

Karakteristik Isotermi Sorpsi Air Benih Cabai Merah

(Sorption Characteristics of Red Chilli Seed)

Elisa Julianti, Soewarno T. Soekarto, Purwiyatno Hariyadi, Atjeng M. Syarief

Abstract

This research was aimed to study sorption isotherm characteristics and bound water fraction of red chilli seed. Moisture sorption characteristics of red chilli seeds were investigated at room temperature (28°C) using the static method.

The sorption isotherm exhibited hysteresis over the range of 0,07-0,97 water activity (a_w). Determination of bound water fraction of red chilli seed was done using BET equation for primary bound water, and logarithmic model (Soekarto, 1978) for secondary bound water. Meanwhile the tertiary bound water of red chilli seed was determined from non linear regression and graphic extrapolation methods.

The information generated can be utilized to optimize the long term storage parameters of red chilli seed.

Key words: Adsorption, desorption, isotherms, sorption models, bound water, red chilli seed.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik isotermi sorpsi air dan fraksi air ikatan pada benih cabai merah. Karakteristik isotermi sorpsi air benih cabai merah dilakukan pada suhu kamar dengan menggunakan metode statis.

Histerisis pada biji cabai merah terjadi pada kisaran nilai aktivitas air (a_w) yang lebar yaitu dari 0,07 hingga 0,97. Fraksi air ikatan primer ditentukan dengan persamaan BET, sedangkan fraksi air ikatan sekunder ditentukan dengan metode logaritmik yang dikemukakan oleh Soekarto (1978), dan fraksi air ikatan tersier ditentukan dengan model regresi non linier (polynomial) dan metode ekstrapolasi grafik.

Informasi yang diperoleh dari hasil penelitian ini dapat digunakan untuk optimalisasi penyimpanan benih cabai merah dalam jangka panjang.

Kata kunci: Adsorpsi, desorpsi, isotermi, model sorpsi isotermis, air ikatan, benih cabai merah.

Pendahuluan

Latar Belakang

Komoditas pertanian secara alami bersifat higroskopis yaitu dapat menyerap air dari udara sekeliling dan sebaliknya dapat melepaskan sebagian air yang terkandung di dalamnya ke udara sekitar, baik sebelum maupun setelah diolah. Sifat-sifat hidrasi ini digambarkan dengan kurva isotermi sorpsi air, yaitu kurva yang menggambarkan hubungan antara kadar air bahan dengan kelembaban relatif keseimbangan ruang tempat

penyimpanan bahan atau aktivitas air (a_w) pada suhu tertentu (Soekarto, 1978).

Labuza (1968) mencoba menerapkan isotermi sorpsi air ini untuk mendeskripsikan air dalam menjaga stabilitas pangan dan hasil pertanian selama penyimpanan. Kurva isotermi sorpsi ini digunakan sebagai dasar untuk penentuan sifat fisiko-kimia suatu komoditas pertanian dan bahan hasil olahannya.

Air di dalam bahan pangan dan hasil pertanian, dapat diklasifikasikan ke dalam 2 tipe yaitu air terikat dan air bebas. Sifat-sifat air bebas pada bahan pangan sama seperti sifat-sifat air biasa pada umumnya dengan nilai $a_w =$

1, sedangkan air ikatan adalah air yang terikat erat dengan komponen bahan pangan lainnya serta mempunyai a_w di bawah 1 (Kuprianoff, 1958).

Kurva isoterme sorpsi air pada bahan pangan umumnya berbentuk sigmoid dan dapat dihubungkan dengan afinitas air yang berbeda terhadap bahan padat. Soekarto (1978) melaporkan adanya tiga fraksi air ikatan pada bahan kering, yaitu air ikatan primer (AIP), air ikatan sekunder (AIS) dan air ikatan tersier (AIT), sedangkan Rockland (1969) membedakannya atas air monolayer (tipe I), air multilayer (tipe II) dan air yang bebas bergerak (tipe III).

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik isoterme sorpsi air serta kapasitas air ikatan pada biji cabai merah. Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat diketahui kadar air biji yang berkeselimbangan dengan RH udara ruang penyimpanan, sehingga dapat ditentukan kadar air biji yang terbaik untuk penyimpanan dalam jangka panjang.

Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan di laboratorium Rekayasa Proses Pangan, Pusat Studi Pangan dan Gizi IPB dan laboratorium Teknologi Pangan dan Gizi IPB dari bulan Maret hingga Agustus 2001.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji cabai merah dan larutan garam jenuh. Cabai merah yang digunakan untuk diambil bijinya adalah cabai merah keriting yang diperoleh dari pasar induk Cimanggu Bogor. Biji cabai diperoleh dengan cara mengekstraksi biji secara manual dan bagian buah yang diambil bijinya adalah bagian tengah. Untuk penentuan isoterme adsorpsi biji cabai merah, maka biji cabai merah yang diperoleh dikeringkan secara kemoreaksi menggunakan kapur api (CaO), hingga diperoleh kadar air biji yang serendah-rendahnya, yaitu jika sudah tidak terjadi

perubahan berat biji. Pada penentuan isoterme desorpsi biji cabai merah, maka bahan yang digunakan adalah biji cabai merah yang masih basah.

Larutan garam jenuh yang digunakan adalah 15 jenis larutan garam jenuh dengan nilai RH dari 6,9%-97,0%. Bahan lainnya adalah kapur api (CaO) yang diperoleh dari Pabrik Kapur Djaya di Desa Cibadak, Kecamatan Ciampea, Kabupaten Bogor. Alat yang digunakan berupa lemari pengering, oven, desikator dan neraca analitik.

Penentuan isoterme sorpsi air (ISA) CaO dilakukan dengan jalan mengukur kadar air keseimbangan atau jumlah uap air yang diserap (adsorpsi) atau dilepaskan (desorpsi) oleh biji cabai merah pada berbagai tingkat nilai RH. Caranya biji cabai ditimbang sebanyak 2 gram sebagai berat awal, kemudian diletakkan pada cawan dan dimasukkan ke dalam desikator yang berisi larutan garam jenuh dengan berbagai tingkat RH.

Pengamatan dilakukan dengan cara menimbang bahan setiap hari yang dimulai dari hari ke-7 hingga diperoleh berat yang konstan. Kadar air bahan atau jumlah air yang diadsorpsi atau dilepaskan (desorpsi) oleh biji cabai diukur dengan menggunakan metode oven (AOAC, 1995).

Dari data hubungan antara berat air yang diadsorpsi terhadap RH dibuat kurva isoterme sorpsi air biji cabai merah, kemudian dihitung fraksi air ikatan primer, sekunder dan tersier.

Fraksi Air Ikatan Primer (AIP)

Fraksi air ikatan primer dari kapur api dihitung dengan menggunakan model Brunauer, Emmet, Teller (BET). Penggunaan model ini untuk menghitung fraksi air terikat primer, karena model ini merupakan model yang paling banyak digunakan dalam memberikan data yang tepat pada berbagai jenis bahan pangan pada kisaran a_w 0,05 sampai 0,45 (Rizvi, 1995). Modifikasi persamaan BET (Labuza, 1984) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{a_w}{(1-a_w)M} = \frac{1}{M_p c} + \frac{c-1}{M_p c} a_w$$

.....1)

Persamaan (1 ini dapat diubah menjadi :

$$Y = a + b a_w \quad \text{.....2)}$$

di mana:

$$y = \frac{a_w}{(1-a_w)M}$$

$$a = \frac{1}{M_p c} = \text{titik potong pada ordinat}$$

$$b = \frac{c-1}{M_p c} = \text{faktor kemiringan}$$

Fraksi Air Ikatan Skunder (AIS)

Fraksi ikatan skunder dapat dihitung dengan menggunakan model matematik empirik yang dikemukakan oleh Soekarto (1978) sebagai berikut :

$$\log (1-a_w) = b(M) + a \quad \text{..... 3)}$$

Fraksi Air Ikatan Tersier (AIT)

Fraksi air ikatan tersier merupakan nilai kadar air suatu bahan pada saat a_w bahan tersebut mencapai nilai 1. Nilai air ikatan tersier

biasanya ditentukan dengan cara ekstrapolasi atau menarik garis lurus dari kurva isotermi sorpsi air yang terbentuk sampai mencapai nilai $a_w = 1$.

Pada percobaan ini penentuan fraksi air ikatan tersier juga dicoba dilakukan dengan cara ekstrapolasi menggunakan persamaan polinomial, yaitu dengan cara membuat persamaan polinomial dari kurva sorpsi isotermi yang dihasilkan kemudian nilai fraksi air ikatan tersier dapat ditentukan dengan memasukkan nilai $a_w = 1$.

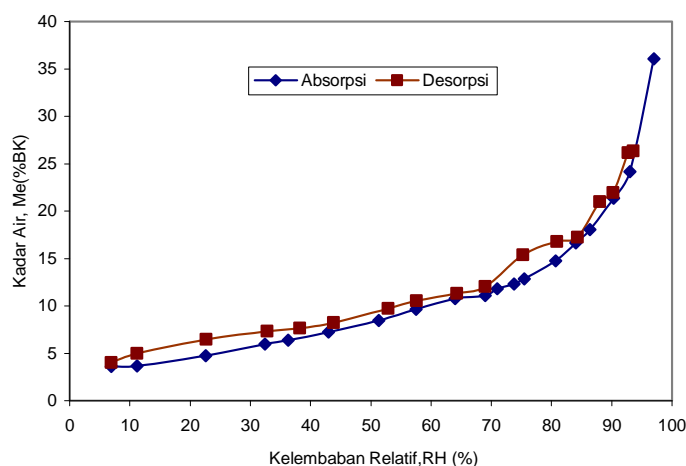
Hasil dan Pembahasan

1. Isotermi Sorpsi Air Benih Cabai Merah

Untuk mengetahui isotermi sorpsi air dari benih cabai merah maka dilakukan percobaan penentuan keseimbangan kadar air secara adsorpsi dan desorpsi, dengan cara memasukkan benih cabai merah dalam desikator yang mempunyai nilai RH tertentu, yaitu pada RH 11,2% hingga RH 97%. Penentuan isotermi sorpsi air dilakukan pada suhu 28°C. Pada proses adsorpsi, benih cabai yang digunakan adalah benih cabai hasil pengeringan kemoreaksi dengan kadar air awal 3%. Pada percobaan adsorpsi ini, semua benih cabai mengalami peningkatan berat, yang berarti benih menyerap air dari ruang penyimpanan dan mengalami adsorpsi.

Tabel 1. Kelembaban Relatif Larutan Garam Jenuh pada Suhu $\pm 28^\circ\text{C}$

Larutan Garam Jenuh	RH (%)	Larutan Garam Jenuh	RH (%)
NaOH	6.9	NaNO ₃	73.8
LiCl	11.2	NaCl	75.5
CH ₃ COOK	22.6	KBr	80.7
MgCl ₂	32.4	KCl	84.0
NaI	36.3	Na ₂ SO ₄	85.9
K ₂ CO ₃	43.0	K ₂ CrO ₄	86.4
Mg(NO ₃) ₂	51.3	BaCl ₂	90.3
NaBr	57.5	NH ₄ H ₂ PO ₄	92.7
NaNO ₂	64.0	KNO ₃	93.0
KI	69.0	K ₂ SO ₄	97.0
SrCl ₂	71.0		



Gambar 1. Kurva Adsorpsi dan Desorpsi Biji Cabai Merah pada Suhu 28^o C

Pada penentuan isoterme desorpsi benih cabai merah, maka bahan yang digunakan adalah bahan dengan kadar air yang sama atau lebih tinggi dari pada kadar air bahan pada RH tertinggi saat adsorpsi. Dalam hal ini benih cabai merah yang digunakan adalah benih cabai yang belum dikeringkan dengan kadar air awal 45%. Pada percobaan desorpsi ini, semua benih mengalami penurunan berat, yang berarti benih melepaskan air.

Dari pengukuran berat contoh benih cabai merah setelah penyeimbangan dengan berbagai tingkat RH, dilakukan perhitungan kadar air keseimbangan (M_e) dan kurva hubungan antara kadar air keseimbangan M_e (% b.k.) dengan a_w ditampilkan pada Gambar 1.

Kurva isoterme benih cabai merah utuh baik secara adsorpsi maupun desorpsi berbentuk sigmoid, sebagaimana yang umum terdapat pada bahan pangan termasuk benih. Bentuk sigmoid ini disebabkan oleh adanya efek-efek tambahan, yaitu efek dari hukum Raoult, efek kapilaritas dan interaksi molekul air dengan permukaan padatan bahan pangan (Labuza, 1984).

Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa kurva isoterme adsorpsi dan desorpsi benih cabai merah tidak berimpit, di mana kurva isoterme desorpsi lebih tinggi dari kurva isoterme adsorpsi. Hal ini menunjukkan terjadinya histeresis pada benih cabai merah. Histeresis pada biji cabai merah terjadi pada kisaran a_w yang lebar yaitu dari a_w 0,07 sampai a_w 0,97.

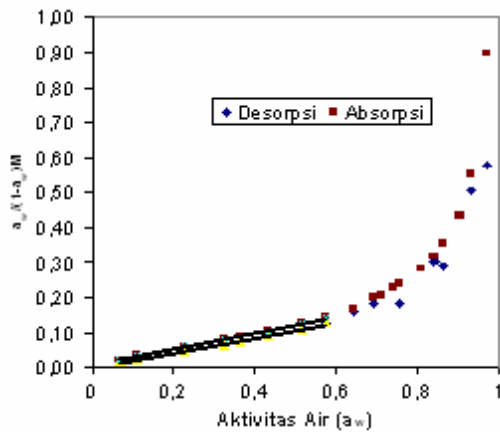
2. Analisis Air Ikatan Pada Biji Cabai Merah

Labuza (1968) dan Soekarto (1978) membagi kurva isoterme sorpsi air menjadi 3 bagian, yaitu daerah I : daerah air ikatan primer (monolayer). Daerah II : daerah air ikatan sekunder (multilayer) dan daerah III : daerah air ikatan tersier (menunjukkan air yang terkondensasi pada pori-pori bahan).

a. Air Ikatan Primer Biji Cabai Merah

Analisis air ikatan primer biji cabai merah dilakukan dengan menggunakan model BET (Branauer-Emmer-Teller) pada persamaan (1). Menurut Rizvi (1995), model ini merupakan model yang paling banyak digunakan untuk menentukan isoterme sorpsi air dalam bahan pangan dan memberikan data yang tepat pada berbagai jenis bahan pangan pada kisaran a_w 0,05-0,45. Model BET juga telah digunakan oleh beberapa peneliti untuk penentuan air terikat primer (Purwadaria and Heldman, 1980, Asikin, 1998).

Pada data adsorpsi dan desorpsi benih cabai merah utuh dilakukan perhitungan kapasitas air ikatan primer menggunakan 8 angka pengamatan di daerah kelembaban relatif, yaitu mulai RH 6,9 sampai RH 57,6% seperti terlihat pada Tabel 2, selanjutnya diplotkan pada grafik isoterme sorpsi BET seperti pada Gambar 2. Untuk mengetahui besarnya air terikat primer dilakukan perhitungan berdasarkan hasil analisis regresi antara a_w dengan $a_w/(1-a_w)m$.



Gambar 2. Plot isotermi BET dari kurva isotermi adsorpsi dan desorpsi biji cabai merah utuh

Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa kapasitas air ikatan primer biji cabai merah utuh adsorpsi sebesar 4,23% b.k. yang berkesetimbangan dengan a_0 0.16, dan kapasitas air ikatan primer biji cabai merah utuh desorpsi sebesar 4,68% b.k. yang berkesetimbangan dengan a_0 0,11. Dari hasil ini dapat dilihat bahwa air yang terikat pada permukaan biji cabai merah secara desorpsi lebih banyak daripada secara adsorpsi, meskipun aktivitas air desorpsinya lebih kecil daripada adsorpsi.

Tabel 2. Perhitungan Air Ikatan Primer Biji Cabai Merah Utuh dengan Model BET

	a_w	M(% b.k.)	$a_w/(1-a_w)M$	
	0.069	3.62	0.02	$r = 0.9982$
	0.112	3.68	0.03	$a = 0.0068$
	0.226	4.73	0.06	$b = 0.2297$
Adsorpsi	0.324	5.98	0.08	$c = 34.7794$
	0.363	6.39	0.09	$M_p = 4.23$
	0.430	7.23	0.10	$a_p = 0.16$
	0.513	8.48	0.12	
	0.575	9.64	0.14	
	0.069	4.03	0.02	$r = 0.9925$
	0.112	4.97	0.03	$a = 0.0001$
	0.226	6.47	0.05	$b = 0.2137$
Desorpsi	0.324	7.31	0.07	$c = -2136$
	0.363	7.64	0.08	$M_p = 4.68$
	0.430	8.24	0.09	$a_p = 0.11$
	0.513	9.75	0.12	
	0.575	10.54	0.13	

Tabel 3. Perhitungan Air Ikatan Sekunder Benih Cabai Merah dengan Model Analisis Logaritma

b. Air Ikatan Sekunder Biji Cabai Merah

Untuk menentukan kapasitas air ikatan sekunder pada benih cabai merah digunakan model analisis logaritma yang dikemukakan oleh Soekarto (1978) seperti pada persamaan 3, yaitu $\log(1-a_w) = b(M) + a$

Soekarto (1978) mengemukakan bahwa, dengan memplotkan data $\log(1-a_w)$ terhadap M maka akan dihasilkan garis lurus patah dua. Garis lurus pertama mewakili air terikat sekunder dan garis lurus kedua mewakili air terikat tersier. Persamaan kedua garis lurus ini ditentukan berdasarkan analisis regresi. Titik potong kedua garis tersebut merupakan peralihan dari air terikat sekunder ke air terikat tersier, sehingga disebut batas atas atau kapasitas air terikat sekunder.

Jika garis lurus pertama diwakili persamaan $\log(1-a_w) = b_1M + a_1$, dan garis lurus kedua diwakili persamaan : $\log(1-a_w) = b_2M + a_2$, maka pada titik potong berlaku rumus : $b_1M_s + a_1 = b_2M_s + a_2$, di mana M_s adalah kadar air pada titik potong yang merupakan kapasitas air ikatan sekunder.

a _w	1-a _w	log 1-a _w	M			
			Adsorpsi	Desorpsi	Adsorpsi	Desorpsi
0.069	0.931	-0.031	3.6156	4.0346	a ₁ = 0.224	a ₁ = 0.2321
0.112	0.888	-0.052	3.6840	4.9676	b ₁ = -0.0644	b ₁ = -0.0573
0.226	0.774	-0.111	4.7337	6.4654		
0.324	0.676	-0.170	5.9808	7.3143	a ₂ = -0.0073	a ₂ = 0.0553
0.363	0.637	-0.196	6.3915	7.6354	b ₂ = -0.0474	b ₂ = -0.0461
0.430	0.570	-0.244	7.2317	8.2411		
0.513	0.487	-0.312	8.4806	9.7473	M _s = 13.63%	M _s = 15.77
0.575	0.425	-0.372	9.6401	10.5437		
0.640	0.360	-0.444	10.7915	11.3035	a _s = 0.7789	a _s = 0.787
0.690	0.310	-0.509	11.0758	12.0579		
0.710	0.290	-0.537	11.8046	-		
0.738	0.262	-0.582	12.3210	-		
0.755	0.245	-0.611	12.8693	15.3625		
0.807	0.193	-0.714	14.7724	16.7858		
0.840	0.160	-0.796	16.6353	17.2286		
0.859	0.141	-0.851	18.0425	-		
0.864	0.136	-0.866	-	20.9798		
0.903	0.097	-1.013	21.3743	21.9308		
0.927	0.073	-1.137	-	26.1417		
0.930	0.070	-1.155	24.1659	26.3491		
0.970	0.030	-1.523	36.0592	55.8712		

Plot semilog (1-a_w) terhadap M dari biji cabai merah utuh dengan menggunakan seluruh data isotermi sorpsi menghasilkan garis lurus yang patah menjadi 2 garis lurus.

Pada biji cabai merah adsorpsi, dengan menggunakan 10 data pengukuran M dari 5.9808 sampai 12.8693 %b.k., diperoleh persamaan garis lurus pertama, yaitu : $\log(1-a_w) = 0,224 - 0,0644 M$, selanjutnya dengan menggunakan 6 data pengukuran dari 12.8693 sampai 24.1659 %b.k., diperoleh persamaan garis lurus kedua, yaitu : $\log(1-a_w) = -0,0073 - 0,0474 M$, dengan menggunakan persamaan untuk mencari titik potong dari dua persamaan, maka:

$0,224 - 0,0644M_s = -0,0073 - 0,0474 M_s$
 sehingga : $M_s = 0,2313/0,017 = 13,6\%$ b.k yang berkeselimbangan dengan nilai aktivitas air (a_s) = 0,778. Hasil perhitungan selengkapnya disajikan pada Tabel 3.

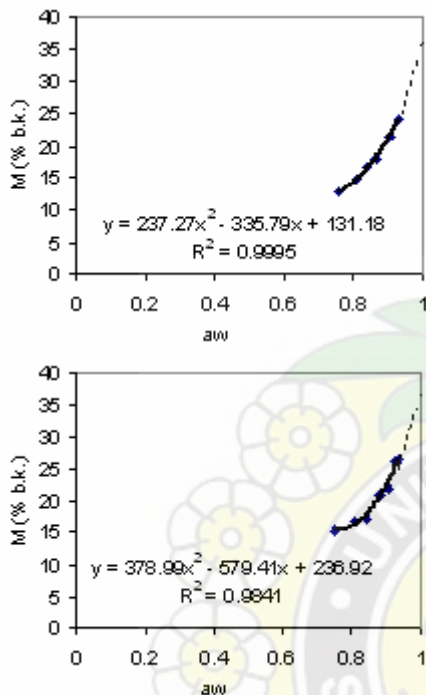
c. Air Ikatan Tersier Benih Cabai Merah

Daerah air ikatan tersier merupakan daerah yang menunjukkan fraksi air yang terikat lemah dan mempunyai sifat mendekati air bebas. Penentuan kapasitas air terikat tersier dapat dilakukan dengan 2 pendekatan, yaitu dengan cara ekstrapolasi secara manual dan ekstrapolasi dengan menggunakan model polinomial. Penentuan air ikatan tersier ini dilakukan pada nilai a_w diatas diatas nilai aktivitas air sekunder (a_s).

Penentuan kapasitas air ikatan tersier biji utuh cabai merah, dilakukan dengan menggunakan model polinomial Ordo 2 seperti disajikan pada Gambar 3. Data yang digunakan adalah data adsorpsi dan desorpsi biji utuh cabai merah dengan nilai a_w>0,8, yaitu pada daerah diatas kapasitas air ikatan sekunder. Nilai kapasitas air ikatan tersier diperoleh dengan cara memasukkan nilai a_w = 1, dan diperoleh kapasitas air ikatan tersier biji utuh secara adsorpsi sebesar 32,7% b.k. sedangkan secara desorpsi besarnya 36,5% b.k.

Pendekatan lain untuk menentukan kapasitas air ikatan tersier adalah dengan cara ekstrapolasi secara manual pada kurva isotermi

adsorpsi dan desorpsi benih cabai merah utuh yaitu kadar air bahan saat RH 100 atau $a_w = 1$. Berdasarkan hasil ekstrapolasi diperoleh kapasitas air ikatan tersier untuk benih cabai merah utuh secara adsorpsi adalah 33,0 % b.k. sedangkan secara desorpsi adalah 37,0 % b.k.



Gambar 3. Hubungan antara M (% b.k.) terhadap a_w dalam Bentuk Hubungan Polinomial Ordo 2 untuk Penentuan Air Ikatan Tersier Biji Utuh Cabai Merah

Berdasarkan nilai kapasitas air ikatan baik air ikatan primer, sekunder dan tersier, maka dapat ditentukan 3 batas daerah kurva isotermi sorpsi air (ISA) benih cabai merah seperti disajikan pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4, diketahui bahwa pada kurva isotermi a adsorpsi air benih cabai merah, daerah I dibatasi oleh M_p sebesar 4,23 %(bk) yang berkeselimbangan dengan $a_w = 0,11$, daerah II dibatasi oleh M_s sebesar 13,6%bk yang berkeselimbangan dengan $a_w = 0,78$ dan daerah III dibatasi oleh M_t sebesar 32,7%bk yang berkeselimbangan dengan $a_w = 1$. Hal yang sama dapat diperoleh untuk kurva isotermi desorpsi benih cabai merah.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Kurva isotermi sorpsi air benih cabai merah baik secara adsorpsi maupun desorpsi berbentuk sigmoid dan histeresis terjadi pada kisaran a_w 0,07-0,97.

Model BET dapat digunakan untuk penentuan kapasitas air ikatan primer, sedangkan kapasitas air ikatan sekunder dapat ditentukan dengan model analisis logaritmik Soekarto (1978), dan kapasitas air ikatan tersier ditentukan dengan metode regresi nonlinier (polinomial) atau metode ekstrapolasi grafik.

d. Fraksi Air Ikatan Benih Cabai Merah

Tabel 4. Fraksi Air Ikatan Primer, Sekunder, dan Tersier Benih Cabai Merah Secara Adsorpsi dan Desorpsi

	M_p	a_p	M_s	a_s	M_t	
					Polinomial Ordo 2	Metode Ekstrapolasi
Adsorpsi	4.23	0.16	13.6	0.78	32.7	33.0
Desorpsi	4.68	0.11	15.8	0.79	36.5	37.0

Keterangan : M_p = kapasitas air ikatan primer (% bk), M_s = kapasitas air ikatan sekunder (% bk), M_t = kapasitas air ikatan tersier (% bk), a_p dan a_s adalah aktivitas air yang berkeselimbangan dengan kapasitas air ikatan primer dan sekunder.

Saran

Untuk penyimpanan benih cabai merah dalam jangka panjang, maka kadar air benih

harus berkeselimbangan dengan RH udara ruang penyimpanan sehingga tidak terjadi perubahan kadar air selama penyimpanan yang

dapat menyebabkan terjadinya kerusakan benih.

Daftar Pustaka

- AOAC. 1995. Official of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. AOAC Inc, Arlington.
- Asikin, A.N. 1998. Kajian model pengeringan absorpsi fillet ikan lapis tipis menggunakan CaO sebagai absorben. Tesis Program Pascasarjana IPB.
- Kuprianoff, J. 1958. Bound water in fundamental aspect of dehydration of foodstuff. Soc.Am. Indttr. 14.
- Labuza, T.P. 1968. Sorption phenomena in food. Food Technol. 22 : 263-272.
- Labuza, T.P. 1984. Moisture sorption : Practical aspect of isotherm measurement and use. Am.Assoc.Cereal Chem., St.Paul Minnesota.
- Purwadaria, H.K. and D.R. Heldman. 1980. Computer simulation of vitamin degradation in a dry model food system during storage. J.Food Proc. Eng. 3(1) : 7-28.
- Rizvi. S.S.H. 1995. Thermodynamics Properties of Foods in Dehydration. In : Engineering Properties of Foods. M.A. Rao and S.S.H.Rizvi (eds). Marcel Dekker Inc., New York.
- Rockland, L.B. 1969. Water activity and storage stability. Food Technol. 23 : 11-18, 21.
- Soekarto, S.T. Pengukuran air ikatan dan peranannya pada pengawetan pangan. Bull. Perhimpunan Ahli Tekn. Pangan Indonesia 3 (3/4): 4-18.

