

PENDUGAAN UMUR SIMPAN PRODUK BISKUIT DENGAN METODE AKSELERASI BERDASARKAN PENDEKATAN KADAR AIR KRITIS

[Accelerated Shelf-life Testing of Biscuits Using a Critical Moisture Content Approach]

Feri Kusnandar*, Dede R. Adawiyah dan Mona Fitria

Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor

Diterima 12 April 2010 / Disetujui 16 Desember 2010

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the shelf-life of commercial soft and hard dough biscuits packed in metallized plastics by using a critical moisture content approach. The critical moisture contents, which were reached when the biscuits started to lose their crispiness and firmness, were 0.064 g H₂O/g dried solid for soft dough biscuit and 0.069 g H₂O/g dried solid for hard dough biscuit. The soft dough biscuits stored at 30°C and relative humidity of 75% had shelf life of 17.4 months, while that of hard dough biscuit at the same storage condition had shelf life of 16.5 months.

Keyword : Biscuits, shelf life, ASLT method, critical moisture content

PENDAHULUAN

Keterangan umur simpan (masa kadaluarsa) produk pangan merupakan salah satu informasi yang wajib dicantumkan oleh produsen pada label kemasan produk pangan. Pencantuman informasi umur simpan menjadi sangat penting karena terkait dengan keamanan produk pangan dan untuk memberikan jaminan mutu pada saat produk sampai ke tangan konsumen. Kewajiban pencantuman masa kadaluarsa pada label pangan diatur dalam Undang-undang Pangan no. 7/1996 serta Peraturan Pemerintah No. 69/1999 tentang Label dan Iklan Pangan, dimana setiap industri pangan wajib mencantumkan tanggal kadaluarsa (*expired date*) pada setiap kemasan produk pangan.

Penentuan umur simpan produk pangan dapat dilakukan dengan menyimpan produk pada kondisi penyimpanan yang sebenarnya. Cara ini menghasilkan hasil yang paling tepat, namun memerlukan waktu yang lama dan biaya yang besar. Oleh karena itu dikembangkan metode akselerasi (*Accelerated Shelf-life Testing* atau ASLT), yaitu dengan cara menyimpan produk pangan pada lingkungan yang menyebabkannya cepat rusak, baik pada kondisi suhu atau kelembaban ruang penyimpanan yang lebih tinggi. Metode akselerasi dapat dilakukan dalam waktu yang lebih singkat dengan akurasi yang baik (Arpah, 2001). Metode ASLT dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan model Arrhenius atau kadar air kritis. Model Arrhenius mensimulasi kerusakan produk oleh reaksi kimia yang dipicu oleh suhu penyimpanan, sedang model kadar air kritis mensimulasi kerusakan produk yang dipicu oleh penyerapan air oleh produk (Labuza, 1982). Data-data perubahan mutu selama penyimpanan diubah dalam bentuk model

matematika, kemudian umur simpan ditentukan dengan cara ekstrapolasi persamaan pada kondisi penyimpanan normal.

Salah satu produk pangan yang memiliki umur simpan cukup lama adalah biskuit. Biskuit memiliki kadar air dan aktivitas air (a_w) yang rendah sehingga teksturnya menjadi renyah. Kerusakan produk biskuit sering dihubungkan dengan kerusakan tekstur yang disebabkan oleh penyerapan uap air dari udara yang melewati kemasan.

Kerenyahan biskuit akan menurun dengan meningkatnya kadar air dan a_w produk. Apabila a_w mencapai 0.35-0.50, maka kerenyahan yang menjadi kekhasan produk akan hilang. Hal ini disebabkan oleh kegiatan air yang melarutkan dan melunakkan matrik pati atau protein yang terkandung pada sebagian besar produk pangan (Vail *et al.*, 1978). Di antara model untuk menduga umur simpan produk pangan secara cepat adalah dengan pendekatan kadar air kritis.

Metode ini digunakan untuk produk pangan yang mudah rusak akibat penyerapan air selama penyimpanan yang disebabkan kemasan yang digunakan (seperti kemasan plastik) tidak mampu menghambat migrasi uap air dari udara. Kerusakan produk disebabkan oleh penyerapan uap air oleh produk dengan menembus kemasan, sehingga produk meningkat kadar airnya dan berubah teksturnya (Labuza, 1982). Saat dimana produk tidak dapat diterima lagi sensori menunjukkan masa kaluarsanya.

Data percobaan yang diperoleh dari pendekatan kadar air kritis ini dapat mensimulasi umur simpan produk dengan permeabilitas kemasan dan kelembaban relatif ruang penyimpanan yang berbeda.

Persamaan untuk menentukan umur simpan dinyatakan dengan persamaan (1) (Bell dan Labuza, 2000).

Pendekatan penentuan umur simpan dengan persamaan (1) memerlukan informasi kurva isotherm sorpsi air (ISA) dari produk pangan yang diuji. Kurva isotherm sorpsi air digunakan untuk menentukan kadar air kesetimbangan pada kelembaban relatif (RH) penyimpanan (M_e) dan kemiringan (*slope*) kurva (b).

*Korespondensi penulis :
E-mail : fkusnandar@ipb.ac.id

Pendekatan ini dapat digunakan bila kurva isoterm sorpsi air berbentuk sigmoid.

$$t = \frac{\ln \frac{(M_e - M_o)}{(M_e - M_c)}}{\frac{k}{x} \left(\frac{A}{W_s} \right) \frac{P_o}{b}} \dots\dots\dots(1)$$

dimana:

- t = waktu perkiraan umur simpan (hari)
- M_e = kadar air keseimbangan produk (g H₂O/g padatan)
- M_o = kadar air awal produk (g H₂O/g padatan)
- b = kemiringan (*slope*) kurva isoterm sorpsi air
- M_c = kadar air kritis (g H₂O/g padatan)
- k/x = konstanta permeabilitas uap air kemasan (g/m².hari.mmHg)
- A = luas permukaan kemasan (m²)
- W_s = berat kering produk dalam kemasan (g padatan)
- P_o = tekanan uap jenuh (mmHg)

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menduga umur simpan dua jenis biskuit komersial, yaitu biskuit adonan lunak dan biskuit adonan keras yang dikemas dengan kemasan plastik yang dilapis (*metallized plastic*) dan kondisi kelembaban relatif yang berbeda. Sejauh ini, penentuan umur simpan dengan metode akselerasi untuk kedua jenis produk pangan tersebut belum ada yang melaporkan, sehingga hasil penelitian ini dapat berguna bagi kalangan industri yang memerlukan metode penentuan umur simpan untuk produk yang serupa secara cepat.

METODOLOGI

Bahan dan alat

Produk biskuit yang digunakan dalam penelitian ini adalah dua jenis biskuit komersial dari adonan lunak dan adonan keras yang dikemas dua jenis kemasan *metallized plastic*. Contoh biskuit merupakan biskuit yang baru diproduksi yang diambil dari produsen dengan kode produksi yang sama untuk masing-masing jenis biskuit.

Umur simpan produk biskuit yang dinyatakan oleh produsen sebagaimana tercantum pada label adalah 15 bulan untuk biskuit adonan lunak dan 17 bulan untuk biskuit adonan keras. Bahan kimia yang digunakan untuk percobaan kurva Isoterm sorpsi air adalah larutan garam jenuh (MgCl₂.6H₂O, K₂CO₃, NaBr, NaCl, KCl, dan KNO₃), silika gel, vaselin, dan akuades. Alat-alat yang digunakan dalam percobaan adalah inkubator 30°C, oven, desikator kecil, texture analyzer (TA-XT2), pengukur permeabilitas kemasan (Permatran Mocon W*3/31), neraca analitik, pencapit logam, peralatan gelas, cawan, aluminium foil, dan hygrometer.

Pengukuran kadar air awal (M_o)

Kadar air biskuit sebelum disimpan diukur dengan metode oven (AOAC, 1995). Kadar air awal (M_o) dinyatakan sebagai g H₂O/g padatan.

Pengukuran berat produk awal

Berat produk awal dalam satu kemasan ditimbang dan dikoreksi dengan kadar air awalnya (M_o). Berat produk dinyatakan sebagai berat padatan per kemasan (dalam gram).

Penentuan kadar air kritis (M_c)

Kadar air kritis (M_c) adalah nilai kadar air pada kondisi dimana produk pangan mulai tidak diterima oleh konsumen secara organoleptik. Penentuan kadar air kritis dilakukan dengan cara menyimpan terlebih dahulu biskuit pada suhu kamar (30°C) di ruangan terbuka tanpa kemasan (RH 75–80%). Selama periode penyimpanan tersebut, dilakukan uji sensori oleh panelis semi terlatih (30 orang) setiap jam. Pengujian dilakukan hingga dapat ditentukan saat tekstur renyah dari biskuit mulai hilang. Pengujian dilakukan dengan cara menekan biskuit dengan jari tangan. Skala penilaian berkisar antara 1 sampai 7, dimana skor 1 menunjukkan skala sangat tidak renyah dan skor 7 menunjukkan skala sangat renyah. Pada setiap periode pengujian sensori, dilakukan pengukuran kadar air dengan metode oven (AOAC, 1995) dan pengukuran tekstur dengan texture analyzer (TA-XT2) dengan *cylinder probe* berdiameter 2 mm (P2/E). Nilai kerenyahan ditentukan dari nilai puncak pertama yang signifikan pada grafik (dinyatakan sebagai *gram force* atau gf)

Data kadar air dan nilai kerenyahan secara obyektif untuk masing-masing contoh pada setiap periode pengamatan diplotkan dengan skor kerenyahan yang bersesuaian, sehingga diperoleh grafik hubungan antara skor kerenyahan dengan kadar air dan hubungan antara skor kerenyahan dengan nilai kerenyahan. Hubungan tersebut dinyatakan dalam persamaan regresi linear. Berdasarkan regresi linear yang diperoleh, maka kadar air kritis dihitung pada saat skor kerenyahan panelis bernilai 3 (skala agak tidak renyah). Nilai kerenyahan pada saat kadar air kritis tercapai dapat diperoleh dari regresi linier hubungan skor kerenyahan dengan nilai kerenyahan. Persentase penurunan kerenyahan hingga mencapai kadar air kritis dapat dihitung sebagai berikut (persamaan 2):

$$\% \text{ penurunan} = \frac{k_o - k_c}{k_o} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

- k_o = nilai kerenyahan awal (gf)
- k_c = nilai kerenyahan pada kadar kritis (gf)

Pembuatan pola kurva isoterm sorpsi air (Spiess dan Wolf, 1987)

Pembuatan kurva isoterm sorpsi air biskuit diawali dengan membuat larutan garam jenuh yang digunakan untuk mengatur kelembaban relatif (RH) desikator. Garam yang digunakan adalah MgCl₂, K₂CO₃, NaBr, NaCl, KCl, dan KNO₃ yang memberikan nilai aktivitas air 0,324-0,923 atau RH lingkungan RH berkisar 32,4-92,3% (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai aktivitas air untuk larutan garam jenuh pada suhu 30°C (Bell and Labuza, 2000)

Larutan garam jenis	Aktivitas air (A _w)	Kelembaban relatif (%)
MgCl ₂	0,324	32,4
K ₂ CO ₃	0,432	43,2
NaBr	0,560	56,0
NaCl	0,749	74,9
KCl	0,836	83,6
KNO ₃	0,923	92,3

Sekitar 2,0 gram biskuit diletakkan pada cawan aluminium kering kosong yang telah diketahui beratnya (tanpa kemasan). Cawan yang berisi contoh tersebut diletakkan dalam desikator yang berisi larutan garam jenuh yang membentuk RH lingkungan yang berbeda-beda (desikator ditutup rapat dengan vaselin).

Desikator kemudian disimpan dalam inkubator 30°C. Contoh dalam cawan kemudian ditimbang bobotnya secara periodik setiap hari sampai diperoleh bobot yang konstan yang berarti kadar air kesetimbangan telah tercapai. Bobot yang konstan ditandai oleh selisih antara 3 penimbangan berturut-turut kurang dari 2,0 mg/g untuk contoh yang disimpan pada RH di bawah 90% dan kurang dari 10 mg/g untuk contoh yang disimpan pada RH di atas 90% (Liovonon dan Ross, 2000 diacu dalam Adawiyah, 2006). Contoh yang telah mencapai berat konstan kemudian diukur kadar airnya dengan menggunakan metode oven (AOAC, 1995) dan dinyatakan dalam g H₂O/g padatan. Kadar air ini merupakan kadar air kesetimbangan (Me) pada RH tertentu. Kurva isoterm sorpsi air dibuat dengan cara memplotkan kadar air kesetimbangan dengan nilai RH kesetimbangan atau a_w.

Untuk mendapatkan kurva isoterm sorpsi air yang mulus, data hubungan kadar air kesetimbangan dengan a_w diuji dengan menggunakan enam (6) model persamaan, yaitu model Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB), Hasley, Henderson, Caurie, Oswin, dan Chen Clayton (Bell dan Labuza, 2000). Uji ketepatan model dilakukan dengan menghitung Mean Relative Determination (MRD), yaitu membandingkan data kadar air hasil percobaan dengan data hasil prediksi (persamaan 3).

$$MRD = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{m_i - m_{pi}}{m_i} \right| \dots\dots\dots(3)$$

dimana :

- M_i = kadar air hasil percobaan
- M_{pi} = kadar air hasil perhitungan
- n = jumlah data

Semakin rendah nilai %MRD, maka model isoterm sorpsi air tersebut dapat menggambarkan keadaan yang sebenarnya dengan tepat. Jika nilai MRD<5, maka model isoterm sorpsi air tersebut dapat menggambarkan keadaan yang sebenarnya dengan sangat tepat. Jika 5<MRD<10, maka model tersebut agak tepat menggambarkan keadaan yang sebenarnya, dan jika MRD>10 maka model tersebut tidak tepat untuk menggambarkan kondisi yang sebenarnya.

Model yang terpilih digunakan untuk menentukan nilai kemiringan (slope) kurva isoterm sorpsi air (b), yaitu dengan cara menarik garis lurus pada daerah linear yang melewati kadar air awal (M₀) kadar air kesetimbangan pada RH penyimpanan (M_e), dan kadar air kritis (M_c).

Penentuan permeabilitas kemasan (ASTM F1249-01)

Penentuan permeabilitas kemasan *metallized plastic* dilakukan dengan Permatran Mocon W*3/31 pada suhu 100°F (37,8°C). Kemasan dipotong sesuai cetakan, kemudian diukur ketebalannya. Kemasan contoh dikondisikan dahulu selama 24 jam dalam ruangan uji. Kemasan contoh kemudian ditempel pada tempat uji. Nilai ketebalan kemasan, luas kemasan, suhu uji, lamanya uji, laju alir udara, dan kelembaban udara yang

digunakan dimasukkan pada program komputer yang telah disediakan. Gas nitrogen kering dilewatkan pada sebuah *chamber* dimana terdapat contoh uji (plastik) yang memisahkan aliran gas nitrogen kering dari aliran nitrogen basah. Adanya perbedaan tekanan menyebabkan uap air berdifusi menuju daerah dengan tekanan lebih rendah.

Uap air yang berdifusi melalui plastik dibawa oleh gas pembawa (nitrogen kering) menuju sensor inframerah untuk selanjutnya terdeteksi sebagai jumlah uap air yang dilewatkan melalui plastik. Pengujian dianggap selesai bila kondisi kesetimbangan telah tercapai (*steady state*). Kondisi dianggap setimbang bila laju uap air yang terdeteksi sensor infra merah telah menunjukkan nilai yang konstan. Pada akhir pengujian, alat menunjukkan nilai *Water Vapour Transmission Rate* (WVTR, g/m²/hari/mmHg). Nilai permeabilitas kemasan (k/x) dihitung dengan membagi nilai WVTR dengan hasil perkalian tekanan uap air murni (P₀) pada suhu pengujian (37,8°C) dengan nilai RH.

Pengukuran luas kemasan

Luasan kemasan (A) yang diukur adalah luasan total dari kedua muka dari kemasan primer yang digunakan untuk mengemas masing-masing jenis biskuit. Luas kemasan dinyatakan dalam satuan m².

Perhitungan umur simpan biskuit

Umur simpan produk biskuit dihitung dengan memasukkan data-data hasil percobaan ke dalam persamaan (1). Umur simpan ditentukan pada suhu 30°C di tiga nilai RH penyimpanan, yaitu 75%, 80%, dan 85%. Umur simpan dinyatakan dalam satuan bulan dengan asumsi 30 hari per bulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar air awal dan kadar air kritis

Kadar air awal (M₀) biskuit merupakan data yang penting yang perlu diketahui dalam pendugaan umur simpan model kadar air kritis. Kadar air awal biskuit adonan lunak adalah 0,0183 g H₂O/g padatan, sedangkan biskuit adonan keras adalah 0,0249 g H₂O/g padatan. Berdasarkan kadar air tersebut, maka berat padatan per kemasan untuk biskuit adonan lunak adalah 216,00 g sedangkan untuk biskuit adonan keras adalah 122,62 g.

Kadar air kritis juga perlu diketahui sebagai batas penerimaan produk. Kadar air kritis ditentukan berdasarkan atribut sensori yang terpenting dari biskuit, yaitu pada saat hilangnya tekstur renyah. Tabel 2 dan 3 secara berturut-turut menyajikan data perubahan kadar air, nilai kerenyahan biskuit dan skor kesukaan panelis selama periode pengamatan untuk biskuit adonan lunak dan adonan keras.

Data tersebut diplotkan dalam bentuk grafik hubungan antara kadar air (sumbu x) dengan rata-rata skor kesukaan panelis (sumbu y) (Gambar 1). Persamaan yang diperoleh untuk biskuit adonan lunak dan adonan keras masing-masing adalah y=-84,379x+8,406 (R²=0,960) dan y=-71,356x+7,908 (R²=0,975). Berdasarkan persamaan regresi tersebut, diperoleh nilai kadar air kritis untuk biskuit adonan lunak dan adonan

keras berturut-turut adalah 0,064 g H₂O/g padatan dan 0,069 g H₂O/g padatan.

Tabel 2. Perubahan kadar air, nilai kerenyahan, dan skor kesukaan biskuit adonan lunak selama periode pengamatan

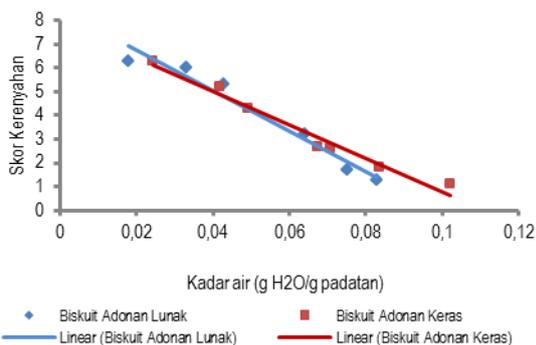
Waktu (jam)	Kadar air (g H ₂ O/g padatan)	Kerenyahan (gf)	Skor Kerenyahan ¹⁾
0	0,018	496,78	6,3
1	0,033	452,88	6,0
2	0,043	333,85	5,3
3	0,064	194,93	3,2
4	0,075	94,73	1,7
5	0,083	75,90	1,3

Rentang skor kerenyahan : (1) Sangat tidak renyah ; (7) sangat renyah

Tabel 3. Perubahan kadar air, nilai kerenyahan, dan skor kesukaan biskuit adonan keras selama periode pengamatan

Waktu (jam)	Kadar air (g H ₂ O/g padatan)	Kerenyahan (gf)	Skor Kerenyahan ¹⁾
0	0,025	698,25	6,3
1	0,042	563,23	5,2
2	0,049	481,55	4,3
3	0,067	338,20	2,7
4	0,071	311,25	2,6
5	0,083	213,20	1,8
6	0,102	161,78	1,1

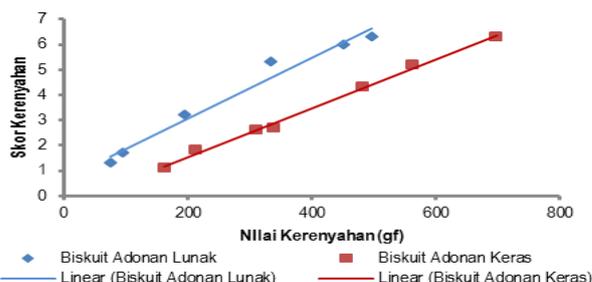
Rentang skor kerenyahan : (1) Sangat tidak renyah ; (7) sangat renyah



Gambar 1. Grafik hubungan kadar air dan skor kesukaan biskuit adonan lunak dan adonan keras

Dari plot hubungan antara skor kesukaan dengan nilai kerenyahan (Gambar 2), diperoleh persamaan regresi linier untuk biskuit adonan lunak $y=0,0119x+0,6880$ ($R^2 = 0,975$) dan biskuit adonan keras $y=0,0097x-0,4121$ ($R^2=0,997$). Semakin tinggi nilai kerenyahan, skor kesukaan panelis terhadap produk biskuit juga semakin meningkat. Nilai kerenyahan pada saat produk ditolak adalah 194,286 gf untuk biskuit adonan lunak dan 351,763 gf untuk biskuit adonan keras.

Nilai kerenyahan pada saat kadar air kritis tercapai di atas selanjutnya digunakan untuk menghitung persentase penurunan kerenyahan (persamaan 3). Persentase penurunan kerenyahan biskuit adonan lunak sampai kadar air kritisnya tercapai adalah 60,89% sedangkan untuk biskuit adonan keras adalah 49,62%. Metode penentuan kadar air kritis yang dilakukan dalam penelitian seperti dijabarkan di atas merupakan metode yang relatif baru. Produk disimpan di ruangan terbuka (suhu kamar dengan RH 75-80%) selama 5-6 jam, diambil contohnya setiap jam, dan diuji tingkat kesukaan terhadap kerenyahannya pada panelis.



Gambar 2. Grafik hubungan nilai kerenyahan dan skor kesukaan biskuit adonan lunak dan adonan keras

Prosedur yang umum dilakukan dalam penentuan kadar air kritis adalah dengan menyimpan produk pada beberapa kondisi RH tertentu selama waktu tertentu dan diujikan tingkat kesukaannya oleh panelis. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini relatif lebih mudah dan murah, karena tidak membutuhkan desikator berisi larutan garam jenuh untuk mengkondisikan produk agar cepat rusak.

Kurva isoterm sorpsi air

Pengukuran kadar air kesetimbangan (M_e) pada berbagai RH garam dilakukan untuk mendapatkan kurva isoterm sorpsi air. Selama penyimpanan, kedua jenis biskuit menunjukkan fenomena kenaikan bobot. Hal ini menunjukkan bahwa biskuit mengalami proses adsorpsi uap air dari lingkungan karena a_w kedua jenis biskuit lebih rendah dari RH lingkungannya.

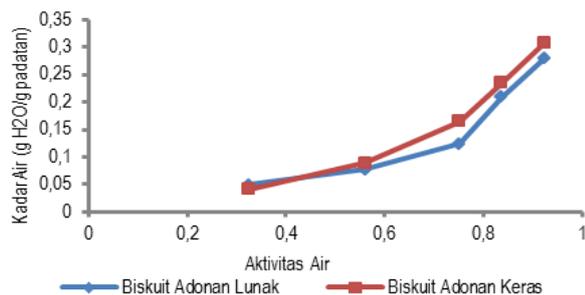
Selama penyimpanan dalam berbagai kondisi RH terjadi interaksi antara produk dengan lingkungannya. Uap air berpindah dari lingkungan ke produk sampai tercapai kondisi kesetimbangan. Perpindahan uap air ini terjadi sebagai akibat perbedaan RH lingkungan dan produk, dimana uap air berpindah dari RH tinggi ke RH rendah. Tercapainya kondisi kesetimbangan antara contoh dan lingkungan ditandai oleh bobot contoh yang konstan. Peningkatan atau penurunan bobot contoh selama penyimpanan menunjukkan fenomena hidratisasi (deMan, 1989).

Kadar air kesetimbangan untuk biskuit adonan lunak tercapai setelah disimpan 6-8 hari, sedangkan biskuit adonan keras mencapai kesetimbangan setelah disimpan 4-8 hari. Semakin tinggi RH penyimpanan, semakin tinggi kadar air kesetimbangan dan semakin lama pula waktu tercapainya kesetimbangan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi RH penyimpanan, maka semakin lama proses difusi uap air berlangsung menuju tercapainya kesetimbangan.

Waktu tercapainya kesetimbangan dan kadar air kesetimbangan biskuit adonan lunak dan adonan keras berbeda karena kondisi contoh berbeda, terutama kadar air awal dan nilai a_w produk. Semakin dekat nilai a_w produk dengan RH lingkungan, semakin singkat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan.

Kadar air kesetimbangan yang diperoleh dari percobaan masing-masing jenis biskuit diplotkan dengan nilai a_w atau RH lingkungannya, sehingga diperoleh kurva isoterm sorpsi air (Gambar 3). Kedua kurva tersebut memiliki bentuk yang hampir sama, yaitu menyerupai huruf S (sigmoid), namun tidak sempurna. Untuk memperoleh kurva yang mulus, maka data

kadar air kesetimbangan pada a_w tertentu dimasukkan ke dalam enam (6) model (Tabel 4 untuk biskuit adonan lunak dan Tabel 5 untuk biskuit adonan keras).



Gambar 3. Kurva isotherm sorpsi air biskuit adonan lunak dan keras

Tabel 4. Persamaan kurva isotherm sorpsi air biskuit adonan lunak beserta nilai % MRD-nya

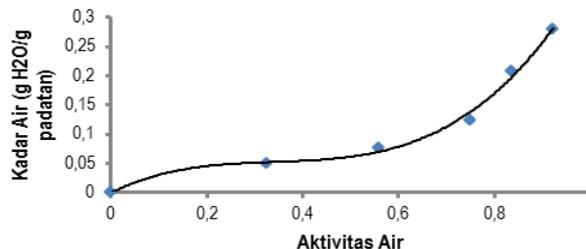
Model	Persamaan	%MRD
Hasley	$\log(\ln(1/a_w)) = -1,8183 - 1,4292 \log Me$	6,31
Chen-Clayton	$\ln(\ln(1/a_w)) = 0,3671 - 10,5043 Me$	18,91
Henderson	$\log(\ln(1/(1 - a_w))) = 0,9903 + 1,0160 \log Me$	11,64
Caurie	$\ln Me = -4,0694 + 2,8997 a_w$	12,60
Oswin	$\ln Me = -2,6356 + 0,5660 \ln(a_w/(1-a_w))$	7,22
GAB	$Me = 0,5744 a_w/(1 - 0,9481a_w)(1 + 13,8569a_w)$	5,87

Tabel 5. Persamaan kurva isotherm sorpsi air biskuit adonan keras beserta nilai % MRD-nya

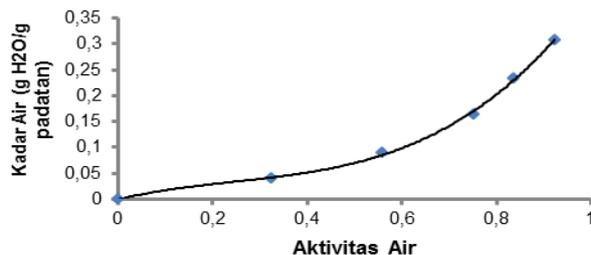
Model	Persamaan	%MRD
Hasley	$\log(\ln(1/a_w)) = -1,5932 - 1,2358 \log Me$	15,8
Chen-Clayton	$\ln(\ln(1/a_w)) = 0,4010 - 9,4825 Me$	10,11
Henderson	$\log(\ln(1/(1 - a_w))) = 0,8551 + 0,9069 \log Me$	3,10
Caurie	$\ln Me = -4,3006 + 3,3738 a_w$	1,9
Oswin	$\ln Me = -2,6175 + 0,6427 \ln(a_w/(1-a_w))$	10,7
GAB	$Me = 0,1023 a_w/(1 - 0,8441a_w)(1 + 0,3655a_w)$	2,19

Berdasarkan nilai MRD yang terendah, maka model GAB memberikan kurva isotherm sorpsi air yang paling baik untuk biskuit adonan lunak, dan model Caurie untuk biskuit adonan keras, Model kurva isotherm sorpsi air untuk masing-masing biskuit adonan lunak dan adonan keras dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5. Kedua model persamaan yang dipilih tersebut dapat digunakan untuk menentukan nilai a_w pada saat kadar air kritis tercapai. Untuk biskuit adonan lunak, nilai a_w pada saat kadar air kritis tercapai (0,0641 g H₂O/g padatan) adalah 0,464, sedangkan untuk biskuit adonan keras pada kadar air kritis (0,0688 g H₂O/g padatan) adalah 0,474.

Nilai kemiringan kurva isotherm sorpsi air ditentukan pada daerah linear dari kurva isotherm sorpsi air (Arpah, 2001). Menurut Labuza (1982), daerah linear untuk menentukan kemiringan (*slope*) kurva sorpsi isothermis diambil pada daerah yang melewati M_0 (kadar air awal) pada model kurva isotherm sorpsi air. Berdasarkan grafik kurva isotherm sorpsi air (Gambar 4 dan 5), maka nilai kemiringan kurva isotherm sorpsi air (*b*) untuk biskuit adonan lunak adalah 0,1180, sedangkan untuk biskuit adonan keras adalah 0,2185.



Gambar 4. Kurva isotherm sorpsi air biskuit adonan lunak model GAB



Gambar 5. Kurva isotherm sorpsi air biskuit adonan keras model Caurie

Kadar air kesetimbangan

Dengan model persamaan yang dipilih, yaitu model GAB untuk biskuit adonan lunak (Tabel 4) dan model Caurie untuk biskuit adonan keras (Tabel 5), maka dapat ditentukan kadar air kesetimbangan (Me) pada RH penyimpanan (75-85%). Data kadar air kesetimbangan pada beberapa RH penyimpanan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Kadar air kesetimbangan pada berbagai nilai RH penyimpanan yang dihitung berdasarkan model persamaan kurva isotherm sorpsi air yang yang terpilih

Contoh	Kadar air kesetimbangan (Me) [*]		
	RH 75%	RH 80%	RH 85%
Biskuit adonan lunak	0,1309	0,1574	0,1968
Biskuit adonan keras	0,1641	0,1950	0,2348

^{*}Dinyatakan sebagai g H₂O/g padatan

Permeabilitas uap air dan Luasan kemasan

Permeabilitas uap air kemasan (k/x) adalah kecepatan atau laju transmisi uap air melalui suatu unit luasan bahan yang permukaannya rata dengan ketebalan tertentu sebagai akibat perbedaan unit tekanan uap air antara permukaan produk pada kondisi suhu dan RH tertentu. Semakin tinggi suhu, maka pori-pori plastik akan semakin membesar sehingga permeabilitas plastik meningkat (Syarif et al, 1989). Oleh karena itu penentuan permeabilitas uap air kemasan harus dilakukan dengan suhu yang konstan untuk menghindari peningkatan ukuran pori-pori plastik.

Nilai WVTR dan hasil perhitungan permeabilitas uap air untuk masing-masing jenis kemasan dapat dilihat pada Tabel 7. Walaupun kedua kemasan adalah jenis *metallized plastics*, namun kemasan untuk biskuit adonan keras memiliki permeabilitas yang lebih besar, artinya relatif mudah dilewati oleh uap air dibandingkan kemasan untuk biskuit adonan lunak.

Tabel 7. Permeabilitas uap air dari kemasan primer biskuit

Jenis Biskuit	Kemasan	Permeabilitas kemasan (g H ₂ O/ m ² .hari. mmHg ²)
Biskuit adonan lunak	<i>Metallized plastic</i>	0,0136
Biskuit adonan keras	<i>Metallized plastic</i>	0,0180

Penentuan Umur Simpan

Umur simpan biskuit ditentukan pada tiga kondisi RH, yaitu 75%, 80%, dan 85%. Untuk kedua model kadar air kritis. Secara ringkas, parameter-parameter yang digunakan untuk perhitungan dalam model kadar air kritis seperti dijelaskan di atas ditampilkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Data-data untuk perhitungan umur simpan model kadar air kritis

Parameter	Biskuit adonan lunak	Biskuit adonan keras
Kadar air awal (M ₀ , g H ₂ O/ g padatan)	0,0183	0,0249
Kadar air kritis (M _c , g H ₂ O/ g padatan)	0,0641	0,0688
Kemiringan kurva isotherm sorpsi air (b)	0,1180	0,2185
Berat padatan (W _s , g)	216,00	122,62
Luas kemasan (A, m ²)	0,0588	0,0359
Tekanan uap air murni pada 30°C (P ₀ , mmHg)	31,820	31,820

Pendugaan umur simpan biskuit adonan lunak dan adonan keras dilakukan dengan cara memasukan data-data pada Tabel 8 ke dalam persamaan (1). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 9. Umur simpan biskuit adonan lunak dengan kemasan *metallized plastic* dibandingkan dengan tanggal kadaluarsa yang tercantum pada label produk memberikan hasil yang mendekati, yaitu 17,4 bulan pada RH 75%.

Tabel 9. Umur simpan biskuit adonan lunak dan adonan keras dalam kemasan *metallized plastic* pada berbagai kondisi kelembaban relatif ruang penyimpanan

Kelembaban Relatif (%)	Umur simpan			
	Biskuit Adonan Lunak		Biskuit Adonan Keras	
	Hari	Bulan	Hari	Bulan
75	522	17,4	494	16,5
80	399	13,3	389	13,0
85	296	9,9	306	10,2

Biskuit adonan keras pun mendekati umur simpan yang tercantum pada label, yaitu 16,5 bulan pada RH 75%. Berdasarkan informasi pada label kemasan, umur simpan biskuit adonan lunak dan adonan keras secara berturut-turut adalah 15 bulan dan 18 bulan pada kondisi penyimpanan kelembaban relatif di Indonesia (±75%).

Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode penentuan umur simpan kedua biskuit yang digunakan dalam penelitian ini relatif mendekati nilai umur simpan berdasarkan klaim dari produsen. Prediksi umur simpan yang diperoleh dari penelitian lebih panjang dibandingkan yang dilaporkan oleh Berenzon dan Saguy (1998) untuk biskuit yang dikemas dalam kaleng, namun penentuan umur simpannya dilakukan dengan menggunakan pendekatan model Arrhenius, yaitu hanya mencapai 24 minggu

pada suhu 25°C berdasarkan parameter ketengikan. Hal ini menunjukkan bahwa potensi kerusakan biskuit yang disebabkan oleh reaksi ketengikan harus juga mendapatkan pertimbangan dalam menentukan umur simpan produk.

KESIMPULAN DAN SARAN

Awal kerusakan biskuit yang ditandai dengan mulai tidak diterimanya kerenyahan oleh konsumen tercapai pada kadar air kritis 0,064 g H₂O/g padatan untuk biskuit adonan lunak dan 0,069 g H₂O/g padatan untuk biskuit adonan keras. Berdasarkan pendekatan kadar air kritis, maka diketahui bahwa umur simpan produk biskuit yang dikemas dengan menggunakan *metallized plastic* dan disimpan pada kelembaban relatif 75% pada suhu penyimpanan 30°C adalah 17,4 bulan untuk biskuit adonan lunak dan 16,5 bulan untuk biskuit adonan keras.

DAFTAR PUSTAKA

Adawiyah DR. 2006. Hubungan Sorpsi Air, Suhu Transisi Gelas, dan Mobilitas Air serta Pengaruhnya Terhadap Stabilitas Produk pada Model Pangan. Disertasi. Sekolah Pasca Sarjana IPB, Bogor.

AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.

Arpah M. 2001. Buku dan Monograf Penentuan Kadaluarsa Produk Pangan. Program Pasca Sarjana IPB, Bogor.

Bell LN, Labuza TP. 2000. Moisture Sorption Practical Aspects of Isotherm Measurement and Use. 2nd ed. The American Association of Cereal Chemists, Inc.

deMan J. 1989. Principles of Food Chemistry. Wadsworth, Inc., Belmont.

Kusnandar F. 2006. Disain Percobaan dalam Penetapan Umur Simpan Produk Pangan dengan Metode ASLT (Model Arrhenius dan Kadar Air Kritis). Modul Pelatihan: Pendugaan dan Pengendalian Umur Simpan Bahan dan Produk Pangan. 7-8 Agustus 2006, Bogor.

Labuza TP. 1982. Shelf Life Dating of Foods. Food and Nutrition Press., Inc., Westport, Connecticut.

Berenzon S, Saguy S. 1998. Oxygen Absorbers for Extension of Crackers Shelf-life. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, Vol. 31(1): 1-5.

Spieß WEL, Wolf W. 1987. Critical Evaluation of Methods to Determine Moisture Sorption Isotherm. dalam Water Activity: Theory and Application to Food. Marcell Dekker, Inc., New York.

Syarief R, Santausa S, Isyana B. 1989. Buku dan Monograf Teknologi Pengemasan Pangan. PAU Pangan dan Gizi IPB, Bogor.

Vail GE, Philips JA, Rust LO, Griswold RM, Justin M. 1978. Foods. 7th ed. Houghton Mifflin Company, Boston.