

PEMODELAN MATEMATIK PERUBAHAN PARAMETER MUTU SELAMA PENYIMPANAN DAN SORPSI-ISOTERMI KERUPUK GORENG PASIR

Mathematical Modeling of Change of Quality Parameter during Storage and Sorption-Isotherm of Chip Fries Sand

Siswantoro¹, Budi Rahardjo², Nursigit Bintoro², Pudji Hastuti²

¹Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. dr. Soeparno
Karangwangkal, Purwokerto, Jawa Tengah

²Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada, Jl. Flora No. 1 Bulaksumur, Yogyakarta 55281
Email: siswantoro_07@yahoo.co.id

ABSTRAK

Umur simpan suatu produk makanan adalah suatu batas waktu kualitas produk yang masih diterima oleh konsumen. Kerupuk goreng adalah produk yang bersifat higroskopis sehingga mudah menyerap uap air dari lingkungan. Sifat higroskopis yang dimiliki kerupuk merupakan fenomena menarik untuk diteliti, khususnya yang berhubungan dengan perubahan parameter mutu produk selama penyimpanan. Pada penelitian ini penyimpanan dilakukan pada udara lingkungan ($T = 28^{\circ}\text{C}$, RH 80 %). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan model matematika tentang perubahan parameter produk meliputi kadar air, tegangan, regangan selama penyimpanan, dan mendapatkan kurva sorpsi-isotermi dari kerupuk goreng pasir. Penelitian dilakukan dengan eksperimen laboratorium menggunakan bahan pasir kali, pasir besi, kerupuk mentah, dan larutan garam jenuh. Kisaran diameter pasir kali yang digunakan adalah 0,25 – 2,00 mm, dan pasir besi adalah 0,10 – 0,40 mm. Penggorengan dilakukan pada suhu 180 – 220 °C, dengan putaran slinder 5 – 36 rpm. Alat yang digunakan terdiri dari alat untuk mengukur tegangan dan regangan (*universal testing machine*), oven, timbangan analitik, mesin penggoreng dengan pasir, *tachometer*, *desiccator*, *hygrometer*, termokopel, *data logger*, *interface*, dan komputer. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa, perubahan parameter mutu produk selama penyimpanan akan menurunkan mutu kerupuk khususnya yang berkaitan dengan tingkat kerenyahan, karena kadar air, tegangan, dan regangan selama penyimpanan mengalami kenaikan. Kesalahan nilai prediksi dan deviasi standard pada penggunaan model matematik untuk perubahan parameter mutu kerupuk lebih kecil dari 10%. Hasil ini mengindikasikan bahwa model matematik yang dikembangkan mempunyai nilai prediksi dengan tingkat ketelitian cukup baik.

Kata kunci: Penggorengan, kadar air, tegangan, regangan, sorpsi-isotermi, model matematik

ABSTRACT

Shelf life of food is a time limit to which consumers can still accept its product quality. Chip fries are food product that has a hygroscopic property so that easy to absorb water vapor from environment. Hygroscopic property owned by chip is interesting phenomenon to be evaluated especially related to the change of quality product parameter during storage. At this research, samples were stored at room environment ($T = 28^{\circ}\text{C}$, RH = 80 %). The purpose of this research is to develop mathematical model of changing quality product parameter covering moisture content, stress, and strain during storage, and to get sorption-isotherm curve from chip fries. Research was done in laboratory by using research materials such as river sand, ferric sand, chip, and saturated salt solution. Diameter of river sand were 0.25 - 2.00 mm, and ferric sand were 0.10 - 0.40 mm. Frying process was conducted at temperature of 180 – 220 °C, and used a cylindrical fryer set at 5 – 36 rpm. Equipments used in this research consisted of stress-strain measuring instrument (*universal of testing machine*), oven, analytical balance, frying machine, tachometer, desiccators, hygrometer, thermocouple, data logger, interface, and personal computer. Result show that, the changing of product parameter during the storage reduced quality of chip especially related to the level of crispiness. This was caused by the value of water contain, stress, and

strain which increased during storage. The error of prediction values and standard deviation of the developed model was less than 10% indicating that the mathematical model developed in this study was good.

Keyword: Frying, moisture content, stress, strain, sorption-isotherm, mathematical model

PENDAHULUAN

Kerupuk merupakan salah satu makanan ringan yang terbuat dari pati atau bahan berpati, bersifat mengembang, renyah dan gurih rasanya. Sumber pati yang digunakan adalah tapioka dan pati sagu. Bahan berpati seperti kerupuk dan sejenisnya setelah digoreng bersifat mudah menyerap air (higroskopis). Produk yang mudah menyerap air bila selama penyimpanan mengalami kontak dengan udara luar yang umumnya untuk lingkungan tropis mempunyai RH 75% - 80%, maka akan mengalami penyerapan uap air yang selanjutnya akan terjadi perubahan sifat fisiknya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lama penyimpanan berpengaruh signifikan terhadap tingkat kekerasan, dan aktivitas air kerupuk goreng. Hal ini berpengaruh terhadap mutu dari kerupuk goreng. Penurunan mutu dari kerupuk goreng selama penyimpanan adalah peningkatan tingkat kekerasan atau penurunan tingkat kerenyahan (Soekarto, 1997; Yu dkk., 1997; Tofan, 2008).

Kerenyahan merupakan salah satu sifat penting yang digunakan oleh konsumen untuk menilai kualitas produk goreng. Kerenyahan makanan dapat dinilai pada kemudahan terputusnya partikel-partikel penyusunnya apabila dilakukan pengunyahan. Kemudahan pengunyahan makanan goreng tergantung pada ukuran kekukuhan granula-granula pati yang sudah mekar (Haryadi, 1990; Amerine dkk., 1985).

Kerupuk yang mengalami kontak langsung dengan udara luar akan mengalami perubahan tegangan, regangan dan kadar air. Makin lama terjadinya waktu kontak antara kerupuk dengan udara luar akan menyebabkan nilai tegangan, regangan dan kadar air kerupuk semakin besar, kondisi ini menyebabkan mutu kerupuk menurun atau kerupuk menjadi "mlempem". Menurut Hine (1987), istilah umur simpan secara umum mengandung pengertian rentang waktu antara produk saat mulai dikemas atau diproduksi dengan saat mulai digunakan dengan mutu produk masih memenuhi syarat untuk dikonsumsi.

Pada penelitian ini yang dimaksud penyimpanan adalah penyimpanan pada ruang terbuka ($T = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $\text{RH} = 80\%$), sedangkan penggorengan kerupuk dilakukan dengan menggunakan pasir. Salah satu keuntungan penggorengan menggunakan pasir sebagai media penghantar panas adalah produk (kerupuk) yang digoreng tidak mengandung minyak, sehingga tidak akan tengik apabila disimpan.

Penggorengan makanan berpati (kerupuk) dengan pasir sebagai media penghantar panas telah dilakukan di beberapa daerah di Indonesia. Namun sejauh ini belum banyak informasi dan penelitian tentang penggorengan dengan pasir sebagai media penghantar panas, terutama yang terkait dengan perubahan parameter produk yang meliputi kadar air, tegangan, dan regangan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan model matematik perubahan parameter produk yang meliputi kadar air, tegangan, dan regangan selama penyimpanan, dan mendapatkan kurva sorpsi-isotermi kerupuk goreng pasir.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen laboratorium. Tempat penelitian di Laboratorium Teknik Pertanian dan Laboratorium Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Jenderal Soedirman - Purwokerto, serta di Laboratorium Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada – Yogyakarta.

Bahan

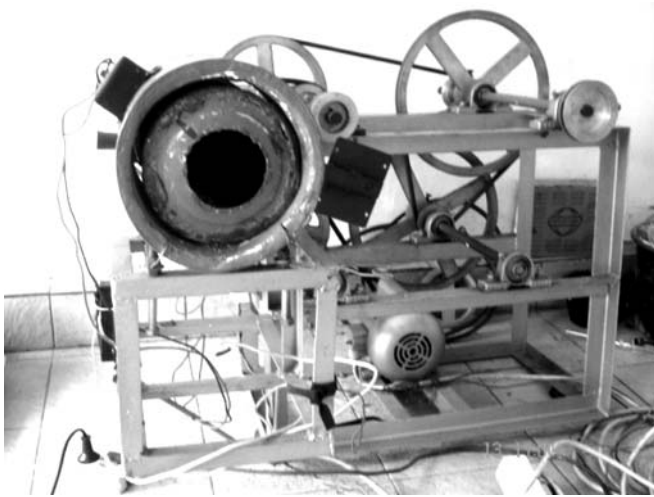
- Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:
- (1) Kerupuk mentah (sebagai sampel) dengan kadar air 9 - 10% basis kering (bk), ukuran 2 x 2 cm dengan tebal 2 mm.
 - (2) Pasir kali, dan pasir besi. Pasir kali diperoleh dari kali Serayu dan kali Pelus yang terletak di Kabupaten Banyumas, sedangkan pasir besi diperoleh dari pantai Srandil di Kabupaten Cilacap. Ukuran diameter pasir kali yang digunakan dipisahkan menjadi 3 kelompok ukuran (0,25 - 0,50, 0,50 - 1,00, dan 1,00 - 2,00 mm), sedangkan ukuran diameter pasir besi dipisahkan menjadi 2 kelompok ukuran (0,10 - 0,25, dan 0,25 - 0,40 mm).
 - (3) Larutan garam jenuh yang terdiri dari: LiCl, MgCl₂, K₂CO₃, Na NO₂, KCl, dan K₂SO₄

Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

- (1) Alat ukur suhu meliputi termokopel, *data logger*, *interface*, dan komputer.

- (2) *Universal testing machine*, oven, *tachometer*, neraca analitik, desikator, *hygrometer*, *stop watch*, ayakan pasir, dan jangka sorong.
- (3) Alat penggoreng kerupuk dengan pasir (Gambar 1)



Gambar 1. Alat penggoreng kerupuk dengan pasir

Eksperimen Laboratorium

Eksperimen laboratorium yang dilakukan pada penelitian ini meliputi, pengukuran, perhitungan, pengembangan model matematik, dan validasi model. Proses penggorengan dengan pasir dilakukan dengan variasi diameter pasir 0,1 – 2,0 mm, variasi rpm silinder 5 - 36, dan variasi suhu 180 – 200 °C. Selama proses penggorengan, suhu direkam dengan data logger setiap interval 5 detik. Urutan pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 2

Pemodelan dan Pengukuran. Pasir yang digunakan dalam penelitian ini berupa pasir besi dan pasir kali. Diameter pasir yang digunakan dihitung dengan “fineness modulus” untuk mendapatkan ukuran diameter rata-rata (Henderson dan Perry, 1980), dengan bentuk model persamaan berikut:

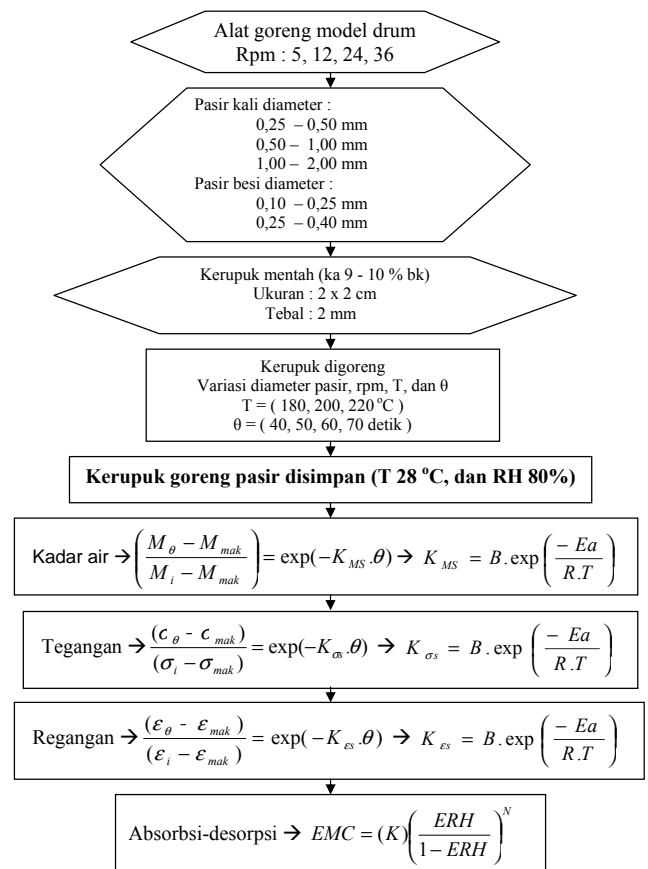
$$d = 0,0041 (2)^{FM} \dots \dots \dots (1)$$

Model matematis perubahan parameter mutu produk yang meliputi tegangan, regangan, dan kadar air selama penyimpanan, serta kurva sorpsi-isotermi diuraikan sebagai berikut:

Tegangan:

$$\frac{d\sigma}{d\theta} = K_{\sigma} (\sigma_{mak} - \sigma)$$

$$\left(\frac{\sigma_{\theta} - \sigma_{mak}}{\sigma_i - \sigma_{mak}} \right) = \exp(-K_{\sigma} \cdot \theta) \dots \dots \dots (2)$$



Gambar 2. Bagan alir pelaksanaan penelitian

Regangan:

$$\left(\frac{\epsilon_{\theta} - \epsilon_{mak}}{\epsilon_i - \epsilon_{mak}} \right) = \exp(-K_{\epsilon} \cdot \theta) \dots \dots \dots (3)$$

Kadar air:

$$\left(\frac{M_{\theta} - M_{mak}}{M_i - M_{mak}} \right) = \exp(-K_{MS} \cdot \theta) \dots \dots \dots (4)$$

Absorpsi-desorpsi:

$$EMC = (K) \left(\frac{ERH}{1 - ERH} \right)^N \dots \dots \dots (5)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan Parameter Produk selama Penyimpanan

Pada penelitian ini yang dimaksud penyimpanan adalah penyimpanan dalam ruang terbuka pada suhu kamar dan RH lingkungan (T 28 °C, RH 80%). Penyimpanan dengan

meletakkan produk pada tempat penyimpanan dengan kondisi suhu ruang serta RH lingkungan disebut dengan metode penyimpanan konvensional (Hermianto dkk., 2000). Selama penyimpanan, kerupuk hasil penggorengan dengan pasir mengalami perubahan parameter produk yang terdiri dari tegangan, regangan, dan kadar air. Perubahan parameter produk selama penyimpanan tersebut akan menurunkan mutu kerupuk terutama yang terkait dengan tingkat kerenyahannya. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa kerupuk goreng pasir pada suhu 200 °C selama 70 detik, dengan 24 rpm, serta diameter pasir 0,75 mm menghasilkan kerupuk dengan tingkat kerenyahan renyah sampai sangat renyah dengan skor uji inderawi 3,65, nilai kadar air 32% bk. Mengacu pada hasil tersebut maka hasil perlakuan tersebut yg digunakan sebagai sample yang akan diuji.

Kadar Air. Kerupuk goreng pasir mengalami penambahan kadar air yang cukup cepat apabila disimpan dalam lingkungan terbuka (tanpa kemasan). Kondisi ini disebabkan karena lingkungan yang digunakan pada penelitian ini mempunyai rata-rata suhu 28 °C, dan kelembaban relatif (RH) 80%. Bahan pangan yang disimpan pada lingkungan dimana kadar air bahan lebih rendah dari kadar air keseimbangannya (EMC), maka selama penyimpanan bahan tersebut akan menyerap uap air hingga mencapai kadar air seimbangannya (Labuza, 1984; Brooker dkk., 1981).

Mekanisme terjadinya kenaikan kadar air selama penyimpanan diuraikan sebagai berikut: Selama penyimpanan uap air dari udara lingkungan penyimpanan diabsorpsi oleh kerupuk karena tekanan uap air udara lingkungan lebih tinggi dari tekanan uap air di dalam produk. Disamping itu juga karena sifat fisik kerupuk dengan porositas tinggi serta bahan dasar kerupuk yang terbuat dari pati memudahkan molekul

Tabel 1. Hasil pengukuran kadar air kerupuk selama penyimpanan (pada suhu rata-rata 28 °C, dan RH 80%)

Waktu (jam)	Kadar air kerupuk (% bk)
0	3,32
1	4,23
2	4,92
3	5,71
4	6,55
5	7,14
7	8,52
9	9,41
13	11,29
25	14,53
(Me)	17,60

air masuk ke dalam bahan dan terikat dalam sistem amilosa-amilopektin melalui ikatan-hidrogen. Kondisi tersebut telah menyebabkan kerupuk yang disimpan pada lingkungan RH tinggi kadar airnya meningkat sehingga kerenyahannya menurun (mlempem).

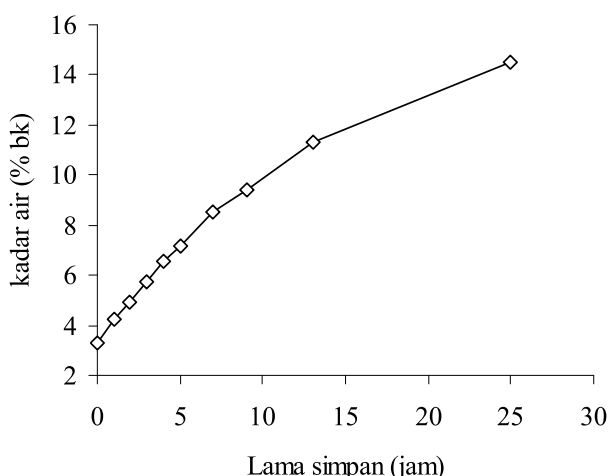
Menggunakan acuan kurva absorpsi hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh nilai kadar air seimbang (EMC) pada kondisi lingkungan tersebut sebesar 17,6% basis kering, sehingga nilai EMC ini digunakan sebagai acuan kadar air seimbang (Me). Hasil penelitian perubahan kadar air selama penyimpanan dapat dilihat pada Gambar 3, dan Tabel 1.

Dari hasil pengukuran dapat dilihat bahwa selama penyimpanan kadar air kerupuk semakin lama semakin besar. Guna mendapatkan nilai konstanta perubahan kadar air terhadap penyimpanan (K_{MS}), maka dibuat plotting grafik seperti dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar tersebut diperoleh dari hasil pengukuran (Tabel 1), dengan menggunakan perubahan kadar air (Persamaan 4).

Dari Gambar 4 diperoleh nilai konstanta perubahan kadar air (K_{MS}) selama penyimpanan sebesar 0,06. Sehingga dapat disusun suatu model matematika yang dapat digunakan untuk memprediksi perubahan kadar air selama penyimpanan sebagai berikut:

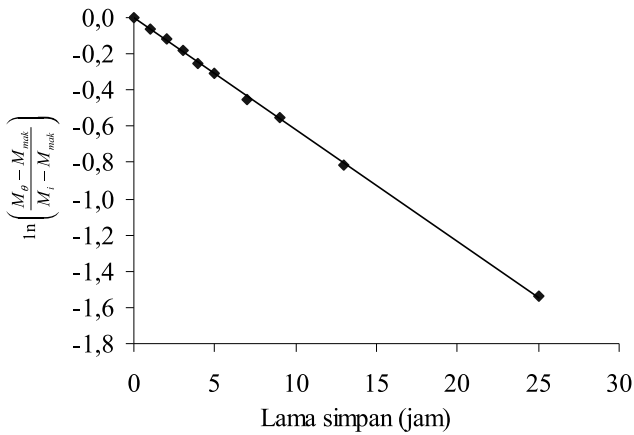
$$\left(\frac{M_{\theta} - Me}{M_i - Me} \right) = \exp \{(-0,06)\theta\} \dots\dots\dots(1)$$

Perubahan kadar air kerupuk selama penyimpanan dapat diprediksi dengan model matematik yang telah dikembangkan dengan hasil yang cukup baik. Hal ini bisa di lihat dari tingkat penyimpangan rata-rata antara prediksi dan observasi sebesar 0,78%, dengan standar deviasi 1,01%.

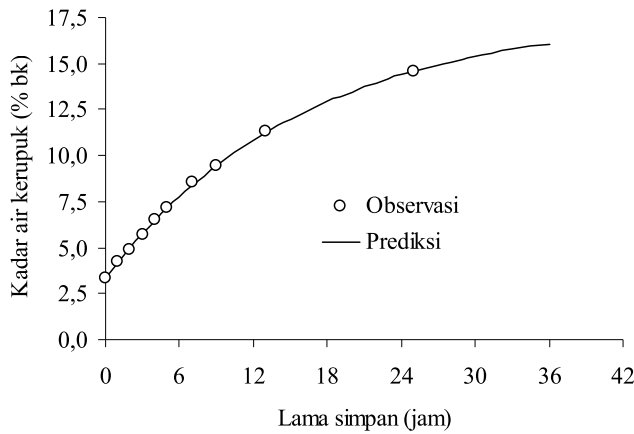


Gambar 3. Hasil pengukuran kadar air kerupuk selama penyimpanan (T 28 °C dan RH 80%)

Hasil selengkapnya dari prediksi kadar air kerupuk goreng pasir selama penyimpanan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Grafik untuk menentukan konstanta perubahan kadar air (K_{MS})



Gambar 5. Hasil prediksi dan observasi kadar air kerupuk selama penyimpanan (pada suhu rata-rata 28 °C, dan RH 80%)

Dari hasil observasi dan prediksi (Gambar 5) dapat dilihat bahwa kadar air kerupuk semakin besar dengan semakin lama waktu simpan. Keadaan tersebut juga bisa diterangkan bahwa pada awal proses penyimpanan laju penyerapan uap air dari udara lingkungan cukup besar dan sejalan dengan bertambahnya waktu penyimpanan lajunya semakin menurun dan mengarah ke laju penyerapan uap air sebesar nol. Pada saat laju penyerapan uap air dari lingkungan sebesar nol berarti bahan tersebut telah mencapai kadar air seimbang (EMC) dengan kelembaban relative seimbang dengan lingkungan (ERH). Kondisi tersebut sejalan dengan yang diterangkan oleh (Labuza, 1984) bahwa bahan pangan dengan kadar air awal lebih rendah dibanding kadar air seimbangnya (EMC) maka selama penyimpanan bahan pangan tersebut akan menyerap uap air hingga mencapai kadar air seimbangnya.

Tegangan dan Regangan. Sebagai parameter produk dari kerupuk, tegangan dan regangan mengalami perubahan bila terjadi kontak langsung dengan udara luar (tanpa dikemas). Nilainya akan berubah makin besar sejalan dengan waktu kontak dengan udara luar yang makin lama. Pertambahan tegangan dan regangan pada kerupuk yang mengalami kontak langsung dengan udara luar berlangsung secara simultan dengan terjadinya kenaikan kadar air bahan. Kondisi ini akan mengakibatkan kualitas produk semakin menurun, karena kerupuk akan menjadi “mlempem”. Hasil pengukuran perubahan tegangan dan regangan selama berada pada ruang terbuka dapat dilihat pada Tabel 2.

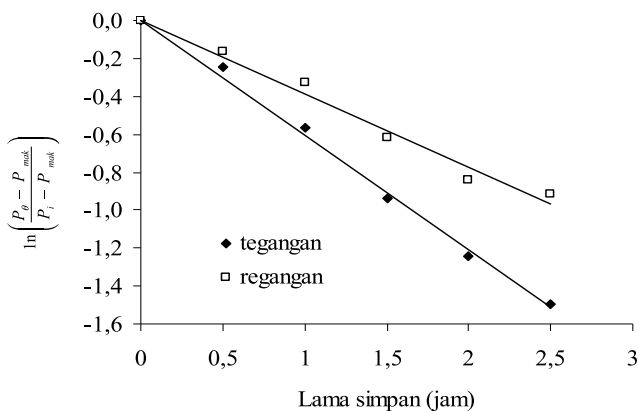
Tabel 2. Nilai tegangan dan regangan terhadap lama kontak dengan udara luar (rata-rata suhu udara 28 °C, RH 80%)

Lama kontak (jam)	Tegangan (N/mm ²)	Regangan (mm/mm)
0,00	0,15	0,15
0,25	0,29	0,20
0,50	0,42	0,25
1,00	0,69	0,33
1,50	0,91	0,45
2,00	1,04	0,52
2,50	1,12	0,54
4,00	1,30	0,67
6,00	1,36	0,73
8,00	1,39	0,77
24 (mak)	1,40	0,80

Pertambahan nilai tegangan dan regangan sebagai akibat pertambahan nilai kadar air kerupuk diuraikan sebagai berikut: Kerupuk dengan kadar air makin tinggi sifat fisiknya berubah menjadi tidak renyah (*mlempem*). Pada kondisi ini apabila diberi beban tekan per satuan luas maka deformasinya makin besar karena kerupuk menjadi tidak mudah patah atau tidak mudah hancur. Deformasi semakin besar telah menyebabkan nilai regangan kerupuk juga semakin besar karena regangan merupakan perbandingan dari deformasi dan ketebalan kerupuk sebelum mengalami beban tekan. Sehingga pertambahan kadar air kerupuk selama penyimpanan menyebabkan nilai regangannya meningkat. Kondisi yang hampir sama juga terjadi untuk tegangan, kerupuk dengan kadar air makin tinggi sifat fisiknya menjadi “mlempem”, kondisi ini menyebabkan kerupuk tidak mudah patah atau tidak mudah hancur sehingga beban tekan persatuan luas yang mampu ditahan oleh kerupuk meningkat. Meningkatnya kemampuan kerupuk untuk menahan beban tekan menghasilkan tegangan (stress) kerupuk meningkat, karena tegangan yang digunakan sebagai ukuran adalah

besarnya gaya tekan persatuan luas yang dihasilkan pada saat kerupuk patah atau hancur. Sehingga pertambahan kadar air kerupuk selama penyimpanan menyebabkan nilai tegangannya meningkat.

Dari hasil pengukuran dapat dilihat bahwa selama penyimpanan atau terjadi kontak langsung dengan udara luar, maka kerupuk mengalami perubahan tegangan dan regangan yang semakin lama semakin besar. Perubahan nilai tegangan dan regangan kerupuk setelah mengalami kontak dengan udara luar selama 24 jam, nilainya relatif tidak mengalami perubahan. Dari kondisi tersebut maka waktu kontak dengan udara luar (penyimpanan) 24 jam digunakan sebagai acuan nilai maksimum untuk nilai tegangan dan regangan. Guna mendapatkan nilai konstanta perubahan tegangan (K_{os}), dan regangan (K_{es}) terhadap lama simpan, maka dibuat plotting grafik seperti dapat dilihat pada Gambar 6. Gambar tersebut diperoleh dari hasil penghitungan (Tabel 2), dengan menggunakan persamaan perubahan tegangan (Persamaan 2), dan regangan (Persamaan 3).



Gambar 6. Nilai konstanta perubahan tegangan (K_{os}) dan regangan (K_{es}) terhadap lama penyimpanan

Dari Gambar 6 diperoleh nilai konstanta perubahan tegangan (K_{os}) selama penyimpanan sebesar 0,61, dan konstanta perubahan regangan (K_{es}) sebesar 0,39. Sehingga dapat disusun suatu model matematika yang dapat digunakan untuk memprediksi perubahan tegangan dan regangan selama penyimpanan sebagai berikut:

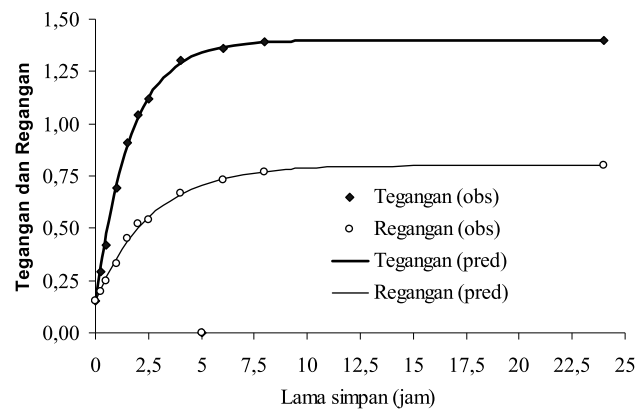
Untuk tegangan:

$$\left(\frac{\epsilon_t - \epsilon_{mak}}{\epsilon_i - \epsilon_{mak}} \right) = \exp\{(-0,39)\theta\} \dots\dots\dots (2)$$

Untuk regangan:

$$\left(\frac{\sigma_t - \sigma_{mak}}{\sigma_i - \sigma_{mak}} \right) = \exp\{(-0,61)\theta\} \dots\dots\dots (3)$$

Perubahan tegangan dan regangan kerupuk selama penyimpanan dapat diprediksi dengan model matematik yang telah dikembangkan dengan hasil yang cukup baik. Hal ini bisa di lihat dari tingkat penyimpangan rata-rata antara prediksi dan observasi untuk tegangan sebesar 2,94%, dengan standar deviasi 5,29%, dan untuk regangan penyimpangan rata-rata sebesar 3,37%, dengan standar deviasi 4,53%. Hasil selengkapnya dari prediksi nilai tegangan dan regangan kerupuk goreng pasir selama penyimpanan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Nilai prediksi dan observasi dari tegangan dan regangan kerupuk goreng pasir selama penyimpanan (T 28 °C, RH 80%)

Dari hasil observasi dan prediksi terhadap nilai tegangan dan regangan selama penyimpanan (Gambar 7) dapat dilihat bahwa, pada awal proses sampai 2,5 jam penyimpanan terjadi kenaikan tegangan dan regangan kerupuk dengan laju relative konstan dan cukup besar, kemudian lama penyimpanan dari 2,5 jam sampai 5 jam lajunya menurun, dan setelah itu nilai tegangan dan regangan relative konstan dengan laju perubahan mendekati nol. Kondisi tersebut dapat dijelaskan bahwa setelah 5 jam penyimpanan kadar air bahan sudah cukup tinggi (> 7%) dan kerupuk sudah dalam kondisi “mlempem”. Sebagai akibatnya daya serap kerupuk terhadap uap air dari udara lingkungan semakin menurun, serta pada kadar air yang sudah cukup tinggi tersebut terjadinya perubahan kadar air bahan sudah tidak signifikan terhadap perubahan tegangan dan regangan, sehingga berakibat nilai tegangan dan regangan sudah tidak mengalami perubahan yang berarti.

Absorpsi – Desorpsi. Selama penyimpanan, produk yang digoreng pasir akan mengalami keadaan seimbang antara kadar air bahan (EMC) dan kelembaban relatif lingkungan (ERH). Kurva keseimbangan antara EMC bahan padat dan ERH pada udara yang kelembabannya meningkat disebut kurva absorpsi. Pada kondisi ini terjadi penyerapan uap air dari lingkungan sehingga bahan padat mengalami

peningkatan kadar air.

Kurva keseimbangan antara EMC bahan padat dan ERH pada udara yang kelembapannya menurun disebut kurva desorpsi. Pada kondisi ini terjadi penguapan air dari bahan padat sehingga bahan padat mengalami penurunan kadar air.

Proses absorpsi dan desorpsi yang terjadi pada bahan padat mempunyai bentuk kurva yang berbeda (tidak berhimpit) kondisi tersebut disebut “histerisis”. Terjadinya gejala “histerisis” diduga karena ada perbedaan besarnya energi dari bahan padat untuk mengikat dan melepas air pada EMC dan ERH yang sama.

Bentuk model matematik yang akan digunakan adalah model persamaan Oswin, karena model ini dianggap cukup baik digunakan untuk memprediksi kurva sorpsi-isotermi pada bahan pangan yang banyak mengandung pati (Boquet dkk., 1978; Lind dan Rask, 1991; Wang dan Brennan, 1991).

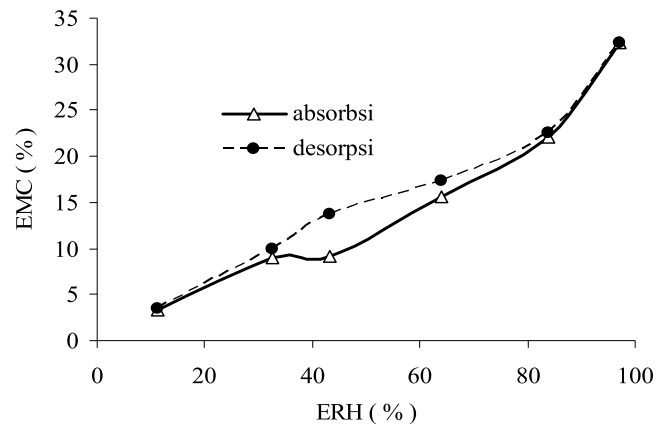
Sorpsi-isotermi menyatakan hubungan antara kadar air seimbang (EMC) suatu bahan dengan kelembaban relative seimbang (ERH) udara lingkungan dimana bahan tersebut berada. Masalah sorpsi-isotermi pada bahan pangan pada dasarnya menyangkut penyerapan dan penguapan air dari bahan yang bersangkutan. Penyerapan air dari udara ke dalam bahan yang kering disebut absorpsi, sedangkan penguapan air dari bahan yang basah ke udara sekelilingnya disebut desorpsi. Bentuk umum dari kurva sorpsi isotermi adalah berbentuk kurva S, dengan sumbu X (sumbu datar) sebagai nilai kelembaban relatif seimbang (ERH) dan sumbu Y (sumbu tegak) sebagai nilai kadar air seimbang (EMC) (Inglesias dan Chirife, 1982).

Bahan pangan yang disimpan akan menuju ke kondisi yang seimbang antara kadar air bahan dan kelembaban relative lingkungannya. Masing masing bahan mempunyai nilai keadaan seimbang yang berbeda meskipun bentuk kurva isoterminya sama. Kurva sorpsi-isotermi suatu bahan pangan diperlukan guna untuk mengetahui dan mengendalikan kadar air bahan yang sesuai dengan kelembaban relative seimbangnya, sehingga bahan akan lebih awet untuk disimpan. Sebagaimana diketahui bahwa kadar air dalam suatu bahan pangan merupakan salah satu indikator penting terkait dengan umur simpan. Kadar air yang tinggi pada suatu bahan pangan akan menyebabkan bahan tersebut mudah rusak. Hal ini disebabkan karena air yang ada didalam bahan tersebut merupakan air bebas sehingga mudah digunakan untuk mempercepat reaksi kimia dan biologi yang bersifat merusak bahan pangan. Pada kadar air bahan pangan yang rendah, air yang berada di dalam bahan tersebut merupakan air yang terikat, sehingga sulit digunakan untuk reaksi kimia dan biologi di dalam bahan tersebut yang bersifat merusak (Boquet dkk., 1978; 1979; Chen dan Morey, 1989; Devahastin, 2000).

Data hasil pengukuran kadar air seimbang (EMC) dan kelembapan relatif seimbang (ERH) pada kerupuk goreng pasir dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 8. Dari hasil pengukuran dapat dilihat bahwa kurva absorpsi yaitu terjadinya proses penyerapan air dari lingkungan sehingga kadar air bahan meningkat, dan kurva desorpsi yaitu terjadinya proses penguapan air bahan sehingga kadar air bahan menurun. Adanya bentuk yang berbeda antara kurva absorpsi dan desorpsi ini dikenal dengan istilah “histerisis”.

Tabel 3. Hasil pengukuran EMC dan ERH menggunakan larutan garam jenuh pada kerupuk goreng pasir

Larutan	T 28 °C	Absorpsi	Desorpsi
Garam Jenuh	ERH (%)	EMC (% bk)	EMC (% bk)
LiCl	11,32	3,38	3,41
MgCl ₂	32,52	9,06	9,86
K ₂ CO ₃	43,20	9,21	13,75
NaNO ₂	63,88	15,55	17,32
KCl	83,72	22,06	22,56
K ₂ SO ₄	97,02	32,29	32,38



Gambar 8. Kurva absorpsi dan desorpsi pada kerupuk goreng pasir

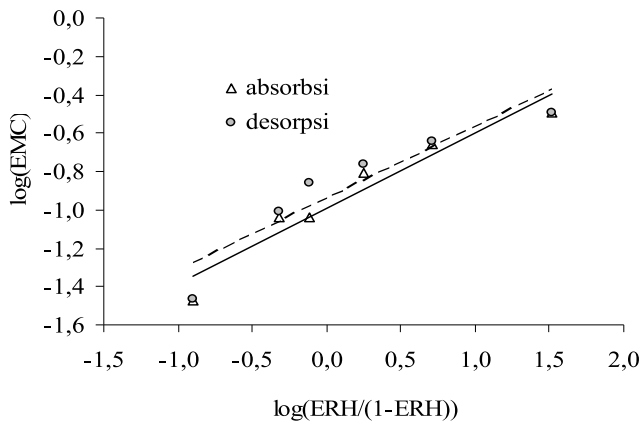
Ada beberapa model matematik yang telah dikembangkan untuk memprediksi kurva sorpsi isotermi pada bahan pangan. Salah satunya adalah model yang dikembangkan oleh Oswin. Dari beberapa pustaka yang diperoleh model Oswin merupakan model yang banyak digunakan untuk memprediksi kurva isotermi pada bahan pangan yang banyak mengandung pati. Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah kerupuk yang dibuat dari tepung tapioka, sehingga untuk memprediksi kurva isotermi digunakan model Oswin, dengan bentuk sebagai berikut:

$$\log(EMC) = \log(K) + N \log\left(\frac{ERH}{1-ERH}\right) \dots\dots\dots(4)$$

$$EMC = K\left(\frac{ERH}{1-ERH}\right)^N \dots\dots\dots(5)$$

K dan N adalah konstanta Oswin untuk sorpsi-isotermi

Untuk mendapatkan nilai konstanta Oswin (K dan N) maka dari hasil pengukuran (Tabel 3) dilakukan plotting grafik dengan sumbu X (sumbu datar) = log (ERH/1-ERH), dan sumbu Y (sumbu tegak) = log (EMC), sehingga diperoleh Gambar 9.



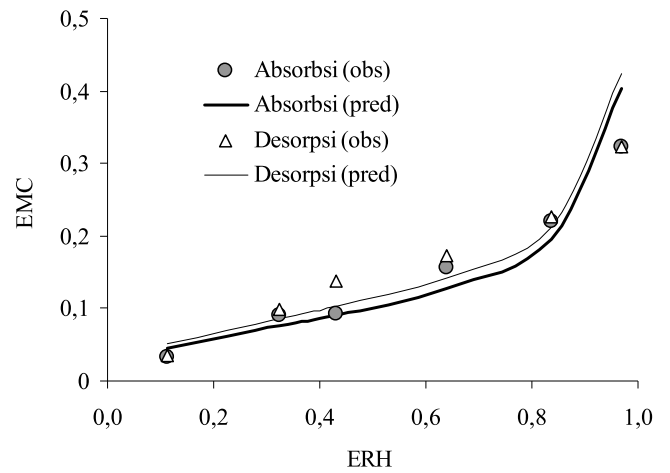
Gambar 9. Grafik untuk menghitung nilai konstanta Oswin (K dan N)

Dari Gambar 9 diperoleh persamaan garis lurus untuk absorpsi:
 $\log(EMC) = (0,396) \log(ERH/(1-ERH)) - 0,9928$,
 dengan $R^2 = 0,93$
 untuk desorpsi:
 $\log(EMC) = (0,377) \log(ERH/(1-ERH)) - 0,9439$,
 dengan $R^2 = 0,87$
 serta mengacu pada persamaan sorpsi-isotermi model OSWIN:
 $\log(EMC) = \log(K) + N \log(ERH/(1-ERH))$

Maka diperoleh nilai konstanta K dan N sebagai berikut:
 Untuk absorpsi: $\log(K) = -0,9928$, maka nilai $K = 0,101672$,
 dan nilai $N = 0,396$
 Untuk desorpsi: $\log(K) = -0,9439$, maka nilai $K = 0,113789$,
 dan nilai $N = 0,3771$

Menggunakan nilai K dan N hasil perhitungan secara grafik, bila diketahui nilai EMC bahan (kerupuk) maka nilai ERH lingkungan bisa dihitung, demikian juga sebaliknya. Apabila diketahui ERH lingkungan maka EMC bahan dapat

dihitung. Hasil observasi dan prediksi kurva sorpsi-isotermi dari kerupuk goreng pasir dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Kurva absorpsi dan desorpsi hasil observasi dan prediksi dengan model Oswin

Hasil penelitian diperoleh bahwa nilai absorpsi dan desorpsi kerupuk goreng pasir dari hasil pengukuran (observasi) dan pendugaan (prediksi) menunjukkan kecenderungan (trend) yang masih dapat digunakan sebagai acuan, karena nilai koefisien determinasinya ($R^2 \geq 0,87$).

KESIMPULAN

1. Kadar air kerupuk selama penyimpanan dipengaruhi oleh kadar air awal, kadar air keseimbangan lingkungan, dan lama penyimpanan. Model matematik untuk memprediksi perubahan kadar air kerupuk goreng pasir selama penyimpanan pada kondisi kamar (T 28 °C, dan RH 80%) adalah:
2. Tingkat kesalahan rata-rata prediksi kadar air kerupuk selama penyimpanan 0,78 % dengan standar deviasi 1,01%
3. Nilai tegangan kerupuk selama penyimpanan dipengaruhi oleh tegangan awal, tegangan maksimalnya, dan lama penyimpanan. Model matematik untuk memprediksi tegangan kerupuk goreng pasir selama penyimpanan pada kondisi kamar (T 28 °C, dan RH 80%) adalah:

$$\left(\frac{M_{\theta} - Me}{M_i - Me}\right) = \exp\{(-0,06)\theta\} \dots\dots\dots(6)$$

$$\left(\frac{\sigma_{\theta} - \sigma_{mak}}{\sigma_i - \sigma_{mak}}\right) = \exp\{(-0,61)\theta\} \dots\dots\dots(7)$$

4. Tingkat kesalahan rata-rata prediksi tegangan kerupuk selama penyimpanan 2,94 % dengan standar deviasi 5,29%.
5. Nilai regangan kerupuk selama penyimpanan dipengaruhi oleh regangan awal, regangan maksimalnya, dan lama penyimpanan. Model matematik untuk memprediksi perubahan regangan kerupuk goreng pasir selama penyimpanan pada kondisi kamar (T 28 °C, dan RH 80 %) adalah:

$$\left(\frac{\varepsilon_{\theta} - \varepsilon_{mak}}{\varepsilon_i - \varepsilon_{mak}} \right) = \exp\{(-0,39)\theta\} \dots\dots\dots (8)$$

6. Tingkat kesalahan rata-rata prediksi regangan kerupuk selama penyimpanan 3,37 % dengan standar deviasi 4,53 %
7. Model matematik untuk meprediksi kurva absorpsi kerupuk goreng pasir:

$$EMC = 0,1017 \left(\frac{ERH}{1-ERH} \right)^{0,396} \dots\dots\dots (9)$$

8. Model matematik untuk mempredikasi kurva desorpsi kerupuk goreng pasir

$$EMC = 0,1138 \left(\frac{ERH}{1-ERH} \right)^{0,377} \dots\dots\dots (10)$$

DAFTAR NOTASI

- bk = basis kering (%)
- d = diameter pasir (in)
- EMC = kadar air seimbang (%)
- ERH = kelembapan relative seimbang (%)
- FM = fineness modulus
- K = konstanta
- M = kadar air (%)
- T = suhu (°C)
- σ = tegangan (stress) (N/mm²)
- ε = regangan (strain) (mm/mm)
- θ = waktu (detik)

DAFTAR PUSTAKA

Amerine, M.A., Pangborn, R.M. dan Roessler, E.B. (1985). *Principle of Sensory Evaluation of Food*, Academic Press, New York.

Boquet, R., Chirife, J. dan Iglesias, H.A. (1978). Equations for fitting water sorption isotherm of foods. Part II: evaluation of various two-parameters models. *J. of Food Tech.* **13**: 319 – 327.

Boquet, R. (1979). Equations for fitting water sorption isotherms of foods. Part III: evaluation of tree- parameter models. *J. of Food Tech.* **14**: 527 – 534.

Brooker, D.B., Bakker-Arkema, F.W. and Hall, C.W. 1981. *Drying Cereal Grains*. The Avi Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut. USA.

Chen, C. dan Morey, R.V. (1989). Equilibrium relativity humidity (ERH) relationships for yellow-dent corn. *Trans. ASAE*, **32**: 999 – 1006.

Devahastin, S. (2000). *Mujumdar's Practical Guide to Industrial Drying*. Exergex Corporation, Brossard, Quebec, Canada.

Haryadi (1990). *Pengaruh Kadar Amilosa Beberapa Jenis Pati terhadap Pengembangan, Higroskopisitas dan Sifat Inderawi Kerupuk*. Lembaga Penelitian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Henderson, S. M. dan Perry, R. L. (1980). *Agricultural Process Engineering*. AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut.

Hermianto, J., Arpah, M. dan Jati, W.K. (2000). Penentuan umur simpan produk ekstrusi dari hasil samping penggilingan padi dengan menggunakan metode konvensional, kinetik Arhenius, dan sorpsi isothermis. *Bul. Teknol. dan Industri Pangan XI* (2), pp 33 – 41.

Hine, D. J. (1987). *Modern Processing, Packaging, and Distribution System for Food*. Backie, London.

Inglesias, H.A., dan Chirife, J. (1982). *Handbook of Food Isotherms*. Academic Press, New York.

Labuza, T.P. (1984). *Moisture Sorption: Practical Aspects of Isotherms*. Academic Press, New York.

Levine, L. (1990). Understanding Frying Operations. *Cereal Foods World* **35**, 272 -273.

Lind, I, dan Rask, C. (1991). Sorption Isotherms of Mixed Minced meat, Dough, and Bread Crust. *J. Food Eng.* **14**: 303 – 315.

Soekarto, S.T. (1997). Perbandingan pengaruh kadar air kerupuk mentah pada penggorengan dengan minyak dan dengan oven gelombang mikro. *Proseding Seminar Teknologi Pangan*. Kantor Menteri Negara Urusan Pangan RI.

Tofan (2008). *Sifat Fisik dan Organoleptik Kerupuk dengan Penambahan Tepung Daging Sapi Selama Penyimpanan*. Laporan Hasil Penelitian. Program Studi Teknologi Hasil Ternak, IPB, Bogor.

Wang, N. dan Brennan, J.G. (1991). Moisture Sorption Isotherm Characteristics of Potatoes at Four Temperatures. *J. Food Eng.* **14** : 269 – 287.

Yu, S.Y., Mitchel, J.R. dan Abdullah (1981). Production and Accetability Testing of Fish Crackers (keropok). *Int. J. Food Sci. and Techn.* **37**: 593-596.