

# MODEL PERUBAHAN KADAR AIR EMPING SELAMA DALAM KEMASAN PLASTIK POLIPROPELIN

Oleh:

B. Rahardjo<sup>1)</sup>, P. Setyowati<sup>1)</sup> dan T. Wibowo<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Staf pengajar Fakultas Teknologi Pertanian UGM

<sup>2)</sup> Alumni Fakultas Teknologi Pertanian UGM

## ABSTRACT

The objective of this study was to develop a mathematical model for predicting the moisture content of food chips during packaged by permeable plastic film. The mathematical model developed was based on water vapor migration through permeable film, equilibrium moisture content and mass balances. Samples for the experiment were fried chips made from roasted, pounded flat and dried *Gnetum gnemon* seeds (*emping*) found around the city of Yogyakarta. The fried emping chips were packaged using polypropelin plastics. The packages of the fried chips were than stored in glass bottles. The relative humidities of the storage atmosphere inside the bottles were adjusted using salts such that their ranges were between 10% to 90%. The moisture content of the fried emping chips were observed for about twenty (20) days until they reach their equilibrium moisture contents. The results indicate that the model can be used quite well to predict the moisture content of fried chips during packaged in plastic film. However, for dried chip packages stored on atmospheric relative humidity higher than 70% the rate of the moisture content change tends to increase. The range of food moisture content stored under higher atmospheric relative humidity was wider than that stored on atmosphere with lower relative humidity. This wider range of moisture content change makes the model can not predict adequately the equilibrium moisture content by using a single moisture-humidity linear relationship. Estimation of the chip moisture content during storage using two linear relationships was better than that using a single linear relationship.

**Kata kunci:** Food packaging, package permeability, water vapor permeability, equilibrium moisture content.

## PENDAHULUAN

Persoalan yang sering terjadi dalam penyimpanan bahan makanan kering seperti halnya kerupuk, rempeyek, emping dan sebagainya adalah masalah penyerapan uap air sehingga menyebabkan bahan makanan tersebut melempem dan dinilai kurang nikmat untuk dikunyah. Bahan makanan kering sebagai bahan higroskopis cenderung untuk menyerap uap air dari udara sekitarnya. Penyerapan uap air yang mengakibatkan kenaikan kadar air pada bahan makanan kering dapat menyebabkan makanan tersebut dinilai tidak memenuhi selera, menurunkan kerenyahan dan mendorong pertumbuhan jamur. Untuk mencegah terjadi penyerapan tersebut maka selalu diusahakan untuk menyimpan dalam ruangan dengan kelembaban udara yang rendah. Oleh karena itu produk makanan kering yang mempunyai umur konsumsi relatif pendek memerlukan kemasan yang tepat untuk menghindari kerusakan produk akibat penyerapan uap air.

Kegunaan utama pengemasan adalah memberi perlindungan pada makanan sejak dikemas dari tingkat produsen hingga sampai ke konsumen dalam keadaan baik dan layak untuk dikonsumsi. Disamping itu kemasan juga mempunyai beberapa fungsi antara lain sebagai sarana untuk pemasaran yang mampu meningkatkan nilai tambah produk dan sebagai sarana penempatan informasi tentang produk yang dikemas. Integritas makanan dalam kemasan ditentukan oleh kemampuan kemasan untuk menahan kerusakan selama penanganan, distribusi dan penyimpanan sampai bahan dikonsumsi (Suyitno, 1993). Kemasan diharapkan mampu melindungi bahan makanan dan menjaga supaya lembab dan oksigen dalam kemasan pada tingkat sesuai dengan kebutuhan yang aman bagi produk terkemas sendiri (Hayakawa et al., 1975; Gilbert, 1976; Smith et al., 1983).

Pemakaian bahan plastik lembaran (*plastic film*) untuk bahan pengemas yang sifatnya khusus sangat tergantung pada kebutuhan bahan yang dikemas akan kondisi mikro dimana produk tersebut harus mempertahankan sifat baiknya. Hal terpenting dalam analisis kemasan adalah menentukan sifat dan identifikasi plastik yang tepat yang akan dicocokkan dengan sifat yang diinginkan oleh produk yang dikemas (Brown, 1992; Suparmo, 1993).

Bahan lembaran plastik sebagai bahan kemasan tidaklah sepenuhnya kedap uap air dan gas tertentu. Bagaimanapun uap air dan bahan folatil lainnya masih dapat merembes menembus lembaran film sehingga tetap terjadi perpindahan massa keluar dari atau masuk ke ruang isi kemasan. Khususnya untuk uap air bagaimanapun rapat suatu kemasan, kelembaban masih dapat lolos melalui lembaran kemasan. Setiap jenis plastik pengemas mempunyai nilai permeabilitas yang berbeda dan besarnya dipengaruhi oleh jenis plastik, ketebalan plastik, temperatur dan beberapa parameter lainnya (Labuza et al., 1972; Gilbert, 1976; Hayakawa et al., 1976).

Informasi tentang metoda pemerkiraan perubahan kadar air maupun gas dalam kemasan masih terbatas. Beberapa studi telah dilakukan untuk dapat memperkirakan perubahan kandungan gas dan uap air dalam kemasan. Gilbert (1976) mempelajari pelolosan gas folatil makanan dari kemasan. Model yang digunakan berdasarkan teori sorpsi-desorpsi dan berdasarkan persamaan Gibbs untuk kesetimbangan massa dalam fase cair dan fase gas, dan kemudian dikombinasikan dengan permeabilitas gas lewat lembar plastik. Hayakawa et al. (1976) mengembangkan formula untuk menghitung perubahan gas hasil pertanian segar dalam kemasan polimerik. Model yang mereka kembangkan berdasarkan analisis kesetimbangan massa dan kemudian dengan simulasi

digunakan untuk memprediksi perubahan gas dalam kemasan. Mizrahi dan Karel (1977) mengembangkan model penyerapan uap air produk makanan dalam kemasan. Model yang mereka kembangkan berdasarkan model eksponensial sorpsi uap air oleh produk pertanian. Beberapa penelitian melaporkan perubahan kadar air produk dalam kemasan, namun publikasi lebih lanjut tentang perubahan kadar air makanan kering dalam kemasan masih terbatas (Brown, 1992; Smith et al., 1983).

Berdasarkan itu maka penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model matematik yang dapat digunakan untuk menghitung perubahan kadar air baham makanan kering dalam kemasan. Dari model ini bila diketahui batasan kadar air yang layak untuk di konsumsi maka umur simpan produk dapat diperkirakan sesuai dengan batasan tersebut.

## METODOLOGI

**Teori.** Gaya dorong (*driving force*) yang menyebabkan terjadinya laju pelolosan massa uap air melalui membran atau lembaran film kemasan berupa perbedaan antara tekanan parsial uap air  $p_i$  atmosfer bebas diluar kemasan dengan tekanan parsial uap air  $p_d$  atmosfer dalam kemasan. Dengan demikian maka laju pelolosan massa ini dapat dikemukakan dengan persamaan analogi dengan hukum Ficks pertama sebagai berikut (Labuza dkk. 1972; Brown, 1992; Rahardjo 1993; Wibowo, 1997):

$$N_{ua} = \frac{dm_{ua}}{dt} = A p_m \frac{(p_i - p_d)}{\delta} \quad (1)$$

Nisbah tekanan parsial uap air  $p$  terhadap tekanan uap jenuh merupakan kelembaban nisbi  $H$  udara atau dikemukakan sebagai berikut:

$$H = \frac{p_{ua}}{p_j} \quad (2)$$

Dengan demikian gaya dorong dalam pelolosan massa uap air melalui membran atau lembaran film dapat dikemukakan sebagai perbedaan kelembaban nisbi  $H$  atmosfer sehingga persamaan (1) menjadi:

$$N_{ua} = \frac{dm_{ua}}{dt} = A p_m p_j \frac{(H_i - H_d)}{\delta} \quad (3)$$

Massa total air  $m_t$  dalam kemasan terdiri massa air  $m_u$  yang terdapat di udara atmosfer dalam kemasan dan massa air  $m_a$  yang terdapat dalam bahan terkemas atau:

$$m_t = m_a + m_u \quad (4)$$

Massa air  $m_u$  yang terkandung dalam udara dapat dikemukakan dengan persamaan gas ideal sebagai persamaan berikut:

$$\begin{aligned} m_u &= \frac{BV}{RT} p \\ &= \frac{18 V}{RT} p \\ &= \frac{18 V p_j}{RT} H_d \end{aligned} \quad (5)$$

Massa air  $m_a$  yang terdapat dalam bahan merupakan kandungan air dalam bahan. Kandungan air ini akan sebanding dengan kadar air  $M$  dan berat kering bahan  $D$  yang dapat dikemukakan sebagai berikut:

$$m_a = M D \quad (6)$$

Kadar air  $M$  bahan dalam kemasan merupakan peubah yang gayut dengan waktu dan mengalami perubahan dari waktu ke waktu sampai terjadi kesetimbangan dengan kelembaban udara luar  $H_i$ . Kelembaban udara  $H_d$  dalam kemasan akan sesuai dengan kelembaban setimbang dengan kadar air bahan yang ada dalam kemasan. Beberapa model telah dikembangkan untuk menggambarkan kurva garis kesetimbangan antara kadar air bahan  $M$  dengan kelembaban nisbi udara  $H$  (Labuza, 1981, 1982). Garis kesetimbangan tersebut umumnya merupakan garis tidak linier. Untuk kisaran kadar air yang cukup sempit hubungan antara kelembaban nisbi setimbang dengan kadar air setimbang dapat di linierkan dengan bentuk sebagai berikut:

$$M = a + b H_d \quad (7)$$

Dengan menggabungkan persamaan (5) dan (7) maka jumlah massa air yang terdapat dalam kemasan akan berupa:

$$m_t = aD + (bD + \frac{18 V p_j}{RT}) H_d \quad (8)$$

Laju perubahan massa air dalam kemasan merupakan diferensial persamaan (8) diatas terhadap waktu  $t$  atau sebagai berikut:

$$\frac{dm_t}{dt} = (bD + \frac{18 V p_j}{RT}) \frac{dH_d}{dt} \quad (9)$$

Berdasarkan neraca massa maka laju perubahan jumlah massa air dalam kemasan akan sama dengan laju massa air yang diloloskan lewat membran seperti dikemukakan dengan persamaan (1) dan (3). Gabungan persamaan (3) dengan persamaan (8) menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{dH_d}{dt} = \frac{A p_m p_j}{(bD + \frac{18 V p_j}{RT}) \delta} (H_i - H_d) \quad (10)$$

Dalam kebanyakan kasus pengemasan massa air yang terkandung di udara dalam pengemas ( $18V_{p_j}/RT$ ) jauh lebih kecil dibandingkan dengan massa air yang terdapat dalam bahan bD sehingga persamaan diatas dapat disederhanakan sebagai berikut:

$$\frac{dH_d}{dt} = \frac{A p_m p_j}{bD\delta} (H_l - H_d) \quad (11)$$

Dengan pengaturan kembali pada persamaan (11) didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{dH_d}{H_l - H_d} = \frac{A p_m p_j}{bD\delta} dt \quad (12)$$

Integral penyelesaian persamaan (12) berupa persamaan berikut:

$$\frac{H_l - H_d(t)}{H_l - H_0} = \exp\left(-\frac{A p_m p_j}{bD\delta} t\right) \quad (13)$$

Berdasarkan persamaan (7) kelembaban nisbi H di udara dapat dikemukakan berdasarkan kadar air M sebagai berikut:

$$H = \frac{l}{b} M - \frac{a}{b} \quad (14)$$

Dengan anggapan bahwa perubahan kadar air M berlangsung linier terhadap kelembaban nisbi udara H maka dengan demikian nisbah kelembaban nisbi udara pada persamaan (13) dapat dikemukakan dengan nisbah kadar air. Persamaan tersebut menjadi sebagai persamaan berikut:

$$\frac{M_e - M(t)}{M_e - M_0} = \exp\left(-\frac{A p_m p_j}{bD\delta} t\right) \quad (15)$$

Kadar air setimbang  $M_e$  merupakan kadar air setimbang dengan kelembaban udara luar  $H_l$  atau merupakan kadar air yang tercapai dengan kelembaban udara luar pengemas. Perubahan kadar air tersebut dapat dianalogikan dengan laju perubahan kadar air produk pertanian selama dalam pengeringan. Persamaan empiris perubahan kadar air selama pengeringan dikemukakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{M(t) - M_e}{M_0 - M_e} = e^{-kt} \quad (16)$$

Konstan laju pengeringan k dapat dikaitkan dengan parameter kemasan pada persamaan (15).

**Sampel.** Sampel yang digunakan berupa emping mlinjo goreng. Bahan emping mlinjo didapatkan dari desa Kaligesing daerah Purworejo yang merupakan hasil industri rumah tangga. Emping digoreng selama kurang lebih 10 detik kemudian minyaknya ditiriskan sampai atus.

**Pengatur kelembaban udara.** Kelembaban udara diatur dengan larutan garam jenuh. Garam yang digunakan berupa

garam  $MgNO_3$ ,  $NaCl$ ,  $KNO_3$ ,  $MgCl$  dan  $LiCl$ . Larutan garam jenuh tersebut pada suhu kamar ( $28^\circ C$ ) dapat memberikan kelembaban setimbang masing masing sebesar 11,3%, 32,4%, 51,4%, 75,1% dan 92,3% (Gustafson dalam Wibowo, 1997).

**Bahan pengemas.** Pengemasan sampel dilakukan dengan menggunakan model pengemas berupa panci mangkok *stainless steel* yang terbuka bagian atasnya. Mulut mangkok terukur mempunyai luas sekitar  $27,6 \text{ cm}^2$ . Bagian mulut ditutup dengan bahan lembaran plastik polipropelin berketebalan 0,004 cm. Lembaran plastik pengemas ini didapatkan dari pasar di sekitar kota Yogyakarta. Dengan model pengemasan ini maka dinding mangkok merupakan bahan kedap uap air sehingga pelolosan massa air hanya berlangsung melalui mulut mangkok. Berdasarkan pengukuran laju penguapan air murni, bahan penutup atau pengemas lembaran plastik polipropelin mempunyai permeabilitas uap air sebesar  $3,36 \cdot 10^{-12} \text{ kg/s m kPa}$  ( $0,0039 \text{ g cm/hari m}^2 \text{ mmHg}$ ). Lembaran plastik polipropelin dengan permeabilitas yang relatif tinggi tersebut dipilih agar terjadi perubahan kadar air yang cepat dan dapat mencapai kadar air yang tinggi dalam waktu singkat sehingga dapat mempersingkat tenggang penelitian.

**Prosedur penelitian.** Emping dengan berat awal terukur dimasukkan kedalam model kemasan dan ditutup dengan bahan plastik polipropelin. Mangkok model kemasan disimpan dalam botol gelas yang kelembabannya diatur dengan larutan garam jenuh. Sampel disimpan selama sekitar 20 hari. Setiap 2 hari bahan sampel ditimbang dan dihitung kadar airnya.

**Kadar air setimbang.** Kadar air setimbang dicari dengan berdasarkan laju perubahan kadar air bahan pertanian selama dalam penyimpanan. Berdasarkan persamaan (17) laju penurunan kadar air dapat dikemukakan sebagai berikut:

$$\frac{dM(t)}{dt} = kM(t) - kM_e \quad (17)$$

Dari kelerengan dan titik potong hasil regresi dengan persamaan diatas maka dapat ditentukan harga kadar air setimbang  $M_e$  pada kelembaban udara yang terdapat dalam kemasan.

**Analisis data.** Perubahan kadar air sampel selama dalam penyimpanan dikemukakan dengan persamaan (15). Sedangkan kadar air setimbang ditentukan berdasarkan persamaan (17). Nisbah beda kadar air diliniierkan dengan operasi logaritma. Konstan laju perubahan kadar air dan harga kadar air setimbang dicari dengan menggunakan program regresi linier (SPSS, QPro).

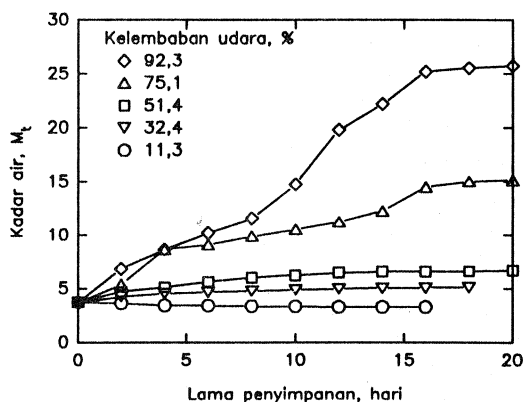
## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kadar air emping yang digunakan sebagai sampel selama dalam penyimpanan dengan kemasan lembaran plastik polipropelin mengalami perubahan. Laju perubahan kadar air emping ditentukan oleh kelembaban nisbi udara diluar pengemas. Selama penelitian dilaksanakan tercatat suhu kamar sekitar  $28^\circ C$  dan tekanan uap jenuh terdapat sekitar

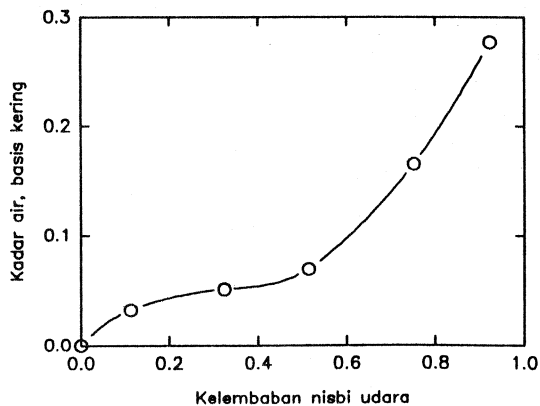
3,82 kPa (28,62 mmHg) serta rata rata kadar awal emping sebesar 3,71% (Tabel 1). Hasil pengamatan perubahan kadar air emping selama dalam penyimpanan disajikan pada Gambar 1. Laju kenaikan kadar air emping makin tinggi dengan semakin tinggi kelembaban nisbi udara penyimpan diluar kemasan. Dengan menggunakan persamaan (17) dihasilkan kadar air setimbang dengan masing masing kelembaban udara yang digunakan untuk pengamatan. Hubungan kadar air setimbang emping (basis kering) dengan kelembaban nisbi udara diperlihatkan pada Gambar 2.

Tabel 1. Kondisi awal pengemasan dan lingkungan atmosfer di luar kemasan.

{PRIVATE } Uraian	Kuantitas
Luas permukaan permeabel kemasan/mulut mangkok	0,00276 m <sup>2</sup>
Tebal plastik lembaran	0,00004 m
Suhu kamar	28°C
Tekanan parsial uap air jenuh	3,82 kPa
Kadar air awal emping rata rata	3,71% basis kering

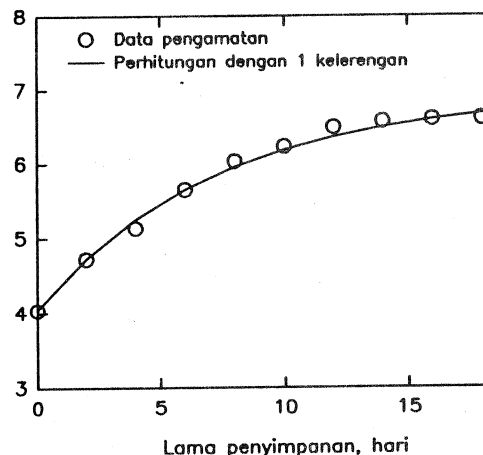


Gambar 1. Perubahan kadar air emping (basis kering) selama dalam penyimpanan dengan beberapa kondisi kelembaban udara di luar kemasan.



Gambar 2. Kurva kadar air setimbang emping mlinjo goreng dengan kelembaban udara penyimpan pada suhu kamar (28°C).

Dari kurva kesetimbangan kadar air tersebut nampak bahwa terdapat kecenderungan hubungan tersebut digambarkan dengan dua garis lurus dengan titik perubahan pada kadar air setimbang sekitar 10-12% basis kering. Dengan menggunakan kadar air rata rata dan kadar air setimbang pada masing masing kelembaban nisbi udara maka perubahan kadar air emping dapat disajikan sebagai nisbah beda kadar air  $[M(t) - M_e]/[M_o - M_e]$ . Perubahan nisbah beda kadar air sampel emping selama dalam penyimpanan disajikan pada Gambar 3. Dengan menggunakan skala semi logaritma perubahan nisbah kadar air tersebut akan berupa hubungan nisbah kadar air dengan waktu sebagai garis lurus.

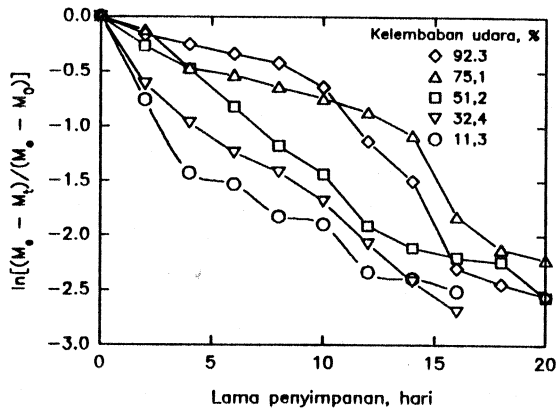


Gambar 3. Kadar air emping pada penyimpanan dengan kelembaban udara 50% dihitung berdasarkan hasil analisis perubahan kadar air emping dengan menggunakan satu kelereng hubungan kadar air dengan kelembaban udara.

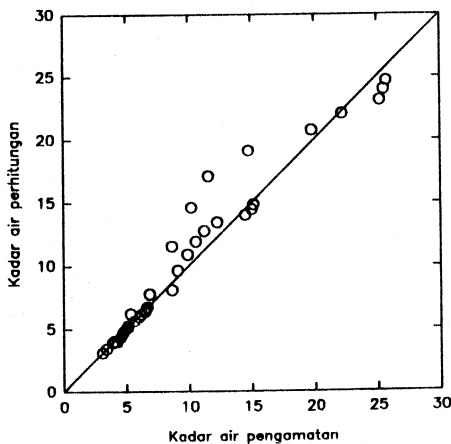
Permeabilitas  $p_m$  uap air melalui lembar plastik polipropelin dapat dihitung berdasarkan kelereng perubahan nisbah beda kadar air. Tabel 2 menyajikan permeabilitas uap air dihitung berdasarkan perubahan kadar emping selama penyimpanan tersebut. Rata rata permeabilitas uap air dari pengukuran laju perubahan kadar air sampel ini tidak berbeda dengan hasil pengukuran yang menggunakan laju penguapan air murni. Dengan menggunakan permeabilitas uap air tersebut dan rata rata kelereng hubungan kadar air setimbang dengan kelembaban udara maka dapat dihitung perubahan kadar air sampel selama dalam penyimpanan (persamaan 15). Hasil hitung kadar air emping selama dalam penyimpanan tidak berbeda dengan kadar air hasil pengamatan. Gambar 4 memperlihatkan perubahan kadar air emping hasil pengamatan dan hasil perhitungan tersebut. Sedangkan Gambar 5 memperlihatkan plot acak kadar air hasil pengamatan dan kadar air hasil perhitungan.

Tabel 2. Hasil perhitungan permeabilitas uap air pada lembaran plastik berdasarkan perubahan kadar air emping dan berdasarkan laju penguapan air murni.

{PRIVATE } {PRIVATE } Metoda Pengukuran	Permeabilitas kg/s m kPa (g cm/h m <sup>2</sup> mmHg)
Perubahan kadar air sampel pada kelembaban udara 11.3%	2,95 10 <sup>-12</sup> (0,0034)
Perubahan kadar air sampel pada kelembaban udara 32.4%	3,31 10 <sup>-12</sup> (0,0038)
Perubahan kadar air sampel pada kelembaban udara 51.4%	3,05 10 <sup>-12</sup> (0,0035)
Perubahan kadar air sampel pada kelembaban udara 75.1%	3,60 10 <sup>-12</sup> (0,0042)
Perubahan kadar air sampel pada kelembaban udara 92.3%	3,93 10 <sup>-12</sup> (0,0045)
Rata rata berdasarkan perubahan kadar air emping	3,37 10 <sup>-12</sup> (0,0039)
Laju penguapan air murni dari kemasan	3,36 10 <sup>-12</sup> (0,0039)



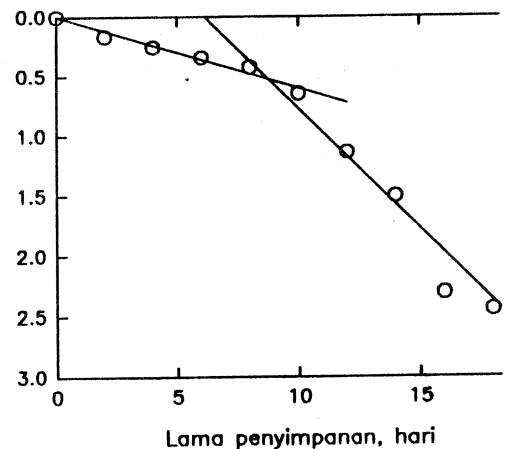
Gambar 4. Perubahan nisbah beda kadar air emping goreng selama dalam penyimpanan dalam beberapa kondisi kelembaban udara di luar kemasan dalam skala semi logaritma.



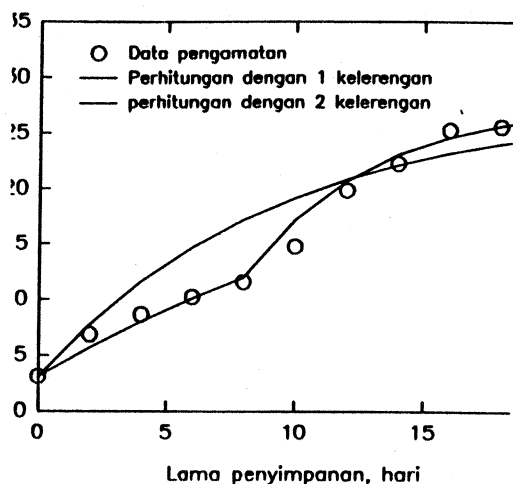
Gambar 5. Plot acak kadar air emping hasil pengamatan dan kadar air hasil perhitungan.

Untuk kadar air dengan penyimpanan dengan kelembaban dibawah 70% umumnya dapat dipredikasi dengan baik. Pada peyimpanan dengan kelembaban nisbi udara tersebut kadar emping dalam kemasan paling tinggi mencapai 12% basis kering. Dilihat pada kurva kesetimbangan kadar air dengan kelembaban udara, kisaran kadar air tersebut masih dapat diwakili oleh satu garis lurus. Sehingga karenanya nisbah beda kadar air masih mempunyai satu keterenggan garis lurus. Untuk perubahan kadar air pada penyimpanan dengan kelembaban 90% ada kecenderungan pertambahan laju perubahan kadar air setelah emping mencapai kadar air diatas 10-12%. Berdasarkan kurva kesetimbangan kadar air dengan kelembaban udara nampak bahwa dengan kadar air diatas 12% sudah terjadi perubahan keterenggan. Demikian juga penyajian nisbah beda kadar air dalam skala semi logaritma cenderung tidak merupakan garis lurus tetapi cenderung bertambah curam setelah melewati kadar air diatas sekitar 12% (Gambar 6).

Perubahan keterenggan laju perubahan kadar air agaknya berkaitan dengan perubahan keterenggan pada hubungan kadar air setimbang dengan kelembaban nisbi udara (Gambar 2). Dengan menggunakan model penguapan air yang lebih sederhana seperti ditunjukkan dengan persamaan (16) maka untuk perubahan kadar air emping dengan penyimpanan pada kelembaban 90% maka terdapat dua keterenggan (Gambar 6). Perkiraan kadar air emping selama dalam penyimpanan dengan menggunakan kedua keterenggan tersebut lebih baik dibandingkan dengan perkiraan yang hanya menggunakan satu keterenggan (Gambar 7). Walaupun model yang dikembangkan dapat memprediksi dengan cukup baik untuk kisaran kadar air emping yang sempit, namun untuk perubahan kadar air yang cukup besar diperlukan model yang lebih dinamis agar dapat memperkirakan lebih baik perubahan kadar air bahan dalam kemasan selama penyimpanan terutama.



Gambar 6. Perubahan nisbah beda kadar air emping goreng selama dalam penyimpanan dengan kelembaban udara luar sebesar 92,3% terjadi perubahan laju penyerapan pada kadar air sekitar 8-12%.



Gambar 7. Kadar air emping selama penyimpanan dari hasil pengamatan, perhitungan dengan satu kelerengan dan perhitungan dengan dua kelerengan hubungan kadar air dengan kelembaban udara.

## KESIMPULAN

Model matematika yang dikembangkan dapat digunakan untuk menduga perubahan kadar air produk dalam kemasan selama penyimpanan. Bagi produk yang disimpan dengan kelembaban nisbi dibawah 70% perubahan kadar air mencapai sekitar 12%. Dengan perubahan kadar air masih dibawah sekitar 12% model dapat menduga kadar air dengan sangat baik. Untuk penyimpanan dengan kelembaban nisbi udara diatas 70% perubahan kadar air dapat mencapai diatas 12%. Dengan perubahan kadar air yang lebar terdapat kecenderungan terjadi kenaikan laju perubahan kadar air. Akibat kisaran kadar air yang tinggi maka hubungan kadar air setimbang dengan kelembaban nisbi udara kurang tepat digunakan satu hubungan linier. Perhitungan kadar air emping goreng dalam kemasan dengan menggunakan dua macam kelerengan dapat menduga kadar air emping lebih baik dari pada perhitungan dengan hanya menggunakan satu kelerengan. Perlu dikembangkan model matematika lebih lanjut yang lebih dinamis dan dapat mengikuti kurva kesetimbangan kadar air untuk menduga perubahan kadar air produk dalam kemasan.

## Daftar simbol

- A : luas permukaan,  $m^2$   
a : bilangan konstan  
b : bilangan konstan  
D : berat kering sampel, kg  
H : kelembaban nisbi, % atau desimal  
M : kadar air bahan, % atau desimal basis kering  
m : massa, g atau kg  
p : tekanan parsial uap air, kPa (mmHg)  
 $p_m$  : permeabilitas lembaran plastik atau membran,  $kg/s \ m$   
kPa : atau  $g \ cm/hari \ m^2 \ mmHg$   
t : lama atau tenggang, hari (h) atau sekon (s)  
d : tebal membran atau lembar film pengemas, m

## Huruf bawah

- d : atmosfir dalam kemasan  
j : uap air jenuh  
l : atmosfir luar kemasan  
u : uap air

## PUSTAKA ACUAN

- Brown, William E. 1992. *Plastics in Food Packaging. Properties, Design, and Fabrication.* Marcel Dekker, Inc. New York.
- Gilbert, S. G. 1976. Migration of minor constituents from food packaging materials. *J. of Food Sci.* 41:955-958.
- Hayakawa, K., Y. S. Henig, dan S. G. Gilbert. 1975. Formulae for predicting gas exchange of fresh produce in polymeric film packaging. *J. of Food Sci.* 40:186-191.
- Labuza, T. P. 1981. Prediction of moisture protection requirements for foods. *Cereal Foods World* 26(7):335-343.
- Labuza, T. P. 1982. Moisture gain and loss in packaged foods. *Food Technol.* 34(4):51-63,67.
- Labuza, T. P., Mizrahi, S. dan Karel, M. 1972. Mathematical models for optimization of flexible film packaging of foods for storage. *Trans. of ASAE.* 15(1):150-155.
- Mizrahi, S. dan M. Karel. 1977. Accelerated stability tests of moisture sensitive products in permeable packages at high rates of moisture gain and elevated temperatures. *J. of Food Sci.* 42(6):1575-1580.
- Rahardjo, B. 1993. Pra perkiraan umur simpan Makanan dalam Kemasan Plastik. Dalam "Pengemasan Bahan Makanan dengan Plastik". Editor: Sudarmadji. Bahan Kursus Singkat Pengemasan Bahan Makanan dengan Plastik. Fak. Teknologi Pertanian, UGM. Yogyakarta.
- Smith, J. P., E. D. Jackson, dan B. Ooraikul. 1983. Storage of gas-packaged bakery product. A Research Note. *J. of Food Sci.* 48:1370-1371,1375.
- Sudarmadji, S. 1993. Pengemasan Bahan Makanan dengan Plastik. Bahan Kursus Singkat Pengemasan Bahan Makanan dengan Plastik. Fak. Teknologi Pertanian, UGM. Yogyakarta.
- Suparmo, 1993. Struktur kimia dan sifat fisik plastik. Dalam "Pengemasan Bahan Makanan dengan Plastik". Editor: Sudarmadji. Bahan Kursus Singkat Pengemasan Bahan Makanan dengan Plastik. Fak. Teknologi Pertanian, UGM. Yogyakarta.
- Suyitno, 1993. Interaksi produk, kemasan dan lingkungan. Makanan dalam Kemasan Plastik. Dalam "Pengemasan Bahan Makanan dengan Plastik". Editor: Sudarmadji. Bahan Kursus Singkat Pengemasan Bahan Makanan dengan Plastik. Fak. Teknologi Pertanian, UGM. Yogyakarta.
- Wibowo, T. 1997. Pemodelan Perubahan Kadar Air Emping Mlinjo selama dalam Kemasan Polipropelin. Skripsi. Fak. Teknologi Pertanian, UGM. Yogyakarta.
- Yang, C. C. dan M. S. Chinnan. 1988. Computer modeling of gas composition and color development of tomatoes stored in polymeric film. *J. of Food Sci.* 53(3):869-872.