

**AFLATOKSIN  
DAMPAK DAN  
PENANGGULANGANNYA PADA  
SAPI PERAH**

**Ika Sumantri**



**Pustaka Aksara**

# **AFLATOKSIN DAMPAK DAN PENANGGULANGANNYA PADA SAPI PERAH**

**Penulis** : Ika Sumantri  
**Desain Sampul** : Rizal Fahmi AS  
**Tata Letak** : Adam Akbar

**ISBN : 978-623-5471-22-8**

Diterbitkan oleh : **PUSTAKA AKSARA, 2022**

**Redaksi:**

Jl. Karangrejo Sawah IX nomor 17, Surabaya

Telp. 0858-0746-8047

Laman : [www.pustakaaksara.co.id](http://www.pustakaaksara.co.id)

Surel : [info@pustakaaksara.co.id](mailto:info@pustakaaksara.co.id)

**Anggota IKAPI**

Cetakan Pertama : 2022

All right reserved

Hak Cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun dan dengan cara apapun, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya tanpa seizin tertulis dari penerbit.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan buku ini, penulisan buku ini merupakan buah karya dari pemikiran penulis yang diberi judul "*Cemaran Aflatoksin, Dampak dan Penanggulangannya pada Sapi Perah*".

Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, proses penyelesaian buku ini akan terlihat sulit. Oleh karena itu, saya mengucapkan banyak terima kasih pada semua pihak yang telah membantu penyusunan buku ini sehingga buku ini bisa hadir di hadapan pembaca.

Melalui buku ini, penulis akan menjabarkan terjadinya cemaran Aflatoxin B1 pada ransum sapi perah, dampaknya terhadap produktivitas dan kesehatan sapi perah serta bagaimana cara penanggulangannya, khususnya untuk mengurangi adanya residu aflatoksin di dalam susu.

Namun, penulis menyadari bahwa buku ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat dibutuhkan guna penyempurnaan buku ini. Akhir kata saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga buku ini akan membawa manfaat bagi semua pembaca.

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI .....	iv

### BAB I

PENDAHULUAN .....	1
-------------------	---

### BAB II

<b>AFLATOKSIN: PRODUKSI, SIFAT KIMIA, DAN TOKSISITAS .....</b>	<b>4</b>
A. Faktor yang mempengaruhi produksi aflatoksin .....	4
B. Sifat kimia dan toksisitas aflatoksin .....	5
C. Transfer Aflatoksin dari Pakan ke Susu pada Sapi Perah .....	9
D. Kejadian Cemaran Aflatoksin dalam Pakan dan Susu .....	12
E. Penggunaan Adsorben Aflatoksin dalam Mengurangi Transfer Aflatoksin dan Mencegah Aflatoksikosis.....	16
1. Arang aktif.....	17
2. Bentonit .....	18
3. Zeolit .....	18
4. Dinding sel ragi.....	19
F. Faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas adsorben dalam pengikatan aflatoksin .....	19

### BAB III

<b>KEJADIAN CEMRAN AFB1 PADA PAKAN SAPI PERAH DAN AFM1 PADA SUSU SEGAR PETERNAKAN SAPI PERAH DI PROVINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA DAN JAWA TENGAH.....</b>	<b>22</b>
A. Terjadinya kontaminasi aflatoksin B1 pada pakan sapi perah .....	22
B. Kontaminasi aflatoksin M1 dalam sampel susu segar .....	24
C. Karakteristik transfer aflatoksin dari pakan ke susu .....	27

<b>BAB IV</b>	
<b>STUDI TENTANG CARRY-OVER AFB1 MENJADI AFM1 PADA SUSU FRIESIAN HOLSTEIN INDONESIA .....</b>	<b>29</b>
<b>BAB V</b>	
<b>KAPASITAS PENGIKATAN DAN STABILITAS BERBAGAI SUMBER ADSORBEN DALAM RUMEN IN VITRO ASSAY .....</b>	<b>32</b>
A. Kapasitas pengikatan adsorben.....	32
B. Stabilitas pengikatan adsorben.....	35
C. Pengaruh kisaran pH pada kapasitas pengikatan dan stabilitas bentonit alami.....	36
<b>BAB VI</b>	
<b>PENGARUH INKLUSI BENTONIT DALAM RANSUM TERHADAP EKSKRESI AFLATOKSIN, KECERNAAN NUTRISI, DAN PRODUKSI SUSU FRIESIAN HOLSTEIN INDONESIA .....</b>	<b>39</b>
A. Efek pada tingkat AFM1 dalam susu dan pembawa aflatoksin .....	39
B. Efek pada produksi dan komposisi susu .....	44
C. Efek pada asupan nutrisi dan pencernaan .....	46
<b>BAB VII</b>	
<b>PENUTUP .....</b>	<b>48</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>54</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>67</b>

## DAFTAR AKRONIM

AC	Arang Aktif
AFB1	aflatoksin B1
AFB2	aflatoksin B2
AFG1	Aflatoksin G1
AFG2	aflatoksin G2
AFM1	aflatoksin M1
ALARA	Serendah Mungkin Dapat Dicapai
AOAC	Asosiasi Ahli Kimia Analitis Resmi
AQ	Aquadest
ASEAN	Perhimpunan Bangsa-bangsa Asia Tenggara
BE	Bentonit
BW	Berat badan
CA	Adsorben Komersial
CF	Serat Kasar
CFD	Kecernaan serat kasar
COR	Tarif Bawaan
CP	Protein Mentah
CPD	Kecernaan Protein Kasar
DM	Bahan Kering
DMD	Kecernaan Bahan Kering
DMI	Asupan Bahan Kering
DNA	Asam deoksiribonukleat
ELISA	Enzyme-linked immunosorbent assay
EU	Uni Eropa
FAO	Organisasi Pangan dan Pertanian
FNCC	Koleksi Budaya Pangan dan Gizi
g	Gram
g	Gravitasi
GRAS	Umumnya Diakui Sebagai Aman
HD	Dosis Tinggi
IARC	Badan Internasional untuk Penelitian Kanker
IFH	Friesian Holstein Indonesia

IRMM-JRC- EU	Institute for Reference Materials and Measurements-Joint Research Centre-European Union
KP4	Kebun Pendidikan, Penelitian dan Pengembangan Pertanian
kg	Kilogram
L	Liter
LD	Dosis Rendah
LPPT	Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu
ng	Nanogram
NRF	Cairan Rumen yang Tidak Disterilkan
ml	Millilitre
OD	Kepadatan optik
OM	Bahan Organik
OMD	Kecernaan Bahan Organik
OMI	Asupan Bahan Organik
Ppb	bagian per miliar
Ppt	bagian per triliun
SNF	Padat Tanpa Lemak
SPSS	Solusi Produk dan Layanan Statistik
SRF	Cairan Rumen yang Disterilkan
TD50	Dosis Tumor 50
UGM	Universitas Gadjah Mada
USA	Amerika Serikat
USDA	Departemen Pertanian Amerika Serikat
WHO	Organisasi Kesehatan Dunia
ZE	Zeolit
µg	Mikrogram

**AFLATOKSIN  
DAMPAK DAN  
PENANGGULANGANNYA PADA  
SAPI PERAH**

**Ika Sumantri**

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

Suhu lingkungan yang tinggi dan kelembaban relatif yang tinggi di daerah tropis seperti Indonesia sangat kondusif bagi perkembangan jamur tertentu untuk menghasilkan mikotoksin (Bryden, 2012). Dalam skala global, diperkirakan lebih dari 25% produk pertanian dunia terkontaminasi mikotoksin yang berimplikasi pada kerugian ekonomi yang besar dan bahaya bagi kesehatan masyarakat (Gowda et al., 2013).

Di antara kelompok mikotoksin, aflatoksin B1 (AFB1) diakui sebagai mikotoksin yang paling umum dan toksigenik. Aflatoksin B1 telah diklasifikasikan sebagai kelompok 1 karsinogen manusia oleh Badan Internasional untuk Penelitian Kanker (IARC) (Richard, 2007). Aflatoksin B1 bersifat toksik kronis dan akut; tergantung pada dosis dan durasi paparan, dan status fisiologis hewan (Bryden, 2012). Pada sapi perah, AFB1 menyebabkan kerusakan hati yang parah termasuk nekrosis hemoragik, infiltrasi lemak, dan proliferasi saluran empedu (Voelkel et al., 2011). Studi *in vitro* pada hepatosit manusia menunjukkan bahwa paparan jangka panjang AFB1 tingkat rendah dalam makanan akan menyebabkan hepato-karsinogen manusia (Prandini et al., 2007). Aflatoksin merupakan kofaktor untuk karsinoma hepatoseluler manusia (kanker hati), diperkirakan paparan aflatoksin dapat berkontribusi pada 28.

Karena AFB1 dalam pakan dapat ditransfer ke dalam susu sebagai metabolit terhidroksilasi, pembawa AFB1 dari pakan ke Aflatoksin M1 (AFM1) dalam susu dan produk susu adalah cara utama transfer aflatoksin dari pakan ke rantai makanan (Galvanoet al., 1998; Mohammadi, 2011). Pengujian di laboratorium hewan menunjukkan bahwa AFM1 memiliki toksisitas dan karsinogenisitas yang mirip dengan AFB1 (Egmond, 1989). Beberapa penelitian melaporkan bahwa hewan muda lebih rentan terhadap AFM1 daripada hewan dewasa (Elnezami et al., 1995; Ghiasian et al., 2007). Oleh karena itu, pembawa AFB1 dari pakan yang terkontaminasi ke dalam susu telah menjadi perhatian

khusus dan diatur untuk pakan di banyak negara (Voelkel et al., 2011).

Karena sifatnya yang menyebabkan kanker (karsinogenik), asupan aflatoksin oleh makanan harus serendah mungkin. Regulasi tentang cemaran aflatoksin dimaksudkan untuk menerapkan prinsip ALARA (As Low As Reasonable Achievable) (Voelkel et al., 2011; Duarte et al., 2013). Batas ambang kontaminasi aflatoksin bervariasi antar negara sehubungan dengan beberapa faktor; seperti perkiraan total asupan harian makanan yang terkontaminasi, kerentanan dan risiko kesehatan pada status fisiologis yang berbeda, dan bahkan alasan ekonomi (Prandini et al., 2007; Voelkel et al., 2011; Bryden, 2012). Menurut rekomendasi komite ahli FAO/WHO, batas toleransi untuk AFB1 adalah 5 ppb produk makanan, dan untuk AFM1 adalah 500 ppt produk susu (Bhat et al., 2010). Tingkat toleransi FDA/USDA untuk AFB1 dalam makanan manusia adalah 20 ppb; untuk *finishing* pakan sapi potong 300 ppb; untuk pembibitan sapi dan unggas 100 ppb; dan untuk sapi perah 20 ppb (USDA, 2009; Bhat et al., 2010). European Union (EU) memberlakukan batas toleransi maksimum yang lebih ketat, yaitu 25 ppt untuk AFM1 dalam makanan bayi termasuk susu formula; 50 ppt AFM1 dalam susu untuk orang dewasa; dan 5 ppb AFB1 dalam pakan sapi perah (Richard, 2007; Voelkel et al., 2011; Duarte et al., 2013).

Beberapa pendekatan telah dilakukan untuk mengurangi paparan aflatoksin dan efek toksiknya pada manusia dan hewan, seperti inaktivasi termal, iradiasi, amoniasi, dan inaktivasi mikroba. Namun, sebagian besar metode ini mahal, memakan waktu, hanya sebagian efektif, atau tidak praktis (Kabak et al., 2006; Li et al., 2010). Saat ini penggunaan adsorben sedang banyak dipelajari dan direkomendasikan untuk menghambat penyerapan aflatoksin di saluran cerna. Pendekatan ini lebih efektif dan dapat diterapkan karena beberapa alasan, seperti relatif murah, umumnya diakui aman (GRAS), dan dapat dengan mudah diformulasikan dalam ransum (Kutz et al., 2009).

Banyak adsorben telah dipelajari dalam melindungi hewan terhadap efek samping mikotoksin. Namun hanya beberapa

kelompok adsorben yang paling banyak diteliti karena efikasi, spesifisitas, dan mekanisme adsorpsinya, antara lain lempung (mineral silikat), karbon aktif, dan dinding sel ragi (EFSA, 2009).

Penelitian secara *in vitro* merupakan langkah awal dalam pemilihan adsorben untuk menilai kemampuan adsorben yang harus dipelajari lebih lanjut dengan eksperimen secara *in vivo* yang dirancang untuk menentukan efikasi dan keamanannya (Li et al., 2010). Namun, banyak hasil dari percobaan *in vitro* yang tidak sebanding dengan hasil *in vivo*, seperti penelitian yang dilakukan oleh Galvano et al. (1996a), Galvano et al. (1996b), Diaz et al. (2004) dan Moschini et al. (2008). Oleh karena itu, direkomendasikan untuk melakukan studi *in vitro* terhadap adsorben menggunakan model saluran cerna dan cairan pencernaan hewan yang akan diterapkan secara *in vivo*.

## BAB II

# AFLATOKSIN: PRODUKSI, SIFAT KIMIA, DAN TOKSISITAS

### A. Faktor yang mempengaruhi produksi aflatoksin

Aflatoksin adalah metabolit sekunder yang diproduksi terutama oleh spesies jamur *Aspergillus flavus* dan *A. parasiticus*. Strain toksigenik dari spesies tersebut umumnya ditemukan dalam pakan ternak penting seperti bungkil kacang tanah, bungkil biji kapas, bungkil kopra, dan jagung (Pietri et al., 1992; Gowda et al., 2013). Kontaminan mikotoksin yang paling toksik dan sering dihasilkan pada bahan pakan tersebut adalah aflatoksin B1 (AFB1) (Coulombe, 1993).

Strain toksigenik *A. flavus* dan *A. parasiticus* membutuhkan kondisi kelembaban dan substrat pakan tertentu untuk menghasilkan tingkat toksinnya yang cukup besar. Pembentukan aflatoksin dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu suhu, kelembaban, komposisi dan sifat substrat, serta spesies inang (Dhanasekaran et al., 2011). Produksi aflatoksin lebih tinggi pada lemak kaya dari pada biji bertepung; oleh karena itu asam lemak telah lama diasosiasikan sebagai prekursor untuk produksi aflatoksin (Broadhagen dan Keller, 2006).

Untuk menghindari produksi aflatoksin oleh *A. flavus* atau *A. parasiticus*, kadar air biji-bijian pada kondisi penyimpanan harus kurang dari 14% pada kelembaban relatif kurang dari 70% (Kabak et al., 2006). Biji-bijian yang disimpan di bawah kelembaban tinggi (kelembaban >14%) pada suhu hangat (>20°C) dan atau tidak dikeringkan dengan baik berpotensi terkontaminasi oleh aflatoksin (Richard, 2007).

Iklim tropis seperti Indonesia sangat kondusif bagi kontaminasi jamur pada produk pertanian dan mikotoksin selanjutnya. Survei tiga tahun yang dilakukan oleh Rodriguez dan Nahrer (2012) menunjukkan tingginya prevalensi kontaminasi mikotoksin pada bahan pakan dan pakan dari daerah tropis, terutama aflatoksin yang ditemukan pada 82%

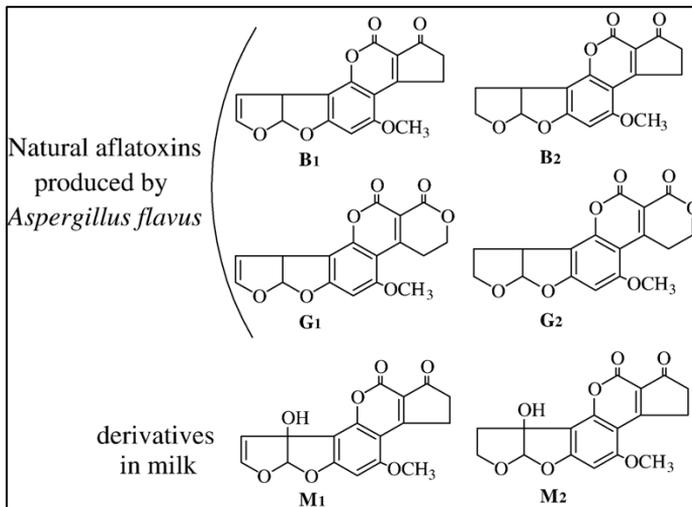
sampel jagung yang berasal dari Asia Selatan dan 71% pada sampel yang berasal dari Asia Tenggara.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), suhu di Provinsi Jawa Tengah berkisar antara 23,0 - 33,5oC dengan kelembaban relatif antara 75 - 83% (BPS Jateng, 2013) dan di Kabupaten Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta suhu berkisar antara 18,7 - 33,4oC dengan kelembaban udara relatif antara 20 - 100% (BPS Sleman, 2013). Dengan demikian, kondisi iklim di sentra peternakan sapi perah di wilayah Jawa Tengah ini sangat menguntungkan bagi jamur untuk tumbuh dan menghasilkan aflatoksin.

Banyak spesies jamur mikotoksigenik dapat tumbuh dan menghasilkan metabolit toksik mereka dalam kondisi yang sama. Oleh karena itu dalam makanan atau bahan pakan, aflatoksin jarang ditemukan sebagai kontaminan tunggal. Kontaminasi mikotoksin secara bersamaan dapat terjadi tergantung pada lingkungan dan kondisi substrat (Kolossova dan Stroka, 2011).

## **B. Sifat kimia dan toksisitas aflatoksin**

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, kelompok aflatoksin terdiri dari banyak senyawa yang terkait erat. Berdasarkan warna fluoresennya (B mengacu pada warna biru dan G mengacu pada warna hijau) dan mobilitas kromatografi relatif, aflatoksin diidentifikasi sebagai aflatoksin B1 (AFB1), aflatoksin B2 (AFB2), aflatoksin G1 (AFG1) dan aflatoksin G2 (AFG2). ). Baru-baru ini, metabolit susu AFB1 ditemukan dan diberi nama aflatoksin M (AFM) (Egmond, 1989).



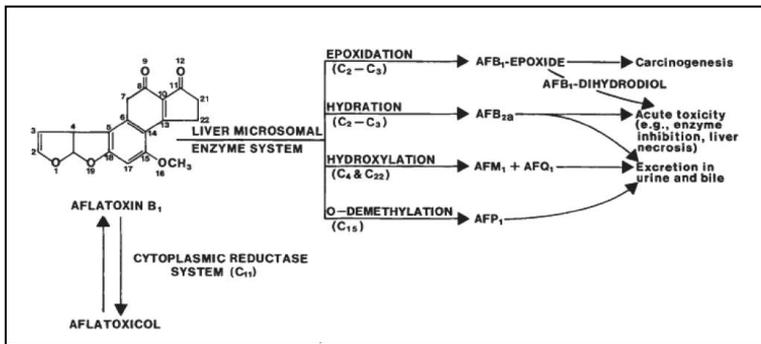
**Gambar 1.** Struktur kimia aflatoksin (Jaynes et al., 2007).

Aflatoksin adalah zat kristal, larut dalam pelarut polar sedang seperti kloroform dan metanol, dan larut dalam air dengan kadar 10 - 20 mg/L. Aflatoksin cukup stabil di banyak makanan dan cukup tahan terhadap degradasi, seperti perlakuan pH dan suhu (Feddern et al., 2011).

Egmond (1989) dan Dhanasekaran et al. (2011) menjelaskan bahwa AFB1 memiliki molekul difuran dan kumarin yang bertanggung jawab atas sifat toksik dan karsinogenik AFB1. Aflatoksin B1 tidak terdegradasi dalam rumen, bahkan AFB1 diubah menjadi aflatoksikol yang memiliki toksisitas serupa dengan AFB1 (Kiessling et al., 1984). Yiannikouris dan Jouany (2002) mengulas bahwa AFB1 dapat mengganggu pertumbuhan dan aktivitas metabolisme mikroba rumen, sedangkan banyak bakteri rumen dihambat secara sempurna oleh AFB1 pada konsentrasi kurang dari 10 g per ml.

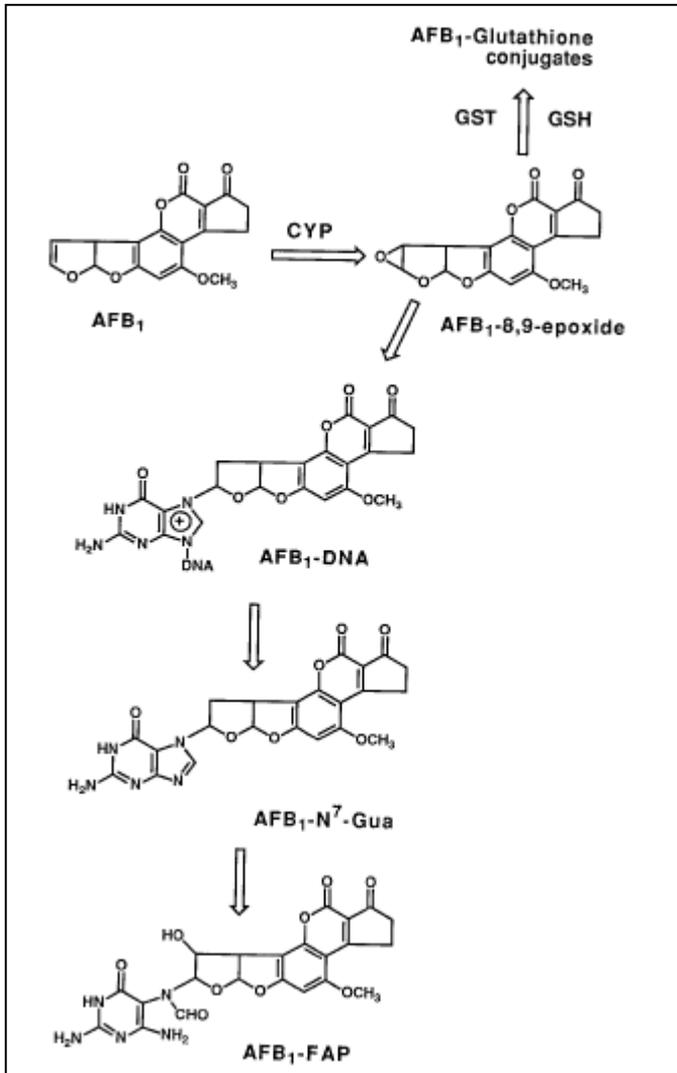
Yiannikouris dan Jouany (2002) menggambarkan biotransformasi AFB1 di hati sebagai berikut; Fase pertama terdiri dari reaksi reduktif, oksidatif, dan hidrolitik. Enzim utama yang terlibat dalam reaksi reduksi adalah epoksida-hidrolase, aldehida-reduktase atau keton-reduktase. Reaksi

oksidasi dikendalikan oleh mikrosomal sitokrom P450, mono-oksigenase yang mengandung flavin, sintase dari prostaglandin, amino-oksidadase, dan alkohol dehidrogenase, sedangkan enzim esterase dan amidase non-spesifik bertanggung jawab untuk reaksi hidrolitik. Fase kedua terdiri dari reaksi konjugasi pada molekul yang terbentuk selama fase pertama. Enzim yang bertanggung jawab pada fase kedua adalah mikrosomal glucuronosyl transferases, sulpho-transferases sitosol, methyl-transferases, aminoacyl-transferases, S-glutathione-transferases, dan N-acetyltransferases. Metabolisme AFB<sub>1</sub> di jalur kemungkinan yang berbeda dijelaskan pada gambar 2.



**Gambar 2.** Metabolisme aflatoksin di hati (Dhanasekaran et al., 2011).

Reaksi pada fase kedua menurunkan toksisitas AFB<sub>1</sub>, sedangkan epoksidasi pada fase pertama mengaktifkan genotoksisitas AFB<sub>1</sub> (Chou dan Chen, 1997). Epoksidasi menghasilkan metabolit AFB<sub>1</sub>-8,9-epoksida yang sangat reaktif; metabolit ini dapat terikat pada DNA, RNA, atau protein. Pengikatan secara kovalen pada DNA dianggap sebagai tahapan penting dalam karsinogenesis aflatoksin (Coulombe, 1993; Chou dan Chen, 1997; Dhanasekaran et al., 2011; Feddern et al., 2013). Aktivasi metabolisme AFB<sub>1</sub> menjadi zat mutagenik dan karsinogenik diilustrasikan pada Gambar 3 di bawah ini:



**Gambar 3.** Aktivasi metabolik AFB<sub>1</sub> dan pembentukan adisi AFB<sub>1</sub>-DNA. CYP = sitokrom P450; GSH = glutathione; GSP = glutathione S-transferase (Chou dan Chen, 1997).

Aflatoxin merupakan senyawa toksik, mutagenik, teratogenik, dan karsinogenik. AFB<sub>1</sub> merupakan senyawa yang paling toksigenik dan karsinogenik dibandingkan dengan anggota famili mikotoksin lainnya. Karena potensi

karsinogenisitasnya, aflatoksin sebagai kelompok (AFB1, AFB2, AFG1, AFG2 dan AFM1) diklasifikasikan sebagai karsinogen kelompok 1 (IARC, 2002).

Konsumsi makanan/pakan yang terkontaminasi AFB1 dengan kadar yang tinggi dapat menyebabkan aflatoksikosis akut dengan hasil yang fatal. AFB1 dilaporkan bertanggung jawab untuk perkembangan kanker hati, kwashiorkor, dan gangguan pertumbuhan anak sebagai akibat konsumsi terus menerus pangan yang terkontaminasi AFB1 pada dosis rendah (Bhat et al., 2010). Gejala utama aflatoksikosis akut pada mamalia meliputi lesu, ataksia, bulu kasar, dan perlemakan hati yang membesar. Konsumsi pakan yang terkontaminasi aflatoksin pada hewan ternak dilaporkan mengurangi konsumsi pakan dan efisiensi pakan dan kemudian menyebabkan penurunan kinerja, penurunan berat badan, gangguan reproduksi, penurunan kekebalan, dan residu dalam produk hewani (Kabak et al., 2006; Bhat et al., 2010; Kolossova dan Stroka, 2011; Bryden, 2012).

Sapi perah berproduksi tinggi dilaporkan lebih sensitif terhadap aflatoksin dibandingkan sapi potong (Applebaum et al., 1982). Paparan aflatoksin pada sapi perah menyebabkan gangguan fungsi hati dan mengurangi konsumsi pakan, yang dapat berdampak pada penurunan produksi susu (Fink-Gremmel, 2008a). Whitlow dan Hagler menyatakan bahwa diet yang mengandung kadar aflatoksin di atas 100 ppb dapat berdampak buruk pada kesehatan dan kinerja hewan. Penelitian menunjukkan bahwa sapi memiliki toleransi yang tinggi terhadap pakan yang terkontaminasi mikotoksin (Fink-Gremmel, 2008b), sehingga durasi paparan dan tingkat kontaminasi berpengaruh terhadap efek aflatoksin pada hewan (Pietri et al., 2009).

### C. Transfer Aflatoksin dari Pakan ke Susu pada Sapi Perah

Aflatoksin M1 adalah metabolit terhidroksilasi dari AFB1 dan dapat ditemukan dalam susu atau produk turunan susu ketika hewan menyusui mengkonsumsi bahan pakan yang terkontaminasi dengan AFB1 (Prandini et al., 2009). Studi terbaru mengungkapkan transfer AFB1 menjadi AFM1 juga ditemukan di pada babi yaitu di daging, ginjal, dan hati. Pada unggas dilaporkan bahwa carry-over aflatoksin ke dalam AFM1 pada albumen lebih tinggi dibandingkan pada kuning telur (Voelkel et al., 2011). Penelitian yang dilakukan oleh Sumantri et al. (2017) menunjukkan AFM1 ditemukan pada daging, hati dan telur itik. Tingkat cemaran AFM1 pada hati itik bahkan dilaporkan melebihi batas yang diperbolehkan untuk dikonsumsi oleh BPOM (500 ppt).

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 (halaman 8), pada ruminansia AFM1 adalah metabolit AFB1 yang dihasilkan melalui kombinasi sistem oksidase mikrosom hati (sitokrom P-450) dan hidroksilasi (Coulombe, 1993; Yiannikouris dan Jouany, 2002). Hidroksilasi AFB1 pada atom C4 menghasilkan AFM1 yang kurang toksik dibandingkan AFB1. Hidroksilasi meningkatkan kelarutan aflatoksin dalam air (Yiannikouris dan Jouany, 2002); sehingga dapat terkonjugasi menjadi asam glukoronat dan selanjutnya diekskresikan melalui empedu, atau masuk ke sirkulasi sistemik yang dapat diekskresikan dalam urin dan susu (Fink-Gremmels, 2008a; Dhanasekaran et al., 2011).

Penelitian menunjukkan bahwa tingkat karsinogenik dan mutagenik AFM1 tidak setinggi AFB1, tetapi tampaknya dampak toksisitasnya sama dengan AFB1 (Feddern et al., 2011). Tingkat karsinogenik AFM1 kira-kira seper-sembilan kali daripada AFB1. Aflatoksin B1 memiliki TD50 (dosis tumor 50) sebesar 1150 ng per kg berat badan per hari dan AFM1 memiliki TD50 sebesar 10380 ng per kg berat badan per hari (Gimeno, 2014).

Karena berat molekulnya yang rendah (312,27 Dalton), AFB1 dengan cepat terabsorpsi di saluran cerna secara pasif (Yiannikouris dan Jouany, 2002). Uji klinis menunjukkan AFB1 terikat oleh albumin sebagai adduksi AFB1-albumin dalam sampel darah (Deng et al., 2010). Pengukuran konsentrasi molekul aflatoksin-albumin dari darah tepi menunjukkan molekul tersebut memiliki waktu paruh dalam tubuh selama 30-60 hari. Karena waktu paruhnya yang panjang, metabolit ini dapat menjadi indikator yang dapat digunakan untuk mengetahui adanya paparan kronis aflatoksin pada manusia (William et al., 2004).

Sebagai metabolit, AFB1 dengan cepat muncul dalam darah hanya 15 menit setelah konsumsi (Moschini et al., 2006). Dalam susu, metabolit dapat muncul sekitar 12 jam setelah konsumsi pakan terkontaminasi AFB1 (Diaz et al., 2004). Pada sapi perah laktasi yang mendapat pakan yang terkontaminasi AFB1, konsentrasi AFM1 yang stabil dalam susu muncul dalam 2-3 hari berikutnya setelah ternak mengkonsumsi pakan terkontaminasi dan konsentrasi nol dicapai dalam 2-3 hari setelah pakan ternak mendapat pakan tidak terkontaminasi AFB1 (Egmond, 1989).

Pada sapi perah, jumlah AFM1 yang diekskresikan ke dalam susu dapat mencapai 3% dari konsumsi AFB1 (Diaz et al., 2004). Egmond (1989) menyatakan bahwa sapi yang mengkonsumsi AFB1 kurang dari 40 g/ekor/hari menghasilkan susu dengan kandungan AFM1 kurang dari 0,05 ppb. Studi transfer aflatoksin pada sapi Indonesian Frisian Holstein oleh Agus et al. (2010) menunjukkan bahwa carry-over berkisar antara 0,08 hingga 0,20%; yang jauh lebih rendah dari perkiraan carry-over aflatoksin untuk sapi perah di wilayah sub tropis berdasarkan model carry-over yang dikembangkan oleh Eijkeren et al. (2006). Britzi et al. (2013) melaporkan tingkat carry-over yang tinggi dari sapi laktasi produksi tinggi di Israel yaitu masing-masing 5,8% dan 2,5% untuk sapi pertengahan laktasi dan akhir laktasi. Beberapa variabel yang mempengaruhi carry-over aflatoksin, yaitu: tingkat

kontaminasi (Egmond, 1989), tahap laktasi (Veldman et al., 1992; Britzi et al., 2013), produksi susu (Masoero et al., 2007; Britzi et al., 2013), perbedaan spesies (Battacone et al., 2003) dan variabilitas individu (Egmond, 1989).

Menurut Takahashi (1999), sapi perah di Indonesia sebagian besar merupakan ras murni Friesian Holstein yang didatangkan dari Australia dan Selandia Baru, oleh karena itu keturunan dari sapi FH murni yang kemudian lahir di Indonesia disebut sebagai Indonesian Friesian Holstein (IFH). Namun, sejumlah kecil persilangan antara Zebu dan Friesian Holstein dapat ditemukan di dataran rendah (kurang dari 500 meter di atas permukaan laut) di Grati Provinsi Jawa Timur. Sebagai sapi ras murni, sapi IFH dianggap memiliki potensi genetik produksi susu antara 5.000 - 6.000 kg/tahun, bila dilakukan manajemen pemberian pakan secara intensif. Namun produksi susu sebenarnya hanya 10 kg/hari karena kurangnya pengelolaan pakan dan lingkungan.

Paparan AFM1 pada manusia dapat membahayakan Kesehatan karena potensi karsinogenitasnya mirip dengan AFB1 (IARC, 2002). Aflatoksin M1 tahan terhadap perlakuan panas dan kondisi asam dalam susu fermentasi, sehingga AFM1 dapat ditemukan pada produk susu (yoghurt, keju, krim, atau mentega) yang terbuat dari susu yang terkontaminasi (Kos et al., 2014). Transfer AFB1 pakan menjadi AFM1 dalam susu telah menjadi perhatian besar karena paparan AFMI terhadap manusia terutama terjadi melalui konsumsi susu yang terkontaminasi. Selain itu produk susu merupakan bahan makanan penting bagi manusia, terutama anak-anak (Galvano et al., 1998) ; Mohammadi, 2011; Carraro et al., 2014).

#### **D. Kejadian Cemaran Aflatoksin dalam Pakan dan Susu**

Beberapa survei telah dilakukan di Indonesia untuk mempelajari kejadian dan tingkat kontaminasi aflatoksin pada produk pertanian dan pakan ternak. Sardjono et al. (1992) menemukan bahwa 28% kacang tanah dan 64% sampel jagung

yang dikumpulkan di peternakan, dari tengkulak, dan pengecer dari beberapa daerah di Indonesia, terkontaminasi *A. flavus* atau *A. parasiticus*. Ali et al. (1998) menemukan 11 dari 16 sampel jagung (69%), yang dikumpulkan di Indonesia, terkontaminasi aflatoksin total dengan kadar rata-rata 119 ppb dan kadar maksimum 487 ppb.

Goto et al. (1999) meneliti 26 sampel pertanian dari pasar di Jawa Tengah dan Timur dan Bali, Indonesia. Mereka menemukan bahwa AFB1 terdeteksi pada lima dari delapan sampel kacang tanah (63%) dan empat dari lima sampel jagung (80%). Mereka juga melaporkan bahwa tingkat tertinggi AFB1 mendekati 6000 ppb dalam sampel kacang tanah dan 300 ppb dalam sampel jagung. Dalam penelitian lain, Purwoko et al. (1991) menemukan 91% dari 34 sampel jagung yang diuji terkontaminasi aflatoksin, dengan konsentrasi berkisar antara 22 hingga 6171 ppb.

**Tabel 1.** Kejadian cemaran AFB1 pada berbagai bahan pakan dan pakan dari Provinsi Lampung dan Jawa Timur

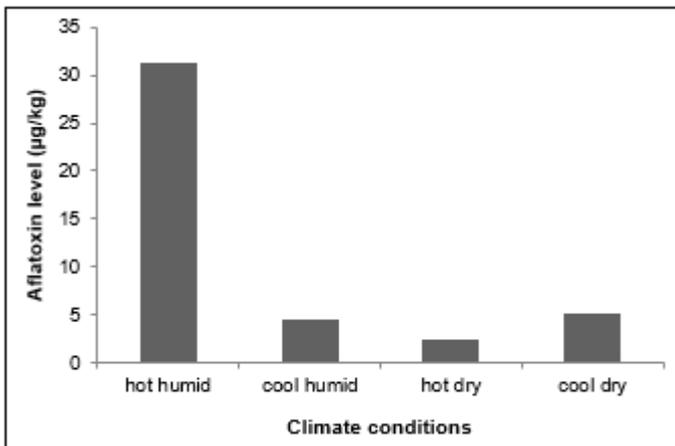
Sampel	Persentase sampel positif, kisaran kontaminasi, dan rata-rata kontaminasi	
	Lampung	East Java
Jagung	87% 0 - 112 ppb 32 ppb	100% 2 - 147 ppb 25 ppb
Dedak Beras	NA	100% 5 - 261 ppb 70 ppb
Konsentrat	NA	100% 20 - 198 ppb 134 ppb
Umpan Komersial	70% 0 - 40 ppb 14 ppb	100% 4 - 131 ppb 31 ppb

Diadaptasi dari Bahri et al. (2005).

tidak = Data tidak tersedia.

Bahri et al. (2005) melakukan penelitian bahan pakan dan pakan unggas di Provinsi Lampung dan Jawa Timur Indonesia. Penulis menemukan AFB1 paling banyak terdeteksi pada bahan pakan dan pakan komersial dengan kejadian antara 70 - 100%. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1, kejadian dan tingkat kontaminasi AFB1 yang tinggi ditemukan pada pakan konsentrat dan dedak dari Jawa Timur.

Kondisi penyimpanan yang tidak memadai dapat meningkatkan kandungan AFB1 dalam bahan pakan atau konsentrat, dan dapat meningkat dengan semakin panjangnya rantai pemasaran pakan dikarenakan suhu dan kelembaban yang tinggi dalam penyimpanan. Percobaan Thomson dan Henke (2000), seperti digambarkan pada Gambar 3, menunjukkan produksi AFB1 tertinggi pada suhu antara 29 - 32oC dan kelembaban relatif antara 85 - 88%.



**Gambar 4.** Pengaruh suhu dan kelembaban terhadap produksi aflatoxin pada pakan ternak. Iklim panas memiliki suhu antara 29-32oC, iklim dingin memiliki suhu antara 14-18oC, iklim lembab berkisar antara 85-88% kelembaban relatif, dan iklim kering berkisar antara 35-40% kelembaban relatif. Gambar diadaptasi dari Henke dan Thomson (2005).

Metabolit AFB1 diekskresikan dalam susu sapi laktasi yang mengkonsumsi pakan yang terkontaminasi AFB1. Senyawa ini (AFM1) memiliki aktivitas genotoksik yang tinggi dan juga diketahui bersifat hepatotoksik dan karsinogenik (Egmond, 1989). Kejadian kontaminasi AFM1 pada susu dan produk susu di negara-negara Asia tampaknya relatif tinggi. Di Iran, Kamkar (2005) melaporkan bahwa 76,6% sampel susu terkontaminasi oleh AFM1, dan 40% dari sampel positif ini menunjukkan kadar AFM1 melebihi ambang batas yang diterima oleh negara-negara Uni Eropa (50 ppt). Di Korea, 58% sampel susu terdeteksi mengandung AFM1 dengan konsentrasi rata-rata lebih dari 50 ppt (Kim et al., 2000). Tingginya kejadian dan tingkat kontaminasi AFM1 dilaporkan di India oleh Rastogi et al. (2004). Mereka menemukan bahwa 87% sampel terkontaminasi dengan konsentrasi AFM1 rata-rata 299 ppt. Penelitian tersebut menunjukkan 99% dari sampel yang positif mengandung AFM1 melebihi batas toleransi (50 ppt).

Studi di 5 provinsi di China menemukan bahwa lebih dari 75% sampel terkontaminasi oleh AFM1 pada konsentrasi 5-123 ppt sedangkan 10% sampel melebihi batas legal UE 50 ppt (Zhang et al., 2013). Di Thailand, Ruangwises dan Ruangwises (2010) menemukan 100% sampel susu mentah yang dikumpulkan dari peternakan individu terkontaminasi oleh AFM1 dengan konsentrasi rata-rata melebihi batas peraturan UE. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi AFM1 lebih tinggi pada musim dingin (rata-rata 89 ppt) dibandingkan pada musim hujan dan musim panas, masing-masing rata-rata 71 dan 50 ppt.

Berbeda dengan data AFB1, hanya sedikit data kontaminasi AFM1 pada susu atau produk susu di Indonesia yang dipublikasikan. Nuryono et al. (2009) melaporkan bahwa 100% sampel yang diambil dari Provinsi Yogyakarta mengandung AFM1. Namun, tingkat kontaminasinya relatif rendah dibandingkan dengan hasil survey dari negara-negara Asia lainnya. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa 42,5% sampel susu segar mengandung AFM1 kurang dari 5 ppt,

27,4% sampel mengandung antara 5 dan 10 ppt, dan 30,1% mengandung lebih dari 10 ppt. Dibandingkan dengan studi tentang tingkat AFB1 dalam bahan pakan, penelitian ini memperlihatkan tidak ada sampel susu yang terkontaminasi AFM1 melebihi batas regulasi UE untuk cemaran AFM1 dalam makanan untuk bayi dan dewasa, yaitu masing-masing 25 dan 50 ppt.

#### **E. Penggunaan Adsorben Aflatoksin dalam Mengurangi Transfer Aflatoksin dan Mencegah Aflatoksikosis**

Dalam rantai makanan, cara terbaik untuk menghindari risiko aflatoksin adalah dengan mengurangi tingkat produksi aflatoksin dengan melakukan tata laksana pasca panen yang baik, mengontrol kondisi penyimpanan, atau penggunaan agen biologis dan kimia dalam penyimpanan (Huwig et al., 2001; Kabak et al., 2006). ). Namun kondisi iklim tropis dan pengelolaan pasca panen yang buruk mengakibatkan tingginya kejadian kontaminasi aflatoksin pada produk pertanian di negara berkembang, seperti halnya Indonesia (Bryden, 2012). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan khusus untuk mengelola bahan pakan ternak yang telah terkontaminasi aflatoksin menjadi pakan tanpa menimbulkan efek negatif pada hewan (aflatoksikosis) dan adanya residu aflatoksin dalam produknya.

Beberapa metode detoksifikasi, seperti perlakuan termal, kimia, dan mikroba, tidak praktis, aman, dan efektif untuk mengurangi efek buruk aflatoksin dan transfernya ke produk hewani. Saat ini, metode penghambatan penyerapan AFB1 di saluran cerna hewan merupakan metode yang diadopsi secara luas untuk tujuan tersebut (Diaz et al., 2004; Kabak et al., 2006; Moschini et al., 2008, Kutz et al., 2009, Li et al., 2010). Penambahan adsorben dalam pakan dapat menurunkan bioavailabilitas AFB1 di saluran cerna. Berbagai mineral lempung (seperti bentonit, zeolit, montmorillonit, dan Hydrated Sodium Calcium Alluminosilikat), glukomanan teresterifikasi, karbon aktif, dan adsorben lainnya telah

dipelajari secara luas untuk mengurangi penyerapan aflatoksin pada saluran cerna hewan (Kabak et al., 2006,; Li et al., 2010).

Adsorben dapat disintesis secara industri atau diperoleh dari sumber alami. Adsorben alami dari sumber yang berbeda mungkin memiliki komposisi yang berbeda yang dapat berdampak pada daya ikat (Feddern et al., 2013). Struktur fisik dan sifat kimia adsorben berperan penting dalam efektivitas adsorben untuk mengikat aflatoksin, seperti total muatan dan distribusi muatan, ukuran pori-pori, dan luas permukaan dari adsorben (Huwig et al., 2001).

Banyak adsorben yang telah diteliti efektivitasnya dalam melindungi hewan dari efek samping mikotoksin. Namun, hanya beberapa kelompok adsorben yang diaplikasikan berdasarkan efektivitas, spesifisitas, dan mekanisme adsorpsinya. Contoh adsorben yang menunjukkan afinitas tinggi terhadap mikotoksin, khususnya aflatoksin, dijelaskan dalam paragraf berikut:

#### **1. Arang aktif**

Arang aktif adalah serbuk tidak larut yang dibentuk dengan pirolisis bahan organik dan dibuat melalui proses aktivasi yang bertujuan untuk mengembangkan struktur yang sangat berpori (Galvano et al., 2001). Arang aktif atau karbon aktif merupakan bahan yang sangat berpori dengan rasio permukaan terhadap massa yang tinggi (500 - 3500 m<sup>2</sup>/g). Arang aktif adalah adsorben yang relatif tidak spesifik sehingga sumber bahan organik dalam pembuatan arang aktif mungkin memiliki efektivitas yang berbeda untuk mengadsorpsi mikotoksin. Karena bersifat non selektif, arang aktif juga dapat menyerap nutrisi penting, terutama jika konsentrasinya dalam pakan jauh lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi mikotoksin. Studi oleh Hatch et al. (1982) menunjukkan bahwa pemberian arang aktif dosis tinggi bermanfaat pada keracunan akut karena tingginya jumlah asupan aflatoksin pada kambing (Huwigh et al., 2001).

## 2. Bentonit

Bentonit merupakan bahan alam yang dominan terdiri dari mineral lempung dari kelompok smektit. Bentonit relatif murni dan ditemukan di seluruh dunia. Smektit adalah kelompok mineral phyllosilicate yang meliputi montmorillonit, beidellite, nontronite, saponite, dan hectorite. Smektit akan mengembang pada pelarut air/polar dan membentuk wilayah interlayer (Jayness dan Zartman, 2011). Bentonit sebagian besar terdiri dari montmorillonit, hingga 70%, dan komposisinya bervariasi tergantung asal wilayah atau pertambangan. Montmorillonite mengadsorpsi senyawa organik baik di permukaan atau di dalam ruang interlayer-nya (Ramos et al., 1996). Hasil *in vitro* menunjukkan montmorillonit memiliki kemampuan untuk mengikat aflatoksin, zearalenon, dan okratoksin A (Kolossova et al., 2009).

## 3. Zeolit

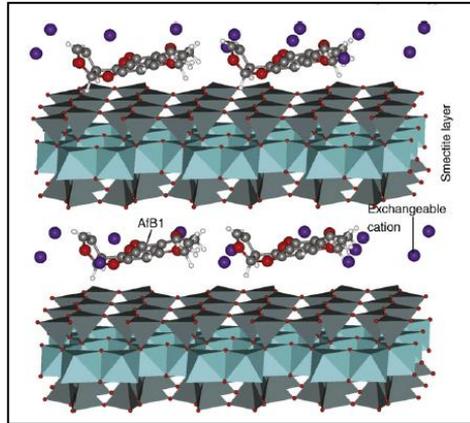
Mirip dengan bentonit, zeolit adalah kelompok lempung yang mengandung aluminosilikat. Huwig et al. (2001) menjelaskan bahwa zeolit terdiri dari tetrahedron  $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$  sebagai dua blok bangunan dasarnya dengan atom logam di pusat masing-masing tetrahedron. Kajian zeolit alam dari Provinsi Jawa Timur Indonesia menunjukkan komponen utama zeolit adalah modernit, levynit, dan analsim (Nuryono et al., 2012). Penggunaan zeolit telah menunjukkan hasil yang menjanjikan untuk mengurangi aflatoksikosis. Penambahan zeolit alam pada ransum yang mengandung aflatoksin 0,1 ppm sebesar 0,5% cukup mengurangi efek buruk aflatoksin terhadap kinerja ayam pedaging (Kolossova dan Stroka, 2011). Berbeda dengan bentonit, zeolit telah menunjukkan efisiensi terhadap toksikosis zearalenon oleh beberapa penelitian *in vivo* (Kolossova et al., 2009).

#### **4. Dinding sel ragi**

Ragi atau dinding sel yeast berpotensi sebagai adsorben mikotoksin. Kolossova et al. (2009) mengungkapkan bahwa fraksi -D-glukan dinding sel bertanggung jawab atas mekanisme pengikatan mikotoksin melalui ikatan Hidrogen dan Van Der Waals. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa dinding sel khamir kurang efisien dibandingkan dengan adsorben kelompok lempung karena kapasitas pengikatannya yang rendah dan efeknya pada kinerja hewan yang terpapar dengan pakan yang terkontaminasi aflatoksin (Diaz et al, 2004; Li et al., 2010). Namun demikian, dinding sel khamir memiliki spesifisitas pengikatan yang lebih luas dibandingkan dengan adsorben anorganik yang membuatnya lebih efektif untuk diaplikasikan pada pakan yang terkontaminasi beberapa jenis mikotoksin (Kolossova et al., 2009).

#### **F. Faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas adsorben dalam pengikatan aflatoksin**

Jaynes et al. (2007) dan Deng et al. (2010) menjelaskan bahwa kelembaban dan bahan pakan lainnya dapat mengganggu mekanisme ikatan antara adsorben dan AFB1, yang mempengaruhi efektivitas dan kapasitas adsorpsi adsorben. Studi oleh Deng et al. (2010) menyimpulkan bahwa, dalam kondisi kering, ikatan utama antara AFB1 yang teradsorpsi dan smektit adalah interaksi ion-dipol dan koordinasi antara kation yang dapat ditukar dan gugus karbonil. Sedangkan, dalam kondisi lembab, gaya ikatan utama adalah ikatan hidrogen antara gugus karbonil dan air cangkang hidrasi kation yang dapat ditukar (Gambar 5).



**Gambar 5.** Model molekul AFB1 yang diusulkan menginterkalasi ruang interlayer smektit (Deng et al., 2010)

Sumber adsorben yang berbeda akan berbeda dalam efektivitas dan kapasitasnya untuk menurunkan kadar AFM1 dalam susu karena perbedaan komposisi dan mekanisme kerja senyawa aktifnya (Kutz et al., 2009). Selanjutnya, efektivitas adsorben dalam pengikatan AFB1 antara percobaan *in vitro* dan *in vivo* tidak selalu sebanding. Eksperimen *in vitro* dari adsorben aflatoksin adalah alat skrining yang harus ditambah dengan studi *in vivo* yang dirancang untuk menentukan efektivitas dan keamanannya (Li et al., 2010). Galvano et al. (1996a) dan Galvano et al. (1996b) menguji dua produk karbon aktif komersial. Kedua produk mengikat lebih dari 95% AFB1 saat diuji *in vitro* tetapi hanya satu produk yang mengurangi transmisi AFM1 ke dalam susu *in vivo*. Diaz et al. (2004) meneliti enam agen sekuestrasi (karbon aktif, 3 Na-bentonit, glukomanan teresterifikasi, dan Ca-bentonit) yang mengikat lebih dari 96% AFB1 dalam percobaan sebelumnya. Eksperimen *in vivo* oleh Diaz et al. (2004) menunjukkan hanya natrium bentonit dan glukomanan teresterifikasi yang efektif mengikat AFB1, meskipun daya ikatnya lebih rendah daripada hasil percobaan *in vitro*. Moschini et al. (2008) membandingkan kapasitas aluminosilikat dan produk turunan dinding ragi secara *in vitro* dan *in vivo*. Hasil mereka menunjukkan khasiat

yang berbeda antara kondisi in vitro dan in vivo. Selain itu, carry-over AFB1 ke AFM1 lebih tinggi dari 3%, asumsi carry over pada sapi perah produksi tinggi (Veldman et al., 1992; Masoero et al., 2007). (2004) menunjukkan hanya natrium bentonit dan glukomanan teresterifikasi yang efektif mengikat AFB1, meskipun daya ikatnya lebih rendah daripada hasil percobaan in vitro. Moschini dkk. (2008) membandingkan kapasitas aluminosilikat dan produk turunan dinding ragi secara in vitro dan in vivo. Hasil mereka menunjukkan khasiat yang berbeda antara kondisi in vitro dan in vivo. Selain itu, carry-over AFB1 ke AFM1 lebih tinggi dari 3%, asumsi carry over pada sapi perah hasil tinggi (Veldman et al., 1992; Masoero et al., 2007). (2004) menunjukkan hanya natrium bentonit dan glukomanan teresterifikasi yang efektif mengikat AFB1, meskipun daya ikatnya lebih rendah daripada hasil percobaan in vitro. Moschini dkk. (2008) membandingkan kapasitas aluminosilikat dan produk turunan dinding ragi secara in vitro dan in vivo. Hasil mereka menunjukkan khasiat yang berbeda antara kondisi in vitro dan in vivo. Selain itu, carry-over AFB1 ke AFM1 lebih tinggi dari 3%, asumsi carry over pada sapi perah produksi tinggi (Veldman et al., 1992; Masoero et al., 2007).

### **BAB III**

## **KEJADIAN CEMRAN AFB1 PADA PAKAN SAPI PERAH DAN AFM1 PADA SUSU SEGAR PETERNAKAN SAPI PERAH DI PROVINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA DAN JAWA TENGAH.**

### **A. Terjadinya kontaminasi aflatoksin B1 pada pakan sapi perah**

Data yang dikumpulkan dalam penelitian survei ini tidak berdistribusi normal. Tabel 3 menggambarkan kejadian dan tingkat cemaran AFB1 pada sampel pakan sapi perah dari Daerah Istimewa Yogyakarta dan Provinsi Jawa Tengah. Uji ELISA menunjukkan bahwa semua 29 sampel pakan positif mengandung AFB1 dengan rentang 4 sampai 85 ppb dan rata-rata 47 ppb. Mengacu pada batas toleransi maksimum USDA untuk AFB1 dalam ransum perah (20 ppb), 24 dari total sampel (83%) tidak sesuai untuk sapi perah laktasi.

Studi ini menemukan tingginya kejadian kontaminasi AFB1 dalam ransum susu yang serupa dengan hasil dari penelitian sebelumnya tentang terjadinya aflatoksin pada produk pertanian dan bahan pakan Indonesia. Studi tentang bahan pakan dan pakan unggas oleh Bahri et al. (2005) di Provinsi Lampung dan Jawa Timur Indonesia menyimpulkan bahwa AFB1 paling banyak ditemukan pada bahan pakan dan pakan komersial dengan kejadian antara 70 -100%. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 (halaman 14), kejadian dan tingkat kontaminasi AFB1 yang tinggi diamati pada konsentrat pakan dan dedak padi dari Jawa Timur.

Pencemaran aflatoksin B1 tidak berbeda nyata antar kelompok sampel ( $P > 0,05$ ) yaitu masing-masing 30, 44, dan 54 ppb untuk koperasi, usaha/kelompok tani, dan petani perorangan. Rata-rata kandungan AFB1 pada usahatani individu lebih tinggi dibandingkan usaha/kelompok tani dan koperasi. Petani perorangan sebagian besar membeli konsentrat susu dari pengecer atau koperasi. Dengan demikian, peternak individu berada di ujung rantai pasar pakan yang memiliki risiko tertinggi dalam penanganan pakan. Selain itu, peternak

individu menyimpan pakan atau konsentrat dalam kondisi penyimpanan dan penanganan yang buruk (Lampiran 3), seperti pakan yang disimpan tidak di ruang penyimpanan atau kondisi penyimpanan yang tidak tepat (ruangan tidak berventilasi, atap rusak, dan penyimpanan dengan lantai tanah).

Sedangkan peternak dalam kelompok tani sapi perah langsung membeli konsentrat dari pabrik pakan ternak atau koperasi. Meskipun mereka menyimpan bahan pakan atau konsentrat seperti yang dilakukan oleh masing-masing petani dan bertahan lebih dari 2 minggu (Lampiran 3), memang total waktu penebaran pakan dalam kelompok tani akan lebih singkat daripada yang dimiliki oleh masing-masing petani.

Menurut Lanyasanya dkk. (2005), bahan pakan yang digunakan untuk memformulasi ransum susu yang kaya protein dan energi sangat rentan terhadap jamur untuk menghasilkan aflatoksin. Suhu dan kelembaban tropis sangat menguntungkan bagi jamur tertentu untuk tumbuh dan menghasilkan mikotoksin. Berdasarkan data yang dipublikasikan oleh BPS, suhu harian pada bulan-bulan saat studi survei dilakukan berkisar antara 16 – 34oC di Sleman dan antara 25 – 28oC di Boyolali dengan kelembaban udara relatif berkisar antara 20 – 100% dan 75 – 83%, masing-masing (BPS Sleman, 2013; BPS Jateng, 2013). Kapang *A. flavus* atau *A. parasiticus* mampu menghasilkan aflatoksin pada kelembaban relatif lebih dari 70% dan suhu lebih dari 20°C (Kabak et al., 2006; Richard, 2007). Sintesis aflatoksin dalam pakan meningkat pada suhu di atas 27oC, kelembaban relatif di atas 62%, dan kadar air dalam pakan lebih dari 14% (Dhanasekaran et al., 2011). Referensi tersebut menunjukkan bahwa iklim mikro di daerah survei sangat kondusif bagi jamur untuk tumbuh dan menghasilkan aflatoksin.

Gambar 4 mengilustrasikan pengaruh suhu dan kelembaban pada kondisi penyimpanan yang buruk terhadap produksi aflatoksin. Hal ini menunjukkan bahwa produksi AFB1 tertinggi berada pada suhu antara 29 – 32oC dan

kelembaban relatif antara 85 – 88%. Dan itu jelas menunjukkan bahwa kandungan aflatoksin meningkat dengan penyimpanan yang lama pada kondisi yang buruk (Thomson dan Henke, 2000). Penulis menyimpulkan bahwa kondisi penyimpanan yang tidak memadai menghasilkan kandungan AFB1 yang lebih tinggi dalam ransum atau konsentrat, dan dapat meningkat pada rantai pasar yang lebih panjang. Untuk mengurangi tingkat kontaminasi aflatoksin yang tinggi di tingkat peternakan, penting untuk menerapkan praktik penyimpanan yang baik di pabrik pakan dan koperasi untuk mencegah pertumbuhan jamur dan produksi aflatoksin sejak produksi pakan.

### B. Kontaminasi aflatoksin M1 dalam sampel susu segar

Dalam penelitian ini, sampel susu dari sapi yang dikonsumsi sesuai sampel pakan dikumpulkan untuk menghitung persentase carry-over. Aflatoksin M1 ditemukan pada semua sampel susu mentah yang dikumpulkan dari peternak perorangan, usaha/kelompok tani, dan koperasi (Tabel 4). Konsentrasi AFM1 sangat berbeda nyata antar kelompok ( $P < 0,01$ ) yaitu 60 ppt pada susu individu peternak, 74 ppt pada susu dari kelompok usaha/tani, dan 148 ppt pada susu dari koperasi. Rata-rata konsentrasi AFM1 untuk semua sampel adalah 75 ppt, di mana 95% sampel melebihi batas UE untuk kandungan AFM1 untuk konsumsi bayi

**Tabel 3.** Kontaminasi aflatoksin B1 pada bahan pakan dan ransum sapi perah

Kelompok Responden	Jenis sampel	Kontaminasi AFB1									
		Positif (%)		Tingkat > 20 ppb (%)		Jarak (ppb)		Rata-rataNS (ppb)			
Kooperatif	Konsentrat pakan	100	(n= 7)	86	(n= 6)	15	-	47	30	±	9.69
Kelompok usaha/tani	Ransum campuran	100	(n= 5)	80	(n= 4)	4	-	85	44	±	36.78
Petani perorangan	Ransum campuran	100	(n=17)	82	(n=14)	12	-	85	54	±	31.59
Total		100	(n=29)	83	(n=24)	4	-	85	47	±	29.79

NS= rata-rata kandungan AFB1 antar sumber sampel tidak berbeda nyata ( $P > 0,05$ ).

**Tabel 4.** Kontaminasi aflatoksin M1 pada susu sapi perah yang diberi pakan terkontaminasi AFB1

Kelompok Responden	Kontaminasi AFM1									
	Positif (%)		Tingkat > 25 ppt (%)		Jarak (ppt)			Rata-rata (ppt)		
Kooperatif	100	(n= 4)	100	(n= 4)	96	-	221	148	±	56.64b
Kelompok usaha/ tani	100	(n=41)	100	(n=41)	35	-	163	74	±	37.51a
Petani perorangan	100	(n=18)	83	(n=15)	12	-	99	60	±	26.76a
Total	100	(n=63)	95	(n=60)	4	-	221	75	±	40.74

a, b superskrip yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang sangat nyata ( $P < 0,01$ )

Keterangan : Sampel susu pada responden kelompok usaha/tani dan individu peternak dikumpulkan dari sapi yang dikonsumsi sesuai sampel pakan pada Tabel 3. penelitian ini mengkonfirmasi tingginya paparan AFB1 pada sapi IFH yang dapat mengakibatkan tingginya paparan AFM1 pada konsumen melalui konsumsi susu.

Studi ini menjelaskan paparan aflatoksin yang tinggi pada manusia dan ternak. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5 di bawah, kontaminasi AFB1 dalam ransum susu dari peternak individu dan kelompok tani masing-masing adalah 50 dan 41 ppb atau sama dengan paparan AFB1, sekitar 363 g per sapi per hari di peternakan individu dan 320 g per sapi per hari di peternakan kelompok. Tingkat kontaminasi ini mungkin tidak memiliki efek toksik pada sapi, tetapi paparan harian pada tingkat ini dapat berdampak buruk pada kesehatan dan kinerja hewan.

**Tabel 5.** Karakteristik Kontaminasi Aflatoksin dan Carry-over di Peternakan Sapi Perah

Nilai rata-rata variable	peternak sapi perah					
	Petani Perorangan (n = 18)			Kelompok Tani (n = 41)		
Konsentrasi AFB1 (ppb)NS	50	±	30,95	41	±	17.22
Konsentrasi AFM1 (ppt)NS	60	±	26.76	74	±	37.51
Produksi susu (L/sapi/hari)**	14	±	5.22	8	±	3.17
Bawa AFB1 ke AFM1 (%)**	0,85			0.32		

n = jumlah sampel, NS = tidak ada perbedaan rata-rata yang signifikan antar kelompok ( $P > 0,05$ )

\*\* = P Kadar AFB1 lebih dari 100 ppb dianggap memiliki efek toksik pada sapi sedangkan keparahan aflatoksikosis tergantung pada konsentrasi AFB1 dalam pakan, lama paparan AFB1, dan umur ternak (Dhanasekaran et al., 2011). Pada sapi perah, paparan aflatoxin mengakibatkan gangguan fungsi hati dan pengurangan asupan pakan (Yiannikouris dan Jouany, 2002; Fink-Gremmels, 2008a). Penelitian sebelumnya oleh Mertens (1979) menunjukkan asupan harian AFB1 100 - 300 g per kg berat badan mengakibatkan penurunan asupan pakan dan produksi susu.

Secara umum diterima bahwa ruminansia kurang rentan dibandingkan spesies hewan lain terhadap efek buruk mikotoksin karena kemampuan mikroflora rumen untuk mendegradasi dan mengubah mikotoksin tertentu (Kiessling et al., 1984; Yiannikouris dan Jouany, 2002). Namun, tinjauan baru-baru ini menyimpulkan bahwa hanya sebagian aflatoxin yang terdegradasi dalam rumen dan sebagian lainnya dapat diubah menjadi metabolit yang masih memiliki sifat toksik (Fink-Gremmels, 2008b).

Karena AFB1 dalam pakan susu akan diekskresikan ke dalam susu, banyak negara telah menerapkan batas maksimum legal untuk kandungan AFB1 dalam ransum susu. Saat ini UE memimpin dalam pengendalian ketat kontaminasi AFB1 dalam pasokan pakan dengan menetapkan batas 5 ppb untuk sapi perah (Duarte et al., 2013). Di Amerika Serikat, tingkat tindakan untuk bahan pakan atau pakan lengkap yang ditujukan untuk sapi perah adalah 20 ppb (Richard, 2007).

Berdasarkan rata-rata kandungan AFM1 dalam susu segar dari penelitian ini, konsumen di Indonesia menghadapi risiko kesehatan yang tinggi akibat asupan AFM1 melalui konsumsi susu mentah. Sayangnya, tidak ada data yang tersedia tentang konsumsi susu mentah berdasarkan berat badan dan kelompok usia untuk menghitung risiko kanker hati tambahan terkait asupan AFM1, di Indonesia. Menurut studi yang dilakukan oleh Peng dan Chen (2009) dan Liu dan Wu

(2010), penilaian potensi risiko kanker hepato-seluler yang disebabkan oleh konsumsi aflatoksin diperkirakan dengan perkalian antara potensi karsinogenik aflatoksin dan asupan aflatoksin tentang konsumsi aflatoksin melalui kacang tanah yang terkontaminasi di Indonesia diperkirakan bahwa tingkat kanker hati dari aflatoksin adalah 10 per 100.000 penduduk per tahun atau sekitar 20,

Data konsumsi susu dan produk susu di Indonesia pada tahun 2010 diperkirakan sebesar 11,1 L/kapita/tahun yang terdiri dari 43,3% susu bubuk dan 56,7% susu cair (Departemen Pertanian, 2011). Konsumsi susu ini lebih rendah dibandingkan negara ASEAN lainnya seperti Thailand (31,7 L) dan Filipina (22,1 L). Namun pertumbuhan konsumsi susu di Indonesia cukup menjanjikan yaitu mencapai 2,9% untuk periode 2006-2010. Pertumbuhan ini lebih tinggi dari Thailand (2,4%) dan Filipina (1,6%). Sebagai konsekuensi dari tren positif konsumsi susu di Indonesia, beberapa tindakan harus dilakukan untuk meningkatkan keamanan pangan produk susu, terutama dari ancaman aflatoksin.

Karena potensi karsinogenik aflatoksin, tidak ada asupan harian AFM1 yang dapat ditoleransi yang ditentukan oleh komite ahli internasional. Namun, disimpulkan bahwa paparan harian AFM1 bahkan kurang dari 1 ppt berat badan berkontribusi pada risiko kanker hati (Duarte et al., 2013). Oleh karena itu penting untuk dilakukan penilaian lebih lanjut mengenai risiko kesehatan konsumen Indonesia dengan menghitung konsumsi susu mentah aktual berdasarkan berat badan pada kelompok umur yang berbeda.

### **C. Karakteristik transfer aflatoksin dari pakan ke susu**

Tabel 5 menunjukkan kadar AFB1 pada peternak individu lebih tinggi daripada kelompok tani tetapi kadar AFM1 pada susu lebih tinggi pada kelompok tani dibandingkan dengan peternak individu. Data juga menunjukkan bahwa produksi susu pada peternak individu secara signifikan lebih tinggi daripada kelompok tani yang

mungkin menghasilkan carry-over aflatoksin yang lebih tinggi pada peternak individu dibandingkan dengan kelompok tani. Carry-over AFB1 dalam pakan ke AFM1 dalam susu diperkirakan sebesar 0,85% pada peternak individu dan 0,32% pada kelompok tani. Persentase carry-over ini jauh lebih rendah dibandingkan dengan data dari penelitian sebelumnya pada sapi perah sub tropis yang berkisar antara 1 hingga 3% (Diaz et. al., 2004; Eijkeren et al., 2006; Masoero et al., 2007).

Studi Filaeli (2007) memperkirakan carry-over aflatoksin pada sapi IFH antara 0,08% - 2,69%. Rendahnya carry over aflatoksin sapi IFH juga sebelumnya diperoleh Agus et al. (2010a). Penulis mengamati bahwa ekskresi AFM1 dalam susu sapi IFH yang menerima kadar AFB1 antara 0 - 500 ppb berkisar antara 0,08 hingga 0,2%. Hasil ini menggambarkan karakteristik umum peternakan sapi perah skala kecil di Indonesia yang ditandai dengan produksi susu yang rendah dan sering terpapar AFB1. Rendahnya produksi susu dan adaptasi pakan tercemar AFB1 tampaknya berkontribusi terhadap rendahnya nilai COR pada sapi PFH.

## **BAB IV**

### **STUDI TENTANG CARRY-OVER AFB1 MENJADI AFM1 PADA SUSU FRIESIAN HOLSTEIN INDONESIA**

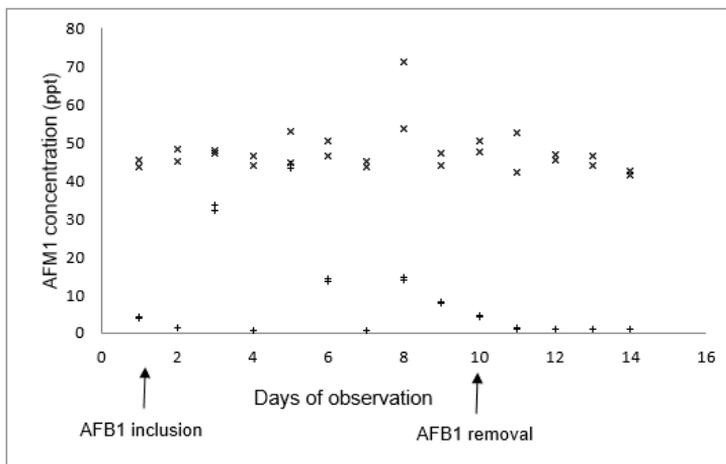
Estimasi tingkat carry-over AFB1 ke AFM dalam susu penting untuk menentukan batas AFB1 yang dapat diterima dalam pakan sapi perah (Britzi et al., 2013). Dalam studi pertama, persentase carry-over aflatoksin untuk sapi IFH telah dihitung berdasarkan perkiraan asupan AFB1 dan ekskresi AFM1 melalui susu. Untuk mengkonfirmasi hasil survei, maka dilakukan uji coba *in vivo* untuk mempelajari carry over sapi IFH dalam asupan AFB1 terkontrol dan ekskresi AFM1 yang terukur.

Analisis sampel pakan menunjukkan kandungan AFB1 aktual yang lebih tinggi dalam ransum daripada analisis awal; menghasilkan rata-rata asupan AFB1 adalah 51 g per ekor per hari untuk perlakuan dosis rendah dan 396 g per ekor per hari untuk perlakuan dosis tinggi asupan AFB1. Produksi susu sapi yang digunakan dalam penelitian ini relatif rendah dengan rata-rata 6,2 kg/hari pada dosis rendah dan 5,7 kg/hari pada perlakuan dosis tinggi. Namun menarik karena penelitian ini memberikan data carry-over AFB1 pada sapi produksi rendah yang mewakili tingkat umum produksi susu di peternakan sapi perah skala kecil di negara berkembang seperti Indonesia. Konsentrasi aflatoksin M1 pada asupan AFB1 dosis tinggi jelas lebih tinggi (52 ppt) dibandingkan dengan konsentrasi pada dosis rendah (8 ppt). Merujuk pada hasil studi survei, Asupan AFB1 berkisar antara 320 hingga 362 g per sapi per hari dan menghasilkan konsentrasi AFM1 dari 59 hingga 74 ppt. Hasil dalam penelitian survei ini serupa dengan hasil dalam percobaan *in vivo* ini. Carry-over AFB1 yang rendah diperoleh dalam penelitian ini; yaitu 0,10% dan 0,07% untuk asupan AFB1 dosis rendah dan dosis tinggi. Serupa dengan hasil dalam studi survei, tampaknya produksi susu sapi IFH yang rendah mungkin menjelaskan carry-over aflatoksin yang rendah dalam penelitian ini.

**Tabel 6.** Karakteristik carry-over aflatoksin Friesian Holstein Indonesia dalam percobaan in vivo

Variabel yang diamati	Perlakuan					
	Dosis rendah			Dosis Tinggi		
Rata-rata asupan AFB1 ( $\mu\text{g/sapi/hari}$ )	51.0			396,0		
Produksi ASI (kg/hari)	6.2	$\pm$	0.19	5.7	$\pm$	0.13
Konsentrasi rata-rata AFM1 dalam susu (ng/kg)	8.0	$\pm$	5.89	52.0	$\pm$	11.12
Persentase carry-over (%)	0,10			0,07		

Penelitian oleh Britzi et al. (2013) memberikan data konklusif pada carry-over aflatoksin dari Holstein Israel hasil tinggi. Mereka menemukan persentase carry-over adalah 5,8% untuk sapi pertengahan laktasi (>35 kg susu/hari) dan 2,5% untuk sapi laktasi akhir (<33 kg susu/hari). Hasil ini jelas menunjukkan bahwa sapi berproduksi tinggi memiliki daya angkut yang lebih tinggi dibandingkan dengan sapi berproduksi rendah. Dengan kata lain, pengaturan batas maksimum AFB1 dalam pakan sapi perah harus sesuai dengan tingkat produksi susu di suatu negara.



**Gambar 6.** Konsentrasi AFM1 (ppt) dalam susu sapi yang mengonsumsi tingkat AFB1 yang berbeda dalam ransum. Simbol mewakili inklusi AFB1 dosis tinggi (x) dan inklusi AFB1 dosis rendah (+).

Dalam penelitian ini, percobaan *in vivo* menunjukkan AFM1 terdeteksi pada sampel pemerahan pertama atau sekitar 10 jam setelah konsumsi AFB1. Hasil ini menegaskan ekskresi cepat metabolit AFB1 dalam susu menurut Diaz et al. (2004) dan Masoero dkk. (2007). Aflatoksin diserap dengan cepat melalui membran melalui mekanisme pasif karena berat molekulnya yang rendah, masing-masing 312,27 dan 328,27 Dalton untuk AFB1 dan AFM1, (Yiannikouris dan Jouany, 2002). Moschini dkk. (2008) menyatakan bahwa AFM1 dalam plasma darah terdeteksi kurang dari 15 menit setelah asupan AFB1.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6, peningkatan AFM1 dalam dosis tinggi inklusi AFB1 meningkat secara dramatis sejak hari pertama dan tetap pada tingkat yang relatif sama sampai 5 hari setelah AFB1 dikeluarkan dari makanan. Pola ekskresi AFM1 ini membentuk dataran tinggi konsentrasi AFM1 dari awal konsumsi AFB1. Hasil ini sebagian bertentangan dengan laporan sebelumnya yang menyimpulkan keadaan tunak dicapai dalam 2-3 hari setelah pengobatan dan AFM1 menurun ke konsentrasi nol dalam waktu kurang dari 3 hari setelah sapi diberi makan dengan diet bebas AFB1 (Egmond, 1989; Diaz dkk., 2004; Masoero dkk., 2007). Namun penelitian ini sesuai dengan hasil yang dilaporkan oleh Frobish et al. (1996) di mana keadaan stabil ekskresi AFM1 ditetapkan pada 24 jam sejak konsumsi AFB1 awal.

## BAB V

# KAPASITAS PENGIKATAN DAN STABILITAS BERBAGAI SUMBER ADSORBEN DALAM RUMEN IN VITRO ASSAY

### A. Kapasitas pengikatan adsorben

*In vitro* studi adalah pendekatan yang paling layak untuk memilih dan membandingkan banyak adsorben potensial dalam faktor eksperimental yang konsisten. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengevaluasi efikasi adsorben dalam mengurangi toksisitas aflatoksin, baik pada berbagai sumber adsorben maupun pada larutan ekstraksi aflatoksin yang berbeda.

Tabel 7 menyajikan rata-rata kapasitas adsorben untuk mengadsorpsi AFB1 dalam larutan yang berbeda dari uji *in vitro* dan rasio AFB1:adsorben. Pada percobaan pengikatan ini, faktor adsorben berpengaruh sangat nyata terhadap kapasitas pengikatan ( $P < 0,01$ ). Bentonit menunjukkan daya ikat tertinggi (75%) tidak berbeda dengan zeolit (72%), karbon aktif (59%), dan adsorben komersial (57%). Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan kapasitas tinggi bentonit untuk menyerap AFB1. Dalam beberapa penelitian, kapasitas pengikatan bentonit secara *in vitro* lebih tinggi dibandingkan zeolit, arang aktif atau glukomanan teresterifikasi (Diaz et al., 2004; Moschini et al., 2008; Li et al., 2010).

**Tabel 7.** Kapasitas pengikatan Aflatoksin B1 dari berbagai adsorben dan rasio antara AFB1 dan adsorben dalam larutan in vitro yang berbeda (%)

Adsorben	Rasio (b/b)	Sedang			Rerata
		AQ	SRF	NRF	
	1: 1.000	70 ± 3.60	70 ±11,54	61 ±12,25	67 ± 9.62b
	1: 10.000	78 ± 0,42	75 ± 2.80	71 ± 8,69	75 ± 5,41b
ZE	1: 1.000	72 ± 1,69	60 ±11,89	66 ± 6,38	66 ± 8.75b
	1: 10.000	77 ± 2.91	68 ±16,15	72 ± 3,70	72 ± 9.24b
AC	1: 1.000	55 ± 5,46	56 ± 9,64	60 ± 9,58	57 ± 7.87a
	1: 10.000	51±27.11	66 ± 5,42	60 ±15,25	59 ±17.02a
CA	1: 1.000	38 ±19,88	48 ±12,27	63 ± 6,28	50 ±16.42a
	1: 10.000	57 ±18.00	54 ±23,42	61 ± 7,43	57 ±15.51a

BE = bentonit alam, ZE = zeolit alam, AC = karbon aktif, CA = adsorben komersial, AQ= aquadest, SRF = cairan rumen steril, NRF = cairan rumen tidak steril.

<sup>a</sup> <sup>b</sup>superskrip yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang sangat nyata ( $P < 0,01$ ).

Bentonit merupakan bahan alam yang dominan terdiri dari mineral lempung dalam kelompok smektit. Bentonit relatif murni dan ditemukan di seluruh dunia. Smektit adalah kelompok mineral phyllosilicate yang meliputi montmorillonit, beidellite, nontronite, saponite, dan hectorite. Smektit secara khas mengembang dalam air untuk membentuk daerah interlayer. Zeolit secara struktural jauh berbeda dari smektit dan tidak memiliki interlayer. Kanal internal pada zeolit terlalu kecil untuk menampung aflatoksin, sehingga aflatoksin hanya dapat teradsorpsi pada sisi luar mineral ini (Jaynes dan Zartman, 2011). Deng dkk. (2010) menunjukkan bahwa AFB1 teradsorpsi ke interlayer smektit (Gambar 5). Situs yang mungkin untuk adsorpsi AFB1 ke smektit termasuk pada interlayernya, permukaan luar, dan situs tepinya (Kannevischeret al., 2006).

Faktor larutan in vitro dan rasio AFB1:adsorben tidak berpengaruh terhadap daya ikat ( $P > 0,05$ ). Analisis statistik juga menunjukkan tidak adanya interaksi antara adsorben, rasio AFB1:adsorben, dan larutan in vitro ( $P > 0,05$ ). Banyak uji in vitro telah dilakukan untuk mengevaluasi kapasitas

pengikatan adsorben dalam berbagai larutan aflatoksin, yaitu air (Diaz et al., 2004), metanol/air (Jaynes et al., 2007), cairan lambung (Moschini et al., 2008). ) atau cairan lambung simulasi (Thieu dan Pettersson, 2008). Keragaman metode uji *in vitro* untuk mengevaluasi adsorben dimaksudkan untuk mengurangi perbedaan hasil dibandingkan dengan uji *in vivo*. Oleh karena itu, uji *in vitro* harus memodelkan lingkungan saluran pencernaan secara praktis.

Studi sebelumnya menunjukkan bahwa konstituen dan pH larutan *in vitro* dapat mempengaruhi kapasitas penyerapan adsorben. Jaynes dkk. (2007) menunjukkan lempung dan karbon aktif menyerap AFB1 secara signifikan lebih tinggi dalam air daripada dalam tepung jagung berair. Studi tentang lempung alam oleh Nuryono et al. (2012) menunjukkan kapasitas adsorpsi AFB1 bentonit alam yang lebih tinggi dibandingkan dengan zeolit alam dalam larutan standar, tetapi kapasitas ini berkurang ketika lempung diterapkan pada jagung yang terkontaminasi AFB1. Penulis melaporkan bahwa zeolit dan bentonit menyerap 17 dan 37% dari AFB1, masing-masing, dalam suspensi kernel jagung dan 78 dan 67%, masing-masing, dalam suspensi jagung. Mikotoksin lain yang mungkin terdapat pada sampel jagung diduga sebagai penyebab utama penurunan kemampuan adsorpsi lempung.

Jaynes dan Zartman (2011) menjelaskan bahwa protein atau polimer lain dalam pakan dan saluran pencernaan dapat menyerap ke permukaan tanah liat, sehingga memblokir situs pengikatan aflatoksin potensial Kolossova et al. (2009) memberikan contoh lain; bahwa arang aktif dapat mengadsorpsi mikotoksin dalam larutan berair, tetapi arang aktif yang berbeda memiliki efek yang lebih kecil atau bahkan tidak sama sekali terhadap mikotoksin. Hal ini mungkin disebabkan oleh fakta bahwa arang aktif adalah adsorben yang relatif tidak spesifik; karenanya nutrisi penting juga teradsorpsi terutama jika konsentrasinya dalam pakan jauh lebih tinggi daripada mikotoksin tersebut.

## B. Stabilitas pengikatan adsorben

Stabilitas kompleks adsorben-AFB1 dievaluasi dengan menghitung persentase desorpsi AFB1 setelah reinkubasi dan sentrifugasi (Tabel 8). Stabilitas pengikatan sangat nyata ( $P < 0,01$ ) dipengaruhi oleh faktor adsorben dan rasio antara AFB1 dan adsorben. Faktor larutan *in vitro* dan interaksi antara adsorben, rasio, dan larutan tidak berpengaruh nyata terhadap stabilitas ikatan. Bentonit yang menunjukkan daya ikat tertinggi juga menunjukkan stabilitas yang tinggi pada percobaan ini, yaitu 99,5% pada rasio AFB1 dan adsorben 1:1.000.

**Table 8.** Stabilitas pengikatan Aflatoksin B1 dari berbagai adsorben dan rasio antara AFB1 dan adsorben dalam larutan *in vitro* yang berbeda (%)

Adsorben	Rasio (b/b)	Sedang			rerata
		AQ	SRF	NRF	
	1: 1.000	99,7 ± 0,15	99,4±0,42	99,4 ± 0,18	99,5±0,30b
	1: 10.000	91,1±0,68	88,1±6,26	91,1±1,59	90,1±3,57a
ZE	1: 1.000	99,3 ± 0,18	99,0±0,26	99,8 ± 0,01	99,3±0,35b
	1: 10.000	93,9±1,05	99,3±0,32	98,9±0,99	97,4±2,70b
AC	1: 1.000	99,5±0,74	99,7 ± 0,04	99,4±0,00	99,6 ± 0,16b
	1: 10.000	99,4±0,47	99,5 ± 0,11	99,3±0,21	99,4±0,28b
CA	1: 1.000	98,2±2,11	99,3±0,04	99,8±0,21	99,1±1,21b
	1: 10.000	99,3±0,25	99,2±0,91	99,5 ± 0,13	99,3±0,49b

BE = bentonit alam, ZE = zeolit alam, AC = karbon aktif, CA = adsorben komersial, AQ= aquadest, SRF = cairan rumen steril, NRF = cairan rumen tidak steril.

<sup>a</sup>, <sup>b</sup>superskrip yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang sangat nyata ( $P < 0,01$ ).

Tabel 8. menunjukkan stabilitas pengikatan karbon aktif dan adsorben komersial yang tidak berbeda nyata dengan stabilitas pengikatan bentonit pada rasio 1:1.000. Namun, daya ikat adsorben ini secara signifikan lebih rendah dibandingkan bentonit alam dan zeolit (Tabel 7). Adsorben komersial mengandung diocahedral montmorillonit dan dinding sel ragi yang dimurnikan. Merujuk pada IRMM-JRC-EU (2010), bentonit memiliki daya ikat minimal terhadap AFB1 sebesar

100 mg/g. Kolossova et al., 2009 menjelaskan bahwa dinding sel khamir mengandung polisakarida (glukomanan) yang menunjukkan afinitas pengikatan mikotoksin melalui ikatan Hidrogen dan van der Waals. Penelitian *in vitro* menggunakan sumber cairan rumen yang berbeda menunjukkan kapasitas pengikatan dan stabilitas glukomanan lebih rendah dibandingkan dengan adsorben lempung (Moschini et al., 2008).

Berbeda dengan penelitian lain, percobaan *in vitro* ini tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan dari larutan terhadap kapasitas mengikat dan stabilitas. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa larutan *in vitro* dapat mempengaruhi kapasitas dan stabilitas kompleks adsorben-AFB1 melalui pengaruh konstituen larutan dan pH. Li dkk. (2010) menguji sumber produk komersial yang berbeda pada kondisi pH dan larutan *in vitro* yang berbeda, hasilnya menunjukkan kapasitas pengikatan dan stabilitas adsorben tanah liat yang lebih tinggi dibandingkan dengan produk dinding sel ragi dan campuran tanah liat dan produk ragi. Penulis juga menunjukkan bahwa kapasitas pengikatan dan stabilitas tanah liat lebih tinggi dalam simulasi jus usus daripada di simulasi cairan lambung.

### **C. Pengaruh kisaran pH pada kapasitas pengikatan dan stabilitas bentonit alami**

Dalam penelitian ini, bentonit memiliki kapasitas pengikatan dan stabilitas yang lebih baik dibandingkan dengan adsorben lainnya. Selanjutnya dilakukan pengamatan untuk menganalisis pengaruh kisaran pH larutan *in vitro* terhadap kapasitas ikat dan stabilitas bentonit. Tabel 9 di bawah ini menunjukkan kapasitas pengikatan tertinggi diperoleh pada kisaran pH lebih rendah dari 5,0 dan menurun dengan kisaran pH yang lebih tinggi ( $P < 0,05$ ). Sebaliknya, stabilitas pengikatan tampaknya paling stabil pada kisaran pH lebih dari 7,5 dan menurun pada kisaran pH yang lebih rendah, namun efek ini tidak signifikan ( $P > 0,05$ ).

Percobaan oleh Li et al. (2010) menunjukkan bahwa adsorben tanah liat memiliki kapasitas mengikat dan stabilitas yang lebih tinggi pada larutan dengan nilai pH tinggi (larutan dengan pH 6.0, 8.0, dan jus usus simulasi) dibandingkan dengan nilai pH yang lebih rendah (larutan dengan pH 2.0 dan cairan lambung simulasi). Thieu dan Pettersson mendemonstrasikan bahwa dalam simulasi cairan gastro-intestinal, zeolit mengadsorbsi lebih dari 70% AFB1 pada pH 3 tetapi hanya 20% pada pH 7. Sebaliknya, bentonit hanya mengadsorbsi 30% AFB1 pada pH 3 tetapi mengadsorbsi lebih dari 80 % dalam pH 7.

**Tabel 9.** Pengaruh pH larutan terhadap kapasitas ikat dan stabilitas bentonit

kisaran pH	Variabel		
	Kapasitas pengikatan (%)		Stabilitas pengikatan (%)NS
< 5.0	74,4 ± 3,4	B	96,1 ± 4,5
5.0-7,5	63,7 ± 15,0	ab	97,6 ± 3,8
> 7.5	57,5 ± 9,7	Sebuah	99,6 ± 0,2

<sup>a, b</sup> superskrip yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata ( $P < 0,05$ )

NS rata-rata pada kolom yang sama tidak berbeda nyata ( $P > 0,05$ ).

Adsorben yang efektif harus mengikat aflatoksin dalam pakan yang terkontaminasi secara erat dan tidak terdisosiasi dalam saluran cerna hewan. Oleh karena itu, mekanisme ikatan antara adsorben dan aflatoksin harus tahan terhadap variasi lingkungan saluran pencernaan, seperti pH, suhu, gerakan peristaltik, dan komposisi pencernaan.

Hasil dalam studi 3 menunjukkan bahwa, rata-rata, bentonit memiliki kapasitas pengikatan dan stabilitas yang lebih tinggi daripada adsorben representatif lainnya. Selanjutnya, daya ikat bentonit sangat dipengaruhi oleh pH larutan. Hasil ini menunjukkan bahwa bentonit merupakan

adsorben yang menjanjikan untuk menyerap AFB1 pada pakan ternak ruminansia yang terkontaminasi. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui efikasi bentonit alami dalam menurunkan kadar aflatoksin pada susu sapi IFH secara in vivo.

Per kilogram berat badan per hari. Perhitungan Pitt (2004)

## BAB VI

### PENGARUH INKLUSI BENTONIT DALAM RANSUM EFEK PADA TRANSFER DAN KONSENTRASI AFM1 DALAM SUSU

#### A. Efek pada tingkat AFM1 dalam susu dan pembawa aflatoksin

Dalam studi silang ini, sampel susu dikumpulkan pada hari ke 13 hingga 15 setiap periode untuk analisis konsentrasi AFM1. Hasil (Tabel 10) menunjukkan penurunan yang sangat signifikan ( $P < 0,01$ ) di tingkat AFM1 setelah inklusi bentonit dalam makanan; yaitu dari 46 menjadi 40 ppt atau pengurangan 13% dari konten AFM1. Demikian pula, persentase carry-over berkurang 12% setelah inklusi bentonit; tersebut rata-rata 0,11 sampai 0,10% ( $P < 0,01$ ). Inklusi adsorben dalam makanan, tampaknya meningkatkan ekskresi aflatoksin dalam tinja (dari 96,9 menjadi 97,5%) dan mengurangi ekskresi aflatoksin melalui susu dan urin masing-masing dari 0,7 menjadi 0,6% dan dari 2,3 menjadi 1,9%.

AFB1 yang tertelan terutama diserap di duodenum dan mencapai hati melalui sistem portal. Di hati, AFB1 dibiotransformasi oleh enzim dari keluarga sitokrom P450 (CYP). Metabolit aflatoksin kemudian diekskresikan dalam urin, feses, dan susu. Studi terbaru juga menunjukkan bahwa aflatoksin dan metabolitnya dapat ditemukan dalam darah vena mesenterika, ginjal, atau jaringan adiposa. Hasil dalam penelitian ini menunjukkan bahwa adsorben efektif mengikat AFB1 dan mengurangi penyerapannya di saluran cerna hewan, sehingga meningkatkan ekskresi aflatoksin dalam tinja dan mengurangi ekskresi dalam susu dan urin. Namun, belum ada penelitian sebelumnya pada ruminansia yang dipublikasikan untuk mendukung kesimpulan ini. Applebaum dkk.

**Tabel 10.** Ekskresi aflatoksin dari sapi yang diberi pakan terkontaminasi AFB1 dengan atau tanpa adsorben

Perlakuan	AFM1 dalam susu (ppt) <sup>1</sup>	Ekskresi aflatoksin (%)			Transfer ke susu (%) <sup>1</sup>
		susu <sup>2</sup>	urin <sup>2</sup>	kotoran <sup>2</sup>	
Tanpa Adsorben	46 ± 8.8	0,7±0,28	2,3 ± 1,78	96,9 ± 1,85	0,11±0,04
Dengan Adsorben	40 ± 10.6	0,6±0,18	1,9 ± 1,05	97,5± 1,09	0,10 ± 0,03

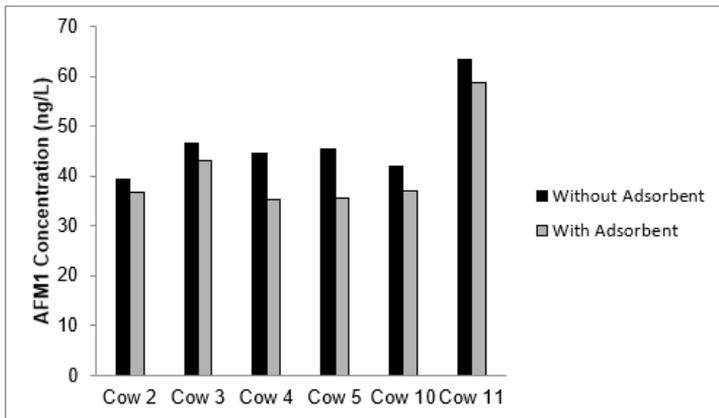
<sup>1</sup>rata-rata pada kolom yang sama berbeda sangat nyata ( $P < 0,01$ )

<sup>2</sup>rata-rata pada kolom yang sama tidak berbeda nyata ( $P > 0,05$ ).

Ekskresi aflatoksin M1 dalam urin merupakan cerminan dari paparan aflatoksin baru-baru ini dan telah digunakan dalam banyak penelitian untuk memperkirakan paparan manusia terhadap AFB1 (Sabran et al., 2012). Sebuah percobaan pada anjing menunjukkan penurunan yang signifikan dalam ekskresi AFM1 urin dari hewan yang menerima diet dengan produk phyllosilicate-clay dibandingkan dengan diet tanpa inklusi tanah liat (Bingham et al., 2004). Penulis menyimpulkan bahwa adsorben tanah liat dapat memberikan perlindungan pada hewan dari aflatoksikosis dengan mencegah penyerapan AFB1 di saluran cerna.

Telah ditunjukkan dengan jelas dalam banyak percobaan *in vivo* bahwa tidak semua adsorben sama efektifnya untuk menyerap aflatoksin dalam pakan dan, akibatnya, untuk mengurangi kandungan AFM1 dalam susu (Kutz et al., 2009; Kissel et al., 2013). Diaz dkk. (2004) menguji berbagai sumber dan tingkat inklusi adsorben aflatoksin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produk dinding sel ragi 0,05% dan produk natrium bentonit 1,2% efektif menurunkan konsentrasi AFM1 susu antara 59 - 65%. Quieroz dkk. (2012) meneliti adsorben mikotoksin berbasis montmorillonit pada 0,2 dan 1,0% bahan kering pakan yang mengandung AFB1 pada 75 ppb. Mereka menyimpulkan bahwa hanya adsorben dosis tinggi (1,0%) yang menurunkan konsentrasi AFM1 dalam susu (17%) ke tingkat di bawah batas legislatif FDA 500 ppt.

Gambar 7 mengilustrasikan kadar AFM1 dalam susu antara diet kontrol dan perlakuan. Kadar aflatoksin M1 dalam penelitian ini relatif tinggi, yaitu 46 ppt untuk pakan tanpa adsorben dan 40 ppt untuk pakan dengan adsorben. Menurut peraturan Uni Eropa, batas toleransi maksimum AFM1 adalah 25 ppt untuk AFM1 dalam makanan bayi, termasuk susu formula, dan 50 ppt AFM1 dalam susu untuk konsumsi orang dewasa (Duarte et al., 2013).



**Gambar 7.** Konsentrasi AFM1 pada susu sapi yang mengkonsumsi pakan tercemar AFB1, dengan dan tanpa adsorben

Aplikasi adsorben dalam penelitian ini adalah 0,1% dari berat pakan terkontaminasi yang mungkin tidak cukup untuk mengurangi konsentrasi AFM1 ke level kurang dari 25 ppt. Kutz dkk. (2009) menyarankan penggunaan adsorben mikotoksin dalam pakan ruminansia berkisar 0,5-1,2% dari pakan DM, meskipun adsorben yang berbeda mungkin efektif pada tingkat 0,05% (Diaz et al., 2004). Khasiat bentonit juga telah diamati dalam percobaan Sumantri et al. (2012) yang menggunakan bentonit pada tingkat 0,25 dan 2,0% dalam diet terkontaminasi yang ditawarkan 350 g AFB1/sapi/hari. Hasil penelitian menunjukkan penurunan konsentrasi AFM1 susu masing-masing sebesar 7,8 dan 9,5% yang tidak berbeda nyata.

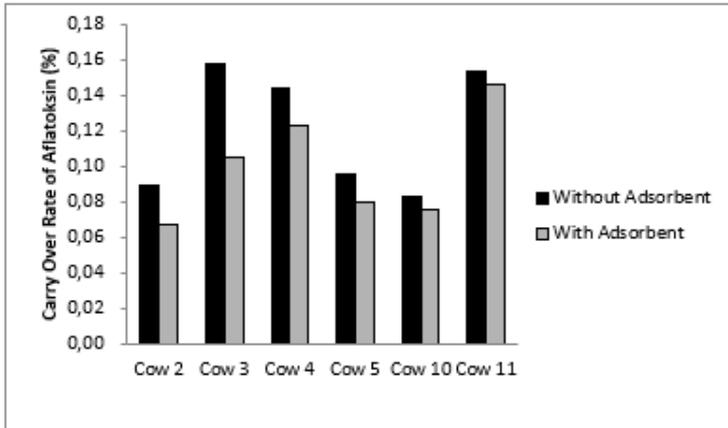
Slamova dkk. (2011) meninjau bahwa suplementasi bentonit dalam ransum campuran total biasanya antara 2 hingga 3%.

Tingkat efektif inklusi adsorben dalam penelitian ini juga dapat terganggu dengan penggunaan adsorben alami dari pakan yang terkontaminasi secara alami. Tanah liat alami dapat mengikat kontaminan alami lainnya, seperti dioksin, sehingga kapasitasnya berkurang. Hal ini berbeda dengan adsorben komersial yang telah dimurnikan dan dimodifikasi untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi mineral dan khusus untuk pengikatan aflatoksin (Deng et al., 2010). Sebagai contoh, pengujian terhadap produk bentonit komersial menunjukkan bahwa produk tersebut memiliki kapasitas adsorpsi minimum 100 mg AFB1/g produk, dan inklusi maksimum dalam diet adalah 3% (IRMM-JRC-EU, 2010). Dalam hal penyerap alami, sumber yang berbeda (tambang) juga harus dipertimbangkan bahwa setiap sumber dapat menyajikan komposisi yang berbeda. Dan bahkan tanah liat yang diperoleh dari penambangan yang sama dapat bervariasi dari batch ke batch,

Di sisi lain, kontaminasi ganda dapat terjadi karena pencampuran bahan baku yang terkontaminasi yang berbeda dan kemampuan kapang untuk menghasilkan beberapa mikotoksin dalam satu jenis bahan pakan. Dengan demikian, pakan yang terkontaminasi secara alami dapat terdiri dari banyak kelompok mikotoksin dan nutrisi lain yang juga memiliki afinitas terhadap adsorben dan bersaing AFB1 dalam mengikat adsorben (Kolossova et al., 2009). Selanjutnya, komposisi pakan dapat mempengaruhi efektivitas adsorben. Komponen umpan dapat bertindak sebagai ligan dan menutupi permukaan aktif adsorben yang akan menurunkan kapasitas adsorben untuk mengikat aflatoksin (Kolossova dan Stroka, 2011).

Sehubungan dengan hasil saat ini, tampaknya penambahan bentonit alami ke pakan alami yang terkontaminasi AFB1 harus lebih tinggi dari 0,1%, yang mungkin antara 1,0 hingga 3,0% dari berat pakan yang terkontaminasi, untuk mengurangi residu aflatoksin dalam

susu ke tingkat di bawah maksimum legal. membatasi. Namun, ini adalah laporan pertama yang menunjukkan keefektifan adsorben alami pada sapi laktasi yang rutin mengonsumsi pakan tercemar AFB1.



**Gambar 8.** Transfer aflatoxin dari sapi yang mengonsumsi aflatoxin, dengan dan tanpa adsorben.

Penyertaan adsorben dalam pakan sangat signifikan menurunkan transfer aflatoxin dari pakan ke dalam susu ( $P < 0,01$ ), yaitu dari 0,11% pada pakan kontrol (diet tanpa adsorben) menjadi 0,10% pada pakan dengan adsorben (Tabel 10). Carry-over yang diamati dalam penelitian ini (Gambar 8) lebih rendah daripada yang dilaporkan untuk sapi di wilayah sub tropis, yang berkisar antara 1 hingga 3% (Diaz et. al., 2004; Eijkeren et al., 2006; Masoero dkk., 2007). Namun hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya yang melaporkan carry-over aflatoxin sapi IFH berkisar antara 0,08 - 2,69% (Filaeli, 2007; Agus et al., 2010a).

Studi Britzi et al. (2013) menunjukkan bahwa carry-over aflatoxin sangat dipengaruhi oleh tingkat produksi susu. Penulis ini menemukan persentase carry-over adalah 5,8% untuk sapi pertengahan laktasi ( $> 35$  kg susu/hari) dan 2,5% untuk sapi laktasi akhir ( $< 33$  kg susu/hari) yang mengonsumsi 86 g AFB1 per sapi per hari. Tingkat produksi

susu ini berbeda dengan tingkat dalam penelitian ini yang hanya antara 4 – 9 liter susu/hari. Uji ELISA menunjukkan sampel pakan dalam penelitian ini mengandung AFB1 23,2 ppb. Dengan 10 kg pakan terkontaminasi dalam ransum, total asupan harian rata-rata AFB1 adalah 232 g per ekor per hari atau lebih tinggi dibandingkan dengan asupan AFB1 dalam penelitian yang dilakukan oleh Britzi et al. (2013). Hasil penelitian ini mendukung kesimpulan bahwa produksi susu yang rendah mengakibatkan rendahnya transfer aflatoksin ke dalam susu, itu akan menjadi hasil dari rendahnya bawaan dari AFB1 pada IFH sapi.

### B. Efek pada produksi dan komposisi susu

Produksi susuns, kadar lemak susu, dan kadar total non lemak padat (SNF) lebih tinggi pada perlakuan dengan inklusi adsorben, namun peningkatan ini tidak signifikan secara statistik ( $P > 0,05$ ). Hasil ini (Tabel 11) serupa dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan tidak ada perubahan dalam produksi dan komposisi susu karena pemberian pakan yang terkontaminasi AFB1 dan adsorben aflatoksin.

Kutzet al. (2009) melaporkan hasil susu dan persentase lemak susu tidak terpengaruh ketika sapi perah awal hingga pertengahan menyusui diberi 112 ppb AFB1 dalam ransum campuran total selama 7 hari dengan atau tanpa inklusi adsorben. Queiroz dkk. (2012) mendeteksi tidak ada perubahan dalam produksi susu dan persentase lemak karena pemberian 75 ppb AFB1 dalam bahan kering pakan tetapi persentase protein susu berkurang ketika sapi diberi pakan perlakuan tanpa penambahan adsorben.

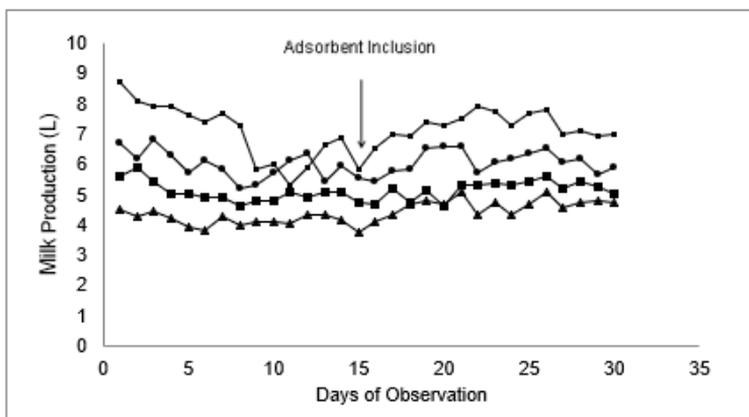
**Tabel 11.** Produksi susu dan komposisi sapi yang diberi pakan terkontaminasi AFB1 dengan atau tanpa adsorben

Perlakuan	Susu (L/hari)	Lemak susu (%)	SNF (%)
Tanpa Adsorben	5,6 ± 1,2	4,0 ± 0,6	8,5 ± 0,5
Dengan Adsorben	5,7 ± 1,2	4,2 ± 0,8	8,6 ± 0,5

SNF = Padat Tanpa Lemak.

Whitlow dan Hagler (2005) menyatakan bahwa ransum yang mengandung kadar aflatoksin di atas 100 ppb dapat berdampak buruk pada performa dan kesehatan hewan. Tingginya tingkat kontaminasi AFB1 dalam pakan menurunkan asupan bahan kering dan status kesehatan hewan (Pietri et al., 2009). Oleh karena itu, pemberian 23,2 ppb AFB1 dalam konsentrat campuran dalam penelitian ini mungkin tidak cukup untuk berdampak buruk pada produksi dan komposisi susu. Selain itu, perlu dicatat bahwa sapi dalam penelitian ini telah secara alami kontak dengan aflatoksin dalam waktu lama yang dapat mengakibatkan toleransi terhadap pakan yang terkontaminasi seperti yang dinyatakan oleh Fink-Gremmels (2008b).

Analisis lebih lanjut dilakukan secara deskriptif untuk mempelajari pengaruh inklusi adsorben pada pakan tercemar AFB1 terhadap produksi susu. Secara umum, produksi susu menurun dari hari ke-1 sampai hari ke-15 dan cenderung sama dengan penambahan adsorben dalam ransum sejak hari ke-16 (Gambar 9). Adsorben ternyata dapat meningkatkan daya tahan produksi susu ketika sapi diberikan pakan yang terkontaminasi aflatoksin. Pietri dkk. (2009) mengemukakan bahwa kontaminasi AFB1 dalam pakan mempengaruhi kualitas pakan dan kesehatan hewan yang dapat menurunkan konsumsi pakan dan status kesehatan hewan. Oleh karena itu, penyertaan adsorben dalam makanan dapat mengurangi efek buruk AFB1 pada kesehatan dan kinerja hewan.



**Gambar 9.** Konsentrasi AFM1 (ppt) dalam susu sapi yang mengonsumsi pakan tercemar AFB1 sebelum dan sesudah penyerap dimasukkan ke dalam ransum. Simbol yang berbeda mewakili sapi yang berbeda.

### C. Efek pada asupan nutrisi dan pencernaan

Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 12, secara umum, inklusi bentonit meningkatkan asupan nutrisi (DMI dan OMI) dan pencernaan (DMD, OMD, CPD, dan CFD). Namun, peningkatan ini tidak berbeda secara statistik ( $P > 0,05$ ). Pengaruh adsorben terhadap asupan nutrisi dan performans ternak dipengaruhi oleh tingkat inklusi. Beberapa penelitian menunjukkan konsentrasi adsorben yang tinggi dapat meningkatkan penyerapan nutrisi, tetapi pada tingkat tertentu adsorben dapat mengurangi penyerapan nutrisi. Oleh karena itu, studi tentang tingkat inklusi adsorben diperlukan untuk mengoptimalkan pengaruhnya terhadap hewan.

Hasil dalam penelitian ini sesuai dengan beberapa penelitian yang melaporkan tidak ada pengaruh inklusi adsorben dalam diet terkontaminasi aflatoksin terhadap asupan nutrisi dan pencernaan (Kutz et al., 2009; Kissel et al., 2013; Chegeni et al., 2013). Studi pada kambing menunjukkan bahwa inklusi Hydrated Sodium Calcium Alumino Silikat pada 5 g/kg dalam campuran konsentrat tidak mengubah DMI dan penambahan berat badan tetapi tampaknya mengurangi

penyerapan usus dari mineral tertentu, yaitu Zn, Cu, Fe, dan Mn (Gowda et al., 2007).

**Tabel 12.** Asupan nutrisi dan pencernaan sapi yang diberi pakan terkontaminasi aflatoksin, dengan atau tanpa inklusi bentonit

Variabel	Tanpa Bentonit		Dengan Bentonit	
Asupan bahan kering (kg)	18.0	± 1.3	18.2	± 1.4
Asupan bahan organik (kg)	14.8	± 1.1	15.2	± 0.9
Kecernaan bahan kering (%)	39.4	± 6.7	41.8	± 18.2
Kecernaan bahan organik (%)	47.1	± 6.0	48.5	± 15.2
Kecernaan serat kasar (%)	36.9	± 10.1	39.3	± 20.7
Kecernaan protein kasar (%)	38.5	± 14.3	43.2	± 22.3

Ada hipotesis yang berbeda tentang efek bentonit alam (penyerap aflatoksin terpilih yang digunakan dalam penelitian ini) pada pemanfaatan nutrisi oleh hewan. Ivan dkk. (1992) melaporkan bahwa natrium bentonit meningkatkan suplai protein bakteri ke usus halus dan menurunkan konsentrasi NH<sub>3</sub> rumen. Hasil ini didukung oleh Chegeni et al. (2013) yang menunjukkan 2% natrium bentonit dalam ransum batang jagung tingkat tinggi dapat mengubah pencernaan nitrogen, tetapi tidak berpengaruh pada DMI, DMD, OMD, dan pencernaan serat. Penulis menjelaskan bahwa natrium bentonit dapat menyerap amonia ruminal yang mungkin dilepaskan secara perlahan dan meningkatkan hasil nitrogen mikroba pada periode yang lebih lama.

Penerapan adsorben lempung menunjukkan beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan, yaitu (i) potensi toksisitas dan gangguan pemanfaatan mineral pada tingkat inklusi lempung tertentu; (ii) adsorpsi nonspesifik lempung terhadap unsur hara esensial, dan (iii) lempung alami dapat terkontaminasi oleh toksin lain, seperti dioksin (Kolossova et al., 2009). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa penambahan 0,1% adsorben (bentonit) dalam penelitian ini tidak memiliki efek negatif pada kesehatan dan kinerja hewan, dan tingkat inklusi adsorben yang lebih tinggi (1,0 - 3,0%) disarankan untuk mendapatkan penurunan transfer aflatoksin yang signifikan.

## **BAB VII**

### **PENUTUP**

Aflatoxin B1 adalah zat beracun dan karsinogenik yang diproduksi oleh strain toksigenik *A. flavus* dan *A. parasiticus* (IARC, 2002). Konsumsi pakan yang terkontaminasi AFB1 oleh hewan menyusui menghasilkan ekskresi metabolit AFB1, yaitu AFM1, yang telah diklasifikasikan sebagai karsinogen bagi manusia oleh IARC (Kos et al., 2014). Faktor iklim, praktik agronomi, komposisi komoditas dan pemanenan, penanganan dan penyimpanan berkontribusi pada pertumbuhan kapang dan produksi mikotoksin (Bryden, 2012). Survei sebelumnya menunjukkan tingginya kejadian dan tingkat kontaminasi AFB1 pada produk pertanian dan bahan pakan Indonesia (Sardjono et al., 1992; Goto et al., 1999; Bahri et al., 2005). Di sisi lain, survei terbatas pada susu mentah menunjukkan tingginya kejadian kontaminasi AFM1 pada susu mentah dari provinsi Yogyakarta (Nuryono et al., 2009). Namun,

Survei dalam penelitian ini menunjukkan tingginya kejadian dan tingkat kontaminasi AFB1 pada pakan sapi perah di wilayah studi. Rata-rata kandungan AFB1 adalah 47 ppb dan meskipun kadar AFB1 tidak berbeda nyata antar kelompok responden, rata-rata AFB1 meningkat dengan rantai pasar yang lebih panjang. Hasil ini menunjukkan bahwa AFB1 ada dalam pakan sejak bahan baku dan karena penyimpanan dalam penanganan yang buruk dan fasilitas untuk waktu tebar yang lama mempengaruhi peningkatan pertumbuhan jamur dan produksi aflatoxin. Umumnya, bahan pakan yang digunakan dalam ransum susu kaya akan protein dan energi, yang menguntungkan jamur untuk tumbuh dan menghasilkan aflatoxin (Lanyasanya et al., 2005). Penyimpanan pakan ternak yang lama pada suhu dan kelembaban tinggi dapat meningkatkan kandungan aflatoxin, seperti yang dijelaskan dalam percobaan Thomas dan Henke (2000).

Tingginya kejadian dan tingkat kontaminasi AFB1 dalam pakan susu akan mengakibatkan tingginya kejadian kontaminasi AFM1 dalam susu, yang terungkap dalam penelitian ini. Seluruh sampel susu mentah sapi yang diberi pakan dengan sampel yang sesuai terkontaminasi AFM1 rata-rata 75 ppt dan berbeda sangat nyata antar kelompok responden. Kandungan AFM1 tertinggi ditemukan pada sampel dari koperasi yang mengindikasikan kadar AFB1 pada pakan sapi perah di daerah survei mungkin lebih tinggi dari kadar AFB1 yang dihitung pada sampel pakan dari responden.

Menurut peraturan UE, 95% sampel tidak boleh dikonsumsi bayi dan 68% tidak boleh dikonsumsi orang dewasa. Bukti-bukti tersebut menunjukkan adanya ancaman bagi konsumen Indonesia akibat konsumsi susu mentah. Namun, perkiraan asupan harian AFM1 tidak dapat dihitung karena kurangnya data konsumsi susu mentah harian di Indonesia. Lihat Duarte et al. (2013), estimasi asupan harian AFM1 melalui susu didasarkan pada rata-rata konsentrasi AFM1 dalam susu dan konsumsi susu di suatu wilayah. Lebih lanjut, penulis menjelaskan bahwa komite ahli internasional telah menyimpulkan bahwa konsumsi aflatoksin setiap hari bahkan kurang dari 1 ng/kg berat badan berkontribusi pada risiko kanker hati. Sebelumnya, Pitt (2004) menyatakan bahwa Indonesia merupakan negara dengan risiko tinggi terkena kanker hati akibat konsumsi aflatoksin,

Survei juga menunjukkan rendahnya carry-over AFB1 pada sapi IFH, yaitu berkisar antara 0,32 hingga 0,85%. Persentase carry-over ini jauh lebih rendah daripada carry-over yang dilaporkan oleh penelitian sebelumnya yang berkisar antara 1 hingga 3% (Diaz et al., 2004; Masoero et al., 2007). Untuk mendukung hasil tersebut, dilakukan percobaan *in vivo* untuk mengetahui karakteristik carry-over AFB1 pada sapi IFH. Carry-over AFB1 sapi IFH yang rendah dikonfirmasi dalam percobaan *in vivo* (studi 2), di mana persentasenya kurang dari 0,1%. Dibandingkan dengan hasil di negara-negara sub tropis, rendahnya carry-over aflatoksin pada sapi IFH tampaknya disebabkan oleh produksi

susu yang rendah dan respons hewan terhadap konsumsi pakan yang terkontaminasi AFB1 secara teratur.

Temuan tersebut menyarankan penelitian lebih lanjut harus dilakukan untuk mencegah efek buruk aflatoksin pada hewan dan mengurangi terbawa ke dalam susu. Pendekatan ini harus relatif murah, mudah diadopsi oleh petani, dan telah disetujui sebagai aman dan efektif (Huwig et al., 2001; Li et al., 2010). Beberapa adsorben telah diidentifikasi karena kemampuannya untuk menyerap mikotoksin (Huwig et al., 2001; Kolossova et al., 2011). Namun tidak semua adsorben sama efektifnya untuk diterapkan pada ternak ruminansia, khususnya sapi perah di Indonesia yang ditandai dengan produksi susu yang rendah dan secara teratur diberi pakan yang terkontaminasi aflatoksin.

Dalam studi 3 penelitian ini, studi *in vitro* dilakukan untuk memilih adsorben alami yang memiliki kapasitas dan stabilitas tinggi untuk mengadsorpsi AFB1 pada saluran gastrointestinal simulasi ruminansia. Secara rata-rata, bentonit alami menunjukkan kapasitas pengikatan dan stabilitas yang lebih tinggi daripada adsorben lain yang diuji. Penetapan kisaran pH yang berbeda menunjukkan bahwa daya ikat bentonit alam sangat dipengaruhi oleh pH larutan. Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan kapasitas bentonit alam lebih tinggi daripada zeolit alam (Nuryono et al., 2012). Beberapa penelitian juga menunjukkan kapasitas produk komersial bentonit yang tinggi dibandingkan dengan produk komersial zeolit, arang aktif, dan dinding sel ragi (Duarte et al., 2004; Moschini et al., 2008; Li et al., 2010).

Struktur fisik dan sifat kimia adsorben berperan penting dalam efikasi adsorben untuk mengikat aflatoksin, yaitu total muatan dan distribusi muatan, ukuran pori-pori, dan luas permukaan yang dapat diakses dari adsorben (Huwig et al., 2001). Studi oleh Deng et al. (2010) menyimpulkan bahwa ikatan utama antara AFB1 teradsorpsi dan smektit adalah interaksi ion-dipol dan koordinasi antara kation yang dapat ditukar dan gugus karbonil. Bentonit sebagian besar terdiri dari montmorilonit yang mengadsorpsi senyawa organik baik di sisi luarnya maupun di

dalam ruang interlayernya (Ramos et al., 1996). Literatur ini sebagian menjelaskan kapasitas dan stabilitas bentonit yang lebih tinggi untuk mengadsorpsi AFB1 dibandingkan dengan adsorben lainnya.

*In vitro* pengujian menunjukkan bahwa bentonit adalah adsorben yang menjanjikan untuk menyerap AFB1 dalam pakan yang terkontaminasi untuk ruminansia. Oleh karena itu, dilakukan percobaan *in vivo* pada penelitian 4 untuk mengetahui efikasi bentonit alami dalam menurunkan kadar aflatoksin pada susu sapi IFH. Dalam desain penelitian cross-over, sapi diberi pakan biasa yang secara alami terkontaminasi AFB1 pada level 23,2 ppb. Hasil penelitian menunjukkan inklusi bentonit alami pada kadar 0,1% campuran konsentrat efektif menurunkan kadar AFM1 dalam susu yaitu dari 46 menjadi 40 ppt ( $P < 0,01$ ).

AFB1 yang diserap dimetabolisme di hati kemudian diekskresikan dalam urin, feses, dan susu. Perhitungan ekskresi aflatoksin pada penelitian ini menunjukkan adanya peningkatan ekskresi AFB1 pada feses dan penurunan ekskresi AFM1 pada urin dan susu ( $P > 0,05$ ). Bentonit ternyata menurunkan bioavailabilitas AFB1 di saluran cerna yang mengakibatkan penurunan absorpsi AFB1 ke dalam sistem metabolisme tubuh dan meningkatkan ekskresi AFB1 melalui feses. Ekskresi aflatoksin M1 dalam urin merupakan cerminan dari paparan aflatoksin dan telah digunakan dalam banyak penelitian untuk memperkirakan paparan manusia terhadap AFB1 (Sabran et al., 2012). Applebaum dkk. (1982) menyatakan bahwa kadar AFM1 dalam susu kemungkinan dipengaruhi oleh laju metabolisme AFB1 di hati dan laju ekskresi metabolit melalui urin dan feses.

Sebuah percobaan pada anjing menunjukkan penurunan yang signifikan dalam ekskresi AFM1 urin dari hewan yang menerima diet dengan produk phyllosilicate-clay dibandingkan dengan diet tanpa inklusi tanah liat (Bingham et al., 2004). Penulis menyimpulkan bahwa adsorben tanah liat dapat memberikan perlindungan pada hewan dari aflatoksikosis dengan mencegah adsorpsi AFB1 di saluran cerna. Namun, ada kekurangan data

mengenai pengaruh inklusi adsorben terhadap ekskresi aflatoksin pada ruminansia.

Bentonit memiliki tidak ada efek pada produksi dan komposisi susu, dan pada asupan nutrisi dan pencernaan. Kutz dkk. (2009) melaporkan bahwa produksi susu dan persentase lemak susu tidak terpengaruh ketika sapi perah awal hingga pertengahan laktasi diberi 112 ppb AFB1 dalam ransum campuran total selama 7 hari dengan atau tanpa inklusi adsorben. Queiroz dkk. (2012) mendeteksi tidak ada perubahan dalam produksi susu dan persentase lemak karena pemberian 75 ppb AFB1 dalam diet DM tetapi persentase protein susu berkurang ketika sapi diberi pakan perlakuan tanpa penambahan adsorben. Whitlow dan Hagler (2005) mengemukakan bahwa pakan yang mengandung kadar aflatoksin di atas 100 ppb dapat berdampak buruk pada performa dan kesehatan hewan. Tingginya tingkat kontaminasi AFB1 dalam pakan menurunkan asupan bahan kering dan status kesehatan hewan (Pietri et al., 2009). Oleh karena itu, memberi makan 23. 2 ppb AFB1 dalam konsentrat campuran dalam penelitian ini mungkin tidak cukup untuk berdampak buruk pada produksi dan komposisi susu. Selain itu, perlu dicatat bahwa sapi dalam penelitian ini telah secara alami kontak dengan aflatoksin dalam waktu lama yang dapat mengakibatkan toleransi terhadap pakan yang terkontaminasi seperti yang dinyatakan oleh Fink-Gremmels (2008b).

Di sisi lain, tingkat bentonit alami pada level 0,1% mungkin tidak cukup untuk menghasilkan pengurangan AFM1 yang tinggi dalam susu, yang diberi pakan alami yang terkontaminasi AFB1, ke level di bawah 25 ppt. Pakan yang terkontaminasi secara alami dapat terdiri dari banyak kelompok mikotoksin dan nutrisi lain yang juga memiliki afinitas terhadap adsorben dan bersaing AFB1 dalam mengikat adsorben (Kolossova et al., 2009). Komponen umpan dapat bertindak sebagai ligan dan menutupi permukaan aktif adsorben yang akan menurunkan kapasitas adsorben untuk mengikat aflatoksin (Kolossova dan Stroka, 2011). Slamova dkk. (2011) meninjau bahwa suplementasi bentonit dalam ransum campuran total biasanya antara 2 hingga 3%. Oleh karena itu,

disarankan agar dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menggunakan bentonit alami dengan kadar antara 1 hingga 3% untuk mengurangi kandungan AFM1 dalam susu sapi IFH di bawah 25 ppt.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agus, A., I. Khuluq, I. Sumantri, C.T. Noviandi, and Nuryono. 2010a. Aflatoxin M1 excretion in the milk of tropical dairy cow fed contaminated aflatoxin B1 in the diet. Proceeding of the 5<sup>th</sup> International Seminar on Tropical Animal Production: Community Empowerment and Tropical Animal Industry. Faculty of Animal Science, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. 282 - 285.
- Agus, A., Y.B. Maryudhani, Yunianta, S. Wedhastri, and Nuryono. 2010b. Production of crude Aflatoxin B1 using different isolates and substrates. In: Abstracts of 32<sup>nd</sup> Mycotoxin Workshop, Lyngby, Denmark, 130.
- Ali, N., Sardjono, A. Yamashita, and T. Yoshizawa. 1998. Natural co-occurrence of aflatoxins and Fusarium mycotoxins (fumonisins, deoxynivalenol, nivalenol and zearalenone) in corn from Indonesia. *Food Addit. Contam.* 15(4): 377 - 384.
- AOAC. 1984, Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 14<sup>th</sup> Edition. S. Williams (Ed.). AOAC inc., USA. 152 - 285.
- Applebaum, R.S., R.E. Brackett, D.W. Wiseman, and E.H. Marth. 1982. Aflatoxin toxicity to dairy cattle and occurrence in milk and milk products. *J. Food Prot.* 45 (8): 752-777.
- Bahri, S., R. Maryam, and R. Widiastuti. 2005. Cemaran aflatoxin pada bahan pakan dan pakan di beberapa daerah propinsi Lampung dan Jawa Timur. *JITV* 10 (3): 236 - 241.

- Battacone, G., A. Nudda, A. Cannas, A. Cappio, G. Borlino, and G. Pulina. 2003. Excretion of aflatoxin M1 in milk of dairy ewes treated with different doses of aflatoxin B1. *J. Dairy Sci.* 86: 2667 - 2675.
- Bhat, R., R.V. Rai, and A.A. Karim. 2010. Mycotoxins in food and feed: Present status and future concerns. *Comp. Rev. Food Sci. Food Saf.* 9: 57 - 81.
- Bingham, A.K., H.J. Huebner, T.D. Phillips, and J.E. Bauer. 2004. Identification and reduction of urinary aflatoxin metabolites in dogs. *Food Chem. Toxicol.* 42: 1851-1858.
- BPS Kabupaten Sleman. 2013. Statistik Daerah Sleman 2013. BPS Sleman. Sleman.
- BPS Propinsi Jawa Tengah. 2013. Jawa Tengah. [http://jateng.bps.go.id/index.php?option=com\\_content&view=section&id=13&Itemid=28](http://jateng.bps.go.id/index.php?option=com_content&view=section&id=13&Itemid=28) (Accessed in 11 May 2014).
- BPS. 2013. Laporan Hasil Sensus Pertanian 2013 (Pencacahan Lengkap). Badan Pusat Statistik. Jakarta
- Britzi, M., S. Friedman, J. Miron, R. Solomon, O. Cuneah, J.A. Shimshoni, S. Soback, R. Ashkenazi, S. Armer, and A. Shlosberg. 2013. Carry-over of aflatoxin B1 to aflatoxin M1 in high yielding Israeli cows in mid- and late-lactation. *Toxins* 5: 173 - 183.
- Brodhagen, M. and N.P. Keller. 2006. Review: Signalling pathways connecting mycotoxin production and sporulation. *Mol. Plant Pathol.* 7 (4): 285-301.

- Bryden, W.L. 2012. Mycotoxin contamination of the feed supply chain: Implications for animal productivity and feed security. *Anim. Feed Sci. Technol.* 173: 134 – 158.
- Carraro, A., A. De Giacomo, M.L. Giannossi, L. Medici, M. Muscarella, L. Palazzo, V. Quaranta, V. Summa, and F. Tateo. 2014. Clay minerals as adsorbents of aflatoxin M1 from contaminated milk and effects on milk quality. *App. Clay Sci.* 88-89: 92 – 99.
- Chegeni, A., Y.L. Li, K.D. Deng, C.G. Jiang, and Q.Y. Diao. 2013. Effect of dietary polymer-coated urea and sodium bentonite on digestibility, rumen fermentation, and microbial protein yield in sheep fed high levels of corn stalk. *Livest. Sci.* 57: 141-150.
- Chou, M.W. and W. Chen. 1997. Food restriction reduces aflatoxin B1 (AFB1)-DNA adduct formation, AFB1-glutathione conjugation and DNA damage in AFB1-treated male F344 rats and B6C3F mice. *J. Nutr.* 127: 210 – 217.
- Coulombe, R.A. 1993. Symposium: Biological action of mycotoxins. *J. Dairy Sci.* 76: 880 - 891.
- Deng, Y., A.L.B. Velazquez, F. Billes and J.B. Dixon. 2010. Bonding mechanism between aflatoxin B1 and smectite. *Appl. Clay Sci.* 50: 92-98
- Departemen Pertanian. 2011. Pemerintah Ajak Masyarakat untuk Konsumsi Susu Segar Setiap Hari. <http://www.deptan.go.id/news/detail.php?id=861> . (Accessed in 23 March 2013)

- Dhanasekaran, D., S. Shanmugapriya, N. Thajuddin, and A. Panneerselvam. 2011. Aflatoxins and aflatoxicosis in human and animals. In: R. G. Guevara-Gonzalez Ed. *Aflatoxins-Biochemistry and Molecular Biology* pp. 221 - 254. Intech Publishing, Rijeka-Croatia.
- Diaz, D.E., W.M. Hagler Jr., J.T. Blackwelder, J.A. Eve, B.A. Hopkins, K.L. Anderson, F.T. Jones, and L.W. Whitlow. 2004. Aflatoxin binders II: Reduction of aflatoxin M1 in milk by sequestering agents of cows consuming aflatoxin in feed. *Mycopathologia* 157: 233 - 241.
- Duarte, S.C., A.M. Almeida, A.S. Teixeira, A.L. Pereira, A.C. Falcão, A. Pena, and C.M. Lino. 2013. Aflatoxin M1 in marketed milk in Portugal: Assessment of human and animal exposure. *Food Control* 30: 411 - 417.
- Egmond, H.P. van. 1989. Aflatoxin M1: occurrence, toxicity, regulation. In: H.P. van Egmond ed. *Mycotoxin in Dairy* pp 11-55. Elsevier Applied Science, London.
- Eijkeren, J.C.H. van, M.I. Bakker, and H.J. Zeilmaker. 2006. A simple steady-state model for carry-over of aflatoxins from feed to cow's milk. *Food Addit.Contam.* 23 (8): 833 - 838.
- Elnezami, H.S., G. Nicoletti, G.E. Neal, D.C. Donohue, and J.T. Ahokas. 1995. Aflatoxin M1 in human breast-milk samples from Victoria, Australia and Thailand. *Food Chem. Toxicol.*33: 173 - 179.

- Feddern, V., C. Dors Giniani, F.C. Tavernari, H. Mazzuco, A.Cunha Jr., E.L. Krabbe, and G.N. Scheuermann. 2013. Aflatoxins importance on animal nutrition. In: M. Razzaghi-Abyaneh ed. Aflatoxins - Recent Advances and Future Prospects pp.171 - 195. In Tech Publishing, Rijeka-Croatia.
- Filaeli, A. 2007. Cemaran alami aflatoksin B1 dalam pakan konsentrat dan aflatoksin M1 dalam susu sapi perah. Thesis. Sekolah Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta, Indonesia.
- Fink-Gremmels, J. 2008a. Mycotoxins in cattle feeds and carry-over to dairy milk: A review. *Food Additiv. Contam.* 25 (2): 172 - 180.
- Fink-Gremmels, J. 2008b. The role of mycotoxins in the health and performance of dairy cows. *Vet. J.* 176: 84 - 92.
- Frobish R.A., B.D. Bradley, D.D. Wagner, P.E. Long-Bradley, and H. Hairston. 1986. Aflatoxin residues in milk of dairy cows after ingestion of naturally contaminated grain. *J. Food Prot.* 49: 781 - 785.
- Galvano, F., A. Pietri, B. Fallico, T. Bertuzzi, S. Scir`e, M. Galvano, and R. Maggiore. 1996b. Activated carbons: in vitro affinity for aflatoxin B1 and relation of adsorption ability to physicochemical parameters. *J. Food Prot.* 59: 545 - 550.
- Galvano, F., A. Pietri, T. Bertuzzi, G. Fusconi, M. Galvano, A. Piva, and G. Piva. 1996a. Reduction of carry over of aflatoxin from cow feed to milk by addition of activated carbons. *J. Food Prot.* 59: 551 - 554.

- Galvano, F., V. Galofaro, A. De Angelis, M. Galvano, M. Bognanno, and G. Galvano. 1998. Survey of the occurrence of aflatoxin M1 in dairy products marketed in Italy. *J. Food Prot.* 61: 738 – 741.
- Ghiasian, S.A., A.H. Maghsood, T.R. Neyestani, and S.H. Mirhendi. 2007. Occurrence of aflatoxin M1 in raw milk during the summer and winter seasons in Hamedan, Iran. *J. Food Saf.* 27: 188 – 198.
- Gimeno, A., 2014. Aflatoxin M1 Residues in Milk and their Impact on Human Health. <http://en.engormix.com/MA-mycotoxins/articles/aflatoxin-residues-milk-their-t3035/p0.htm>. (Accessed in 23 January 2014)
- Goto, T., E. Ginting, S.S. Antarlina, J.S. Utomo, Y. Ito, and S. Nikkuni. 1999. Aflatoxin contamination and fungi isolated from Indonesian agricultural commodities. In: *Proceeding of International Symposium of Mycotoxicology*, Chiba, Japan. 211 – 215.
- Gowda, N.K.S, H.V.L.N. Swamy, and P. Mahajan. 2013. Recent advances for control, counteraction and amelioration of potential aflatoxins in animal feeds. In: M. Razzaghi-Abyaneh ed. *Aflatoxins - Recent Advances and Future Prospects* pp.129 - 140. In Tech Publishing, Rijeka-Croatia.
- Gowda, N.K.S., R.U. Suganthi, V. Malathi, and A. Raghavendra. 2007. Utilization of dietary minerals and blood biochemical values in lambs fed hydrated sodium calcium alumino silicate sorbent material at supplementary level. *Small Ruminant Res.* 69: 17-22.

- Huwig, A., S. Freimund, O. Kappeli, and H. Dutler. 2001. Mycotoxin detoxication of animal feed by different adsorbents. *Toxicol.Lett.* 122: 179 – 188.
- IARC. 2002. World health organization international agency for research on cancer. Aflatoxins: B1, B2, G1, G2, M1. In: Some traditional herbal medicines, some mycotoxins, naphthalene and styrene. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans 82: 171-175, Lyon.
- IRMM-JRC-EU. 2010. CRL Evaluation Report on Mycofix® Secure. CRL for Feed Additive-IRMM, Geel, Belgium.
- Ivan, M., M.D.S. Dayrell, S. Mahadevan, and M. Hidirolou.1992. Effects of bentonite on wool growth and nitrogen metabolism in fauna-free and faunated sheep. *J. Anim. Sci.* 70: 3194-3202.
- Jaynes, W.F. and R.E. Zartman. 2011. Influence of soluble feed proteins and clay additive charge density on aflatoxin binding in ingested feeds. In: R. G. Guevara-Gonzalez ed. *Aflatoxins-Biochemistry and Molecular Biology* pp 447 – 468. In Tech Publishing, Rijeka-Croatia.
- Jaynes, W.F., R.E. Zartman, and W.H. Hudnall. 2007. Aflatoxin B1 adsorption by clays from water and corn meal. *App. Clay Sci.* 36: 197 – 205.
- Kabak, B., A.D.W. Dobson, and I. Var. 2006. Strategies to prevent mycotoxin contamination of food and animal feed: A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 46 (8): 593 – 619.
- Kamkar, A. 2005. A study on the occurrence of aflatoxin M1 in raw milk produced in Sarab city of Iran. *Food Control* 16 (7): 593 – 599.

- Kannewischer, I., M. Guadalupe, T. Arvide, G. N. White, and J.B. Dixon. 2006. Smectite clays as adsorbents of aflatoxin B1: initial steps. *Appl. Clay Sci.* 12 (Supp. 2): 199 – 204.
- Kiessling, K.H., H. Pettersson, K. Sandholm, and M. Olsen. 1984. Metabolism of aflatoxin, ochratoxin, zearalenone, and three trichothecenes by intact rumen fluid, rumen protozoa, and rumen bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 47 (5): 1070 – 1073.
- Kim, E.K., D.H. Shon, D. Ryu, J.W. Park, H.J. Hwang, and Y.B. Kim. 2000. Occurrence of aflatoxin M1 in Korean dairy products determined by ELISA and HPLC. *Food Addit. Contam.* 17: 59 – 64.
- Kissell, L., S. Davidson, B.A. Hopkins, G.W. Smith, and L.W. Whitlow. 2013. Effect of experimental feed additives on aflatoxin in milk of dairy cows fed aflatoxin-contaminated diets. *J. Anim. Phys. Nutr.* 97: 694 – 700.
- Kolossova, A. and J. Stroka. 2011. Substances for reduction of the contamination of feed by mycotoxins: a review. *World Mycotoxin J.* 4 (3): 225-256.
- Kolossova, A., J. Stroka, A. Breidbach, K. Kroeger, M. Ambrosio, K. Bouten, and F. Ulberth. 2009. Evaluation of the effect of mycotoxin binders in animal feed on the analytical performance of standardised methods for the determination of mycotoxins in feed. JRC Scientific and Technical Reports. European Commission JRC-IRMM, Luxembourg.
- Kos, J. J. Levi, O. Đuragi, B. Koki, and I. Miladinovi. 2014. Occurrence and Estimation of aflatoxin M1 exposure in milk in Serbia. *Food Control* 38: 41 – 46.

- Kutz, R.E., J.D. Sampson, L.B. Pompeu, D.R. Ledoux, J.N. Spain, M. Vazquez-Anon, and G.E. Rottinghaus. 2009. Efficacy of Solis, NovasilPlus, and MTB-100 to reduce aflatoxin M1 levels in milk of early to mid lactation cows fed aflatoxin B1. *J. Dairy Sci.* 92: 3959 – 3963.
- Lanyasunya, T.P., L.W. Lamae, H.H. Musa, O. Olowofeso, and I.K. Lokwaleput. 2005. The risk of mycotoxins contamination on dairy feed and milk on small holder dairy farm in Kenya. *Pakistan J. Nutr.* 4(3): 162 – 169.
- Li, J., D. Suo and X. Su. 2010. Binding capacity for aflatoxin B1 by different adsorbents. *Agric. Sci. in China* 9(3): 449-456
- Liu, Y. and F. Wu. 2010. Global burden of aflatoxin-induced hepatocellular carcinoma: a risk assessment. *Environ. Health Perspect.* 118 (6): 818 – 824.
- Masoero, F., A. Gallo, M. Moschini, G. Piva, and D. Diaz. 2007. Carry over of aflatoxin from feed to milk in dairy cows with low or high somatic cell counts. *Animal* 1: 1344 – 1350.
- Mohammadi, H. 2011. A review of aflatoxin M1, milk, and milk products. In: R. G. Guevara-Gonzalez ed. *Aflatoxins-Biochemistry and Molecular Biology* pp 397 – 414. In Tech Publishing, Rijeka-Croatia.
- Moschini, M., A. Gallo, G. Piva, and F. Masoero. 2008. The effects of rumen fluid on the *in vitro* aflatoxin binding capacity of different sequestering agents and *in vivo* release of the sequestered toxin. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 147: 292 – 309.

- Moschini, M., F. Masoero, D.E. Diaz, and A. Gallo. 2006. Plasma aflatoxin concentrations over time in bolus fed lactating dairy cows. *J. Anim. Sci.* 84 (Suppl. 1): 74.
- Nuryono, A. Agus, S. Wedhastri, Y.M.S. Maryudhani, D. Pranowo, Yunianto, and E. Razzazi-Fazeli. 2012. Adsorption of aflatoxin B1 in corn on natural zeolite and bentonite. *Indo. J. Chem.* 12 (3): 279 - 286.
- Nuryono, N., A. Agus, S. Wedhastri, Y.B. Maryudani, Y.B., F.M.C Sigitsetyabudi, J. Bohm, and E. Razzazi-Fazeli. 2009. A limited survey of aflatoxin M1 in milk from Indonesia by ELISA. *Food Control* 20: 721 - 724.
- Peng, K.Y. and C.Y. Chen. 2009. Prevalence of aflatoxin M1 in milk and its potential liver cancer risk in Taiwan. *J. Food Prot.* 72 (5): 1025 - 1029.
- Pier, A.C. 1992. Major biological consequences of aflatoxicosis in animal production. *J. Anim. Sci.* 70: 3964 - 3967.
- Pietri, A., T. Bertuzzi, G. Piva, E.M. Binder, D. Schatmayr and I. Rodrigues. 2009. Aflatoxin transfer from naturally contaminated feed to milk of dairy cows and the efficacy of a mycotoxin deactivating product. *Int. J. Dairy Sci.* 4 (2): 34 - 42.
- Pitt, J.I. 2004. Application of the food safety objective concept to the problem of aflatoxins in peanuts. *Mitt. Lebensm. Hyg.* 95: 52-58.

- Pitt, J.I. and A.D. Hocking. 2004. Current mycotoxins issues in Australia and Southeast Asia. In: Barug, D., H. van Egmond, R. Lopez-Garzia, T. van Osenbruggen and A. Visconti eds. Meeting the Mycotoxin Menace pp 69 – 78. Wageningen Academic Publisher, Wageningen-the Netherlands.
- Prandini, A., G. Tansini, S. Sigolo, L. Filippi, M. Laporta and M. Piva. 2009. Review on the occurrence of aflatoxin M1 in milk and dairy products. *Food Chem. Toxicol.* 47: 984 – 991.
- Purwoko, H.M., B. Hald and J. Wolstrup. 1991. Aflatoxin content and number of fungi in poultry feedstuffs from Indonesia. *Lett. Appl. Microbiol.* 12: 212 – 215.
- Queiroz , O.C.M., J.H. Han, C.R. Staples, and A.T. Adesogan. 2012. Effect of adding a mycotoxin-sequestering agent on milk aflatoxin M1 concentration and the performance and immune response of dairy cattle fed an aflatoxin B1-contaminated diet. *J. Dairy Sci.* 95 :5901–5908.
- Rastogi, S., P.D. Dwivedi, S.K. Khanna and M. Das. 2004. Detection of aflatoxin M1 contamination in milk and infant milk products from Indian markets by ELISA. *Food Control* 15(4) : 287 – 290.
- Richard, J.L. 2007. Some major mycotoxins and their mycotoxicosis: An overview. *Int. J. Food Microbiol.* 119: 3 – 10.
- Rodrigues, I. and K. Naehrer, 2012. A three-year survey on the worldwide occurrence of mycotoxins in feedstuffs and feed. *Toxins* 4: 663-675.

- Ruangwises, N. and S. Ruangwises. 2010. Aflatoxin M1 contamination in raw milk within the Central Region of Thailand. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 85: 195 – 198.
- Sabran, M.R., R. Jamaluddin, and M.S.A. Mutalib. 2012. Screening of aflatoxin M1, a metabolite of aflatoxin B1 in human urine samples in Malaysia: A preliminary study. *Food Control* 28: 55 - 58.
- Sardjono, E.S. Rahayu, A.D. Hocking, and J.I. Pitt. 1992. The microflora of cereals and nuts in Indonesia. In: *Proceeding of the 4th ASEAN Food Conference: Development of Food Science and Technology in Southeast Asia*. Jakarta. 698 – 676.
- Slamova, R., M. Trckova, H. Vondruskova, Z. Zraly, and I. Pavlik. 2011. Clay minerals in animal nutrition. *App. Clay Sci.* 51: 395–398.
- Takahashi, K. 1999. Utilization of Friesian Holstein breed in the tropical zone. In: *Technical Manual for Dairy Farming in the Tropical Zone*. Pp 1 – 5. Japan Livestock Technology Association.
- Thieu, N.Q. and H. Pettersson. 2008. *In vitro* evaluation of the capacity of zeolite and bentonite to adsorb aflatoxin B1 in simulated gastro-intestinal fluids. *Mycotoxin Research* 24 (3): 124-129
- Thomson, C. and S.E. Henke. 2000. Effects of climate and type of storage on aflatoxin production in corn and its associated risks to wildlife species. *J. Wildlife Dis.* 36 (1): 172 – 179.
- Veldman, A. 1992. Effect of sorbentia on carry-over of aflatoxin from cow feed to milk. *Milchwissenschaft* 47: 777 – 780.

- Volkel, I., E. Schroer-Merker, and C.P. Czerny. 2011. The carry-over of mycotoxins in products of animal origin with special regards to its implications for the European food safety legislation. *Food Nutr. Sci.* 2: 852 – 867.
- Whitlow, L.W. and W.M. Hagler. 2005. Mycotoxins in dairy cattle: occurrence, toxicity, prevention and treatment. In *Proceeding of Southwest Nutrition*. University of Arizona, Animal Sciences, Tucson. 124 – 138.
- Williams, 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.
- Yiannikouris, A. and J.P. Jouany. 2002. Mycotoxins in feeds and their fate in animals: a review. *Anim. Res.* 51: 81 – 99.
- Zheng, N., J.Q. Wang, R.W. Han, Y.P. Zhen, X.M. Xu, and P. Sun. 2013. Survey of aflatoxin M1 in raw milk in the five provinces of China. *Food Addit. Contam.* 6 (2): 110 – 115.

## BIODATA PENULIS



IKA SUMANTRI, Dosen tetap pada Jurusan Peternakan Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru. Penulis di samping mengajar juga aktif melaksanakan penelitian, melakukan publikasi ilmiah serta menjadi konsultan pada industri pakan ternak terkait keamanan pakan dari cemaran mikotoksin. Lulus S1 pada

Fakultas Peternakan Universitas Gadjah Mada, penulis menempuh S2 di bidang Bioteknologi dari Universitas Gadjah Mada dan Master of Science pada Department of Animal Science dari Wageningen University and Research, Belanda. Gelar Doktor diperoleh dari Fakultas Peternakan Universitas Gadjah Mada melalui program sandwich dengan Veterinary Medicine University of Vienna, Austria pada tahun 2014.