

## Isoterm Sorpsi Air pada Tepung Ubi Jalar Terfermentasi dengan Angkak

Yulinda Eka Ayu Rukmawati, Sri Hartini, Margareta Novian Cahyanti

Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga Salatiga 50711, Indonesia

Email: 652013026@student.uksw.edu

Received: Februari 2017; Revised: Maret 2017; Accepted: Mei 2017; Available Online: Mei 2017

### Abstrak

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menentukan kurva isoterm sorpsi air, pemodelan isoterm sorpsi air yang tepat dan menentukan kadar air monolayer pada tepung ubi jalar terfermentasi dengan angkak. Pemodelan isoterm sorpsi air yang digunakan meliputi GAB (*Guggenheim Anderson deBoer*), BET (*Brunauer Emmet Teller*) dan Caurie. Sedangkan uji ketepatan model dilakukan dengan MRD (*Mean Relative Deviation*). Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa kurva isoterm sorpsi air tepung ubi jalar terfermentasi dengan angkak berbentuk Sigmoid yang mendekati tipe II. Pemodelan matematika yang tepat untuk menggambarkan isoterm sorpsi air tepung ubi jalar terfermentasi dengan angkak adalah model GAB (*Guggenheim Anderson deBoer*) dengan nilai MRD pada suhu 30 °C, 35 °C, 40 °C secara berturut-turut sebesar 4.41%; 2.50%; 3.37%. Nilai kadar air monolayer model GAB (*Guggenheim Anderson deBoer*) 7.34%; 6.57%; 16.09%, model BET (*Brunauer Emmet Teller*) pada suhu 30 °C, 35 °C, 40 °C sebesar 2.09%; 1.05%; 4.26%, dan model Caurie pada suhu 30 °C, 35 °C, 40 °C sebesar 1.41%; 1.36%; 1.42%.

**Kata Kunci:** Angkak, fermentasi, isoterm sorpsi, pemodelan matematika, tepung, ubi jalar.

### Abstract

The research was aimed to obtain moisture sorption curve, moisture sorption isotherm models and obtain determine the water content monolayer of fermented sweet potato flour with red yeast rice. The moisture sorption isotherm model used are GAB (*Guggenheim Anderson deBoer*), BET (*Brunauer Emmet Teller*) and Caurie. Meanwhile, the test of modelling accuracy by MRD (*Mean Relative Deviation*). The results showed that the water sorption isotherm curve of sweet potato flour fermented with red yeast rice Sigmoid shaped the approach of type II. The precise mathematical models are models of GAB (*Guggenheim Anderson deBoer*) with a value of MRD at a temperature of 30 °C, 35 °C, 40 °C respectively at 4.41%, to 2.50%, 3.37%. Moisture content of the monolayer at temperature of 30 °C, 35 °C and 40 °C in GAB model was 7.34%, 6.57%, 16.09%, BET model was 2.09%, 1.05%, 4.26%, and Caurie model was 1.41%, 1.36%, 1.42%.

**Keywords:** Fermented, flour, mathematic model, red yeast rice, sorption isotherm, sweet potato.

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.15408/jkv.v0i0.4814>

## 1. PENDAHULUAN

Tepung ubi jalar angkak (teukak) merupakan tepung yang dibuat melalui proses fermentasi menggunakan angkak yang merupakan produk hasil fermentasi dari *Monascus purpureus*. Penggunaan angkak dalam pembuatan teukak ini berfungsi sebagai antimikroba yang dapat memperpanjang masa simpan dan tepung ini bersifat higroskopis

(Susetyo *et al.*, 2016). Sifat higroskopis ini dapat mempengaruhi masa simpan dan kualitas dari teukak tersebut. Stabilitas produk ditentukan oleh dua faktor utama, yaitu kelembaban relatif kesetimbangan (RH) atau aktivitas air ( $a_w$ ) tempat penyimpanan dan kadar air kesetimbangan bahan pangan ( $M_e$ ) (Lodero *et al.*, 2016).

Hubungan antara aktivitas air/water activity ( $a_w$ ) dengan kadar air produk pangan di

suatu kondisi penyimpanan pada nilai kelembaban relatif (RH) tertentu disebut isoterm sorpsi air (ISA) (Fitriani *et al.*, 2015). Isoterm sorpsi air dapat ditunjukkan dalam bentuk kurva isoterm sorpsi (Carter and Schmidt, 2012). Menurut Sormoli dan Langrish (2015) kurva isoterm sorpsi air berkaitan dengan sifat fisikokimia dan kimia serta komponen penyusun bahan pangan tersebut. Beberapa model persamaan ISA yang dapat digunakan, antara lain model Brunauer-Emmet-Teller (BET), Oswin, Hasley, Henderson, Caurie, Peleg, Lewicki dan Guggenheim-Anderson-deBoer (GAB) (Dalgic *et al.*, 2012). Persamaan isoterm sorpsi air juga dapat digunakan untuk menghitung nilai kadar air monolayer dalam suatu bahan pangan. Menurut Jamaluddin *et al.*, (2014) kadar air monolayer dalam suatu bahan pangan mempengaruhi aktivitas mikrobiologis yang dapat menyebabkan kerusakan selama proses penyimpanan.

Beberapa penelitian tentang isoterm sorpsi air (ISA) pada tepung sudah banyak dikembangkan, seperti penelitian Ayala-Aponte (2015) tentang ISA tepung singkong dengan model ISA yang paling tepat yaitu model GAB. Chisté *et al.*, (2012) melakukan penelitian tentang ISA tepung tapioka dengan model ISA yang paling tepat yaitu model GAB dan hasil penelitian Suppakul *et al.*, (2013) tentang ISA tepung singkong menyatakan model ISA yang paling tepat yaitu GAB. Penelitian tentang ISA tepung ubi jalar yang terfermentasi angkak tidak dijumpai dalam penelitian-penelitian sebelumnya.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka tujuan dari penelitian ini adalah menentukan kurva isoterm sorpsi air, pemodelan isoterm sorpsi air yang tepat (GAB, BET, Caurie) dan menentukan kadar air monolayer tepung ubi jalar terfermentasi dengan angkak.

## 2. METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi peralatan gelas, *drying cabinet*, cawan porselin, *glass container*, inkubator, termohigrometer, *sorption container*, *moisture analyzer* (Ohaus MB 25, Ohaus Corp, USA), neraca analitik dengan ketelitian 0.01 g (Ohaus TAJ602, Ohaus Corp, USA), dan neraca analitik dengan ketelitian

0.1 mg (Ohaus Pioneer Balance, Ohaus Corp, USA).

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tepung ubi jalar terfermentasi dengan angkak sebagai bahan utama. Bahan kimia yang digunakan adalah akuades dan tujuh jenis garam seperti NaOH, MgCl<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, KI, NaCl, dan KCl untuk mengatur kelembaban relatif (*relative humidity*/RH).

### Pembuatan Tepung Fermentasi (Susetyo *et al.*, 2016)

Ubi jalar dicuci dengan air untuk menghilangkan kotoran dan tanah. Ubi jalar yang telah dicuci dikukus selama ± 60 menit setelah itu dikupas kulitnya, dipotong kecil-kecil dan ditambahkan angkak dengan dosis 5% (w/w). Kemudian dikemas di dalam plastik setelah itu difermentasi pada suhu ruang dengan lamafermentasi 48 jam. Setelah proses fermentasi selesai, potongan ubi jalar tersebut dikeringkan dengan menggunakan *drying cabinet* pada suhu 50 °C hingga kering. Setelah kering, potongan-potongan tersebut dihancurkan dan diayak dengan tingkat kehalusan 61 mesh.

### Pengukuran Kadar Air (Kumalasari, 2012)

Sampel ditimbang sebanyak 1g dengan menggunakan cawan *moisture analyzer*. *Moisture analyzer* diatur pada suhu 105 °C kemudian penutup pada *moisture analyzer* ditutup dan ditunggu selama beberapa menit hingga muncul hasil kadar airnya dan hasil yang diperoleh dicatat.

### Preparasi Larutan Garam Jenuh (Hayati, 2004)

Preparasi larutan garam jenuh dilakukan menggunakan 7 macam garam. Garam-garam tersebut ditimbang dengan berat tertentu dan dimasukkan ke dalam *beaker glass* yang telah terisi air hangat dengan suhu ± 50 °C, kemudian diaduk hingga homogen. Apabila garam dapat larut dengan sempurna, maka ditambahkan garam kembali sedikit demi sedikit hingga garam tidak larut. Larutan garam jenuh dibuat sebanyak 50 ml dan dimasukkan ke dalam sebuah *glass container* yang cukup besar untuk menampung larutan garam jenuh tersebut.

### Pengukuran Kadar Air Kesetimbangan (Aini et al., 2014)

Sampel ditimbang sebanyak 5g dan dimasukkan kedalam *glass container* yang sudah diatur RH-nya menggunakan larutan-larutan garam jenuh. Kemudian *glass container* disimpan pada suhu 30 °C, 35 °C, 40 °C dan setiap hari sampel tersebut ditimbang sampai *steady state*. Setelah tercapai keadaan *steady state*, sampel tersebut diukur kadar airnya menggunakan *moisture analyzer*.

### Pemodelan Matematika

Pemodelan matematika yang digunakan untuk menentukan kurva isoterm sorpsi air pada tepung ubi jalar terfermentasi dengan angkak yaitu GAB (*Guggenheim Anderson deBoer*), BET (*Brunauer Emmet Teller*) dan Caurie. Persamaan masing-masing pemodelan adalah sebagai berikut :

Pemodelan GAB (*Guggenheim Anderson deBoer*) (Aini, 2014) :

$$\frac{M}{M_0} = \frac{C.K.a_w}{(1-K.a_w)(1-K.a_w+C.K.a_w)} \quad (1)$$

Keterangan:

M = kadar air (%)

M<sub>0</sub> = kadar air monolayer (%)

a<sub>w</sub> = aktivitas air

C = konstanta energi

K = konstanta

Persamaan BET (Adawiyah dan Soekarto, 2010):

$$\frac{a_w}{(1-a_w)M} = \frac{1}{M_0 C} + \frac{C-1}{M_0 C} a_w \quad (2)$$

Keterangan:

M = kadar air (%)

a<sub>w</sub> = aktivitas air

M<sub>0</sub> = kadar air monolayer (%)

C = konstanta

Persamaan Caurie (Cahyanti, 2016):

$$\ln\left(\frac{1}{M}\right) = -\ln(C.M_0) + \frac{2c}{M_0} \ln\left(\frac{1-a_w}{a_w}\right) \quad (3)$$

Keterangan:

M = kadar air (%)

M<sub>0</sub> = kadar air monolayer (%)

C = konstanta Caurie

a<sub>w</sub> = aktivitas air

### Uji Ketepatan Model (Sugiyono et al., 2012)

Ketepatan suatu persamaan isoterm sorpsi dapat diuji dengan menggunakan *Mean Relative Determination* (MRD) dengan persamaan sebagai berikut:

$$MRD = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{M_i - M_{hit}}{M_i} \right|$$

Keterangan :

M<sub>i</sub> = kadar air hasil percobaan

M<sub>hit</sub> = kadar air hasil perhitungan

n = jumlah data

Jika :

MRD < 5 maka model sangat tepat

5 < MRD < 10 maka model agak tepat

MRD > 10 maka model tidak tepat

### Analisa Data (Motulsky and Christopoulos, 2004)

Pengulangan dilakukan sebanyak 4 kali untuk sampel pada setiap jenis larutan garam kemudian data dianalisis menggunakan regresi linier dan regresi non-linier.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini sampel tepung dimasukkan kedalam *glass container* yang berisi dengan larutan garam jenuh. Ada tujuh macam larutan garam jenuh yang digunakan yaitu larutan garam jenuh NaOH, MgCl<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, KI, NaCl, dan KCl. Pemilihan larutan garam jenuh yang digunakan ini bertujuan untuk menentukan nilai kelembaban relative (RH %) dari tepung ubi jalar terfermentasi dengan angkak. Data kelembaban relatif, aktivitas air dan kadar air kesetimbangan masing-masing tepung dalam *glass container* ditunjukkan dalam Tabel 1.

Kurva isoterm sorpsi air dibuat dengan menghubungkan kadar air kesetimbangan dengan aktifitas air. Gambar 1 menunjukkan kurva isoterm sorpsi air tepung ubi jalar terfermentasi dengan angkak. Berdasarkan gambar 1 terdapat lengkungan yang terbentuk dalam kurva isoterm sorpsi air yaitu suhu 30 °C terletak dalam a<sub>w</sub> 0.1 dan a<sub>w</sub> 0.48, suhu 35 °C terletak pada a<sub>w</sub> 0.1 dan a<sub>w</sub> 0.51 dan suhu 40 °C terletak pada a<sub>w</sub> 0.1 dan a<sub>w</sub> 0.38. Kurva yang dihasilkan berbentuk sigmoid (menyerupai bentuk S) dan mendekati tipe II. Kurva isoterm sorpsi air tipe II ini biasanya terdapat pada bahan pangan kering

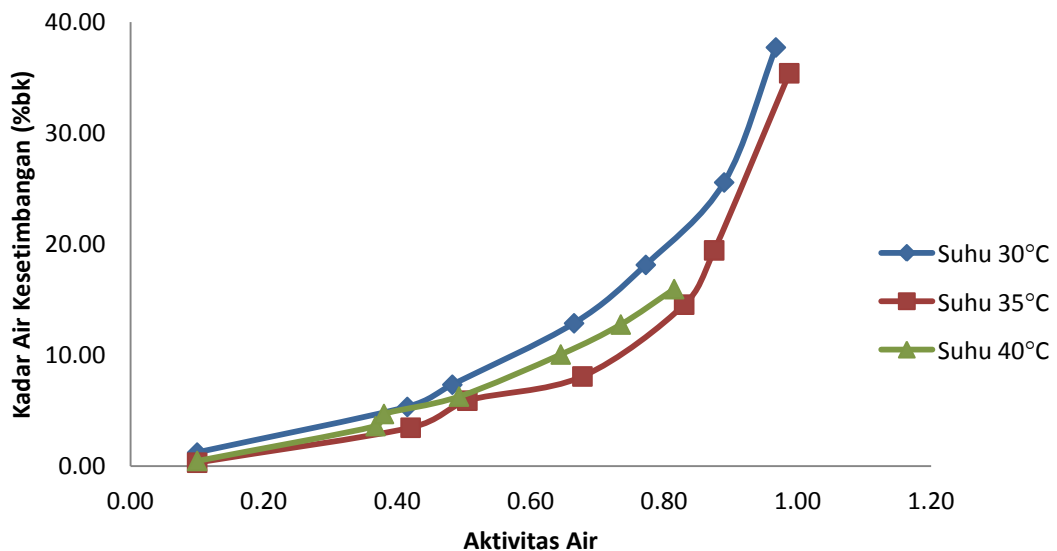
(Fitriani *et al.*, 2015). Pola kurva isoterm sorpsi dengan tipe II ini juga dihasilkan pada beberapa penelitian yang banyak mengandung pati seperti tepung singkong (Suppakul *et al.*, 2013), tepung tepung jagung instan (Aini, 2014), tepung sereal gandum (Zapata *et al.*, 2014).

Pada gambar 2 menunjukkan kurva isoterm sorpsi air model GAB pada suhu 30 °C, 35 °C, 40 °C. Gambar 3 menunjukkan

kurva isoterm sorpsi air model BET pada suhu 30 °C, 35 °C, 40 °C. Berdasarkan gambar 3 nilai aktifitas air ( $a_w$ ) dipengaruhi oleh suhu, bila semakin tinggi suhu udara penyimpanan maka semakin rendah aktivitas airnya. Selain itu pada suhu 30 °C dan 35 °C menghasilkan nilai  $R^2$  yang rendah (tidak linier). Gambar 4 menunjukkan kurva isoterm sorpsi air model Caurie (C) pada suhu 30 °C, 35 °C, 40 °C.

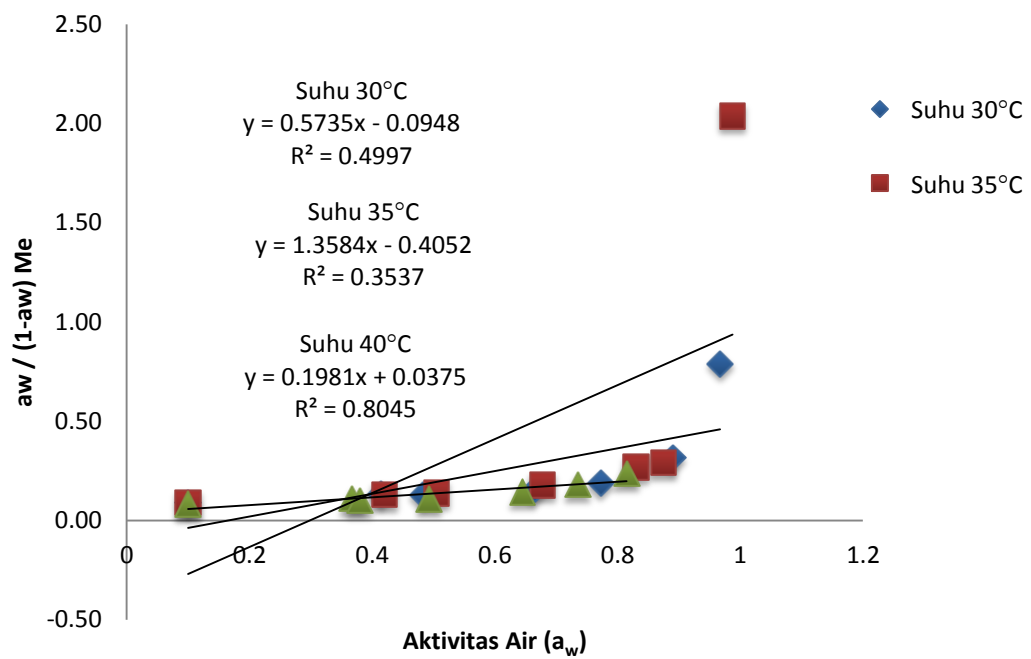
**Tabel 1.** Kelembaban relatif (RH),aktivitas air ( $a_w$ ), dan kadar air kesetimbangan (Me) pada suhu 30 °C, 35 °C dan 40 °C

Suhu	30 °C			35 °C			40 °C		
	RH (%)	$a_w$	Me (%bk)	RH (%)	$a_w$	Me (%bk)	RH (%)	$a_w$	Me (%bk)
NaOH	10	0.10	1.22 ± 0.37	10	0.10	1.22 ± 0,43	10	0.10	1.35 ± 0.49
MgCl <sub>2</sub>	42	0.42	5.34 ± 0.88	42	0.42	5.57 ± 0,97	37	0.37	5.24 ± 0.92
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	48	0.48	7.34 ± 0.90	51	0.51	7.34 ± 0,85	38	0.38	6.11 ± 0.98
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	67	0.67	12.87 ± 2.50	68	0.68	11.78 ± 1,52	49	0.49	9.00 ± 1.20
KI	77	0.77	18.13 ± 1.64	83	0.83	18.24 ± 1,24	65	0.65	12.67 ± 1.50
NaCl	89	0.89	25.56 ± 1.89	88	0.88	24.05 ± 2,06	74	0.74	15.38 ± 1.69
KCl	97	0.97	37.73 ± 3.24	99	0.99	38.80 ± 4,36	85	0.85	18.54 ± 1.36

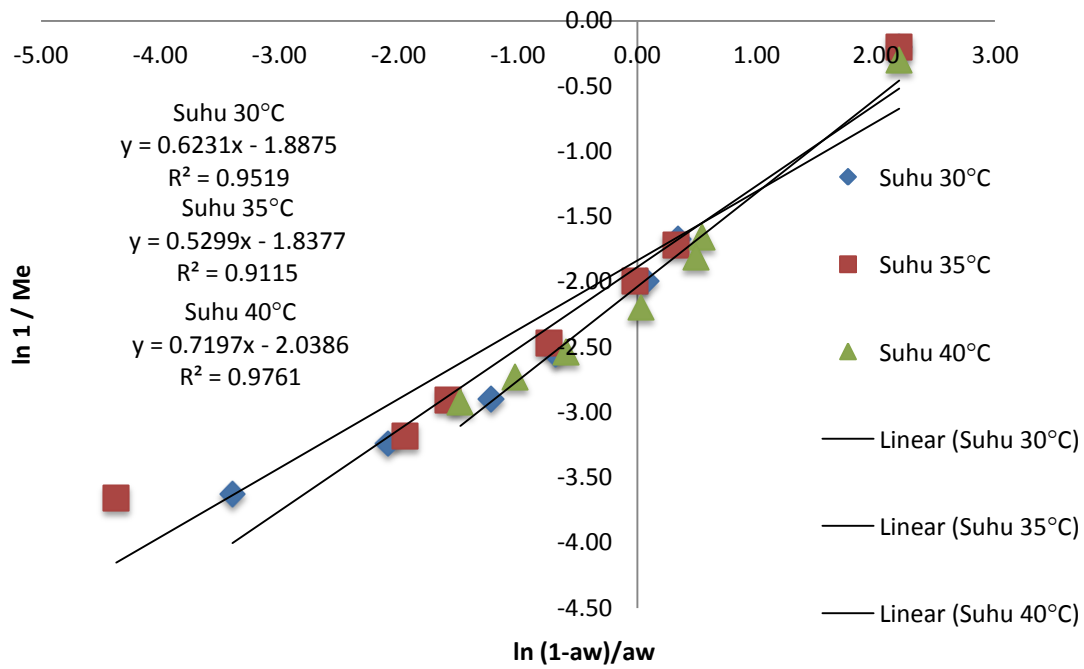


**Gambar 1.** Kurva isoterm sorpsi air tepung ubi jalar terfermentasi dengan angka suhu 30 °C, 35 °C, 40 °C

**Gambar 2.** Kurva isoterm sorpsi air model GAB suhu 30 °C, 35 °C, 40 °C



**Gambar 3.** Kurva isoterm sorpsi air model BET suhu 30 °C, 35 °C, 40 °C



**Gambar 4.** Kurva isoterm sorpsi air model Caurie suhu 30 °C, 35 °C, 40 °C

**Tabel 2.** Nilai  $M_e$  dan  $M_{hit}$  dengan pemodelan GAB, BET dan Caurie

Garam	Suhu 30 °C				Suhu 35 °C				Suhu 40 °C			
	$M_e$	$M_{hit}$			$M_e$	$M_{hit}$			$M_e$	$M_{hit}$		
		GAB	BET	C		GAB	BET	C		GAB	BET	C
NaOH	1.22	1.21	-3.03	1.68	1.22	1.23	0.41	1.96	1.22	1.35	1.96	1.58
MgCl <sub>2</sub>	5.34	5.83	4.93	5.33	5.34	5.68	4.38	5.29	5.34	5.80	5.29	5.19
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	7.34	7.17	5.11	6.32	7.34	7.27	3.63	6.34	7.34	6.05	5.46	5.4
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	12.87	12.23	6.92	10.12	12.87	11.84	4.08	9.3	12.87	8.52	7.21	7.51
KI	18.13	17.17	9.74	14.13	18.13	19.36	6.76	14.52	18.13	12.70	11.03	11.79
NaCl	25.56	26.72	19.45	24.28	25.56	23.02	8.94	17.57	25.56	15.81	15.2	15.98
KCl	37.73	39.05	64.66	54.66	37.73	40.14	84.4	63.33	37.73	19.16	22.21	22.29

Kadar air kesetimbangan hasil perhitungan ( $M_{hit}$ ) dapat dihitung berdasarkan masing-masing persamaan regresi linier dan non-linier pada masing-masing pemodelan. Tabel 2 menunjukkan nilai kadar air kesetimbangan hasil percobaan ( $M_e$ ) dan kadar air kesetimbangan hasil perhitungan ( $M_{hit}$ ) dengan pemodelan GAB, BET dan Caurie (C).

Nilai MRD dapat ditentukan dengan cara membandingkan kadar air kesetimbangan

hasil perhitungan ( $M_{hit}$ ) dengan kadar air kesetimbangan percobaan ( $M_e$ ), selain itu nilai MRD dapat digunakan untuk menentukan pemodelan yang tepat dalam menggambarkan fenomena isoterm sorpsi air tepung ubi jalar terfermentasi dengan angkak. Tabel 3 menunjukkan nilai MRD untuk masing-masing pemodelan pada suhu 30 °C, 35 °C, 40 °C.

**Tabel 3.** Nilai MRD masing-masing pemodelan pada suhu 30 °C, 35 °C, 40 °C

Pemodelan	Nilai MRD (%)		
	Suhu 30 °C	Suhu 35 °C	Suhu 40 °C
Guggenheim-Anderson-deBoer (GAB)	4.41	2.50	3.37
Brunauer-Emmet-Teller (BET)	81.92	73.48	15.74
Caurie	20.67	30.11	11.05

**Tabel 4.** Nilai kadar air monolayer masing-masing pemodelan pada suhu 30 °C, 35 °C, 40 °C

Pemodelan	Kadar Air Monolayer (m <sub>0</sub> )		
	Suhu 30 °C	Suhu 35 °C	Suhu 40 °C
Guggenheim-Anderson-deBoer (GAB)	7.34	6.57	16.09
Brunauer-Emmet-Teller (BET)	2.09	1.05	4.26
Caurie	1.41	1.36	1.42

Berdasarkan tabel 5 dapat dilihat bahwa model GAB merupakan pemodelan yang tepat dalam menggambarkan fenomena isoterm sorpsi air pada tepung ubi jalar terfermentasi dengan angkak dengan nilai MRD < 5. Hal ini diperkuat dengan penelitian yang dilakukan oleh Aponte (2015) menjelaskan bahwa pemodelan GAB dapat menggambarkan kurva isoterm sorpsi air pada tepung singkong, Chisté *et al.*, (2012) melakukan penelitian tentang ISA tepung tapioka dengan model ISA yang paling tepat yaitu model GAB dan hasil penelitian Suppakul *et al.*, (2013) tentang ISA tepung singkong menyatakan model ISA yang paling tepat yaitu GAB.

Kadar air monolayer dapat dihitung dengan menggunakan pemodelan GAB, BET dan Caurie. tabel 4 menunjukkan nilai kadar air monolayer dari masing-masing pemodelan pada suhu 30 °C, 35 °C dan 40 °C.

Nilai kadar air monolayer menggambarkan kadar air pada lapisan monolayer dalam suatu bahan pangan. Kandungan air pada lapisan monolayer ini dapat digunakan untuk menentukan stabilitas fisik dan kimia suatu bahan yang dikeringkan (Aini dkk., 2014). Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai kadar air monolayer masing-masing pemodelan memiliki nilai yang berbeda, pada suhu 30°C menuju ke suhu 35°C

nilai kadar air monolayer mengalami penurunan, sedangkan dari suhu 35 °C menuju ke suhu 40 °C nilai kadar air monolayer mengalami kenaikan. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Bajpai dan Pradeep (2013) pada *kappa carrageenan* yang nilai kadar air monolayernya mengalami peningkatan pada suhu 20 °C yang disebabkan karena terbentuknya ikatan baru antara uap air dengan bahan pangan kemudian mengalami penurunan pada suhu 30 °C. Hal ini karena molekul uap air lebih aktif pada energi yang lebih tinggi sehingga molekul uap air menjadi tidak stabil dan menyebabkan terlepasnya ikatan antara molekul uap air tersebut dari bahan pangan.

#### 4. SIMPULAN

Kurva isoterm sorpsi air pada tepung ubi jalar terfermentasi dengan angkak berbentuk sigmoid yang mendekati tipe II. Pemodelan yang tepat untuk memprediksikan fenomena isoterm sorpsi air pada tepung ubi jalar terfermentasi dengan angkak adalah GAB dengan nilai MRD pada suhu 30 °C, 35 °C, 40 °C secara berturut-turut sebesar 4.41%; 2.50%; 3.37%. Nilai kadar air monolayer tepung ubi jalar terfermentasi dengan angkak pada suhu 30 °C, 35 °C, 40 °C dengan model GAB sebesar 7.34%; 6.57%; 16.09%, model BET

sebesar 2.09%; 1.05%; 4.26%, dan model Caurie sebesar 1.41%; 1.36%; 1.42%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah DR, Soekarto ST. 2010. Pemodelan isoterms sorpsi air pada model pangan. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. 21(1): 33-39.
- Aini N, Prihananto V, Wijonarko G. 2014. Karakteristik kurva isotherm sorpsi air tepung jagung instan. *Agritech*. 34(1): 50-55.
- Ayala-Aponte AA. 2015. Thermodynamic properties of moisture sorption in cassava flour. *DYNA*. 83(197): 138-144.
- Bajpai SK, Pradeep T. 2013. Studies on equilibrium moisture absorption of kappa carrageenan. *International Food Research Journal*. 20(5): 2183-2191.
- Cahyanti MN, Hindarto J, Lestario LN. 2016. Pemodelan isotherm sorpsi air biskuit coklat menggunakan persamaan Caurie. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*. 5(2): 51-53.
- Chisté RC, Silva PA, Lopes AS, da Silva Pena R. 2012. Sorption isotherms of tapioca flour. *International Journal of Food Science & Technology*. 47(4): 870-874.
- Dalgıç AC, Pekmez H, Belibağlı KB. 2012. Effect of drying methods on the moisture sorption isotherms and thermodynamic properties of mint leaves. *Journal Of Food Science And Technology*. 49(4): 439-449.
- Fitriani PE, Wijaya IMAS, Gunam IBW. 2015. Pendugaan masa kadaluarsa ubi kayu (*Manihot esculenta* Crantz) instan pada beberapa bahan kemasan. *Media Ilmiah Teknologi Pangan (Scientific Journal of Food Technology)*. 2(1): 058-068.
- Hayati R, Abdullah A, Ayob MK, Soekarto ST. 2004. Isoterms sorpsi air dan analisis umur simpan ikan kayu tongkol (*Euthynnus affinis*) dari Aceh. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. 15(3): 207-213.
- Kumalasari H. 2012. Validasi Metoda Pengukuran Kadar Air Bubuk Perisa Menggunakan Moisture Analyzer Halogen HB43-S, sebagai Alternatif Metoda Oven dan Karl Fischer. [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Jamaluddin, Molenaar R, Tooy D. 2014. Kajian isotherm sorpsi air dan fraksi air terikat kue pia kacang hijau asal kota Gorontalo. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*. 2(1): 27-37.
- Loredo RYA, Hernandez AIR, Sanchez EM, Aldapa CAG, Velazquez G. 2016. Effect of equilibrium moisture content on barrier, mechanical and thermal properties of chitosan films. *Journal of Food Chemistry* 196: 560-566.
- Motulsky H, Christopoulos A. 2004. Fitting Models to Biological Data Using Linear and Nonlinear Regression: A Practical Guide to Curve Fitting. Oxford University Press. New York.
- Sormoli ME, Langrish TA. 2015. Moisture sorption isotherms and net isosteric heat of sorption for spray-dried pure orange juice powder. *LWT-Food Science and Technology*. 62(1): 875-882.
- Sugiyono S, Satyagraha H, Joelijani W, Syamsir E. 2012. Pendugaan umur simpan produk granula ubi kayu menggunakan model isotherm sorpsi air (shelflife prediction of cassava granule using moisture sorption isotherm model). *Jurnal Pangan*. 21(3): 233-244.
- Suppakul P, Chalernsook B, Ratisuthawat B, Prapasitthi S, Munchukangwan N. 2013. Empirical modeling of moisture sorption characteristics and mechanical and barrier properties of cassava flour film and their relation to plasticizing-antiplasticizing effects. *LWT-Food Science and Technology*. 50(1): 290-297.
- Susetyo YA, Hartini S, Cahyanti MN. 2016. Optimasi kandungan gizi tepung ubi jalar (*Ipomoea batatas* L.) terfermentasi ditinjau dari dosis penambahan inokulum angkak serta aplikasinya dalam pembuatan mie basah. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*. 5(2): 44-51.
- Zapata MJE, Quintero COA, Porras BLD. 2014. Sorption isotherms for oat flakes (*Avenasativa* L). *Agron. Colomb*. 32(1): 52-58.