

F/TEP  
1994  
0039

# SIMULASI MODEL PENDUGAAN KETENGGIKAN COOKIES SELAMA PENYIMPANAN DENGAN BANTUAN KOMPUTER



Oleh

MARIA MARLINA SUTANDI

F 26. 1521



1 9 9 4

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

INSTITUT PERTANIAN BOGOR

B O G O R

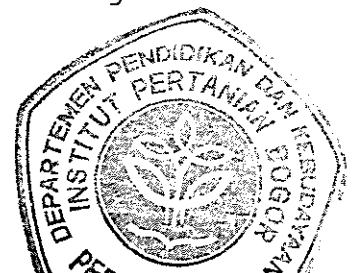
Maria Marlina Sutandi. F 26.1521. Simulasi Model Pendugaan Ketengikan Cookies Selama Penyimpanan Dengan Bantuan Komputer. Di bawah bimbingan Ir. Putiati Mahdar, MAppSc, Ir. Yang Yang Setiawan, MSc dan Ir. I Wayan Astika.

## R I N G K A S A N

Cookies merupakan makanan ringan yang enak, manis dan renyah. Di Indonesia cookies disukai oleh semua orang, hal ini terlihat dari produksi cookies pada tahun 1989 sebesar 11.979 ton dan ekspor cookies Indonesia sebesar 1.093.412 kg pada tahun 1991.

Cara yang digunakan untuk pendugaan umur simpan cookies masih bersifat tradisional yaitu menyimpan cookies tersebut sampai rusak. Cara ini membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang besar. Untuk itu perlu dikembangkan cara untuk menentukan umur simpan yang tidak membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang besar yaitu dengan simulasi model dengan bantuan komputer.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menduga kenaikan kadar air cookies selama penyimpanan, menduga kenaikan penyerapan oksigen cookies selama penyimpanan, menentukan konstanta laju reaksi ketengikan sebagai fungsi dari laju penyerapan oksigen dan suhu serta menduga umur simpan cookies dengan menggunakan simulasi.





Kerusakan cookies umumnya disebabkan oleh pertumbuhan mikroba dan perubahan kimia (ketengikan). Pertumbuhan mikroba bahan pangan dipengaruhi oleh aktivitas air bahan pangan, suhu penyimpanan dan suhu pengolahan, ketersediaan oksigen, pH bahan dan kandungan gizi bahan pangan (Rizal dan Hariyadi, 1990). Ketengikan disebabkan karena adanya oksidasi lemak tak jenuh.

Umur simpan tergantung dari beberapa faktor seperti suhu, kelembaban, tekanan parsial oksigen, cahaya, permeabilitas kemasan dan variasi pengemasan (Quast dan Karel, 1972).

Oksidasi lemak yang menimbulkan ketengikan mengikuti reaksi kinetik ordo satu (Labuza, 1982b). Konstanta laju ketengikan ( $k$ ) merupakan fungsi dari laju penyerapan oksigen dan suhu. Aktivitas air produk di dalam kemasan mengikuti rumus BET.

Penelitian dilakukan pada tiga taraf masing-masing suhu 20°C, 30°C dan 40°C meliputi penetapan kurva sorpsi isotherm cookies, pengukuran laju kenaikan bilangan peroksida sebagai fungsi dari laju penyerapan oksigen dan suhu, penentuan konsumsi oksigen dan pembuatan simulasi komputer. Untuk menciptakan kelembaban, digunakan larutan garam jenuh. Untuk melihat hubungan antara hasil dugaan komputer dan hasil pengamatan digunakan koefisien korelasi. Analisis yang dilakukan adalah analisis kadar air dan bilangan peroksida.

Dari kurva sorpsi isotherm didapat tetapan energi (C) dan tetapan kadar air monomolekular ( $W_m$ ) yaitu sebesar 49,442 dan 2,627 ( $20^\circ\text{C}$ ), 18,967 dan 2,897 ( $30^\circ\text{C}$ ) dan 7,494 dan 2,701 ( $40^\circ\text{C}$ ) yang akan digunakan dalam simulasi.

Pada peningkatan kadar air cookies yang disimpan pada suhu  $30^\circ\text{C}$  dan kelembaban relatif 75% antara hasil dugaan dan data percobaan ternyata memiliki hubungan yang cukup dengan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) sebesar 0,949.

Persamaan yang menghubungkan konstanta laju ketengikan dengan aktivitas air dan penyerapan oksigen adalah :

1. Rh 7% :  $k = -0,21236O_2 + 0,001022T + 0,014273$
2. Rh 60% :  $k = -0,2384O_2 + 0,003736T + 0,00057$
3. Rh 75% :  $k = -0,01497O_2 + 0,002706T + 0,000667$
4. Rh 80% :  $k = 0,007505O_2 - 0,002921T + 0,000153$

Pada kenaikan bilangan peroksida cookies yang disimpan pada suhu  $30^\circ\text{C}$  dan kelembaban relatif 75% antara hasil dugaan dan hasil percobaan ternyata memiliki hubungan yang cukup dengan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) sebesar 0,880.

Dengan menggunakan simulasi berdasarkan kadar air diduga cookies yang disimpan dengan kemasan plastik cap Jerapah yang banyak dijual di pasaran, pada suhu  $30^\circ\text{C}$  dan kelembaban relatif 75% dapat disimpan selama 3 bulan lebih 22 hari dari tanggal produksinya. Sedangkan dengan simulasi berdasarkan laju penyerapan oksigen dan suhu diduga umur simpan cookies tersebut 2 bulan lebih 7 hari. Dari

dugaan umur simpan tersebut terlihat bahwa oksigen merupakan faktor yang paling kritis.

Simulasi model dengan bantuan komputer ini dapat digunakan untuk kelembaban 7%, 60%, 75% dan 80%.



**SIMULASI MODEL PENDUGAAN KETENGIKAN COOKIES  
SELAMA PENYIMPANAN DENGAN BANTUAN KOMPUTER**

**S K R I P S I**

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

**SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN**

pada Jurusan Mekanisasi Pertanian

Fakultas Teknologi Pertanian

Institut Pertanian Bogor

Oleh

**MARIA MARLINA SUTANDI**

F 26.1521

1994

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN**

**INSTITUT PERTANIAN BOGOR**

**BOGOR**



**INSTITUT PERTANIAN BOGOR**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN**  

---

**SIMULASI MODEL PENDUGAAN KETENGIKAN COOKIES**  
**SELAMA PENYIMPANAN DENGAN BANTUAN KOMPUTER**

**S K R I P S I**

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

**SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN**

pada Jurusan Mekanisasi Pertanian

Fakultas Teknologi Pertanian

Institut Pertanian Bogor

Oleh

**MARIA MARLINA SUTANDI**

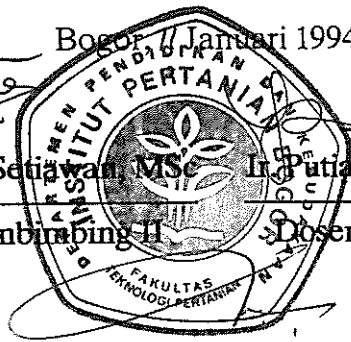
F 26. 1521

Disetujui,

Bogor, 11 Januari 1994

 Ir. Yang Yang Setiawan, MSc  Ir. Putiati Mahdar, MAppSc

Dosen Pembimbing II      Dosen Pembimbing I



**Ir. I Wayan Astika**

Dosen Pembimbing III



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Yang Maha Kuasa, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nyalah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi ini disusun berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dari bulan Juli sampai September 1993 di Balai Besar Industri Hasil Pertanian, Bogor.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Balai Besar Industri Hasil Pertanian atas bantuan dana selama penelitian.
2. Ir. Putiati Mahdar, MAppSc, selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama penelitian dan penyusunan skripsi ini.
3. Ir. Yang Yang Setiawan, MSc, selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan selama penelitian dan penyusunan skripsi ini.
4. Ir. I Wayan Astika, selaku dosen pembimbing III yang telah memberikan bimbingan terutama dalam hal simulasi model.
5. Seluruh staf dan karyawan Laboratorium Penelitian Makanan dan Minuman, Balai Besar Industri Hasil Pertanian dan Laboratorium Pengolahan Pangan, Jurusan



Teknologi Pangan dan Gizi, IPB atas bantuan alat, tempat penelitian serta jasanya.

5. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fateta, IPB atas segala kebaikan yang telah diberikan selama penulis menyelesaikan studi.
6. Mama, Papa, Santi, Cici, Koko dan Abang yang telah banyak memberikan bantuan material dan dukungan moral dengan penuh kesabaran dan kasih.
7. Warga Pondok Dara, Warga Semeru-12, RezCo dan teman-teman satu bimbingan yang telah banyak membantu penulis selama ini.
8. Rekan-rekan mahasiswa dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah banyak memberikan bantuan selama penulis di Fakultas Teknologi Pertanian.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, sehingga kritik dan saran sangat penulis harapkan untuk penelitian selanjutnya.

Akhir kata, semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukannya.

Bogor, Januari 1994

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	iii
DAFTAR TABEL .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR LAMPIRAN .....	ix
I. PENDAHULUAN .....	1
II. TINJAUAN PUSTAKA .....	4
A. COOKIES .....	4
B. KERUSAKAN COOKIES .....	6
C. PENDUGAAN UMUR SIMPAN .....	8
D. PENGARUH AKTIVITAS AIR, KADAR AIR, TEM- PERATUR DAN OKSIGEN PADA KETENGIKAN ...	11
E. PENGARUH KEMASAN FILM TERHADAP TIMBUL- NYA KETENGIKAN .....	13
F. SIMULASI KOMPUTER DAN MODEL MATEMATIKA UNTUK MUTU MAKANAN .....	14
III. PENDEKATAN TEORITIS .....	21
A. REAKSI KINETIK OKSIDASI LEMAK .....	21
B. PERPINDAHAN OKSIGEN DAN UAP AIR KE DALAM KEMASAN .....	21

Halaman ini merupakan bagian dari dokumen yang dihasilkan oleh sistem manajemen dokumen IPB University. Untuk informasi lebih lanjut, silakan kunjungi website IPB University di alamat: www.ipb.ac.id.

	Halaman
IV. BAHAN DAN METODA PENELITIAN .....	25
A. BAHAN DAN ALAT .....	25
B. METODA PENELITIAN .....	26
V. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	40
A. KURVA SORPSI ISOTHERM .....	40
B. PENGARUH BERBAGAI FAKTOR TERHADAP KADAR AIR PRODUK .....	42
C. PENGARUH BERBAGAI FAKTOR TERHADAP PENYERAPAN OKSIGEN COOKIES .....	47
D. TIMBULNYA KETENGIKAN SELAMA PENYIMPANAN .....	50
E. SIMULASI DARI KENAIKAN BILANGAN PEROKSIDA .....	52
F. PENDUGAAN UMUR SIMPAN .....	57
VI. KESIMPULAN DAN SARAN .....	61
A. KESIMPULAN .....	61
B. SARAN .....	62
LAMPIRAN .....	64
DAFTAR PUSTAKA .....	74

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Contoh kriteria mutu produk pada kadar air kritis .....	9
Tabel 2. Aktivitas air dari berbagai larutan garam jenuh pada suhu 20°C, 30°C dan 40°C .....	31
Tabel 3. Tetapan energi (C) dan tetapan kadar air monomolekular .....	42
Tabel 4. Parameter-parameter untuk simulasi ....	53

## DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 1.	Tahap-tahap simulasi sistem .....	15
Gambar 2.	Diagram alir simulasi ketengikan cookies .....	23
Gambar 3.	Diagram alir simulasi kenaikan kadar air cookies .....	24
Gambar 4.	Alat pemotong ( <i>slicer</i> ) .....	27
Gambar 5.	Oven pengering .....	28
Gambar 6.	Mesin pengepres .....	28
Gambar 7.	(A). Ampas hasil pengepresan, (B). Tepung kelapa-singkong .....	30
Gambar 8.	Cookies dari tepung kelapa-singkong .	30
Gambar 9.	(A). Botol jar untuk penetapan kurva sorpsi isotherm cookies, (B). Botol jar untuk penentuan konsumsi oksigen, (C). Stoples untuk pengukuran laju kenaikan bilangan peroksida sebagai fungsi dari aktivitas air dan oksigen	33
Gambar 10.	Cosmotector .....	34
Gambar 11.	Pengukuran oksigen di dalam botol jar dengan menggunakan cosmotector .....	34
Gambar 12.	Kurva sorpsi isotherm cookies pada suhu 20°C, 30°C dan 40°C .....	41
Gambar 13.	Grafik kenaikan kadar air cookies selama penyimpanan pada suhu 30°C dan Rh 75% .....	43
Gambar 14.	Hasil pendugaan kadar air cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat kelembaban relatif .....	44



Hal. Cera, pindai, dan unggah ke  
 1. Oling, milih, dan unggah ke  
 2. Pengiriman hasil unggahan ke  
 3. Hal. Cera, pindai, dan unggah ke

Gambar 15.	Hasil pendugaan kadar air cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat suhu penyimpanan .....	45
Gambar 16.	Hasil pendugaan kadar air cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat ketebalan kemasan .....	45
Gambar 17.	Hasil pendugaan kadar air cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat permeabilitas uap air kemasan, KW (g H <sub>2</sub> O/m <sup>2</sup> mmg hari) .....	46
Gambar 18.	Hasil pendugaan penyerapan oksigen cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat kelembaban relatif .....	48
Gambar 19.	Hasil pendugaan penyerapan oksigen cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat suhu penyimpanan .....	48
Gambar 20.	Hasil pendugaan penyerapan oksigen cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat ketebalan kemasan .....	49
Gambar 21.	Hasil pendugaan penyerapan oksigen cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat permeabilitas oksigen kemasan, KO (cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> mm hari mm Hg) ..	49
Gambar 22.	Grafik kenaikan bilangan peroksida cookies selama penyimpanan pada suhu 30°C dan Rh 75% .....	51
Gambar 23.	Hasil pendugaan kenaikan bilangan peroksida cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat kelembaban relatif .....	53
Gambar 24.	Hasil pendugaan kenaikan bilangan peroksida cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat suhu .....	55

Gambar 25.	Hasil pendugaan kenaikan bilangan peroksida cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat berat produk ..	55
Gambar 26.	Hasil pendugaan kenaikan bilangan peroksida cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat ketebalan kemasan .....	56
Gambar 27.	Hasil pendugaan kenaikan bilangan peroksida cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat permeabilitas oksigen kemasan, KO ( $\text{cm}^3 \text{O}_2/\text{m}^2 \text{mm}$ hari mm Hg) .....	56
Gambar 28.	Grafik penyerapan oksigen cookies pada suhu 20°C .....	57
Gambar 29.	Grafik penyerapan oksigen cookies pada suhu 30°C .....	58
Gambar 30.	Grafik penyerapan oksigen cookies pada suhu 40°C .....	58

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Syarat mutu biskuit menurut Standar Industri Indonesia .....	64
Lampiran 2. Komposisi bahan baku, kelapa kering dan singkong kering .....	66
Lampiran 3. Komposisi bungkil kelapa-singkong dan cookies .....	67
Lampiran 4. Simulasi komputer untuk menduga kadar air cookies .....	68
Lampiran 5. Simulasi komputer untuk menduga kenaikan bilangan peroksida cookies .	69
Lampiran 6. Data hasil pengukuran kadar air untuk penentuan kurva sorpsi isotherm .....	70
Lampiran 7. Data hasil pengukuran konsumsi oksigen .....	71
Lampiran 8. Data hasil pengukuran konsumsi oksigen untuk pengukuran laju kenaikan bilangan peroksida sebagai fungsi dari oksigen dan suhu .....	72
Lampiran 9. Data hasil pengukuran kadar air dan bilangan peroksida cookies yang disimpan pada suhu 30°C dan Rh 75% ...	73





## I. PENDAHULUAN

Cookies merupakan makanan ringan yang enak, manis dan renyah. Di Indonesia, cookies disenangi oleh semua orang. Hal ini terlihat dari produksi cookies pada tahun 1989 sebanyak 11.979 ton. Disamping itu cookies produksi Indonesia juga telah diekspor ke berbagai negara. Berdasarkan data statistik tahun 1991 cookies produksi Indonesia yang diekspor sebanyak 1.093.412 kg dan negara pengimpor terbesar adalah Singapura.

Selama penyimpanan cookies dapat menjadi rusak. Hal ini disebabkan oleh adanya reaksi oksidasi yang dapat menimbulkan bau dan rasa tengik, penurunan nilai gizi dan perubahan tekstur dan warna. Penentuan yang tepat dari timbulnya ketengikan cookies selama penyimpanan sangat penting untuk menentukan tanggal kadaluarsa.

Cookies yang ada di pasaran ada yang sudah dicantumkan tanggal kadaluarsanya dan ada yang belum. Kebanyakan umur simpan cookies tersebut diperoleh dengan cara tradisional yaitu dengan menyimpan produk tersebut sampai rusak. Cara ini membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang besar. Salah satu cara untuk menentukan umur simpan yang tidak membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang banyak adalah simulasi model dengan bantuan komputer. Simulasi model dengan bantuan komputer untuk menentukan

umur simpan cookies dibuat berdasarkan laju timbulnya ketengikan yang ditandai dengan adanya peroksida, sebagai fungsi dari aktivitas air, penyerapan oksigen dan suhu dengan permeabilitas oksigen dan uap air dari bahan kemas yang sesuai.

Pada penelitian ini, simulasi model dengan bantuan komputer dibuat untuk menduga penambahan kadar air, penyerapan oksigen dan timbulnya ketengikan cookies selama penyimpanan. Simulasi ini akan berguna bagi industri-industri dalam memilih bahan kemas dan kondisi penyimpanan yang sesuai untuk cookies.

Bilangan peroksida dipilih sebagai tanda dimulainya ketengikan karena adanya peroksida dalam cookies menyebabkan penurunan nilai gizi dan vitamin-vitamin yang larut dalam lemak terutama vitamin A dan vitamin E beserta asam lemak esensial akan menjadi rusak.

Untuk penganekaragaman industri pengolahan pangan khususnya di pedesaan maka dikembangkan suatu industri rakyat yang dapat meningkatkan taraf hidup petani di desa. Untuk itu Balai Besar Industri Hasil Pertanian telah mengembangkan suatu penelitian tentang cara mengekstraksi kelapa untuk diambil minyaknya dengan penambahan singkong yang bertujuan untuk memudahkan pengepresan, menambah karbohidrat ampas dan meningkatkan jumlah ampas yang dihasilkan.

Ampas hasil ekstraksi ini kemudian dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan cookies. Caranya adalah dengan menggiling ampas hasil ekstraksi kelapa dan singkong menjadi tepung kelapa-singkong. Jadi cookies dari tepung kelapa-singkong inilah yang digunakan pada penelitian ini untuk menentukan nilai parameter-parameter dalam model dan untuk menguji model yang dibuat.

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. menduga kenaikan kadar air cookies selama penyimpanan.
2. menduga kenaikan penyerapan oksigen cookies selama penyimpanan.
3. menentukan konstanta laju reaksi ketengikan (kenaikan bilangan peroksida) sebagai fungsi dari laju penyerapan oksigen dan suhu.
4. menduga umur simpan cookies dengan menggunakan simulasi.



## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. COOKIES

Dalam kehidupan sehari-hari kita mengenal bermacam-macam biskuit. Menurut Standar Industri Indonesia (1990), biskuit diklasifikasikan menjadi empat jenis yaitu biskuit keras, crackers, cookies dan wafer. Biskuit keras adalah jenis biskuit yang dibuat dari adonan keras, berbentuk pipih, bila dipatahkan penampang potongannya bertekstur padat, dapat berkadar lemak tinggi atau rendah. Crackers adalah jenis biskuit yang dibuat dari adonan keras, melalui proses fermentasi atau pemeraman, berbentuk pipih yang rasanya lebih mengarah ke rasa asin dan renyah, serta bila dipatahkan penampang potongannya berlapis-lapis. Cookies adalah jenis biskuit yang dibuat dari adonan lunak, berkadar lemak tinggi, renyah dan bila dipatahkan penampang potongannya bertekstur kurang padat. Wafer adalah jenis biskuit yang dibuat dari adonan cair, berpori-pori kasar, renyah dan bila dipatahkan penampang potongannya berongga-rongga. Syarat mutu biskuit menurut Standar Industri Indonesia dapat dilihat pada Lampiran 1.

Menurut Whiteley (1971), biskuit diklasifikasikan menjadi dua group yaitu adonan keras dan adonan lunak.

Adonan keras terdiri dari crackers dan jenis biskuit setengah manis seperti *Marie Regal*. Adonan keras mempunyai kandungan gula rendah atau tidak sama sekali dan kandungannya lemaknya jarang melebihi 22,0% dari kandungan tepung. Adonan lunak termasuk semua jenis biskuit manis.

Cookies termasuk dalam adonan lunak. Menurut Whiteley (1971), tepung yang digunakan untuk membuat adonan lunak mempunyai gluten antara 7,0 - 9,0 %. Susunan dari sebuah biskuit manis tergantung dari bentuk adonan, lemak dan pengembangan gluten. Kualitas rata-rata biskuit manis mempunyai kadar lemak sekitar 30,0% dari kandungan tepung.

Meskipun kandungan gula tergantung dari kandungan tepung, penambahan bahan seperti tepung jagung, gandum atau kelapa dalam jumlah yang cukup, akan menjadi bahan pemanis. Jumlah dan tipe dari gula akan berpengaruh terhadap pengembangan selama pemanggangan, jarak tekstur dan kerapuhan dari potongan biskuit (Whiteley, 1971).

Menurut Matz dan Theresa (1978), bahan baku dari cookies dibagi dalam bahan terikat dan bahan pelunak tergantung dari pengaruhnya terhadap produk akhir. Bahan terikat adalah tepung, air, susu, putih telur dan coklat. Bahan pelunak adalah gula, bahan pemanis, ragi dan kuning telur.

Menurut Whiteley (1971), waktu pemanggangan adalah faktor utama yang mempengaruhi produktivitas. Waktu pemanggangan ditentukan oleh tipe dan ukuran dari biskuit dengan mempertimbangkan ratio berat terhadap luas dan kerapatan biskuit. Biskuit yang tebal dan panjang akan membutuhkan waktu pemanggangan lebih lama daripada biskuit yang lebar dan tipis. Untuk adonan lunak manis dibutuhkan waktu rata-rata 6,5 - 7 menit.

Manfaat biskuit selain sebagai makanan ringan di waktu luang, juga sebagai sumber gizi. Hal ini dapat dilihat dari komposisi biskuit pada Lampiran 1.

## B. KERUSAKAN COOKIES

Kerusakan cookies umumnya disebabkan oleh pertumbuhan mikroba dan perubahan kimia (ketengikan). Pertumbuhan mikroba bahan pangan dipengaruhi oleh aktivitas air bahan pangan, suhu penyimpanan dan suhu pengolahan, ketersediaan oksigen, pH bahan dan kandungan gizi bahan pangan (Rizal dan Hariyadi, 1990).

Menurut Rizal dan Hariyadi (1990), pada bahan pangan yang mempunyai aktivitas air 0,50 seperti mie, spaghetti dan produk-produk bahan pangan lainnya (kadar air 12%) serta bumbu-bumbu dapur (kadar air 10%), tepung telur (kadar air 5%) pada aktivitas air 0,4,

kue-kue kering, biskuit crackers, tepung roti dan bahan pangan (kadar air 3-5%) dengan aktivitas air 0,3 serta susu bubuk (kadar air 2-3%), lebih aman terhadap kemungkinan serangan jasad renik.

Kandungan lemak dalam bahan pangan tersusun dari gliserol dan asam lemak. Dikenal lebih dari 24 macam asam-asam lemak, ada yang disebut asam lemak tidak jenuh, yaitu asam lemak yang mengandung satu atau lebih ikatan rangkap. Asam lemak tidak jenuh mudah terse-rang oksigen, sehingga menimbulkan ketengikan. Reaksi lain terhadap kandungan lemak bahan pangan adalah reaksi hidrolisis yang disebabkan oleh basa, asam dan enzim. Terjadinya ketengikan pada lemak, akan menurunkan nilai gizi bahan pangan tersebut, karena vitamin-vitamin yang larut dalam lemak dan bila terdeteksi oleh indera akan menurunkan kesukaan konsumen (Rizal dan Hariyadi, 1990).

Adanya air bebas dalam bahan pangan, dapat mengakibatkan terjadinya hidrolisis lemak menjadi gliserol dan asam lemak. Reaksi ini dirangsang oleh asam, basa dan enzim penghidrolisis lemak.

Enzim lipase berperan penting dalam hal ini dan terdapat pada semua jaringan yang mengandung minyak (hewan atau tumbuhan) serta juga berasal dari kapang *Aspergillus* dan *Penicillium* yang mudah tumbuh pada produk-produk yang terbuat dari kelapa sehingga

menimbulkan bau tengik. Mengingat kapang adalah mikroba yang paling tahan terhadap kekeringan, maka hidrolisis oleh enzim lipase dapat terjadi pada produk-produk bahan berkadar air relatif rendah.

### C. PENDUGAAN UMUR SIMPAN

Istilah umur simpan secara umum mengandung pengertian jangka waktu dalam periode antara saat produk mulai dikemas dan penggunaannya, dimana mutu produk masih memenuhi syarat yang ditentukan untuk dikonsumsi (Paine, 1962). Menurut Rizal et al (1989), umur simpan suatu produk merupakan suatu parameter ketahanan produk selama penyimpanan terutama jika kondisinya beragam.

Umur simpan tergantung dari beberapa faktor seperti temperatur, kelembaban, tekanan parsial oksigen, cahaya, permeabilitas kemasan dan variasi pengemasan (Quast dan Karel, 1972).

Usaha untuk menduga umur simpan secara tepat dengan adanya data produk, pengemasan, distribusi dan kondisi pengemasan serta alternatif bahan pengemasan yang telah tersedia, dapat dilakukan dengan memperhatikan potensi kondisi di atas untuk memperpanjang masa pemakaian isi produk (Paine, 1962).

Umur simpan ini erat kaitannya dengan kadar air kritis yaitu kadar air produk dimana secara



organoleptik masih dapat diterima konsumen (Rizal et al, 1989). Hubungannya sangat erat, karena diinginkan untuk dapat mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kadar air kritis tersebut (Tabel 1).

Tabel 1. Contoh kriteria mutu produk pada kadar air kritis

Macam	Kriteria
1. Biji-bijian	Tidak hancur, tidak berjamur, keras
2. Biskuit, produk kering	Tidak lembek, renyah
3. Roti tawar	Tidak keras, tidak berjamur
4. Gula	Keras, tidak lengket
5. Bumbu-bumbu	Tidak lengket, berbentuk bubuk, tidak berjamur

Sumber : Rizal et al (1989)

Perkiraan umur simpan tepat digunakan untuk jenis produk dalam kemasan tertutup dengan menggunakan panas, dimana transmisi uap air dapat menurunkan potensi produk (Paine, 1962).

Menurut Rizal et al (1989), faktor-faktor yang mempengaruhi umur simpan makanan yang dikemas adalah sebagai berikut :

- a. Keadaan alamiah atau sifat makanan dan mekanisme berlangsungnya perubahan, misalnya kepekaan terhadap air dan oksigen, dan kemungkinan terjadinya perubahan-perubahan kimia internal dan fisik.

- b. Ukuran kemasan dalam hubungannya dengan volumenya.
- c. Kondisi atmosfer (terutama suhu dan kelembaban) dimana kemasan dapat bertahan selama pengangkutan dan sebelum digunakan.
- d. Ketahanan keseluruhan dari kemasan terhadap keluar masuknya air, gas dan bau, termasuk perekatan, penutupan dan bagian-bagian yang terlipat.

Labuza (1982a) mengemukakan hubungan antara aktivitas air dan mutu makanan yang dikemas :

1. Produk dapat dikatakan tidak aman pada selang aktivitas air sekitar 0,7 - 0,75 dan diatas selang tersebut mikroorganisme berbahaya dapat mulai tumbuh dan produk menjadi beracun.
2. Pada selang aktivitas air sekitar 0,6 - 0,7, jamur dapat mulai tumbuh.
3. Aktivitas air sekitar 0,35 - 0,5 dapat menyebabkan makanan ringan kehilangan kerenyahannya.
4. Produk pasta yang terlalu kering selama pengeringan atau kehilangan air selama distribusi atau penyimpanan, akan mudah hancur dan rapuh selama dimasak atau karena guncangan mekanis. Hal ini terjadi pada selang aktivitas air sekitar 0,4 - 0,5.

Menurut Rizal et al (1989), terdapat tiga metoda untuk penentuan umur simpan bahan pangan yaitu metoda konvensional, metoda akselerasi dan metoda nilai waktu

paruh. Metoda konvensional adalah metoda dengan menyimpan bahan pangan sampai bahan pangan tersebut rusak. Metoda akselerasi adalah metoda yang menggunakan kondisi yang ekstrim (suhu tinggi atau kelembaban tinggi) sehingga dapat mempercepat terjadinya kerusakan bahan pangan (Labuza dan Mary, 1988). Metoda nilai paruh adalah metoda dengan menyimpan bahan pangan sampai parameter yang menentukan kerusakan bahan pangan tersebut meningkat atau turun sampai 50%.

#### D. PENGARUH AKTIVITAS AIR, KADAR AIR, SUHU DAN OKSIGEN PADA KETENGIKAN

Seperti yang telah dikemukakan di atas bahwa ketengikan terjadi karena adanya oksidasi asam lemak tidak jenuh. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian tentang oksidasi lemak pada berbagai macam produk. Marcuse dan Fredrikson (1968) menunjukkan pengaruh oksigen terhadap laju oksidasi lemak pada suatu model. Laju oksidasi lemak menurun dengan cepat pada tingkat oksigen di bawah 5%.

Pengaruh aktivitas air atau kelembaban kesetimbangan terhadap laju oksidasi makanan kering dan model sistem dipelajari oleh Labuza et al. (1969, 1971) dan Heidelbaugh et al. (1971). Hasilnya menunjukkan bahwa biasanya laju oksidasi tinggi pada aktivitas air yang sangat rendah dan menurun sejalan dengan aktivitas air

sampai mencapai titik minimum. Pada aktivitas air yang lebih tinggi (biasanya lebih besar dari 0,5), laju oksidasi meningkat sejalan dengan aktivitas air.

McWatters et al. (1971) menetapkan bilangan peroksida biji kacang panggang sebagai fungsi dari waktu pada suhu yang berbeda. Pada beberapa kasus, bilangan peroksida meningkat dalam enam bulan pertama dan kemudian menurun sampai tingkat yang lebih rendah dari nilai awal. Kadar air yang tinggi menghasilkan bilangan peroksida yang tinggi pula.

Cavaletto et al (1966), Dela Cruz et al. (1966) dan Cavaletto dan Yamamoto (1968, 1971) mempelajari faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas kacang *macadamia*. Mereka menemukan bahwa stabilitas produk menurun dengan meningkatnya kadar air. Cahaya tidak memberikan pengaruh terhadap stabilitas produk.

Fuller et al. (1971) mempelajari pengaruh minyak goreng dan cahaya terhadap stabilitas penyimpanan kripik kentang. Mereka menemukan bahwa lampu pijar mempercepat perubahan mutu. Penambahan antioksidan pada minyak goreng tidak meningkatkan stabilitas penyimpanan kripik.

Quast dan Karel (1972a) melakukan penelitian tentang pengaruh faktor-faktor lingkungan terhadap laju oksidasi kripik kentang. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada kelembaban yang tinggi, laju

oksidasi meningkat dan pada aktivitas air 0,40 produk sudah tidak dapat diterima karena sudah tidak renyah. Cahaya memberikan pengaruh terhadap laju oksidasi dan pengaruhnya semakin kuat pada aktivitas air yang lebih tinggi. Pengaruh suhu pada laju oksidasi kripik kentang tidak begitu kuat. Tapi, biasanya suhu yang tinggi digunakan untuk mempercepat uji stabilitas. Hal ini dimungkinkan karena pada suhu yang sangat tinggi terjadi perubahan yang cepat. Laju oksidasi merupakan fungsi dari konsentrasi oksigen.

Dari penelitian di atas dapat dilihat bahwa pada aktivitas air, kadar air dan suhu yang tinggi dapat meningkatkan laju oksidasi lemak sehingga ketengikan juga meningkat. Adanya oksigen dapat meningkatkan laju oksidasi lemak.

#### **E. PENGARUH KEMASAN FILM TERHADAP TIMBULNYA KETENGIKAN**

Kemasan film melindungi produk dari lingkungan luar secara langsung. Perbedaan tekanan parsial oksigen dan aktivitas air antara lingkungan di dalam dan di luar kemasan menghasilkan perpindahan oksigen dan uap air melalui kemasan film.

Karel et al. (1971) mempelajari laju perpindahan uap air melalui beberapa tipe kemasan film pada berbagai kelembaban dan suhu. Hasilnya menunjukkan adanya hubungan linier antara kelembaban dengan laju

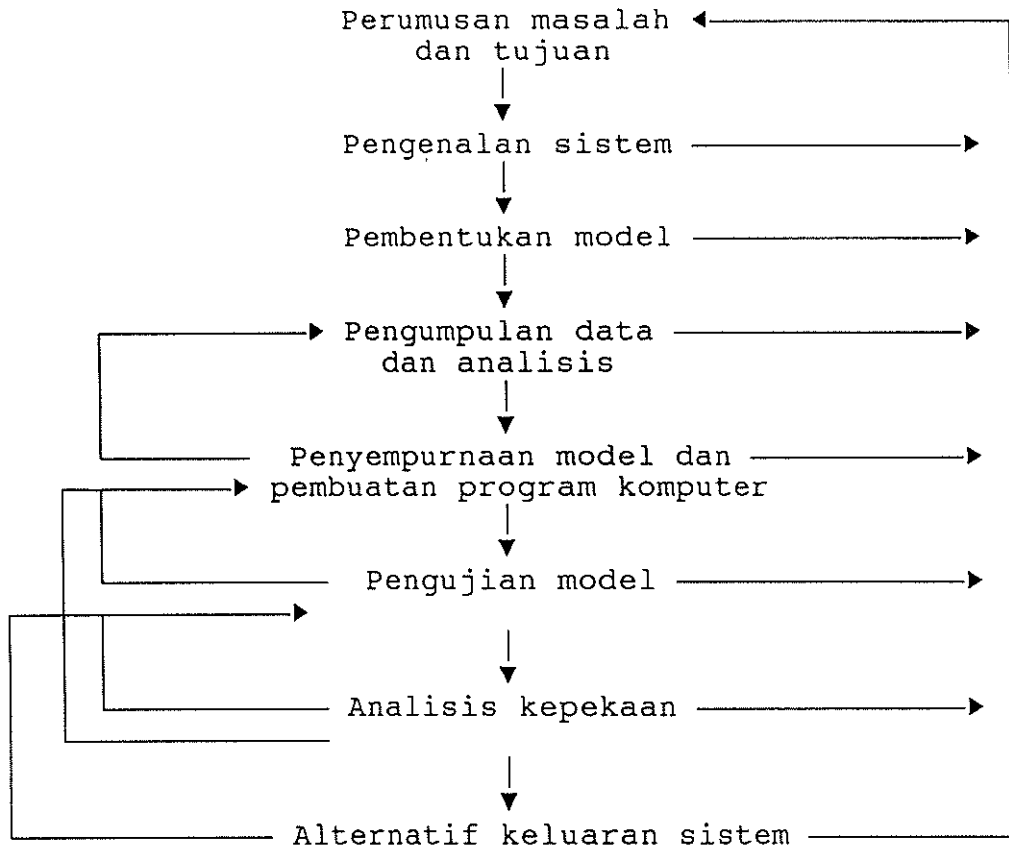
perpindahan uap air dan suhu dengan laju perpindahan uap air. Penelitian lebih lanjut menunjukkan adanya hubungan polinomial antara perpindahan uap air dan aktivitas air.

Quast dan Karel (1973) menunjukkan bahwa penurunan mutu produk tidak hanya disebabkan oleh perpindahan uap air ke dalam kemasan tapi juga oleh perpindahan oksigen. Perpindahan uap air dan oksigen menunjukkan permeabilitas dari kemasan film yang ditemukan sebagai fungsi dari berat jenis produk dan kelembaban di luar kemasan.

#### F. SIMULASI KOMPUTER DAN MODEL MATEMATIKA UNTUK MUTU MAKANAN

Menurut Dent dan Blackie (1979), secara umum simulasi terdiri dari dua tahap dasar, tahap pertama adalah proses pembentukan model dan tahap kedua adalah penggunaan model untuk menguji program tersebut dan mengontrolnya terhadap berbagai perubahan yang terjadi. Secara rinci tahap-tahap di dalam proses simulasi dapat dilihat pada Gambar 1.

Mizrahi et al. (1970) telah mengembangkan simulasi untuk memperkirakan kecepatan atau perubahan *browning* pada kubis yang dikeringkan dengan cara pengeringan beku dan disimpan dalam kemasan film dengan permeabilitas uap air yang berbeda. Program komputer yang



Gambar 1. Tahap-tahap simulasi sistem (Dent dan Blackie, 1979).

dibuat berdasarkan reaksi kinetik *browning*, karakteristik kemasan film dan kadar air produk.

Singh et al (1984) telah mengembangkan simulasi komputer untuk kestabilan penyimpanan dari *intermediate moisture apples* pada suhu yang berubah-ubah. Simulasi yang dibuat berdasarkan pada perpindahan panas dan massa, reaksi kimia dan ada atau tidaknya bakteri.

Pendugaan dengan komputer terhadap kestabilan penyimpanan produk udang kering beku yang disimpan dalam kemasan semi permeabel dan kerusakan yang disebabkan oleh oksidasi telah dikembangkan oleh Simon et al. (1971). Organoleptik yang dihasilkan semakin memburuk karena adanya penyerapan oksigen dan kehilangan pigmen karoten.

Labuza (1982) memberikan model matematika untuk menghitung waktu pertambahan uap air makanan yang dikemas:

$$t = [\ln\{(m_e - m_i)/(m_e - m)\}] / [(kH_2O/x)(A/Ws)(P_o/b)] \quad (1)$$

dimana :

t : waktu (hari)

$m_e$  : kadar air kesetimbangan (g H<sub>2</sub>O/g padatan)

$m_i$  : kadar air awal (g H<sub>2</sub>O/g padatan)

m : kadar air pada waktu t (g H<sub>2</sub>O/g padatan)

$kH_2O$  : permeabilitas kemasan (g mm/m<sup>2</sup> atm hari)

x : tebal kemasan (mm)





A : luas kemasan ( $m^2$ )

$W_s$  : berat padatan kering (g)

$P_o$  : tekanan uap air jenuh pada temperatur T (atm)

b : tekanan barometer (atm)

Persamaan ini mengasumsikan bahwa sorpsi isotherm merupakan fungsi linier dari kelembaban relatif, pada temperatur dan kelembaban yang konstan dan  $k/x$  tidak bervariasi.

Quast dan Karel (1972a) telah mengembangkan model matematika untuk oksidasi kripik kentang yang merupakan fungsi dari tekanan parsial oksigen, kelembaban relatif kesetimbangan dan tingkat oksidasi. Kemudian Quast dan Karel (1972b) mengembangkan simulasi komputer untuk kripik kentang yang disebabkan oleh dua mekanisme yang berinteraksi yaitu oleh oksidasi dan bertambahnya aw produk. Kecepatan terkumpulnya oksigen dalam kemasan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\frac{d(VOP_2)/V}{dt} = \frac{T A kO_2}{T_o V x} (PO_2O - PO_2) - \frac{T W Laju}{T_o V 1000} \quad (2)$$

dimana :

$VO_2$  : isi oksigen dalam kemasan ( $cm^3$ )

V : volume bebas dalam kemasan ( $cm^3$ )

t : waktu (jam)

$PO_2$  : tekanan parsial oksigen dalam kemasan (atm)

T : suhu ( $^{\circ}K$ )

To : suhu baku (273°K)

A : luas permukaan film (m<sup>2</sup>)

kO<sub>2</sub> : permeabilitas kemasan (cm<sup>3</sup> O<sub>2</sub> mm/m<sup>2</sup>jam atm)

x : ketebalan film (mm)

PO<sub>2</sub><sup>o</sup> : tekanan parsial oksigen di luar (atm)

W : berat produk (gram)

Laju : kecepatan oksidasi (konsumsi oksigen per waktu)

Dari hasil percobaan, Quast dan Karel (1972b) menurunkan persamaan kecepatan oksidasi kripik kentang :

$$\text{Laju} = \frac{d(\text{EXT})}{dt} = \text{EXT} + \frac{P_1 + P_2 \text{ EXT}}{\text{RH}^{\frac{1}{2}}} - \frac{P_3 + P_4 \text{ PO}_2}{\text{PO}_2} \quad (3)$$

dimana :

EXT : jumlah oksigen yang sudah diserap produk (μl O<sub>2</sub> / g)

P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub> : konstanta

RH : kelembaban nisbi (%)

Quast dan Karel (1973) menggunakan simulasi komputer ini untuk menghitung permeabilitas optimal untuk meminimumkan kerusakan oleh dua mekanisme yang berinteraksi ini.

Aktivitas air di dalam kemasan dipengaruhi oleh perpindahan uap air melalui kemasan film. Persamaan dasar untuk laju kenaikan kadar air (Labuza, 1982b) adalah :

$$dM/dt = (K/x) (A/Ws) P (a^o - a^i) \quad (4)$$

dimana :

$dM/dt$  : laju perpindahan uap air melalui kemasan film (g H<sub>2</sub>O/g padatan hari)

$K$  : konstanta permeabilitas film (g mm/m<sup>2</sup> atm hari)

$x$  : ketebalan film (mm)

$A$  : luas permukaan kemasan (m<sup>2</sup>)

$W_s$  : berat bahan dalam kemasan (g)

$P$  : tekanan uap air jenuh (atm)

$a^o$  : aktivitas air di luar kemasan

$a^i$  : aktivitas air di dalam kemasan

Aktivitas air di dalam kemasan dapat dihitung dengan persamaan Brunauer Emmett Teller (Brunauer et al., 1938) :

$$a^i/M (1 - a^i) = 1/w_m c + (c - 1) a^i/w_m c \quad (5)$$

dimana :

$M$  : kadar air kesetimbangan produk (g H<sub>2</sub>O/g padatan)

$w_m$  dan  $c$  : konstanta BET

Pada dasarnya untuk menentukan umur simpan diperlukan gas transpor (Labuza, 1982b) :

$$dO_2/dt = (K/x) (A/W_s) (P_{luar} - P_{dalam}) \quad (6)$$

dimana :

$dO_2/dt$  : laju penyerapan oksigen ke dalam kemasan (cm<sup>3</sup>/g padatan)

$K$  : permeabilitas kemasan ( $\text{cm}^3 \text{ mm}/\text{m}^2 \text{ mm Hg}$  hari)

$x$  : tebal kemasan (mm)

$A$  : luas kemasan ( $\text{m}^2$ )

$W_s$  : berat bahan dalam kemasan (g)

$P_{\text{luar}}$  : tekanan parsial oksigen luar (156 mm Hg)

$P_{\text{dalam}}$  : tekanan parsial oksigen dalam kemasan (mm Hg)

Hadi Karya Purwadaria (1977) menduga penurunan vitamin C dari makanan kering selama penyimpanan dengan menggunakan program komputer. Hasilnya menunjukkan hubungan antara laju penurunan vitamin C dan aktivitas air adalah linier pada suhu 10, 20 dan 30°C.

Cadoso dan Labuza (1983) menduga perubahan kadar air mie telur yang dikemas dengan berbagai jenis bahan pengemas dan disimpan dalam ruangan dengan suhu dan RH yang berubah-ubah dengan pola sinusoidal.





### III. PENDEKATAN TEORITIS

#### A. REAKSI KINETIK OKSIDASI LEMAK

Oksidasi lemak yang menimbulkan ketengikan mengikuti reaksi kinetik ordo satu (Labuza, 1982b) :

$$dC/dt = -k \cdot C^1 \tag{7}$$

dimana :

C : bilangan peroksida (mg O<sub>2</sub>/100 g contoh)

t : waktu (hari)

k : konstanta laju ordo satu

Persamaan (7) diintegrasikan terhadap dt dan dimasukkan kondisi awal C = C<sub>0</sub> pada t = t<sub>0</sub> sehingga didapatkan :

$$C = C_0 \cdot \exp (k t) \tag{8}$$

#### B. PERPINDAHAN OKSIGEN DAN UAP AIR KE DALAM KEMASAN

Faktor-faktor yang mempengaruhi timbulnya ketengikan adalah laju penyerapan oksigen, uap air dan suhu. Pada penelitian ini diasumsikan k hanya dipengaruhi oleh laju penyerapan oksigen dan suhu. Sedangkan aktivitas air dianggap hanya mempengaruhi kerenyahan dari cookies.

$$k = f (O_2, T) \tag{9}$$

dimana :

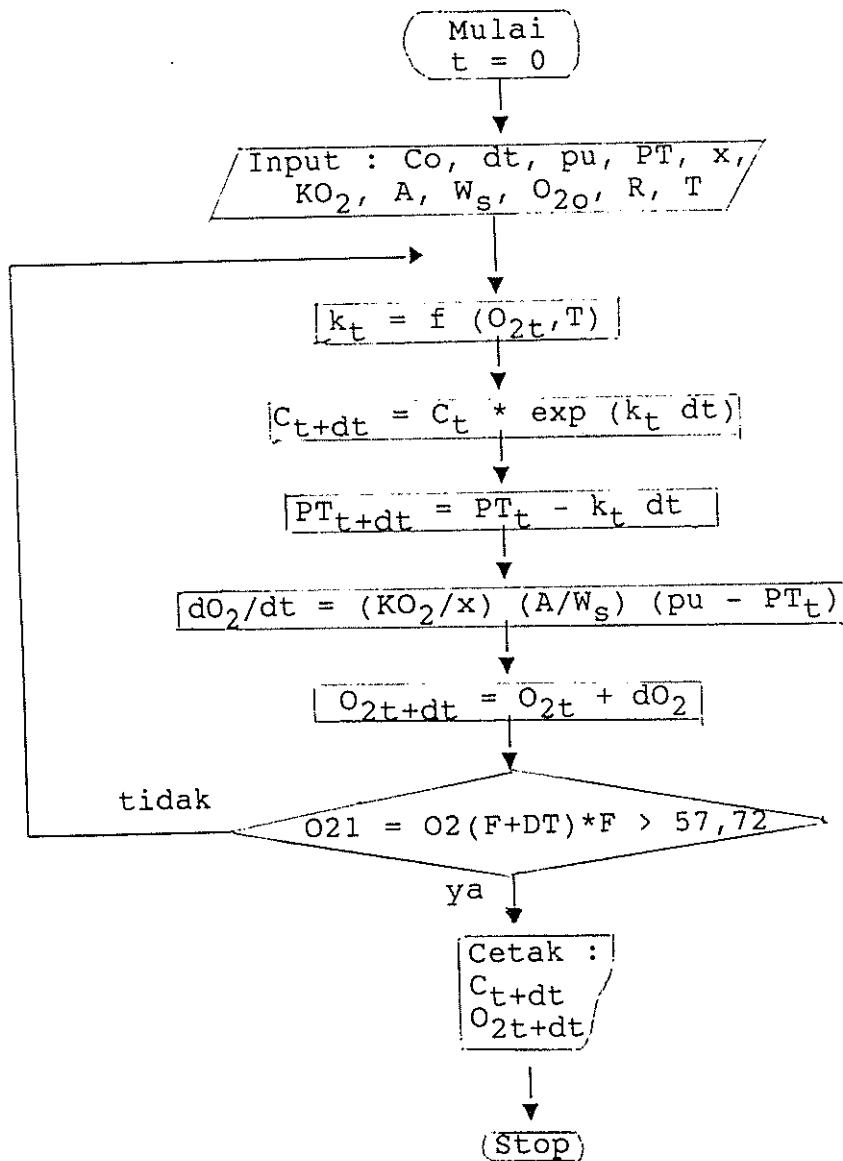
O<sub>2</sub> : laju penyerapan oksigen (cm<sup>3</sup>/hari g padatan)

T : suhu (°C)

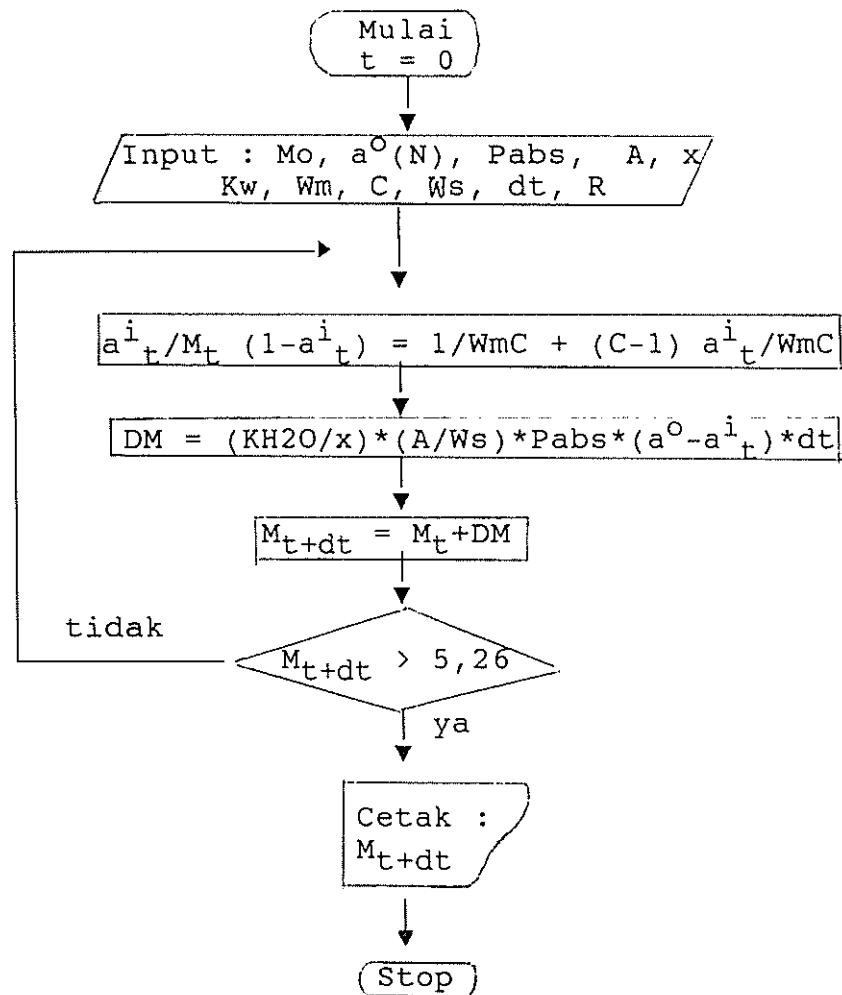
Hubungan antara konstanta laju dengan laju penyerapan oksigen dan suhu didapat dari percobaan.

Penambahan kadar air produk dihitung dengan menggunakan rumus BET (5). Konstanta BET didapat dari kurva sorpsi isotherm (Toledo, 1980).

Sedangkan laju penyerapan oksigen di dalam kemasan dihitung dengan persamaan (6). Diagram alir simulasi ketengikan cookies dapat dilihat pada Gambar 2. Diagram alir simulasi kenaikan kadar air cookies dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Diagram alir simulasi ketengikan cookies.



Gambar 3. Diagram alir simulasi kenaikan kadar air cookies.



## IV. BAHAN DAN METODA PENELITIAN

### A. BAHAN DAN ALAT

#### 1. Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah kelapa segar yang dibeli dari Pasar Pulo Empang dan singkong segar jenis Ardilla I yang dibeli dari Kebun Percobaan Muara.

Bahan-bahan yang ditambahkan untuk pembuatan cookies adalah tepung gula cap Kelinci, margarin Blue Band, vanili cap Achilles dan telur, yang semuanya dibeli di Supermarket Shangrilla. Sedangkan bahan kemas yang digunakan adalah plastik bermerek Jerapah yang dibeli di pasar Kramat Jati, Jakarta.

#### 2. Bahan Kimia

Bahan kimia yang digunakan untuk penelitian ini adalah NaOH, garam  $MgCl_2$ , NaBr, NaCl dan  $Na_2SO_4$ . Sedangkan untuk analisa peroksida digunakan kloroform, alkohol, asam asetat, larutan pati, KI dan tiosulfat. Untuk analisa proksimat bahan baku, kelapa kering, singkong kering, bungkil

kelapa-singkong dan cookies digunakan selen, asam sulfat, asam borat, metyl red, NaOH, HCl dan hexana.

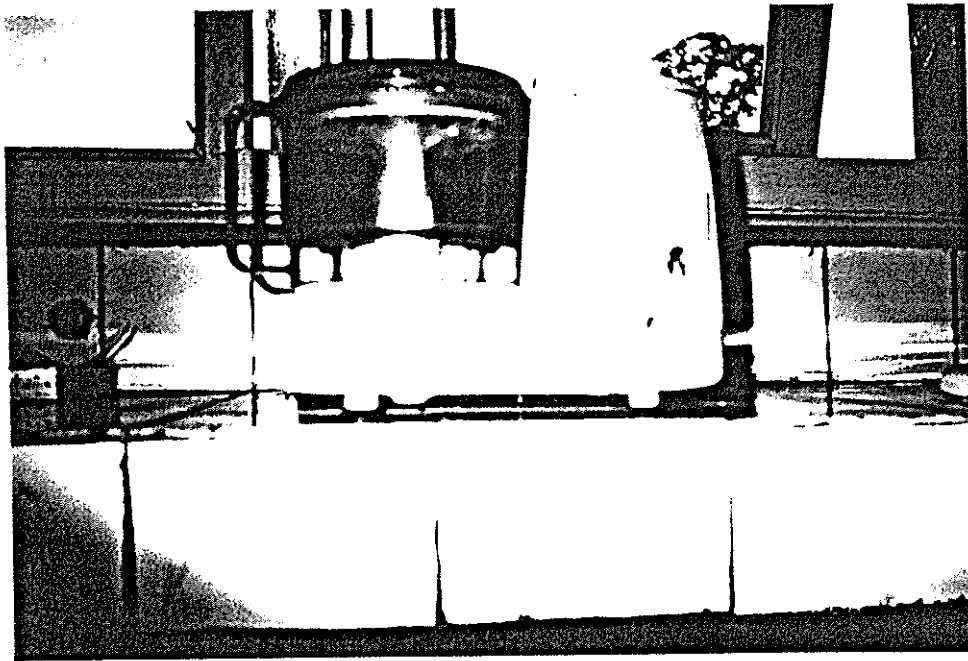
### 3. Alat-alat

Alat-alat yang digunakan untuk pembuatan tepung kelapa singkong adalah alat pemotong (*slicer*), oven pengering, mesin pengepres (*expeller press*) dan mesin penggiling. Sedangkan untuk pembuatan cookies dibutuhkan alat-alat *mixer*, pengaduk, loyang, baskom dan oven pemanggangan. Untuk analisa dan pengamatan dibutuhkan alat-alat oven, stoples dengan diameter 5 cm dan tinggi 18 cm, botol jar dengan diameter 5 cm dan tinggi 12 cm, desikator, aw-meter, cosmotector, termometer, gelas ukur, gelas piala, erlenmeyer, cawan, labu ukur, tabung kjeldahl, kondensor, timbangan, pipet, sudip, alat destilasi dan bunsen.

## B. METODA PENELITIAN

### 1. Pembuatan Tepung Kelapa-Singkong

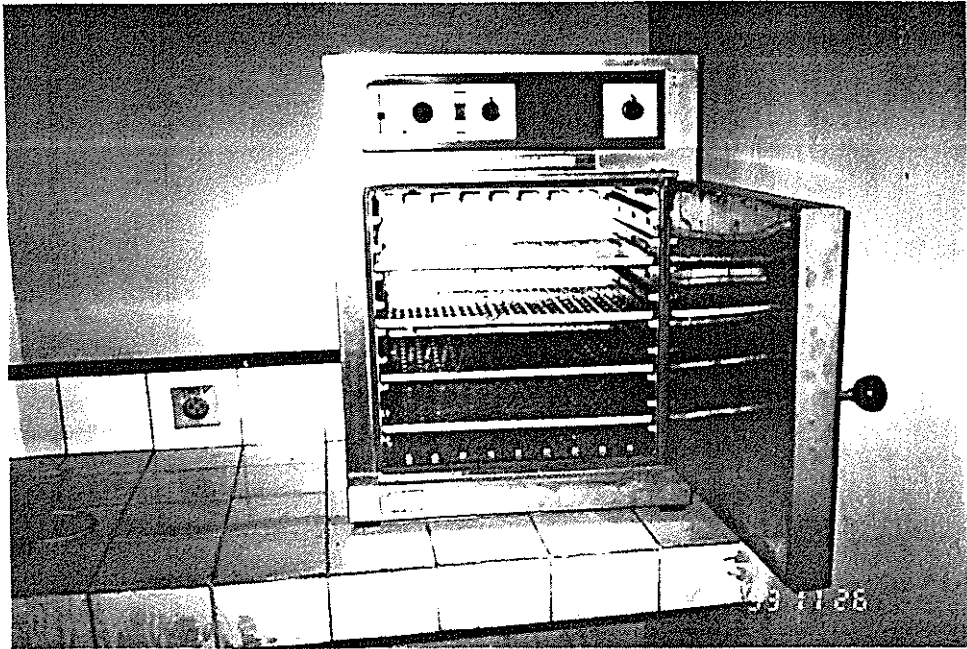
Daging kelapa yang akan dikeringkan terlebih dahulu diiris menjadi 3 - 5 mm dengan menggunakan alat pemotong (Gambar 4). Demikian juga dengan singkong, setelah dikupas kulit luarnya dan dicuci, singkong dipotong-potong menjadi bentuk



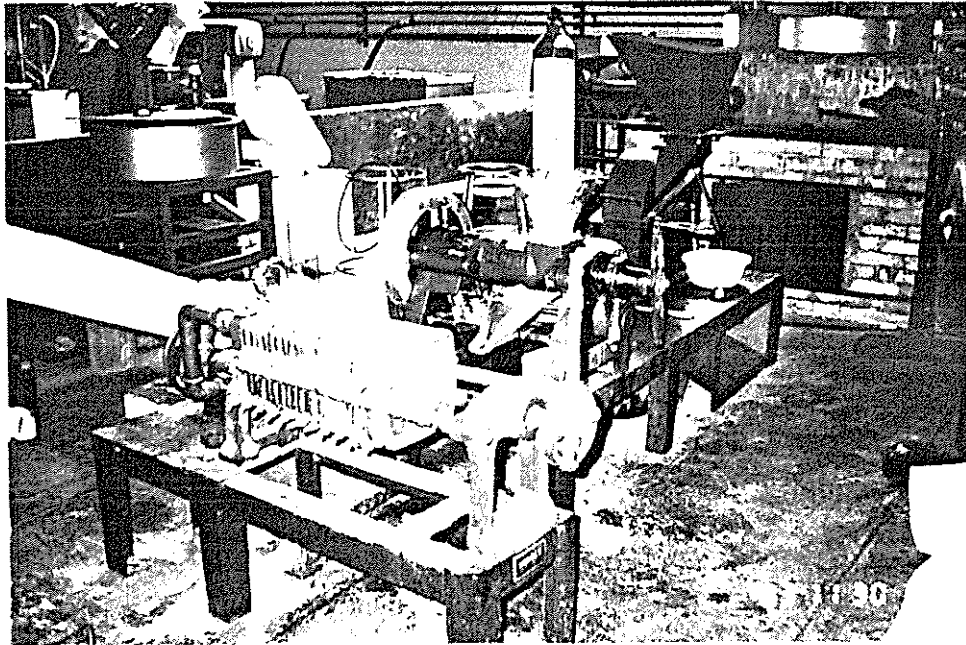
Gambar 4. Alat pemotong (*slicer*).

keripik dengan ketebalan sekitar 3 - 5 mm lalu dikeringkan. Pengeringan dilakukan dengan oven pengering (Gambar 5) pada suhu 50°C selama 13 jam untuk kelapa dan suhu 50°C selama 10 - 12 jam untuk singkong.

Irisan daging kelapa kering selanjutnya dicampur dengan keripik singkong kering dengan penambahan keripik singkong kering sebanyak 10% dari berat kelapa kering. Campuran itu kemudian diekstraksi dengan mesin pengepres (Gambar 6) sehingga diperoleh minyak kelapa dan bungkil (ampas). Bungkil kemudian dihancurkan dengan



Gambar 5. Oven pengering.



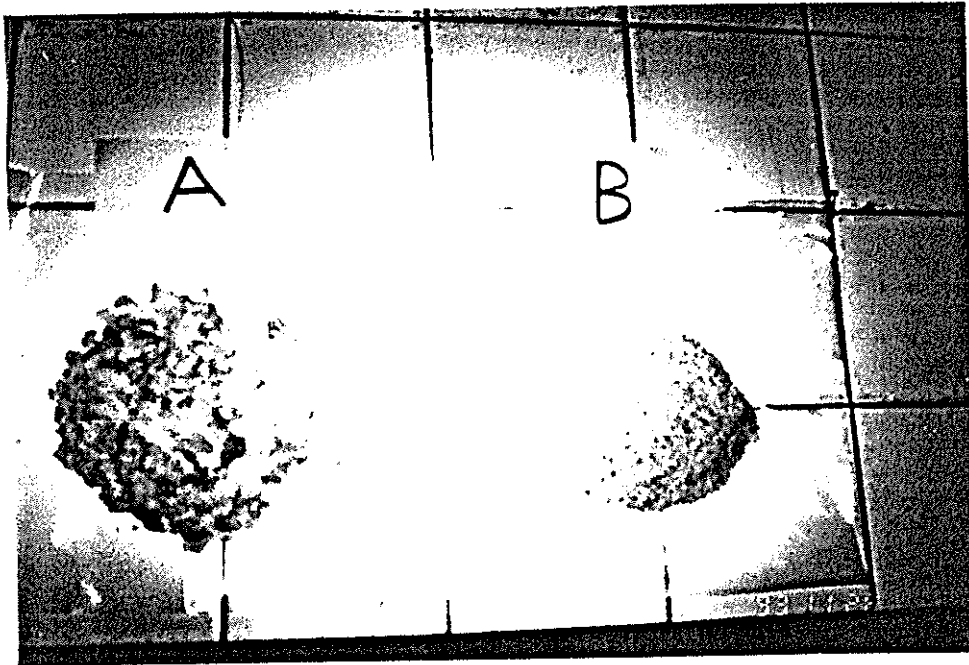
Gambar 6. Mesin pengepres (*expeller press*).

menggunakan mesin penggiling menjadi tepung kelapa singkong (Gambar 7).

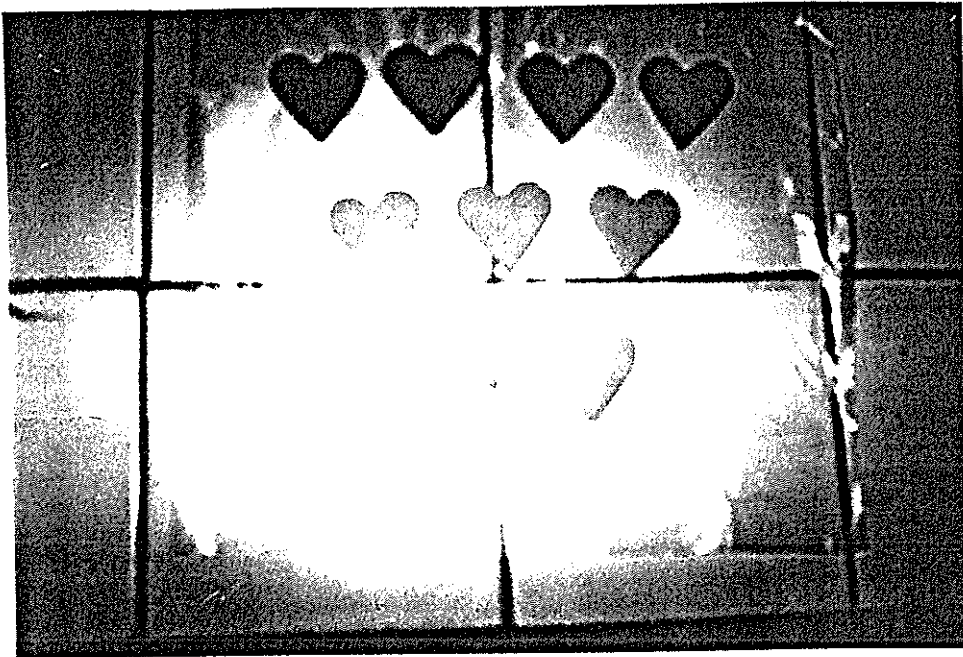
## 2. Pembuatan Cookies

Bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan cookies adalah tepung kelapa-singkong (250 g), kuning telur (4 butir), tepung gula (130 g), putih telur (2 butir), margarin (50 g) dan vanili secukupnya.

Mula-mula semua bahan disiapkan, kemudian kuning telur, tepung gula, margarin dan vanili dicampur dan dikocok menjadi satu sampai adonan mengembang (naik). Tepung kelapa-singkong dimasukkan ke dalam campuran dan diaduk pelan-pelan sampai homogen. Selanjutnya adonan ditambahkan dengan putih telur yang telah dikocok sampai mengembang dan kaku. Adonan diaduk sampai rata. Setelah campuran adonan lengkap, cetak adonan dalam loyang yang telah dioles margarin. Loyang dimasukkan ke dalam oven pemanggang dengan suhu 180°C sampai kue masak dan berwarna kuning keco-klatan (sekitar 20 menit). Cookies yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 7. (A). Ampas hasil pengepresan, (B). Tepung kelapa-singkong.



Gambar 8. Cookies dari tepung kelapa-singkong.

### 3. Penetapan Kurva Sorpsi Isotherm Cookies

Satu buah cookies yang telah diukur kadar airnya dimasukkan ke dalam botol jar yang berisi larutan garam jenuh. Botol tersebut ditutup dan diberi lapisan lilin pada tutupnya (Gambar 9) lalu disimpan pada suhu 20°C, 30°C dan 40°C. Setiap hari cookies tersebut diukur aktivitas airnya dengan menggunakan aw-meter. Pengukuran selesai jika aktivitas air cookies yang diukur sama dengan aktivitas air larutan garam jenuh yang digunakan. Larutan garam jenuh yang digunakan ada 5 jenis dan masing-masing mempunyai aktivitas air tertentu pada suhu tertentu (Tabel 2). Setelah aktivitas air cookies sama dengan larutan garam jenuh maka cookies tersebut diukur kadar airnya. Berdasarkan kadar air akhir dan aktivitas air, maka dapat dibuat kurva sorpsi isotherm untuk masing-masing suhu.

Tabel 2. Aktivitas air dari berbagai larutan garam jenuh pada suhu 20°C, 30°C dan 40°C.

Larutan garam jenuh		20°C	30°C	40°C
NaOH	a)	0.0698	0.0687	0.0676
MgCl <sub>2</sub>	b)	0.3300	0.3238	0.3176
NaBr	b)	0.5770	0.5603	0.5455
NaCl	b)	0.7542	0.7521	0.7500
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	a)	0.8690	0.8540	0.8390

Sumber : a) Rizal dan Hariyadi (1990)  
b) Rockland (1960)

#### 4. Pengukuran Laju Kenaikan Bilangan Peroksida Sebagai Fungsi Dari Oksigen Dan Suhu

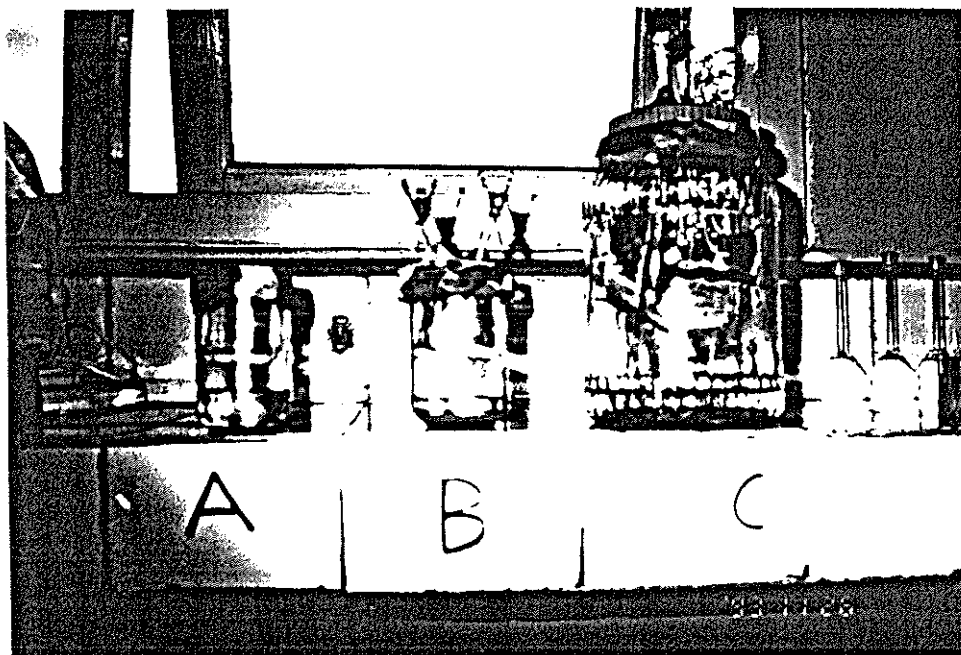
Sebanyak 4 buah cookies yang telah diukur kadar air dan bilangan peroksida, dimasukkan ke dalam stoples yang berisi larutan garam jenuh. Tutup stoples tersebut dilubangi untuk pengukuran oksigen dengan cosmotector dan jika tidak ada pengukuran lubang tersebut ditutup dengan lilin. Sekeliling tutup stoples tersebut juga ditutup dengan lilin (Gambar 9). Stoples berisi cookies tersebut disimpan selama satu bulan masing-masing pada suhu 20°C, 30°C dan 40°C. Kandungan oksigen awal diukur dan setelah satu bulan kandungan oksigennya diukur kembali demikian juga untuk kadar air dan bilangan peroksida cookies. Konstanta laju dari kenaikan bilangan peroksida dihitung dengan menggunakan persamaan (8). Hubungan fungsional antara konstanta laju dan aktivitas air serta oksigen dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan regresi.

#### 5. Penentuan Konsumsi Oksigen

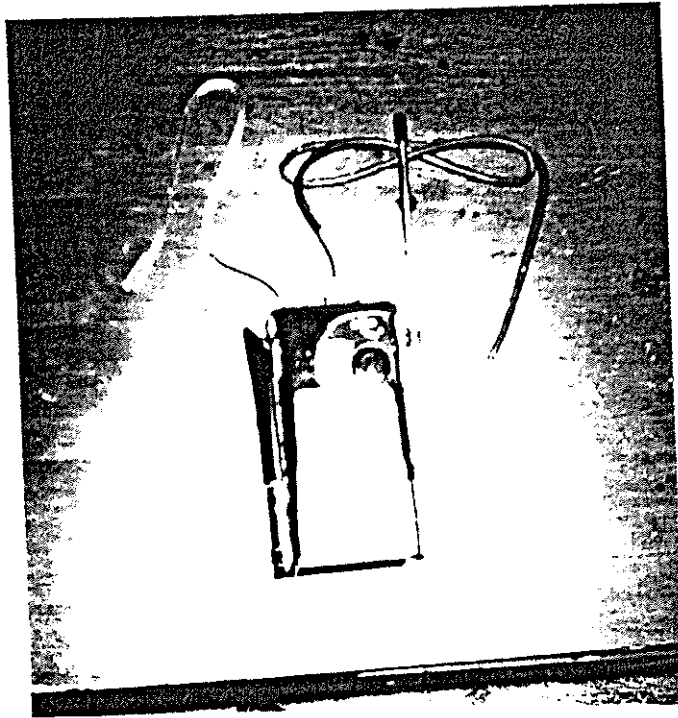
Sebuah cookies yang telah diukur kadar airnya dimasukkan ke dalam botol jar yang berisi larutan garam jenuh  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Tutup botol tersebut diberi lubang untuk pengukuran oksigen dengan cosmotector dan pada saat tidak ada pengukuran lubang tersebut



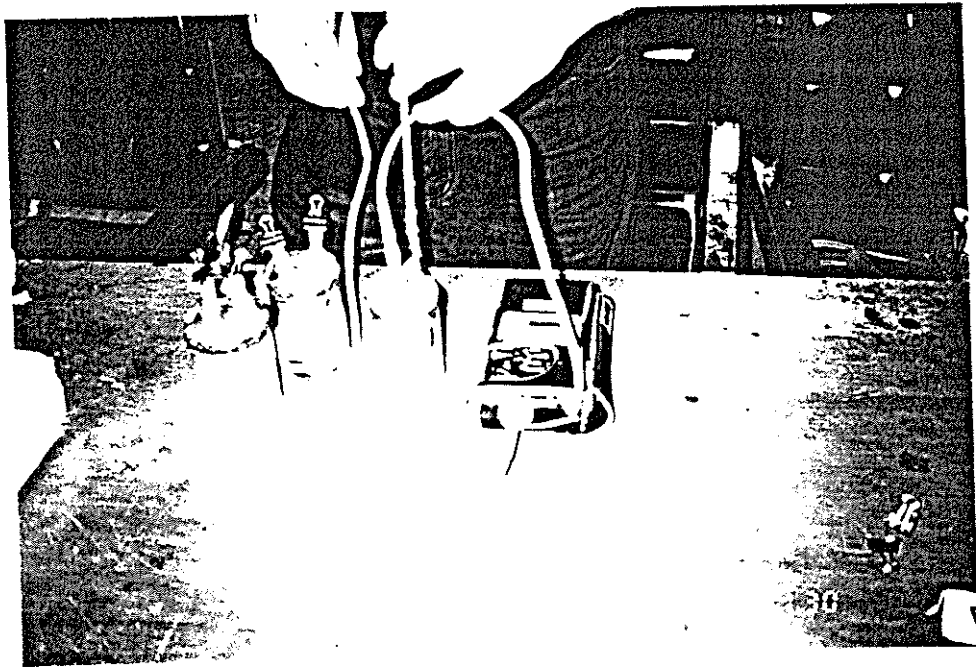
dan pada saat tidak ada pengukuran lubang tersebut ditutup dengan lilin. Sekeliling tutup juga diberi lapisan lilin (Gambar 9). Botol jar tersebut disimpan pada suhu 20°C, 30°C dan 40°C. Setiap tiga hari sekali diukur kandungan oksigen di dalam botol dan pengukuran dihentikan sampai didapat laju penurunan oksigen yang cepat sekali. Garam jenuh  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dipilih disini karena mempunyai kelembaban relatif yang tinggi sehingga mempercepat timbulnya ketengikan. Cosmotector yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 10 dan pengukuran oksigen di dalam botol jar dengan cosmotector dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 9. (A). Botol jar untuk penetapan kurva sorpsi isotherm cookies, (B). Botol jar untuk penentuan konsumsi oksigen, (C). Stoples untuk pengukuran laju kenaikan bilangan peroksida sebagai fungsi dari aktivitas air dan oksigen.



Gambar 10. Cosmotector.



Gambar 11. Pengukuran oksigen di dalam botol jar dengan menggunakan cosmotector.

## 6. Pengukuran Kadar Air (AOAC, 1970)

Contoh cookies sebanyak 2 - 5 gram ditimbang dan ditempatkan dalam cawan aluminium yang telah diketahui bobotnya. Contoh tersebut kemudian dikeringkan dalam oven bersuhu 105°C selama 3 jam, kemudian didinginkan dalam desikator lalu ditimbang.

$$m = \frac{X_0 - X_1}{X_0} \times 100\% \quad (10)$$

dimana :

$m$  : kadar air (% basis basah)

$X_0$  : bobot contoh awal (gram)

$X_1$  : bobot contoh akhir (gram)

## 7. Pengukuran Bilangan Peroksida

Contoh cookies sebanyak 5 gram dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 ml bertutup asah. Kemudian ditambahkan 30 ml larutan yang terbuat dari 100 ml asam asetat glasial, 125 ml alkohol dan 275 ml kloroform. Setelah melarut, ditambahkan 1 gram KI dan diamkan selama 30 menit ditempat yang gelap sambil sering digoyang-goyang. Setelah 30 menit ditambahkan 50 ml air aquades dan ditambahkan kanji. Titer dengan larutan tiosulfat 0,02 N. Dengan cara yang sama dibuat penetapan untuk



blanko. Bilangan peroksida dinyatakan sebagai mg oksigen per 100 gram contoh.

$$PO = (A \times N \times 8 \times 100) / G \quad (11)$$

dimana :

PO : bilangan Peroksida (mg O<sub>2</sub> /100 g contoh)

A : ml tio contoh - ml tio blanko (ml)

N : normalitas tiosulfat (N)

G : berat contoh (gram)

## 8. Simulasi Komputer

Simulasi komputer dilakukan dengan mengikuti tahapan yang dikembangkan oleh Dent dan Blackie (1979). Tahap pertama adalah perumusan masalah dan tujuan dari pembuatan simulasi ini. Masalah yang dihadapi disini adalah cookies mudah rusak dalam penyimpanan sehingga diperlukan cara yang cepat untuk menentukan umur simpan cookies. Tujuan dari simulasi ini adalah untuk mengetahui umur simpan cookies yang masih layak untuk dikonsumsi.

Tahap yang kedua adalah pengenalan sistem. Pada pengenalan sistem ini harus diketahui faktor-faktor yang mempengaruhi kerusakan cookies yaitu aktivitas air dan adanya oksigen serta parameter yang menentukan kerusakan cookies yaitu adanya peroksida yang menyebabkan ketengikan. Setelah diketahui faktor-faktor yang mempengaruhi dan

parameter yang menentukan kerusakan cookies, maka dilakukan pembentukan model matematika. Beberapa model matematika yang digunakan dapat dilihat pada Bab II dan Bab III.

Tahap yang keempat adalah pengumpulan data dan analisis. Berdasarkan data yang terkumpul, perlu dilakukan penyempurnaan terhadap model matematika yang ada. Model matematika yang rumit sukar dipecahkan secara cepat dengan perhitungan biasa sehingga diperlukan bantuan komputer dengan cara mengubah model tersebut ke dalam bentuk program komputer. Dalam penelitian ini digunakan program komputer bahasa BASIC.

Hasil dugaan model kemudian dibandingkan dengan data pengamatan. Data pengamatan diperoleh dengan menimbang sebanyak  $\pm 32$  gram cookies yang telah diukur kadar air dan bilangan peroksida dimasukkan ke dalam plastik yang telah diketahui permeabilitasnya dan tebalnya, lalu diséal. Pengukuran permeabilitas plastiik dilakukan di Balai Besar Industri Kimia. Kemasan tersebut disimpan pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$  dan 75% Rh. Setiap minggu dilakukan pengukuran kadar air dan bilangan peroksida untuk satu kemasan. Pengukuran dilakukan selama 7 minggu.

Hubungan antara hasil dugaan dengan hasil pengamatan dinyatakan dengan korelasinya ( $R^2$ ). Perhitungan korelasi ini dilakukan dengan menggunakan program Minitab 8.2. Dari hasil korelasi ini dapat disimpulkan seberapa jauh model tersebut dapat digunakan untuk menduga ketengikan cookies.

Program komputer yang dibuat terdiri dari dua buah yaitu untuk menduga kenaikan kadar air cookies selama penyimpanan dan untuk menduga kenaikan bilangan peroksida cookies selama penyimpanan. Masukan yang diperlukan untuk mengoperasikan program adalah :

1. Konstanta BET cookies.
2. Kadar air awal, berat cookies dan peroksida awal.
3. Hubungan antara konstanta laju dari kenaikan bilangan peroksida sebagai fungsi dari laju penyerapan oksigen dan suhu.
4. Koefisien permeabilitas air dan oksigen kemasan, tebal kemasan dan luas kemasan.
5. Suhu, kelembaban relatif, tekanan absolut udara, tekanan didalam kemasan.
6. Waktu penyimpanan.

Simulasi komputer ini digunakan untuk mengevaluasi pengaruh dari permeabilitas air dan oksigen bahan kemas, tebal kemasan, berat produk dan suhu serta

kelembaban relatif. Sedangkan program komputer untuk menduga kenaikan kadar air cookies disajikan pada Lampiran 4. Program komputer untuk menduga kenaikan bilangan peroksida cookies disajikan pada Lampiran 5.

Setelah model diuji, maka dilakukan analisis kepekaan yang bertujuan untuk mencari parameter-parameter mana yang paling berpengaruh pada sistem tersebut. Setelah parameter-parameter tersebut diketahui, dapat ditentukan keluaran sistem yang paling baik.



## V. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. KURVA SORPSI ISOTHERM COOKIES

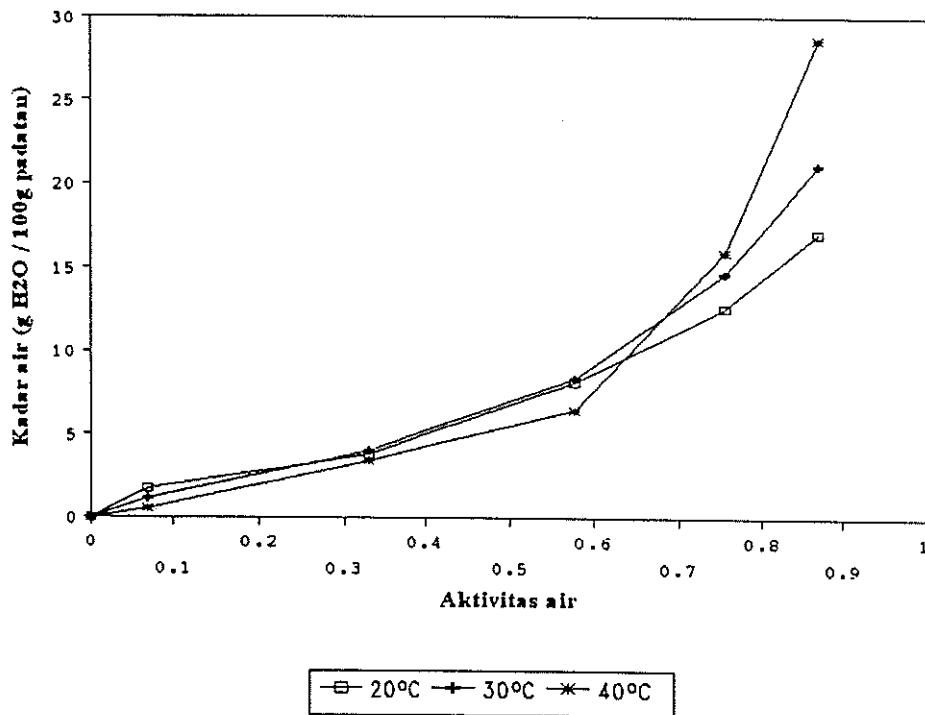
Penentuan kurva sorpsi isotherm dilakukan dengan menggunakan metoda statis. Pada metoda ini cookies diletakkan pada kondisi kelembaban dan suhu tertentu, sampai tercapai kadar air kesetimbangan. Suhu dan kelembaban tersebut harus diusahakan konstan. Suhu dikontrol secara otomatis, sedangkan untuk menciptakan kelembaban digunakan larutan garam.

Kadar air kesetimbangan yang didapat, diplot dengan aktivitas air pada suhu yang tetap, maka dihasilkan kurva berbentuk sigmoid. Kurva tersebut disebut kurva sorpsi isotherm.

Cookies yang digunakan pada penentuan kurva sorpsi isotherm ini mempunyai kadar air 2,69%. Kurva sorpsi isotherm cookies pada suhu 20°C, 30°C dan 40°C dapat dilihat pada Gambar 12.

Dari gambar-gambar tersebut dapat dilihat bahwa semakin tinggi suhunya, kurva sorpsi isotherm makin bergeser ke bawah, sehingga kadar air kesetimbangannya pun berubah. Semakin rendah suhunya, kadar air kesetimbangannya semakin tinggi. Perbedaan kadar air kesetimbangan cookies tersebut dipengaruhi oleh suhu





Gambar 12. Kurva sorpsi isotherm cookies pada suhu 20°C, 30°C dan 40°C.

dan kelembaban. Dengan demikian untuk mencegah naiknya kadar air yang cepat jika disimpan pada suhu rendah sebaiknya kemasan yang digunakan mempunyai permeabilitas yang kecil sehingga produk menjadi lebih lama mencapai kadar air kesetimbangan dan masa simpannya menjadi lebih panjang.

Hubungan antara aktivitas air dan  $A_w/M(1-A_w)$  disebut BET plot. Plot tersebut akan linier. Slope dan perpotongan garis dengan sumbu y digunakan untuk menentukan tetapan energi (C) dan tetapan kadar air monomolekular ( $W_m$ ). Karena BET menganggap bahwa uap air yang diserap oleh bahan pertanian terjadi lapis

demis lapis sesuai dengan bentuk bahan dan pada waktu uap air masuk atau keluar membutuhkan energi. Perhitungan tetapan energi (C) dan tetapan kadar air monomolekular ( $W_m$ ) dari cookies yang akan digunakan pada simulasi untuk menduga aktivitas air di dalam kemasan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tetapan energi (C) dan tetapan kadar air monomolekular ( $W_m$ )

Suhu	Persamaan BET	C	$W_m$
20°C	$Y = 0,3730 X + 0,0079$	49,442	2,627
30°C	$Y = 0,3270 X + 0,0182$	18,967	2,897
40°C	$Y = 0,3208 X + 0,0494$	7,494	2,701

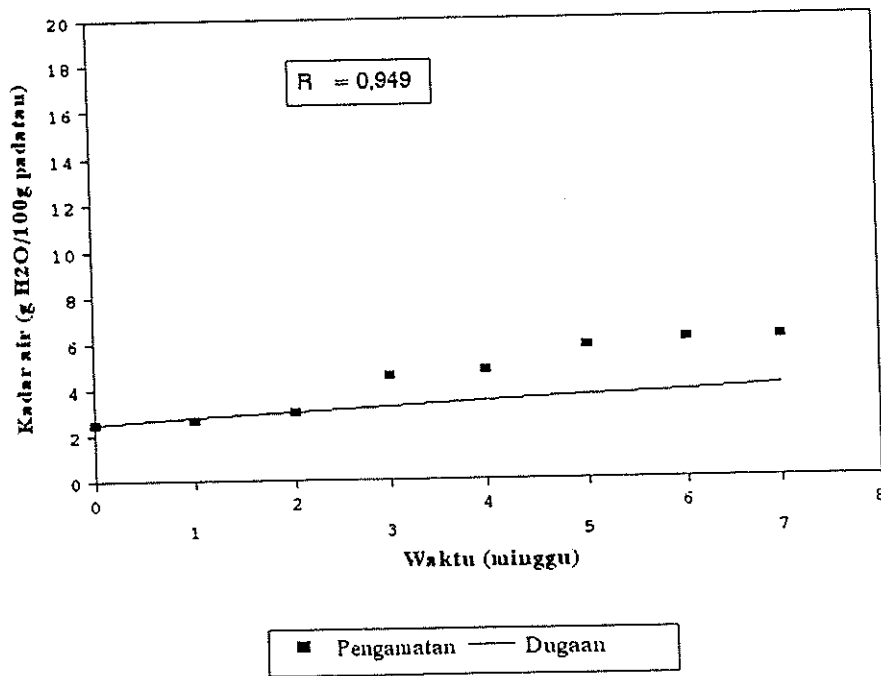
$$Y = A_w/M(1-A_w)$$

$$X = A_w$$

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan suhu 20°C membutuhkan energi lebih banyak daripada suhu lainnya karena suhu 20°C lebih rendah daripada yang lain sehingga untuk menyerap uap air dibutuhkan energi yang lebih besar.

#### B. PENGARUH BERBAGAI FAKTOR TERHADAP KADAR AIR PRODUK

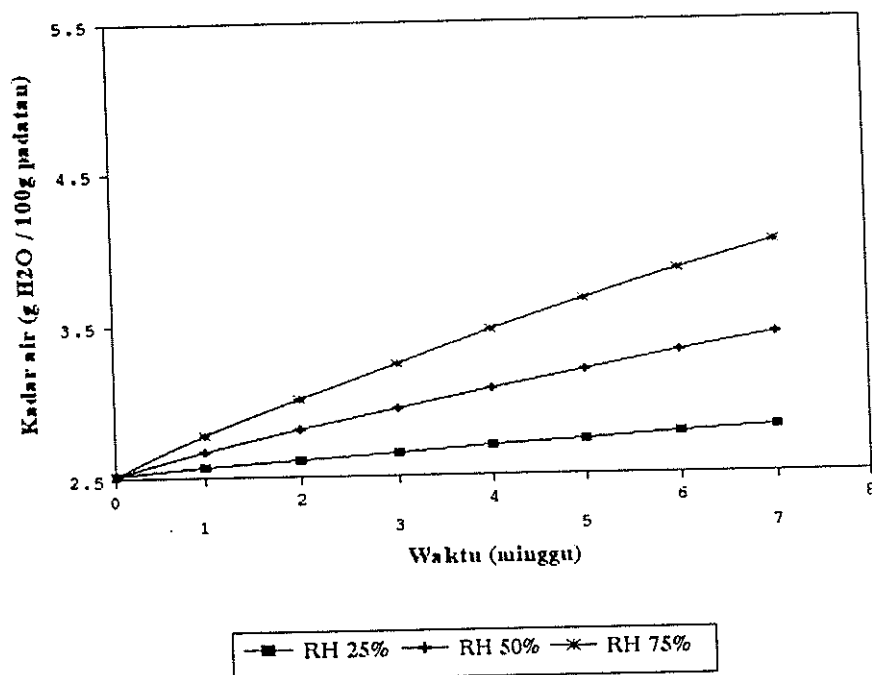
Hasil dugaan dengan simulasi dan data percobaan pada peningkatan kadar air cookies yang disimpan pada suhu 30°C dan kelembaban 75% dapat dilihat pada Gambar 13. Hubungan antara data dugaan dan data pengamatan dapat dilihat dari koefisien korelasinya ( $R^2$ ) yang cukup tinggi yaitu 0,949 dan jumlah kuadrat galat yang



Gambar 13. Grafik kenaikan kadar air cookies selama penyimpanan pada suhu 30°C dan Rh 75%.

rendah yaitu 0,06276. Hal ini berarti bahwa model atau program yang dibuat hanya dapat menduga kadar air cookies selama penyimpanan dengan ketepatan 94,9%.

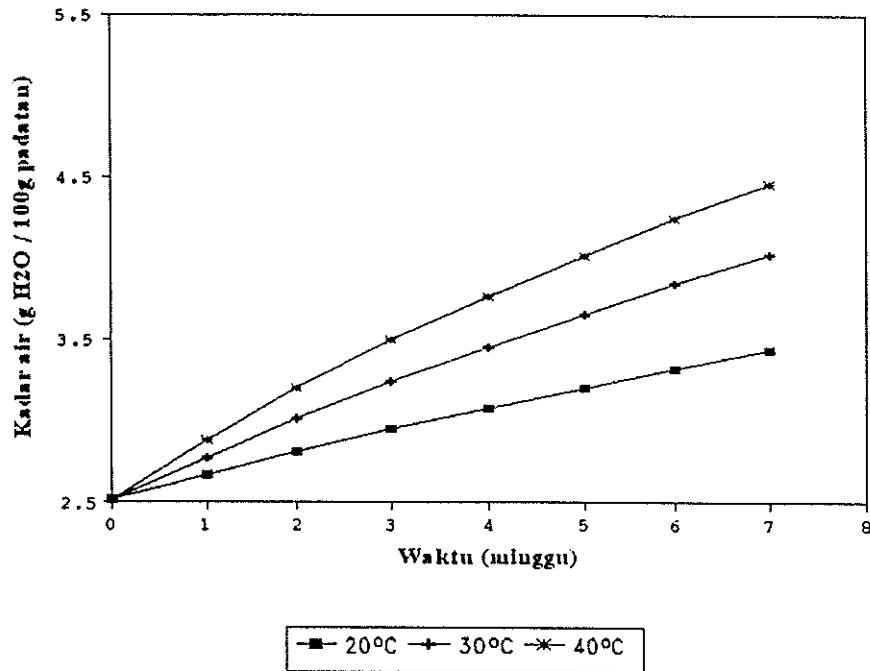
Pengaruh kelembaban relatif terhadap kadar air cookies dapat dilihat pada Gambar 14. Pada kondisi lingkungan dengan kelembaban yang tinggi, kadar air produk lebih tinggi dibandingkan dengan kadar air produk yang diletakkan pada lingkungan dengan kelembaban rendah. Pada kelembaban rendah, produk akan menyerap air dengan kecepatan rendah. Hal ini disebabkan karena kelembaban udara lebih tinggi dari kelembaban kesetimbangan bahan sehingga kadar air bahan akan meningkat.



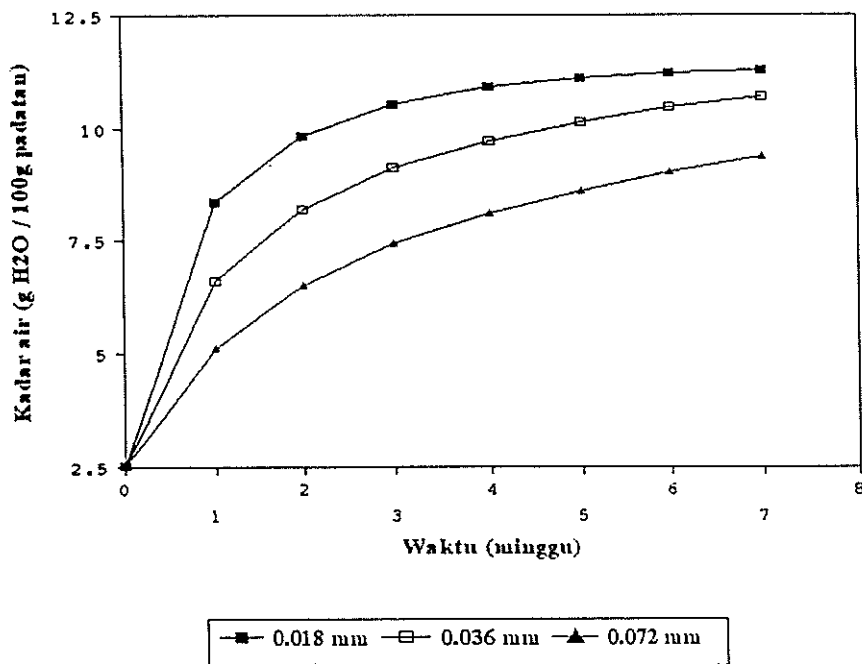
Gambar 14. Hasil pendugaan kadar air cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat kelembaban relatif.

Pengaruh suhu terhadap kadar air cookies dapat dilihat pada Gambar 15. Pada suhu yang rendah cookies akan menyerap air lebih rendah dibandingkan pada suhu tinggi. Demikian juga kecepatan air produk akan lebih cepat pada suhu yang tinggi dibandingkan pada suhu rendah. Produk akan mencapai kadar air kesetimbangan yang lebih tinggi pada suhu yang lebih rendah.

Ketebalan kemasan dan permeabilitas uap air kemasan akan mempengaruhi penyerapan air cookies. Gambar 16 menunjukkan bahwa semakin tipis kemasan dengan permeabilitas yang sama, kadar air produk akan meningkat dan laju penyerapan air produk menjadi lebih cepat. Peningkatan permeabilitas uap air kemasan juga



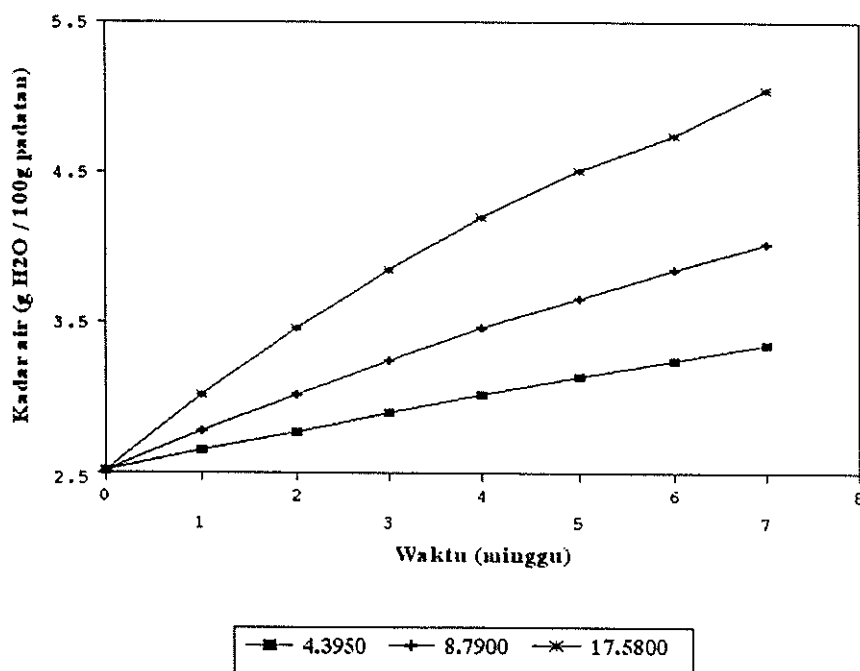
Gambar 15. Hasil pendugaan kadar air cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat suhu penyimpanan.



Gambar 16. Hasil pendugaan kadar air cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat ketebalan kemasan.

akan menghasilkan kadar air yang lebih tinggi dengan laju penyerapan air yang lebih cepat (Gambar 17) dan produk akan lebih cepat mencapai kondisi kadar air kesetimbangan.

Pada kelembaban yang tinggi, suhu tinggi, kemasan tebal dan permeabilitas yang lebih besar akan dihasilkan kadar air cookies yang lebih tinggi. Kadar air naik lebih cepat, sehingga menyebabkan umur simpannya menjadi lebih pendek. Karena pada kadar air yang tinggi, jamur lebih cepat tumbuh dan kerenyahan cookies sudah berkurang sehingga tidak disukai oleh konsumen.



Gambar 17. Hasil pendugaan kadar air cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat permeabilitas uap air kemasan, KW (g H<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup> mm hari).

### C. PENGARUH BERBAGAI FAKTOR TERHADAP PENYERAPAN OKSIGEN COOKIES

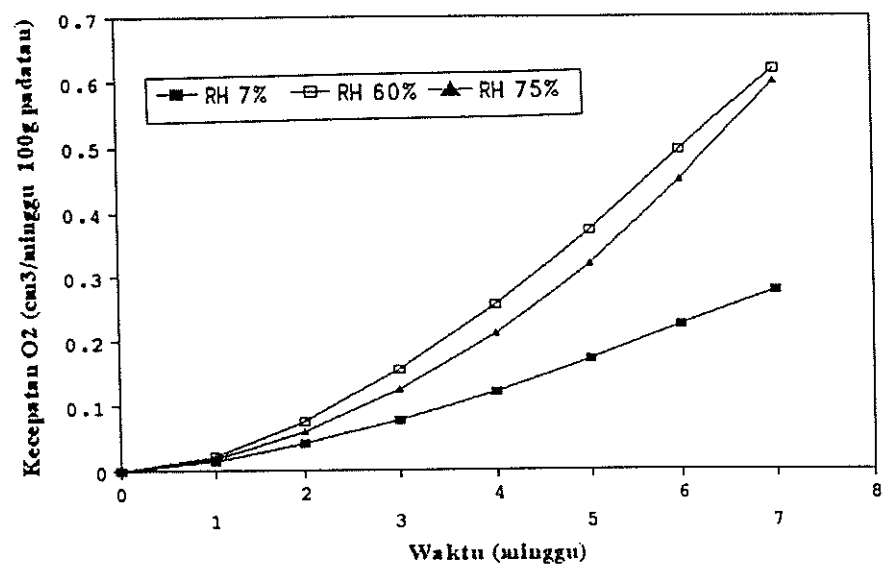
Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap laju penyerapan oksigen cookies adalah kondisi ruangan yaitu kelembaban relatif dan suhu, dan kemasan yaitu tebal kemasan dan permeabilitas oksigen kemasan.

Gambar 18 menunjukkan hasil pendugaan pengaruh kelembaban relatif terhadap laju penyerapan oksigen cookies. Semakin tinggi kelembaban relatif ruangan, oksigen yang diserap oleh produk semakin banyak dan kecepatan penyerapannya semakin cepat.

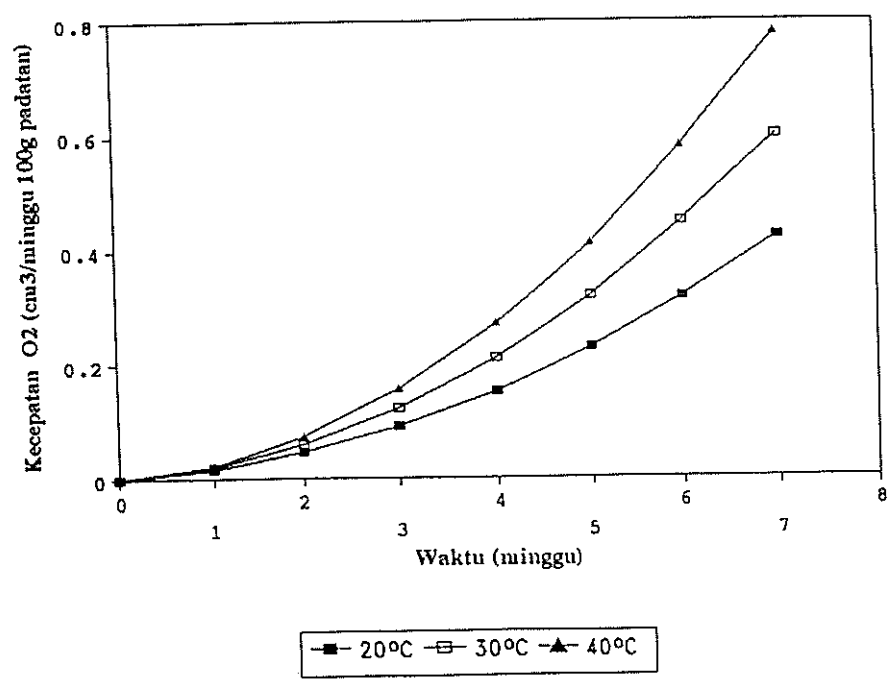
Hasil pendugaan pengaruh suhu pada laju penyerapan oksigen produk dapat dilihat pada Gambar 19. Terlihat bahwa laju penyerapan oksigen lebih besar pada suhu 40°C, lalu suhu 20°C dan terakhir suhu 30°C. Secara umum, jika suhu makin rendah oksigen yang diserap lebih sedikit. Berdasarkan Rizal dan Hariyadi (1990), kecepatan otoolsidasi meningkat sesuai dengan suhu, itulah sebabnya bahan pangan yang mudah terserang ketengikan oksidatif lebih aman disimpan pada suhu rendah.

Selain suhu dan kelembaban, laju penyerapan oksigen juga dipengaruhi oleh ketebalan kemasan dan permeabilitas oksigen kemasan. Semakin tipis kemasan dengan permeabilitas yang sama kecepatan oksigen yang diserap makin cepat (Gambar 20). Peningkatan

permeabilitas juga menyebabkan oksigen yang diserap lebih banyak (Gambar 21).

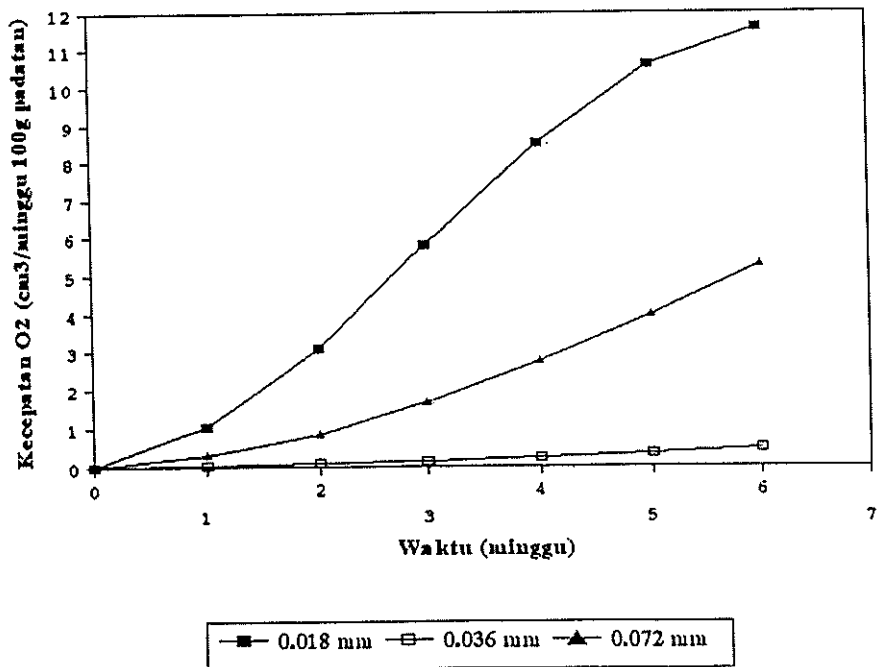


Gambar 18. Hasil pendugaan penyerapan oksigen cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat kelembaban relatif.

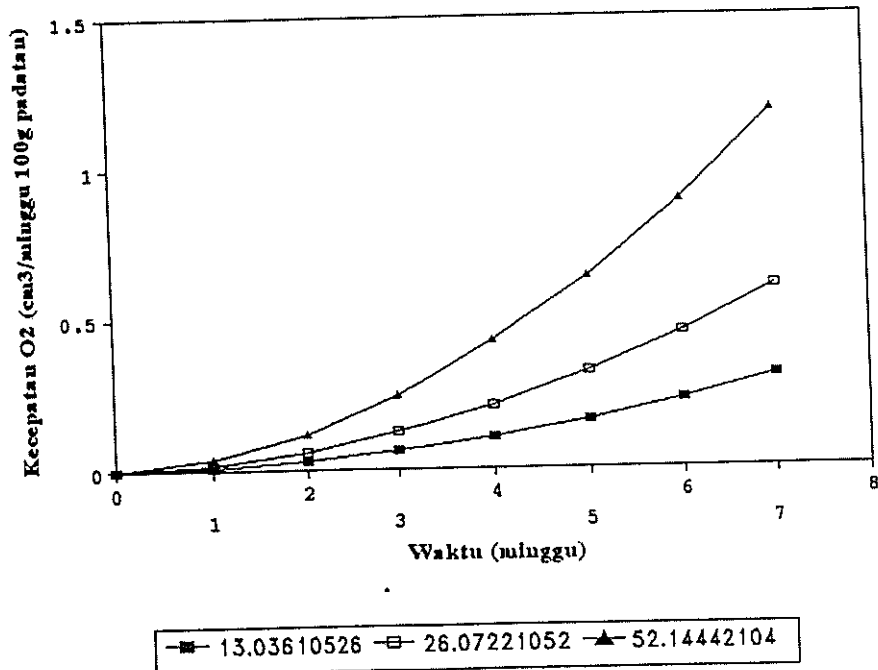


Gambar 19. Hasil pendugaan penyerapan oksigen cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat suhu penyimpanan.





Gambar 20. Hasil pendugaan penyerapan oksigen cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat ketebalan kemasan.



Gambar 21. Hasil pendugaan penyerapan oksigen cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat permeabilitas oksigen kemasan,  $KO$  ( $\text{cm}^3/\text{m}^2 \text{ mm hari mm Hg}$ ).

#### D. TIMBULNYA KETENGIKAN SELAMA PENYIMPANAN

Laju timbulnya ketengikan atau lebih tepatnya laju kenaikan bilangan peroksida dipengaruhi oleh aktivitas air, oksigen dan suhu. Pada penelitian ini diasumsikan aktivitas air tidak berpengaruh terhadap timbulnya ketengikan.

Hubungan antara konstanta laju ( $k$ ) dengan laju penyerapan oksigen dan suhu apat dicari dengan menggunakan persamaan regresi. Persamaan yang menghubungkan  $k$  dengan laju penyerapan oksigen dan suhu adalah :

1. pada Rh 7% :

$$k = -0,21236O_2 + 0,001022T + 0,014273 \quad (12)$$

2. pada Rh 60% :

$$k = -0,2384O_2 + 0,003736T + 0,00057 \quad (13)$$

3. pada Rh 75% :

$$k = -0,01497O_2 + 0,002706T + 0,000667 \quad (14)$$

4. pada Rh 80% :

$$k = 0,007505O_2 - 0,00291T + 0,000153 \quad (15)$$

dimana :

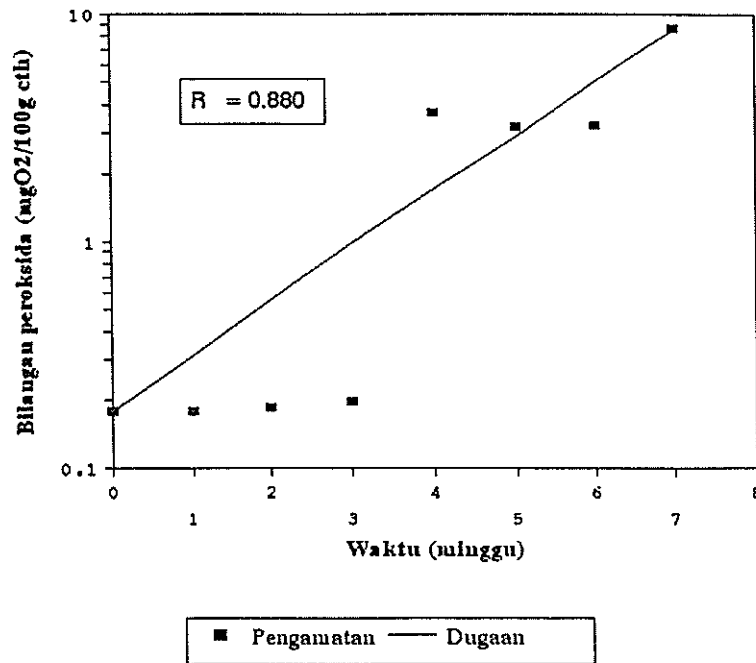
$$O_2 = \text{laju penyerapan oksigen (cm}^3\text{/hari 100g pdt)}$$

$$T = \text{suhu (}^\circ\text{C)}$$

Simulasi hasil pendugaan, seperti yang digambarkan pada Gambar 2 dibuat dengan menggunakan  $k$  sebagai fungsi dari laju penyerapan oksigen dan suhu. Hasil pendugaan untuk kenaikan bilangan peroksida cookies dengan data pengamatan dapat dilihat pada Gambar 22.

Hubungan antara data dugaan dan data pengamatan dapat dilihat dari koefisien korelasinya ( $R^2$ ) sebesar 0,880. Hal ini berarti bahwa model atau program yang dibuat hanya dapat menduga kenaikan peroksida cookies selama penyimpanan dengan ketepatan 88%.

Kenaikan bilangan peroksida hasil pendugaan komputer lebih lambat dibandingkan dengan data pengamatan. Hal ini disebabkan banyak hal antara lain karena pada analisa bilangan peroksida cookies, warna ungu



Gambar 22. Grafik kenaikan bilangan peroksida cookies selama penyimpanan pada suhu 30°C dan Rh 75%.

yang diharapkan muncul jika diberikan larutan pati sebagai indikator titrasi ternyata tidak jelas. Titrasi yang dilakukan dengan menggunakan larutan tiosulfat 0,02 N akan mengembalikan warna ungu menjadi warna asal sebelum diberi perlakuan. Jadi sulit menentukan kapan titrasi tersebut dihentikan karena perubahan warna yang tidak jelas.

#### E. SIMULASI DARI KENAIKAN BILANGAN PEROKSIDA

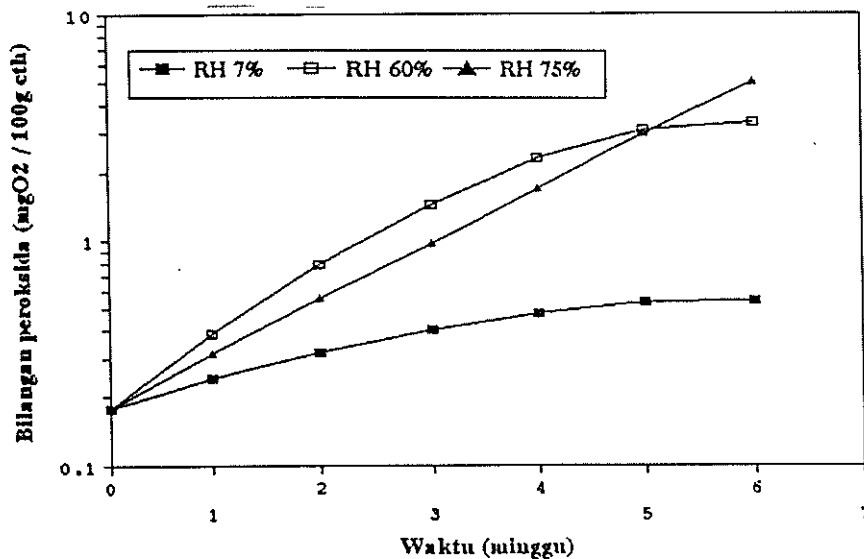
Simulasi ini dibuat berdasarkan reaksi kinetik ordo ke satu dan konstanta laju merupakan fungsi dari laju penyerapan oksigen dan suhu. Simulasi dapat digunakan untuk menduga kenaikan bilangan peroksida sebagai parameter dari timbulnya ketengikan dan mengasumsikan peroksida awal tidak nol.

Keluaran dari simulasi ini berupa penyerapan oksigen produk dan kenaikan bilangan peroksida produk sebagai fungsi dari waktu. Simulasi ini dapat digunakan untuk melihat pengaruh dari kemasan, kondisi lingkungan tempat penyimpanan dan karakteristik produk. Parameter-parameter yang digunakan sebagai data masukan pada simulasi ini dapat dilihat pada Tabel 4.

Pengaruh dari kelembaban relatif lingkungan tempat penyimpanan, sementara parameter lain tetap dapat dilihat pada Gambar 23. Pada gambar tersebut, semakin tinggi  $R_h$ , peroksida semakin banyak.

Tabel 4. Parameter-parameter untuk simulasi

Parameter	Nilai
1. Kadar air awal (Mo)	2,51%
2. Temperatur penyimpanan	30°C
a. k sebagai fungsi dari Aw dan O <sub>2</sub>	$k = -0,01497 O_2 + 0,002706T + 0,000667$
b. Tetapan energi	$c = 18,967$
c. Tetapan kadar air monomolekular	$W_m = 2,897$
d. Tekanan absolut	$P = 31,85 \text{ mm Hg}$
3. Kelembaban relatif (Rh)	75%
4. Berat padatan (Ws)	31,216 g
5. Kemasan	
a. Luas kemasan (A)	0,0591 m <sup>2</sup>
b. Tebal kemasan (X)	0,036 mm
c. Permeabilitas uap air (KW)	8,79 g/m <sup>2</sup> mm hari
d. Permeabilitas oksigen (KO)	26,07221052 cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> mm hari mm Hg
6. Tekanan oksigen udara (PU)	156 mm Hg
7. Tekanan oksigen kemasan awal (PT)	155,78 mm Hg
8. Peroksida awal (Co)	0.177 mgO <sub>2</sub> /100 g contoh
9. Penyerapan oksigen awal (O2)	0 cm <sup>3</sup> /100 g padatan
10. Selang waktu (DT)	1 hari

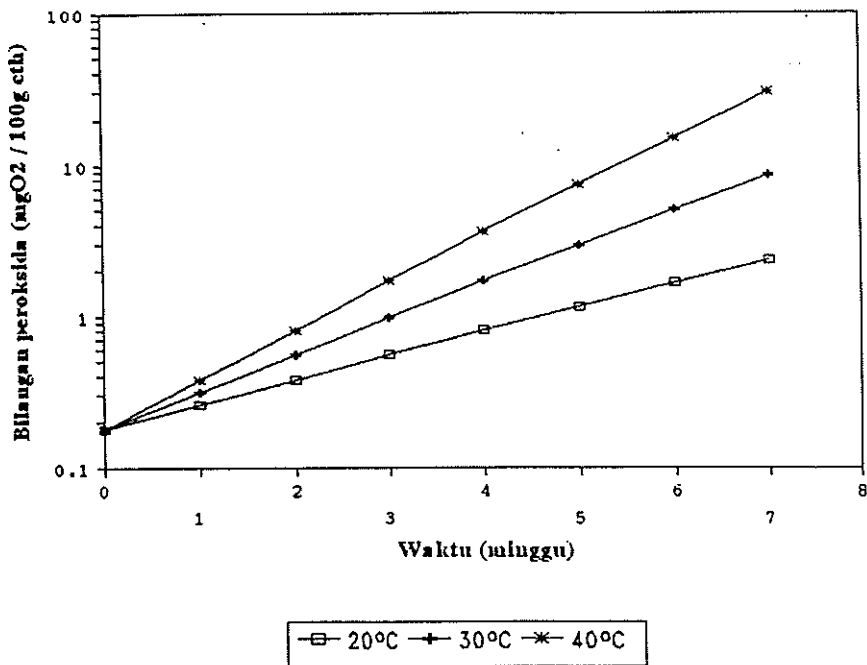


Gambar 23. Hasil pendugaan kenaikan bilangan peroksida cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat kelembaban relatif.

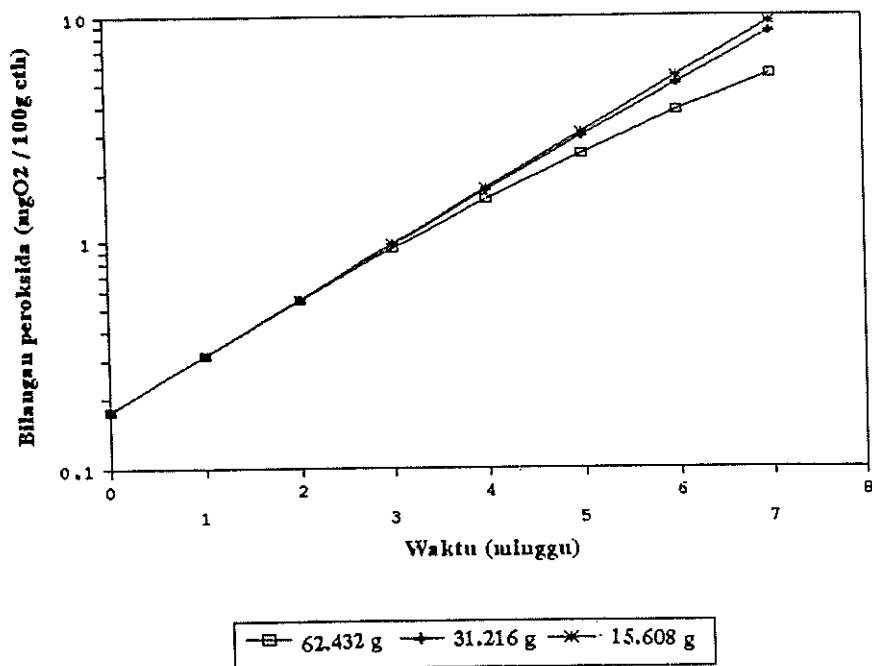
Gambar 24 memperlihatkan pengaruh suhu tempat penyimpanan, sementara parameter yang lain tetap. Disini terlihat bilangan peroksida tertinggi di dapat pada suhu  $40^{\circ}\text{C}$  lalu  $20^{\circ}\text{C}$  dan terakhir  $30^{\circ}\text{C}$ . Secara umum dapat dikatakan bahwa semakin tinggi suhu, peroksida yang timbul semakin banyak.

Berat produk yang dikemas juga berpengaruh terhadap timbulnya ketengikan. Semakin tinggi berat padatan produk dalam kemasan semakin berkurang timbulnya ketengikan produk (Gambar 25). Hal ini disebabkan karena oksigen dan uap air yang masuk ke dalam kemasan akan diserap oleh semua cookies yang ada di dalam kemasan secara merata. Jadi jika cookies dalam suatu kemasan jumlahnya lebih banyak dibandingkan cookies dalam kemasan lain yang jumlahnya sedikit, maka oksigen dan uap air yang diserap oleh sebuah cookies akan lebih sedikit pada kemasan dengan cookies yang banyak, sehingga akan memperlambat timbulnya ketengikan.

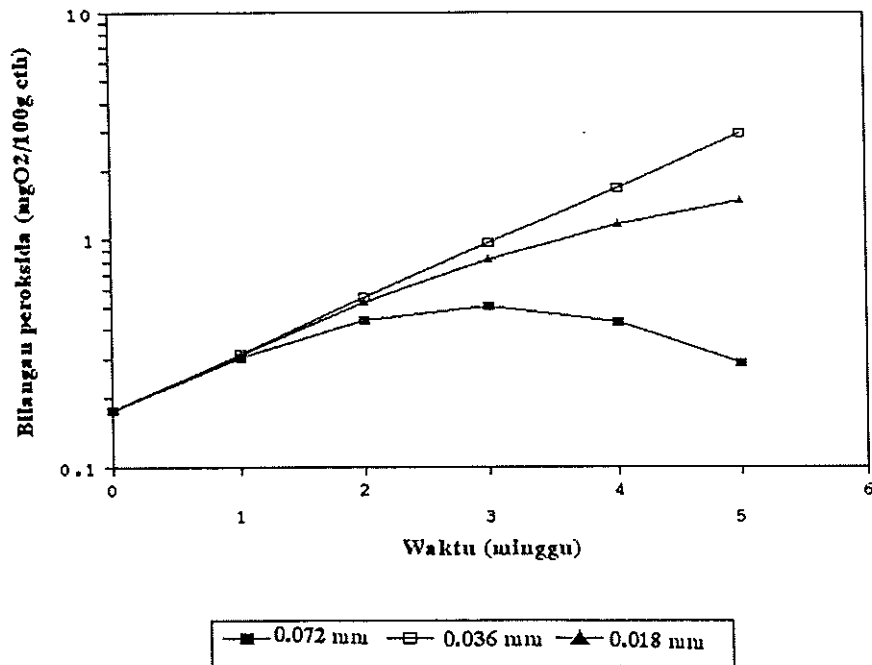
Tebal kemasan juga berpengaruh terhadap timbulnya ketengikan. Semakin tipis kemasan, peroksida yang timbul semakin banyak (Gambar 26). Demikian pula, jika permeabilitas kemasan terhadap oksigen tinggi maka peroksida yang timbul juga banyak (Gambar 27..



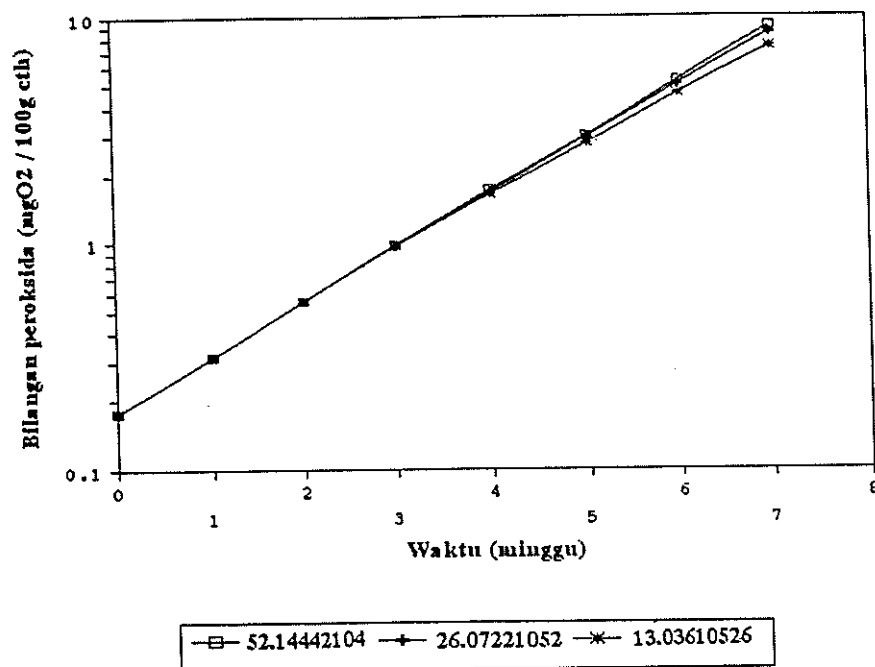
Gambar 24. Hasil pendugaan kenaikan bilangan peroksida cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat suhu.



Gambar 25. Hasil pendugaan kenaikan bilangan peroksida cookies selama penyimpanan pada beberapa ting-berat produk yang berbeda.



Gambar 26. Hasil pendugaan kenaikan bilangan peroksida cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat ketebalan kemasan.

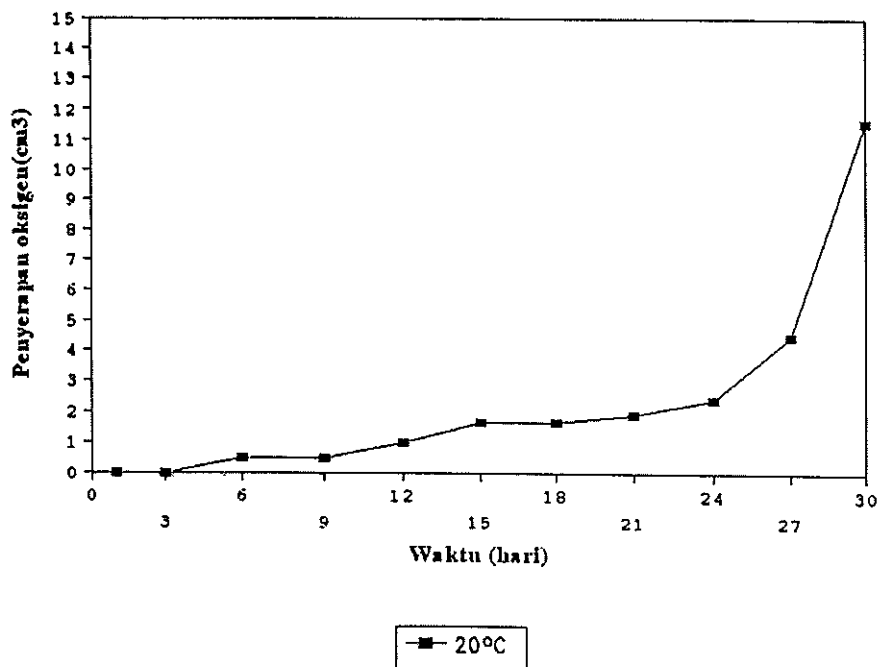


Gambar 27. Hasil pendugaan kenaikan bilangan peroksida cookies selama penyimpanan pada beberapa tingkat permeabilitas oksigen kemasan, KO ( $\text{cm}^3 \text{O}_2 / \text{m}^2 \text{mm hari mm Hg}$ ).

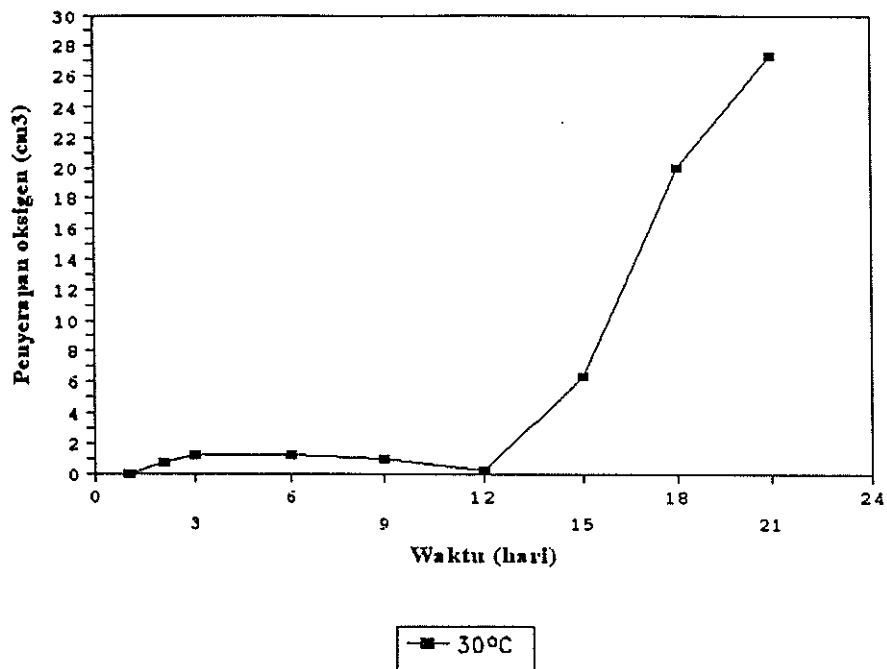


## F. PENDUGAAN UMUR SIMPAN

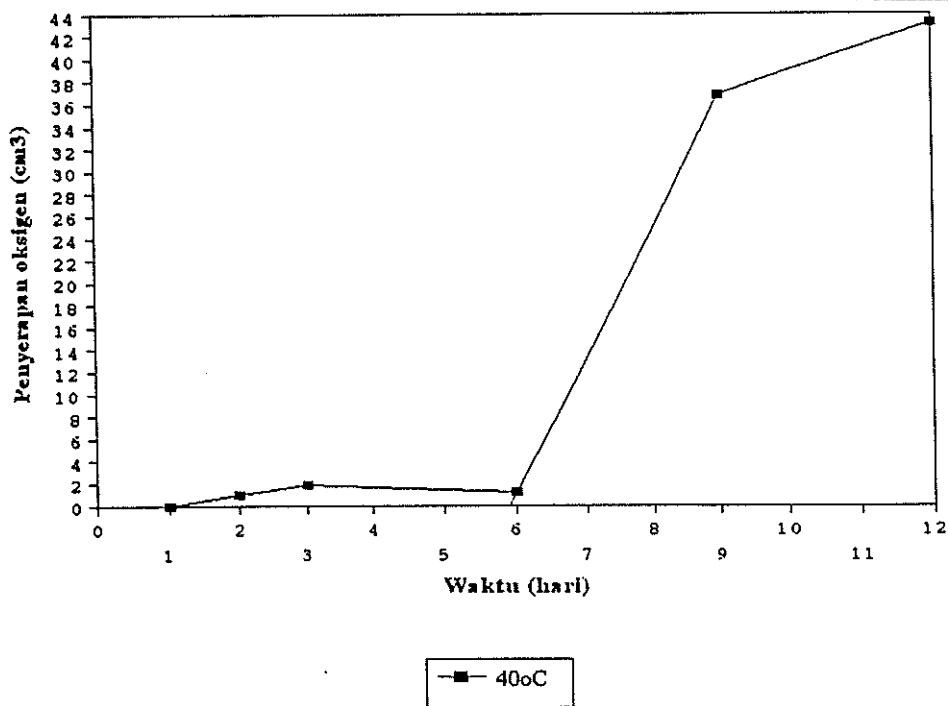
Dengan menggunakan program pada Lampiran 5, dapat diduga umur simpan cookies kelapa-singkong ini. Menurut Rizal dan Hariyadi (1990), permulaan proses ketengikan selalu ditandai dengan meningkatnya penyerapan oksigen. Gambar 29, Gambar 30 dan Gambar 31 menunjukkan penyerapan oksigen cookies pada suhu 20°C, 30°C dan 40°C. Dari gambar-gambar tersebut dapat dicari luas daerah di bawah kurva yang menunjukkan berapa banyak oksigen yang diserap yang dapat menyebabkan ketengikan. Pada suhu 20°C didapat luas daerah di bawah kurva 55,95, suhu 30°C didapat 58,20 dan pada



Gambar 28. Grafik penyerapan oksigen cookies pada suhu 20°C.



Gambar 29. Grafik penyerapan oksigen cookies pada suhu 30°C.



Gambar 30. Grafik penyerapan oksigen cookies pada suhu 40°C.

suhu 40°C didapat 59,00. Luas tersebut kemudian dirata-ratakan sehingga didapat 57,72. Jadi jika oksigen yang diserap oleh cookies sudah mencapai 55,72 cm<sup>3</sup> maka program tersebut akan berhenti karena ketengikan sudah dimulai.

Selain itu, berdasarkan SII kadar air maksimum yang diijinkan untuk cookies adalah 5,26% basis kering, sehingga kadar air tersebut dipakai juga sebagai batasan pada program untuk menduga kenaikan kadar air cookies (Lampiran 4).

Dengan batas tersebut didapat umur simpan cookies yang disimpan pada suhu 30°C dan Rh 75% berdasarkan kenaikan kadar airnya adalah selama tiga bulan lebih 22 hari. Sedangkan umur simpan cookies berdasarkan konstanta laju sebagai fungsi dari oksigen dan suhu adalah dua bulan lebih tujuh hari. Jadi cookies tersebut hanya dapat disimpan atau dikonsumsi sampai dua bulan lebih 7 hari dari tanggal produksinya karena ketengikan sudah mulai terjadi. Setelah lewat dari batas itu, cookies tersebut tidak layak untuk dikonsumsi karena sudah mulai tengik. Dari kedua hasil umur simpan tersebut ternyata ketengikan karena pengaruh oksigen merupakan faktor yang paling kritis karena umur simpannya lebih pendek dari umur simpan berdasarkan kadar air.



Dari hasil penelitian ini terlihat bahwa parameter-parameter yang penting dalam simulasi ini adalah kemasan yang digunakan dan kondisi lingkungan tempat penyimpanan. Untuk menghasilkan keluaran yang optimal sebaiknya digunakan kemasan dengan permeabilitas kecil, tipis, suhu tempat penyimpanan yang rendah dan kelembaban relatif yang rendah.



## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. KESIMPULAN

1. Hasil dugaan kadar air dengan simulasi menunjukkan hubungan yang cukup baik terlihat dari nilai koefisien korelasinya ( $R^2$ ) sebesar 0,949 serta jumlah kuadrat galatnya sebesar 0,06276.
2. Konstanta laju reaksi ketengikan yang didapat adalah :
  1. Rh 7% :
$$k = -0,21236O_2 + 0,001022T + 0,014273$$
  2. Rh 60% :
$$k = -0,2384O_2 + 0,003736T + 0,00057$$
  3. Rh 75% :
$$k = -0,01497O_2 + 0,002706T + 0,000667$$
  4. Rh 80% :
$$k = 0,007505O_2 - 0,002921T + 0,000153$$
3. Simulasi terhadap model untuk bilangan peroksida mempunyai hubungan yang cukup terhadap data percobaan. Hal ini terlihat dari nilai koefisien korelasinya ( $R^2$ ) sebesar 0,880.
4. Dengan simulasi berdasarkan kadar air diduga umur simpan cookies yang disimpan pada suhu 30°C dan Rh 75% adalah selama 3 bulan lebih 22 hari dari tanggal produksinya. Sedangkan dengan simulasi

berdasarkan oksigen dan suhu, diduga umur simpan cookies selama 2 bulan lebih 7 hari.

5. Faktor yang paling kritis dalam simulasi ketengikan cookies ini adalah oksigen dan suhu karena umur simpan yang diduga lebih kecil daripada umur simpan yang diduga berdasarkan kadar air.
6. Simulasi model dengan bantuan komputer ini dapat digunakan untuk kelembaban 7%, 60%, 75% dan 80%.

## B. SARAN

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk menguji model dengan cookies yang ada di pasaran.
2. Perlu dilakukan penelitian sejenis dengan suhu 30°C yang tetap mengingat pada penelitian ini suhu 30°C yang digunakan tidak konstan.
3. Perlu dilakukan penelitian untuk menentukan peroksidasi cookies yang maksimum, yang boleh ada di dalam cookies.
4. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk simulasi ketengikan berdasarkan oksigen dan suhu untuk mendapatkan pendugaan umur simpan yang tepat.
5. Dianjurkan untuk memakai kemasan yang mempunyai permeabilitas uap air dan oksigen yang rendah untuk cookies seperti aluminium foil dan kaleng.

6. Dianjurkan di dalam kemasan sebaiknya diberi gas nitrogen untuk menghilangkan gas oksigen sehingga ketengikan cookies dapat diperlambat.





Lampiran 1. Syarat mutu biskuit menurut Standar Industri Indonesia.

No.	Kriteria Uji	Satuan	Klasifikasi			
			Biskuit Keras	Crackers	Cookies	Wafer
1.	Keadaan : 1.1. Bau 1.2. Rasa 1.3. Warna 1.4. Tekstur		normal normal normal normal	normal normal normal normal	normal normal normal normal	normal normal normal normal
2.	Air, %, b/b		maks. 5	maks. 5	maks. 5	maks. 5
3.	Protein, %, b/b		min.. 6,5	min. 8	min. 6	min. 6
4.	Abu, %, b/b		maks. 1,5	maks. 2	maks. 2	maks. 2
5.	Bahan tambahan makanan 5.1. Pewarna		Sesuai SNI.0222 - M			
6.	5.2. Pemanis Cemaran logam : 6.1. Tembaga (Cu), mg/kg 6.2. Timbal (Pb), mg/kg 6.3. Seng (Zn), mg/kg 6.4. Raksa (Hg), mg/kg Arsen (As), mg/kg		tidak boleh ada maks. 10,0 maks. 1,0 maks. 40,0 maks. 0,05 maks. 0,5	tidak boleh ada maks. 10,0 maks. 1,0 maks. 40,0 maks. 0,05 maks. 0,5	tidak boleh ada maks. 10 maks. 1,0 maks. 40,0 maks. 0,05 maks. 0,5	tidak boleh ada maks. 10 maks. 1,0 maks. 40,0 maks. 0,05 maks. 0,5
7.	Arsen (As), mg/kg					
8.	Cemaran mikroba : 8.1. Angka lempeng total	koloni/g	maks.1,0x10 <sup>6</sup>	maks.1,0x10 <sup>6</sup>	maks.1,0x10 <sup>6</sup>	maks.1,0x10 <sup>6</sup>



No.	Kriteria Uji	Satuan	Klasifikasi			
			Biskuit Keras	Crackers	Cookies	Wafer
	8.2. Colliform 8.3. E. coli 8.4. Kapang	APM/g APM/g koloni/g	maks. 20 < 3 maks. 1,0x10 <sup>2</sup>	maks. 20 < 3 maks. 1,0x10 <sup>2</sup>	maks. 20 < 3 maks. 1,0x10 <sup>2</sup>	maks. 20 < 3 maks. 1,0x10 <sup>2</sup>

Sumber : Departemen Perindustrian Republik Indonesia, 1990

Lampiran 2. Komposisi bahan baku, kelapa kering dan singkong kering.

A. Komposisi bahan baku

Bahan baku	Kadar air(%)	Kadar lemak(%)	Kadar protein(%)	Kadar abu(%)	Kadar Karbohidrat(%)
Kelapa	54,12	32,85	4,57	0,86	7,60
Singkong	59,45	0,74	1,87	0,83	37,11

B. Komposisi kelapa kering dan singkong kering

Bahan	Kadar air(%)	Kadar lemak(%)	Kadar protein(%)	Kadar abu(%)	Kadar karbohidrat(%)
Kelapa kering	4,37	58,62	8,00	1,63	27,38
Singkong kering	7,50	1,53	2,13	2,60	86,24

## Lampiran 3. Komposisi bungkil kelapa-singkong dan cookies.

## A. Komposisi bungkil kelapa-singkong

	%
Kadar air	5,25
Kadar lemak	21,18
Kadar protein	13,48
Kadar abu	3,49
Kadar karbohidrat	56,60

## B. Komposisi cookies

	%
Kadar air	1,76
Kadar lemak	28,23
Kadar protein	13,02
Kadar abu	2,57
Kadar karbohidrat	54,42

Lampiran 4. Simulasi komputer untuk menduga kenaikan kadar air cookies.

```

10 REM "SIMULASI KOMPUTER UNTUK MENDUGA UMUR SIMPAN COOKIES"
20 DIM AWI(2000),MT(2000)
30 INPUT " KADAR AIR BASIS KERING (MO) = ";MT(0)
40 INPUT "AKTIVITAS AIR DI UDARA (AWO) = ";AWO
50 INPUT "TEKANAN ABSOLUT (PABS) = ";PABS
60 INPUT "LUAS PERMUKAAN KEMASAN (A) = ";A
70 INPUT "TEBAL KEMASAN (X) = ";X
80 INPUT "KOEFSIEN PEREMBESAN AIR (KW) = ";KW
90 INPUT "TETAPAN KADAR AIR MONOMOLEKULAR (WM) = ";WM
100 INPUT "TETAPAN ENERGI (C) = ";C
110 INPUT "BERAT PADATAN (WS) = ";WS
120 INPUT "SELANG WAKTU (HARI) = ";DT
130 INPUT "LAMA PENYIMPANAN = ";R
140 INPUT "SUHU PENYIMPANAN = ";T
150 FOR F=0 TO R STEP DT
160 S=(MT(F)*C-MT(F))
170 B=(WM*C+2*MT(F)-MT(F)*C)
180 D=-MT(F)
190 U1=(-B+SQR(B^2-4*S*D))/(2*S)
200 U2=(-B-SQR(B^2-4*S*D))/(2*S)
210 IF U1>0 THEN AWI(F)=U1
220 IF U2>0 THEN AWI(F)=U2
230 M=100/WS
240 DM=KW*A*PABS*DT*X*(AWO-AWI(F))*M/WS
250 MT(F+DT)=MT(F)+DM
260 IF MT(F+DT) > 5.26 THEN GOTO 280
270 NEXT F
280 PRINT
290 PRINT
300 PRINT "-----"
310 PRINT " WAKTU          KADAR AIR          "
320 PRINT "(MINGGU)      (gH2O/100gPdt)      "
330 PRINT "-----"
340 P=1
350 FOR F=6 TO (R-1) STEP 7
360 PRINT USING "   ##.   ##.####           ";P,MT(F+DT)
370 IF MT(F+DT) = 0 THEN GOTO 400
380 P=P+1
390 NEXT F
400 PRINT "-----"
410 PRINT "UMUR SIMPAN COOKIES = ";P-1;"MINGGU"
420 STOP

```

Lampiran 5. Simulasi komputer untuk menduga kenaikan bi-  
langan peroksida cookies.

```

10 REM "SIMULASI KOMPUTER UNTUK MENDUGA UMUR SIMPAN COOKIES"
20 DIM CT(2000),KK(2000),O2(2000),PT(2000)
30 INPUT "A1 = ";A1
40 INPUT "A2 = ";A2
50 INPUT "A3 = ";A3
60 INPUT "PEROKSIDA AWAL (CO) = ";CT(0)
70 INPUT "TEKANAN OKSIGEN KEMASAN AWAL (PT) = ";PT(0)
80 INPUT "OKSIGEN AWAL (O2) = ";O2(0)
90 INPUT "TEKANAN OKSIGEN UDARA = ";PU
100 INPUT "LUAS PERMUKAAN KEMASAN (A) = ";A
110 INPUT "TEBAL KEMASAN (X) = ";X
120 INPUT "KOEFSIEN PEREMBESAN OKSIGEN (KO) = ";KO
130 INPUT "BERAT PADATAN (WS) = ";WS
140 INPUT "SELANG WAKTU (HARI) = ";DT
150 INPUT "LAMA PENYIMPANAN = ";R
160 INPUT "SUHU PENYIMPANAN = ";T
170 FOR F=0 TO R STEP DT
180 KK(F)=A1*O2(F)+A2*T+A3
190 CT(F+DT)=DT(F)*EXP(KK(F)*DT))
200 M=100/WS
205 PT(F+DT)=PT(F)-KK(F)*DT
210 DO2=KO*A*X*(PU-PT(F))*M/WS
220 O2(F+DT)=O2(F)+DO2
230 O21 = O2(F+DT) * F
240 IF O21 > 57.72 THEN GOTO 260
250 NEXT F
260 PRINT
270 PRINT
280 PRINT "-----"
290 PRINT " WAKTU           KADAR PEROKSIDA           KECEPATAN OKSIGEN"
300 PRINT "(MINGGU)           (mgO2/100g Cth)           (cm3/minggu g Pdt) "
310 PRINT "-----"
320 P=1
330 FOR F=6 TO (R-1) STEP 7
340 PRINT USING "   ##.   ##.####   ##.####
";P,CT(F+DT),O2(F+DT)
350 IF O2(F+DT) = 0 THEN GOTO 380
360 P=P+1
370 NEXT F
380 PRINT "-----"
390 PRINT "UMUR SIMPAN COOKIES = ";P-1;"MINGGU"
400 STOP

```

Lampiran 6. Data hasil pengukuran kadar air untuk penentuan kurva sorpsi isotherm (kadar air awal = 2,6905%).

A. Suhu 20°C

Larutan garam jenuh	Kadar air (% bb)
NaOH	1,70110
MgCl <sub>2</sub>	3,68670
NaBr	7,55960
NaCl	11,15480
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	14,60510

B. Suhu 30°C

Larutan garam jenuh	Kadar air (% bb)
NaOH	1,14365
MgCl <sub>2</sub>	3,86255
NaBr	7,73870
NaCl	12,74490
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	17,48295

C. Suhu 40°C

Larutan garam jenuh	Kadar air (% bb)
NaOH	0,53885
MgCl <sub>2</sub>	3,26563
NaBr	6,07350
NaCl	13,72038
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	22,25630

## Lampiran 7. Data hasil pengukuran konsumsi oksigen.

Hari	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 20°C Rh 86,90% (%)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 30°C Rh 85,40% (%)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 40°C Rh 83,90% (%)
1	21,1	21,1	21,1
2	21,2	20,8	20,7
3	21,1	20,6	20,3
6	20,9	20,6	20,6
9	20,9	20,7	5,5 (J)
12	20,7	21,0	2,8 (J)
15	20,4	18,4	2,7 (J)
18	20,4	12,6 (J)	2,7 (J)
21	20,3	9,5 (J)	2,8 (J)
24	20,1	3,5 (J)	2,8 (J)
27	19,2	3,6 (J)	2,8 (J)
30	16,2 (J)	10,3 (J)	2,7 (J)

Keterangan : J = Jamur

Lampiran 8. Data hasil pengukuran konsumsi oksigen untuk pengukuran laju kenaikan bilangan peroksida sebagai fungsi dari oksigen dan suhu.

A. Suhu 20°C

O <sub>2</sub> (%)	NaOH 1	NaOH 2	NaBr 1	NaBr 2	NaCl 1	NaCl 2	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2
Awal	21,4	21,3	21,1	21,2	21,1	21,1	21,1	21,1
Akhir	21,3	21,2	21,0	21,1	20,9	21,0	0,7	0,7

B. Suhu 30°C

O <sub>2</sub> (%)	NaOH 1	NaOH 2	NaBr 1	NaBr 2	NaCl 1	NaCl 2	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2
Awal	21,3	21,4	21,2	21,1	21,2	21,1	21,1	21,0
Akhir	21,2	21,3	21,0	20,9	20,6	20,9	0,7	1,3

C. Suhu 40°C

O <sub>2</sub> (%)	NaOH 1	NaOH 2	NaBr 1	NaBr 2	NaCl 1	NaCl 2	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2
Awal	21,2	21,3	21,1	20,9	21,1	21,0	21,0	21,0
Akhir	21,0	21,1	20,8	20,5	20,4	20,4	1,9	1,3



Lampiran 9. Data hasil pengukuran kadar air dan bilangan peroksida cookies yang disimpan pada suhu 30°C dan Rh 75%.

Minggu	Kadar air (% bk)	Bilangan Peroksida (mg O <sub>2</sub> /100 g contoh)
1	2,6915	0,1780
2	3,0278	0,1860
3	4,5222	0,1980
4	4,7710	3,7206
5	5,8302	3,2262
6	6,1154	3,6584
7	6,1827	8,6758



## DAFTAR PUSTAKA

- AOAC. 1970. Official methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. AOAC, Washington DC.
- Biro Pusat Statistik. 1989. Statistik Industri : Hasil Pengolahan Data Perusahaan Industri Besar Dan Sedang. Biro Pusat Statistik. Jakarta, Indonesia.
- Biro Pusat Statistik. 1991. Statistik Perdagangan Luar Negeri Indonesia. Biro Pusat Statistik. Jakarta, Indonesia.
- Brunauer, S., P.H. Emmett dan E. Teller. 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. J. Am. Chem. Soc. 60 : 309.
- Cardoso, G. dan T.P. Labuza. 1983. Prediction of moisture gain and loss for packaged pasta subjected to a sine wave temperature / humidity environment. J. Fd. Technol. 18 : 587-606.
- Cavaletto, C., A. Dela Cruz., E. Ross dan H.Y. Yamamoto. 1966. Factors affecting macadamia nut stability. 1. Raw kernels. Food Technol. 20 : 1084.
- Cavaletto, C. dan H.Y. Yamamoto. 1968. Criteria for selection of packaging materials for roasted macadamia kernels. J. Food Sci. 22 : 97.
- Cavaletto, C. dan H.Y. Yamamoto. 1971. Factors affecting macadamia nut stability. 3. effect of roasting oil quality and antioxidants. J. Food Sci. 36 : 81.
- Dela Cruz, A., C. Cavaletto., H.Y. Yamamoto dan E. Ross. 1966. Factors affecting macadamia nut stability. 2. Roasted kernels. J. Food Sci. 20 : 1217.
- Dent, J.B. dan M.J. Blackie. 1979. System Simulation in Agriculture. Applied Science Pub. Ltd., London.
- Departemen Perindustrian Republik Indonesia. 1990. Standar Industri Indonesia : Biskuit, Mutu Dan Cara Uji SII 0177-90. Departemen Perindustrian Republik Indonesia.

- Fuller, G., D.G. Guadagni, M.L. Weaver., G. Notter dan R. J. Horvat. 1971. Evaluation of oleic saff lower oil in frying of potato chips. J. Food Sci. 36 : 43.
- Hadi Karya Purwadaria. 1977. Simulation of Nutrient Stability In Dry Foods During Storage. MS Thesis, Agricultural Engineering Department, Michigan State University.
- Heidelbaugh, N.D., C.P. Yeh dan M. Karel. 1971. Effects of model system composition on autoxidation of methyl linoleate. Agric. Food Chem. 19 (1) : 140.
- Heldman, D.R. dan R.P. Singh. 1981. Food Process Engineering. 2nd ed. AVI Pub. Co., Inc., Westport, Connecticut, USA.
- Karel, M., S. Mizrahi, dan T.P. Labuza. 1971. Computer prediction of food storage. Modern Pack., August 1971 : 54.
- Katz, E.E. dan T.P. Labuza. 1981. Effect of water activity on sensory crispness and mechanical deformation of snack food products. J. Food Sci. 46 : 403-409.
- Labuza, T.P. 1982a. Moisture gain and loss in packaged foods. Food Technol. 4 : 92 - 94, 96 - 97.
- Labuza, T.P. 1982b. Shelf Life Dating Of Foods. Food And Nutrition Press. Inc., Westport, Connecticut, USA.
- Labuza, T.P., H. Tsuyuki dan M. Karel. 1969. Kinetics of linoleate oxidation in model systems. J. Am. Oil Chem. Soc. 46 (8) : 409.
- Labuza, T.P., N.D. Heidelbaugh, M. Silver dan M. Karel. 1971. Oxidation at intermediate moisture contents. J. Am. Oil Chem. Soc. 48 (2) : 86.
- Labuza, T.P. dan K.S. Mary. 1988. Use of sensory data in the shelf-life testing of foods : principles and graphical method for evaluation. Cereal Foods World 33 (2) : 193 - 206.
- Marcuse, R. dan P. Fredikson. 1968. Fat oxidation at low oxygen partial pressure. I. Kinetic studies on the rate of oxidation in emulsions. J. Am. Oil Chemists. Soc. 45 : 400 - 407.

- Matz, S.A. dan D.M. Theresa. 1978. *Cookie and Cracker Technology*. 2nd ed. AVI Pub. Co., Inc., Westport, Connecticut, USA.
- McWatters, K., E.K. Heaton dan S.R. Cecil. 1971. Storage stability of peanut pie mixes. *Food Prod. Dev.* (Feb - March) : 69.
- Mizrahi, S., T.P. Labuza dan M. Karel. 1970. Computer-aided predictions of extent of browning in dehydrated cabbage. *J. Food Sci.* 35 : 799 - 803.
- Paine, F.A. 1962. *Modern Processing, Packaging And Distribution Systems For Food*. Blackie, London.
- Quast, D.G. dan M. Karel. 1972a. Effects of environmental factors on the oxidation of potato chips. 2. *Food Sci.* 37 : 584 - 588.
- Quast, D.G. dan M. Karel. 1972b. Computer simulation of storage life of foods undergoing spoilage by two interacting mechanisms. *J. Food Sci.* 37 : 679 - 683.
- Quast, D.G. dan M. Karel. 1973. Simulating shelf life. *Modern pack.*, March 1973 : 50.
- Quast, D.G., M. Karel dan W.M. Rand. 1972. Development of a mathematical model for oxidation of potato chips as a function of oxygen pressure, extent of oxidation and equilibrium relative humidity. *J. Food Sci.* 37 : 673 - 678.
- Rizal S. dan Hariyadi H. 1990. *Teknologi Penyimpanan Pangan*. Laboratorium Rekayasa Proses Pangan, PAU, IPB, Bogor.
- Rizal S., Sassy S. dan St. Isyana B. 1989. *Teknologi Pengemasan Pangan*. Laboratorium Rekayasa Proses Pangan, PAU, IPB, Bogor.
- Rockland, L.B. 1960. Saturated salt solution for static control of relative humidity between 5 and 40 degree Celcius. *Anal. Chemis.* 32:1375.
- Simon, I.B., T.P. Labuza dan M. Karel. 1971. Computer-aided predictions of storage stability : oxidative deterioration of shrimp product. *J. Food Sci.* 36 : 280 - 285.

Singh, R.K., D.B. Lund dan F.H. Buelow. 1984. Computer simulation of storage stability in intermediate moisture apples. J. Food Sci. 49 : 759 - 761.

Toledo, R.T. 1980. Fundamentals of Food Process Engineering. AVI Pub. Co., Inc., Westport, Connecticut, USA.

Walpole, R.E. 1990. Pengantar Statistika, 3rd ed. PT. Gramedia, Jakarta.

Whiteley, P.R. 1971. Biscuit manufacture. Applied Science Pub., Ltd, London.