

# Karakteristik Isoterm Sorpsi Air Tepung Biji Saga

Bayu Dwi Hartanto

E-mail: bayu.dwi(bayudh@smakplus.penaburcirebon.sch.id)

Guru SMAK BPK PENABUR Cirebon

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh kurva serapan isoterm uap air dari tepung biji saga yang diprediksi menggunakan model matematis dan memperoleh karakteristik serapan isoterm uap air tepung biji saga yang berkaitan dengan stabilitasnya. Lengkungan isoterm sorpsi kelembaban dihasilkan dengan memplot nilai aktivitas air ( $a_w$ ) dan kadar air kesetimbangan ( $M_e$ ) menggunakan tujuh garam dengan nilai RH pada kisaran 10-94%. Ada tiga model sorpsi isoterm yang diuji, yaitu, GAB (Guggenheim Anderson deBoer), BET (Brunauer Emmett Teller), Henderson, Chen-Clanton, Oswin dan model Caurie. Hasilnya menunjukkan bahwa kurva isoterm penyerapan air adalah bentuk sigmoid (tipe 2) dan model yang paling sesuai adalah GAB dengan nilai MRD pada 25°C dan 35°C, suhu secara berurutan 3,95% dan 3,64% dan Hasley pada 25°C secara berurutan 3,51%. Fraksi air primer untuk model GAB pada suhu 25°C, 35°C dan 45°C secara berurutan adalah 6,17%; 6,58%; 5,03%. Adapun model BET adalah 2,69%; 2,3%; 2,31% dan model Caurie 0,8%; 0,85%; 30,83%. Fraksi air sekunder dan tersier adalah 41,53% dan 86,67%. Nilai entalpi dan entropi menurun dengan meningkatnya keseimbangan kadar air dan penyerapan area permukaan pada suhu 25°C, 35°C, dan 45°C secara berurutan adalah 183,28; 189,64; 163,03 (m<sup>2</sup> / g).

**Kata-kata kunci:** model matematika, penyerapan isoterm kelembaban

## *Water Sorption Isotherm Characteristics Saga Seed Flour*

### *Abstract*

*The research was aimed to obtain moisture isotherm sorption curve of saga seed flour predict it using mathematic models and to obtained moisture isotherm sorption characteristic of saga seed flour related to its stability. The curved of moisture sorption isotherm was resulted by plotting water activity value ( $a_w$ ) and equilibrium moisture content ( $M_e$ ) using seven salt with RH value at range of 10-94%. There were three models of sorption isotherm tested, namely, GAB (Guggenheim Anderson deBoer), BET (Brunauer Emmett Teller), Henderson, Chen-Clanton, Oswin and Caurie model. The result shown that moisture sorption isotherm curve is sigmoid shape (type 2) and best fit models is GAB with MRD value at 25°C and 35°C, temperature sequentially 3.95% and 3.64% and Hasley at 25°C sequantially 3.51%. The fraction of primary water for GAB models at a temperature of 25°C, 35°C and 45°C sequentially were 6.17%; 6.58%; 5.03%. As for the BET model were 2.69%; 2.3%; 2,31% and Caurie model were 0.8%; 0.85%; 30.83%. Secondary and tertiary water fraction were 41.53% and 86.67%. Value of enthalpy and entropy decreased with increasing water content equilibrium and surface area sorption at a temperature of 25°C, 35°C and 45°C sequentially were 183.28; 189.64; 163.03 (m<sup>2</sup>/g).*

**Keywords:** *mathematic model, moisture isotherm sorption,*

## Pendahuluan

Ketergantungan masyarakat Indonesia akan komoditas terigu impor sangat tinggi. Data yang dihimpun Asosiasi Pengusaha Tepung Terigu Indonesia (APTINDO) menunjukkan bahwa impor gandum pada Januari 2016 dibanding Januari 2015 melonjak tajam sebesar 86,35% (Kompas, 2016). Oleh karena itu, salah satu upaya untuk mengatasi ketergantungan masyarakat terhadap konsumsi tepung terigu adalah dilakukannya diversifikasi pangan berbasis sumber daya lokal.

Gaplek merupakan produk olahan tradisional dari bahan singkong yang dikeringkan. Gaplek memiliki kandungan karbohidrat yang tinggi dan dapat diolah menjadi tepung, hanya saja kadar protein yang terdapat dalam tepung gaplek ini masih rendah. Dalam penelitian Maidawati (2011) dilakukan pembuatan tepung gaplek dengan menambahkan tepung biji sago (*Adenantha pavonina* Linn.), sebagai sumber protein pada tepung gaplek dengan metode fermentasi. Tepung gaplek memiliki sifat higroskopis. Hal ini, sesuai dengan pernyataan Oyelade dkk. (2008) bahwa bahan pangan setelah diolah mempunyai sifat yang sangat higroskopis, yaitu dapat menyerap air dari udara di sekelilingnya dan sebaliknya dapat melepaskan sebagian air yang terkandung di dalamnya ke udara. Sifat higroskopis ini dapat mempengaruhi masa simpan dan kualitas dari tepung tersebut. Stabilitas produk dapat ditentukan oleh dua faktor utama, yaitu kelembaban relatif kesetimbangan (RH) atau aktivitas air ( $a_w$ ) tempat penyimpanan dan kadar air kesetimbangan bahan pangan ( $M_e$ ) (Widowati, dkk 2010). Hubungan antara aktivitas air/*water activity* ( $a_w$ ) dengan kadar air produk pangan di suatu kondisi penyimpanan pada nilai kelembaban relatif (RH) tertentu disebut juga dengan isoterm sorpsi air (ISA).

Model-model persamaan isoterm sorpsi air yang ada antara lain Langmuir, BET (Brunauer-Emmett-Teller), Henderson, GAB (Guggenheim-Anderson-deBoer) dan lain-lain (Furmaniak dkk., 2009). Masing-masing model mempunyai kesesuaian, seperti hanya berlaku pada daerah kelembaban relatif tertentu, pendekatannya satu

arah yaitu adsorpsi atau desorpsi dan tidak seluruh model dapat diterapkan pada bahan pangan (Moraes dkk., 2008). Selain itu pemodelan matematika tersebut dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik dari produk pangan seperti kadar air monolayer, luas daerah penyerapan dan juga sifat-sifat termodinamika. Kurva isoterm sorpsi air penting untuk pendugaan waktu pengeringan, pengemasan, dan kemantapan bahan selama penyimpanan. Pembuatan kurva ISA bertujuan mendapatkan kemulusan kurva yang tinggi, sehingga model-model persamaan yang sederhana dan lebih sedikit jumlah para-meternya akan lebih cocok digunakan (Labuza, 1982). Oleh karena itu, penentuan model dan pembuatan kurva ISA perlu dilakukan dalam penelitian ini dan dengan hasil yang diperoleh maka dapat ditentukan karakteristik berkaitan dengan kestabilannya terhadap air.

Dari latar belakang di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah menentukan kurva isoterm sorpsi air tepung biji sago, memprediksikannya menggunakan berbagai pemodelan matematika dan menentukan karakteristik tepung biji sago yang berkaitan dengan stabilitasnya.

## Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian diadakan pada bulan Januari 2017 sampai April 2017. Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia Fakultas Sains dan Matematika Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga.

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah gaplek yang diterfortifikasi tepung biji sago. Bahan kimia yang digunakan adalah tujuh jenis garam yang digunakan untuk mengatur kelembaban relatif (*relative humidity*/RH) agar konstan, yaitu NaOH,  $MgCl_2$ ,  $K_2CO_3$ ,  $Mg(NO_3)_2$ , KI, NaCl, dan KCl. Bahan kimia lain yang digunakan adalah akuades. Piranti yang digunakan untuk penelitian ini berupa cawan porselin, akuarium untuk menentukan isoterm sorpsi, oven untuk mengukur kadar air dan neraca analitik serta desikator berisi silika gel,

inkubator, *beaker glass*, *glass container*, termometer dan higrometer.

#### Pembuatan Tepung (Maidawati, 2011)

Singkong dikupas dan dicuci, selanjutnya dipotong kecil-kecil dan direndam selama 1 malam dengan air. Selanjutnya, singkong dikeringkan dengan *drying cabinet* pada suhu 50°C selama 2 hari. Setelah kering, gapek siap untuk perlakuan berikutnya. Biji saga dicuci lalu direndam dalam air selama 1 malam, kemudian direbus hingga kulitnya terbuka ( $\pm 2$  jam). Kulit luar dan kulit ari biji saga dibuang. Selanjutnya, biji saga pohon dikeringkan dalam *drying cabinet* selama 2 hari pada suhu 50°C. Setelah kering, biji saga pohon dihaluskan menggunakan *grinder*. Gapek dikukus selama 30 menit kemudian didinginkan. Setelah dingin, gapek ditambah 13,16% (b/b) tepung biji saga pohon sebagai sumber protein, kemudian diinokulasi dengan ragi tempe sebanyak 5% (b/b) dan difermentasi selama 40 jam. Gapek terfortifikasi dikeringkan dengan *drying cabinet* pada suhu 50°C. Setelah kering, gapek terfortifikasi dihaluskan dengan *grinder* kemudian diayak dengan ayakan *aperture* 250  $\mu\text{m}$ , mesh no.60.

#### Pengukuran Kadar Air (Kumalasari, 2012)

Sampel ditimbang sebanyak 1 gram dalam cawan *moisture analyzer*. Moisture analyzer diset pada suhu 105°C. Moisture analyzer ditutup dan ditunggu hasil kadar airnya. Hasil kadar air dicatat.

Preparasi larutan garam jenuh dilakukan menggunakan 7 macam garam. Garam ditimbang dengan berat tertentu kemudian dimasukkan ke dalam *beaker glass* yang berisi air hangat suhu kurang lebih 50°C dan diaduk sampai larut. Jika garam yang dilarutkan dapat larut sempurna, maka garam ditambahkan sedikit demi sedikit sampai garam tidak larut lagi. Larutan garam jenuh dibuat sebanyak 50 ml kemudian dimasukkan dalam sebuah *glass container* yang cukup untuk menampung larutan garam.

#### Pengukuran Kadar Air Kesetimbangan (Aini, dkk., 2014)

Larutan garam dibuat dengan melarutkan garam-garam tertentu dalam akuades sampai

terbentuk larutan garam jenuh. Garam-garam yang digunakan sebagai larutan garam jenuh untuk memberikan nilai  $a_w$  konstan adalah NaOH,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ , KI, NaCl, KCl. Lima (5) gram sampel masing-masing disimpan dalam *chamber* yang sudah diatur RH-nya menggunakan larutan-larutan garam jenuh tersebut. Larutan garam tersebut kemudian disimpan pada suhu 25°C, 35°C, dan 45°C. Setiap hari sampel tersebut ditimbang sampai tercapai *steady state*. Setelah konstan, sampel tersebut kemudian diukur kadar airnya menggunakan *moisture analyzer*.

#### Uji Ketepatan Model (Isse et al., 1993)

Uji ketepatan suatu persamaan isoterm sorpsi digunakan *Mean Relative Determination* (MRD) dengan persamaan, sebagai berikut.

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

Dengan :

$M_i$  = Kadar air hasil percobaan

$n$  = jumlah data

$M_{pi}$  = Kadar air hasil perhitungan

Jika :

$\text{MRD} < 5$  maka model sangat tepat

$5 < \text{MRD} < 10$ , maka model agak tepat

$\text{MRD} > 10$  maka model tidak tepat

#### Penentuan Karakteristik Kurva Isoterm Sorpsi Air

Karakteristik kurva isoterm sorpsi air tepung gapek terfortifikasi tepung biji saga pohon dianalisa meliputi wilayah pertama (kadar air *monolayer*) menggunakan pemodelan BET, model GAB, dan model Caurie, sedangkan wilayah kedua (kadar air *multilayer*) dan wilayah ketiga menggunakan pemodelan BET, luas permukaan penyerapan air (Cadden, 1988), entalpi (Togrul dan Arslan, 2006) dan entropi (Aguerre, et al., 1986) proses penyerapan air.

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

Pengulangan dilakukan sebanyak 5 kali untuk sampel pada setiap jenis larutan garam dan data dianalisa menggunakan regresi linier

## Hasil dan Pembahasan

**Kurva Isoterm Sorpsi Air dari Tepung Biji Saga**  
Penentuan kurva isoterm sorpsi dilakukan dengan cara menghubungkan data kadar air kesetimbangan ( $M_e$ ) dengan aktivitas air ( $a_w$ ) pada tabel 1.

Berdasarkan tabel 1 menunjukkan nilai kadar air kesetimbangan akan meningkat seiring dengan kenaikan nilai kelembapan relatif ataupun aktivitas air. Hal ini, disebabkan karena terjadi transfer uap air dari lingkungan ke sampel yang bersifat higroskopis. Pada aktivitas air yang tinggi terjadi proses adsorpsi terhadap sampel, sehingga kadar air kesetimbangan menjadi tinggi sedangkan pada saat aktivitas air yang rendah terjadi proses desorpsi terhadap sampel sehingga kadar air kesetimbangan menjadi rendah (Banoet, 2006). Nilai kadar air kesetimbangan akan meningkat seiring dengan kenaikan temperatur (Saravacos *et al.*, 1986), namun dalam penelitian yang dilakukan nilai yang dihasilkan masih fluktuatif. Tren nilai yang fluktuatif juga dijumpai pada isoterm sorpsi air *basbusa sweet* (Ahmed *et al.*, 2004).

Kurva isoterm sorpsi air pada tepung biji saga gambar 1 berbentuk sigmoid atau me-

nyerupai bentuk S, sehingga kurva isoterm sorpsi air dari tepung biji saga mendekati tipe II. Kurva berbentuk sigmoid disebabkan oleh pengaruh akumulatif dari ikatan hidrogen, Hukum Raoult, kapiler dan interaksi antara permukaan bahan dengan molekul air (Aini dkk., 2014).

### Ketepatan Model yang Diuji

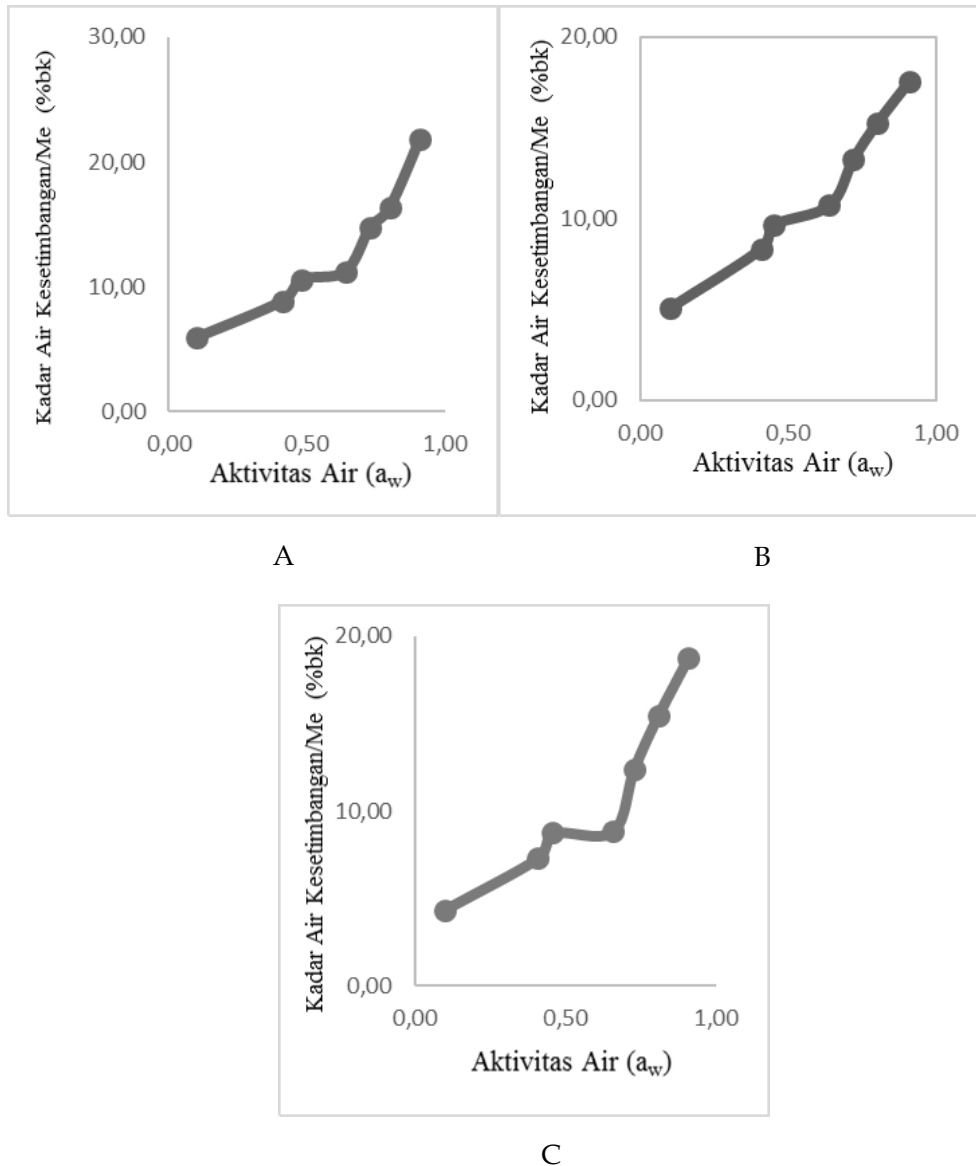
Data hubungan kadar air kesetimbangan dan aktivitas air kemudian diubah dalam berbagai model matematika untuk diprediksikan. Model yang diprediksikan, yaitu GAB (Guggenheim Anderson deBoer) dengan  $y = a_w / M_e$  dan  $x = a_w$ , BET (Brunauer Emmett Teller) dengan  $y = a_w / (1 - a_w)_{Me}$  dan  $x = a_w$ , Caurie  $y = 1n(1/a_w)$  dan  $x = \ln(1 - a_w/a_w)$ , Henderson  $y = \log(1n(1/a_w))$  dan  $x = \log_{Me}$ , Chen-Clayton  $y = 1n(1n(1/a_w))$  dan  $x = Me$ , Oswin  $y = 1n_{Me}$  dan  $x = 1n(a_w/1 \cdot a_w)$ , Hasley  $y = \log(1n(1/a_w))$  dan  $x = \log_{Me}$ . Gambar 2-8 menunjukkan kurva pemodelan isoterm sorpsi air pada tepung biji saga dengan suhu 25°C, 35°C, dan 45°C pada model GAB (gambar 2), BET (gambar 3), Caurie (gambar 4), Henderson (gambar 5), Chen-Clayton (gambar 6), Oswin (gambar 7), dan Hasley (gambar 8).

Penentuan kadar air kesetimbangan hasil perhitungan ( $M_{hit}$ ) dihitung berdasarkan masing-masing persamaan regresi linier maupun non linier pada masing-masing pemodelan. Pada tabel 2 - tabel 4 menunjukkan nilai kadar air kesetimbangan hasil percobaan ( $M_e$ ) dan kadar air kesetimbangan hasil perhitungan ( $M_{hit}$ )

**Tabel 1:**

*Kelembaban Relatif (RH), Aktivitas Air ( $a_w$ ) dan Kadar Air Kesetimbangan ( $M_e$ ) pada Suhu 25°C, 35°C, dan 45°C*

Garam	25°C			35°C			45°C		
	RH (%)	$a_w$	Me(%bk)	RH (%)	$a_w$	Me(%bk)	RH (%)	$a_w$	Me(%bk)
NaOH	10	0,10	5,89±0,38	10	0,10	5,07±0,29	10	0,10	4,32±0,17
MgCl <sub>2</sub>	41	0,41	8,84±0,54	40	0,40	8,36±0,27	41	0,41	7,29±0,43
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	48	0,48	21 (21.4%)	45	0,45	9,66±0,22	46	0,46	8,73±0,14
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	64	0,64	10 (14.3%)	64	0,64	10,73±0,21	66	0,66	8,79±0,66
KI	73	0,73	3 (9.4%)	72	0,72	13,27±0,32	73	0,73	12,35±0,22
NaCl	80	0,80	2 (2.4%)	80	0,80	15,26±0,27	81	0,81	15,41±0,35
KCl	91	0,91	13 (10.9%)	91	0,91	17,58±1,4	91	0,91	18,70±0,42

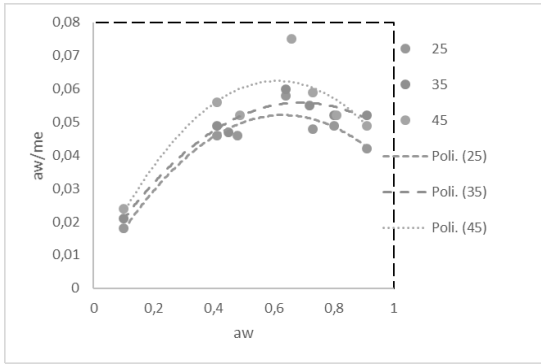


**Gambar 1:**  
**Kurva Isoterm Sorpsi Air pada tepung biji saga pada suhu 25°C, (A), 35°C (B), dan 45°C (C)**

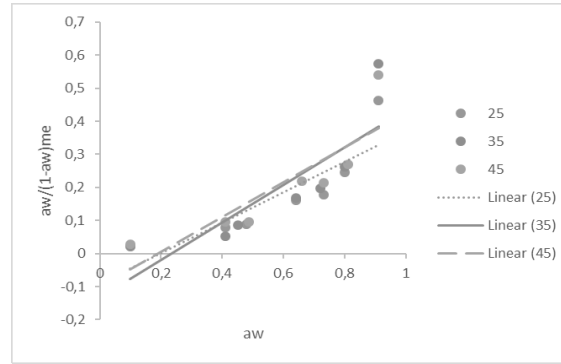
dengan pemodelan GAB (Guggenheim Anderson deBoer) BET (Brunauer Emmett Teller) dan Caurie. Penentuan nilai MRD dilakukan dengan cara membandingkan kadar air kesetimbangan hasil perhitungan ( $M_{hit}$ ) dengan kadar air kesetimbangan percobaan ( $M_e$ ). Tabel 5 menunjukkan nilai MRD untuk masing-masing pemodelan pada suhu 25°C, 35°C dan 45°C.

Berdasarkan Tabel 5 dapat dilihat bahwa model GAB pada suhu 25°C dan 35°C merupakan pemodelan yang tepat untuk menggambarkan fenomena isoterm sorpsi air pada tepung biji saga, karena memiliki nilai MRD < 5. Pendapat

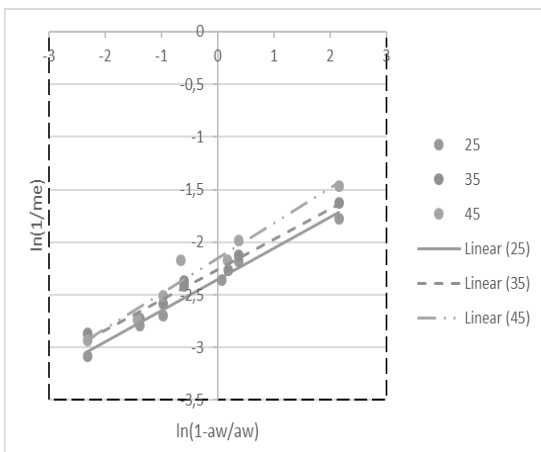
lain mengatakan bahwa pemodelan mempunyai ketepatan yang baik jika nilai MRD lebih kecil dari 10% (McLaughlin and Magee, 1998). Perbedaan suhu penyimpanan seperti yang dilaporkan oleh Fennema (1985) juga dapat mempengaruhi kemiringan kurva isoterm sorpsi air yang berbentuk sigmoid yang pada akhirnya dapat mempengaruhi ketepatan (MRD) dari model-model yang diujikan. Semakin rendah nilai % MRD, maka model isoterm sorpsi air tersebut dapat menggambarkan keadaan yang sebenarnya dengan tepat (Kusnandar dkk., 2010).



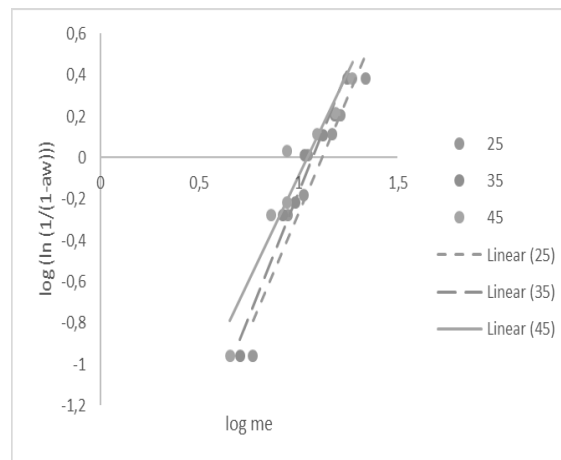
**Gambar 2:**  
Kurva model GAB pada tepung biji saga pada suhu 25°C, (A), 35°C (B), dan 45°C (C)



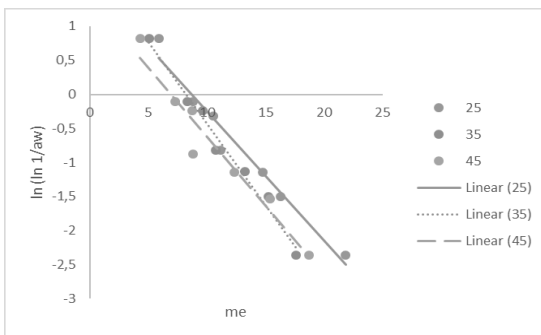
**Gambar 3:**  
Kurva model BET pada tepung biji saga pada suhu 25°C, (A), 35°C (B), dan 45°C (C)



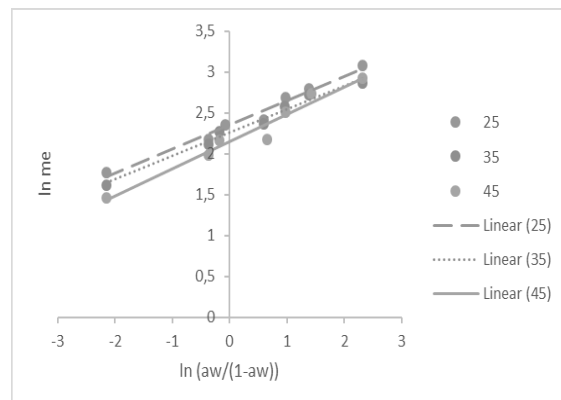
**Gambar 4:**  
Kurva model Caurie pada tepung biji saga pada suhu 25°C, (A), 35°C (B), dan 45°C (C)



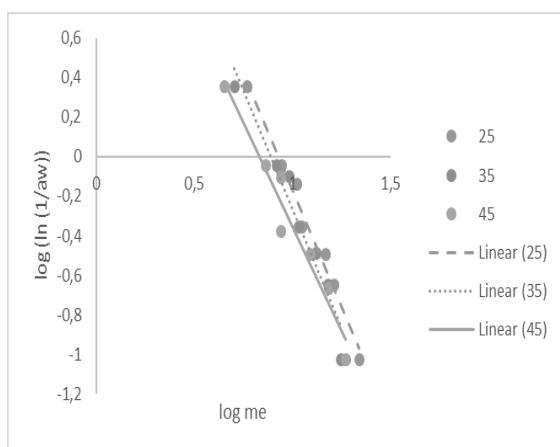
**Gambar 5:**  
Kurva model Henderson pada tepung biji saga pada suhu 25°C, (A), 35°C (B), dan 45°C (C)



**Gambar 6:**  
Kurva model Chen-Clayton pada tepung biji saga pada suhu 25°C, (A), 35°C (B), dan 45°C



**Gambar 7:**  
Kurva model Oswin pada tepung biji saga pada suhu 25°C, (A), 35°C (B), dan 45°C (C)



**Gambar 8:**  
Kurva model Hasley pada tepung biji saga pada suhu 25°C, (A), 35°C (B), dan 45°C (C)

### Karakteristik Isoterm Sorpsi Air dari Tepung Biji Saga

Karakteristik kurva isoterm sorpsi air yang ditentukan meliputi fraksi air primer ( $M_o$ ), dan konstanta ( $c$  dan  $k$ ) masing-masing permodelan yang disajikan pada tabel 6.

Berdasarkan tabel 6, nilai  $M_o$  yang untuk semua model mengalami fluktuasi seiring dengan peningkatan suhu penyimpanan. Hal

ini, tidak sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa nilai  $M_o$  menurun dengan adanya peningkatan suhu, karena terjadi reduksi jumlah ikatan air sebagai akibat dari perubahan fisika maupun kimia terhadap temperatur (Iglesias and Chirife, 1976; Mazza and Le Maguer, 1978). Tren nilai  $M_o$  yang fluktuatif juga pernah dilaporkan terjadi pada *son papdi* (Bajpai and Tiwari, 2013).

Nilai  $M_o$  yang dihasilkan selama penelitian berkisar antara 0,8 % hingga 6,58 % (bk), hal ini sesuai dengan pendapat Van den Berg and Bruin (1981) bahwa fraksi air monolayer pada bahan pangan berada dibawah 10 g/100 g berat kering. Nilai  $M_o$  GAB lebih besar dibandingkan BET dan Caurie. Hal ini, disebabkan karena persamaan GAB memperhitungkan adanya lapisan multi-layer di atas lapisan monolayer sedangkan BET hanya memperhitungkan lapisan pertama yang dipengaruhi oleh substrat solid, sedangkan di atas lapisan tersebut sebagai kondensasi (Adawiyah dan Soekarto, 2010). Kurva isotermi dapat digunakan untuk mengetahui stabilitas selama penyimpanan dan berhubungan dengan rencana pengemasan. Parameter stabilitas bahan pangan berdasarkan kurva isotermi, terletak pada nilai kadar air monolayer. Kadar air monolayer pada kebanyakan produk pangan

**Tabel 2:**

Nilai  $M_e$  dan  $M_{hit}$  pemodelan GAB, BET, Caurie, Henderson, Chen-Clayton, Oswin, dan Hasley suhu 25°C

Garam	Kadar Air Hasil Perhitungan ( $M_{hit}$ )							
	Suhu 25°C							
	Me	GAB	Bet	Caurie	Henderson	Chen-Clayton	Oswin	Hasley
NaOH	5,89	6,06	0,81	0,05	0,05	-0,61	0,06	0,06
MgCl <sub>2</sub>	8,84	8,89	2,41	0,08	0,1	-0,05	0,05	0,09
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	10,57	9,76	2,90	0,09	0,11	0,07	0,05	0,1
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	11,20	12,34	4,57	0,11	0,13	0,38	0,05	0,12
KI	14,77	14,21	6,10	0,13	0,14	0,57	0,04	0,14
NaCl	16,31	16,45	8,53	0,14	0,15	0,79	0,04	0,17
KCl	21,84	21,45	19,44	0,19	0,18	1,31	0,04	0,25

**Tabel 3:**  
 Nilai  $M_e$  dan  $M_{hit}$  pemodelan GAB, BET, Caurie, Henderson, Chen-Clayton, Oswin, dan Hasley suhu 35°C

Garam	Kadar Air Hasil Perhitungan ( $M_{hit}$ )							
	Suhu 35°C							
	Me	GAB	Bet	Caurie	Henderson	Chen-- Clayton	Oswin	Hasley
NaOH	5,07	5,12	0,64	0,06	0,05	-0,53	0,07	0,05
MgCl <sub>2</sub>	8,36	8,57	1,97	0,09	0,09	-0,07	0,06	0,08
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9,66	9,07	2,21	0,1	0,1	0,002	0,05	0,08
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	10,73	11,58	3,75	0,12	0,12	0,29	0,05	0,11
KI	13,27	13	4,98	0,14	0,13	0,45	0,05	0,13
NaCl	15,26	14,66	7,03	0,16	0,14	0,64	0,05	0,15
KCl	17,58	17,91	16,05	0,2	0,16	1,07	0,05	0,23

**Tabel 4:**  
 Nilai  $M_e$  dan  $M_{hit}$  pemodelan GAB, BET, Caurie, Henderson, Chen-Clayton, Oswin, dan Hasley suhu 45°C

Garam	Kadar Air Hasil Perhitungan ( $M_{hit}$ )							
	Suhu 45°C							
	Me	GAB	Bet	Caurie	Henderson	Chen-- Clayton	Oswin	Hasley
NaOH	4,32	4,66	0,74	0,06	0,04	-0,72	0,07	0,04
5MgCl <sub>2</sub>	7,29	7,27	2,16	0,1	0,08	-0,07	0,06	0,07
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	8,73	7,75	2,43	0,11	0,09	0,03	0,06	0,07
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	8,79	10,59	4,25	0,14	0,11	0,47	0,06	0,1
KI	12,35	12,03	5,41	0,16	0,12	0,66	0,05	0,12
NaCl	15,41	14,29	7,81	0,19	0,14	0,94	0,05	0,15
KCl	18,70	18,85	17,20	0,25	0,17	1,53	0,04	0,25

**Tabel 5:**  
 Nilai MRD Pemodelan Pada Suhu 25°C, 35°C, dan 45°C

Permodelan	Nilai MRD (%)		
	25°C	35°C	45°C
GAB (Guggenheim Anderson deBoer)	3,95	3,64	7,21
BET (Brunauer Emmett Teller)	58,31	43,71	55,82
Caurie	14,13	14,14	14,05
Henderson	37,48	37,97	37,93
Chen-Clayton	40,49	40,87	39,31
Oswin	42,74	42,73	42,72
Hasley	3,51	8,52	5,29



**Tabel 6:**Data persamaan garis ( $y$ ), fraksi air primer ( $M_o$ ), dan konstanta ( $c$  dan  $k$ ) tiap-tiap pemodelan

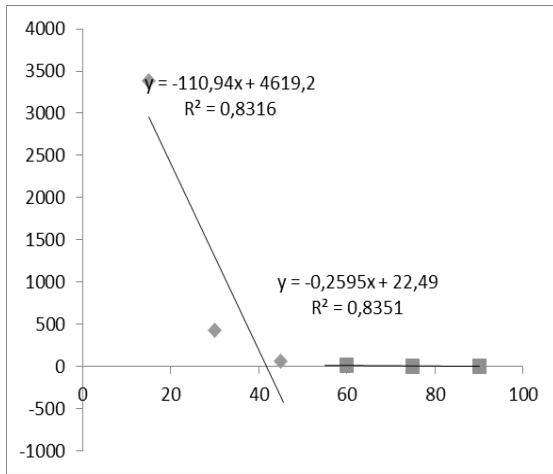
Permodelan	Suhu	Persamaan Garis ( $y$ )	$M_o$	$C$	$K$
GAB	25	$-0.1259x^2+0.159x+0.002$	6,17	639,68	0,78
	35	$-0,1033x^2+0,1426x+0,0066$	6,58	217,95	0,7
	45	$-0,1573x^2+0.1917x+0.0045$	5,03	277,94	0,81
BET	25	$0.4669x-0.00953$	2,69	-3,9	-
	35	$0.5594x-0.1238$	2,3	-3,52	-
	45	$00.5342x-0.1017$	2,31	-4,25	-
Caurie	25	$0.2971x-2.3574$	0,8	0,12	-
	35	$0.2877x-2.2615$	0,85	0,12	-
	45	$0.334x-2.1537$	0,83	0,14	-
Henderson	25	$-2.2623x-2.5285$	-	-	-
	35	$-2.3983x-2.5712$	-	-	-
	45	$-1.98959x-2.0695$	-	-	-
Chen-Clayton	25	$-0.1906x+1.6594$	-	-	-
	35	$-0,2402x+1.9796$	-	-	-
	45	$-0.2028x+1.4124$	-	-	-
Oswin	25	$0.2971x2.3574$	-	-	-
	35	$0.2877x+2.2615$	-	-	-
	45	$0.334x+2.1537$	-	-	-
Hasley	25	$-2.3667x+2.2027$	-	-	-
	35	$-2.4133x+2.1486$	-	-	-
	45	$-2.058x+1.7011$	-	-	-

kering menunjukkan kadar air kritis (Bell and Labuza, 2000). Sehingga, peningkatan kadar air di atas monolayer akan menyebabkan produk cepat mengalami penurunan kualitas.

Karbohidrat mampu mengikat air dalam jumlah yang lebih banyak, karena adanya dominasi gugus polar hidrofilik -OH pada keseluruhan rantai polisakarida yang secara alami mengandung  $10^2$  sampai  $10^6$  unit monosakarida (Adawiyah, 2010). Tepung mengandung karbohidrat yang banyak memiliki gugus hidroksil. Adanya gugus hidroksil ini menyebabkan karbohidrat mudah berikatan dengan air. Ikatan air dengan gugus hidroksil adalah ikatan hidrogen. Hal ini, diperkuat oleh Kusnandar

dkk.(2010) bahwa air dapat membentuk ikatan hidrogen dengan gugus hidroksil (-OH) pada karbohidrat.

Selain, menentukan karakteristik kurva isoterm sorpsi air, dilakukan pula penentuan karakteristik termodinamika dari proses penyerapan air meliputi entalpi dan entropi penyerapan air, luas permukaan penyerapan air, fraksi air sekunder ( $M_s$ ) dan fraksi air tersier ( $M_t$ ). Penentuan  $M_s$  dan  $M_t$  menggunakan analisis logaritma (Soekarto and -Steinberg, 1978), yaitu dengan memplot data  $\log(1-a_w)$  terhadap  $M_e$  maka dihasilkan garis lurus patah dua. Ordinat dinyatakan dengan  $\log(1-a_w)$ , hubungan antara  $\log(1-a_w)$  dengan air membentuk dua kurva ber-



**Gambar 9:**  
Kurva Penentuan Entalpi Penyerapan Air Pada Tepung Biji Saga.

bentuk garis lurus gambar 9. Fraksi air terikat pada tepung biji saga dapat ditentukan berdasarkan nilai selang kadar air masing-masing daerah, yaitu Air Terikat Primer (ATP), ialah antara kadar air 0% sampai fraksi air primer ( $M_0$ ). Nilai Air Terikat Sekunder (ATS) terletak antara  $M_0$  sampai  $M_s$  dan nilai air terikat tersier (ATT) adalah  $M_s$  sampai  $M_t$ .

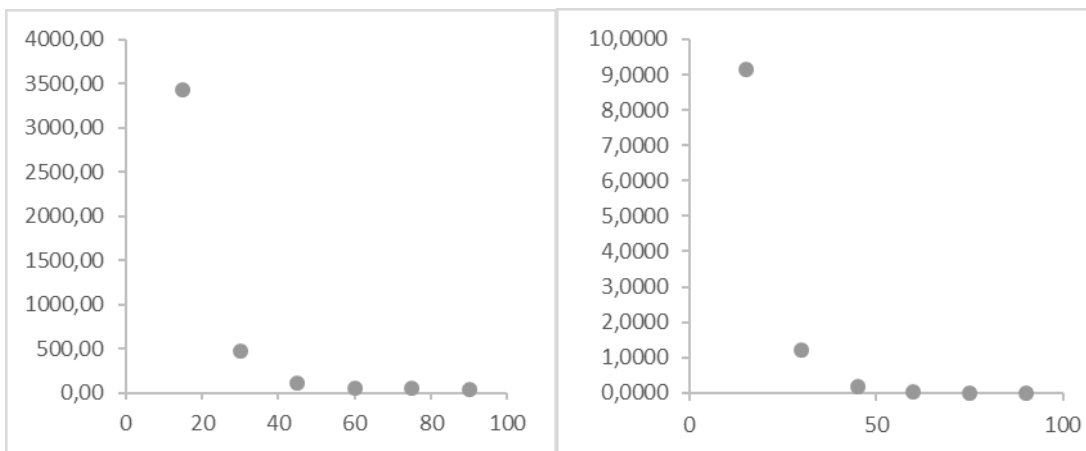
Fraksi air sekunder ( $M_s$ ) yang dihasilkan sebesar 41,53% dan fraksi air tersier ( $M_t$ ) sebesar 86,67%. Hal ini, mengindikasikan bahwa proses pengikatan air terbatas sampai kadar air 86,67% (bk) dan di atasnya merupakan air bebas yang

**Tabel 7:**  
Data entalpi (kJ/kg.mol) dan entropi (J/kg.mol) penyerapan air pada tepung biji saga

Kadar Air Kesetimbangan ( $M_e$ )	Entalpi ( $\Delta H$ )	Entropi ( $\Delta S$ )
15	-3387,37	9,1371
30	-426,22	1,2188
45	-59,10	0,1754
60	-7,92	0,0241
75	-1,03	0,0033
90	-0,13	0,0004

dapat dihilangkan dengan mudah (Kaleemullah and Kailappan, 2007).

Nilai entalpi menunjukkan jumlah energi yang dibutuhkan untuk memecah gaya intermolekul dari uap air dengan permukaan solid (Arslan and Togrul, 2005). Penentuan entalpi dilakukan dengan menggunakan persamaan Clausius-Clapeyron terdapat interaksi antara absorben dengan adsorbat (Togrul and Arslan, 2006). Entropi mendeskripsikan derajat ketidakteraturan gerakan molekul uap air. Entropi menunjukkan mobilitas penyerapan air dan menunjukkan sejauh mana interaksi yang terjadi antara substrat dengan molekul air (Mazza and Le Maguer, 1978). Nilai entalpi dan entropi disajikan dalam gambar 10 dan tabel 7.



**Gambar 10:**  
Entalpi dan Entropi Penyerapan Air

**Tabel 8:**  
Data luas permukaan penyerapan air pada tepung biji saga

Suhu(°C)	Luas Permukaan Penyerapan (m <sup>2</sup> /g)
25	183,28
35	189,26
45	163,03

Berdasarkan gambar 10 dan tabel 7, nilai entalpi menunjukkan nilai negatif yang mengindikasikan bahwa proses penyerapan air bersifat eksotermal dan menegaskan bahwa pada tingkat kadar air yang tinggi maka kekuatan untuk mengikat air akan menurun dan pada kadar air yang rendah paling banyak terjadi penyerapan, sehingga menimbulkan interaksi energi yang besar (Togrul and Arslan, 2006; Villa-Velez *et al.*, 2012). Hal ini, mengindikasikan kemungkinan terjadinya perubahan stuktur pada produk selama dehidrasi (Yanniotis and Zarmboutis, 1996). Peningkatan entalpi pada kadar air kesetimbangan yang rendah menunjukkan kepolaran permukaan sehingga mobilitas molekulnya rendah (McMinn and Magee, 2003). Nilai entropi menurun seiring kenaikan kadar air kesetimbangan pada bahan.

Penentuan luas permukaan penyerapan air dalam tepung biji saga menggunakan persamaan Caurie. Luas permukaan penyerapan air pada tepung biji saga disajikan pada tabel 8. Luas permukaan penyerapan air pada bahan berhubungan dengan sisi penyerap air. Semakin luas permukaan penyerapan air menunjukkan jumlah gugus OH, C=O, NH, dan gugus polar yang besar (Cahyanti dkk., 2016).

Luas permukaan penyerapan air menurun dengan bertambah besarnya nilai temperatur (Bajpai and Tiwari, 2013). Namun, dalam penelitian terjadi penyimpangan, karena nilai yang dihasilkan fluktuatif, yaitu meningkat dari suhu 25°C ke suhu 35°C dan menurun kembali pada suhu 45°C. Tren nilai yang fluktuatif juga dijumpai pada *dudh churpi* (produk susu India) (Hossain *et al.*, 2002). Menurut Iglesias *et al.* (1986), karakteristik isoterm sorpsi pada bahan

pangan dapat mengalami perbedaan hal yang disebabkan, karena perbedaan sifat biologis masing-masing bahan dan perbedaan metode penelitian.

## Simpulan

### Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tentang karakteristik isoterm sorpsi air pada tepung tepung biji saga dapat disimpulkan, bahwa untuk Kurva isoterm sorpsi air pada tepung tepung biji saga mempunyai bentuk sigmoid yang mendekati tipe II. Model yang tepat untuk menggambarkan fenomena isoterm sorpsi air pada tepung tepung biji saga adalah model GAB dengan pada suhu 25 C dan 35 C nilai MRD sebesar 3,95% dan 3,64% dan model Hasley dengan pada suhu 25 C sebesar 3,51% dan karakteristik isoterm sorpsi air pada tepung tepung biji saga meliputi, antara lain Fraksi air terikat primer pada suhu 25 C, 35 C, dan 45 C berturut-turut pada model GAB sebesar 6,17%;6,58% dan 5,03%; model BET sebesar 2,69%; 2,3% dan 2,31%; model Caurie sebesar 0,8%; 0,85% dan 0,83%. Fraksi air terikat sekunder pada tepung tepung biji saga terletak pada kadar air 41,53% dan fraksi air terikat tersier pada tepung tepung biji saga terletak pada kadar air 86,67% Luas permukaan penyerapan air pada tepung tepung biji saga pada suhu 25 C, 35 C dan 45 C berturut-turut sebesar 183,28m<sup>2</sup>/g; 189,26 m<sup>2</sup>/g dan 163,03 m<sup>2</sup>/g dan Nilai entalpi dan entropi proses penyerapan air pada tepung-tepung biji saga menurun seiring dengan meningkatnya kadar air.

### Saran

Penelitian ini dapat di lakukan atau disempurnakan dengan cara penggunaan temperatur yang berbeda sebagai parameter untuk penyimpanan makanannya, penggunaan garam yang berbeda, serta penggunaan model matematika yang lainnya. Selain itu, kehadiran biji saga di Indonesia juga seharusnya dapat dimanfaatkan secara maksimal khususnya untuk ramuan obat tradisional, misalnya bubuk biji saga dapat dipergunakan untuk mengatasi

mencret, batuk, radang tonsil (amandel), sariawan, dan ambeien. Jika, pemerintah Indonesia mampu untuk menarik investor, khususnya bidang industri farmasi maka akan menciptakan peluang kerja dan menjadi peluang bisnis yang menjanjikan. Pemanfaatan kekayaan alam di Indonesia seharusnya dapat dieksplorasi secara maksimal untuk kemakmuran bangsa Indonesia.

## Daftar Pustaka

- Adawiyah, D.R. dan Soekarto, S.T. (2010). Pemodelan isotermis sorpsi air pada model pangan [Modelling of moisture sorption isotherm in food model]. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 21(1) : 33-39
- Aguerre, R. J., Suarez, C., dan Viollaz, P. E. (1986). Enthalpy-entropy compensation in sorption phenomena: Application to the prediction of the effect of temperature on food isotherms. *Journal of Food Science*, Vol. 5, No. 6, Hal: 1547-1549
- Ahmed, J., Khan, A.R. and Hanan, A.S., (2004). Moisture adsorption of an Arabian sweet (basbusa) at different temperatures. *Journal of food engineering*, 64(2), pp.187-192
- Aini, N., Prihananto, V., dan Wijonarko, G. (2014). Karakteristik kurva isotherm sorpsi air tepung jagung instan. *Agritech*, Vol. 34, No. 1, Hal: 50-55
- Arslan, N. and Tođrul, H., 2005. Moisture sorption isotherms for crushed chillies. *Biosystems Engineering*, 90(1), pp.47-61
- Bajpai, S. and Tiwari, P., (2013). Investigation of moisture sorption behavior of an indian sweeton-papdi. *The Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 2(5), p.2277
- Banoet, S. E. P. (2006). *Isotermi sorpsi air dan analisa umur simpan kerupuk udang goreng*. Skripsi, Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga, Salatiga
- Bell, L.N. and Labuza, T.P., (2000), Determination of moisture sorption isotherms. *moisture sorption: Practical aspects of isotherm measurement and use*. The American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN, USA, pp.33-56
- Cadden, A. (1988). Moisture sorption characteristics of several food fibers. *Journal of Food Science*, Vol. 53, No. 4, Hal 1150-1155
- Cahyanti, M.N., Hindarto, J. dan Lestario, L.N. (2016). Pemodelan isoterm sorpsi air biskuit coklat menggunakan persamaan caurie. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 5(2) : 51-53
- Fennema, O., (1985). Chemical changes in food during processing – an overview. in *chemical changes in food during processing* (pp. 1-16). Springer US
- Furmaniak, S., Terzyk, A.P., Golembiewski, R., Gauden, P.A. dan Czepirski, L. (2009). Searching the most optimal model of water sorption on foodstuffs in the whole range of relative humidity. *Food Research International* 42:1203-1214
- Hayati, R., Abdullah, A., Ayob, M. K., dan Soekarto, S. T. (2004). Isotermi sorpsi air dan analisis umur simpan ikan kayu tongkol (*Euthynnus affinis*) dari Aceh. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, Vol. 15, No. 3, Hal: 207-213
- Hossain, S.A., Pal, P.K., Sarkar, P.K. and Patil, G.R., (2002). Moisture sorption characteristics of dudh churpi, a traditional milk product in India. *Nahrung/Food*, 46(3), p.136
- Iglesias, H.A., Chirife, J. and Fontan, C.F., (1986). Temperature dependence of water sorption isotherms of some foods. *Journal of Food Science*, 51(3), pp.551-553
- Isse, M. G., Schuchmann, H., dan Schubert, H. (1993). Divided sorption isotherm concept an alternative way to describe sorption isotherm data. *Journal of Food Process Engineering*, Vol: 16, No. 2, Hal: 147-157
- Kaleemullah, S. and Kailappan, R., (2007). Monolayer moisture, free energy change and fractionation of bound water of red

- chillies. *Journal of Stored Products Research*, 43(2), pp.104-110
- Kompas, (2016). Asosiasi Produsen Tepung Minta Kejelasan Soal Polanjakan Impor Gandum. [http://bisnis.keuangan.kompas.com/read/2016/02/21/160700726/Asosiasi\\_Produsen\\_Tepung\\_Minta\\_Kejelasan\\_soal\\_Pelonjakan\\_Impor\\_Gandum/](http://bisnis.keuangan.kompas.com/read/2016/02/21/160700726/Asosiasi_Produsen_Tepung_Minta_Kejelasan_soal_Pelonjakan_Impor_Gandum/). [Diakses pada tanggal 16 Juni 2016].
- Kumalasari, H. (2012). *Validasi metoda pengukuran kadar air bubuk perisa menggunakan moisture analyzer halogen HB43-S, sebagai alternatif metoda oven dan karl Fischer*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor, Bogor
- Kusnandar, F., Adawiyah, D.R. dan Fitria, M., (2010). Pendugaan umur simpan produk biskuit dengan metode akselerasi berdasarkan pendekatan kadar air kritis. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 21(2), p.117
- Labuza, T.P. (1982). Shelf life dating of foods. *Food and Nutrition Press., Inc., Westport, Connecticut*
- Maidawati. (2011). Pemanfaatan tepung biji saga pohon (*Adenantha povonina* Linn) dalam optimalisasi pembuatan tepung gaplek berprotein sebagai bahan substitusi tepung terigu. Skripsi. Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Matematika. Universitas Kristen Satya Wacana
- Mazza, G. and LeMaguer, M., (1978). Water sorption properties of yellow globe onion (*Allium cepa* L.). *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 11(4), pp.189-193
- McLaughlin, C.P. and Magee, T.R.A., (1998), The effect of shrinkage during drying of potato spheres and the effect of drying temperature on vitamin C retention. *Food and Bioproducts Processing*, Vol, 76, No, 3, Page,138-142
- McMinn, W.A.M. and Magee, T.R.A., (2003). Thermodynamic properties of moisture sorption of potato. *Journal of Food Engineering*, 60(2), pp.157-165
- Moraes, M.A., Rosa, G.S., dan Pinto, L.A.A. (2008). Moisture sorption isotherms and thermodynamic properties of apple Fuji and garlic. *International Journal of Food Science and Technology* 43: 1824-1831
- Motulsky, H. and Christopoulos, A. (2004). *Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression: a practical guide to curve fitting*. OUP USA
- Oyelade, O.J., Tunde-Akintunde, T.Y. dan Igbeka, J.C. (2008). Predictive equilibrium moisture content equations for yam (*Dioscorea rotundata*Poir) flour and hysteresis phenomena under practical storage conditions. *Journal of Food Engineering* 87: 229-235
- Saravacos, G.D., Tsiourvas, D.A. and Tsami, E., (1986). Effect of temperature on the water adsorption isotherms of sultana raisins. *Journal of food science*, 51(2), pp.381-383
- Togrul, H., dan Arslan, N. (2006). Moisture sorption behavior and thermodynamic characteristics of rice stored in a Chamber under controlled humidity. *Biosystems Engineering*
- Van den Berg, C. and Bruin, S. (1981). *Water activity and its estimation in food system : theoretical aspects in water activity: Influences on Food quality* (LB Rockland, GF Stewart, eds), pp.1-61. London : Academic Press Publishers
- Widowati, S., Herawati, H., Syarief, R., Suyatma, N. E., dan Prasetia, H. A. (2010). Pengaruh isoterm sorpsi air terhadap stabilitas beras ubi. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, Vol. 21, No. 2, Hal: 123-128
- Yanniotis, S. and Zarmboutis, I., (1996). Water sorption isotherms of pistachio nuts. *LWT-Food Science and Technology*, 29(4), pp.372-375