi pertanian saat prapanen, panen, dan pascapanen

Prosedur	Mikotoksin	Komoditi	Tujuan
Prapanen			
Pemusnahan sumber inokulum (sisa tanaman, gulma)	Mikotoksin <i>Aspergillus</i> & <i>Fusarium</i>	Jagung, kacang tanah	Menghindari kontaminasi kapang dari tanaman sebelumnya, atau sumber inokulum dari tanaman pengganggu
Pemilihan varietas resisten	Aflatoksin	Jagung	Mengontrol pembentukan mikotoksin selama masa tanam
Irigasi	Mikotoksin <i>Aspergillus</i> & <i>Fusarium</i>	Jagung, kapas, kacang tanah	Menghindari cekaman kekeringan selama masa tanam
Penanaman pada saat yang tepat	Mikotoksin <i>Fusarium</i>	Jagung, gandum	Mencegah produksi mikotoksin <i>Fusarium</i> , terutama fumonisin
Rotasi tanaman	Mikotoksin <i>Aspergillus</i> , <i>Fusarium</i>	Jagung, kacang kedelai	Mengurangi inokulum kapang pada lahan pertanian
Penurunan infestasi serangga	Aflatoksin, fumonisin	Jagung	Menghindari infestasi serangga (vektor invasi kapang) melalui program penggunaan pestisida terkontrol
Masa panen			
Pemisahan komoditi yang baik & tidak baik	Aflatoksin	Jagung	Mengurangi penyebaran kapang toksigenik
Pengeringan	Aflatoksin	Jagung, kacang tanah	Menurunkan kelembaban
Pascapanen			
Pemisahan fisik butiran rusak, kurang masak, dan terkena serangan kapang	Aflatoksin, fumonisin	Jagung, kacang tanah	Menurunkan mikotoksin secara efektif pada hasil panen
Proses pemanasan	Mikotoksin <i>Aspergillus</i> & <i>Fusarium</i>	Jagung, sereal, kopi	Menurunkan kandungan mikotoksin, namun sebagian besar mikotoksin tahan panas
Penambahan penyerap mikotoksin yang selektif ke dalam pakan	Aflatoksin, toksin <i>Fusarium</i> , ochratoxin A	Jagung	Mengikat mikotoksin secara efektif dan aman
Inaktivasi dengan amonia	Aflatoksin, fumonisin	Jagung, kacang tanah, kapas dan bahan pangan lain	Mendegradasi mikotoksin pada produk pertanian. Umumnya digunakan untuk bahan pakan
Inaktivasi dengan ozonisasi	Aflatoksin	Jagung	Menonaktifkan mikotoksin secara kuat
Penggunaan hidrogen peroksida dan sodium bikarbonat	Aflatoksin, fumonisin	Jagung	Mendegradasi mikotoksin

Sumber: LOPEZ-GARCIA *et al.* (1999)

KESIMPULAN

Kontaminasi mikotoksin dapat dikendalikan secara terpadu dengan menerapkan *Good Agricultural Practices* (GAP) dan *Good Manufacturing Practices* (GMP) yang dilaksanakan pada prapanen, saat panen, dan pascapanen dengan kontrol kualitas yang memadai.

Pengendalian prapanen dilakukan melalui pemilihan varietas resisten, pengendalian serangga dan gulma secara mekanik atau dengan menggunakan fungisida dan herbisida secara benar, rotasi tanaman, irigasi dan pengaturan kondisi tanah, serta kontrol biologis.

Saat panen yang tepat dengan menggunakan peralatan yang bersih dari kapang penghasil mikotoksin dan serangga dapat mencegah kontaminasi mikotoksin.

Pengendalian pascapanen dilakukan dengan pemisahan produk secara fisik, pencucian untuk produk pertanian tertentu dan pengenceran, pengeringan, penyimpanan, penggunaan bahan kimia dan bahan pengikat, penggunaan bahan alami, zat gizi dan vitamin, pemanfaatan mikroba, pemanasan dan radiasi.

Konsep pengendalian terpadu dapat diterapkan dengan melalui kerjasama yang baik antara petani, pemerintah dan produsen pangan.

DAFTAR PUSTAKA

- BAHRI, S., P. ZAHARI dan H. HAMID. 1990. Penggunaan arang aktif untuk mencegah aflatoksikosis pada itik. *Penyakit Hewan* 40: 122 – 127.
- BALIGUIDE.COM/BALI.COM LTD. The food of Bali: Kacang tanah (Peanut). <http://www.baliguide.com> (09 September 2005).
- BRYDEN, W. and R.B. CUMMING. 1980. Observation on liver following aflatoxin B₁ ingestion. *Avian. Pathol.* 9: 551 – 556.
- BUCKWHEAT GROWERS ASSOCIATION OF MINNESOTA. 2001. Corn drying and storage. <http://www.buckwheatgrowers.com>. (09 September 2005).
- CAST, B. 2003. Mycotoxins: Risk in plant, animal, and human system. Task Force Report No. 139. Council for Agricultural Science and Technology, Ames, Iowa, USA. pp. 20 – 35.
- CELIK, H. OGUZ, O. DEMET, H.H. DONMEZ, M. BOYDAK and E. SUR. 2000. Efficacy of polyvinylpyrrolidone in reducing the immunotoxicity of aflatoxin in growing broilers. *Brit. Poult. Sci.* 41(4): 430 – 439.
- CHELKOWSKI, J., P. GOLINSKI, B. GODLEWSKA, W. RADOMYSKA, K. SZEBIOTKO and M. WIEWIORSKA. 1981. Mycotoxins in cereal grain. Part IV. Inactivation of ochratoxin A and other mycotoxins during ammoniation. *Nahrung.* 25(7): 631 – 637.
- CHINAPHUTI, A. 1999. Decontamination of aflatoxin in food using microwave oven. In: *Mycotoxin contamination: Health Risk and Prevention Project. Proc. International Symposium on mycology, Chiba, Japan. September 9–10, 1999.* pp. 272 – 276.
- CLEMENTS, M.J. and C.E. KLEINSCHMIDT. 2003. Evaluation of inoculation techniques for *Fusarium* ear rot dan fumonisin contamination in corn. *Plant Dis.* 87(2): 147 – 153.
- CODEx ALIMENTARIUS COMMISSION. 2003. Prevention and reduction of contamination by tricothecenes in cereal grains: Recommended practices based on good agricultural practices (GAP) and good manufacturing practices (GMP). CAC/RCP 51–2003, Annex 4.
- COLE, R.J. and J.W. DORNER. 1999. Biological control of aflatoxin and cyclopiazonic acid contamination: Health Risk and Prevention Project. *Proc. of International Symposium on Mycology, Chiba, Japan. September 9 – 10, 1999.* pp. 70 – 73.
- DALVI, R. and A. ADEMOYERO. 1984. Toxic effect on aflatoxin B₁ in chickens given feed contaminated with *Aspergillus flavus* and reduction of the toxicity by activated charcoal and some chemical agents. *Avian Dis.* 28(1): 61 – 69.
- DALVI, R.R. and C. MCGOWAN. 1983. Experimental induction of chronic aflatoxicosis in chicken by purified aflatoxin B₁ and its reversal by activated charcoal, phenobarbital, and reduced glutathione. *Poult. Sci.* 63: 485 – 491.
- DEPARTEMEN PERTANIAN. 2003. Pembakuan standar mutu produk beberapa segmen pasar di Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. <http://www.deptan.go.id> (09/09/2005).
- DEPARTMENT OF CROP SCIENCES UNIVERSITY OF ILLINOIS. 1997. Mycotoxins and mycotoxicoses. Report on Plant Dis. pp. 1 – 6.
- DEVEGOWDA, G., M.V.L.N. RAJU, N. AFZALI and H.V.L.N. SWAMY. 1998. Mycotoxin picture worldwide: Novel solutions for their counteraction. *Passport to the Year 2000: Biotechnology in Feed Industry. Proc. of Alltech's 14th Annual Symposium.* pp. 241 – 255.
- EL-NEZAMI, H., H. MYKKANEN, P. KANKAANPAA, S. SALMINEN and J. AHOKAS. 2000. Ability of *Lactobacillus* and *Propionic bacterium* strains to remove aflatoxin B₁ from the chicken duodenum. *J. Food Protect.* 63(4): 549 – 552.
- FAO. 1995. The use of hazard analysis critical control point (HACCP) principles in food control. *FAO Food and Nutrition Paper No. 58.* Rome.
- FOULER S.G., A.B. TRIVEDI and N. KITABATAKE. 1994. Detoxification of citrinin and ochratoxin A by hydrogen peroxide. *J. AOAC. Int.* 77(3): 631 – 637.
- GALVANO, F., A. PIVA, A. RITIENI and G. GALVANO. 2001. Dietary strategies to counteract the effects of mycotoxins: A review. *J. Food Protect.* 64(1): 120 – 131.
- GHOSH, M.K., A. CHABRA, P.P. ATREJA and R.C. CHOPRA. 1996. Effect of treating with propionic acid, sodium bisulfite and sodium hydroxide on the biosynthesis of aflatoxin in groundnut cake. *Animal Feed Sci. Tech.* 60(1/2): 43 – 49.
- HOEHLER, D. and R.R. MARQUARDT. 1996. Influence of vitamins E and C on the toxic effects of ochratoxin A and T-2 toxin in chicks. *Poult. Sci.* 75(12): 1508 – 1515.
- HUA, S.T., J.L. BAKER and M. FLORES-ESPIRITU. 1999. Interaction of saprophytic yeasts with a *nor* mutant of *Aspergillus flavus*. *Appl. Environ. Microbiol.* 65(6): 2738 – 2740.

- JINDAL, N., S.K. MAHIPAL and N.K. MAHJAN. 1994. Toxicity of aflatoxin B₁ in broiler chicks and its reduction by activated charcoal. *Res. Vet. Sci.* 56: 37 – 40.
- KAIMURA, H. 1999. Removal of Mycotoxins during food processing. *In: Mycotoxin Contamination: Health Risk and Prevention Project. Proc. of International Symposium of Mycotoxicology*, Chiba, Japan. September 9 – 10, 1999. pp. 88 – 94.
- KAN-KAANPAA, P., E. TUOMOLA, H. EL-NEZAMI, J. AHOKAS and S.J. SALMINEN. 2000. Binding of aflatoxin B₁ alters the adhesion properties of *Lactobacillus rhamnosus* strain GG in a Caco-2 Model. *J. Food Protect.* 63(3): 412 – 414.
- KASNO, A. 2004. Pencegahan infeksi *Aspergillus flavus* dan kontaminasi aflatoksin pada kacang tanah. *J. Litbang Pertanian* 23(3): 75 – 81.
- KASNO, A., J. TRUSTINAH, PURNOMO dan MOEJONO. 2002. Seleksi galur kacang tanah toleran kekeringan, tahan penyakit daun dan *Aspergillus flavus*. Laporan Teknik Tahun 2002. Balai Penelitian Kacang-kacangan dan Umbi-umbian Malang. hlm. 401 – 409.
- KIM, J., Y. EOOK LEE, P. KIM, W. ROH and H. SHINTANI. 2000. Reduction of aflatoxin by Korean Paste and its effect on cytotoxicity and reproductive toxicity-Part 1. Inhibition of growth and aflatoxin production of *Aspergillus parasiticus* by Korean soybean paste (Doen-jang) and identification of the active component. *J. Food Protect.* 63(9): 1295 – 1298.
- KIM, J., Y. EOOK LEE, P. KIM, W. ROH and H. SHINTANI. 2003. Reduction of aflatoxin by Korean Paste and its effect on cytotoxicity and reproductive toxicity-Part 3. Inhibitory effects of Korean soybean paste (Doen-jang) on aflatoxin toxicity in laying hens and aflatoxin accumulation in their eggs. *J. Food Protect.* 66(5): 866 – 873.
- KUBENA, L.F., R.B. HARVEY, T.D. PHILIPS and B.A. CLEMENT. 1993. Effect of hydrated sodium calcium aluminosilicates on aflatoxicosis in broiler chicks. *Poult. Sci.* 72: 651 – 657.
- LAUREN, D.R. and W.A. SMITH. 2001. Stability of fusarium mycotoxins nivalenol, deoxynivalenol and zearelenone in ground maize under typical cooking environments. *Food Addit. Cont.* 18(11): 1011 – 1016.
- LOPEZ-GARCIA, R. and D.L. PARK. 1998. Effectiveness of post-harvest procedures in management mycotoxin hazards. *In: Mycotoxins in agriculture and food safety*. BHATNAGAR, D. and S. SINHA (Eds.). New York, Marcel Dekker. pp. 407 – 433.
- LOPEZ-GARCIA, R., D.L. PARK and T.D. PHILLIPS. 1999. Integrated mycotoxin management systems. *Proc. the 3rd Joint FAO/WHO/UNEP International Conference on Mycotoxins*. Tunis, Tunisia, March 3–6, 1999. pp. 1 – 15.
- MADDEN, U.A. and H.M. STAHR. 1995. Retention and distribution of aflatoxin in tissues of chicks fed aflatoxin-contaminated poultry ration amended with soil. *Vet. Hum. Toxicol.* 37 (1): 24 – 29.
- MARYAM, R. 1996. Residu aflatoksin dan metabolitnya dalam daging dan hati ayam. *Pros. Temu Ilmiah Nasional Bidang Veteriner*. Bogor, 12 – 13 Maret 1996. hlm. 336 – 338.
- MARYAM, R., S. BAHRI dan P. ZAHARI. 1995. Deteksi aflatoksin B₁, M₁ dan aflatoksikol dalam telur ayam ras dengan kromatografi cair kinerja tinggi. *Pros. Seminar Nasional Teknologi Veteriner Untuk Meningkatkan Kesehatan Hewan dan Keamanan Bahan Pangan Asal Ternak*. Cisarua, Bogor, 22 – 24 Maret 1994. hlm. 412 – 416.
- MARYAM, R., Y. SANI, S. DJUARIAH, R. FIRMANSYAH dan MIHARJA. 2003. Efektivitas ekstrak bawang putih (*Allium sativum* linn.) dalam penanggulangan aflatoxikosis pada ayam petelur. *JITV* 8(4): 239 – 246.
- MICAELA, C. 2001. Farm Report: Autumn on the Seeds of Change Research Farm. Newsletter 23. <http://www.seedofchange.com> (09/09/2006).
- MOBIUDDIN, S.M. 2000. Handling mycotoxin in contaminated feedstuffs. *Poult. Int.* June 2000. pp. 46 – 52.
- MULLER, H.M. and M. THALER. 1981. Propionic acid preservation on corn following inoculation with molds and yeast. *Arch. Tierernahr.* 31(11 – 12): 789 – 799.
- MURPHY, P.A., L.G. RICE and P.F. ROSS. 1993. Fumonisin B₁, B₂, and B₃ content of Iowa, Wisconsin, and Illinois corn and corn screenings. *J. Agric. Food Chem.* 41: 263 – 266.
- NOOR, E.S. 1997. Pedoman pengendalian gulma di lahan pasang surut. Laporan Proyek Penelitian Pengembangan Pertanian Rawa Terpadu-ISDP. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 11 hlm.
- NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY. *Aspergillus* seed decay (*Aspergillus niger* and *Aspergillus flavus*). <http://www.ipm.ncsu.edu> (09/09/2005).
- NOTHEASTERN ILLINOIS UNIVERSITY. Corn Drying. <http://www.neiu.com> (09/09/2005).
- OATLEY, J.T., M.D. RARICK, G.E. JI and J.E. LINZ. 2000. Binding of Aflatoxin B₁ to Bifidobacteria in vitro. *J. Food. Protect.* 63(8): 1133 – 1136.
- PARK, D.L., H. NJAPAU and E. BOUTRIF. 1999. Approaches to the risk analysis of mycotoxins in the food supply. *Proc. the 3rd Joint FAO/WHO/UNEP International Conference on Mycotoxins*. Tunis, Tunisia, March 3 – 6, 1999. pp. 49 – 55.

- PITT, J.I. 1999. Controlling aflatoxins in peanuts by competitive exclusion of toxigenic fungi in Elimination of Aflatoxin Contamination in Peanut. ACIAR Proc. 89: 21 – 22.
- PITT, J.I. and A.D. HOCKING. 1997. Fungi and Food Spoilage 2nd Edition. Blackie Academic & Professional. An Imprint of Chapman & Hall. p. 593.
- RACHMAWATI, S., Z. ARIFIN dan P. ZAHARI. 1999. Sambiloto (*Andrographis paniculata* Nees) untuk mengurangi cemaran mikotoksin pada pakan ayam komersial. JITV 4(1): 65 – 70.
- RILEY, R.T. and W.P. NORRED. 1998. Mycotoxin prevention and decontamination- A case study on maize. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service. pp. 25 – 32.
- SAVAGE, T.F., P.F. COTTER and E.I. ZAKRZEWSKA. 1996. The effect of feeding a mannanoligosaccharide on immunoglobulins, plasma IgG and bile IgA of Wrolstad MW male turkeys. Poult. Sci. 75 (Suppl. 1): S129.
- SENGGENG, A. 1996. Bubuk kunyit (*Curcuma domestica*) sebagai antioksidan alami dan antitoksin pada pakan ayam. Skripsi. Sarjana Fakultas Peternakan Institut Pertanian Bogor. 54 hlm.
- STANLEY, V.G., R.U.S. WOLDESENBET and D.H. HUTCHINSON. 1993. The use of *Saccharomyces cerevisiae* to suppress the effects of aflatoxicosis in broiler chicks. Poult. Sci. 71: 1867 – 1872.
- STUBBLEFIELD, R.D. and O.L. SHOTWELL. 1981. Transmission and distribution of aflatoxin in contaminated beef liver and other tissues. J. AOAC. 1015A – 1016A.
- TRENHOLM, L., B. STEWARD, L. UNDERHILL and D. PRELUSKY. 1994. Ability of graingard to bind zearalenon and vomitoxin *in vitro*. Poster presentation at the 10th Annual Symposium on Biotechnology in Feed Industry. Alltech Inc., Nicholasville, Kentucky, USA.
- YOUSEF, A.E. and E.H. MARTH. 1985. Degradation of aflatoxin M₁ in milk by ultraviolet energy. J. Food Prot. 48: 697 – 698.
- ZANELLI, L. 2000. Moulds bacteria and solutions. Feed Industry Service FIS-Italy.