EVALUASI MODEL-MODEL PENDUGAAN UMUR SIMPAN PANGAN DARI DIFUSI HUKUM FICK UNIDIREKSIONAL

EVALUATION OF SHELF-LIFE EQUATION MODELS DERIVED FROM UNIDIRECTIONAL FICK'S LAW

M. Arpah [1], dan Rizal Syarief [1]

[1] Jurusan Teknologi Pangan dan Gizi, Fateta-IPB

ABSTRACT

The aim of this research was to study the variation of shelf-life values, obtained in quantifying shelf-life of biscuits among models of accelerated storage studies (ASS) from unidirectional Fick'S law. Shelf-life of biscuits is defined as the length of time of a packaged biscuits can be stored before the onset quality change appears.

Four models: Heiss-Eichner (1971), Labuza (1983), Rudolph (1986) and Half Value Period or HVP model (Syarief, 1986) were evaluated. These models shared a common basic principle that they were all derived and developed from unidirectional Fick's law. Therefore, each parameter of individual model can be compared to the athers. A semi empirical approach using reaction kinetics through Arrhenius plot was used as a real shelf-life values.

Quantification resulted in two categories of shelf-life values, First those which higher than expected value and second, were lower than expected.

Parameter evaluation of components of Heiss-Eichner and Labuza models clearly shown less in number than components of Rudolph and HVP models. This led to a conclusion that the more sophisticated models gave higher shelf-life values as compared to the Arhenius model.

PENDAHULUAN

Menurut *Institute of Food Technology* (IFT, 1974), umur simpan produk pangan adalah selang waktu antara saat produksi hingga saat konsumsi dimana produk berada dalam kondisi yang memuaskan pada sifat-sifat penampakan, rasa aroma, tekstur dan nilai gizi. *National Food Processor Association* (1978), mendefinisikan umur simpan sebagai berikut: suatu produk dikatakan berada pada kisaran umur simpannya bilamana kualitas produk secara umum dapat diterima untuk tujuan seperti yang diinginkan oleh konsumen dan selama bahan pengemas masih memiliki integritas serta memproteksi isi kemasan. Floros (1993), menyatakan bahwa umur simpan adalah waktu yang diperlukan oleh produk pangan, dalam suatu kondisi penyimpanan, untuk sampai pada suatu level atau tingkatan degradasi mutu tertentu.

Floros (1993), lebih lanjut mengatakan bahwa umur simpan produk pangan yang dikemas dapat ditetapkan dengan metoda ***Accelerated Storage Studies*** (ASS). Metoda ini menggunakan suatu kondisi lingkungan yang dapat mempercepat *(accelerated)* terjadinya reaksi-reaksi penurunan mutu produk pangan. Salah satu metoda ASS yang diterapkan pada produk pangan kering adalah Pendekatan Kadar Air Kritis (PKK). Pada metoda ini kondisi lingkungan penyimpanan memiliki kelembaban relatif *(relative humidity)* yang ekstrim. Produk pangan kering yang disimpan dengan demikian akan mengalami penurunan mutu akibat penyerapan uap air. Model-model matematika pada PKK diturunkan dari hukum difusi Fick unidireksional. Terdapat 4 jenis model matematika yang sering digunakan dalam hal ini yaitu : Model Heiss dan Eichner (1971), Model Rudolph (1986), Model Labuza (1983) dan Model waktu Paruh (Syarief, 1986).

Penetapan umur simpan dapat pula dilakukan melalui penerapan studi kinetika reaksi dengan pendekatan semi empiris. Menurut Labuza (1983), pendekatan semi empiris adalah suatu pendekatan yang ditekankan pada laju reaksi yang berlangsung *(reaction rate)* dan bukan pada mekanisme reaksi, tahapan reaksi ataupun pengaruh komponen lain terhadap reaksi. Pendekatan semi empiris menggunakan bantuan persamaan Arrhenius.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi hasil perhitungan umur simpan jika dihitung dengan prosedur dan bentuk persamaan matematika yang berbeda terhadap produk yang sama dengan menggunakan 4 buah model ASS dari pendekatan yang sama (pendekatan kadar air kritis) hasil penurunan dari hukum difusi Fick unidireksional.

METODOLOGI

Bahan dan Alat

Bahan-bahan penelitian meliputi bahan biskuit untuk pembuatan dua jenis biskuit (*type cookies* dan *crackers*), bahan pengemas plastik (film) LDPE *(Low density polyethylene)*, bahan kimia (NaOH, $MgCL_2$, K_2CO_3, KI, NaCl, KCl, $BaCL_2$ dan $K_2Cr_2O_7$). Serta bahan untuk analisa kimia penetapan bilangan TBA (*Thiobarbituric acid*). Alat-alat yang digunakan meliputi :a_w *-meter, humidity chamber, oven, desikator, sorption container,* timbangan analitik dan thermometer, *waring blender*, penangas air, *electric puncture tester.*

Metoda Dan Analisa

Perhitungan umur simpan dilakukan dengan terlebih dahulu menentukan sorpsi isothermik dari produk, kemudian dilakukan analisa perubahan kandungan/kadar air yang diikuti dengan penetapan kadar air kritis produk secara subyektif (organoleptik) maupun obyektif (puncture tester). Data yang diperoleh lalu disubstitusikan ke dalam persamaan Heiss dan Eichner (1971), Rudolph (1986), Labuza (1982) dan Waktu paruh (Syarief, 1986). Sebagai pembanding dilakukan pula perhitungan umur simpan dengan pendekatan semi empiris dari data hasil penetapan TBA menggunakan bantuan persamaan Arrhenius.

Analisa-analisa yang dilakukan meliputi: penetapan kurva sorpsi isothermik (Spiess Wolf, 1987), penetapan bilangan thiobarbituric acid (Egan, 1981),analisa organoleptik (Larmond,1973), penetapan kadar air (AOAC, 1980), permeabilitas kemasan (ASTM-E96 : *American Society for Testing Materials).*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pendekatan Kadar air Kritis

Untuk analisa pendahuluan, data hasil perhitungan umur simpan disusun seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2 Data kemudian diolah dengan perhitungan satu arah. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pengaruh perlakuan berbeda sangat nyata. Untuk melihat jenis-jenis model yang berbeda nyata dan tidak berbeda nyata terhadap lainnya, dilakukan uji banding Tuckey (atau BNJ= Beda Nyata Jujur). Nilai BNJ produk *cookies* adalah :

$Q_{0.05\ (perlakuan\ =4, db=8)} = 4.53 \times$ » $(62.1/3) = 20.6$

Dengan demikian akan dapat diperlihatkan bahwa dari semua kombinasi pasangan perbandingan jenis perlakuan untuk produk *cookies* hanya antara model Rudolph dan model Waktu paruh yang tidak berbeda nyata. Rata-rata nilai umur simpan dengan model Waktu Paruh = 48.05 hari dan dengan model Rudolph = 33.69 hari, Sehingga: 48.05-33.69 = 14.36. Selisih dari kedua nilai tersebut (14.36) lebih kecil dari nilai $Q_{0.05\ (perlakuan\ =4, db=8)}$ = 20.6 Sedangkan Nilai BNJ untuk produk *crackers* adalah $Q_{0.05\ (perlakuan\ =4, db=8)}$ = 4.53 x » (17.3/3) = 10.90. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa untuk produk *crackers* terdapat dua nilai perbandingan (selisih dua nilai umur simpan) yang berbeda nyata atau nilai selisihnya lebih kecil dari nilai BNJ. Pertama, selisih umur simpan untuk jenis model Rudolph dengan Waktu paruh. Kedua adalah untuk jenis model Heiss & Eichner dengan Labuza. Dari Tabel 2 terlihat bahwa nilai rata-rata umur simpan produk *crackers* untuk model Rudolph = 24.67 hari dan untuk model Waktu paruh adalah 22.69. Dengan demikian selisihnya adalah 1.98, lebih kecil dari nilai BNJ = 10.9. Demikian pula untuk model Heiss & Eihner dengan model Labuza, selisihnya adalah1.29, juga lebih kecil dari nilai BNJ.

Tabel 1. Susunan data hasil penetapan umur simpan produk *cookies* untuk analisa tahap awal pengaruh perlakuan

Ulangan	Jenis Perlakuan (Model)			
	HE *) (hari)	Labuza (hari)	WP **) (hari)	Rudolph (hari)
1	106.27	147.48	47.32	43.36
2	111.41	122.25	51.21	28.45
3	106.02	132.93	45.611	29.25
Rata-rata	**107.90**	**134.22**	**48.05**	**33.69**
Total	**323.70**	**402.66**	**144.14**	**101.06**

*). HE = Heiss & Eicher
**). WP = Waktu Paruh

Tabel 2. Susunan data hasil penetapan umur simpan produk *crackers* untuk analisa tahap awal pengaruh perlakuan.

Ulangan	Jenis Perlakuan (Model)			
	HE *) (hari)	Labuza (hari)	WP **) (hari)	Rudolph (hari)
1	75.91	61.77	22.25	27.34
2	74.88	79.78	24.89	23.86
3	70.13	83.23	20.93	22.81
Rata-Rata	**73.64**	**74.93**	**22.69**	**24.67**
Total	**220.92**	**224. 78**	**68.07**	**74.01**

*). HE = Heiss & Eicher
**). WP = Waktu Paruh

Analisa lebih lanjut dengan menggunakan perhitungan analisa dua arah dengan ulangan (RAL-fraktorial) untuk melihat pengaruh baris (jenis biskuit) dan interaksi antara jenis biskuit dengan lajur (perlakuan atau jenis model), memberikan hasil ANOVA seperti terlihat pada Tabel 3. Hasil analisis lanjutan menunjukkan bahwa baik lajur maupun baris berbeda nyata, demikian juga dengan interaksinya. Data Tabel 3 menunjukkan bahwa derajat bebas jenis model berjumlah 3, oleh karena itu memungkinkan untuk diuraikan lebih lanjut menggunakan tabel polinom orthogonal. Nilai Fhit linear yang terbesar (306.54) lebih besar dari nilai Fhit Kuadrat (11.97) dan Kubik (127.77). Dengan demikian, perbedaan nilai umur simpan dari model-model tersebut dapat diterangkan dengan hubungan linear. Pada pengaruh jenis biskuit, hanya dapat dijelaskan bahwa nilai rata-rata umur simpan produk *cookies* lebih tinggi dari nilai rata-rata umur simpan *crackers*. Akan tetapi hal ini tidak berlaku bagi semua jenis model dapat dilihat dari nilai Fhit interaksi antara jenis perlakuan (model) dengan jenis biskuit yang berbeda nyata. Derajat bebas jenis biskuit hanya 1 (satu) sehingga tidak dapat diuraikan untuk menerangkan bentuk (trend) perbedaan.

Pengaruh interaksi antara baris dengan lajur dapat menerangkan kemungkinan adanya komponen biskuit atau sifat-sifat fisiko-kimianya yang dapat dihubungkan dengan perlakuan jenis model sedemikian sehingga dapat menerangkan perbedaan nilai yang diperoleh. Hasil penguraian sumber keragaman (interaksi) ini dan tabel lengkap ANOVA rancangan faktorial 4x2 dengan ulangan 3 pada Tabel 3.

Ketiga hasil penguraian sumber keragaman interaksi berbeda nyata (Px M-linear; Px M-kuadrat; Px M-kubik). Namun demikian, bentuk interaksi ini dapat diterangkan lebih baik dengan bentuk kuadratik (12.82 > 10.2 >8.78). Hal ini memberikan dugaan bahwa sebagian besar dari interaksi ini dapat diterangkan lebih baik dengan bentuk kuadratik.

Hal ini memberikan dugaan bahwa sebagian besar dari perbedaan sifat-sifat fisiko kimia produk dapat diterangkan oleh kurva sorpsi isothermisnya yang merupakan kurva kompleks polinom.

Sensitifitas Reaksi Terhadap Temperatur

Dalam mendesain penelitian ASS, sensitifitas reaksi terhadap temperatur sangat penting karena dapat digunakan sebagai alat bantu dalam memprediksi umur simpan dan menentukan interval penarikan contoh dari *accelerated chamber*.

Hasil penetapan umur simpan melalui studi kinetika reaksi dengan pendekatan semi empiris memberikan nilai parameter persamaan Arrhenius untuk produk *cookies* seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4 dan untuk produksi *crackers* pada Tabel 5. Hasil regressi dari Tabel 4, memberikan persamaan :

$$\text{Ln k} = \text{Ln ko} - (\text{Ea/R}).(1/\text{T})$$

$$\text{Ln k} = 7.2876 - 38916.1(1/\text{T})$$
$$\text{R} = -0.94)$$

Dengan demikian diperoleh nilai Ln ko *(intercept)* = 7.2876 dan slope (Ea/R) = 3916.1. Energi aktivasi (Ea) dari reaksi oksidasi lipida pada produk *cookies* = 8.0 K cal/mol. Sedangkan umur simpan produk untuk k_{at} 25C adalah 97.5 hari.

Hasi regressi dari Tabel 5, memberikan persamaan :

$$\text{Ln k} = \text{ln ko} - (\text{Ea/R}).(1/\text{T})$$
$$\text{Ln k} = 0.2485 - 1559.51\ (1/\text{T})$$
$$\text{R} = -0.8$$

Tabel 3. ANOVA hasil analisa lanjutan data umur simpan

Sumber	db	Jk	KT	Fhit
Model :	3	26348,19	8783.73	175.43 ***
Linear	1	19351.75	19351.75	306.54 ****
Kuadrat	1	599.60	599.60	11.97*
Kubik	1	6396.84	6369.84	127.77***
Produk	1	6136.96	6136.84	122.58 ***
Interaksi :	3	1983.00	661.00	13.20**
$P \times M_{linear}$	1	902.01	902.01	10.02 **
$P \times M_{IKuadrat}$	1	641.91	641.91	12.82**
$P \times M_{kubik}$	1	439.66	439.66	8.78*
Galat	16	801.03	50.06	

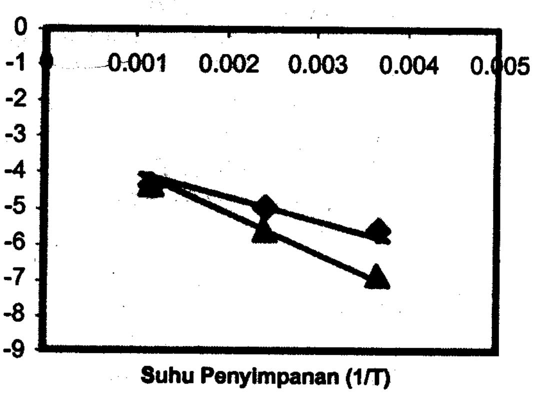
Tabel 4. Parameter persamaan Arrhenius produk *cookies*

T (°C)	k	Ln k	T (K)	(1/T) °K
25	0.0012	-6.725	298	0.00360
35	0.0030	-5.809	308	0.00325
45	0.0088	-4.733	318	0.00145

Tabel 5. Parameter persamaan Arrhenius produk *crackers*.

T (°C)	k	Ln k	T (K)	(1/T) °K
25	0.005	-5.2983	298	0.00360
35	0.006	-5.1160	308	0.00325
45	0.012	-4.4228	318	0.00145

Dengan nilai Ln ko *(intercept)* = 0.2485 dan slope (Ea/R) = 1559.51. Energi aktivasi (Ea) dari reaksi oksidasi lipida pada produk *crackers* = 3.1 K cal/ mol. Sedangkan umur simpan produk untuk k ≈ 25°C adalah 46.8 hari. Hasil plot persamaan Arrhenius untuk *crackers* diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik hubungan Ln K dengan suhu Penyimpanan (dalam °K; ◆: *crackers*, ▲: *cookiers*).

Dari kedua reaksi tersebut diperoleh energi aktivasi reaksi oksidasi lipida pada *cookies* = 8.0 K cal/mol. Sedangkan pada *crackers* = 3.1 K cal/mol. Hal ini sesuai dengan laporan Sadler (1987) yang menyatakan bahwa energi aktivasi reaksi oksidasi lipida pada produk pangan kering berkisar antara 2.0 K cal/mol hinggga 15 K cal/mol. Reaksi ini merupakan reaksi ordo nol. Labuza (1983) juga melaporkan bahwa reaksi oksidasi lipida pada produk pangan kering merupakan reaksi ordo nol. Lund (1975) di dalam Sadler (1987) memberikan kisaran yang lebih besar dan mencakup semua jenis reaksi di dalam produk pangan. Menurut Lund (1975), dalam produk-pangan kisaran energi aktivasi reaksi berkisar antara 2 K cal/mol hingga 150 K cal/mol. Kisaran ini kemudian dibagi menjadi 3 (tiga) golongan reaksi yaitu : pertama, reaksi dengan energi aktivasi rendah (2 K cal/mol-15 K.cal/mol) seperti pada reaksi oksidasi lipida dan reaksi degradasi vitamin. Kedua, reaksi dengan energi aktivasi menengah (15 K.kal/ mol-30 K.kal/mol) contohnya adalah reaksi pencoklatan nonenzymatik. Ketiga, reaksi dengan energi aktivasi yang tinggi (30 K cal/mol-150 K cal/mol).

Labuza (1983), yang mempelajari reaksi pencoklatan pada susu bubuk melaporkan nilai energi aktivasi untuk reaksi pencoklatan tersebut sebesar 30.79 K cal/mol. Sadler (1987), melaporkan bahwa nilai energi aktivasi degradasi vitamin C di dalam larutan adalah 12.9 K cal/mol.

Beberapa peneliti melaporkan nilai energi aktivasi yang lebih besar dari kisaran yang telah diberikan oleh Lund (1975). Leung (1987), melaporkan bahwa nilai energi aktivasi dari reaksi pencoklatan nonenzymatik berkisar antara 28 K. cal/ mol hingga 40 K cal/mol.

Nilai Q_{10} dari reaksi oksidasi pada kedua produk tersebut diatas adalah Q_{10} = 2.9 untuk produk *cookies* dan Q_{10}= 2.0 pada produk *crackers*. Nilai Q_{10} digunakan untuk menginterprestasikan sensitifitas reaksi terhadap suhu Q_{10} lebih sering dijumpai dalam literatur dibanding energi aktivasi dan mudah digunakan untuk menerangkan sensitifitas reaksi terhadap temperatur. Dari nilai Q_{10} kedua reaksi tersebut diatas segera terlihat bahwa produk *cookies* lebih sensitif terhadap perubahan suhu dibanding produk *crackers*, yaitu bilamana temperatur berubah sebanyak 10°C, maka kecepatan reaksi oksidasi meningkat 2.9 kali dibanding 2.0 kali pada *crackers*. Bagaimanapun nilai Q_{10} perlu diwaspadai karena tergantung pada kisaran temperatur yang digunakan.

Ketepatan Model

Untuk melihat ketepatan model, hasil perhitungan umur simpan dari keempat jenis model dibandingkan dengan hasil perhitungan dengan bantuan persamaan Arrhenius. Hasil menunjukkan bahwa keempat jenis model tersebut dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua) kategori, yaitu: pertama adalah model cenderung memberikan nilai yang lebih besar (*over prediction*) dan yang kedua adalah model yang cenderung memberikan nilai yang lebih kecil dari nilai yang seharusnya.

Model Heiss & Eichner bersama dengan model Labuza cenderung memberikan hasil perhitungan yang lebih besar. Sedangkan model Waktu Paruh dengan Rudolph cenderung memberikan hasil perhitungan yang lebih rendah. Estimasi tersebut berlaku baik bagi produk *cookies* maupun *crackers*.

Hasil perbandingan umur simpan dengan model Arrhenius sesuai dengan analisa statistik yang menunjukkan bahwa model Rudolph dan model Waktu Paruh memberikan nilai rata-rata hasil perhitungan umur simpan yang tidak berbeda nyata, baik pada produk *cookies* maupun pada produk *crackers*. Tambahan lagi model Heiss & Eichner secara statistik memberikan nilai rata-rata hasil perhitungan umur simpan yang tidak berbeda pada produk *crackers*.

Kedekatan nilai hasil perhitungan pada model Rudolph dengan Waktu paruh demikian pula pada model Heiss & Eihner dengan model Labuza disebabkan oleh kedekatan struktur model (kompleksitas parameter pada masing-masing persamaan). Pada kedua model Heiss-Eichner dan Labuza, perhitungan umur simpan tidak dapat dilakukan tanpa bantuan kurva sorpsi isothermis. Berbeda halnya dengan kedua model lainnya: Waktu Paruh dan Rudolph, sorpsi isotherm tidak diperlukan. Hal ini pada gilirannya akan memberikan kesan over-simplifikasi yang memberikan nilai hasil perhitungan yang lebih rendah.

Kedua Model yang memberikan hasil perhitungan yang rendah juga tidak memperhitungkan faktor tekanan uap air baik di dalam pengemas maupun di luar pengemas. Bahkan pada model waktu paruh parameter fluks uap air dengan permeabilitas diintegrasikan ke dalam perubahan berat sampel secara keseluruhan. Hal ini meskipun memberikan nilai perhitungan yang cenderung rendah, namun memberikan kemudahan dalam pelaksanaan percobaan.

Jika keempat jenis model diuraikan atas unsur-unsur pendukungnya, maka semua unsur penunjang yang dinyatakan sebagai parameter model dapat diuraikan menjadi 6 komponen berikut: a). Unsur *unaccomplished moisture content* dengan simbol, ln (Me-M) (Me-Mi). b). Unsur permeabilitas atau fluks uap air dinyatakan dengan simbol P/X atau J_{H2O}. c). Unsur berat kering produk, dinyatakan dengan simbol W_s d). Unsur luas pengemas (A). e). Unsur perbedaan tekanan uap air dinyatakan sebagai a_w, RH atau Po.f.) Kurva sorpsi isothermik, dinyatakan dengan simbol tg atau slope bo.

Keenam unsur komponen model tersebut ditabulasi dalam Tabel 6. Pada Tabel terlihat bahwa kedua model yang over-estimasi mengintegrasikan keenam unsur tersebut dengan baik, sedangkan ke dua model yang cenderung under-estimasi, tidak mengintegrasikan beberapa unsur ke dalam model. Pada model Waktu paruh ada dua unsur yang tidak diintergrasikan secara eksplisit (fluks pengemas dan sorpsi isothermik). Pada model Rudolph, ada tiga unsur (*unaccomplished moisture content,* perbedaan tekanan uap air dan kurva sorpsi isothermik).

Tabel 6. Evaluasi dengan penguraian keempat model atas unsur-unsurnya.

Unsur Model	Simbol	HE *)	Labuza	WP	Rudolph **)
Unaccomplished moisture content	$\frac{Ln(Me-Mi)}{Ln(Me-Mi)}$	++	++	+	-
Permeabilitas atau fluks	P/X atau J_{H2O}	+	+++	-	+
Berat kering produk	Ws	+	+	+	+
Luas Pengemas	A	+	+	+	+
Perbedaan tekanan uap air atau a_w/RH	Po. RH A tau a_w	+++	++	+	-
Kurva sorpsi isotherm	tg α, slope b	++	++	-	-

*). Heiss & Eichner, **). Waktu Paruh.

KESIMPULAN

Nilai hasil penetapan umur simpan antara model Heiss-Eichner dengan Labuza memiliki variasi kecil, sehingga kedua model tersebut hampir identik, demikian pula antara model Rudolph denga waktu paruh. Keempat model yang digunakan dapat dikelompokkan menjadi dua golongan yaitu yang memberikan nilai hasil perhitungan yang rendah yaitu model Heiss-Eichner dan Labuza serta model yang memberikan hasil perhitungan yang nilainya besar yaitu Rudolph dan Waktu Paruh.

Penetapan umur simpan dengan pendekatan semi empiris menunjukkan bahwa reaksi oksidasi lemak pada *cookies* maupun *crackers* mengikuti reaksi ordo nol. Energi aktivasi reaksi tersebut pada produk *cookies* lebih besar dari produk *crackers*, demikian pula nilai Q_{10} produk *cookies* lebih besar dari pada *crackers*.

Umur simpan berdasarkan pendekatan semi empiris untuk *cookies* = 97.5 hari dan *crackers* = 46.8 hari. Dengan demikian model Heiss-Eichner dan Labuza memberikan nilai umur simpan yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang diperoleh dari hasil penetapan dengan pendekatan semi empiris.

DAFTAR PUSTAKA

Association of official Analytical Chemists, 1984. Official Method of Analysis of The Association of Official Analytical Chemists, 14 th ed. AOAC, Inc. Arlington, Virginia.

Egan, H. 1981 Pearson's Chemical Analysis of Foods. Churchill Livingstone, London.

Gomez, K.A., A.A. Gomez. 1984. Statistical Procedures For Agricultural Reseacrh. 2nd edition. IRRI-John Wiley & Sons. Singapore.

Floros. J.D. ,V. Gnanasekharan, V.. 1993. Shelf life Prediction Of Packaged Foods. Chemical, Biological. Physical And Nutrisional Aspects, (G.Charalambous, ed). Elsevier Publ. London.

Heiss, R., E. Eichner, 1971. Moisture content and shelf-life. Food Manufacture 46(6):37-42

IFT, 1974. Shelf-life of Food, Report by The Institute of Food Technologiets Expert Panel on Food Safety and Nutrition and The Commitee on Public Information, IFT, Chicago, Illinois, August 1974. J. Food Sci. 39:861 (1974)

Labuza, T.P. 1983. Reaction kinetics and accelerated test simulation as a function of Temperature didalam Computer-aided Techniques in Food Technology (I. Saguy Ed.) Marcel-Dekker, NY.

Leung, H.K. 1987. Influencs of water activity: chemical reactivity. Di dalam Water Activity; Theory and Apllication to Food. Macell Dekker, Inc.NY

Lund, D.B. 1975. Effect of heat processing on nutrients. Di dalam Nutritional Evaluation of Food Processing (R.S. Harris, ed). AVI Publishing Co. Westport, Connecticut

Robertson, G.L. 1993. Food Packaging Principle and Practices. Marcel Dekker, Inc. NY

Rudolph, F.B. 1996. Prediction of shelf-life of package water sensitive foods. Lebenm Wiss. u technol. 20 (1):19-21

Syarief, R. 1986. Teknologi Pengemasan Pangan. Monograf. PAU Pangan dan Gizi-IPB, Bogor

Sadler, G.D. 1987. Aseptic chemistry di dalam Principle of Aspectic Processing and Packaging (P.E.Nelson, ed). The Food Processor Institute.

Spiees, W.E.L., W. Wolf, 1987. Critical evaluation of methods to determine moisture Sorption isotherm di dalam Water Activity: Theory and Application to Food. Marcell Dekker, Inc. NY.