

Review: Teknik Penanganan dan Penyimpanan Biji Kakao Terhadap Kadar Air, Suhu, Kelembaban dan Cemaran Jamur

Iis Sa'diah^{1*}

¹ Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian, Universitas Garut, 44151, Indonesia

*E-mail: iis.sadiyah@uniga.ac.id

Diterima: 13 Juni 2024; Disetujui: 30 Juni 2024

ABSTRAK

Kakao termasuk salah satu komoditas pertanian yang banyak di ekspor di beberapa negara seperti Pantai Gading, Ghana, Indonesia dan Nigeria serta sering dikonsumsi dalam bentuk olahan makanan atau minuman seperti cokelat, permen, bubuk kakao, minuman cokelat dan biskuit. Produksi kakao di beberapa negara secara signifikan terus meningkat. Produksi yang melimpah harus diimbangi dengan pengendalian pasca panen yang baik untuk menjaga penurunan mutu dan mencegah terjadinya kontaminasi jamur pada biji kakao. Pengendalian yang perlu dilakukan untuk menekan kehilangan hasil, meningkatkan nilai tambah, memperpanjang umur simpan biji dan mempertahankan mutu biji dapat dilakukan melalui beberapa tahapan seperti sortasi, pemeraman, pemecahan buah, fermentasi, perendaman dan pencucian biji, pengeringan serta pengemasan dan penyimpanan yang baik. Biji kakao umumnya disimpan dalam wadah berupa karung goni, plastik, wadah hermetik dan kotak penyimpanan dalam ruang AC ataupun sirkulasi. Pada ulasan ini akan dibahas mengenai teknologi penanganan biji kakao setelah panen serta kondisi penyimpanan biji kakao terhadap perubahan kadar air, suhu, kelembaban dan keberadaan jamur mikotoksigenik dari beberapa penelitian serta faktor-faktor yang mempengaruhinya.

kata kunci : Biji kakao; Cemaran Jamur; Kadar Air ; Kelembaban ; Suhu

ABSTRACT

Cocoa beans are among the agricultural commodities widely exported by several countries such as Ivory Coast, Ghana, Indonesia, and Nigeria, and are frequently consumed in various processed forms like chocolate, candies, cocoa powder, chocolate drinks, and biscuits. Cocoa production in several countries continues to increase significantly. The abundant production must be balanced with effective post-harvest control to prevent quality deterioration and fungal contamination in cocoa beans. Control measures to minimize yield losses, enhance added value, extend seed shelf life, and maintain seed quality can be achieved through several stages such as sorting, ripening, pod breaking, fermentation, soaking and washing of beans, drying, as well as proper packaging and storage. Cocoa beans are typically stored in containers such as jute bags, plastic, hermetic containers, and storage boxes in air-conditioned rooms or with adequate ventilation. This review discusses post-harvest cocoa bean handling technologies and the storage conditions affecting moisture content, temperature, humidity, and the presence of mycotoxigenic fungi based on various studies and influencing factors.

keywords: Cocoa beans; Fungal Contamination; Moisture Content; Humidity; Temperature

PENDAHULUAN

Kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan salah satu tanaman hasil perkebunan yang mempunyai prospek sangat baik untuk dikembangkan dan berpeluang

besar untuk meningkatkan penghasilan petani kakao serta meningkatkan devisa negara. Biji kakao termasuk salah satu komoditas pertanian yang banyak di ekspor di beberapa negara seperti Pantai Gading, Ghana,

Indonesia dan Nigeria (Läderach et al., 2013; Utami, 2021). Kakao adalah pohon tropis yang menghasilkan biji kakao yang sering dikonsumsi dalam bentuk olahan lain seperti cokelat, permen, bubuk kakao, minuman cokelat dan biskuit (Sánchez-hervás et al., 2008). Produksi kakao di beberapa negara secara signifikan terus meningkat. Peningkatan hasil panen biji kakao tidak diimbangi dengan pengetahuan petani dalam pengolahan biji kakao setelah panen dan hal tersebut berdampak pada penurunan mutu kakao yang dihasilkan relatif rendah seperti penurunan cita rasa khas, keasaman tinggi, kadar kulit kakao tinggi, ukuran biji tidak seragam, tidak terfermentasi dengan baik dan biji tidak cukup kering (Rawel et al., 2019). Mutu biji kakao yang rendah akan berdampak pada rendahnya kualitas produk yang dihasilkan.

Perolehan biji kakao setelah panen diantaranya yaitu buah dibuka untuk memperoleh bijinya, kemudian difermentasi, dikeringkan dan disimpan sebelum di ekspor ke negara lain atau sebelum diolah menjadi produk lain yang berbasis kakao (Kamphuis, 2009). Tahapan penting dalam pengolahan biji kakao yaitu tahap fermentasi, pengeringan dan penyimpanan harus dilakukan sebaik mungkin untuk menghindari kontaminasi jamur dan proliferasi dalam biji kakao (Akinfala et al., 2020; Gutiérrez, 2017).

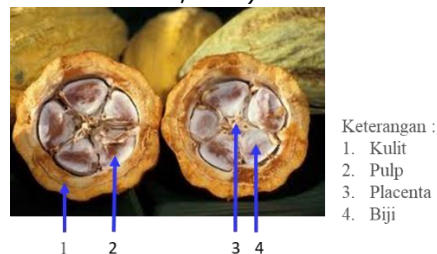
Penyimpanan kakao umumnya dikemas dalam kantong sisal yang permeable atau karung goni atau disimpan dalam keranjang kayu dalam jangka waktu hingga tiga bulan (Copetti et al., 2014a; Fapohunda et al., 2018). Selama penyimpanan, biji kakao akan mengalami kehilangan kelembaban tergantung pada kondisi psikrometrik udara di sekitarnya. Kelembaban berkorelasi dengan aktivitas air yang akan berpengaruh pada pertumbuhan jamur selama penyimpanan (Akmel et al., 2015; Barreiro & Sandoval, 2020; Nascimento et al., 2013). Proses kerusakan oleh jamur selama penyimpanan biji-bijian diawali ketika suhu dan tingkat kelembaban biji melebihi batas kritis penyimpanan yang aman. Faktor yang berpengaruh pada perkembangan jamur di ruang penyimpanan diantaranya yaitu kadar air biji-bijian, suhu, kelembaban relatif dan konsentrasi gas (O₂ dan CO₂) (Nhamucho et al., 2017). Selain itu, kerusakan oleh serangga juga berpengaruh pada kontaminasi oleh berbagai jamur mikotoksin (Pitt et al., 2013). Oleh karena itu, potensi penyimpanan dan stabilitas biji kakao sangat bergantung pada kadar air dan faktor yang mempengaruhi aktivitas air seperti suhu dan kelembaban relatif sekitar.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka tulisan ini mengkaji mengenai teknik pengolahan pasca panen

biji kakao dan beberapa kondisi penyimpanan yang berpengaruh terhadap kadar air, kelembaban dan keberadaan jamur mikotoksigenik selama penyimpanan.

KAKAO

Kakao (*Theobroma cacao*) merupakan bahan dasar coklat yang memberikan cita rasa yang khas pada produk olahannya (Owusu et al., 2013; Voigt et al., 2016). Buah kakao terdiri dari 4 bagian yaitu kulit, placenta, pulp dan biji. Buah kakao yang sudah masak terdiri dari 30-40 biji yang dilapisi placenta dan pulp (10-14% berat kering). Pulp tersusun atas 8-4% gula dan 80-90% air yang sangat baik untuk pertumbuhan mikroba selama proses fermentasi (Rawel et al., 2019; Santander Muñoz et al., 2020).



Gambar 1. Buah kakao

Sumber: <https://anktani.files.wordpress.com/2013/11/images-9.jpg>

Varietas kakao dunia dibedakan menjadi tiga kelompok besar yaitu Criollo, Forastero dan Trinitario dengan produksi terbesar kakao dunia yaitu dari kelompok forastero sebesar 95% (Rawel et al., 2019).

- a. Jenis Criollo menghasilkan mutu yang sangat baik diantara jenis kakao yang lainnya sehingga jenis criollo banyak dibutuhkan di industri pengolahan kakao untuk menghasilkan coklat yang bermutu tinggi
- b. Jenis Forastero memiliki endosperma yang berwarna ungu tua, berbentuk bulat hingga gepeng. Jenis kakao forastero menghasilkan coklat yang bermutu sedang (ordinary cacao) dan rasanya lebih pahit dibandingkan jenis criollo. Pertumbuhan vegetatif dari kakao forastero juga sangat baik dibandingkan dengan jenis kakao criollo, sehingga produksinya lebih banyak karena jenis kakao ini lebih tahan terhadap serangan hama dan penyakit.
- c. Jenis Trinitario merupakan kombinasi dari jenis forastero dan criollo. Keunggulan kakao jenis ini yaitu tahan terhadap penyakit VSD (Vascular Streak Dieback), masa penanamannya setiap tahun, berbuah setelah berumur dua tahun sehingga

- d. pertumbuhannya relative cepat dan aspek agronominya mudah. Biji yang dihasilkan dari kakao jenis trinitario ada yang termasuk bulk kakao dan tergolong fine flavor cacao.



Gambar 2. Jenis buah kakao

Sumber: <https://shop.gallerys.id/wp-2018/01/jenis-jenis-kakao-dunia.png>

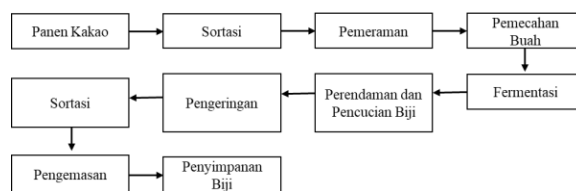
Biji kakao yang sudah masak memiliki kandungan air yang cukup tinggi, memiliki rasa asam, manis dan beberapa zat kimiawi lainnya seperti protein, lemak, sukrosa, pati, polifenol, asam-asam organik, kafein dan theobromin sebagaimana disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Kandungan Biji Kakao

Komponen	Kandungan (%)	Referensi
Air	32-39%	(Bucheli et al., 2001; Schwan, R.F., Fleet, G.H., Afoakwa, 2015)
Protein	8-10%	(Bucheli et al., 2001)
Lemak total	30-32%	(Bucheli et al., 2001; Schwan, R.F., Fleet, G.H., Afoakwa, 2015)
Sukrosa	2-3%	(Bucheli et al., 2001)
Pentosis	4-6%	(Schwan, R.F., Fleet, G.H., Afoakwa, 2015)
Pati	4-6%	(Bucheli et al., 2001)
selulosa	2-3%	(Bucheli et al., 2001)
Polifenol	15-20%	(Afoakwa et al., 2008)
Asam organik (asam sitrat, asam malat, asam oksalat)	1%	(Schwan, R.F., Fleet, G.H., Afoakwa, 2015)
Kafein	0,2-0,1%	(Schwan, R.F., Fleet, G.H., Afoakwa, 2015)
Theobromin	1-3%	(Bucheli et al., 2001; Ozturk & Young, 2017)

PROSES PRODUKSI PASCA PANEN BIJI KAKAO

Proses pengolahan pasca panen kakao akan berpengaruh pada mutu kakao yang dihasilkan sehingga diperlukan penerapan mutu dan teknologi tepat guna pada setiap proses penanganannya sampai dihasilkan mutu kakao yang berkualitas baik dari aspek fisik, cita rasa, konsistensi dan keseragaman dari biji kakao. Kakao merupakan bahan dasar makanan atau minuman sehingga diperlukan pengawasan dan pemantauan yang tepat untuk meminimalisir penyimpangan mutu biji kakao terutama pada pembentukan cita rasa khas biji kakao seperti rasa pahit dan sepat. Beberapa tahapan yang perlu dilakukan untuk menekan kehilangan hasil, meningkatkan nilai tambah, memperpanjang umur simpan biji dan mempertahankan kesegaran biji dapat dilakukan melalui beberapa tahapan seperti sortasi, pemeraman, pemecahan buah, fermentasi, perendaman dan pencucian biji, pengeringan, sortasi kembali serta pengemasan dan penyimpanan.



Gambar 3. Diagram proses produksi pasca panen kakao

a. Sortasi Buah

Sortasi biji kakao bertujuan untuk memisahkan buah berdasarkan mutunya dan menghilangkan bagian buah yang cacat atau busuk sehingga dapat meminimalisir pencemaran dan penyebaran hama penyakit ke bagian buah yang sehat (Yunus, 2016). Kegiatan sortasi harus dilakukan dengan cermat untuk menghindari kebusukan buah pada tahap pemeraman.

b. Pemeraman Buah

Pemeraman atau penyimpanan buah (pod storage) bertujuan untuk memperoleh kematangan buah yang seragam serta memudahkan pengeluaran biji dari buah kakao sehingga kandungan pulpa dalam biji dapat berkurang (Hartuti et al., 2020). Pemeraman buah kakao umumnya dilakukan selama 5-12 hari yang disimpan dalam karung goni atau keranjang yang ditutup dengan daun-daunan dan disimpan di permukaan tanah yang telah dialasi daun-daunan (Raden Sugiarto, 2019). Pemeraman buah sebaiknya dilakukan dengan memperhatikan sanitasi lokasi penimbunan, terhindar dari cahaya matahari langsung dan terhindar dari hewan parasit.

c. Pemecahan buah

Pemecahan buah bertujuan untuk mengeluarkan biji dari plasenta atau kulit buah kakao. Menurut Fahroji (2011) selama pemisahan biji dari buah kakao harus terhindar dari benda-benda yang terbuat dari logam karena dapat menyebabkan penurunan warna biji kakao menjadi warna kelabu. Pemisahan biji sebaiknya dilakukan dengan cara memukul buah kakao dengan buah kakao lainnya atau menggunakan pemukul kayu dengan tetap memperhatikan sanitasi lingkungan untuk menghindari kontaminasi yang dapat mencemari produk sehingga mengganggu proses fermentasi biji kakao (Fahroji, 2011). Namun, pemecahan buah dalam kapasitas besar dapat dilakukan dengan menggunakan mesin pengupas buah kakao (Nguyen et al., 2019). Selanjutnya biji kakao yang sehat harus segera difermentasi untuk menghindari penurunan mutu akibat pra-fermentasi (Yro et al., 2018).

d. Fermentasi

Polifenol dan alkaloid yang terdapat dalam biji kakao menyebabkan rasa sepat dan pahit pada biji kakao (Murthy et al., 2020). Fermentasi kakao bertujuan untuk memperbaiki rasa, warna dan aroma serta mengurangi rasa sepat dan pahit melalui aksi mikroorganisme yang terlibat, termasuk ragi, bakteri asam laktat (BAL) dan bakteri asam asetat (Janek et al., 2016; Ozturk & Young, 2017). Selain itu, fermentasi juga berfungsi untuk menghentikan pertumbuhan kecambah dan menghasilkan biji yang tahan terhadap jamur dan hama selama penyimpanan (Afoakwa, 2010). Pulp yang menyelimuti biji kakao terdiri atas 80 % air, 10-15% glukosa dan fruktosa, 0,5% asam non-volatile sebagian besar sitrat, garam, asam volatile, tepung dan sedikit sukrosa (Keifer & Effenberger, 1967). Proses fermentasi dapat menghancurkan pulp dan menciptakan kondisi yang mendukung untuk berlangsungnya proses biokimia dan reaksi kimia dalam keping biji kakao.

Fermentasi kakao dapat dilakukan secara spontan dengan memanfaatkan mikroorganisme alami yang terdapat dalam pulp biji kakao atau dengan penambahan mikroorganisme seperti bakteri asam laktat atau bakteri asam asetat (Kouamé et al., 2021; Murthy et al., 2020; Viesser et al., 2021). Selain itu, untuk meningkatkan kualitas biji selama fermentasi juga dapat dilakukan dengan membuang sebagian pulp yang menempel pada biji karena dapat

menyebabkan tekstur dan rasa asam yang kurang baik (Zul et al., 2011).

Metode fermentasi kakao dapat dilakukan secara bertumpuk (misalnya di Pantai Gading dan Ghana), platform (misalnya, Ekuador), dalam karung (misalnya, Ekuador), nampan (mis., Ghana), keranjang (mis., Nigeria dan Ghana) ataupun dalam kotak (mis. Malaysia dan Brasil) (Schwan & Wheals, 2004). Fermentasi kakao secara konvensional umumnya dilakukan selama 5 hingga 6 hari namun setelah 5 hari beberapa spesies jamur dapat membentuk rasa yang tidak diinginkan (Sarbu & Csutak, 2019). Fermentasi kakao melibatkan interaksi mikroorganisme antara Bakteri asam laktat (BAL), bakteri asam asetat (BAA) dan ragi. Interaksi antara mikroorganisme tersebut ditandai dengan adanya perubahan fisik dan kimia biji kakao seperti nilai pH, kandungan gula dan suhu (G. V. de M. Pereira et al., 2012).

Pada tahap fermentasi anaerobik dengan keasaman pulp (pH 3,0–4,0) spesies ragi memanfaatkan karbohidrat dan pulp yang menempel pada biji kakao untuk menghasilkan etanol. Selanjutnya diikuti dengan penurunan jumlah jamur yang menandakan bahwa proses fermentasi didominasi oleh kelompok bakteri asam laktat dan bakteri asam asetat yang menghasilkan asam laktat dan asam asetat. Sedangkan pada tahap fermentasi semi-anaerob selama 36 – 48 jam didominasi oleh perkembangan bakteri asam laktat kemudian metabolisme bakteri asam asetat didukung oleh keberadaan etanol yang sebelumnya dihasilkan oleh ragi (Schwan et al., 2014). Aktivitas mikroba yang berkelanjutan dalam biji kakao akan menghasilkan metabolit dan memicu serangkaian reaksi biokimia (G. V. de M. Pereira et al., 2012).

Berdasarkan (Garcia-Armisen et al., 2010; Papalexandratou et al., 2011; P. C. Pereira, 2014) mikroorganisme yang mendominasi fermentasi kakao diantaranya yaitu spesies ragi (*Saccharmyces cerevisiae* dan *Hanseniaspora opuntiae*) dan spesies bakteri (*Lactobacillus fermentum*, dan *Acetobacter pasteurianus*). Beberapa spesies mikroorganisme yang teridentifikasi selama proses fermentasi disajikan pada tabel 2.

e. Perendaman dan Pencucian

Untuk menghilangkan pulp yang tersisa selama fermentasi dilakukan perendaman selama 3 hari dilanjutkan dengan proses pencucian. Hal ini bertujuan untuk memperbaiki kenampakan biji, menghentikan proses fermentasi kakao dan menghilangkan rasa asam pada biji kakao (Zul et al., 2011).

f. Pengeringan

Proses pengeringan kakao bertujuan untuk menurunkan kadar air dan memperpanjang masa simpan biji. Proses pengeringan kakao dapat dilakukan dengan menjemur dibawah sinar matahari langsung dengan tetap memperhatikan sanitasi lingkungan atau menggunakan mesin pengering (Barrientos et al., 2019).

g. Sortasi, Pengemasan dan Penyimpanan Biji

Biji kakao kering selanjutnya dikelompokkan berdasarkan tingkat mutunya sebelum dikemas. Pengemasan biji kakao bertujuan untuk melindungi biji dari faktor-faktor biotik dan abiotik, mempertahankan kemurnian dan mutu biji serta memudahkan dalam

penyimpanan dan pengangkutan (Robi'in, 2007). Umumnya biji kakao dikemas dalam karung goni. Setiap karung goni berisi 60 kg biji (Departemen Pertanian, 2005) dan disimpan di tempat khusus penyimpanan biji kakao yang memiliki ventilasi cukup, ruangnya bersih dengan kelembaban tidak melebihi 75%. Tumpukan biji kakao yang disimpan disangga dengan palet dari papan kayu dan tidak melebihi 6 tumpukan dan tidak boleh menempel pada dinding (Fahroji, 2011). Umumnya biji kakao dapat disimpan selama 3 bulan (Akinfala et al., 2020; Jonfia-Essien et al., 2010; Kusmiah, 2019).

Tabel 2. Ekologi Mikroba Ragi dan Bakteri Selama Fermentasi Kakao

Spesies yang teridentifikasi	Spesies yang dipilih	Referensi
Saccharomyces cerevisiae, Pichia kudriavzevii, Hanseniaspora uvarum, Wickerhamomyces sp. Candida ethanolica, C. inconspicua, C. humilis, C. xylopsoci, C. intermedia Debaryomyces etchellsii, Schizosaccharomyces pombe, Yarrowia lipolytica, Lactobacillus platarum, L. fermentum, Weissella fabaria/ghanensis, Acetobacter tropicalis, A. malorum, A. pomorum, A. ghanensis, A. orientalis, A. senegalensis, Gluconobacter sp., G. oxydans and Asaia sp.	Acetobacter tropicalis, Saccharomyces cerevisiae dan Lactobacillus fermentum	(de Melo Pereira et al., 2013; G. V. de M. Pereira et al., 2012)
Lactobacillus brevis, L. fermentum, L. plantarum, Leuconostoc mesenteroides, Leu. pseudomesenteroides, Acetobacter pasteurianus, Candida sorboxylosa, C. tropicalis, Hanseniaspora thailandica, H. opuntiae, Pichia kudriavzevii, P. kudriavzevii, Saccharomyces cerevisiae, Torulaspora delbrueckii, T. globosa, Kodamaea ohmeri, Wickerhamomyces anomalus, Saccharomycopsis crataegensis, Meyerozyma, guilliermondii, Cryptococcus laurentii and Rhodotorula mucilaginosa	Saccharomyces cerevisiae	(Meersman et al., 2013)
Pichia kudriavzevii, P. kluveri, P. manshurica, Saccharomyces cerevisiae, Hanseniaspora opuntiae, Candida carpophila, C. ethanolica, C. tropicalis, C. orthopsiosis, K. ohmeri, Saccharomycodes ludwigii, Meyerozyma (Pichia) caribbica, Saccharomycodes ludwigii, Yamadazyma (Pichia) mexicana, Lactobacillus plantarum, L. fermentum, Fructobacillus pseudofiliculneus, Acetobacter pasteurianus, A. ghanensis and Acetobacter senegalensis	Acetobacter pasteurianus, Saccharomyces cerevisiae dan Lactobacillus fermentum	(Daniel et al., 2009; Lefeber et al., 2010, 2012)

PENYIMPANAN BIJI KAKAO

Kualitas biji kakao dipengaruhi oleh kondisi penyimpanan dan waktu penyimpanan. Penyimpanan biji kakao biasanya dilakukan dalam wadah berupa karung goni, plastic, wadah hermetic dan kotak penyimpanan. Tujuan utama pengemasan yaitu untuk melindungi bahan pangan dari mikroorganisme dan kontaminasinya serta pertambahan atau kehilangan kadar air dalam bahan pangan (Rahardjo, 1993). Pengemasan juga dapat menjaga bahan makanan dari

kerusakan mekanis, kimiawi dan fisik seperti perubahan kadar air, oksidasi, memperlambat respirasi, memperlambat kehilangan aroma, dan sebagainya sehingga tenggang waktu bahan dalam penyimpanan akan lebih lama atau umur simpan lebih panjang.

Biji kakao harus disimpan dalam suhu dan kelembaban konstan untuk mencegah rehidrasi biji-bijian dan reaksi pasca panen (Selmar et al., 2008). Faktor-faktor yang mempengaruhi kondisi

penyimpanan biji akao diantaranya yaitu temperatur, RH (Relative Humidity) / kelembaban, komposisi gas/udara serta keberadaan jamur selama penyimpanan (Hameed et al., 2018).

Penyimpanan biji kakao terhadap kadar air

Salah satu tahapan dalam pengolahan biji kakao adalah proses pemilihan kualitas kadar air biji kakao. Kadar air merupakan sifat fisik yang sangat penting pada biji kakao. Kadar air umumnya dilakukan dengan mengeringkan sampel dengan oven pada suhu 105° C hingga berat konstan (Akinfala et al., 2020).

Kadar air dalam biji kakao akan berpengaruh terhadap daya tahan biji terhadap kerusakan serta

rendemen hasil (yield). Standar kadar air biji kakao berkisar antara 6-7 % (Anon.,2011), namun Guehi (2007) menyebutkan bahwa kadar air optimal biji kakao yang disimpan berkisar antara 6-8%. Biji kakao dengan kadar air tinggi tidak dapat disimpan dalam waktu yang lama dan sangat rentan terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh jamur dan serangga yang akan berpengaruh terhadap penurunan citarasa dan aroma khas yang ditimbulkan dari biji kakao. Sedangkan jika kadar air kakao terlalu rendah, menyebabkan biji kakao cenderung lebih rapuh (Anon.,2011).

Tabel 3. Kadar air biji kakao selama penyimpanan

No	Sample	Metode Penyimpanan	Kadar air		Referensi
			Penyimpanan hari ke- 0	Setelah penyimpanan	
1	Biji kakao kering yang difermentasi 3 hari	Biji dalam karung goni, disimpan pada ruang Air Conditioner, T=25°C selama 3 bulan penyimpanan	7%	7,1%	(Kusmiah , 2019)
	Biji kakao kering tanpa fermentasi	Biji dalam plastik, disimpan pada ruang Air Conditioner, T=25°C selama 3 bulan penyimpanan	7%	7,3%	
	Biji kakao kering yang difermentasi 3 hari	Biji dalam plastik, disimpan pada ruang Air Conditioner, T=25°C selama 3 bulan penyimpanan	7%	7,3%	
	Biji kakao kering tanpa fermentasi	Biji dalam plastik, disimpan pada ruang Air Conditioner, T=25°C selama 3 bulan penyimpanan	7%	7,5%	
2	Biji kakao kering yang difermentasi 3 hari	Biji dalam karung goni, disimpan pada ruang Exhaust (sirkulasi) dengan ukuran tempat penyimpanan sebesar 1.5 x 3 meter selama 3 bulan penyimpanan	6,8%	8,4%	(Kusmiah , 2019)
	Biji kakao kering tanpa fermentasi	Biji dalam karung goni, disimpan pada ruang Exhaust (sirkulasi) dengan ukuran tempat penyimpanan sebesar 1.5 x 3 meter selama 3 bulan penyimpanan	6,8%	7,2%	
	Biji kakao kering yang difermentasi 3 hari	Biji dalam plastik, disimpan pada ruang Exhaust (sirkulasi) dengan ukuran tempat penyimpanan sebesar 1.5 x 3 meter selama 3 bulan penyimpanan	7%	7,5 %	
	Biji kakao kering tanpa fermentasi	Biji dalam plastik, disimpan pada ruang Exhaust (sirkulasi) dengan ukuran tempat penyimpanan sebesar 1.5 x 3 meter selama 3 bulan penyimpanan	7%	8%	
3	Biji kakao hibrida kering yang telah difermentasi selama 5 hari	dikemas ke dalam karung goni dan disimpan selama 3 bulan	8,19%	8%	(Akinfala et al., 2020)
4	Biji kakao hibrida kering tanpa fermentasi	dikemas ke dalam karung goni dan disimpan selama 3 bulan	8,19%	18,7 %	(Akinfala et al., 2020)
5	Biji kakao kering (oven)	kantong plastik pada suhu rata-rata 25 °C selama 5 hari	-	<ul style="list-style-type: none"> • 5 % • 6,2% • 11,02% 	(Barreiro & Sandoval, 2020)
6	Biji kakao	Peyimpanan hermetic selama 3 bulan	7,3%		(Jonfia-Essien et al., 2010)

7	Biji Kakao	Penyimpanan gudang dalam kantong GrainPro Cocoon fleksibel bersegel berukuran 15 m ³ selama 6 bulan	7,3%	7,7%	(Jonfia-Essien et al., 2010)
---	------------	--	------	------	------------------------------

Pada **tabel 3** dapat terlihat, biji kakao kering yang disimpan setelah fermentasi mengalami peningkatan kadar air yang lebih rendah dibandingkan dengan biji kakao kering tanpa fermentasi selama penyimpanan. Hal ini menunjukkan bahwa fermentasi dapat menurunkan kadar air biji kakao selama penyimpanan (Yunus, 2016). Optimalnya biji kakao mengandung kadar air sekitar 6-8%. Namun pada biji kakao hibrida kering tanpa fermentasi memiliki kadar air sekitar 18,7%. Hal ini dapat diakibatkan oleh tidak cukupnya proses pengeringan biji kakao sebelum penyimpanan, terutama apabila biji dikeringkan melalui cahaya matahari langsung (Akinfala et al., 2020). Beberapa penelitian dengan kondisi penyimpanan yang hampir sama menunjukkan nilai kadar air yang berbeda-beda. Berdasarkan Barreiro & Sandoval (2020) nilai kadar air yang berbeda dapat diakibatkan oleh ukuran biji yang berbeda dan kadar air yang berbeda pada biji kakao kering yang disimpan yang diakibatkan tidak meratanya proses pengeringan biji sebelum penyimpanan (Barreiro & Sandoval, 2020). Selain itu, perlakuan suhu saat penyimpanan juga berpengaruh terhadap kadar air bahan pangan dimana penurunan suhu mengindikasikan peningkatan kadar air dan menunjukkan peningkatan kapasitas penyerapan uap air dalam bahan pangan. Hal tersebut terjadi karena penurunan suhu selama penyimpanan dapat meningkatkan jumlah air yang terikat yang akan diikuti meningkatnya aktivitas air (aw) (Barreiro & Sandoval,

2020; Jonfia-Essien et al., 2010; Sandoval & Barreiro, 2002).

Penyimpanan biji kakao yang dikemas karung goni dalam ruang air conditioner memberikan peningkatan kadar air yang lebih rendah dibandingkan dengan metode penyimpana lainnya. Penyimpanan biji pada ruang AC relative lebih stabil dan terkontrol serta dapat mempertahankan laju respirasi biji kakao (Barreiro & Sandoval, 2020).

Penyimpanan biji kakao terhadap suhu dan kelembaban

Kondisi penyimpanan akan berpengaruh terhadap suhu dan kelembaban bahan pangan yang disimpan. Suhu dan kelembaban juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kerusakan biologis. Suhu optimum penyimpanan biji kakao berkisar antara 18°C - 30°C sedangkan suhu melebihi 35°C dapat mempercepat pengeringan dan laju respirasi biji. Suhu dan kelembaban relatif ruang penyimpanan atau gudang selama penyimpanan biji harus dijaga dan diawasi untuk menjaga kandungan kimiawi, kualitas fisik dan karakteristik sensorik biji yang disimpan (Haile & Hee Kang, 2019). Kelembaban biji kakao sebaiknya kurang dari 70% karena kelembaban yang tinggi (70-85%) akan memicu kerusakan biji yang diakibatkan oleh pertumbuhan kapang (Vismar et al., 2019).

Tabel 4. Suhu dan Kelembaban Biji Kakao selama Penyimpanan

No	Sample	Metode Penyimpanan	Suhu dan kelembaban		Referensi
			Penyimpanan hari ke-0	Setelah penyimpanan	
1	Biji kakao yang difermentasi 3 hari	Biji dalam karung goni, disimpan pada ruang Air Conditioner, T=25°C selama 3 bulan penyimpanan	T = 24,1°C, RH = 81,8 %	<ul style="list-style-type: none"> Suhu Stabil hingga akhir penyimpanan (T=24,4 °C) RH = 85,6% 	(Kusmiah, 2019)
2	Biji kakao tanpa fermentasi	Biji dalam karung goni, disimpan pada ruang Exhaust (sirkulasi) dengan ukuran tempat penyimpanan sebesar 1.5 x 3 meter selama 3 bulan penyimpanan	T = 30,7°C, RH = 73,3 %	<ul style="list-style-type: none"> Suhu Stabil hingga minggu ke 10, dan menurun sampai akhir penyimpanan (T=28,4 °C) RH = 85% 	(Kusmiah, 2019)

3	Biji kakao kering (oven)	Biji dalam kantong plastik pada suhu rata-rata 25 °C selama 5 hari	T = 25°C, RH = 65-90 %	<ul style="list-style-type: none"> • RH = 64 % • RH = 75 % • RH = 90 % 	(Barreiro & Sandoval, 2020)
4	Biji kakao	Peyimpanan pada wadah hermetic selama 9 minggu iklim tropis	T = 25°C RH = 70%	<ul style="list-style-type: none"> • T = 26°C, • RH = 65 – 75% 	(Jonfia-Essien et al., 2010)
5	Biji Kakao	Penyimpanan kedap udara dengan toples selama 23 hari	T = 26°C RH = 59,68 - 73%	<ul style="list-style-type: none"> • RH = 59 - 68% 	(Jonfia-Essien et al., 2010)
6	Biji Kakao	Penyimpanan gudang dalam kantong GrainPro Cocoon fleksibel bersegel berukuran 15 m ³ selama 6 bulan	T = 30°C RH = 70%	<ul style="list-style-type: none"> • RH = 73% 	(Jonfia-Essien et al., 2010)

Penyimpanan biji fermentasi kering pada wadah karung goni di ruang AC cukup baik untuk menjaga suhu dan kelembaban biji kakao dibandingkan penyimpanan di ruang Exhaust (sirkulasi). Pada penyimpanan di ruang AC suhu relative lebih stabil dari awal hingga akhir penyimpanan. Hal ini sesuai dengan prinsip kerja dari AC yaitu mendinginkan udara dengan menggunakan refrigerator sehingga bagaimanapun kondisi cuaca diluar ruangan seperti hujan atau panas terik tidak akan berpengaruh terhadap kelembaban dan suhu dalam kotak penyimpanan. Sedangkan penyimpanan biji dalam kotak di ruang exhaust cenderung meningkatkan nilai kelembaban biji kakao. Hal ini disebabkan karena kelembaban diluar kotak penyimpanan akan mempengaruhi kelembaban didalam kotak karena exhaust bekerja mengeluarkan udara dalam kotak penyimpanan dan saat bersamaan udara yang ada diluar kotak ikut masuk, sehingga jika udara diluar penyimpanan lembab maka udara dalam kotak juga akan lembab (Lowor et al., 2012; Torres et al., 2013). Penyimpanan pada wadah plastic di ruang exhaust tidak cukup efektif dalam mempertahankan kelembaban biji kakao. Hal ini dapat diakibatkan karena rongga atau pori-pori pada kemasan plastik dapat menyerap uap air di udara (Kusmiah, 2019).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Barreiro & Sandoval (2020) penyimpanan biji kakao pada suhu 25°C dalam plastik memberikan nilai RH yang berbeda. Menurut Barreiro & Sandoval (2020) nilai RH yang berbeda diakibatkan oleh ukuran biji yang berbeda dan kadar air yang berbeda pada biji kakao kering yang disimpan. Selain itu, Pixton & Griffiths (1971) menyebutkan perbedaan nilai RH pada biji yang disimpan dapat diakibatkan oleh meningkatnya aktivitas air dalam kurva adsorpsi kesetimbangan yang

menyebabkan terjadinya kebocoran udara selama penyimpanan biji.

Penyimpanan hermetik dapat lebih mempertahankan suhu dan kelembaban biji kakao dibandingkan metode penyimpanan lainnya. Hal ini terlihat dari sangat sedikitnya perubahan suhu dan kelembaban biji kakao yang disimpan selama enam bulan (Jonfia-Essien et al., 2010). Permeabilitas kemasan hermetik sangat rendah sehingga kelembaban dan kadar air dapat dipertahankan. Pada penyimpanan hermetik, bahan pangan disimpan dalam ruang kedap udara sehingga uap air tidak dapat masuk atau keluar dalam ruang penyimpanan. Prinsip pengemasan hermetik yaitu modifikasi atmosfer dengan menciptakan kondisi kemasan yang tinggi karbondioksida dan rendah oksigen (Alemu et al., 2021; Jonfia-Essien et al., 2010; Likhayo et al., 2018). Berdasarkan hasil kajian dari beberapa penyimpanan biji, dapat diketahui bahwa metode pengemasan dan kondisi penyimpanan sangat mempengaruhi kualitas dan umur simpan biji kakao. Masing-masing kemasan memiliki daya proteksi dan permeabilitas yang berbeda-beda dimana semakin rendah permeabilitas bahan pengemas maka semakin tinggi kemampuan kemasan mencegah peningkatan kadar air yang akan berpengaruh pada nilai kelembaban dan suhu biji yang disimpan.

Spesies Jamur selama Penyimpanan Biji Kakao

Kakao memiliki kandungan kimiawi yang berpotensi untuk pertumbuhan mikroba terutama bagian pulp dan bijinya (Ardhana & Fleet, 2003; Ozturk & Young, 2017). Mikroba atau jamur yang dihasilkan selama penyimpanan biji kakao dapat disebabkan saat proses pengeluaran biji dari buah kakao, proses fermentasi dan pengeringan. Cemaran jamur dapat disebabkan oleh mikroorganisme yang berada dilingkungan atau

peralatan yang digunakan saat biji kakao dikeluarkan dari buahnya baik secara manual atau secara mekanis. Spesies jamur yang hadir saat proses pengeringan biji dapat terbawa dan bertahan dalam waktu yang lama saat biji disimpan sehingga diperlukan kondisi penyimpanan yang optimal untuk menjaga pertumbuhan jamur lebih lanjut.

Biji kakao memiliki padatan terlarut yang rendah dan penyimpanan pada kondisi kelembaban yang tinggi dapat mempercepat peningkatan aktivitas air yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme pembusuk dan jamur (Barreiro & Sandoval, 2020). Pada daerah yang beriklim tropis penyimpanan biji kakao umumnya bertahan selama 2-3 bulan dalam kondisi penyimpanan yang terkontrol (Sandoval & Barreiro, 2002). Kelembaban lingkungan tropis berkisar antara 75%-80%, sehingga penyerapan uap air lebih banyak dibandingkan dengan daerah yang suhunya lebih rendah dan akan berdampak pada masa simpan dan perubahan fisik biji kakao (Mishra et al., 2015; Yu et al., 2004; Yunus, 2016). Penyimpanan biji fermentasi kering dalam ruang yang diangin-anginkan dengan baik dan kelembaban bebas dapat membantu menurunkan invasi jamur dan pembentukan toksin selama penyimpanan.

Keberadaan jamur kontaminan sampai saat ini masih menjadi kendala dalam meningkatkan mutu biji kakao. Spesies jamur kontaminan yang hadir dalam semua jenis biji kakao kering diantaranya yaitu *Aspergillus niger* dan *Aspergillus flavus* (Copetti et al., 2011; Fapohunda et al., 2018; Mounjouenpou et al., 2008; Rahmadi & Fleet, 2008; Sánchez-hervás et al., 2008). Copetti et al., (2011) dan Rahmadi & Fleet (2008) melaporkan bahwa kondisi penyimpanan biji kakao yang buruk dapat menyebabkan pertumbuhan jamur spesies Xerophilic, khususnya *Aspergillus penicillioides*, *Eurotium rubru*, *Eurotium chevalieri* dan *Eurotium amstelodami* namun spesies ini tidak menghasilkan mikotoksin.



Gambar 3. 3A (penyimpanan biji kakao); 3B (biji kakao berjamur dalam penyimpanan) ; 4C (selama penyimpanan)

Sumber : (Copetti et al., 2014b)

Spesies jamur mikotoksin pada biji kakao pertama kali dilaporkan oleh Campbell (1969) (Codex Alimentarius, 1981). Mikotoksin adalah zat beracun yang dihasilkan oleh jenis kapang dan jamur. Jenis jamur mikotoksin yang sering ditemukan dalam biji kakao diantaranya yaitu Aflatoksin dan Okratoksin yang dihasilkan dari jenis jamur *Aspergillus* dan *Penicillium* (Copetti et al., 2011; Mishra et al., 2015; Tafuri et al., 2004). Jenis mikotoksin lainnya yang ditemukan pada biji kakao kering antara lain patulin dan fumonisin yang dihasilkan oleh jamur *Aspergillus clavatus*, *Penicillium expansum* dan *Fusarium* (De Magalhães et al., 2011; Gilmour & Lindblom, 2008). Jenis jamur mikotoksin dapat tumbuh pada kisaran pH 6 dan suhu optimum 10–12°C sampai 32–33°C (*A.flavus* dan *A. parasiticus*) dan suhu 25 ° C (*A. nomius*) (Peterson et al., 2001). Jenis jamur okratoksin lebih banyak ditemukan pada biji kakao kering namun jarang ditemukan pada produk olahannya (De Magalhães et al., 2011; Mounjouenpou et al., 2008). Okratoksin mempunyai sifat stabil pada proses pemanasan dengan titik leleh 169°C dan bersifat larut dalam natrium bikarbonat cair, asetonitril, chloroform dan metanol (Mishra et al., 2015).

Biji kakao yang sudah terkontaminasi mikotoksin akan berpengaruh pada penurunan mutu produk yang dihasilkan dan memungkinkan kontaminasi pada manusia atau hewan yang mengkonsumsinya. Kadar Aflatoksin dan Okratoksin yang terdapat dalam biji kakao berbeda-beda tergantung pada daerah asalnya. Beberapa penelitian melaporkan kadar aflatoksin dan okratoksin tertinggi ditemukan pada biji kakao yang berasal dari Pantai Gading dan Nigeria (Fapohunda et al., 2018; Gilmour & Lindblom, 2008; Zul et al., 2011). Sebagian besar hasil penelitian menyatakan kurang dari 20% sampel biji memiliki konsentrasi mikotoksin di atas 2 µg / kg (Amézqueta et al., 2008; Bonvehí, 2004; Copetti et al., 2010; De Magalhães et al., 2011; Gilmour & Lindblom, 2008). Biji kakao yang sudah tercemar mikotoksin akan terbawa pada produk olahan kakao seperti produk coklat batang dan coklat bubuk.

Faktor-faktor yang mendukung pertumbuhan jamur kontaminan diantaranya yaitu kadar air, suhu, kelembaban, aktivitas serangga, dan penanganan pascapanen. Biji kakao memiliki sifat higroskopis yang menyebabkan kadar air biji menyeimbangkan dengan kelembaban udara sekelilingnya selama penyimpanan dimana kadar air yang tinggi akan mempermudah jamur untuk tumbuh (Agriopoulou et al., 2020). Begitupula dengan suhu (25-40 °C) dan iklim yang lembab pada gudang penyimpanan sangat sesuai untuk pertumbuhan dan perkembangan jamur

(Agriopoulou et al., 2020) karena akan memudahkan biji kakao yang terkontaminasi untuk menginfeksi biji yang sehat selama penyimpanan. Selain itu, keberadaan serangga seperti *Ephestia cautella* berperan sebagai vector dalam penyebaran kontaminasi jamur lebih lanjut (Agriopoulou et al., 2020). Serangga menyebabkan luka dan lubang pada biji kakao sehingga memudahkan jamur untuk menginfeksi dan mendukung perkembangannya (Agriopoulou et al., 2020). Beberapa penelitian juga melaporkan, keberadaan jamur pada biji kakao selama

penyimpanan diakibatkan oleh penanganan pasca panen yang kurang baik seperti penggunaan peralatan dan wadah yang kurang bersih pada saat proses pengupasan dan fermentasi biji kakao. Selain itu metode fermentasi dan pengeringan akan berdampak pada kadar mikotoksin yang dihasilkan (Abrokwah et al., 2013; Agriopoulou et al., 2020). Keragaman kapang dalam sampel biji kakao selama penyimpanan dapat diketahui dengan cara isolasi dan karakterisasi jamur dengan pendekatan polifasik (Akinfala et al., 2020; Copetti et al., 2014a).

Tabel 5. Jenis Jamur Selama Penyimpanan Kakao

No	Sample	Metode Penyimpanan	pH	Jenis Jamur yang terdeteksi	Referensi
1	Biji kakao hibrida kering yang telah difermentasi	dikemas ke dalam karung goni dan disimpan selama 3 bulan	5,14 – 5,16	Aspergillus 38%, Simplicillium 2,4% dan spesies Paecilomyces variotii, Talaromyces sp., Penicillium citrinum, A. tamarii, Pseudopithomyces palmicola T.	(Akinfala et al., 2020)
2	Biji kakao hibrida kering tanpa fermentasi	dikemas ke dalam karung goni dan disimpan selama 3 bulan	3,30-3,90	Aspergillus 37,5%, Simplicillium 2,5% dan spesies Paecilomyces variotii, Talaromyces sp., Penicillium citrinum, A. tamarii, Pseudopithomyces palmicola T. atroseus	(Akinfala et al., 2020)
3	Biji kakao kering yang difermentasi 7 hari	Penyimpanan kantong steril T=(22–32°C dan RH = 50–90%) selama 30 hari	pH 6 dan aW 0,94	Salmonella	(Nascimento et al., 2013)
4	Biji kakao fermentasi kering	Penyimpanan dalam kantong di negara tropis	pH 5,5-6	Aspergillus flavus, A. Niger, A. clavatus, Penicillium expansum dan Fusarium.	(Copetti et al., 2014b)
5	Biji kakao kering yang difermentasi	Biji dalam karung goni, pada ruang Exhaust (sirkulasi) dan AC pada suhu 25°C selama 3 bulan penyimpanan	5-8	Aspergillus penicillioides, Eurotium chevalieri, Eurotium, Aspergillus Paecilomyces variotii, Talaromyces sp., Penicillium	(Kusmiah, 2019)
6	Biji kakao kering tanpa difermentasi	Biji dalam karung goni, pada ruang Exhaust (sirkulasi) dan AC pada suhu 25°C selama 3 bulan penyimpanan	5-8	Aspergillus penicillioides, Eurotium chevalieri, Eurotium, Aspergillus Paecilomyces variotii, Talaromyces sp., Penicillium, Geotrichum, Mucor, Trichoderma, Fusarium dan Rhizopus	(Kusmiah, 2019)

Umumnya biji kakao disimpan menggunakan wadah pengemas berupa karung goni (jute sack). Karung goni memiliki kekurangan yaitu memiliki permeabilitas yang lebih besar terhadap uap air, sehingga menyebabkan biji mudah terkontaminasi jika disimpan dalam ruang tanpa control (Ribeiro et al., 2017). Sehingga biji kakao yang disimpan dalam karung goni tidak dapat bertahan lebih dari 3 bulan (Broissin-Vargas, et al, 2018).

Pada tabel 3 dan tabel 4 diketahui metode penyimpanan diruang AC pada suhu 25°C dapat mempertahankan kadar air dan kelembaban biji kakao. Kadar air dan kelembaban yang rendah mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan jamur atau jamur tidak mudah berkembang. Biji kakao yang difermentasi dan dijemur ataupun biji kakao tanpa fermentasi secara umum akan menghasilkan jamur dari spesies *Aspergillus* selama penyimpanan (Copetti et al., 2014a; Fapohunda et al., 2018). Namun untuk spesies *Simplicillium* baru dilaporkan pada penelitian baru-baru ini (Akinfala et al., 2020). Adapun tingkat pertumbuhan jamur selama penyimpanan erat kaitannya dengan tingkat kelembaban (Yau et al., 1999). Jumlah *aspergillus* yang dihasilkan pada setiap penyimpanan kakao memiliki nilai yang berbeda. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor seperti kondisi pH, kelembaban, metode fermentasi dan teknik penyimpanan kakao (Fapohunda et al., 2018; Sánchez-hervás et al., 2008).

Pertumbuhan salmonella dapat diakibatkan oleh adanya lendir pada pulp biji kakao dan $aw \geq 0.94$. Salmonella dapat tumbuh pada ambang aw berkisar 0,93 - 0,94 (Bell et al., 2009). Pertumbuhan salmonella juga dapat diakibatkan oleh proses pengeringan biji yang berlangsung cepat yang memungkinkan menyebabkan kematian sel akibat terbatasnya waktu untuk memungkinkan sintesis osmolit pelindung (Nascimento et al., 2013). Kelembaban 70-73% cukup efektif dalam mengendalikan populasi seranagga selama penyimpanan biji kakao (Jonfia-Essien et al., 2010)

KESIMPULAN

Proses pengolahan pasca panen kakao dilakukan melalui sortasi, pemeraman, pemecahan buah, fermentasi, perendaman dan pencucian biji, pengeringan, sortasi kembali serta pengemasan dan penyimpanan. Fermentasi dan pengeringan dapat meningkatkan mutu biji kakao sehingga kadar air, kadar kulit biji, dan kadar jamur kontaminan menurun. Penyimpanan biji kakao biasanya dilakukan dalam

wadah berupa karung goni, plastik, wadah hermetik dan kotak penyimpanan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kondisi penyimpanan biji kakao diantaranya yaitu temperatur, RH (Relative Humidity) / kelembaban, komposisi gas/udara serta keberadaan jamur selama penyimpanan. Standar kadar air biji kakao berkisar antara 6-7 %. Biji kakao dengan kadar air tinggi tidak dapat disimpan dalam waktu yang lama dan sangat rentan terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh jamur dan serangga yang akan berpengaruh terhadap penurunan citarasa dan aroma khas yang ditimbulkan dari biji kakao. Sedangkan jika kadar air kakao terlalu rendah, menyebabkan biji kakao cenderung lebih rapuh. Kondisi optimum penyimpanan biji kakao berkisar antara suhu 18°C - 30°C dan kelembaban <70%. Cemaran jamur mikotoksin pada biji kakao diantaranya yaitu dari golongan aflatoksin dan okratoksin yang dihasilkan dari jenis jamur *Aspergillus* dan *Penicillium*. Penyimpanan menggunakan kemasan hermetik di kondisi penyimpanan terkontrol merupakan metode penyimpanan yang paling efektif untuk melindungi dan menjaga kualitas biji-bijian selama penyimpanan karena dapat mempertahankan kadar air, suhu, RH dan mencegah pertumbuhan jamur mikotoksigenik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrokwha, F. K., Takramah, J., Ocloo, A., & Sackey, S. T. (2013). Studies on factors which predispose fermented cocoa (*Theobroma cacao*) beans to mycotoxin contamination. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 1(3).
- Afoakwa, E. O. (2010). Chocolate Science and Technology. In *Chocolate Science and Technology*. <https://doi.org/10.1002/9781444319880>
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Ryan, A. (2008). Flavor formation and character in cocoa and chocolate: A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/10408390701719272>
- Agriopoulou, S., Stamatelopoulou, E., & Varzakas, T. (2020). Advances in occurrence, importance, and mycotoxin control strategies: Prevention and detoxification in foods. In *Foods* (Vol. 9, Issue 2). <https://doi.org/10.3390/foods9020137>
- Akinfala, T. O., Houbraken, J., Sulyok, M., Adediji, A. R., Odebo, A. C., Krska, R., & Ezekiel, C. N. (2020). Moulds and their secondary metabolites associated with the fermentation and storage of two cocoa bean hybrids in Nigeria. *International Journal of Food Microbiology*, 316(December 2019), 108490. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.108490>
- Akmel, D. C., Kakou, K. E., Kone, K. Y., Assidjo, N. E., & Kouame, P. (2015). Desorption Isotherms and

- Isosteric Heats of Fermented Cocoa Beans (*Theobroma cocoa*). *Journal of Food Research*, 4(3), 138. <https://doi.org/10.5539/jfr.v4n3p138>
- Alemu, G. T., Nigusie, Z., Haregeweyn, N., Berhanie, Z., Wondimagegnehu, B. A., Ayalew, Z., Molla, D., Okoyo, E. N., & Baributsa, D. (2021). Cost-benefit analysis of on-farm grain storage hermetic bags among small-scale maize growers in northwestern Ethiopia. *Crop Protection*. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105478>
- Amézqueta, S., González-Peñas, E., Dachoupan, C., Murillo-Arbizu, M., López De Cerain, A., & Guiraud, J. P. (2008). OTA-producing fungi isolated from stored cocoa beans. *Letters in Applied Microbiology*, 47(3). <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2008.02409.x>
- Ardhana, M. M., & Fleet, G. H. (2003). The microbial ecology of cocoa bean fermentations in Indonesia. *International Journal of Food Microbiology*, 86(1–2). [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(03\)00081-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00081-3)
- Barreiro, J. A., & Sandoval, A. J. (2020). Kinetics of moisture adsorption during simulated storage of whole dry cocoa beans at various relative humidities. *Journal of Food Engineering*, 273(December 2019). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109869>
- Barrientos, L. D. P., Oquendo, J. D. T., Garzón, M. A. G., & Álvarez, O. L. M. (2019). Effect of the solar drying process on the sensory and chemical quality of cocoa (*Theobroma cacao* L.) cultivated in Antioquia, Colombia. *Food Research International*, 115, 259–267. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.084>
- Bell, C., Microbiologist, I. C., & Kyriakides, A. (2009). C. Bell, Independent Consultant Microbiologist, UK, and A. Kyriakides, Sainsbury's Supermarkets Ltd, UK. <https://doi.org/10.1533/9781845696337.2.627>
- Bonvehí, J. S. (2004). Occurrence of ochratoxin A in cocoa products and chocolate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(20). <https://doi.org/10.1021/jf040153w>
- Broissin-Vargas, L.M., Snell-Castro, R., Godon, J.J., Gonzalez-Ríos, O., Suarez- Quiroz, M. . (2018). Impact of storage conditions on fungal community composition of green coffee beans *Coffea arabica* L. stored in jute sacks during 1 year. *J of Applied Microbiology*, 124(2), 547–558. <https://doi.org/10.1111/ijlh.12426>
- Bucheli, P., Rousseau, G., Alvarez, M., Laloi, M., & McCarthy, J. (2001). Developmental variation of sugars, carboxylic acids, purine alkaloids, fatty acids, and endoproteinase activity during maturation of *Theobroma cacao* L. Seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(10), 5046–5051. <https://doi.org/10.1021/jf010620z>
- Codex Alimentarius. (1981). STANDARD FOR CHOCOLATE AND CHOCOLATE PRODUCTS. International Food Standards.
- Copetti, M. V., Iamanaka, B. T., Frisvad, J. C., Pereira, J. L., & Taniwaki, M. H. (2011). Mycobiota of cocoa: From farm to chocolate. *Food Microbiology*, 28(8). <https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.08.005>
- Copetti, M. V., Iamanaka, B. T., Pitt, J. I., & Taniwaki, M. H. (2014a). Fungi and mycotoxins in cocoa: From farm to chocolate. *International Journal of Food Microbiology*, 178, 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.02.023>
- Copetti, M. V., Iamanaka, B. T., Pitt, J. I., & Taniwaki, M. H. (2014b). Fungi and mycotoxins in cocoa: From farm to chocolate. In *International Journal of Food Microbiology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.02.023>
- Copetti, M. V., Pereira, J. L., Iamanaka, B. T., Pitt, J. I., & Taniwaki, M. H. (2010). Ochratoxinogenic fungi and ochratoxin A in cocoa during farm processing. *International Journal of Food Microbiology*, 143(1–2). <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.07.031>
- Daniel, H. M., Vrancken, G., Takrama, J. F., Camu, N., De Vos, P., & De Vuyst, L. (2009). Yeast diversity of Ghanaian cocoa bean heap fermentations. *FEMS Yeast Research*. <https://doi.org/10.1111/j.1567-1364.2009.00520.x>
- De Magalhães, J. T., Sodr e, G. A., Viscogliosi, H., & Grenier-Loustalot, M. F. (2011). Occurrence of Ochratoxin A in Brazilian cocoa beans. *Food Control*, 22(5). <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.11.006>
- de Melo Pereira, G. V., Magalhães, K. T., de Almeida, E. G., da Silva Coelho, I., & Schwan, R. F. (2013). Spontaneous cocoa bean fermentation carried out in a novel-design stainless steel tank: Influence on the dynamics of microbial populations and physical-chemical properties. *International Journal of Food Microbiology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.11.018>
- Fahroji. (2011). Penanganan pascapanen kakao yang baik (Good Handling Practices). *Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Riau*, 341, 1–65.
- Fapohunda, S., Moore, G. G., Aroyeun, S. O., & Ayeni, K. I. (2018). Isolation and characterization of fungi isolated from Nigerian cocoa samples. *Current Life Sciences*, 4(3), 46–52. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1405083>
- Garcia-Armisen, T., Papalexandratou, Z., Hendryckx, H., Camu, N., Vrancken, G., De Vuyst, L., & Cornelis, P. (2010). Diversity of the total bacterial community associated with Ghanaian and Brazilian cocoa bean fermentation samples as revealed by a 16 S rRNA gene clone library. *Applied Microbiology and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s00253-010-2698-9>
- Gilmour, M., & Lindblom, M. (2008). Management of ochratoxin a in the cocoa supply chain: A summary of work by the CAOBISCO/ECA/FCC working group

- on ochratoxin A. In *Mycotoxins: Detection Methods, Management, Public Health and Agricultural Trade*. <https://doi.org/10.1079/9781845930820.0231>
- Guehi, T. . (2007). Enumeration and Identification of Main Fungal Isolates and Evaluation of Fermentation's Degree of Ivorian Raw Cocoa Beans. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*.
- Gutiérrez, T. J. (2017). State-of-the-Art Chocolate Manufacture: A Review. In *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12301>
- Haile, M., & Hee Kang, W. (2019). The Harvest and Post-Harvest Management Practices' Impact on Coffee Quality. In *Intechopen (Ed.)*, IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.89224>
- Hameed, A., Hussain, S. A., Ijaz, M. U., Ullah, S., Pasha, I., & Suleria, H. A. R. (2018). Farm to Consumer: Factors Affecting the Organoleptic Characteristics of Coffee. II: Postharvest Processing Factors. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(5), 1184–1237. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12365>
- Hartuti, S., Bintoro, N., Karyadi, J. N. W., & Pranoto, Y. (2020). PENGARUH WAKTU PEMERAMAN, AERASI DAN SUHU FERMENTOR TERHADAP KUALITAS BIJI KAKAO. *AGROINTEK*. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v14i2.6297>
- Janek, K., Niewienda, A., Wöstemeyer, J., & Voigt, J. (2016). The cleavage specificity of the aspartic protease of cocoa beans involved in the generation of the cocoa-specific aroma precursors. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.033>
- Jonfia-Essien, W. A., Navarro, S., & Villers, P. (2010). HERMETIC STORAGE : A NOVEL APPROACH TO THE PROTECTION OF COCOA BEANS INTRODUCTION A new approach to cocoa bean storage , " hermetic storage " (HS), has been investigated in both laboratory and field studies to protect them both in storage and in transit. *African Crop Science Journal*, 18(2), 59–68.
- Kamphuis, H. J. (2009). Production and Quality Standards of Cocoa Mass, Cocoa Butter and Cocoa Powder. In *Industrial Chocolate Manufacture and Use: Fourth Edition*. <https://doi.org/10.1002/9781444301588.ch6>
- Keifer, G., & Effenberger, F. (1967). Cocoa. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- Kouamé, C., Loiseau, G., Grabulos, J., Boulanger, R., & Mestres, C. (2021). Development of a model for the alcoholic fermentation of cocoa beans by a *Saccharomyces cerevisiae* strain. *International Journal of Food Microbiology*, 337, 108917. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108917>
- Kusmiah, N. (2019). Pengaruh Kondisi Penyimpanan Dan Kadar Air Awal Biji Kakao (*Theobroma cacao* L) Terhadap Pertumbuhan Jamur. *AGROVITAL : Jurnal Ilmu Pertanian*, 3(1), 23. <https://doi.org/10.35329/agrovital.v3i1.217>
- Läderach, P., Martinez-Valle, A., Schroth, G., & Castro, N. (2013). Predicting the future climatic suitability for cocoa farming of the world's leading producer countries, Ghana and Côte d'Ivoire. *Climatic Change*. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0774-8>
- Lefeber, T., Janssens, M., Camu, N., & De Vuyst, L. (2010). Kinetic analysis of strains of lactic acid bacteria and acetic acid bacteria in cocoa pulp simulation media toward development of a starter culture for cocoa bean fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*. <https://doi.org/10.1128/AEM.01206-10>
- Lefeber, T., Papalexandratou, Z., Gobert, W., Camu, N., & De Vuyst, L. (2012). On-farm implementation of a starter culture for improved cocoa bean fermentation and its influence on the flavour of chocolates produced thereof. *Food Microbiology*. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.12.021>
- Likhayo, P., Bruce, A. Y., Tefera, T., & Mueke, J. (2018). Maize grain stored in hermetic bags: Effect of moisture and pest infestation on grain quality. *Journal of Food Quality*. <https://doi.org/10.1155/2018/2515698>
- Lowor, S. T., Jacquet, M., Vrielink, T., Aculey, P., Cros, E., & Takrama, J. (2012). Post-harvest sources of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination of Cocoa beans : A simulation. *International Journal of AgriScience*.
- Meersman, E., Steensels, J., Mathawan, M., Wittocx, P. J., Saels, V., Struyf, N., Bernaert, H., Vrancken, G., & Verstrepen, K. J. (2013). Detailed analysis of the microbial population in Malaysian spontaneous cocoa pulp fermentations reveals a core and variable microbiota. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081559>
- Mishra, R. K., Hayat, A., Catanante, G., Ocaña, C., & Marty, J. L. (2015). A label free aptasensor for Ochratoxin A detection in cocoa beans: An application to chocolate industries. *Analytica Chimica Acta*, 889, 106–112. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2015.06.052>
- Mounjouenpou, P., Gueule, D., Fontana-Tachon, A., Guyot, B., Tondje, P. R., & Guiraud, J. P. (2008). Filamentous fungi producing ochratoxin a during cocoa processing in Cameroon. *International Journal of Food Microbiology*, 121(2). <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.11.017>
- Murthy, P. S., Palakshappa, S. H., Padela, J., & Kusumoto, K. I. (2020). Amelioration of cocoa organoleptics using *A.oryzae* cysteine proteases. *Lwt*, 120, 108919. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108919>
- Nascimento, M. da S. do, Pena, P. O., Brum, D. M., Imazaki, F. T., Tucci, M. L. S. A., & Efraim, P. (2013). Behavior of *Salmonella* during

- fermentation, drying and storage of cocoa beans. *International Journal of Food Microbiology*, 167(3), 363–368.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.10.003>
- Nguyen, H. B., Pham, D. L., & Nguyen, V. L. (2019). A study on the breaking and winnowing machine for cocoa beans at small industrial scale in Vietnam. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*.
<https://doi.org/10.18517/ijaseit.9.1.7765>
- Nhamucho, E., Mugo, S., Gohole, L., Tefera, T., Kinyua, M., & Mulima, E. (2017). Control of the larger grain borer *prostephanus truncatus* (horn) (Coleoptera: Bostrichidae) in different maize seed and grain storage methods. *Journal of Entomology*.
<https://doi.org/10.3923/je.2017.136.147>
- Owusu, M., Petersen, M. A., & Heimdal, H. (2013). Relationship of sensory and instrumental aroma measurements of dark chocolate as influenced by fermentation method, roasting and conching conditions. *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0420-2>
- Ozturk, G., & Young, G. M. (2017). Food Evolution: The Impact of Society and Science on the Fermentation of Cocoa Beans. In *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*.
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12264>
- Papalexandratou, Z., Camu, N., Falony, G., & De Vuyst, L. (2011). Comparison of the bacterial species diversity of spontaneous cocoa bean fermentations carried out at selected farms in Ivory Coast and Brazil. *Food Microbiology*.
<https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.01.010>
- Pereira, G. V. de M., Miguel, M. G. da C. P., Ramos, Cí. L., & Schwan, R. F. (2012). Microbiological and physicochemical characterization of small-scale cocoa fermentations and screening of yeast and bacterial strains to develop a defined starter culture. *Applied and Environmental Microbiology*.
<https://doi.org/10.1128/AEM.01144-12>
- Pereira, P. C. (2014). Milk nutritional composition and its role in human health. In *Nutrition*.
<https://doi.org/10.1016/j.nut.2013.10.011>
- Peterson, S. W., Ito, Y., Horn, B. W., & Goto, T. (2001). *Aspergillus bombicis*, a new aflatoxigenic species and genetic variation in its sibling species, *A. nomius*. *Mycologia*, 93(4).
<https://doi.org/10.2307/3761823>
- Pitt, J. I., Taniwaki, M. H., & Cole, M. B. (2013). Mycotoxin production in major crops as influenced by growing, harvesting, storage and processing, with emphasis on the achievement of Food Safety Objectives. *Food Control*, 32(1), 205–215.
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.11.023>
- Pixton, S. W., & Griffiths, H. J. (1971). Diffusion of Moisture through Grain. 7, 133–152.
- Raden Sugiarto, I. L. &. (2019). FERMENTASI BIJI KAKAO RAKYATMENGUNAKAN KOTAK MODIFIKASIDENGAN VARIASI LAMA PEMERAMAN BUAH. *JURNAL TEKNOLOGI DAN INDUSTRI PANGAN*.
<https://doi.org/10.33061/jitipari.v3i2.2699>
- Rahmadi, A., & Fleet, G. H. (2008). The Occurrence of Mycotoxigenic Moulds in Cocoa Beans from Indonesia and Queensland , Australia. *Proceeding of International Seminar on Food Science*.
- Rawel, H. M., Huschek, G., Sagu, S. T., & Homann, T. (2019). Cocoa bean proteins-Characterization, changes and modifications due to ripening and post-harvest processing. *Nutrients*.
<https://doi.org/10.3390/nu11020428>
- Ribeiro, L. S., Miguel, M. G. da C. P., Evangelista, S. R., Martins, P. M. M., van Mullem, J., Belizario, M. H., & Schwan, R. F. (2017). Behavior of yeast inoculated during semi-dry coffee fermentation and the effect on chemical and sensorial properties of the final beverage. *Food Research International*, 92, 26–32.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.011>
- Sánchez-hervás, M., Gil, J. V, Bisbal, F., Ramón, D., & Martínez-culebras, P. V. (2008). International Journal of Food Microbiology Mycobiota and mycotoxin producing fungi from cocoa beans. 125, 336–340.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.04.021>
- Sandoval, A. J., & Barreiro, J. A. (2002). Water sorption isotherms of non-fermented cocoa beans (*Theobroma cacao*). *Journal of Food Engineering*, 51(2), 119–123. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00047-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00047-4)
- Santander Muñoz, M., Rodríguez Cortina, J., Vaillant, F. E., & Escobar Parra, S. (2020). An overview of the physical and biochemical transformation of cocoa seeds to beans and to chocolate: Flavor formation. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1581726>
- Sarbu, I., & Csutak, O. (2019). The microbiology of cocoa fermentation. In *Caffeinated and Cocoa Based Beverages: Volume 8. The Science of Beverages*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815864-7.00013-1>
- Schwan, R.F., Fleet, G.H., Afoakwa, E. O. (2015). *Cocoa and Coffee Fermentations*. CRC Press, Boca Raton.
- Schwan, R. F., Pereira, G. V. de M., & Fleet, G. H. (2014). Microbial activities during cocoa fermentation. *Cocoa and Coffee Fermentations*.
- Schwan, R. F., & Wheals, A. E. (2004). The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*.
<https://doi.org/10.1080/10408690490464104>
- Selmar, D., Bytof, G., & Knopp, S. E. (2008). The storage of green coffee (*Coffea arabica*): Decrease of viability and changes of potential aroma precursors. *Annals of Botany*, 101(1), 31–38.

- <https://doi.org/10.1093/aob/mcm277>
- Tafari, A., Ferracane, R., & Ritieni, A. (2004). Ochratoxin A in Italian marketed cocoa products. *Food Chemistry*, 88(4). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.061>
- Torres, R. O., Henry, A., & Vial, L. (2013). Dryer Facility Using Hot Air Exhaust from an Air Conditioner. *PHILIPPINE JOURNAL OF CROP SCIENCE*.
- Utami, T. A. (2021). KEBIJAKAN EKSPOR KAKAO INDONESIA DAN GHANA TERHADAP PASAR EROPA TAHUN 2013-2018. Repository.Upnvj.Ac.Id.
- Viesser, J. A., de Melo Pereira, G. V., de Carvalho Neto, D. P., Rogez, H., Góes-Neto, A., Azevedo, V., Brenig, B., Aburjaile, F., & Soccol, C. R. (2021). Co-culturing fructophilic lactic acid bacteria and yeast enhanced sugar metabolism and aroma formation during cocoa beans fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 339(December 2020). <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.109015>
- Vismar, H. F., Shephard, G. S., van der Westhuizen, L., Mngqawa, P., Bushula-Njah, V., & Leslie, J. F. (2019). Mycotoxins produced by *Fusarium proliferatum* and *F. pseudonygamae* on maize, sorghum and pearl millet grains in vitro. *International Journal of Food Microbiology*, 296(February), 31–36. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.02.016>
- Voigt, J., Janek, K., Textoris-Taube, K., Niewianda, A., & Wöstemeyer, J. (2016). Partial purification and characterisation of the peptide precursors of the cocoa-specific aroma components. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.068>
- Yau, Y. Y., Wang, K. Y., Riga, P., Liu, W., Yang, M., Liang, H., Davis, K. I., Niedziela Jr., C. E., Whipker, B. E., Reddy, M. R., Barzegar, K., Yadollahi, A., Imani, A., Ahmadi, N., Singh, A. K., Rai, N., Singh, R. K., Singh, M., Singh, R. P., ... Nath, V. (1999). Journal of Applied Horticulture. *Journal of Applied Horticulture*.
- Yro, A., Edié, C. N., Kpalma, K., Aubain, Y., Edié Camille, Z., & Kidiyo, K. (2018). Cocoa Beans Fermentation Degree Assessment For Quality Control Using Machine Vision and Multiclass SVM Classifier. *International Journal of In-Novation and Applied Studies, ISSR Journals*.
- Yu, J., Whitelaw, C. A., Nierman, W. C., Bhatnagar, D., & Cleveland, T. E. (2004). *Aspergillus flavus* expressed sequence tags for identification of genes with putative roles in aflatoxin contamination of crops. *FEMS Microbiology Letters*, 237(2). <https://doi.org/10.1016/j.femsle.2004.06.054>
- Yunus, M. R. (2016). Hazard Analysis and Critical Control Points in Cocoa Bean Fermentation. *International Journal of Agriculture System*.
- Zul, S., Rionaldo, H., & Kurniawan, N. (2011). Review Teknologi Proses Pengolahan Kakao. *J.Rekayasa Pangan Dan Pert*, November, 41–47. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4491.6968>