

Teknik Penyimpanan dan Pengemasan untuk Pengendalian Jamur Mikotoksigenik pada Komoditas Serealia

Storage and Packaging Techniques for Controlling Mycotoxigenic Fungi in Cereal Commodities

Iis Sa'diah*

Prodi Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian, Universitas Garut, Indonesia

*Korespondensi penulis: iis.sadiyah@uniga.ac.id

ABSTRAK

Produksi tanaman serealia yang berlimpah terkendala pada penurunan kualitas selama penyimpanan. Penurunan kualitas pada serealia ditandai dengan perubahan warna, terdapat biji yang pecah, dan terdapatnya kotoran pada biji. Jamur merupakan spesies yang paling berpengaruh pada penurunan kualitas serealia selama penyimpanan jangka panjang. Spesies jamur yang terdapat dalam serealia diantaranya yaitu *Fusarium proliferatum*, *F. pseudonygamai*, dan *Aspergillus flavus*. Spesies jamur tersebut dapat menghasilkan mikotoksin yang bersifat sangat toksik diantaranya yaitu fumisin, moniliformin dan aflatoxin. Teknik penyimpanan dan pengemasan yang tepat dapat menjaga kualitas dan menghambat pertumbuhan jamur mikotoksigenik pada biji-bijian yang disimpan. Pada ulasan ini akan dibahas jenis jamur mikotoksigenik yang menjadi kontaminan pada penyimpanan serealia, batasan kontaminasi mikotoksin pada serealia, mekanisme pencemaran jamur pada serealia, teknik penyimpanan dan pengemasan dari beberapa penelitian terkini dalam pengendalian jamur mikotoksigenik serta faktor yang mempengaruhinya.

Kata kunci: Serealia ; Mikotoksigenik; Penyimpanan; Pengemasan

ABSTRACT

*The abundant production of cereal crops is often limited by quality deterioration during storage. The decline in quality in cereals is characterized by changes in color, broken seeds, and dirt in the seeds. Fungi are the species that have the most influence on the decline in cereal quality during long-term storage. Fungal species found in cereals include *Fusarium proliferatum*, *F. pseudonygamai*, and *Aspergillus flavus*. These fungal species can produce highly toxic mycotoxins including fumisin, moniliformin, and aflatoxin. Proper storage and packaging techniques can maintain quality and inhibit the growth of mycotoxigenic fungi in stored grains. This review will discuss the types of mycotoxigenic fungi that are contaminants in cereal storage, the limits of mycotoxin contamination in cereals, the mechanisms of fungal contamination in cereals, storage*

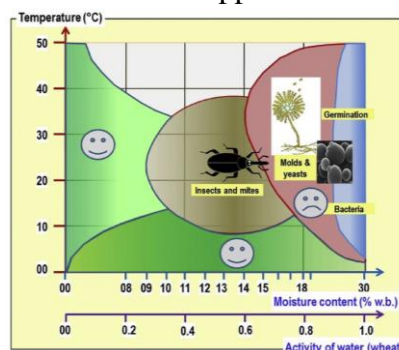
and packaging techniques from several recent studies in controlling mycotoxigenic fungi, and the factors that influence them.

Keywords: *Cereals; Mycotoxigenic; Storage; Packaging*

PENDAHULUAN

Serealia memiliki kandungan karbohidrat yang tinggi sehingga dijadikan sebagai sumber makanan pokok di seluruh dunia. Serealia diartikan juga sebagai biji-bijian seperti padi (*Oryza sativa*), sorghum (*Sorghum vulgare*), gandum (*Triticum sp.*), jagung (*Zea mays*), millets (*Eleusine corasana*), rye (*Secale cereal*), ots (*Avena sativa*) dan barley (*Hordeum sativum*). Tingginya produksi tanaman serealia berbanding lurus dengan tingginya tingkat konsumsi penduduk terhadap serealia. Pada negara maju konsumsi serealia tidak hanya untuk memenuhi kebutuhan makanan pokok manusia melainkan juga sebagai bahan pakan (Fleurat-Lessard, 2017).

Produksi tanaman serealia yang berlimpah terkendala pada penurunan kualitas dan kuantitas selama penyimpanan. Penurunan kualitas pada serealia ditandai dengan perubahan warna, terdapat biji yang pecah, dan terdapatnya kotoran pada biji. Dunkel (1992) menyebutkan bahwa ekosistem biji-bijian selama penyimpanan terdiri dari organisme autotrof yang tidak aktif dan biji yang digunakan sebagai habitat dan sumber energi bagi serangga, bakteri dan jamur (gambar 1). Jamur merupakan spesies yang paling berpengaruh pada penurunan kualitas serealia selama penyimpanan jangka panjang. Jamur tersebut akan mempengaruhi kualitas kimia biji-bijian yang disimpan sehingga komoditas serealia menjadi beracun karena jamur yang tumbuh pada produk serealia dapat bersifat mikotoksigenik (Rahmadi dan Fleet, 2008). Berdasarkan Vismer et al. (2019) mikotoksin pada serealia dihasilkan oleh spesies jamur *Fusarium proliferatum*, *F. pseudonygmai*, dan *Aspergillus flavus*. Mikotoksin yang dihasilkan oleh jamur diantaranya yaitu fumisin, moniliformin dan aflatoksin. Aflatoksin merupakan mikotoksin yang bersifat sangat toksik dibandingkan dengan mikotoksin yang lainnya. Aflatoksin dapat menimbulkan penyakit bahkan kematian jika dikonsumsi berlebihan karena proses kerusakannya berlangsung cepat (Atongbiik Achaglinkame et al., 2017). WHO dan UNICEF menyebutkan batas kandungan aflatoksin yang aman dikonsumsi tidak lebih dari 30 ppb.



Gambar 1. Penyebab kerusakan biji-bijian akibat aktivitas biologis atau biokimia selama penyimpanan (Fleurat-Lessard, 2017).

Proses kerusakan oleh jamur selama penyimpanan sereal diawali ketika suhu dan tingkat kelembaban biji melebihi batas kritis penyimpanan yang aman. Faktor yang berpengaruh pada perkembangbiakan jamur di ruang penyimpanan diantaranya yaitu kadar air biji-bijian, suhu, kelembaban relatif dan konsentrasi gas (O₂ dan CO₂) (Nhamucho et al., 2017). Selain itu, kerusakan oleh serangga juga berpengaruh pada kontaminasi oleh berbagai mikotoksin (Pitt et al., 2013)

Saat ini, beberapa metode penyimpanan dan pengemasan dalam pengawetan komoditas biji-bijian banyak dikembangkan oleh para peneliti dan hasilnya memberikan efek positif pada kualitas dan mutu biji-bijian selama penyimpanan. Beberapa penelitian diantaranya penggunaan pengemasan atmosfer termodifikasi (MAP) atau penyimpanan atmosfer terkontrol pada kacang pistacio (Ozturk et al., 2015), pengemasan atmosfer pada kacang tanah (Opio & Photchanachai, 2018), penyimpanan suhu rendah dalam vakum ALPE pada beras berkecambah (Klaykruayat et al., 2020), penyimpanan SuperGrainBags kedap udara pada jagung (Diarra & Amoah, 2019), pengemasan kantong PICS pada sorgum (Waongo et al., 2019) dan penyimpanan sereal dalam kantong silo (Gregori et al., 2013). Oleh karena itu, dalam tulisan ini akan dipaparkan pengaruh pengemasan dan penyimpanan pada komoditas sereal serta factor-faktor yang mempengaruhinya dalam penurunan kualitas sereal akibat jamur mikotoksigenik.

SEREALIA

Definisi dan karakteristik Sereal

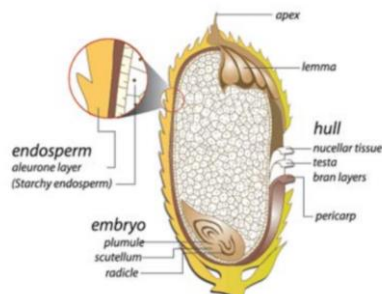
Sereal atau biji-bijian merupakan kelompok tanaman yang berasal dari family Gramineae (rumput-rumputan) yang memiliki kandungan karbohidrat yang cukup tinggi sehingga digunakan sebagai makanan pokok di seluruh dunia bahkan digunakan sebagai industri karbohidrat dan pakan ternak. Tanaman sereal terdiri dari padi (*Oryza sativa*), sorghum (*Sorghum vulgare*), gandum (*Triticum sp.*), jagung (*Zea mays*), millets (*Eleusine corasana*), rye (*Secale cereal*), ots (*Avena sativa*) dan barley (*Hordeum sativum*). Secara umum kandungan utama yang terdapat dalam sereal yaitu karbohidrat sekitar 70-78%. Selain itu sereal juga merupakan sumber protein 7-11 %, lemak 2-4%, serat, vitamin dan mineral 2% yang dibutuhkan oleh tubuh (Mousavi Khaneghah et al., 2020). Karena kandungan nutrisi sereal yang lengkap menyebabkan mikroorganisme dan insekta menyukai tanaman ini. Komposisi kimia dari beberapa sereal disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Komoditas Sereal

Komoditas	Protein	Lemak	Kadar abu	Serat kasar	Karbohidrat	Referensi
Sorgum	10,4-10,11	3,1-2,05	1,6-1,8	6,5-7,9	70,7-76,9	Brannan et al., 2001
Beras	6,8 - 7,9	1,7 - 2,7	1,3-2,0	1	76-85	Damayanti, 2007
Gandum	11,6-14,49	2 - 2,12	1,6 -1,74	2	71-79,15	Pulungan, 2015
Jagung	3,4 - 9,2	1,5 - 4,6	1,2-1,23	2,4 - 2,8	47,4-73	Ezeaku, 2010

Millet	11- 11,8	2,4 - 4,8	2,2	2,3	57-67	Abate, 1984
--------	----------	-----------	-----	-----	-------	-------------

Serealia memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Struktur anatomi biji serealia secara umum terdiri dari kullit biji (sekam), butir biji (endosperm) dan lembaga (embrio)



Gambar 2. Struktur Biji Padi (Muchtadi dan Sugiono, 2001)

Berdasarkan kondisi sekam, biji serealia terdiri dari 2 golongan yaitu kriopis telanjang (jagung, gandum, rye) dan kriopis terbungkus (padi, barley, oat). Kriopis telanjang yaitu keadaan dimana sekam menghilang saat ditumbuk sedangkan kriopis terbungkus merupakan keadaan dimana sekammasihi menempel meskipun melalui proses penumbukan. Bagian biji serealia terdapat pericarp yaitu dinding yang panjang dan tebal yang mengelilingi biji, aleuron penyelubung lembaga dan endosperma yang mengandung lipida dan protein dan embrio yang merupakan bagian terpenting dalam pertumbuhan serealia.

Penyimpanan Biji Serealia

Selama penyimpanan komoditas serealia akan mengalami penurunan kualitas bahkan kerusakan yang diakibatkan oleh beberapa sebab seperti respirasi, perubahan komposisi gizi (karbohidrat, lemak, protein, mineral, vitamin), perubahan sifat organoleptik dan perubahan yang diakibatkan oleh mikroba (Mousavi Khaneghah et al., 2020)..

Setelah panen biji-bijian akan melangsungkan proses respirasi. Proses ini akan menghasilkan CO₂, air dan panas sebagai akibat dari metabolisme karbohidrat dan lemak. Suhu dan kadar air yang tinggi menyebabkan proses respirasi berjalan cepat. Air dan panas yang dihasilkan saat proses respirasi akan mempercepat proses pertumbuhan mikroorganisme (Weinberg et al., 2008 ; Magan dan Aldred, 2007).. Disamping itu perubahan karbohidrat pada serealia selama penyimpanan diakibatkan oleh reaksi hidrolisis. Kandungan karbohidrat terhidrolisis oleh enzim amilase, yang mengakibatkan menurunnya kandungan gula dan aroma (asam dan apek) serta reaksi pencoklatan non enzimatis (Ahmad, 2017). Kandungan protein juga mengalami penurunan. Pada kadar air tinggi, enzim asam glutamate dekarboksilase mengubah asam glutamate menjadi asam amino butirat dan enzim tersebut akan terus aktif selama penyimpanan serealia. Sementara pada perubahan kandungan lemak diakibatkan oleh reaksi oksidatif dan hidrolitik. Reaksi hidrolitik dilakukan oleh enzim lipase. Khususnya pada beras aktivitas enzim ini akan semakin cepat ketika suhu dan kadar air tinggi (Ahmad, 2017). Jamur juga akan mempercepat proses kerusakan hidrolitik karena aktivitas lipolitiknya yang tinggi. Kerusakan lain selama penyimpanan diakibatkan oleh aktivitas mikroba (Buckle, 1998). Mikroba yang menyebabkan kerusakan pada biji-bijian diantaranya yaitu kapang. Perubahan yang ditimbulkan oleh kapang diantaranya yaitu perubahan warna, penurunan nilai gizi, perubahan aroma dan rasa, pertumbuhan berkecambah terdegradasi bahkan menghasilkan metabolit beracun seperti aflatoksin. Jamur penghasil mikotoksin dapat ditemukan pada berbagai jenis suhu. *Penicillium* dan *Cladosporiwn* dapat tumbuh pada biji yang disimpan pada suhu kisaran 20-25°C, sedangkan jenis jamur *Aspergillus flavus* dapat tumbuh pada suhu diatas 20°C.

Tabel 2. Jenis Jamur pada berbagai serealia

Jenis Serealia	Kondisi Penyimpanan	Temuan	Rererensi
Jagung	Suhu 34-37°C, aw 0,90	<i>Aspergillus flavus</i> menghasilkan aflatoksin B1 (AFB1)	(Medina et al., 2014)
Jagung	Suhu 20-42°C, aw 0,995-0,90	Setelah 2 bulan penyimpanan menghasilkan <i>A. flavus</i> (aflatoksin B1), <i>Penicillium verrucosum</i> (Patulin)	(Abdel-hadi et al., 2012)
Sorgum, Jaung dan millet	Suhu 25 - 35°C, aw 0,99	Setelah 180 hari penyimpanan dihasilkan <i>Fusarium proliferatum</i> , <i>F. pseudonygamai</i> . dan <i>Aspergillus flavus</i> menghasilkan fumisin, moniliformin dan aflatoksin.	(Vismer et al., 2019)
Legum	Suhu 25, aw 0,95	<i>A. flavus</i> (aflatoksin B1 dan Citrinin)	(Okello et al., 2010)
	20°C	<i>Penicillium</i> dan <i>Cladosporiwn</i>	(Atanda et al., 2011)
Beras	25-37°C, aw	<i>Penicillium cyclopium</i> , <i>Aspergillus ochraceus</i> (citrinin)	(Klaykruayat et al., 2020)

Jamur Mikotoksigenik pada Serealia dan Produk Turunannya

Serealia yang disimpan rentan mengalami kerusakan yang diakibatkan oleh kontaminasi jamur toksigenik. Jamur ini menghasilkan mikotoksin yang dapat merugikan kesehatan manusia apabila dikonsumsi. Mikotoksin adalah metabolit sekunder yang memiliki bobot molekul kecil dan umumnya terdapat dalam serealia dan produk turunannya, baik makanan manusia ataupun pakan hewan (Erkeko, 2008). Beberapa jamur yang menghasilkan mikotoksin pada serealia dan produk turunannya disajikan pada tabel 1 dan tabel 3

Tabel 3. Jamur penghasil mikotoksin dan efek toksik yang ditimbulkan

Jenis Serealia	Jenis Jamur Mikotoksin	Mikotoksin yang dihasilkan	Efek Toksik	Referensi
Jagung, sorgum, beras	<i>Aspergillus clavatus</i> , <i>Penicillium expansum</i>	Patulin	Gastrointestinal problems: neurotoxicity: pulmonary congestion: mutagenicity	Tam et al., 2006 ; Mottaghianpour et al., 2017
Sorgum	<i>Penicillium cyclopium</i> , <i>Aspergillus</i>	Cyclopiazonic acid	Neurotoxin: nephropathy in livestock: interference with Ca ²⁺ metabolism (in human)	Herna et al., 2010

Beras, gandum	flavus, A. versicolor Penicillium cyclopium, Aspergillus ochraceus	Citrinin	Kidney damage (in humans: Balkan nephropathy: yellow rice fever)	Mottaghianpour et al., 2017
Jagung, sorgum, millet, beras	Aspergillus flavus, A. Parasiticus Penicillium verrucosum, Aspergillus ochraceus	Alfatoxins Ochratoxin A	Liver necrosis, liver tumors: reduced growth, depressed immune response: carcinogen: genotoxic porcine nephropathy: various symptoms in poultry: carcinogen: genotoxic, immune-modulation	Baydar et al., 2007
Jagung	Claviceps purpurea, C. Paspali	Ergot alkaloids	Nausea: vomiting effect: convulsive or gangrenous ergotism in animals (also in humans in Middle Ages)	Jaks et al., 2011
Sorgum	Altemaria alternata, A. Tenuissima, Fusarium verticilllioides, F. Proliferatum	Tenuazonic acid and Alternariol Fumonisisns	Potent mutagenic effects: haemorrhages: liver damage in rat (fed at high dose), nephropathy equine leukoencephalomalacia: porcine pulmonary dema: genotoxicity, hepatotoxicity.	Juan et al., 2014
Jagung	Fusarium graminearum and other Fusarium spp.	Zearalenone	Oestrogenic disorder in sows: abnormal oestrus cycles: abortion: decreased fertility	Rubert, 2012
Jagung	Fusarium graminearum F. culmorum, F. Poae, F. Sporotrichioides	Trichothecenes (DON, A-DON, NV, T2 & HT2)	Feed refusal: reduced weight gain: diarrhea, alimentary toxic aleukia, hemorrhages: oral lesion in broiler chickens: depressed immune response	(Fleurat-Lessard, 2017)

Jamur yang banyak menghasilkan mikotoksin pada produk serealia diantaranya yaitu *Penicillium verrucosum*, *Fusarium graminearum* dan *Aspergillus flavus*. Mikotoksin yang dihasilkan oleh jamur tersebut diantaranya yaitu aflatoksin (AF), okratoksin A (OTA), patulin (PAT), fumonisins (FBs), zearalenone (ZEN) dan alternariol (Rychlik et al., 2018). *Penicillium verrucosum*, *Fusarium graminearum* dan *Aspergillus flavus* merupakan spesies jamur yang ditemukan selama penyimpanan biji-bijian.

Tabel 4. Penemuan Mikotoksin pada Produk Berbasis Serealia di beberapa negara

Mikotoksin	Negara	Jumlah Sampel produk	Jumlah Produk terkontaminasi (%)	Rata-rata mikotoksin yang dihasilkan ($\mu\text{g}/\text{kg-1}$)	Referensi
Aflatoksin B1	Iran	48 (Sereal)	33	0,11-15	Mottaghianpour et al., 2017

Aflatoksin B2	US	64 (sereal)	14	11-50	Al-Taher et al., 2017
Aflatoksin G1	Kanada	349 (sereal sarapan)	4	0,02-1,36	Tam et al., 2006
Aflatoksin G2	US	64 (sereal)	9	4-17	Al-Taher et al., 2017
Ochratoxin A	Turkey	25 (susu formula)	14	1,82	Baydar et al., 2007
Deoxynivalenol	Tunisia	15 (sereal bayi)	61	1,4	Oueslati and Berrada, 2018
Zearalenone	Spain	35 (camilan sereal)	2,8	10-15	Rubert, 2012
Alternariol	Kanada	29 (cemilan seeral)	28	1,08	Scott et al., 2012
Teruazonic acid	Jerman	39 (produk bayi)	17	221	Gotthardt et al., 2019

Batasan Kontaminasi Mikotoksin dan Kandungan Aflatoksin

Serealia yang sudah terkontaminasi mikotoksin akan berpengaruh pada produk yang dihasilkan yang memungkinkan kontaminasi pada manusia atau hewan yang mengkonsumsinya. Produk serealia yang terkontaminasi mikotoksin umumnya dapat ditemukan pada kerupuk, biskuit, roti dan gandum (Raiola et al., 2015). Batas maksimal konsumsi produk serealia yang terkontaminasi mikotoksin telah diatur dalam peraturan UE (tabel 5)

Tabel 5. Batas kandungan mikotoksin dalam berbagai sereal dan produk turunannya

	Sereal mentah ($\mu\text{g}/\text{kg}-1$)	Sereal belum diolah ($\mu\text{g}/\text{kg}-1$)	Sereal untuk bayi ($\mu\text{g}/\text{kg}-1$)	Produk sereal (sarapan sereal, biskuit, kue kering, roti, kerupuk) ($\mu\text{g}/\text{kg}-1$)
AFB1	-	2-5	0,1	-
OTA	5	5	0,5	-
DON	1750	1250	200	500
ZEA	200	100	20	50
FB1, FB2	2000	-	200	400
Patulin	-	-	10	10
Ergot	-	0,05	50000 (UK)	-

Sumber : EU Regulation No. 1881/2006/CE and EU Directive No. 2002/32/CE EU Recommendations No. 1881/2006, 2006/576/EC and 2013/165/EU EU Regulation No. 689/1992/CEE and EU Directive 2002/ 32/CE specific for ergot mycotoxins.

Tabel 6. Batas kandungan mikotoksin dalam berbagai pakan sereal dan turunannya

	Bahan makanan untuk babi dan unggas ($\mu\text{g}/\text{kg}-1$)	Hewan muda usia 4 bulan ($\mu\text{g}/\text{kg}-1$)	Produk susu hewan usia >4 bulan ($\mu\text{g}/\text{kg}-1$)	Pelengkap makanan ($\mu\text{g}/\text{kg}-1$)
AFB1	20	10	5	20
OTA	50-100	-	-	250
DON	900	2000	5000	8000 (kecuali produk jagung)
ZEA	-	100	-	2000 (kecuali produk jagung)
FB1, FB2	-	-	500	-

Patulin	-	-	-	-
Ergot	-	-	-	0,1%

Sumber : EU Regulation No. 1881/2006/CE and EU Directive No. 2002/32/CE EU Recommendations No. 1881/2006, 2006/576/EC and 2013/165/EU EU Regulation No. 689/1992/CEE and EU Directive 2002/ 32/CE specific for ergot mycotoxins.

Berdasarkan peraturan tersebut, untuk kandungan aflatoksin memiliki batas konsumsi yang sangat rendah yaitu 2 hingga 5 µg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa aflatoxin merupakan mikotoksin yang sangat toksik. Menurut WHO (2002) mikotoksin jenis ini dapat menurunkan sistem kekebalan tubuh. Selain itu, aflatoksin dapat mengganggu metabolisme protein dan berbagai mikronutrien lain yang dibutuhkan oleh tubuh. Sifat toksigenik lain yang ditimbulkan dari aflatoksin adalah estrogenicgastro-intestinal toxicity (beracun bagi system pencernaan dan reproduktif), carcinogenic (penyebab kanker), hepatotoxic (beracun bagi (liver/hati), neurotoxic (racun bagi jaringan syaraf) dan nephrotoxic (racun bagi ginjal) (Demaegd et al., 2016). Sementara batas mikotoksin pada biji serealia untuk pakan lebih tinggi dibandingkan batas mikotoksin pada produk makanan. Hal ini karena fisiologi hewan dan manusia berbeda terutama berat badan dan tingkat metabolisme yang lebih rendah (Ozden et al., 2012).

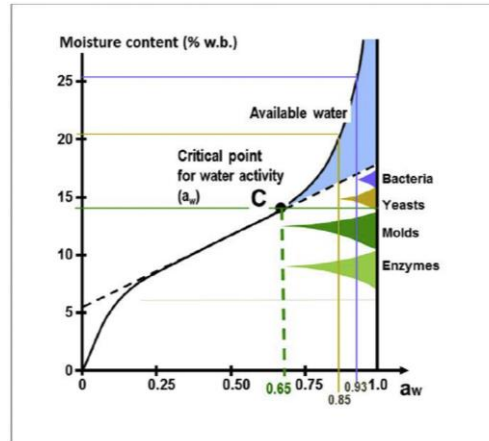
Mekanisme Pencemaran Serealia oleh Jamur selama Penyimpanan

Kontaminasi jamur selama penyimpanan serealia tidak semua menghasilkan mikotoksin. Kontaminasi terjadi ketika kadar air yang terdapat dalam biji-bijian mengandung kadar air melebihi kadar air kritis yang memungkinkan pertumbuhan jamur mikotoksigenik (Pardo et al., 2006; Magan dkk., 2014). Batas kadar air yang memungkinkan pertumbuhan jamur mikotoksigenik pada serealia disajikan pada tabel 7.

Tabel 7. Batas bawah aktivitas air dari biji serealia memungkinkan pertumbuhan jamur dan produksi mikotoksin dari penyimpanan jamur mikotoksigenik

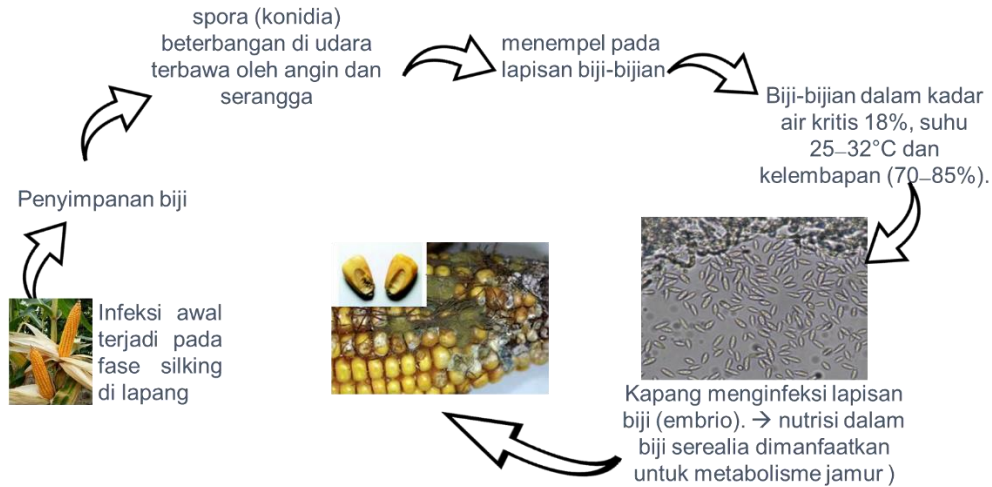
Fungus species	Mycotoxin	aw limit for growth	Related moisture content (%)	aw limit for toxin production	Related moisture content (%)	Referensi
Penicillium patulum	Patulin	0.81	18.0	0.95	27.0	Cahagnier et al., 2005
P. expansum	Patulin	0.82-0.84	18.3-19	0.99	30.0	Cahagnier et al., 2005
P. aurantiogriseum	OTA	0.82-0.85	18.5-19.6	0.87-0.9	20.2-22.0	Cahagnier et al., 2005
P. verrucosum	OTA	0.80-0.81	18.0	0.83-0.86	18.8-19.8	Cahagnier et al., 2005
Aspergillus flavus	AFB1	0.78-0.84	17.6-19.0	0.84	19.2	Beuchat, 1981
A. parasiticus	AFB1	0.84	19.0	0.87	20.2	Beuchat, 1981
A. ochraceus	OTA	0.77	16.5	0.85	19.6	Beuchat, 1981
Fusarium proliferatum	FB1	0.88	20.5	0.93	25.0	Magan et al., 2003
F. verticillioides	FB1	0.88	20.5	0.93	25.0	Magan et al., 2003

Beberapa jamur penghasil mikotoksin memiliki nilai a_w pada kisaran 0,78 – 0,88 dan kadar air 17 – 20%. Pada tabel 7 terlihat semakin tinggi nilai a_w dan kadar air maka semakin tinggi juga jumlah toksin yang dihasilkan oleh jamur. Selain itu, pertumbuhan kapang juga didukung oleh kelembaban yang tinggi (70-85%) dan suhu optimum untuk pertumbuhan jamur optimal 25–32°C (Vismer et al., 2019). Sedangkan biji-bijian yang disimpan dalam keadaan baik ($a_w < 0,78$ dan kadar air $< 17\%$) maka tingkat cemaran jamur juga akan rendah (Gambar 3).



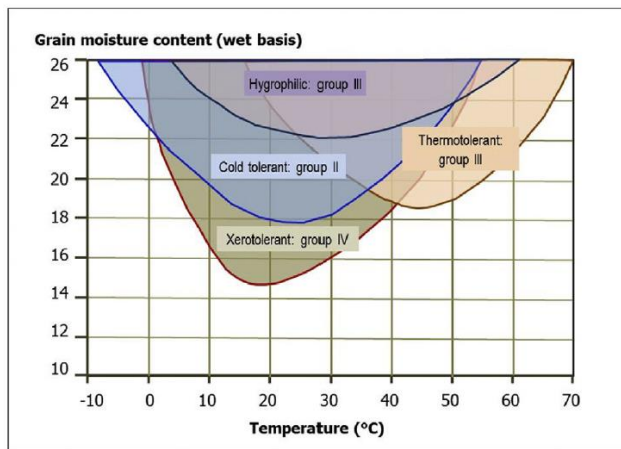
Gambar 3. Kurva kelembaban biji-bijian (gandum pada 25°C) pada zona di mana air yang terserap dalam biji-bijian tersedia untuk mendukung berbagai proses biodeteriorasi (Multon, 1988).

Mekanisme cemaran biji-bijian selama penyimpanan diawali ketika spora (konidia) terbawa oleh serangga atau angin diudara dan menempel pada lapisan biji-bijian, terutama menginfeksi pada bagian calon tunas atau embrio yang memiliki kadar air kritis. Jamur memanfaatkan nutrisi yang terdapat dalam serealialia sebagai media bibit untuk pertumbuhan miselium. Komponen utama pada biji serealialia yaitu karbohidrat (pati) 80%, protein 15%, lemak 5%, mineral 2%, vitamin dan air yang digunakan sebagai media pertumbuhan dan perkembangan jamur (Buckle et al., 1985). Nutrisi utama dalam pertumbuhan jamur adalah pati sebagai sumber karbon dirombak menjadi asam piruvat oleh enzim asam piruvat dehydrogenase yang selanjutnya dirubah menjadi asetil Co A dan CO₂ sebagai sumber energi untuk mempercepat pertumbuhan jamur (Ahmad, 2017). Salah satu senyawa organik beracun hasil dari metabolisme sekunder jamur adalah mikotoksin. Mekanisme pencemaran biji-bijian oleh jamur dirangkum pada gambar 4.

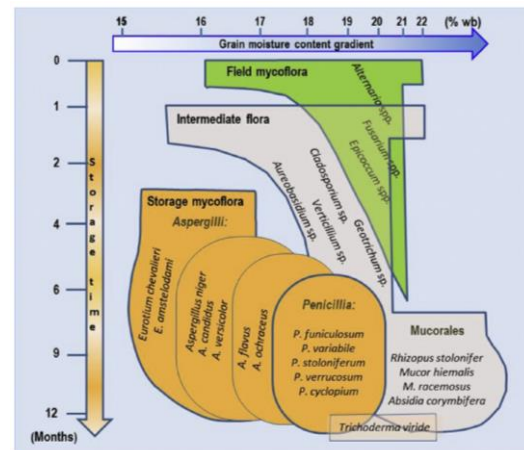


Gambar 4. Mekanisme Pencemaran Biji-Bijian selama Penyimpanan

Berdasarkan tingkat kelembaban dan suhu, jamur mikotoksigenik yang dapat berkembang dalam biji-bijian umumnya berasal dari spesie *Aspergillus*, *Penicillium* dan *Fusarium* (Gambar 5 dan 6)



Gambar 5. Klasifikasi jamur mikotoksigenik berdasarkan suhu dan kelembaban (Lacey, 1980)



Gambar 6. Pola kontaminasi jagung selama penyimpanan (Pelhate, 1988)

Keterangan :

- I. *Fusarium* spp., *Mucor* sp., *Rhizopus* sp., *Alternaria* sp., *Epicoccum* sp.
- II. *Penicillium verrucosum*, *Penicilia*, *Paecilomyces* sp.
- III. *Aspergillus flavus*, *A. nidulans*, *A. candidus*
- IV. *Aspergillus* spp., *Eurotium* spp

Kelompok I merupakan jamur pathogen higrofilik dan dapat menghilang selama penyimpanan 2 hingga 4 bulan. Kemudian digantikan oleh kelompok II yang merupakan jamur termofilik dan saprofit yang akan mencemari bagian kernal atau telinga biji yang terluka saat panen. Apabila selama penyimpanan kadar air >18% maka jamur pada kelompok II akan bertahan. Biji yang disimpan dalam kondisi basah memiliki kadar air >20% dan memungkinkan jamur kelompok mucorales dan *Trichoderma viride* Persoon

akan berkembang pesat selama penyimpanan 6-10 bulan. Ketika kadar air berada pada 15-17% jamur pada kelompok II akan digantikan oleh jamur kelompok III (jamur termotoleran) dan kelompok IV (jamur xerotolerant) pada penyimpanan 4-6 bulan (Fleurat-Lessard, 2017). Sebelum disimpan, biji-bijian memiliki kemungkinan sudah terkontaminasi oleh jamur lapang yang berada pada kelompok I. Jamur dalam genera *Fusarium*, *Penicillium* dan *Aspergillus* adalah penghasil utama mikotoksin pada biji-bijian yang disimpan.

Teknik Penyimpanan dan Pengemasan pada berbagai Komoditas Serealia

Bahan pangan dalam hal ini komoditas serealia yang disimpan dapat mengalami kerusakan oleh aktivitas mikroorganisme seperti kapang, khamir, bakteri, dan virus. Upaya yang dapat dilakukan untuk mencegah kerusakan tersebut dapat dilakukan dengan teknik penyimpanan dan pengemasan yang tepat untuk mengendalikan kandungan air (tabel 7) dan suhu (gambar 5) yang menjadi factor kerusakan bahan pangan oleh mikroorganisme.. Penyimpanan bahan pangan harus mampu menjaga kualitas dan meminimalisir kerusakan pada bahan yang disimpan.

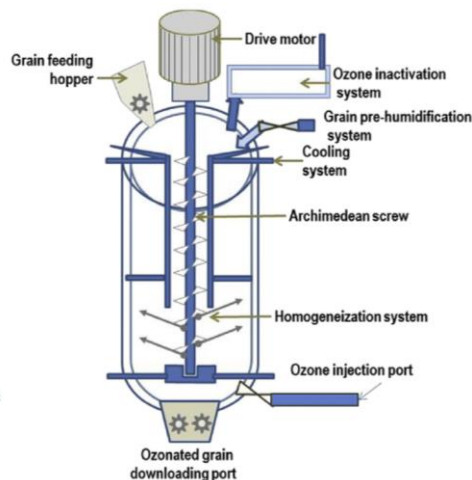
Untuk mengurangi kontaminasi jamur selama penyimpanan dibutuhkan beberapa strategi pada aspek fisik, kimia dan biologi.

1. Aspek fisik

Kontaminasi jamur dapat diminimalisir dengan melakukan pembersihan pada biji-bijian sebelum disimpan karena kemungkinan jamur pasca panen xerotolerant dapat tumbuh di lapisan biji-bijian (Lesnik et al., 2014). Kulit bagian pericarp biji-bijian mengandung kontaminasi jamur dan mikotoksin yang cukup tinggi sehingga perlu dilakukan pengupasan biji-bijian dan abrasi (Laca et al., 2006). Kandungan toksin DON dapat berkurang hingga 45% menggunakan teknik ini (Rios et al., 2009). Selain itu, teknik pengeringan biji juga perlu dilakukan sebelum penyimpanan untuk mengurangi nilai a_w yang memungkinkan pertumbuhan jamur (tabel 3).

2. Aspek Kimia

Mikotoksin yang terdapat alam biji-bijian dapat dinonaktifkan menggunakan bahan kimia seperti dekontaminasi ammonia dan ozonisasi. Proses dekontaminasi ammonia diawali dengan pemutusan molekul ikatan oksigen Aflatoksin B1 dan fumonisin (Fleurat-Lessard, 2017). Penggunaan ammonia umumnya diterapkan untuk dekontaminasi produk pakan. Sedangkan metode ozonisasi atau pengasapan dapat dilakukan untuk detoksifikasi OTA dan aflatoksin (McClurkin dan Maier, 2010). Proses ozonisasi biji-bijian dapat dilihat pada gambar 7. Pada proses ozonisasi gandum, kandungan AFB1 dapat berkurang hingga 80% dan kandungan DON dapat berkurang hingga 65% (Despres-Pernot dkk., 2010 ; Wang et al., 2010)



Gambar 7. Dekontaminasi mikotoksin menggunakan perawatan ozonisasi pada gandum (Fleurat-Lessard, 2017).

3. Aspek Biologi

Cemaran mikotoksin pada sereal dapat diminimalisir dengan proses fermentasi. Proses fermentasi dapat mendetoksifikasi mikotoksin menjadi tidak beracun dengan bantuan bakteri asam laktat (Oliveira dkk., 2014). Adapun jenis mikotoksin yang dapat terdegradasi yaitu jenis cemaran patulin, OTA dan fumonisin.

Selain aspek diatas, diperlukan juga teknis pengemasan yang tepat untuk menjaga kualitas biji-bijian selama penyimpanan. Beberapa teknik pengemasan pada komoditas sereal disajikan pada tabel 8.

Tabel 8. Penyimpanan Biji-bijian pada berbagai jenis Kemasan

Komoditas	Metode	Temuan	Referensi
Jagung	Penyimpanan pada SuperGrainBag dan Polipropilen	Terjadi peningkatan suhu pada 2 jenis kemasan yaitu 26,9 - 27°C. Kemasan superGrainBag lebih efektif dalam menurunkan kelembaban relative (<70%), penurunan kadar air (<13,7%) dan konsentrasi oksigen (<6,4%) sehingga pertumbuhan aflatoxin terhambat. Sedangkan pada kemasan pp kelembaban meningkat menjadi 86%	(Diarra & Amoah, 2019)
beras berkecambah parboiled	Penyimpanan pada kantong poliamida-polietilen dan polietilen alumunium selama 6 bulan pada suhu 4 °C dan 30 °C	Penyimpanan pada polietilen alumunium dengan suhu 4° C lebih efektif dalam menghambat pertumbuhan jamur	(Klaykruayat et al., 2020)

Sorgum	Penyimpanan pada kantong PICS dan kantong polypropylene (PP) selama 12 bulan	kadar oksigen dalam kantong PICS menurun dibandingkan dengan kantong polypropylene.	(Waongo et al., 2019)
Biji kakao (<i>Theobroma cacao</i> L)	Karung goni pada 2 penyimpanan yaitu Suhu 30 – 31 °C pada penyimpanan (exhaust) dan suhu 25 °C menggunakan AC	Penyimpanan biji pada suhu 25 °C menggunakan AC lebih efektif dalam menekan pertumbuhan jamur karena suhu dan kelembaban cukup stabil	(Kusmiah, 2019)
Jagung	Pengemasan pada karung plastic alas dan tanpa alas pada penyimpanan 28 hari pada suhu 28-31°C	Penyimpanan pada plastik dengan alas lebih efektif dengan kandungan aflatoksin 27,33-49 ppb dan kadar air 12.13%. Lama penyimpanan menyebabkan kandungan aflatoksin meningkat	(Hasnani et al., 2019)
Jagung	Penyimpanan dalam jerigen dan dalam kantong plastic dengan kadar air 9%, 11% dan 12% selama 6 bulan	Perlakuan wadah jerigen 11% dan katong plastic 12% menghasilkan kontaminasi <i>Aspergillus</i> sp. dan <i>Aspergillus niger</i> yang paling rendah	(Wahyuni et al., 2003)
Padi	Penyimpanan pada Purdue Improved Crop Storage (PICS) dan dalam kantong anyaman polypropylene selama 7-18 bulan	Pada PICS biji-bijian tidak mengalami penurunan bobot dan kualitas. Pada Polypropylene terjadi penurunan bobot 3-8,7%.	(Baoua et al., 2016)
Sorgum	Penyimpanan pada Purdue Improved Crop Storage (PICS) dan kantong anyaman polypropylene selama 6 bulan	Suhu kemasan PICS berada pada 19 dan 24 C. aktivitas biologis menurun, tingkat oksigen mengalami penurunan	(Williams et al., 2017)

Teknik pengemasan sangat berpengaruh terhadap kadar air dan kelembaban biji-bijian yang disimpan. Jenis bahan pengemas yang digunakan dalam tabel 4 diantaranya yaitu SuperGrainBag, kantong poliamida polietilen dan polietilen alumunium, kantong PICS (Purdue Improved Crop Storage), kantong plastik dan karung goni. Berdasarkan hasil analisis dari kemampuan bahan kemas dalam menjaga kualitas biji-bijian terhadap kontaminasi jamur, jenis pengemas kedap udara (SuperGrainBag dan PICS) lebih efektif dibandingkan bahan pengemas lain. Hal tersebut karena kemasan kedap udara dapat menurunkan kadar oksigen sehingga mampu menghambat pertumbuhan jamur dan produksi mikotoksin yang dihasilkan oleh jamur.

Lamanya penyimpanan menyebabkan suhu dalam kemasan menjadi meningkat. Hal tersebut karena tingginya suhu udara luar menyebabkan suhu dalam kemasan juga ikut meningkat baik kantong kedap udara ataupun non kedap udara (Fleurat-Lessard, 2017; Waongo et al., 2019). Selain itu, peningkatan suhu dalam kemasan juga diakibatkan oleh respirasi akibat aktivitas mikroorganisme. Penyimpanan pada suhu kurang dari 20°C dan kadar air kurang dari 14% memberikan perlindungan yang cukup baik dari pertumbuhan jamur. Pada suhu kurang dari 20°C jamur yang dapat tumbuh diantaranya yaitu spesies *Cladosporium* dan *Penicillium*. Sedangkan pada suhu lebih dari 20°C dapat meningkatkan pertumbuhan jamur spesies *Aspergillus* dengan laju pertumbuhan 6,9 mm/hari. Sedangkan pertumbuhan jamur yang menghasilkan toksin memiliki suhu optimal pada 25 hingga 37°C (Abdel et al., 2019; Shuhaib et al., 2010; Medina et al., 2014). Abdel-hadi et al. (2019) melaporkan pada jagung yang disimpan di suhu 35°C spesies jamur *Aspergillus* dapat menghasilkan aflatoxin sebesar 2278 hingga 3082 mg/g

Peningkatan suhu dalam kemasan juga dapat menurunkan tingkat kelembaban relative pada kemasan kedap udara (SuperGrainBag dan PICS) namun sebaliknya kelembaban menjadi meningkat pada kemasan non kedap udara. Kondisi kelembaban relative pada kemasan dipengaruhi oleh kontraksi atau pemuaian udara sedangkan pada kemasan PP uap air dilepas ke udara sehingga kelembaban luar menjadi menurun. Semakin rendah kelembaban relative menyebabkan kadar air dalam biji menurun dan memicu terjadinya dehidrasi pada mikroorganisme selama penyimpanan (Jay et al., 1971).

Kelembaban relative yang rendah berkorelasi pada penurunan aktivitas air untuk pertumbuhan kapang. Aktivitas air yang optimal untuk pertumbuhan kapang adalah 0,7 – 0,99 (FAO, 2001; Mannaa dan Kim, 2017). Pada kelembaban 65% dan aw 0,65, spesies *aspergillus* dapat memproduksi toksin. Lamanya penyimpanan menyebabkan aktivitas air menjadi meningkat (Atongbiik Achaglinkame et al., 2017). Kadar air dibawah 16% dapat menghambat pertumbuhan jamur mikotoksigenik. Jamur jenis ini dapat menghasilkan mikotoksin berupa aflatoxin B1 dan Aflatoxin B2 (Diarra & Amoah, 2019). Kemasan PP kurang efektif untuk menyimpan biji-bijian karena kelembaban dan kadar airnya relative tinggi dibandingkan kemasan kedap udara. Kelembaban yang tinggi pada kemasan non kedap udara dapat memicu pertumbuhan jamur *Aspergillus flavus* dan *P. truncates*.

Kandungan oksigen dalam kemasan kedap udara mengalami penurunan. Kandungan oksigen yang rendah dapat menghambat proses respirasi biji-bijian sehingga dapat mencegah aktivitas jamur mikotoksigenik. Penurunan kandungan oksigen ini menyebabkan kandungan CO2 meningkat hingga lebih dari 75% dalam kemasan sehingga memberikan efek narkotika pada jamur (Weinberg et al., 2008; Magan dan Aldred, 2007).

Faktor lain yang dapat mempengaruhi pertumbuhan jamur yaitu nutrisi. Nutrisi yang terdapat dalam sereal sebagian besar adalah karbohidrat (pati) yang dimanfaatkan oleh jamur sebagai sumber karbon untuk perkembangannya. Selain itu kandungan lemak yang terdapat dalam sereal juga dapat mempercepat produksi mikotoksin. Namun tingginya kandungan asam amino pada sereal dapat menghambat jamur dalam produksi mikotoksin terutama aflatoxin (Atongbiik Achaglinkame et al., 2017)

Secara umum, tidak terjadi perubahan pada kualitas biji-bijian yang disimpan pada kemasan kedap udara selama penyimpanan 6 bulan. Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan jamur selama penyimpanan dalam berbagai jenis kemasan diantaranya yaitu suhu, kelembaban, kadar air, kadar oksigen dan nutrisi yang terdapat dalam biji-bijian yang dikemas.

POTENSI PENGEMBANGAN PENELITIAN

Hasil panen serealia yang melimpah menuntut kondisi penyimpanan yang tepat untuk mengendalikan berbagai kerusakan serealia selama penyimpanan. Teknik penyimpanan dan pengemasan telah banyak dilakukan dalam penyimpanan komoditas serealia. Beberapa jenis kemasan kedap udara memberikan dampak yang baik selama penyimpanan dibandingkan dengan jenis kemasan non kedap udara. Namun, pemakaian bahan kemas ini dalam jangka panjang akan berdampak pada penumpukan sampah plastik sehingga diperlukan pengembangan lebih lanjut dalam menyediakan bahan pengemas yang bersifat biodegradable yang mampu menjaga kualitas bahan yang dikemasnya tanpa merugikan lingkungan.

Untuk mengembangkan efektifitas pencegahan dan deteksi kerusakan serealia selama penyimpanan, diperlukan studi lebih lanjut dalam menyediakan bahan pengemas atau wadah penyimpanan yang mampu mendeteksi kerusakan biji-bijian secara cepat seperti deteksi kadar air dan kelembaban pada batas bawah kadar air pertumbuhan jamur mikotoksigenik

Berkurangnya oksigen dalam pengemasan serealia berpotensi pada gangguan hama sehingga pengembangan bahan pengemas yang dapat mengusir hama direkomendasikan.

KESIMPULAN

Serealia merupakan kelompok tanaman yang memiliki kandungan karbohidrat tinggi. Jenis komoditas serealia diantaranya yaitu padi (*Oryza sativa*), sorghum (*Sorghum vulgare*), gandum (*Triticum sp.*), jagung (*Zea mays*), millets (*Eleusine corasana*), rye (*Secale cereal*), ots (*Avena sativa*) dan barley (*Hordeum sativum*). Selama penyimpanan komoditas serealia rentan mengalami kerusakan yang diakibatkan oleh jamur mikotoksin seperti *Aspergillus*, *Penicillium* dan *Fusarium*. Kontaminasi jamur selama penyimpanan serealia terjadi ketika jamur menempel pada embrio biji yang mengandung kadar air melebihi kadar air kritis (17-20%), a_w pada kisaran 0,78 – 0,88, kelembaban relatif (70-85%) dan suhu 25–32°C yang merupakan kondisi optimum untuk pertumbuhan jamur mikotoksin. Jamur jenis mikotoksin memanfaatkan nutrisi yang terdapat dalam serealia sebagai media bibit untuk pertumbuhan miselium. Metabolisme jamur menghasilkan senyawa organik mikotoksin berupa aflatoxin (AF), okratoksin A (OTA), patulin (PAT), fumonisins (FBs), zearalenone (ZEN) dan alternariol. Kontaminasi jamur mikotoksin selama penyimpanan dapat dicegah melalui teknik penyimpanan yang terkontrol (fisik, kimia dan biologi) dengan dan teknik pengemasan kedap udara. Pengemasan kedap udara dapat menghambat pertumbuhan jamur dan produksi mikotoksin karena tidak memungkinkan pertukaran gas dengan lingkungan luar. Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan jamur selama penyimpanan dalam berbagai jenis kemasan diantaranya yaitu suhu, kelembaban, kadar air, kadar oksigen dan nutrisi yang terdapat dalam biji-bijian yang dikemas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abate, A. N and Gomez, M. 1984. Substitution of Finger Millet and Bulrush Millet For Miszen in Boiler Feeds, Anim. Feed Sci. Tech-nol. 10:291
- Abdel-hadi, A., Schmidt-heydt, M., Parra, R., Geisen, R., & Magan, N. (2012). *A systems approach to model the relationship between aflatoxin gene cluster expression , environmental factors , growth and toxin production by Aspergillus flavus. August 2011, 757–767.*
- Ahmad, R. Z. (2017). Cemaran Kapang pada Pakan dan Pengendaliannya. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 28(1), 15–22. <https://doi.org/10.21082/jp3.v28n1.2009.p15>
- Al-Taher, F., Cappozzo J., Zweigenbaum, J., Lee HJ, Jackson L and Ryu, D. 2017. Detection and quantitation of mycotoxins in infant cereals in the U.S. market by LC-MS/MS using a stable isotope dilution assay. *Food Control* 2017, 72:27-35.
- Alvito PC, Sizoo EA, Almeida CMM, van Egmond HP: Occurrence of aflatoxins and ochratoxin A in baby foods in Portugal. *Food Anal Methods* 2010, 3:22-30.

- Atongbiik Achaglinkame, M., Opoku, N., & Amagloh, F. K. (2017). Aflatoxin contamination in cereals and legumes to reconsider usage as complementary food ingredients for Ghanaian infants: A review. *Journal of Nutrition and Intermediary Metabolism*, 10, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jnim.2017.09.001>
- Atanda, SA., Pessu, PO., Agoda, S., Isong, IU., Adekalu, OA., and Echendu, MA. 2011. Fungi and mycotoxins in stored foods. *Afr J Microbiol Res* ;5(25):4373e82.
- Baoua, I. B., Amadou, L., Bakoye, O., Baributsa, D., & Murdock, L. L. (2016). Triple bagging hermetic technology for post-harvest preservation of paddy rice *Oryza sativa* L. in the Sahel of West Africa. *Journal of Stored Products Research*, 68, 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2016.04.006>
- Baydar, T., Erkekoglu, P., Sipahi, H., Sahin, G. 2007. Aflatoxin B1, M1 and ochratoxin A levels in infant formulae and baby foods marketed in Ankara, Turkey. *J Food Drug Anal*, 15:89-92.
- Dengan, P., Air, K., & Berbeda, Y. (2003). *Sri Wahyuni Budiarti et al. : Komtaminasi Fungi Aspergillus sp* 482–487.
- Demaegdt, H., B. Daminett, A., Evrard, M.L., Scioppo, M., Muller, L., Pussemier, A., CALlebaut, and K. Vandermeiren. 2016. Endocrine activity of mycotoxins and their effects on human and animal health. *Food Control* 36 (2) : 159-165
- Diarra, M., & Amoah, R. S. (2019). Physical factors in the hermetic SuperGrainBag® and effect on the larger grain borer [*Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae)] and aflatoxin production by *Aspergillus flavus* during the storage of ‘Obatanpa’ maize (*Zea mays* L.) variety. *Journal of Stored Products Research*, 83, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.05.016>
- Dunkel, F.V., 1992. The Stored Grain Ecosystem: a Global Perspective. <http://anafide.org/doc/HTE%2083/83-2.pdf>.
- Erkekoglu P, Şahin G, Baydar T: A special focus on mycotoxin contamination in baby foods: their presence and regulations. *FABAD J Pharm Sci* 2008, 33:51-66.
- Fleurat-Lessard, F. (2017). Integrated management of the risks of stored grain spoilage by seedborne fungi and contamination by storage mould mycotoxins – An update. *Journal of Stored Products Research*, 71, 22–40. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2016.10.002>
- Gotthardt, M., Asam, S., Gunkel, K., Moghaddam, AF., Baumann, E., Kietz, R., and Rychlik, M. 2019. Quantitation of six *Alternaria* toxins in infant foods applying stable isotope labeled standards. *Front Microbiol*, 10:1-14.
- Gregori, R., Meriggi, P., Pietri, A., Formenti, S., Baccarini, G., & Battilani, P. (2013). Dynamics of fungi and related mycotoxins during cereal storage in silo bags. *Food Control*, 30(1), 280–287. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.06.033>
- Hampikyan H, Bingol EB, Colak H, Cetin O, Bingol B. 2015. Determination of ochratoxin a in baby foods by ELISA and HPLC. *Acta Aliment* 2015, 44:578-584.
- Herna´ndez-Marti´nez R, Navarro-Blasco I: Aflatoxin levels and exposure assessment of Spanish infant cereals. *Food Addit Contam Part B Surveill* 2010, 3:275-288.
- Jakšić S, Abramović B, Prunić B, Mihaljević Z, Balos MMZ, Jajić I, Despotović VN, Bjelić L: Incidence of aflatoxins and fumonisins in cereal food from Serbian market. *J Agroalimnet Process Technol* 2011, 17:108-112
- Jay, E.G., Arbogast, R.T., Pearman Jr., G.C., 1971. Relative humidity: its importance in the control of stored-product insects with modified atmospheric gas concentrations. *J. Stored Prod. Res.* 6, 325e329.
- Juan C, Raiola A, Manes J, Ritieni A: Presence of mycotoxin in commercial infant formulas and baby foods from Italian market. *Food Control* 2014, 39:227-236.
- Kabak B: Ochratoxin A in cereal-derived products in Turkey: occurrence and exposure assessment. *Food Chem Toxicol* 2009, 47:348-352.
- Klaykruayat, S., Mahayothee, B., Khuwijitjaru, P., Nagle, M., & Müller, J. (2020). Influence of packaging materials, oxygen and storage temperature on quality of germinated parboiled rice. *Lwt*, 121, 108926. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108926>
- Kusmiah, N. (2019). Pengaruh Kondisi Penyimpanan Dan Kadar Air Awal Biji Kakao (*Theobroma cacao* L) Terhadap Pertumbuhan Jamur. *AGROVITAL : Jurnal Ilmu Pertanian*, 3(1), 23. <https://doi.org/10.35329/agrovital.v3i1.217>

- Laca, A., Mousia, Z., Daz, M., Webb, C., Pandiella, S.S., 2006. Distribution of microbial contamination within cereal grains. *J. Food Eng.* 72, 332e338.
- Lacey, J., Hill, S.T., Edwards, M.A., 1980. Microorganisms in stored grains: their enumeration and significance. *Trop. Stored Product. Inf.* 38, 19e32.
- Le_snik, M., Vajs, S., Kramberger, B., _Zerjav, M., Zemlji_c, A., Simon_ci_c, A., Kolmani_c, A., 2014. Fusarium infected grain removal efficacy in cleaning wheat grain prior to milling. *Zemdirbyste-Agriculture* 101, 285e294.
- Magan, N., Aldred, D., 2007. Post-harvest control strategies: minimizing mycotoxins in the food chain. *Int. J. Food Microbiol.* 119, 131e139.
- Magan, N., Aldred, D., Sanchis, V., 2004. The role of spoilage fungi in seed deterioration. In: Arora, D.K. (Ed.), *Fungal Biotechnology in Agricultural, Food, and Environmental Applications*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Mannaa, M., Kim, K.D., 2017. Influence of temperature and water activity on deleterious fungi and mycotoxin production during grain storage. *Microbiology* 45 (4), 240e254.
- McClurkin, J.D., Maier, D.E., 2010. Ozone treatment effects on microbial counts on maize. In: Carvalho, O.M., Fields, P.G., Adler, C.S., et al. (Eds.), *Proceedings of the 10th International Working Conference on Stored Product Protection*, Estoril, Portugal, June 2010, Julius Kuhn Archiv, Berlin, Germany, pp. 5548e5552.
- Medina, A., Rodriguez, A., & Magan, N. (2014). Effect of climate change on *Aspergillus flavus* and aflatoxin B1 production. *Frontiers in Microbiology*, 5(JULY). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00348>
- Mottaghianpour, E., Nazari, F., Mehrasbi, MR., and Hosseini M. 2017. Occurrence of aflatoxin B1 in baby foods marketed in Iran. *J Sci Food Agric*, 97:2690-2694.
- Mousavi Khaneghah, A., Hashemi Moosavi, M., Oliveira, C. A. F., Vanin, F., & Sant'Ana, A. S. (2020). Electron beam irradiation to reduce the mycotoxin and microbial contaminations of cereal-based products: An overview. *Food and Chemical Toxicology*, 143, 111557. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111557>
- Muchtadi, Tien R. dan Sugiyono. 2001. Ilmu Pengetahuan Bahan Pangan. Bogor: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi Institut Pertanian Bogor
- Multon, J.L., 1988. Spoilage mechanisms of grains and seeds in the post-harvest ecosystem, the resulting losses and strategies for the defense of stocks. In: Multon, J.L. (Ed.), *Preservation and Storage of Grains, Seeds and Their Byproducts*. Lavoisier Publishing Inc., New York, pp. 3e63.
- Nhamucho, E., Mugo, S., Gohole, L., Tefera, T., Kinyua, M., Mulima, E., 2017. Control of the Larger Grain Borer *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) in different maize seed and grain storage methods. *J. Entomol.* 14, 136e147.
- Okello DK, Kaaya AN, Bisikwa J, Were M, Olota HK. Management of Aflatoxins in groundnut: manual for farmers, processors, traders and consumers in Uganda. Makerere University, National Agricultural Research Organisation; 2010.
- Opio, P., & Photchanachai, S. (2018). Modified atmosphere influences aflatoxin B1 contamination and quality of peanut (*Arachis hypogaea* L.) kernels cv. Khon Kaen 84-8. *Journal of Stored Products Research*, 78, 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.06.005>
- Oueslati S, Berrada H, Man`es J, Juan C.: 2018. Presence of mycotoxins in Tunisian infant foods samples and subsequent risk assessment. *Food Control*, 84:362-369.
- Ozden S, Akdeniz AS, Alpertunga B: Occurrence of ochratoxin A in cereal-derived food products commonly consumed in Turkey. *Food Control* 2012, 25:69-74.
- Ozturk, I., Sagdic, O., Yalcin, H., Dursun, C.T., Asyali, M.H., 2015. The effects of packaging type on the quality characteristics of fresh raw pistachios (*Pistacia vera* L.) during the storage. *Food Sci. Technol.* 65, 457e463.
- Pardo, E., Marin, S., Ramos, A.J., Sanchis, V., 2006. Ecophysiology of ochratoxigenic *Aspergillus ochraceus* and *Penicillium verrucosum* isolates. Predictive models for fungal spoilage prevention - a review. *Food Addit. Contam.* 23, 398e410.
- Pelhate, J., 1988. Ecology of the microflora of grains and seeds. In: Multon, J.L. (Ed.), *Preservation and Storage of Grains Seeds and Their By-products*. Lavoisier publishing Inc., New York, pp. 244e262
- Pitt, J. I., Taniwaki, M. H., & Cole, M. B. (2013). Mycotoxin production in major crops as influenced by growing,

- harvesting, storage and processing, with emphasis on the achievement of Food Safety Objectives. *Food Control*, 32(1), 205–215. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.11.023>
- Rahmadi, A. dan Graham H. Fleet. 2008. *Miko-ekologi Jamur Penghasil Toksin Dalam Produk Kakao Kering Asal Kalimantan Timur, Sulawesi dan Irian Jaya*
- Raiola A, Tenore GC, Manyes L, Meca G, Ritieni A: Risk analysis of main mycotoxins occurring in food for children: an overview. *Food Chem Toxicol* 2015, 84:169-180.
- Rios, G., Zakhia-Rozis, N., Chaurand, M., Richard-Forget, F., Samson, M.F., Abecassis, J., Lullien-Pellerin, V., 2009b. Impact of durum wheat milling on the deoxynivalenol distribution in the outcoming fractions. *Food Addit. Contam.* 26, 487e495.
- Rodgers A, Vaughan P, Prentice T, Edejer TT, Evans D, Lowe J. Reducing risks, promoting healthy life: In Campanini B, Haden A, editors. *The World Health Report* ; Geneva: World Health Organization; 2002.
- Rubert, J., and Soler, C. 2012. Application of an HPLC-MS/MS method for mycotoxin analysis in commercial baby foods. *Food Chem*, 133:176-183
- Rychlik M, Lepper H, Weidner C, Asam S: Risk evaluation of the *Alternaria* mycotoxin tenuazonic acid in foods for adults and infants and subsequent risk management. *Food Control* 2016, 68:181-185.
- Shuaib FMB, Jolly PE, Ehiri JE, Yatich N, Jiang Y, Funkhouser E, et al. Association between birth outcomes and aflatoxin B1 biomarker blood levels in pregnant women in Kumasi, Ghana. *Trop Med Int Health* 2010;15(2):160e7.
- Scott, PM., Zhao, W., Feng, S., and Lau, B. 2012. *Alternaria* toxins alternariol and alternariol monomethyl ether in grain foods in Canada. *Mycotoxin Res*, 28:261-266.
- Tam, J., Mankotia, M., Mably, M., Pantazopoulos, P., Neil, RJ., Calway, P., and Scott P. 2006. Survey of breakfast and infant cereals for aflatoxins B1, B2, G1 and G2. *Food Addit Contam*, 23:693-699.
- Ul Hassan Z, Al Than R, A Atia F, Al Meer S, Migheli Q, Jaoua S: Co-occurrence of mycotoxins in commercial formula milk and cereal-based baby food on the Qatar market. *Food Addit Contam Part B Surveill* 2018, 11:191-197.
- Vismer, H. F., Shephard, G. S., van der Westhuizen, L., Mngqawa, P., Bushula-Njah, V., & Leslie, J. F. (2019). Mycotoxins produced by *Fusarium proliferatum* and *F. pseudonygamai* on maize, sorghum and pearl millet grains in vitro. *International Journal of Food Microbiology*, 296(February), 31–36. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.02.016>
- Wang, S., Liu, H., Lin, J., Kao, Y. 2010. Can ozone fumigation effectively reduce aflatoxin B1 and other mycotoxins contamination on stored grain? In: *Proceedings of the 10th International Working Conference on Stored Product Protection*, Estoril, Portugal, July. *Julius Kühn-Institut, Berlin, Germany*, pp. 582e588.
- Waongo, A., Traore, F., Ba, M. N., Dabire-Binso, C., Murdock, L. L., Baributsa, D., & Sanon, A. (2019). Effects of PICS bags on insect pests of sorghum during long-term storage in Burkina Faso. *Journal of Stored Products Research*, 83, 261–266. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.07.010>
- Weinberg, Z.G., Yan, Y., Finkelman, S., Ashbell, G., Navarro, S., 2008. The effect of moisture level on high-moisture maize (*Zea mays* L.) under hermetic storage conditions in-vitro studies. *J. Stored Prod. Res.* 44, 136e144.
- Williams, S. B., Murdock, L. L., & Baributsa, D. (2017). Sorghum seed storage in Purdue Improved Crop Storage (PICS) bags and improvised containers. *Journal of Stored Products Research*, 72, 138–142. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2017.04.004>