

**PENGARUH KADAR AIR DAN PERSAMAAN MODEL BET UNTUK PREDIKSI
 MASA SIMPAN KAKAO (*Theobroma cacao* L.)**
**EFFECT OF MOISTURE CONTENT AND EQUATION OF BET MODEL FOR PREDICTION
 THE SHELF LIFE OF COCOA (*Theobroma cacao* L.)**

Rita Hayati*

INFO ARTIKEL

Submit: 10 Januari 2017
 Perbaikan: 20 Februari 2017
 Diterima: 26 Februari 2017

Keywords:

cocoa, moisture content, BET
 model, critical water content

ABSTRACT

Effect of moisture content and the equation of BET model (Brunauer, Emmet and Teller) on the shelf life of cocoa (*Theobroma cacao* L.) has been conducted. The BET equation is used for the primary bound water capacity in determining the physical and chemical stability of the product drying. Improving the quality of cocoa beans is by proper post harvest handling, including harvesting, fruit maturity, curing, fermentation, drying to storage. The purpose of this study is to determine the appropriate water content and critical water content in determining the shelf life of cocoa. The benefits of this research are as information for farmers in determining the shelf life of cocoa so that it can design the appropriate storage with respiration system owned by cocoa. This study used Randomized Block Design of 3 x 3 factorial pattern with 3 replications, the factorial tested was: fermentation factor (F) consisted of 3 treatments, namely: F₀ = fermentation naturally without addition of microorganisms, F₁ = fermentation with addition of *S. cerevisiae* microorganisms on 0 day fermentation, F₂ = Fermentation with addition of *S. cerevisiae* microorganism on day 1 of fermentation and drying temperature factor (T) consists of 3 treatments, namely: T₀ = drying naturally with sunlight, T₁ = drying using oven at Temperature 50 °C, T₂ = Drying using oven at 60 °C. Thus there were 9 treatment combinations with 3 replications. Then the combined unit of treatment was 27 experimental units. The results showed that the moisture content and BET model equations used had a very significant effect on the prediction of the shelf life of cocoa. The BET equation obtained is $Y = 2,912x + 1,238$ ($R^2 = 0,965$), $Y = 2,897x + 1,353$ ($R^2 = 0,968$) and $Y = 2,806x + 1,89$ ($R^2 = 0,954$).

1. PENDAHULUAN

Kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan salah satu komoditas pertanian yang dapat diandalkan dalam mewujudkan program pembangunan pertanian, khususnya dalam hal penyediaan tenaga kerja, pendorong pengembangan wilayah, peningkatan kesejahteraan petanidan peningkatan pendapatan. Penelitian tentang kakao telah banyak dilaporkan, terutama dalam kaitan dengan kesehatan, neuroprotective (Cimini *et al.*, 2013), antioksidan dan antimikroba (Calatayud *et al.*, 2013), bersifat kardioprotektif (Abdi *et al.*, 2013).

Sebagian besar perkebunan kakao di Propinsi Aceh merupakan perkebunan rakyat dan dalam

pengelolaan usaha tani belum sepenuhnya menerapkan prinsip-prinsip pengelolaan perkebunan kakao dengan tepat, baik dari segi aspek budidaya tanaman maupun penanganan pasca panen sehingga mutu kakao Aceh mempunyai kualitas rendah. Menurut Magan *et al.*, (2003) penanganan pasca panen yang tidak optimal dapat menimbulkan cacat mutu biji, cita rasa rendah, kadar kotoran tinggi serta banyak terkontaminasi serangga, jamur dan mikotoksin.

Salah satu upaya yang perlu dilakukan untuk meningkatkan mutu biji kakao adalah dengan penanganan pasca panen yang tepat, meliputi cara panen, tingkat kematangan buah, pemeraman, fermentasi, pengeringan hingga penyimpanan. Menurut Hii *et al.*, (2009) pengolahan biji kakao terdiri dari dua langkah utama yaitu fermentasi dan pengeringan. Fermentasi biji kakao itu sendiri merupakan suatu proses pengolahan pasca panen yang mempengaruhi mutu biji kakao. Dalam proses ini terjadi penguraian gula menjadi alkohol yang dilakukan oleh beberapa jenis khamir, yang

dilanjutkan dengan penguraian alkohol menjadi asam asetat dan asam laktat oleh beberapa jenis bakteri (katabolisme). Selain itu, selama proses ini juga berlangsung pembentukan senyawa-senyawa organik yang merupakan senyawa calon pembentuk aroma pada biji kakao (anabolisme) akibat aktivitas mikroorganisme tersebut

Secara umum petani kakao di propinsi Aceh sangat jarang melakukan fermentasi dan pengeringan dengan benar, biasanya mereka hanya menyimpan biji kakao dalam karung plastik selama 1 sampai 2 hari kemudian langsung di jemur selama 2 sampai 3 hari dengan kadar air rata-rata di atas 15%, hal ini bisa disebabkan oleh sistem atau sarana pengeringan yang tidak memadai atau berbagai alasan lainnya, pertama petani tidak mau lagi meluangkan waktu untuk melakukan pengeringan produk kakao mereka sampai kadar air 8% karena ingin mendapatkan hasil yang lebih cepat, kedua tidak terpenuhinya skala usaha dan ketiga tidak adanya insentif harga yang memadai antara biji kakao fermentasi dan non fermentasi (Wahyudi dan Misnawi, 2007). Sementara itu bila merujuk pada Standar Nasional Indonesia (SNI 2323:2008) untuk kualitas super biji kakao mempersyaratkan kadar air maksimum 7,5%, sehingga sangat sulit didapatkan kakao petani dengan mutu yang baik. Proses fermentasi pada kakao sangat diperlukan dalam pengolahan selanjutnya, khususnya kualitas rasa untuk menghasilkan bubuk coklat yang baik, hal ini dinyatakan oleh Petit *et al.* (2016), bahwa pengolahan dan penyimpanan harus dilakukan dengan benar untuk reaksi senyawa bioaktif yang dapat menyebabkan perubahan sifat fisikokimia pada kakao.

Air sangat penting pada sistem pangan yang mempengaruhi proses pengolahan, keamanan mikroba, persepsi sensorik, dan stabilitas penyimpanan dan umur simpan (Al-Muhtaseb *et al.*, 2002; Lodi dan Vodovotz, 2008). Air di dalam bahan pangan dan hasil pertanian, dapat diklasifikasikan ke dalam 2 tipe yaitu air terikat dan air bebas. Sifat-sifat air bebas pada bahan pangan sama seperti sifat-sifat air biasa pada umumnya dengan nilai $a_w = 1$, sedangkan air ikatan adalah air yang terikat erat dengan komponen bahan pangan lainnya serta mempunyai a_w di bawah 1 (Kuprianoff, 1958).

Isotermi sorpsi air merupakan hubungan antara kadar air dengan aktivitas air. Isotermi sorpsi air telah banyak digunakan untuk penyimpanan produk-produk mengalami dehidrasi, yaitu: bubuk susu (Silalai dan Roos, 2011), irisan kentang (Turner *et al.*, 2006), dan pasta kering (Aguilera *et al.*, 2003; Gowen *et al.*,

2008). Isotermi sorpsi air penting untuk berbagai aplikasi, misalnya pengembangan produk baru (Wang dan Brennan, 1995), penentuan stabilitas produk dan umur simpan (Jouppila dan Roos, 1994), serta proses desain dan kontrol (Peng *et al.*, 2007). Labuza (1984) menyatakan bahwa a_w bahan pangan sangat menentukan kondisi penyerapan atau kehilangan air dari bahan pangan, sehingga dikembangkan model matematik yang dapat digunakan untuk memprediksikan masa simpan suatu produk. Ditambahkan oleh Champion *et al.* (2000); Fanghui *et al.* (2016) bahwa a_w juga dapat digunakan dalam mengontrol kualitas dan kestabilan bahan makanan selama pengolahan dan penyimpanan.

BET (Brunauer, Emmet dan Teller) merupakan persamaan model yang paling luas dan paling sering digunakan untuk mencirikan air pada lapisan pertama. Persamaan ini sesuai digunakan untuk daerah a_w rendah, hingga 0.45-0.50. Air pada lapisan pertama merupakan daerah kapasitas air terikat primer yang menentukan stabilitas fisik dan kimia bahan yang dikeringkan. Secara umum model persamaan model BET adalah:

$$M = \frac{M_p c a_w}{(1-a_w)[1+(c-1)a_w]}$$

Dimodifikasi menjadi:

$$\frac{a_w}{(1-a_w)M} = \frac{1}{M_p C} + \frac{c-1}{M_p C}$$

Dimana: M_p = Kapasitas air terikat primer, C = konstanta, a_w = aktivitas air

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kadar air dan kadar air kritikal yang tepat dalam menentukan masa simpan kakao. Manfaat penelitian ini adalah sebagai informasi bagi petani dalam menentukan masa simpan kakao sehingga dapat mendesain tempat penyimpanan yang sesuai dengan sistem respirasi yang dimiliki oleh kakao.

2. MATERIAL DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Penyakit Tumbuhan dan Laboratorium analisis Pangan Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala Banda Aceh pada bulan Agustus sampai dengan bulan Oktober 2015.

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah biakan murni ragi *Saccharomyces*

cerevisiae sebanyak 108 cfu/kg biji kakao. Biakan ini diperoleh dari pusat kultur Institut Pertanian Bogor atau dari Pusat kultur lainnya. Buah kakao masak dari jenis lindak umur 5–6 bulan sejak berbunga diambil dari desa Geuleudieng Kecamatan Padang Tiji, daun pisang, aquades, air bersih, tissue roll, kertas saring, kapas-wool, kertas label, plastik klim, larutan NaOH 0,1 N, indikator PP, buffer pH 7, dietil eter, larutan pepton 0,1%, kloramfenikol, asam sorbat, sikloheksamida, dan media PDA.

Alat - alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbangan analitik, pisau, sendok, pipet, gelas erlemeyer 500 ml, gelas ukur 1.000 ml, oven, cawan aluminium, alat ekstraksi soxhlet, desikator, wadah fermentasi dari papan ukuran 30 x 30 x 50 cm, pH meter, thermometer, oven berventilasi.

Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) pola faktorial 3 x 3 dengan 3 ulangan, faktorial yang dicobakan adalah : faktor pertama fermentasi (F) terdiri dari 3 perlakuan, yaitu : F₀: fermentasi secara alami tanpa penambahan mikroorganisme, F₁: fermentasi dengan penambahan mikroorganisme *S.cerevisiae* pada hari ke-0 fermentasi. F₂: fermentasi dengan penambahan mikroorganisme *S.cerevisiae* pada hari ke 1 fermentasi. Faktor kedua suhu pengeringan (T) terdiri dari 3 perlakuan, yaitu: T₀: pengeringan secara alami dengan sinar matahari, T₁: pengeringan menggunakan oven pada suhu 50°C, T₂: pengeringan menggunakan oven pada suhu 60°C. Dengan demikian terdapat 9 kombinasi perlakuan dengan 3 ulangan. Maka jumlah satuan kombinasi perlakuan adalah 27 satuan percobaan.

Pelaksanaan Penelitian

Buah kakao yang digunakan dalam penelitian ini dipilih buah yang sehat dan terbebas dari serangan hama dan penyakit yang diperoleh dari Desa Geuleudieng Kecamatan Padang Tiji Kabupaten Pidie. Biji kakao dikeluarkan dari buah dan dipisahkan dari plasentanya, kemudian ditimbang masing-masing sebanyak 30 kg untuk setiap perlakuan fermentasi sebagai berikut: fermentasi alami atau tanpa penambahan mikroorganisme, fermentasi dengan penambahan mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae* yang diberikan pada hari ke-0, fermentasi dengan penambahan mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae* pada hari ke-1.

Penambahan mikroorganisme masing-masing perlakuan sebanyak 108 cfu/kg biji kakao segar, berdasarkan total mikroba tersebut pada fase logaritmik selama fermentasi alami (Maria dan Sri

Setiani, 2008). Fermentasi dilakukan dalam kotak fermentasi kapasitas 30 kg biji kakao segar pada suhu kamar selama 6 hari. Selama proses fermentasi dilakukan pengadukan biji dan pengadukan dilakukan pada 48 jam pertama dan 48 jam kedua.

Pengamatan

Kadar air

Sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C sampai suhu 120 °C sehingga diperoleh berat yang tetap. Cara kerja: Cawan kosong dan tutupnya dikeringkan dalam oven selama 15 menit dan didinginkan dalam desikator, kemudian ditimbang (untuk cawan aluminium didinginkan selama 10 menit dan cawan porselin didinginkan selama 20 menit). Sampel yang sudah dihomogenkan dengan cawan ditimbang dengan cepat kurang lebih 5 g. Tutup cawan diangkat dan ditempatkan cawan beserta isi dan tutupnya dalam oven selama 6 jam, hindari kontak antara cawan dengan dinding oven, untuk produk yang tidak mengalami dekomposisi dengan pengeringan yang lama, dapat dikeringkan selama 1 malam (16 jam). Lalu cawan dipindahkan ke desikator, ditutup dengan penutup cawan lalu didinginkan, setelah dingin ditimbang kembali. Bahan dikeringkan kembali kedalam oven sampai diperoleh berat tetap.

$$m(bb) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

Keterangan :

m(bb)	=	kadar air basis basah (%)
W1	=	berat awal bahan (g)
W2	=	berat akhir bahan (g)

Kadar Air Kritisal

Penyiapan Kakao pada Kadar Air 2%

Kakao terlebih dahulu diturunkan kandungan airnya dengan menggunakan pengering beku dan selanjutnya dengan pengering kemoreaksi menggunakan natrium bikarbonat sehingga tercapai kadar air 2%.

Penyiapan Larutan Garam Jenuh

Masing-masing larutan garam jenuh disiapkan sebanyak ± 100 ml untuk setiap desikator. Sampel (2 g) dimasukkan kedalam cawan aluminium dan diseimbangkan di dalam desikator. Keseimbangan kadar air dan a_w kakao dilakukan dalam desikator berisi larutan garam jenuh dan ditutup rapat. Desikator disimpan dalam ruang inkubator suhu 28 °C, dan setiap hari dilakukan penimbangan sampel sampai kadar air setimbang. Larutan garam jenuh yang digunakan adalah LiCl, MgCl₂, K₂CO₃, NaBr, KI, NaNO₃, KCl, Na₂SO₄, BaCl₂, KNO₃, K₂SO₄.

Pengukuran Keseimbangan Kadar Air (AOAC, 1995)

Pengukuran kadar air keseimbangan (Me) beras dilakukan dengan metode AOAC (1995). Pengukuran kadar air setimbang sama dengan pengukuran kadar air. Caranya sampel kakao hasil pengeringan ditimbang sebanyak 2 g sebagai berat awal. Kemudian sampel ditempatkan pada cawan dan dimasukkan kedalam 15 desikator berisi larutan garam jenuh dengan kisaran RH dari 11% sampai 92%.

Analisis Data

Data yang diperoleh dari analisa sifat fisik dan kimia biji kakao diolah dengan menggunakan metode Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan 3 kali ulangan dan data yang diperoleh adalah rerata dari nilai setiap perlakuan. Apabila hasilnya berbeda nyata maka dilakukan dengan uji lanjut BNT (Beda Nyata Terkecil) pada level 5%. Data dianalisis menggunakan persamaan BET (Brunauer, Emmet, Teller) untuk menghasilkan air terikat primer (ATP). Persamaan model BET yang digunakan adalah :

$$a_w/(1-a_w)M = 1/MpC + c-1/Mpc.$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Air (%)

Hasil analisis ragam pengaruh pemberian fasilitator fermentasi (*S. cerevisiae*) dan suhu pengeringan terhadap kadar air menunjukkan bahwa pemberian fasilitator fermentasi (*S. cerevisiae*) berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air. Suhu pengeringan juga berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air. Interaksi dari pemberian fasilitator fermentasi (*S. cerevisiae*) dan suhu pengeringan berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air. Pengaruh pemberian fasilitator fermentasi (*S. cerevisiae*) dan suhu pengeringan terhadap kadar air disajikan dalam Tabel 1.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian fasilitator fermentasi (*S. cerevisiae*) sangat berpengaruh terhadap kadar air biji. Fermentasi alami memiliki kadar air biji tertinggi yang berbeda sangat nyata dengan kadar air biji hasil fermentasi dengan penambahan *S. Cerevisiae* baik pada hari ke-0 maupun hari ke-1 fermentasi. Persyaratan mutu kakao yang diatur pemerintah meliputi karakteristik biji kakao, kadar air, bobot biji, kadar kulit dan kadar lemak dapat diperoleh dengan teknologi fermentasi dan pengeringan yang tepat (Rita *et al.*, 2012). Hal ini juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Kustyawati dan Setyani (2008), bahwa Pertumbuhan *yeast*, bakteri asam laktat dan bakteri asam asetat di

dalam *pulp* berperan dalam perubahan biokimiawi selama fermentasi kakao (Schwan *et al.*, 1998; Ardhana dan Fleet, 2003). Pada awal 24 jam fermentasi *yeast* (khamir) mendominasi fermentasi, kemudian menurun dan digantikan oleh pertumbuhan bakteri asam laktat. Pada saat *pulp* mulai mencair oksigen mengalir ke dalam kotak fermentasi, akibatnya bakteri asam asetat mendominasi fermentasi dan memproduksi asam asetat. Selama pertumbuhan ini suhu dalam kotak meningkat ke sekitar 50 °C, sehingga terjadi difusi asam dan panas ke dalam biji yang mengakibatkan kematian biji, selanjutnya dimulai proses pembentukan warna, aroma, dan flavor yang meliputi gula, asam amino, dan peptida, secara enzimatik di dalam biji. Schwan *et al.* (1998) menemukan lebih dari 40 spesies mikroba yang tumbuh selama fermentasi kakao. Tetapi tidak semua mikroba tersebut mempunyai peran penting dalam fermentasi, sehingga seleksi perlu dilakukan terhadap mikroba yang mempunyai peran utama dalam pembentukan aroma, warna, flavor dan komponen kimiawi kakao biji. *Saccharomyces cerevisiae* dan *Candida tropicalis* merupakan dominan *yeast* selama fermentasi kakao karena tingkat survival yang tinggi, 107 cfu/g selama 36 jam (Ardhana dan Fleet, 2003).

Tabel 1. Pengaruh pemberian fasilitator fermentasi (*Saccharomyces cerevisiae*) dan suhu pengeringan terhadap kadar air (%)

Perlakuan	Kadar Air (%)
Fasilitator Fermentasi (F)	
Fermentasi alami (F ₀)	7,23 ^c
Fermentasi dengan penambahan <i>S. cerevisiae</i> pada hari ke-0 fermentasi (F ₁)	6,29 ^a
Fermentasi dengan penambahan <i>S. cerevisiae</i> pada hari ke-1 fermentasi (F ₂)	7,11 ^b
BNT_{0,05}	0,07
Suhu Pengeringan (T)	
Pengeringan dengan sinar matahari (T ₀)	7,87 ^c
Oven suhu 50 °C (T ₁)	6,69 ^b
Oven suhu 60 °C (T ₂)	6,08 ^a
BNT_{0,05}	0,07
KK (%)	1,16

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perbedaan tidak nyata berdasarkan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 0,05

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa suhu pengeringan juga sangat berpengaruh terhadap kadar air biji. Suhu pengeringan dengan menggunakan sinar matahari menghasilkan kadar air tertinggi yang berbeda sangat nyata dengan suhu pengeringan oven 50 °C dan 60 °C. Suhu

pengeringan oven 50 °C juga berbeda sangat nyata dengan suhu pengeringan oven 60 °C dalam menghasilkan kadar air biji. Suhu pengeringan biji kakao untuk mencapai kadar air yang optimal yaitu 55 °C – 70 °C, dimana suhu awal selama 6 jam pertama yaitu sebesar 70 °C selanjutnya pada 4 jam ke dua sebesar 60 °C dan 2 jam berikutnya sebesar 55 °C (Doris *et al.*, 2009). Rita *et al.* (2012) menambahkan bahwa kadar air biji kakao yang baik dihasilkan pada suhu 60 °C dengan kisaran kadar air 6,88–7,74% didapatkan dengan lama pengeringan 6-20 jam.

Hal ini diperkuat oleh Passos *et al.* (1984) yang menyatakan suhu tinggi pada saat fermentasi disebabkan oleh reaksi eksotermis yang terjadi pada saat perubahan gula *pulp* menjadi etanol oleh aktivitas *yeast*. Akibatnya *pulp* meleleh, tetesan air dan oksigen akan mengalir ke dalam tumpukan biji. Aerasi ini menyebabkan kenaikan suhu yang tajam dan mengakibatkan kematian biji. Terdapat dua fase penting selama fermentasi kakao yaitu: pertama, aktivitas *yeast* yang mengubah gula *pulp* menjadi alkohol selama fermentasi anaerobik di awal fermentasi, dan kedua, aktivitas bakteri asam asetat mengoksidasi alkohol menjadi asam asetat dan selanjutnya menjadi CO₂ dan H₂O.

Berdasarkan data Isotermi Sorpsi Air maka dilakukan analisis fraksi-fraksi air terikat untuk menetapkan titik-titik kritis yang dapat mempengaruhi sifat-sifat produk dan umur simpannya. Persamaan BET yang digunakan dalam penelitian ini adalah untuk mendapatkan Air Terikat Primer (ATP). ATP adalah bahagian air yang terikat sangat kuat oleh molekul air bahan kering. ATP disebut juga sebagai satu lapis molekul air atau monolapisan air (Aguilera *et al.*, 2003). Persamaan BET yang diperoleh pada ketiga perlakuan kakao ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Persamaan BET pada ketiga perlakuan kakao

No.	Perlakuan	Persamaan	R ²
1	Fermentasi alami (F ₀)	$Y = 2,912x + 1,238$	$R^2 = 0,965$
2	Fermentasi dengan penambahan <i>S. cerevisiae</i> pada hari ke-0 fermentasi (F ₁)	$Y = 2,897x + 1,353$	$R^2 = 0,968$
3	Fermentasi dengan penambahan <i>S. cerevisiae</i> pada hari ke-1 fermentasi (F ₂)	$Y = 2,806x + 1,89$	$R^2 = 0,954$

Dari persamaan regresi pada Tabel 2 maka didapatkanlah masa simpan biji kakao (Tabel 3). Dengan memasukkan nilai M_p dan M_s dapat diperoleh nilai batas a_w antara daerah fraksi air terikat primer dan sekunder yaitu aktivitas air kritis pertama (a_p) dan batas a_w antara daerah

fraksi air terikat sekunder dan tertier yaitu a_w kritis kedua (a_s). Tabel 3 menunjukkan bahwa a_w kritis lebih besar dari a_s akan menyebabkan terjadinya pertumbuhan mikroba, dan apabila nilai a_p lebih kecil maka produk sangat stabil dan nilai yang berada antara a_p dan a_s mulai terjadi kerusakan pada produk terutama kerusakan yang disebabkan karena kerusakan kimia, ketengikan dan pencoklatan. Pada M_p 5.90 bk setara dengan a_p kritis 0.41 terikat sangat kuat oleh bahan kering dan molekul bahan kering sangat rendah sehingga reaktan didaerah tersebut tidak terjadi reaksi kimia oleh karena itu maka mutu produk di daerah ATP (Air Terikat Primer) sangat stabil. Pada air terikat sekunder (ATS), molekul air biji kakao terikat kuat, motilitas molekul air dan molekul bahan kering mulai meningkat sehingga reaksi kimia pada molekul bahan kering biasa terjadi dan dimulainya perubahan kimia yang mengakibatkan penurunan kualitas produk secara kimia. Sedangkan pada daerah ATT (Air Terikat Tertier) air terikat sangat lemah. Pada daerah ini mikroba mudah sekali tumbuh, karena tekanan osmose fraksi air terikat tertier seimbang dengan tekanan osmose cair plasma sel mikroba.

Tabel 3. Masa simpan biji kakao terhadap tiga perlakuan.

Fraksi Air	Kapasitas Air Terikat	M Kritis (%)	Jenis Air terikat (%)	a _w Kritis	RH (%)
Ke 1	M _p	5.90	ATP:5.90	a _s = 0.64	64
Ke 2	M _s	16.11	ATS:11.56	a _p = 0.41	41
Ke 3	M _t	92.2	ATT:63.68	-	-

Keterangan:

- M_p = Kadar air kritis pada lapisan pertama
- M_s = Kadar air kritis pada lapisan kedua
- M_t = Kadar air kritis pada lapisan ketiga
- ATP = Air Terikat Primer
- ATS = Air Terikat Sekunder
- ATT = Air Terikat Tertier
- a_s = Aktivitas air kritis primer
- a_p = Aktivitas air kritis sekunder

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air dan persamaan model BET yang digunakan berpengaruh sangat nyata terhadap prediksi masa simpan kakao. Persamaan BET yang diperoleh adalah $Y = 2,912x + 1,238$ ($R^2 = 0,965$), $Y = 2,897x + 1,353$ ($R^2 = 0,968$) dan $Y = 2,806x + 1,89$ ($R^2 = 0,954$). Pada M_p 5.90 bk setara dengan a_p kritis 0.41 terikat sangat kuat oleh bahan kering dan molekul bahan kering sangat rendah sehingga

reaktan didaerah tersebut tidak terjadi reaksi kimia oleh karena itu maka mutu produk di daerah ATP (Air Terikat Primer) sangat stabil. Pada air terikat sekunder (ATS), molekul air biji kakao terikat kuat, motilitas molekul air dan molekul bahan kering mulai meningkat sehingga reaksi kimia pada molekul bahan kering bisa terjadi dan dimulainya perubahan kimia yang mengakibatkan penurunan kualitas produk secara kimia serta daerah ATT (Air Terikat Tertier) air terikat sangat lemah sehingga mikroba mudah sekali tumbuh, karena tekanan osmose fraksi air terikat tertier seimbang dengan tekanan osmose cair plasma sel mikroba.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, F., Lakhdar, D., Ibri, K. 2013. Cocoa and health: a study of the cardioprotective effect of cocoa powder on women with hypertension and menopause. *Fundam. Clin. Pharmacol.* 27: 28-28.
- Aguilera, J.M., Chiralt, A., Fito, P. 2003. Food dehydration and product structure. *Trends Food Sci. Technol.* 14 (10):432-437.
- Al-Muhtaseb, A.H., McMinn, W.A.M., Magee, T.R.A. 2002. Moisture sorption isotherm characteristics of food products: a review. *Food Bioprod. Process.* 80 (2): 118-128.
- [AOAC] Association of Official Analytical Chemist. 1995. Official methods of analysis association of the associates analytical chemistry, Inc., Washington D.C.
- Ardhana dan Fleet. 2003. The microbial ecology of cocoa bean fermentations in Indonesia. *Inter. J. of Food Microbiol.* 86: 87-99.
- Calatayud, M., Lopez-de-Dicastillo, C., Lopez-Carballo, G., Velez, D., Munoz, P.H., Gavara, R. 2013. Active films based on cocoa extract with antioxidant, antimicrobial and biological applications. *Food Chem.* 139 (1-4), 51-58.
- Champion, D., Le Meste, M., Simatos, D. 2000. Towards an improved understanding of glass transition and relaxations in foods: molecular mobility in the glass transition range. *Trends Food Sci. Technol.* 11 (2): 41-55.
- Cimini, A., Gentile, R., Dangelo, B., Benedetti, E., Cristiano, L., Avantaggiati, M.L., Giordano, A., Ferri, C., Desideri, G. 2013. Cocoa powder triggers neuroprotective and preventive effects in a human Alzheimer's disease model by modulating BDNF signaling pathway. *J. Cell. Biochem.* 114 (10), 2209-2220
- Fanghui Fan, Tian Mou, Bambang Nurhadi, Yrjö H. Roos. 2017. Water sorption-induced crystallization, structural relaxations and strength analysis of relaxation times in amorphous lactose/whey protein systems. *Journal of Food Engineering* 196 (2017) 150-158
- Gowen, A.A., Abu-Ghannam, N., Frias, J., Oliveira, J. 2008. Modelling dehydration and rehydration of cooked soybeans subjected to combined microwave-hot airdrying. *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.* 9 (1):129-137.
- Hii, C.L., C.L. Law, M. Cloke and S. Suzannah. 2009. Thin layer drying kinetics of cocoa and dried product quality. *Biosyst. Eng.*, 102: 153-161. International Office of Cocoa, Chocolate and Sugar Confection (IOCCC), 1996. Determination of free fatty acids (FFA) content of cocoa fat as a measure of cocoa nib acidity.
- Jouppila, K., Roos, Y.H. 1994. Glass transitions and crystallization in milk powders. *J. dairy Sci.* 77 (10): 2907-2915.
- Kuprianoff, J. 1958. Bound water in fundamental aspect of dehydration of foodstuff. *Soc.Am. Indttr.* 14.
- Kustyawati dan Setyani. 2008. Pengaruh penambahan inokulum campuran terhadap perubahan kimia dan mikrobiologi selama fermentasi coklat. *Jurnal Teknologi Industri dan Hasil Pertanian* 13(2): 73-84.
- Labuza TP. 1984. Moisture Sorption: Practical Aspects of Isotherm Measurement and Use. American Association Cereal Chemistry. St. Paul Minnesota.
- Lodi, A., Vodovotz, Y. 2008. Physical properties and water state changes during storage in soy bread with and without almond. *Food Chem.* 110 (3): 554-561.
- Magan, N. Hope R. Cairns V. Aldred D. 2003. Post-harvest fungal ecology: Impact of fungal growth and mycotoxin accumulation in stored grain. *Eur. J. Plant Pathol.* 109:723-730.
- Maria. E.K dan Sri Setiani. 2008. Pengaruh penambahan inokulum campuran terhadap perubahan kimia dan mikrobiologi selama fermentasi coklat. *Jurnal teknologi industri dan hasil pertanian* vol. 13 no. 2 tahun 2008. Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
- Peng, G., Chen, X., Wu, W., Jiang, X. 2007. Modelling of water sorption isotherm for corn starch. *J. Food Eng.* 80 (2): 562-567.
- Petit, J, F. Michaux, C. Jacquot, E. Chavez Montes, J. Dupas, V. Girard, A. Gianfrancesco, J. Scher, C. Gaiani. 2016. Storage-induced caking of cocoa powder. *Journal of Food Engineering. Journal of Food Engineering* 199 (2017) 42-53.
- Rita.H., Yusmanizar. Mustafiril. Harir, F. 2012. Kajian Fermentasi dan Suhu Pengeringan pada Mutu Kakao (*Theobroma cacao* L.). *JTEP Jurnal Keteknikan Pertanian.* Vol.26. No.2.
- Schwan, R.F. 1998. Cocoa fermentations conducted with a defined microbial cocktail inoculum. *J. Microbiol.* 14: 1477-1483.
- Silalai, N., Roos, Y.H. 2011. Coupling of dielectric and mechanical relaxations with glass transition and stickiness of milk solids. *J. Food Eng.* 104 (3):445-454.
- Turner, N.J., Whyte, R., Hudson, J.A., Kaltovei, S.L. 2006. Presence and growth of *Bacillus cereus* in dehydrated potato flakes and hot-held, ready-to-eat potato products purchased in New Zealand. *J. Food Prot.* 69 (5): 1173-1177.
- Wang, N., Brennan, J.G. 1995. A mathematical model of simultaneous heat and moisture transfer during drying of potato. *J. Food Eng.* 24 (1): 47-60.
- Wahyudi.T dan Misnawi. 2007. Fasilitas dan Perbaikan Mutu Kakao Indonesia. *Warta Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jember.*