

ISOTERMI SORPSI AIR DAN ANALISIS UMUR SIMPAN IKAN KAYU TONGKOL (*Euthynnus affinis*) DARI ACEH

[Moisture Sorption Isotherm and Shelf Life Analysis of Dried Tongkol
(*Euthynnus affinis*) from Aceh]

Rita Hayati, ¹⁾ Aminah Abdullah ²⁾, Mohd.Khan Ayob ²⁾, dan Soewarno T. Soekarto ³⁾

¹⁾ Staf Pengajar Universitas Syiah Kuala, Darussalam Banda Aceh yang sedang Mengikuti Program Doktor Falsafah
Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia

²⁾ Staf Pengajar Jurusan Kimia dan Teknologi Makanan Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), Malaysia

³⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknologi Pangan dan Gizi, FATETA, Institut Pertanian Bogor

Diterima 25 Januari 2005 / Disetujui 6 Maret 2005

ABSTRACT

Tongkol dried fish (*Ikan Kayu Tongkol*) is lumps of less salted dried fish usually used as popular ingredient for some traditional fish dishes in Aceh as well as in Malaysia. In Japan it is further processed into Katsou-bushi for preparation of special soup. The objective of this research was to find out water relation parameters in the less salted dried fish as related to shelf life, characteristic changes during storage and estimate analysis of its expired date. Dried fish samples were equilibrated in 15 levels of RH at 28°C and their equilibrium moisture contents were determined.

Moisture sorption isotherm derived from the correlation of equilibrium moisture content data indicated a typical sigmoidal curve implying 3 regions of water adsorption. The water sorption regions accounted for three fractions of bound water as analyzed using three different mathematical models. The first water fraction ranged 0 – 5.95 %, the second 5.95 – 17.52 % and the third fraction ranged 17.52 – 91.12 % dry basis, equivalent to 0 – 5.6 %, 5.6 – 14.9 % and 14.9 – 47.4 % wet basis respectively. Storage simulation experiment in two packaging materials as carried out at 30°C and 90 % RH resulted shelf life of 2749 days (91 months) in the packaging of plastic impregnated aluminium and 1204 days (40 months) in plastic packaging. These very long shelf life was due to the added salt in the product which increased M_e as high as 46.9 % to cause mold growth. This estimate analysis of shelf life using the mathematical model of Labuza (1984) is one of the appropriate methods to determining expired date of dry food products.

Key words: "Ikan kayu", skip jack, water sorption isotherm, water fraction, shelflife

PENDAHULUAN

Sorpsi air oleh bahan pangan adalah fenomena proses dimana molekul air berasosiasi secara progresif dan reversibel dengan bagian solid pangan melalui sorpsi kimia, adsorpsi fisik, dan kondensasi multilayer (Heldman dan Lund, 1992). Isotermi Sorpsi Air (ISA) menggambarkan hubungan antara kelembaban relatif (RH) udara/aktivitas air (a_w) bahan dengan kadar air keseimbangan dan unik untuk setiap bahan. Kurva ISA tersebut dapat digunakan untuk menentukan sifat-sifat produk, parameter pengeringan, pengemasan dan penyimpanan pangan (Labuza, Kaanane, Chen, 1985; Van den berg, 1986; Muterjemi, 1988; Bimbenet and Loncin, 1995; Hayati, R, 2001; Wulandari, N, 2002; Pratiwiningsih, I, 2004). Di samping itu ISA juga menggambarkan adanya berbagai struktur air dalam bahan (Soekarto, 1978) yaitu adanya tiga fraksi air terikat primer, air terikat sekunder dan air terikat tersier, yang berbeda perilakunya dalam produk. Menurut Anguilera dan Stanley (1990) dan Fellow (1992), keunikan bentuk kurva ISA disebabkan oleh perbedaan struktur fisik,

komposisi kimia dan kondisi pengikatan air didalam bahan pangan.

Jarak waktu mulai produksi hingga ditolaknya bahan pangan dikatakan sebagai umur simpan. Beberapa faktor yang mempengaruhi umur simpan adalah karakteristik produk, lingkungan dan sifat kemasan. Penentuan umur simpan produk dapat dilakukan dengan metoda ESS (*Extended Storage Studies*), ASS (*Accelerated Storage Studies*) (Robertson, 1993 dan Arpah, 2001), dan metoda analisis ISA (Labuza, 1984). Arpah (2001) dengan metoda ASS (*Accelerated Storage Studies*) menggunakan dua pendekatan yaitu kadar air kritis yang diterapkan untuk produk kering dan a_w kritis untuk produk pangan semi basah (*Intermediate Moisture Food*, IMF).

Nilai a_w dan M_e merupakan variabel yang dapat digunakan untuk analisis pendugaan kerusakan pangan atau untuk menentukan waktu pengeringan yang diperlukan untuk stabilitas produk. Labuza (1984) menyatakan bahwa a_w bahan pangan sangat menentukan kondisi penyerapan atau kehilangan air dari bahan pangan, sehingga dikembangkan model matematik yang dapat digunakan untuk memperkirakan

umur simpan produk. Tidak adanya data dan informasi umur simpan pada ikan kayu tongkol, memerlukan penelitian lebih lanjut.

Ikan kayu yaitu suatu produk ikan kering ukuran besar dengan pemberian sedikit garam dan menjadi bahan dasar untuk pengolahan lebih lanjut. Di Aceh ikan kayu banyak digunakan untuk pembuatan masakan seperti tumis ikan kayu, *asam ke'eng* dan otak-otak. Di Jepang ikan kayu diolah lebih lanjut menjadi *Katsou-bushi* yang sangat populer sebagai bahan pembuatan sup (Akio Kanazawa, 1961).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan ISA dan mendapatkan data dasar untuk analisa umur simpan pada ikan kayu tongkol serta untuk menentukan kondisi proses penggudangan dan pengemasan. Informasi tersebut dapat digunakan untuk dijadikan bahan penyuluhan bagi produsen ikan kayu tongkol. Data ISA ikan kayu tongkol sangat penting untuk memahami daya simpan, kondisi pengeringan dan parameter kritikal pada pengeringan dan penyimpanan.

METODOLOGI

Bahan dan peralatan

Dalam penelitian ini digunakan bahan ikan kayu tongkol yang dibuat di Malaysia dan 15 jenis bahan kimia untuk mengatur kelembaban relatif (RH) dalam desikator.. Bahan kimia diperoleh dari Jurusan Teknologi Pangan dan Gizi, IPB, Bogor. Untuk mengatur RH desikator digunakan larutan garam jenuh (Tabel 1).

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari peralatan gelas untuk penyiapan larutan garam jenuh, desikator kecil untuk penentuan isotermin sorpsi, inkubator suhu 28°C untuk penempatan desikator, alat pengering kemoreaksi, oven suhu 105°C untuk menentukan kadar air, neraca analitik dan desikator besar berisi gel silika.

Metode percobaan

Masing-masing larutan garam jenuh dibuat sebanyak 100 ml untuk setiap desikator. Bahan contoh ikan kayu diturunkan kadar airnya dengan pengering kemoreaksi sampai tercapai kadar air 2 %. Contoh ditimbang kurang lebih 2 gram kemudian dimasukkan ke dalam cawan dan disetimbangkan di dalam desikator. Desikator disimpan dalam ruang inkubator suhu 28°C, dan setiap hari dilakukan penimbangan contoh sampai setimbang. Keseimbangan kadar air bahan contoh kemudian diukur dengan metode oven (AOAC, 1995). Penentuan umur simpan ikan kayu tongkol didasarkan pada percobaan penyimpanan sebagai simulasi penanganan di udara luar pada suhu 30°C dan RH udara 90 %. Ikan kayu dikemas dalam dua jenis kantong yaitu aluminium lapis plastik (PET) dan plastik polietilen (HDPE), berukuran 20 X 30 Cm, masing-masing berisi 1500 gram. Analisis umur simpan didasarkan rumus Labuza (1984) dengan kriteria kadar air kritikal Mc, yang

ditentukan dengan metoda dipercepat dengan penyimpanan pada suhu 30°C dan RH 90 % sampai tumbuh kapang.

Tabel 1. Nilai RH udara di atas larutan garam jenuh dan keseimbangan kadar air (Me) ikan kayu tongkol pada suhu 28 °C.

No.	Larutan	RH (%)	Me, % b k
1.	MgCl ₂	32	4.17
2.	K ₂ CO ₃	43	6.61
3.	NaBr	57	9.91
4.	NaNO ₂	64	14.29
5.	KI	68	14.89
6.	SrCl ₂	71	17.03
7.	NaNO ₃	73	20.37
8.	KBr	80	25.33
9.	KCl	84	35.47
10.	K ₂ CrO ₄	86	37.79
11.	BaCl ₂	90	47.32
12.	NH ₄ H ₂ PO ₄	92	55.49
13.	KNO ₃	93	64.28
14.	K ₂ SO ₄	97	-

HASIL DAN PEMBAHASAN

Isotermin sorpsi air ikan kayu tongkol

Hasil pengukuran kadar air keseimbangan (Me pada Tabel 1) dihubungkan dengan dengan nilai aw bahan secara adsorpsi maka diperoleh kurva isotermin sorpsi air (ISA) untuk ikan kayu tongkol (Gambar 1A). Kurva ISA yang dihasilkan mempunyai bentuk sigmoid, yaitu bentuk isotermin tipe II. Menurut Labuza (1984) bentuk kurva sigmoid merupakan bentuk yang tipikal pada sebagian besar bahan pangan. Bentuk kurva sigmoid ini memperlihatkan adanya tiga daerah kurva yang berbeda dampaknya terhadap karakteristik dan daya awet produk.

Soekarto (1978), Labuza (1984), Aguilera dan Stanley (1999) membagi kurva ISA menjadi 3 daerah air yaitu daerah air terikat primer (monolayer), daerah air terikat sekunder (multilayer), dan daerah air terikat tersier (air pelarut, pelunak produk).

Analisis air terikat primer

Air terikat primer atau fraksi air pertama menunjukkan bagian air yang terikat sangat kuat oleh bahan kering (solid), dan merupakan adsorpsi air yang bersifat satu lapis molekul air atau monolayer (Van den Berg dan Bruin, 1981). Air terikat primer dapat ditentukan dengan menggunakan model matematika isotermin sorpsi air BET, yang penerapannya hanya berlaku pada aw 0.05-0.60 (Rizvi, 1995), dengan persamaan (1) :

$$a_w = \frac{1}{(1 - a_w) M} + \frac{(c-1) a_w}{M_{pc}} \dots \dots \dots \frac{1}{M_{pc}} \quad (1)$$

dimana M adalah kadar air (%bk), c adalah konstanta, M_p adalah kapasitas air terikat primer (% bk). Plot persamaan BET dapat dilihat pada Gambar 1B.

Persamaan (1) dapat dipandang sebagai rumus regresi linier, yang hasil analisis regresi untuk ikan kayu tongkol adalah persamaan regresi (2) :

$$Y = 0.0861x + 0.0815 \quad (R^2 = 0.7685) \quad (2)$$

Dari persamaan regresi (2) tersebut nilai konstanta regresi a dan b dimasukkan ke dalam persamaan (1) sehingga menjadi :

$$a = 1/M_p c \quad \text{dan} \quad b = (c-1)/M_p c \quad \text{jadi} \quad b/a = (c-1)$$

Dari persamaan regresi diketahui nilai a = 0.0815 dan b = 0.0861 sehingga :

$$b/a = (c - 1) = 0.0862/0.0815 = 1.056, \text{ jadi } c = 2.056$$

$$a = 1/M_p c = 0.0815, \text{ jadi } M_p = 5.95 \% \text{ bk}$$

Analisis air terikat sekunder

Air terikat sekunder atau fraksi air kedua merupakan lapisan multilayer (Rockland, 1969). Untuk menentukan kapasitas air terikat sekunder digunakan model analisis logaritma yang dikemukakan oleh Soekarto (1978), dengan persamaan umum (3) :

$$-\log(1-a_w) = p + q(M) \quad (3)$$

dimana M adalah kadar air (g air/g bahan kering) pada aktivitas air a_w , a adalah titik potong pada ordinat dan b adalah faktor kemiringan. Plot logaritma ikan kayu tongkol dapat dilihat pada Gambar 1C.

Menurut Soekarto (1978), plot data persamaan tersebut menghasilkan garis lurus yang patah menjadi dua garis lurus. Plot persamaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3C. Garis lurus pertama mewakili fraksi air terikat sekunder dari data M di daerah 6 – 18 % dengan persamaan (3a) :

$$-\log(1-a_w) = p_1 + q_1(M) \quad (3a)$$

dan garis lurus kedua mewakili fraksi air terikat tersier dari data M di daerah di atas 18 % dengan persamaan (3b) :

$$-\log(1-a_w) = p_2 + q_2(M) \quad (3b)$$

Titik potong kedua garis merupakan batas daerah fraksi air kedua dan ketiga dan nilainya sebagai kapasitas air terikat sekunder (M_s) yang dapat diperoleh dari menggabungkan persamaan (3a) dan (3b) menjadi persamaan (4) :

$$p_1 + q_1 M_s = p_2 + q_2 M_s \quad (4)$$

Dari dua analisis regresi linier persamaan (3a dan 3b) diperoleh persamaan regresi (5 a dan 5b) :

$$Y_1 = 0.0278x + 0.0625 \quad R^2 = 0.9738 \quad (5a)$$

$$Y_2 = 0.0153x + 0.2815 \quad R^2 = 0.9841 \quad (5b)$$

Kapasitas air terikat sekunder (M_s) diperoleh dengan menyatukan persamaan 5a dan 5b menjadi persamaan (6) :

$$a_1 + b_1 M_s = a_2 + b_2 M_s$$

$$0.0625 + 0.0278 M_s = 0.2815 + 0.0153 M_s \quad (6)$$

$$0,0125 M_s = 0.219$$

$$M_s = 17.52 \% \text{ bk}$$

Dengan memasukkan nilai M_o dan M_s ke persamaan (5a dari 3a) dapat diperoleh nilai a_w batas pertama dan kedua sebagai a_w kritikal pertama (a_p) dan kritikal kedua (a_s)

$$-\log(1 - a_w) = p_1 + q_1 M$$

$$-\log(1 - a_p) = 0.0625 + 0.0278 (5.95) = 0.2279$$

$$1 - a_p = 0.59$$

$$a_p = 0.41, \text{ setara dengan RH} = 41 \%$$

$$-\log(1 - a_s) = 0.0625 + 0.0278 (17.52) = 0.5495$$

$$-\log(1 - a_s) = 0.5495$$

$$1 - a_s = 0.26$$

$$a_s = 0.74, \text{ setara dengan RH} = 74 \%$$

Aktivitas air kritikal sangat penting dan terkait dengan stabilitas atau kerusakan produk kering. Apabila reaksi deteriorasi kimiawi terjadi pada daerah fraksi air kedua maka kerusakan produk kering oleh pertumbuhan mikroba terjadi di daerah fraksi air ketiga. Aktivitas air dapat memberikan indikasi batas terendah untuk pertumbuhan mikroorganisma tahan garam (a_w 0.60), sebagian besar jamur (a_w 0.80), yeast (a_w 0.87) dan bakteri patogen (a_w 0.91) (Aguilera dan Stanley, 1999).

Analisis air terikat tersier

Daerah air terikat tersier merupakan daerah fraksi air ketiga yang terikat lemah dan mempunyai sifat mendekati air bebas (*bulk water*). Pada daerah ini mikroba dapat tumbuh dan produk akan dirusak oleh pertumbuhan mikroba.

Penentuan kapasitas air terikat tersier didasarkan pada konsep bahwa air bebas (air murni sempurna) mempunyai $a_w = 1$. Jadi kadar air terendah menghasilkan $a_w = 1$, merupakan batas antara fraksi air terikat tersier dengan air bebas. Penentuan nilai batas atas air terikat tersier (M_t) dilakukan melalui 2 pendekatan yaitu pertama, metoda extrapolasi dengan analisis regresi model polinomial ordo 2 (Gambar 1D) dan kedua, metoda extrapolasi manual (Gambar 2). Keduanya menggunakan data ISA dari daerah air terikat tersier, daerah kadar air 18 % bk ke atas.

Dari hasil analisis regresi polinomial ordo 2 (Gambar 1D) diperoleh persamaan regresi (7) :

$$Y = 817.06 x^2 - 1141.3 x + 415.35 \quad (R^2 = 0.982) \quad (7)$$

$$= 817.06 (1)^2 - 1141.3 (1) + 415.35$$

$$= 91.2, \text{ jadi } M_t = 91.2 \% \text{ bk}$$

dimana adalah Y kadar air dan x aktivitas air. Dengan memasukkan nilai $x = a_w = 1$, pada rumus (7) maka

diperoleh nilai Y yaitu nilai kapasitas air terikat tersier (M_t) = 91.2 %. Dengan cara extrapolasi manual (Gambar 2) diperoleh nilai M_t = 90 % bk.

Analisis umur simpan ikan kayu tongkol

Pada penelitian ini pendugaan umur simpan ikan kayu tongkol dilakukan dengan metoda dipercepat (*Accelerated Storage Studies*) dengan penyimpanan pada suhu 30°C dan RH 90 % untuk mendapatkan parameter kadar air kritikal (M_c) yaitu cara yang diterapkan untuk produk kering. Kriteria kadaluwarsa atau mulai rusak adalah kadar air kritikal (M_c), yang memungkinkan mulai ditumbuhi kapang pada ikan kayu tongkol. Pendugaan umur simpan digunakan model matematika (rumus 8) dari Labuza (1984), setelah diperoleh data parameter difusitas uap air pada bahan kemasan (k/l) dari produsen kemasan, ukuran kemasan dan isinya (A dan w) dari pengukuran, kadar air kritikal (M_c) dari percobaan dan secara teori, parameter udara ruang simpan (P_o) dari Tabel Uap dan pola sorpsi isotermi (B) dari analisis regresi data isotermi sorpsi air. Data yang telah diperoleh untuk perhitungan disajikan pada Tabel 2.

Stabilitas penyimpanan produk kering dapat dipertahankan jika integritas kemasan (*seal*) masih baik, dapat melindungi dari permeasi gas, bau dan uap air. Sifat perlindungan tersebut dapat meningkat apabila bahan yang dikemas ditambah zat pengawet. Menurut Robertson (1993) polimer hidrokarbon non polar seperti polietilen mempunyai sifat barrier yang unggul terhadap uap air dan barrier gas yang kurang baik.

Perubahan kadar air selama penyimpanan akan mempengaruhi mutu bahan pangan. Oleh karena itu dengan mengetahui pola penyerapan air dan nilai kadar air kritikal maka pendugaan umur simpan dapat ditentukan.

Persamaan yang digunakan untuk mengestimasi penyerapan uap air pada produk pangan dalam suatu kemasan semipermeabel telah dikemukakan oleh Labuza (1984) dengan nilai parameter rumus (8) pada Tabel 2 :

$$t_s = \frac{\ln (M_e - M_i/M_e - M_c)}{k/l \cdot A/w \cdot P_o/B} \dots\dots\dots (8)$$

Tabel 2 menunjukkan bahwa ikan kayu tongkol yang dikemas dalam aluminium berlapis plastik daya simpannya jauh lebih tinggi (91 bulan) dibandingkan dengan kemasan plastik HDPE (40 bulan).

Umur simpan dari percobaan juga jauh lebih tinggi dari perhitungan teori karena dalam pengolahan ikan kayu ditambah garam pada tahap pemasakan sebagai pengawet. Dalam percobaan kerusakan ikan kayu baru tampak pada kadar air 46.9 % bk. Perhitungan umur simpan secara teori didasarkan pada nilai M_c = 17.5 % bk yang diturunkan dari nilai M_s , batas kadar air fraksi sekunder.

Ikan tongkol segar sebelum dikeringkan dan hasilnya setelah menjadi ikan kayu disajikan pada Gambar 3. Sebelum diproses lebih lanjut biasanya ikan kayu disimpan dalam wadah sebagai persediaan (stok) bahan pangan.

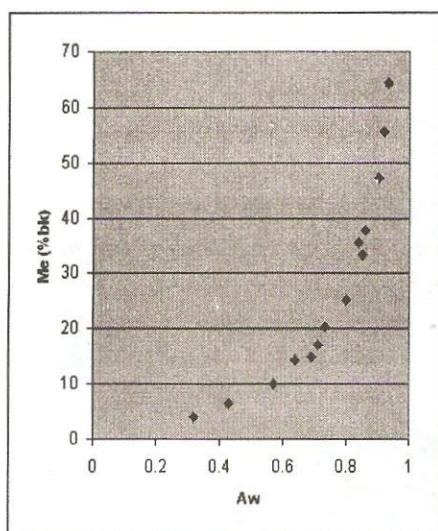
Berbagai analisis telah dihasilkan parameter kritikal yang berguna untuk prediksi karakteristik daya simpan ikan kayu tongkol. Dari ketiga batas daerah fraksi air yaitu masing-masing fraksi primer (ATP) 5.95 %, fraksi sekunder (ATS) 17.52 % dan dan fraksi tersier (ATT) 73.68 %, dapat dibuat prediksi karakteristik ikan kayu tongkol dalam penyimpanan (Tabel 3). Prediksi ini disajikan dengan asumsi tidak adanya faktor pengawet lain, misalnya penambahan zat pengawet, serta tidak terjadi kebocoran kemasan.

Tabel 2. Hasil pengukuran dan analisis pendugaan umur simpan ikan kayu tongkol dgn kemasan aluminium dan plastik, pada penyimpanan suhu 30° C dan RH 90%

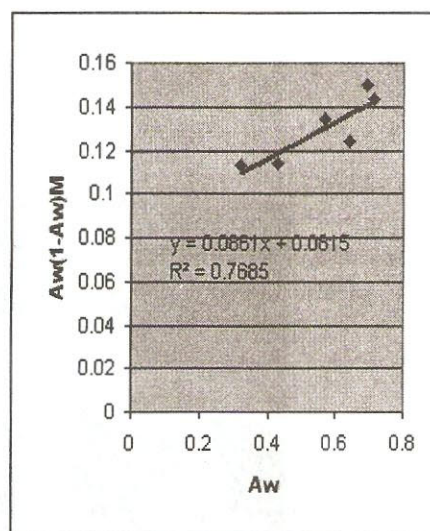
Parameter Pengukuran	Kemasan Aluminium	Kemasan Plastik
M_i (% bk)	9.9	9.9
M_c (%bk) :		
# Dari Percobaan	46.9	46.9
# Dari Teori	17.5	17.5
M_e (%bk)RH 90 %	47.3	47.3
k/l (g/m ² .hari.mmHg)	2.73	6.23
A (m ²)	0.04	0.04
W (gram)	250	250
P_o (mmHg)	31.0	31.0
Slope (B)	8.2	8.2
Umur simpan :		
# Dari Percobaan	2749 hr (91 bln)	1204 hr (40 bln)
# Dari Teori	137 hr (4 bln)	60 hr (2 bln)

Tabel 3. Prediksi karakteristik ikan kayu tongkol dalam penyimpanan berdasarkan batas-batas daerah fraksi air.

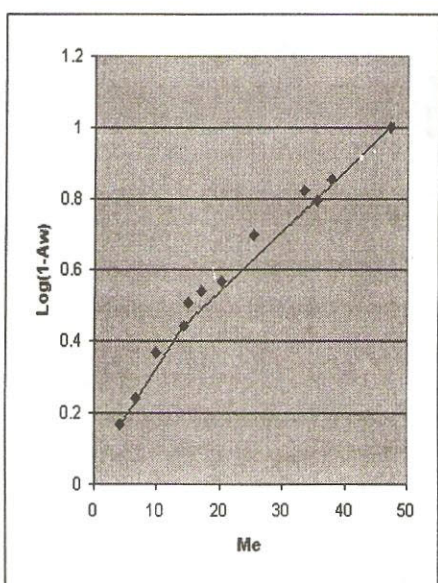
Parameter	Nilai	Prediksi karakteristik ikan kayu tongkol dalam penyimpanan suhu kamar.
M ₀ , % bk % bb	5.95 5.60	Di bawah kadar air ini produk keras, getas/rapuh, sangat stabil
M _s , % bk % bb	17.52 14.90	Di bawah kadar air ini produk tidak getas, produk kuat wulet, lama-lama dpt menjadi coklat, apek, atau tengik,
M _t , % bk % bb	91,20 47.70	Di bawah kadar air ini produk lentur, mula- mula berjamur, atau lama-lama berlendir, produk menjadi rusak/bau busuk
a _p	0.40	Batas a _w mulai perubahan kimiawi, di bawah a _w ini produk sangat stabil
a _s	0.74	Di atas a _w ini produk mulai ditumbuhi kapang, makin tinggi a _w produk rusak oleh bakteri



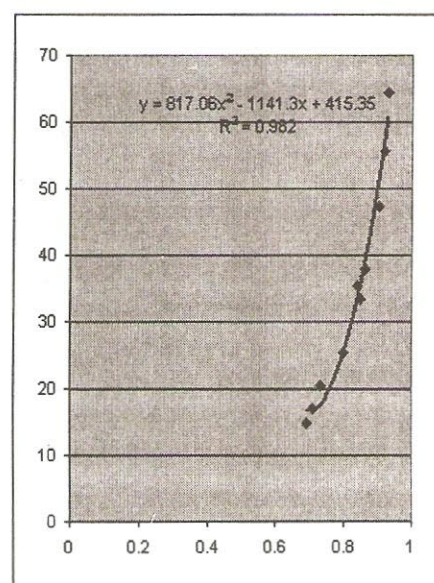
A. Kurva ISA



B. Plot BET

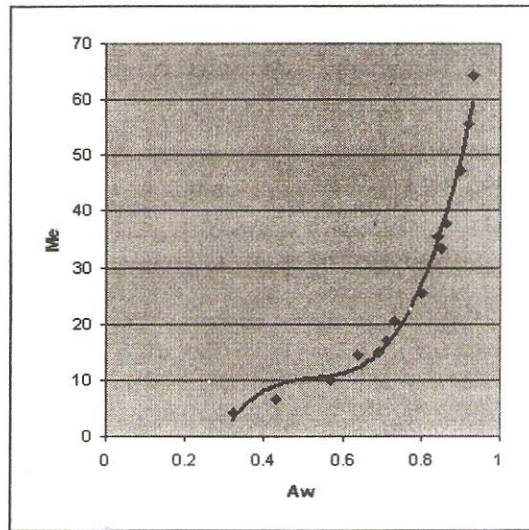


C. Plot logaritma

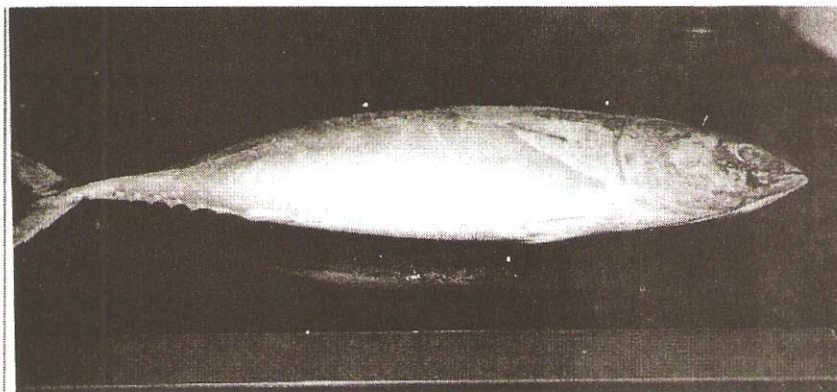


D. Plot polinomial ordo 2

Gambar 1. Kurva ISA dan plot ISA menurut plot BET, plot logaritma, plot polinomial ordo 2 dari ikan kayu tongkol



Gambar 2. Ekstrapolasi pada penentuan air terikat tersier ikan kayu tongkol



A. Ikan tongkol segar (*Euthynnus affinis*)



B. Ikan kayu tongkol

Gambar 3. Ikan tongkol segar (A) dan hasil ikan kayu tongkol (B)

KESIMPULAN

Kurva isoterme sorpsi air ikan kayu tongkol berbentuk tipikal sigmoid, meliputi 3 daerah sorpsi air yaitu daerah fraksi air pertama antara 0 – 6.0 %, kedua 6.0 – 17.5 % dan ketiga 17.5 – 91.2 % bk (atau dalam basis basah fraksi air pertama 0 – 5.6 %, kedua 5.6 – 14.9 dan ketiga 14.9 – 47.7 % bb).

Besarnya kandungan ketiga fraksi air terikat pada ikan kayu tongkol yaitu masing-masing primer (ATP) 6.0 %, sekunder (ATS) 11.5 % (sekitar 2 X ATP) dan tersier (ATT) 73.7 % bk (sekitar 12 X ATP).

Dengan simulasi penyimpanan pada suhu 30°C dan RH 90 % dalam 2 jenis kemasan ukuran 20 X 20 Cm dan isi 250 gram diperoleh prediksi umur simpan ikan kayu tongkol dalam kemasan aluminium lapis plastik 2749 hari (91 bulan) jauh lebih tinggi daripada dalam kemasan plastik 1204 hari (40 bulan). Berdasarkan perhitungan teoritis umur simpannya jauh lebih rendah karena dengan asumsi tidak ada faktor pengawetan lain yaitu dengan kemasan aluminium selama 137 hari (4 bulan) dan dengan kemasan plastik 60 hari (2 bulan).

Prediksi kerusakan oleh pertumbuhan kapang di daerah fraksi air terikat tersier tidak menunjukkan adanya perbedaan dengan hasil percobaan simulasi metoda *accelerated storage test*.

DAFTAR PUSTAKA

- AOAC, 1995. Official Methods of Analysis. Association of Official of Analytical Chemist, Washington D.C.
- Aguilera, J.M. and D.W. Stanley. 1990. Microstructural Principles of Food Processing Engineering. Elsevier Applied Science, London, New York.
- Aguilera, J.M and Stanley, D.W. 1999. Microstructural Principles of Food Processing and Engineering. 2nd ed. Aspen Publ.Inc.Maryland.
- Akio Kanazawa. 1961. Katsou-bushi : Dried Bonito Stick. Faculty of Fisheries Kagoshima University, Japan.
- Arpah. 2001. Penentuan Kadaluarsa Produk Pangan. Buku dan Monograf. IPB, Bogor.
- Bimbenet and Loncin 1995. Equilibre entre phases, Activite de L'eau, Bases du Genie des Procedes Alimentaires, Mason, Paris.
- Fellow, P. 1992. Food Processing Technology Principles and Practice. Ellis Horwood, New York.
- Hayati, R. 2001. Kajian Penggaraman dan Pengerangan Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.) dalam Pembuatan Asam Sunti Dari Aceh. Tesis. Program Pascasarjana Insitut Pertanian Bogor, Bogor.
- Heldman, D.R. and Lund, D.B. 1992. Handbook of Food Engineering. Marcel Dekker, Inc.
- Labuza, T.P. 1984. Moisture Sorption : Practical Aspects of isotherm Measurement and Use. Am. Assoc. Cereal Chem., St. Paul Minnesota.
- Labuza, A.Kaanane and J.Y. Chen 1985. Effect of Temperature on The Moisture Sorption, Isotherm and Water Activity Shift to Two Dehydrates Foods. Journal Food Science 50 : 385-391.
- Muterjemi, Y. 1988. A Study of Some Physical Properties of Water in Foodstuff. Doctoral Dissertasion, Division of Food Engineering, Lund University, Sweden.
- Pratiwiningsih, I. 2004. Kajian Sifat Fungsional, Mikrostruktur, dan Pendugaan Umur Simpan Surimi Kering Dari Ikan Marlin (*Makaira* sp). Tesis. Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Rizvi, S.S.H. 1995. Thermodynamic Properties of Food in Dehydration. Dalam M.A. Rao and Rizvi, S.S.H. (eds). Engineering Properties of Foods. Marcel Dekker, New York.
- Robertson, G.L. 1993. Shel Life of Foods. Marcel Dekker Inc. New York.
- Rockland, L.B. 1969. Water Activity and storage stability. Food Technology. 23 : 1241-1251.
- Soekarto, S.T. 1978. Pengukuran air ikatan dan peranannya pada pengawetan pangan (Bound water determination and its significance to food preservation). Bulletin Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia, 4: 4-18.
- Van den Berg, C. 1981. Vapour sorption equilibria and other water-starch interaction; a physicochemical approach. Doctoral thesis, Agricultural University, Wagenigen.
- Van den Berg, C and Bruin, S. 1981. Water activity and its estimation in food systems : theoretical aspects. Dalam Water Activity : Influences in Food Quality. Rockland, L.B and Steward, G.F. (ed). Academic Press. London.
- Wulandari, N. 2002. Analisis Pengerangan Absorpsi dengan Kapur Api pada Pengerangan Lada Hitam. Tesis. Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.