

PEMODELAN ISOTERMIS SORPSI AIR PADA MODEL PANGAN

[Modelling of Moisture Sorption Isotherm in Food Model]

Dede R Adawiyah*, dan Soewarno T. Soekarto

Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fateta, IPB

Diterima 11 Agustus 2009 / Disetujui 2010

ABSTRACT

Moisture sorption isotherm of food powder products is pertinent in processing and stability of food. Food model consisted of tapioca starch, casein, palm oil and sucrose. The moisture sorption isotherm curves of the food model, tapioca starch and casein were sigmoid indicating the typical shape of amorphous product, while the water sorption isotherm of sucrose was a broken-line curve showing typical shape of crystalline material. The Guggenheim – Anderson-de Boer (GAB) model was the best model to predict sigmoid sorption isotherm curve (tapioca starch, casein and food model) at the whole range of experimental a_w (0.07 – 0.97) while the Braunauer Emmet Teller (BET) model only fitted for a_w up to 0.6. The Water binding capacity of tapioca at monolayer (M_m) was higher than casein and food model but the coefficient of adsorption energy (C) was lower than that of casein. Addition of oil at the food model decreased the water binding capacity at monolayer. The Grover model was more suitable than Ross model to predict the water sorption isotherm curve of food model from its composition.

Key words: Moisture sorption isotherm, food model, GAB, BET, Grover, Ross model

PENDAHULUAN

Isotermis sorpsi air adalah kurva yang menghubungkan data kadar air dengan aktivitas air suatu bahan pada suhu yang sama. Isotermis sorpsi air sangat penting untuk merancang proses pengeringan, terutama dalam penentuan titik akhir pengeringan serta dalam menentukan stabilitas bahan pangan selama penyimpanan. Istilah sorpsi sendiri menurut Van den Berg (1981) menunjukkan semua proses dimana solid dari suatu bahan pangan bergabung dengan molekul air secara *reversible* yang melibatkan proses adsorpsi fisik dan kondensasi kapiler.

Banyak model yang telah dikembangkan untuk mendeskripsikan kurva sorpsi isotermis air diantaranya adalah model Langmuir yang dibuat pada tahun 1918 dan dimodifikasi menjadi persamaan BET (Braunauer, Emmet dan Teller) pada tahun 1938. Persamaan lain adalah Smith (1947), Oswin (1946), Halsey (1948), Henderson (1952), Chen (1971), GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer) (1981) dan lain-lain. Menurut McLaughlin dan Magee (1998) terdapat 23 persamaan yang dapat menjelaskan hubungan antara kadar air dan a_w (sorpsi isotermis) bahan pangan. Dari sekian banyak model yang dikembangkan tersebut, persamaan BET dan GAB mewakili model isotermia yang memiliki daya guna cukup baik yaitu dalam hal kemampuannya secara matematis menguraikan isotermis sorpsi, dan kemampuan tetapan-tetapan dalam model tersebut untuk menjelaskan fenomena secara teoritis.

Fungsi lain dari sorpsi isotermis adalah memprediksi efek satu atau lebih komponen terhadap penurunan atau peningkatan a_w produk pangan. Beberapa model yang digunakan untuk keperluan tersebut diantaranya adalah

persamaan Raoult, Norrish, Grover dan Ross (Bell dan Labuza, 2000).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi ketepatan model BET (Braunauer, Emmet dan Teller) dan GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer) dalam menggambarkan pola kurva isotermis sorpsi air baik pada model pangan maupun bahan penyusunnya serta mengevaluasi kemampuan model Ross dan Grover dalam memprediksi pola isotermis sorpsi air model pangan menggunakan pendekatan pola sorpsi dari komponen penyusunnya.

METODOLOGI

Bahan

Bahan utama yang digunakan adalah pati tapioka, kasein, minyak dan sukrosa. Tapioka yang digunakan adalah tapioka komersial merk Gunung Agung yang dicuci kembali untuk pemisahan kotoran. Kasein yang digunakan adalah *Sodium Caseinate* merk dagang Dairyfood produksi Jerman yang diperoleh dari Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, IPB. Gula yang digunakan adalah kristal gula sukrosa komersial merk Gulaku yang digiling dan diayak dengan ukuran partikel 80-100 mesh. Bahan lain yang digunakan adalah minyak goreng komersial yaitu berasal dari sawit dengan merk dagang Bimoli Special.

Bahan kimia yang digunakan terutama adalah garam-garam untuk keperluan penyeimbangan bahan pada berbagai tingkat a_w . Jenis garam dan nilai a_w pada suhu 30°C mengacu pada Tabel Greenspan values for saturated salts (Bell dan Labuza, 2000). Jenis garam dan kondisi a_w pada suhu 30°C yang digunakan berturut-turut adalah LiBr (0,06), NaOH (0,08), LiCl (0,11), CH_3COOK (0,22) KF (0,27), MgCl_2 (0,32), NaI (0,36), K_2CO_3 (0,43), KNO_2 (0,47), $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ (0,51), NaBr (0,56) NaNO_2

*Korespondensi penulis : 0812100413

E-mail : dede_adawiyah@yahoo.com

(0,64), KI (0,68), NaNO₃ (0,73), NaCl (0,75), KBr (0,80), KCl (0,84), K₂CrO₄ (0,86), BaCl₂ (0,897), KNO₃ (0,92), K₂SO₄ (0,97).

Metode

Penyiapan Model Pangan

Sebelum pembuatan model pangan dilakukan, bahan-bahan kering (tapioka, kasein dan gula sukrosa) diturunkan kadar airnya sampai 2–3% dengan pengeringan kemoreaksi menggunakan kapur api atau CaO selama dua minggu pada suhu kamar. Selanjutnya model pangan dibuat dari campuran tapioka, kasein, tepung gula tebu (sukrosa) dan minyak dengan proporsi berat berturut-turut adalah 58%, 14%, 12% dan 16%.

Percobaan Adsorpsi Isotermis

Percobaan adsorpsi isotermis dilakukan terhadap model pangan dan bahan penyusunnya (tapioka, kasein dan tepung gula). Percobaan ini tidak dilakukan pada minyak karena bahan tersebut tidak memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi atau mengikat air. Proses penyeimbangan dilakukan didalam dua puluh satu desikator yang masing-masing berisi larutan garam jenuh dengan kondisi a_w yang berkisar dari 0,06-0,97. Sebanyak 5 gram sampel diletakkan didalam desikator dan dimasukkan ke dalam incubator suhu 30°C dan dilakukan penimbangan setiap hari sampai diperoleh kondisi setimbang (*steady state*). Kriteria setimbang menurut Lievonon dan Ross (2002) adalah jika perubahan kadar air (berat) tidak lebih dari 2 mg/g bahan kering pada 3 kali penimbangan berturut-turut, dan tidak lebih dari 10 mg/g bahan kering untuk kondisi a_w tinggi (diatas a_w 0,9). Setelah kesetimbangan tercapai, bahan dikeringkan untuk mengetahui kadar airnya menggunakan oven (AOAC, 1999). Kadar air dihitung dalam persen berat kering (% bk).

Pemodelan Kurva Sorpsi Isotermis

Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah persamaan BET, GAB, Grover dan Ross. Persamaan BET dan GAB digunakan untuk mendeskripsikan data-data sorpsi isotermis baik untuk model pangan maupun untuk bahan penyusunnya yaitu tapioka, kasein dan gula. Sedangkan persamaan Grover dan Ross digunakan untuk memprediksi sorpsi isotermis model pangan menggunakan data-data sorpsi isotermis dari bahan-bahan penyusunnya.

Model pertama adalah BET dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{a_w}{(1-a_w)M} = \frac{1}{M_m C} + \frac{C-1}{M_m C} a_w$$

Dimana: M = kadar air (%basis kering); M_m = kadar air monolayer (%); a_w = aktivitas air; C = tetapan energi adsorpsi pada lapisan monolayer. Persamaan diatas merupakan persamaan regresi linear dimana a_w/(1-a_w)M sebagai ordinat (Y) dan a_w sebagai absis (X).

Model kedua yang digunakan adalah persamaan GAB :

$$\frac{M}{M_m} = \frac{Cka_w}{k-ka_w} \frac{1}{1-ka_w + Cka_w}$$

Dimana: M = kadar air basis kering (%); M_m = kadar air monolayer (%); a_w = aktivitas air; C = tetapan energi adsorpsi air monolayer; k = konstanta energi air multilayer (diatas air monolayer).

Persamaan diatas dapat diturunkan menjadi bentuk persamaan polimomial ordo 2 atau kuadrat dengan a_w/M sebagai ordinat dan a_w sebagai absis.

$$\frac{a_w}{M} = \frac{1}{CKM_m} + \frac{Ck-2k}{CKM_m} a_w + \frac{C^2 - Ck^2}{CKM_m} a_w^2$$

Dimana: Ordinat Y = a_w/M, absis X = a_w

$$\alpha = \frac{1}{CKM_m} \quad \beta = \frac{Ck-2k}{CKM_m} \quad \gamma = \frac{C^2 - Ck^2}{CKM_m}$$

Model berikutnya yang digunakan untuk memprediksi sorpsi isotermis campuran dari bahan penyusunnya adalah model atau persamaan Ross. Persamaan tersebut adalah:

$$a_w = (a_w)_1 (a_w)_2 (a_w)_3$$

Dengan kata lain a_w campuran merupakan hasil kali dari a_w masing-masing komponen penyusunnya.

Selanjutnya model keempat dengan tujuan penggunaan sama seperti model Ross adalah model persamaan Grover. Model ini biasa digunakan untuk memprediksi a_w campuran berdasarkan komposisi bahan penyusun. Bentuk persamaan Grover adalah sebagai berikut:

$$a_w = 1,04 - 0,1(E^o) + 0,0045(E^o)^2$$

dimana:

$$E^o = \sum E_i / m_i$$

E_i = tetapan kemampuan penyerapan dibandingkan terhadap sukrosa; m_i = total kandungan air pada masing-masing bahan penyusun (gram air per gram bahan penyusun). Nilai E_i untuk beberapa komponen sudah diketahui diantaranya untuk sukrosa 1,0; pati 0,8; protein 1,3 dan lemak 0. Nilai E^o terbatas sampai sama dengan 10 (Bell dan Labuza, 2000).

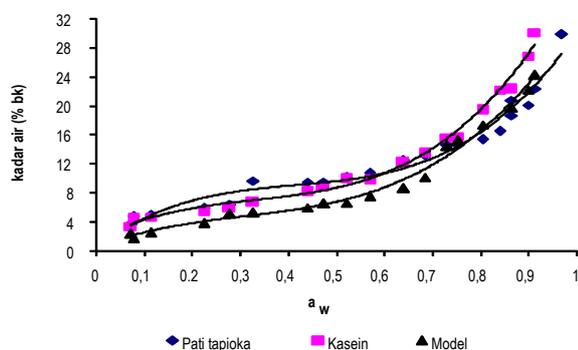
Analisis ketepatan antara model matematis yang digunakan dengan data eksperimen dilakukan menggunakan nilai persentase simpangan rata-rata relatif (*mean relative percentage deviation modules*) atau E% dengan rumus:

$$E\% = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{m_i - m_{pi}}{m_i}$$

Dimana N = jumlah data percobaan, m_i = data percobaan pengukuran sorpsi isotermis, M_{pi} = data prediksi menggunakan model. Pemodelan mempunyai ketepatan yang baik jika nilai E lebih kecil dari 10% (McLaughlin and Magee, 1998).

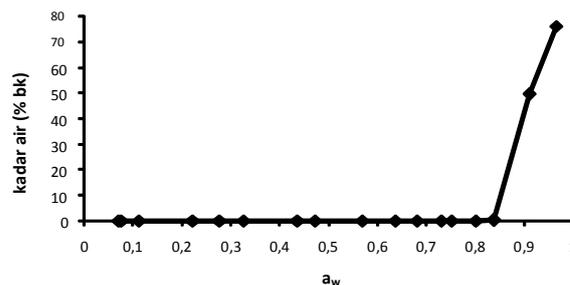
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data untuk penentuan sorpsi isotermis dilakukan untuk model pangan dan bahan penyusunnya yang memiliki kemampuan mengadsorpsi atau mengikat air yaitu tapioka, kasein dan gula sukrosa. Pada minyak tidak dilakukan percobaan tersebut karena tidak memiliki kemampuan dalam mengikat air. Model pangan dan bahan penyusun utamanya yaitu tapioka dan kasein memperlihatkan pola sorpsi isotermis yang sama yaitu berbentuk sigmoid (Gambar 1) yaitu pola yang umum ditemui pada sistem pangan amorf. Pola sorpsi pati tapioka, kasein dan model pangan tersebut merupakan tipe II yang disebabkan oleh pengaruh akumulatif dari kombinasi efek koligatif, efek kapiler dan interaksi permukaan solid dengan air (Bell dan Labuza 2000).



Gambar 1. Kurva isotermis sorpsi air pati tapioka, kasein dan model pangan pada suhu 30°C

Gula sukrosa memperlihatkan pola isotermis sorpsi yang memperlihatkan patahan tajam pada a_w 0,84 (Gambar 2). Pada a_w di bawah 0,84 tidak terjadi penyerapan air, akan tetapi diatas a_w tersebut terjadi penyerapan air yang sangat signifikan bahkan pada a_w diatas 0,9 kadar air kesetimbangan yang sebetulnya tidak pernah terjadi. Menurut Bell dan Labuza (2000), bentuk kurva tersebut termasuk dalam kurva isotermis sorpsi tipe III yang mewakili sifat isotermi sorpsi air untuk bahan yang berbentuk kristal seperti sukrosa. Hal itu terjadi karena pengikatan air melalui jembatan hidrogen hanya terjadi pada gugus hidroksil bebas yang terdapat di permukaan kristal saja. Pada a_w rendah, interaksi air dengan molekul gula tidak cukup kuat untuk memutuskan gaya interaktif antar individu molekul gula di dalam kristal. Akan tetapi ketika a_w naik, interaksi air-gula secara keseluruhan meningkat dan cukup kuat untuk menyebabkan gangguan terhadap interaksi antara komponen gula dengan gula dan air mulai terpenetrasi ke dalam kristal. Pada a_w tersebut, kadar air sukrosa meningkat drastis. Nilai titik awal a_w pelarutan untuk sukrosa yang diperoleh dari percobaan ini adalah 0,84. Hasil yang sama diperoleh Yustikawati (1997) sedangkan Kou *et al* (1999) dan Mathlouthi dan Roge (2003) melaporkan nilai 0,86 sebagai batas a_w pelarutan sukrosa. Chinacoti (1993) menyatakan titik saturasi sukrosa pada suhu ruang adalah ketika kelembaban lingkungan 85%. Bell dan Labuza (2000) menyatakan bahwa air mulai melarutkan gula pada a_w 0,7 – 0,8.



Gambar 2. Kurva isotermis sorpsi gula sukrosa pada suhu 30°C

Analisis ketepatan model ersamaan BET

Model BET adalah model isotermik klasik yang merupakan teori adsorpsi multilayer (lapis jamak). Model BET dipakai untuk menentukan kadar air pada lapisan tunggal dan panas adsorpsi dari suatu bahan pangan. Analisis awal dilakukan dengan melakukan plot data a_w terhadap $a_w/(1-a_w)M$ dengan kisaran a_w sampai 0,6. Hasil plot data a_w terhadap $a_w/(1-a_w)M$ untuk model pangan, kasein dan tapioka menghasilkan koefisien determinasi (R^2) yang sangat baik yaitu berkisar pada 0,97 – 0,99, sedangkan pada sukrosa diperoleh nilai R^2 0,69 dan menghasilkan C (tetapan energi adsorpsi) sangat kecil dan kadar air monolayer (M_m) kurang dari 0% (Tabel 3). Dengan demikian persamaan BET tidak dapat digunakan untuk pemodelan sorpsi isotermis gula sukrosa. Seperti yang sudah dijelaskan diatas, sukrosa memiliki karakteristik struktural berbentuk kristal dengan pola sorpsi air yang sangat berbeda dengan pola sorpsi air yang ditemui pada tapioka, kasein dan model pangan.

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa jumlah air yang mampu diikat lapisan monolayer (M_m) pada pati tapioka lebih tinggi (5,59%) dibandingkan kasein (4,80%) dan model pangan (3,55%). Pati mampu mengikat air dalam jumlah yang lebih banyak dibandingkan kasein dan model pangan karena adanya dominasi gugus polar hidrofilik –OH pada keseluruhan rantai polisakarida yang secara alami mengandung 10^2 sampai 10^6 unit monosakarida (Baianu, 1992). Model pangan memiliki nilai M_m terendah yaitu sekitar 3,42%, Hal ini disebabkan oleh adanya penambahan minyak dalam campuran yang bersifat hidrofobik sehingga menurunkan jumlah air yang dapat diikat oleh bahan pada lapisan monolayer.

Nilai C adalah tetapan energi adsorpsi dan berhubungan dengan energi pengikatan air pada lapisan monolayer. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai C untuk kasein lebih tinggi (34,13) dibandingkan dengan pati (28,84). Tingginya tetapan energi adsorpsi atau energi pengikatan air oleh kasein berhubungan dengan tipe ikatan yang terlibat dalam pengikatan air. Interaksi air dengan komponen protein melibatkan tipe ikatan yang lebih kompleks dibandingkan pati. Tipe pengikatan air oleh pati adalah melalui ikatan hidrogen sedangkan pada kasein dan protein pada umumnya melibatkan pula ikatan ionik dan ikatan dipol-ionik. Kasein mengandung asam-asam amino yang mampu membentuk ikatan ionik dengan adanya asam-asam amino seperti fosposerin, lisin, arginin, asam glutamat dan asam aspartat (Zayas, 1997). Selain itu kasein yang digunakan adalah sodium kaseinat yang memiliki kandungan senyawa ionik yaitu kalsium. Energi pengikatan dari interaksi

Tabel 1. Persamaan dan konstanta BET pada pati tapioka, kasein, sukrosa dan model pangan

Bahan	Plot X (a_w) terhadap Y ($a_w/(1-a_w)m$)	R ²	Konstanta BET		E% ^a
			C	M _m (% bk)	
Tapioka	Y = 0,0089 + 0,1594 X	0,97	28,84	5,59	65,57
Kasein	Y = 0,0032 + 0,2170 X	0,99	34,13	4,80	19,55
Model pangan	Y = 0,0127 + 0,2796 X	0,97	18,18	3,55	20,77
Sukrosa	Y = -5,316 + 60,80 X	0,69	0,99	< 0	.. ^b

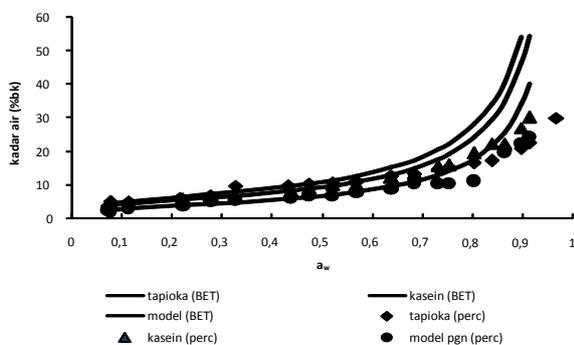
^a simpangan data percobaan dengan nilai prediksi model (ketepatan baik jika kurang dari 10%)

^b tidak dapat ditentukan

ionik lebih tinggi dibandingkan dengan ikatan hidrogen. Interaksi ionik memiliki energi 20 kali lipat dibandingkan ikatan hidrogen sedangkan interaksi ionik-dipol 5 kali lipatnya (Walstra, 2003). Sumber lain menyebutkan energi ikatan ionik adalah 160 kkal/mol, sedangkan ikatan hidrogen adalah 5 kkal/mol dan interaksi dipol-ionik adalah 20 kkal/mol. Tetapan energi adsorpsi BET (C) pada model pangan memiliki nilai yang lebih rendah dari pati dan kasein karena adanya minyak di dalam campuran yang bersifat hidrofobik sehingga menurunkan kemampuan padatan secara keseluruhan untuk mengikat air pada proses adsorpsi.

Hasil perhitungan nilai persentase simpangan rata-rata relatif (E%) mengindikasikan bahwa model BET tidak dapat digunakan untuk memprediksi kadar air bahan pada seluruh kisaran a_w percobaan karena memiliki nilai yang lebih besar dari 10% yaitu 65,57% untuk tapioka, 19,55% untuk kasein dan 20,77% untuk model pangan. Gambar 3 memperlihatkan perbandingan kurva isoterms sorpsi air dari data percobaan dan prediksi BET. Persamaan BET ini hanya cocok digunakan untuk kisaran a_w yang sempit. Pada pati tapioka ketepatan persamaan BET hanya cocok sampai a_w 0,52 sedangkan pada kasein dan model campuran sampai a_w 0,57.

Menurut Caurie (1981), persamaan BET hanya cocok digunakan sampai a_w 0,5 atau 0,6 karena pada persamaan tersebut digunakan asumsi bahwa sifat-sifat air pada lapisan diatas lapisan monolayer adalah sama seperti air kamba (*bulk liquid*) (Caurie, 1981). Slade dan Levine (1991) menyatakan bahwa asumsi dasar yang digunakan dalam persamaan BET adalah (1) Permukaan padatan adalah inert dan seragam, semua sisi penyerapan adalah ekuivalen; (2) Adsorbat tidak berpenetrasi pada solid; (3) Tidak ada interaksi antar molekul yang terserap; (4) Kesetimbangan sorpsi terbentuk sedemikian rupa dimana laju adsorpsi dan desorpsi adalah sama; (5) Hanya lapisan yang terserap pertama yang dipengaruhi oleh substrat padatan. Diatas lapisan tersebut, sorpsi multilayer diperlakukan sebagai air terkondensasi.

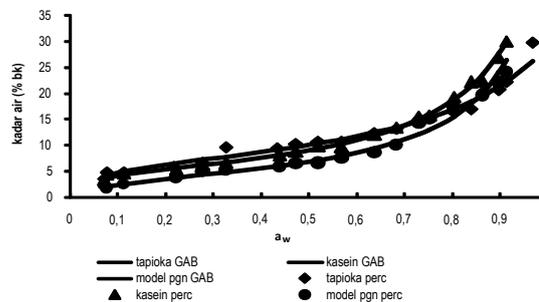


Gambar 3. Perbandingan data percobaan dengan prediksi menurut persamaan BET pada (a) tapioka, (b) kasein dan (c) model pangan. Ket: perc= data percobaan

Secara umum dapat dilihat bahwa nilai kadar air monolayer (M_m) yang diperoleh dari persamaan GAB (Tabel 2) lebih besar dari pada yang diperoleh menggunakan persamaan BET (Tabel 3). Hal tersebut karena pada persamaan GAB memperhitungkan adanya lapisan multilayer diatas lapisan monolayer, persamaan BET hanya memperhitungkan lapisan pertama yang dipengaruhi oleh substrat solid, sedangkan diatas lapisan tersebut diperlakukan sebagai kondensasi. Kecenderungan nilai M_m yang dihasilkan dari persamaan GAB sama dengan nilai yang dihasilkan dari persamaan BET dimana pati memiliki nilai M_m yang paling tinggi sedangkan model memiliki nilai yang paling kecil. Kecenderungan yang sama dengan hasil yang diperoleh dari persamaan BET juga ditemui pada nilai C (tetapan energi adsorpsi atau pengikatan pada lapisan monolayer) dimana kasein memiliki energi pengikatan yang paling tinggi dan model pangan memiliki energi pengikatan paling rendah.

Persamaan GAB menghasilkan ketepatan yang cukup baik untuk bahan yang memiliki pola kurva sorpsi berbentuk sigmoid yang dicerminkan dengan nilai simpangan relatif (E%) kurang dari 10% yaitu 5,99% untuk tapioka 4,10% untuk kasein dan 8,60% untuk model pangan pada seluruh kisaran a_w percobaan seperti dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 4.

Banyak peneliti melaporkan ketepatan model GAB dalam memprediksi kurva sorpsi pada bahan pangan dan bahan biologis diantaranya pada tapioka (Sanni *et al*, 1997), kentang (McLaughlin dan Magee, 1998), horseradish, strawberry kering dan maltodextrin (Ross, 1993), jagung dan gabah (Kumendong, 1986), polimer polivinilpirrolidon (Lievonon dan Ross, 2002), kayu eucalyptus (Moreira *et al*, 2003) dan bahan lainnya.

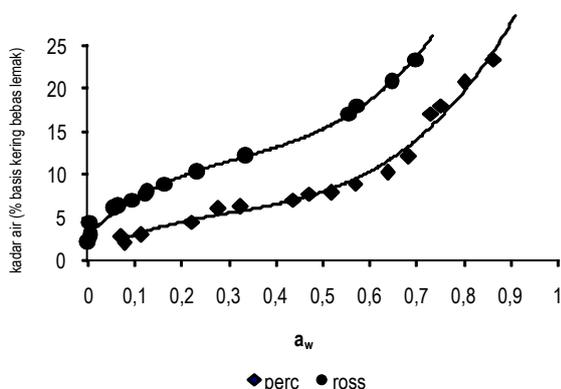


Gambar 4. Plot data percobaan dan data prediksi dengan persamaan GAB pada (a) pati tapioka, (b) kasein dan (c) model pangan

Keuntungan model GAB menurut Chen dan Jayas (1998) adalah: (1) Memiliki latar belakang teoritis yaitu perbaikan dari teori BET, (2) Menggambarkan pola sorpsi pada sebagian besar bahan pangan dari a_w 0 sampai 0,98, (3) Bentuk matematis yang sederhana karena hanya ada 3 parameter, (4) Parameter-parameter tersebut memiliki arti fisik yang menyangkut proses sorpsi.

Analisis ketepatan model Ross

Model Ross digunakan untuk memprediksi a_w campuran berdasarkan a_w dari masing-masing komponen penyusunnya. Dalam percobaan ini model pangan terdiri dari 4 komponen penyusun yaitu pati, kasein, kristal gula dan minyak. Minyak merupakan komponen hidrofobik sehingga tidak berinteraksi dengan air dan tidak memiliki pola sorpsi air, oleh karena itu tidak diperhitungkan dalam rumus Ross diatas sehingga untuk perhitungan kadar air dibuat berdasarkan basis kering tanpa lemak. Gambar 5 memperlihatkan perbandingan antara kurva sorpsi yang diprediksi menggunakan persamaan Ross dan kurva sorpsi hasil percobaan yang menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan. Persamaan tersebut tidak dapat digunakan untuk memprediksi model pangan yang digunakan dalam percobaan ini. Ada beberapa hal yang menyebabkan ketidaktepatan model Ross terhadap model pangan yang digunakan diantaranya karena persamaan Ross tidak mempertimbangkan adanya efek penambahan minyak di dalam model pangan.

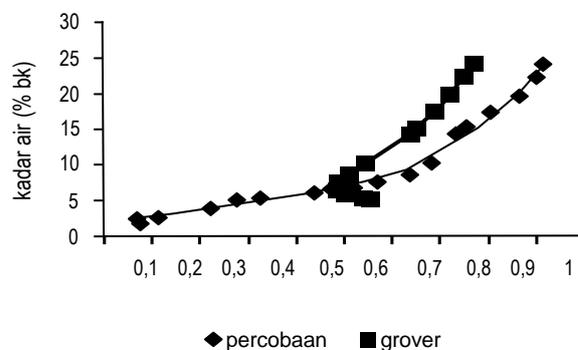


Gambar 5. Perbandingan kurva sorpsi model pangan berdasarkan persamaan Ross dan percobaan.

Dari gambar 5 dapat dilihat bahwa adanya penambahan minyak dalam model pangan menyebabkan pergeseran kurva sorpsi ke arah kanan yang berarti mengurangi kemampuan padatan untuk mengikat air. Beberapa peneliti melaporkan bahwa penambahan lemak menurunkan kapasitas sorpsi dan menurunkan kadar air kesetimbangan. Selain itu kurang tepatnya persamaan Ross tersebut dalam memprediksi a_w dari model pangan karena persamaan ini biasanya digunakan untuk larutan aqueous dimana pengukuran a_w masing-masing komponen dilakukan pada molalitas yang sama dalam larutan kompleks. Van den Berg dan Bruin (1981) menyatakan bahwa pada a_w tinggi, sepanjang campuran tetap basah/cair, persamaan Ross memberikan estimasi yang cukup baik, sedangkan pada a_w rendah memberikan deviasi yang besar pada campuran yang terdiri dari gula, garam dan bahan pangan tidak larut lainnya.

Analisis Ketepatan Model Grover

Persamaan Grover biasa digunakan untuk memprediksi a_w campuran berdasarkan komposisi bahan penyusun. Dari Gambar 6, dapat dilihat bahwa persamaan grover tidak dapat digunakan pada kisaran a_w rendah yaitu kurang dari 0,5 karena menunjukkan penyimpangan yang sangat signifikan. Persamaan ini memiliki batasan pada nilai E_o yaitu tidak boleh melebihi 10. Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai E_o untuk a_w 0,07 – 0,60 memberikan nilai yang lebih besar dari 10. Nilai E_o yang sesuai dengan persyaratan (kurang dari 10) ditunjukkan pada nilai a_w lebih dari 0,6. Simpangan relatif (E%) untuk data dari a_w 0,64 – 0,91 adalah 7,27%.



Gambar 6. Perbandingan kurva sorpsi model pangan berdasarkan persamaan Grover dan data percobaan.

Tabel 2. Konstanta α , β dan γ , kadar air monolayer (Mm) dan K dan C dari persamaan GAB

Bahan	Kisaran a_w^a	n^b	A	β	γ	M_m (%bk)	C	K	R^{2c}	$E\%^d$
Tapioka	0,07-0,97	20	0,0084	0,14	-0,11	6,61	23,20	0,78	0,93	5,99
Kasein	0,07-0,91	19	0,0072	0,18	-0,17	5,15	29,64	0,91	0,98	4,10
Model pangan	0,07-0,91	18	0,0223	0,20	-0,21	4,09	11,80	0,93	0,87	8,60
Sukrosa	0,07-0,97	17	-4,95	67,16	-61,46	0,02	-11,75	0,99	0,42	107,65

^a kisaran a_w percobaan

^b jumlah data percobaan

^c R^2 untuk persamaan regresi kuadrat $a_w/m = \alpha + \beta X + \gamma X^2$

^d simpangan data percobaan dengan nilai prediksi model (ketepatan baik jika kurang dari 10%)

Dengan demikian jika dibandingkan dengan persamaan Ross, maka persamaan grover menghasilkan prediksi data a_w campuran yang lebih baik walaupun tidak mencakup seluruh kisaran a_w pengamatan. Keunggulan persamaan Grover adalah dengan memasukkannya komposisi masing-masing komponen di dalam campuran yang digunakan. Bell dan Labuza (2000) menggunakan persamaan ini untuk memprediksi a_w daging yang ditambahkan glikol sebagai humektan atau memprediksi jumlah humektan yang diperlukan untuk menurunkan a_w daging.

KESIMPULAN

Tapioka, kasein dan model pangan (campuran dari tapioka, kasein, gula sukrosa dan minyak) memiliki bentuk sigmoid, sedangkan bubuk kristal gula sukrosa menghasilkan kurva sorpsi dengan patahan tajam pada a_w 0,84 yang merupakan titik awal pelarutan gula sukrosa.

Model GAB menghasilkan prediksi kurva yang paling baik untuk kurva sorpsi berbentuk sigmoid yaitu pada pati tapioka, kasein dan model pangan dengan nilai modulus deviasi (E%) masing-masing 5,98%, 4,10% dan 8,60% pada seluruh kisaran a_w percobaan (0,07 sampai 0,97).

Dari konstanta BET dan GAB yang dihasilkan terlihat bahwa tapioka mampu mengikat air pada lapisan monolayer (Mm) lebih banyak dibandingkan kasein dan model pangan akan tetapi energi adsorpsinya (C) pada kasein lebih tinggi. Kadar air monolayer untuk kasein dari persamaan BET dan GAB berturut-turut adalah 4,80% dan 5,15%, sedangkan untuk tapioka adalah 5,59% dan 6,61%. Nilai energi pengikatan air oleh kasein berdasarkan persamaan BET dan GAB berturut-turut adalah 34,13 kkal dan 29,64 kkal, sedangkan untuk tapioka berturut-turut adalah 28,84 kkal dan 23,20 kkal. Adanya minyak dalam model pangan menurunkan jumlah dan energi pengikatan air pada lapisan monolayer.

Untuk memprediksi a_w campuran dengan menggunakan pendekatan komponen penyusun bahan lebih baik digunakan persamaan Grover dibandingkan persamaan Ros dengan modifikasi pada koefisien Ei minyak menjadi -1.

DAFTAR PUSTAKA

- AOAC. 1999. Official methods of Analysis of The Association of Official of Analytical Chemist. AOAC, Inc. Washington D.C.
- Bell LN, Labuza TP. 2000. Moisture sorption: practical aspects of isotherm measurement and use, American Association Cereal Chemist. Minnesota, USA.
- Baianu IC. 1992. Physical chemistry of food processes: Fundamental aspects. Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- Caurie M. 1981. Derivation of full range moisture sorption isotherms. dalam Water Activity Influences on Food Quality. Rockland LB, Stewart GF (Eds). Academic Press, NY.
- Chinachoti P. 1993. Water mobility and it's relation to functionality of sucrose-containing food systems. Food Technology, January, 134-139.
- Chen C, Jayas DS. 1998. Evaluation of the GAB equation for the isotherms of agricultural products. ASAE Journal, 41(6): 1755-1760.
- Kumendong J. 1986. Model sorpsi isoterme jagung dan gabah serta penerapannya dalam penyimpanan. Thesis Fakultas Pasca Sarjana, IPB, Bogor.
- Kou Y, Molitor PF, Schmidt SJ. 1999. Mobility and stability characterization of model food system using NMR, DSC and Conidia Germination Techniques. Journal of Food Science 64 (6), 950-958.
- Labuza TP. 1984. Moisture sorption: practical aspects of isotherm measurement and use. American Association Cereal Chemist, Minnesota, USA.
- Lievonen SM, Ross YH. 2002. Water sorption of food models for studies of glass transition and reaction kinetics. Journal of Food Science 65 (5).
- Mathlouthi, Roge MB. 2003. Water vapor sorption isotherm and the caking of food powder. Food chemistry vol 82, 61-71.
- McLaughlin CP, Magee TRA. 1998. The determination of sorption isotherm and isosteric heats of sorption for potatoes. Journal of Food Engineering 35: 267-280.
- Moreira R, Vasquez G, Chento F, Carballal J. 2003. Desorption isotherms of eucalyptus globules modeling using GAB Equation. Electronic journal of environmental agricultural, 2(3)2003/002232003.
- Rockland LB, Beuchat LR. 1987. Water activity: theory and application to food. Marcell Dekker Inc., New York, USA.
- Ross YH. 1993. Water activity and physical state effects amorphous food stability. Journal of food processing and preservation, 16: 433-447.
- Sanni OL, Atere C, Kuye A, 1997. Moisture sorption isotherms of fufu and tapioca at different temperature. Journal of food engineering; 34 (2) 203-212.
- Slade L, Levine H. 1991. Beyond water activity: Recent advances based on an alternative approach to the assesment of food quality and safety. Critical Review in Food Science and Nutrition, Vol 30/Isue 2,3: 113-360.
- Schnepf M. 1989, Protein-water interaction. Di dalam Water and Food Quality. T.M. Hardman (Ed). Elsevier Applied Science, London.

- Van den Berg, Bruin S. 1981. Water activity and its estimation in food systems: theoretical aspect. Di dalam: Water Activity Influences on Food Quality, L,B, Rockland & G,F, Stewart (Eds). Academic Press, NY.
- Walstra P. 2003. Physical chemistry of foods. Marcel Dekker, Inc, New York, USA.
- Whitney EN, Boyle MA. 1987. Understanding Nutrition. West Publishing Company, USA.
- Yustikawati R. 1997. Perbandingan isoterms sorpsi air dari amilosa, amilopektin, selulosa dan sukrosa. Skripsi Jurusan Teknologi Pangan dan Gizi, IPB, Bogor.
- Zayas JF. 1997. Functionality of proteins in food. Springer, Germany.