

Penelitian/Research

PENENTUAN PANAS LATEN PENGUAPAN BIJI LADA PUTIH DAN HITAM (*Piper nigrum L.*) UNTUK APLIKASI PENGERINGAN

*Prediction of Vaporization Latent Heat of White and Black Pepper Beans (*Piper nigrum L.*) for Drying Application*

Lamhot P. Manalu¹⁾ dan Rizal Alamsyah²⁾

¹⁾ Pusat Teknologi Agroindustri – BPPT, Jl. MH. Thamrin No. 8 Jakarta

²⁾ Balai Besar Industri Agro Bogor, Jl. Ir. H. Juanda No. 11, Bogor

Alamat korespondensi : lpmanalu@yahoo.com dan rizalams@yahoo.com

ABSTRACT *In most drying applications the latent heat is determined by considering the evaporation of free water as given in the steam tables. The use of these data for latent heat, especially with crops at a low moisture content, presents considerable error. The equilibrium moisture data may be used as a basis for determining the latent heat. Experiment was carried out by drying pepper beans to remove its moisture at some temperature levels (35, 45, 55 and 65 °C) and humidity levels (20, 32, 43, 54 and 64%). This paper presents the latent heat of vaporization for white pepper beans that was determined from equilibrium moisture data. The Henderson and Chung-Pfost equations are used to represent the desorption isotherms of white pepper beans in the temperature range investigated. The Chung-Pfost equation is the best fit to represent the desorption isotherms white pepper. The result show that the latent heat of vaporization for white pepper is 1.0013-1.0294 times the latent heat of free water, that is 2350.6-2488.2 kJ/kg while for black pepper are 1.0084-1.0900 and 2367.7-2631.2 kJ/kg.*

Keywords : latent heat, white pepper, black pepper, sorption isotherm, equilibrium moisture content, vaporization

PENDAHULUAN

Lada (*Piper nigrum L.*) merupakan satu dari tanaman rempah-rempah yang sudah dikenal sejak empat abad yang lalu. Lada termasuk famili *Piperaceae* yang merupakan tanaman merambat, digunakan sebagai bahan rempah, bumbu dapur, bahan obat, minyak dan lain-lain. Tanaman ini menghendaki iklim yang panas dengan curah hujan yang merata sepanjang tahun dengan suhu lingkungan 23 – 30 °C dan ketinggian 500 meter diatas permukaan laut (Rismunandar, 1987). Pengolahan lada putih dilakukan dengan tahapan: perontokan, perendaman, pengupasan, pencucian dan pengeringan, sedangkan lada hitam tanpa perendaman dan pengupasan.

Panas laten penguapan didefinisikan sebagai energi panas yang dibutuhkan untuk menguapkan satu satuan masa air pada tekanan konstan. Dalam perhitungan proses pengeringan, nilai panas laten biasanya ditentukan dengan menggunakan angka panas

penguapan air bebas yang diperoleh dari tabel uap. Penggunaan cara ini terutama untuk hasil pertanian seperti biji-bijian dapat mengakibatkan kesalahan perhitungan karena panas laten biji-bijian lebih tinggi dari air bebas.

Pengetahuan tentang panas laten penguapan sangat berguna dalam melakukan simulasi model dan perhitungan teknik dalam merancang proses dan peralatan yang menyangkut perpindahan masa uap air seperti pengeringan dan penyimpanan bahan, terutama bagi produk-produk pertanian yang umumnya memiliki kadar air yang relatif tinggi (Wang and Brennan, 1995; Pedro *et al*, 2002; Manalu dan Kamaruddin, 2001).

Panas laten penguapan produk pertanian dipengaruhi oleh suhu dan kadar air. Selama proses penguapan, kadar air dan suhu bahan akan berubah sehingga diperlukan suatu cara untuk menentukan nilai panas laten produk pada berbagai suhu dan kadar air. Metode yang sederhana dan cukup akurat telah diajukan oleh Othmer dalam Chen (2006); Aviara *et al*.

(2004); Hall (1957) yang didasarkan pada persamaan Clausius-Clapeyron. Persamaan tersebut kemudian dikembangkan untuk mendapatkan hubungan tekanan uap dan panas laten dari dua bahan pada suhu yang sama yaitu bahan atau produk pertanian dan uap air.

Perhitungan sifat panas laten penguapan dan pengkajian *sorpsi isothermis* sudah dilakukan oleh sejumlah peneliti untuk komoditi jagung, kedelai, kakao, kentang dan beberapa jenis sayuran. (Manalu, 2006; Aviara *et al.*, 2004; Fasina, 2006; Kaleemullah and Kailappan, 2004; Kiranoudis *et al.*, 1993 dan Mohsenin, 1980). Untuk komoditi jagung pada suhu 35 hingga 50 °C panas laten penguapannya bervariasi antara 2421.3 - 2627.7 kJ/kg, untuk kakao 2467.9-2841.8 kJ/kg, kentang 111 Btu/lb pada kadar air 77.8% .

Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung dan menyajikan perhitungan panas laten penguapan biji lada putih dan lada hitam berdasarkan metode Othmer dengan memakai model persamaan kadar air keseimbangan atau kurva desorpsi isothermis.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Penelitian dilakukan di Laboratorium Pusat Penelitian Pengolahan Hasil Pertanian (PPLHP), IPB Darmaga Bogor. Bahan yang digunakan terdiri dari biji lada (lokal Bangka-Belitung), sedangkan bahan kimia yang digunakan adalah larutan garam jenuh CH_3COOH , MgCl_2 , K_2CO_3 , NaBr , dan CaCl_2 . Larutan garam jenuh tersebut digunakan untuk mengendalikan kelembaban relatif, sedangkan temperatur diatur dengan menggunakan inkubator.

Peralatan yang digunakan terdiri dari oven, timbangan analitik, desikator, dan cawan. Sampel biji lada diletakkan dalam desikator yang sudah tertentu kelembabannya dan kemudian dikeringkan secara statis dalam inkubator sampai tercapai kadar air keseimbangan. Data yang diamati adalah perubahan bobot sampel hingga tercapai keadaan dimana tekanan uap bahan seimbang dengan lingkungannya. Kelembaban nisbi (RH) dan suhu selama pengeringan dijaga tetap konstan, selang suhu dan RH pada penelitian ini masing-masing adalah 40 - 50° C dan 20 - 64 % (Sukardi, 1989).

Metode

Penentuan Model Persamaan Kadar Air Keseimbangan

Penentuan model persamaan kadar air keseimbangan didapatkan dari regresi data yang menggambarkan hubungan antara suhu, kelembaban dan kadar air keseimbangan lada, sedangkan kadar air bahan diukur dengan metode oven yaitu bahan dikeringkan dalam oven pada suhu 103 °C selama 72 jam (ASAE, 1994; Henderson dan Perry, 1976).

Kadar air keseimbangan didefinisikan sebagai nilai kandungan air bahan pada saat tekanan uap air di permukaan bahan seimbang dengan tekanan uap air lingkungannya (Hall, 1957). Konsep kadar air keseimbangan ini penting dalam mempelajari proses pengeringan karena akan menentukan kadar air minimum yang dapat dicapai pada kondisi pengeringan tertentu (Brooker *et al.*, 1974).

Jika tekanan uap air di permukaan bahan lebih besar dari udara sekitar akan terjadi pelepasan air dari bahan ke udara (proses desorpsi), sedangkan pada keadaan sebaliknya terjadi penyerapan air oleh bahan (proses adsorpsi). Brooker *et al.* (1974) menyebutkan bahwa dalam kondisi seimbang laju desorpsi sama dengan adsorpsi. Kondisi keseimbangan ini spesifik untuk setiap jenis bahan pada kelembaban nisbi dan suhu tertentu.

Penelitian terdahulu memperlihatkan hubungan antara kadar air keseimbangan terhadap suhu dan kelembaban nisbi (RH) seperti yang dilakukan oleh Henderson, Chung-Pfost, Gustafson dan Hall (Brooker *et al.*, 1974). Pada umumnya hubungan tersebut dinyatakan dalam bentuk persamaan matematis yang mempunyai nilai konstanta yang spesifik untuk setiap komoditi (Hall, 1957; Henderson dan Perry, 1976; Brooker *et al.*, 1991).

Persamaan desorpsi isothermis yang akan dipakai untuk meregresi data yang didapatkan adalah model persamaan Henderson dan Chung-Pfost. Persamaan-persamaan tersebut menggambarkan hubungan antara kelembaban nisbi (RH) dengan kadar air keseimbangan (Me) dan suhu (T). Model persamaan tersebut berturut-turut adalah (Hall, 1957; Henderson and Perry, 1976; Brooker *et al.*, 1974) :

$$1 - RH = \exp(-C T Me^n) \quad (1)$$

$$RH = \exp[-C1/RT \exp(-C2 Me)] \quad (2)$$

Keterangan :

C, C₁, dan C₂ : konstanta ($7,13 \times 10^{-7}$ s/d 1.10×10^{-5} tergantung jenis komoditi pertanian)

n : konstanta (0,56 s/d 3,03, tergantung jenis komoditas pertanian)

R : konstanta gas yang besarnya $8.31 \times 10^3 \text{ JK}^{-1} \text{ kmol}^{-1}$

T : suhu sekitar bahan ($^{\circ}\text{K}$)

RH : kelembaban relatif udara sekitar bahan (%)

Konstanta-konstanta persamaan tersebut dapat ditentukan dengan meregresi data pengeringan menggunakan metode kuadrat terkecil (*least square method*). Persamaan yang mempunyai korelasi tertinggi (*best fitted*) selanjutnya akan dipakai dalam penentuan dan pembuatan model persamaan panas laten lada.

Penentuan Panas Laten

Panas laten penguapan air dari dalam suatu bahan tidak tepat bila ditentukan langsung dari tabel uap. Oleh karena itu penentuan panas laten penguapan untuk hasil pertanian seperti biji lada didasarkan pada persamaan Clausius-Clapeyron (Hall, 1957; Chen, 2006) sebagai berikut :

$$\frac{dP}{dT} = \frac{Hfg}{(V - v)T} \quad (3)$$

dimana V dan v adalah volume molar spesifik uap jenuh dan cairan jenuh, Hfg adalah panas laten penguapan, sedangkan P dan T adalah tekanan dan suhu.

Persamaan (3) dapat dikembangkan menjadi suatu persamaan yang menggambarkan hubungan tekanan uap air dan panas laten dari dua bahan pada kondisi suhu yang sama, dalam hal ini adalah lada putih dan air bebas (*free water*), yaitu :

$$\frac{Hfg}{Hfgs} = \frac{\ln(pv_2) - \ln(pv_1)}{\ln(ps_2) - \ln(ps_1)} \quad (4)$$

Hfg dan $Hfgs$ masing-masing adalah panas laten bahan dan air bebas. Tekanan uap air bebas pada dua tingkat suhu (ps_2 , ps_1) ditentukan dari Tabel Uap (Anonim, 1981), sedangkan tekanan uap air lada putih (pv_1 dan pv_2) ditentukan dengan persamaan (5) dimana

RH keseimbangan ditentukan dengan persamaan *desorpsi* (1) atau (2).

$$pv = ps \times RH \quad (5)$$

Rasio $Hfg/Hfgs$ pada persamaan (4) dapat ditentukan dengan persamaan (5) dan nilai pv serta ps yang sudah diketahui dari tabel uap. Untuk mendapatkan panas laten lada putih (Hfg), rasio tersebut dikalikan dengan panas laten air bebas ($Hfgs$) dimana nilainya ditentukan dengan persamaan panas laten air bebas (ASAE, 1994) sebagai berikut :

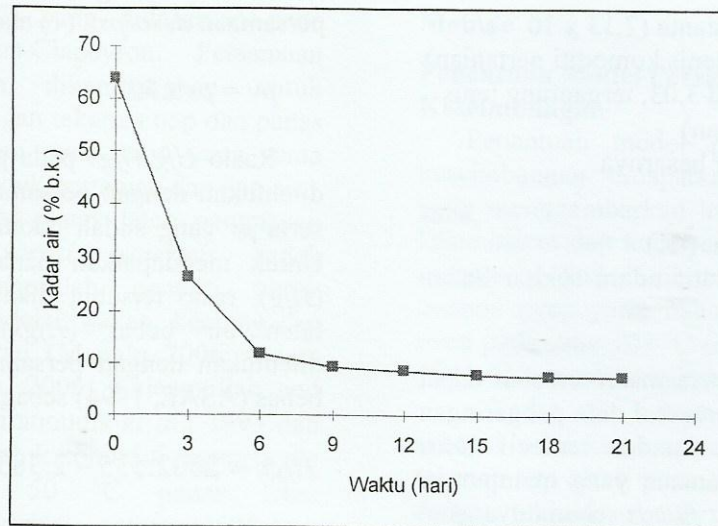
$$Hfgs = 2502.535 - 2.385(T - 273) \quad (6)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

1) Kadar Air

Perubahan kadar air bahan merupakan parameter yang digunakan dalam percobaan pengeringan. Perubahan ini dilakukan dengan pengamatan terhadap bobot sampel yang diplot sebagai kurva kadar air terhadap waktu (Gambar 1). Pada saat awal pengeringan terlihat kadar air bahan turun dengan cepat yang kemudian melambat menuju ke kadar air keseimbangannya. Hal ini dapat dijelaskan dengan teori keseimbangan tekanan uap bahan terhadap lingkungannya. Bila tekanan uap bahan lebih tinggi daripada tekanan uap lingkungannya maka air di dalam bahan akan bergerak keluar menuju lingkungan, besarnya aliran sebanding dengan selisih tekanan uap (Hall, 1957; Brooker, 1974).

Laju penguapan akan semakin melambat karena kadar air bahan semakin kecil sehingga selisih tekanan uap juga semakin mengecil. Akhirnya tekanan uap air bahan akan sama dengan tekanan uap lingkungannya dan dikatakan bahwa bahan mencapai kadar air keseimbangannya. Kadar air keseimbangan merupakan fungsi dari suhu dan kelembaban nisbi. Pada kondisi suhu tetap, kadar air keseimbangan berbanding lurus dengan RH, sedangkan pada RH tetap kadar air keseimbangan berbanding terbalik dengan suhu.



Gambar 1. Plot kadar air lada putih terhadap waktu (suhu 50 °C, RH 43%)

2) Kadar Air Keseimbangan

Data pengukuran kadar air keseimbangan biji lada putih dan lada hitam tercantum pada Tabel 1 dan 2 sedangkan kurva *sorpsi*

isotermisnya diplot pada Gambar 2 dan 3. Secara umum kadar air keseimbangan lada putih lebih tinggi daripada kadar air keseimbangan lada hitam.

Tabel 1. Kadar air keseimbangan (% bk.) biji lada putih dan hitam

RH (%)	Lada putih			Lada hitam		
	40 °C	45 °C	50 °C	40 °C	45 °C	50 °C
20	5.648	5.089	3.818	4.916	4.432	3.756
32	7.557	7.295	5.257	6.096	5.548	4.732
43	9.755	9.003	6.793	7.141	7.425	5.878
54	10.665	9.798	7.777	11.493	9.874	7.280
64	13.561	12.453	11.064	14.091	12.644	8.782

Dari Tabel 1 di atas terlihat bahwa nilai kadar air keseimbangan (M_e) biji lada semakin tinggi dengan meningkatnya RH dan sebaliknya M_e semakin rendah dengan meningkatnya suhu. Secara matematis dikatakan nilai M_e berbanding lurus dengan RH dan berbanding terbalik dengan suhu. Dari data pada Tabel 1 selanjutnya dihitung konstanta-konstanta persamaan (1) dan (2) dengan memakai metode kuadrat terkecil, kemudian didapatkan model persamaan kadar air keseimbangan lada putih (model Henderson dan Chung-Pfost) berturut-turut :

$$1 - RH = \exp(-1.0246 \times 10^{-4} T M_e^{1.2869}) \quad (7)$$

$$\ln(RH) = \frac{-2.313 \times 10^7}{RT} \exp(-0.1236 M_e) \quad (8)$$

sedangkan untuk lada hitam didapatkan model persamaan kadar air keseimbangan menurut model Henderson dan Chung-Pfost berturut-turut adalah:

$$1 - RH = \exp(-1.3817 \times 10^{-4} T M_e^{1.2661}) \quad (9)$$

$$\ln(RH) = \frac{-6.117 \times 10^6}{RT} \exp(-0.0940 M_e) \quad (10)$$

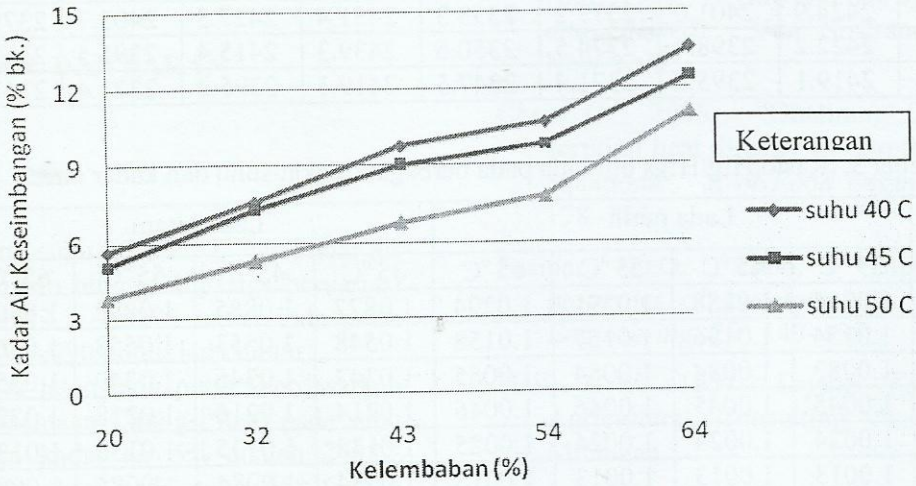
3) Panas Laten

Dengan diketahuinya konstanta persamaan (1) dan (2) maka dapat ditentukan M_e bila RH dan T diketahui, atau menghitung nilai RH bila nilai kadar air dan T diberikan. Secara umum model persamaan Henderson dan Chung Pfost telah dapat menjelaskan hubungan antara M_e ,

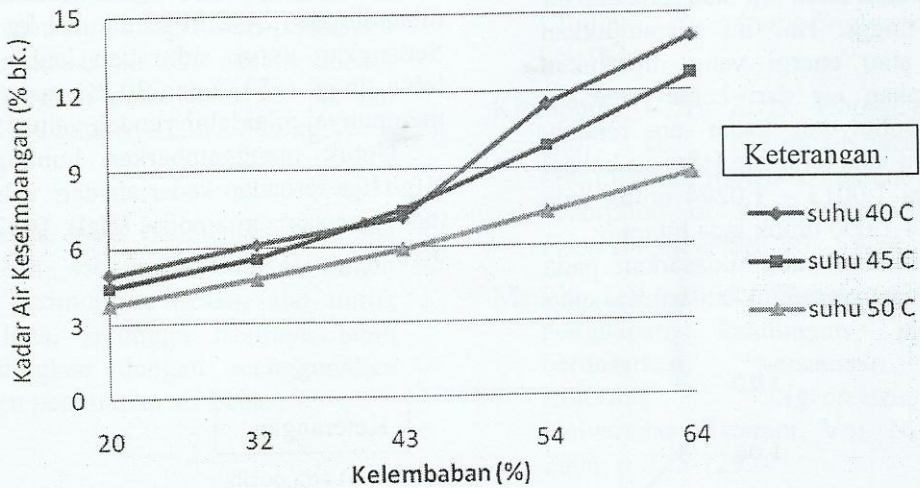
RH dan suhu dengan baik, tetapi model Chung-Pfost cenderung lebih mewakili data percobaan (nilai korelasi (R^2) lebih tinggi) dibandingkan dengan model Henderson.

Selanjutnya perhitungan panas laten lada putih didasarkan pada model persamaan

desorpsi Chung-Pfost. Hasil perhitungan untuk selang kadar air 5 – 30 % dan selang suhu 35 - 65° C disajikan pada Tabel 2, sedangkan rasio panas laten biji lada terhadap panas laten air bebas disajikan pada Tabel 3.



Gambar 2. Kurva desorpsi isoteremis biji lada putih



Gambar 3. Kurva desorpsi isoteremis biji lada hitam

Tabel 2. Panas laten penguapan biji lada (kJ/kg) pada berbagai suhu dan kadar air.

Kadar air (%)	Lada putih				Lada hitam			
	35 °C	45 °C	55 °C	65 °C	35 °C	45 °C	55 °C	65 °C
5	2488.2	2464.3	2440.4	2416.4	2631.2	2607.1	2583.0	2558.8
10	2456.3	2432.5	2408.6	2384.7	2551.6	2527.7	2503.6	2479.6
15	2439.2	2415.3	2391.4	2367.5	2501.9	2478.0	2454.0	2430.1
20	2429.9	2406.0	2382.2	2358.3	2470.9	2446.9	2423.0	2399.1
25	2424.9	2401.0	2377.2	2353.3	2451.4	2427.5	2403.7	2379.8
30	2422.2	2398.4	2374.5	2350.6	2439.3	2415.4	2391.5	2367.7
Air bebas	2419.1	2395.2	2371.4	2347.5	2419.1	2395.2	2371.4	2347.5

Tabel 3. Rasio Hfg/Hfgs biji lada pada berbagai tingkat suhu dan kadar air.

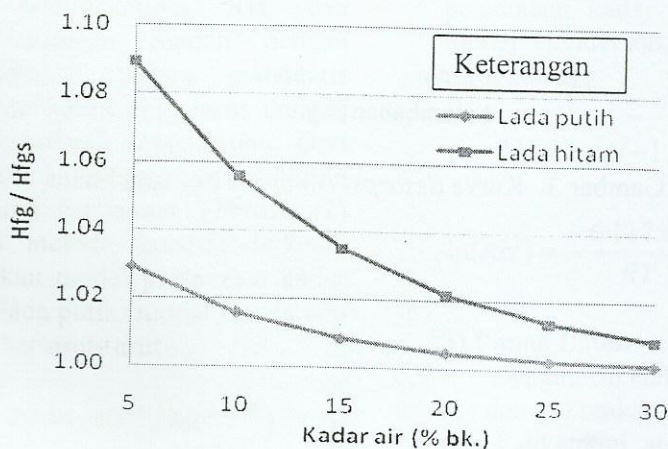
Kadar air (%)	Lada putih				Lada hitam			
	35 °C	45 °C	55 °C	65 °C	35 °C	45 °C	55 °C	65 °C
5	1.0286	1.0288	1.0291	1.0294	1.0877	1.0885	1.0892	1.0900
10	1.0154	1.0156	1.0157	1.0158	1.0548	1.0553	1.0558	1.0563
15	1.0083	1.0084	1.0084	1.0085	1.0343	1.0346	1.0349	1.0352
20	1.0045	1.0045	1.0046	1.0046	1.0214	1.0216	1.0218	1.0220
25	1.0024	1.0024	1.0024	1.0025	1.0134	1.0135	1.0136	1.0137
30	1.0013	1.0013	1.0013	1.0013	1.0084	1.0084	1.0085	1.0086

Hubungan rasio Hfg/Hfgs terhadap kadar air berdasarkan persamaan Chung-Pfost terlihat pada Gambar 4. Dari gambar tersebut terlihat bahwa semakin rendah suhu dan kadar air maka rasio panas laten biji lada terhadap air bebas makin tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa panas atau energi yang diperlukan untuk menguapkan air dari bahan semakin banyak pada suhu dan kadar air rendah, rasionya (hfg biji lada terhadap Hfgs air bebas) bervariasi antara 1.0013 – 1.0294 untuk lada putih dan 1.0084-1.090 untuk lada hitam.

Hasil pengukuran yang didasarkan pada model Chung-Pfost menunjukkan bahwa suhu

35° C dan kadar air 5 % diperlukan energi untuk penguapan air dalam lada putih 1.0286 kali lebih besar dari air bebas. Atau, pada kondisi tersebut diperlukan energi 2488.2 kJ untuk menguapkan 1 kg air dari lada putih dibandingkan 2442.91 kJ untuk 1 kg air bebas. Sedangkan untuk suhu dan kadar air yang lebih tinggi (65° C dan 30 %) rasio Hfg/Hfgs mempunyai nilai lebih rendah yaitu 1.0013.

Untuk menggambarkan hubungan rasio Hfg/Hfgs terhadap kadar air dan suhu dipakai model persamaan empiris (Hall, 1957) sebagai berikut :



Gambar 4. Rasio Hfg/Hfgs terhadap kadar air biji lada hitam dan lada putih pada 55 °C

$$H_{fg}/H_{fgs} = 1 + a \exp(-b TM) \quad (11)$$

Dimana nilai konstanta a dan b dari persamaan diatas masing-masing adalah 0.04062 dan 0.1507 ($R^2 = 0.97$; $SD = 0.00579$) untuk lada putih dan 0.1005 dan 0.0015 ($R^2 = 0.78$; $SD = 0.3890$).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Pada selang suhu 35 - 65° C dan kadar air 5 - 30% rasio hitung H_{fg}/H_{fgs} bervariasi antara 1.0013 - 1.0294 untuk lada putih dan 1.0084-1.090 untuk lada hitam.
2. Nilai panas laten lada putih (berdasarkan model persamaan Chung-Pfost) pada suhu 35° C dan kadar air 5% adalah 2488.2 kJ/kg, sedangkan pada suhu 65° C dan kadar air 30% besarnya 2350.6 kJ/kg. Pada kondisi suhu tersebut panas laten air bebas masing-masing adalah 2419.1 kJ/kg dan 2347.5 kJ/kg.
3. Nilai panas laten lada hitam (berdasarkan model persamaan Chung-Pfost) pada suhu 35° C dan kadar air 5% adalah 2631.2 kJ/kg, sedangkan pada suhu 65° C dan kadar air 30% besarnya 2367.7 kJ/kg.

Saran

Nilai panas laten penguapan biji lada yang didapatkan sebaiknya dipakai dalam simulasi dan perhitungan desain alat untuk pengeringan lada, sehingga hasilnya lebih akurat dibandingkan dengan menggunakan nilai panas laten penguapan air bebas.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1981. *JSME Steam Tables*, 4th Edition. The Japan Society of Mechanical Engineers (JSME), Tokyo, Japan.
- ASAE. 1994. *ASAE Standards 1994*, 41th Edition. ASAE, St. Joseph, Michigan.
- Aviara, N.A., O.O. Ajibola and S.A. Oni. 2004. "Sorpton equilibrium and thermo dynamic characteristics of Soya Bean". *Biosystems Engineering*, 87 (2): 179-190.
- Brooker, D.B., F.W. Bakker-Arkema and C.W. Hall. 1974. *Drying Cereal Grains*. The AVI Pub. Co., Inc., Westport, Connecticut.
- Brooker, D.B., F.W. Bakker-Arkema and C.W. Hall. 1991. *Drying and Storage of Grains and Oilseeds*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Chen, C. 2006. "Obtaining the isosteric sorption heat directly by sorption isotherm equations". *J. of Food Engineering*, 74 : 178-185.
- Fasina, O.O. 2006. "Thermodynamic properties of sweetpotato". *J. of Food Engineering*, 75 : 149-155.
- Hall, C.W. 1957. *Drying Farm Crops*. Agricultural Consulting Associate Inc., Michigan.
- Henderson, B.M. and R.L. Perry. 1976. *Agricultural Process Engineering*. The AVI Pub. Co. Inc., Westport, Connecticut.
- Kaleemullah, S. and R. Kailappan. 2004. "Moisture Sorption Isotherms of Red Chillies". *Biosystems Engineering* 88 (1), 95-104.
- Kiranoudis, C.,T., Z. B. Maroulis, E. Tsami and D. Marinos-Kouris. 1993. "Equilibrium moisture content and heat of desorption of some vegetables". *J. of Food Engineering*, 20 : 55-74.
- Manalu, L.P. 2006. "Penentuan panas laten penguapan kandungan air jagung berdasarkan persamaan desorpsi isoteremis". *Agroteksos*, Faperta Universitas Mataram, Vol. 16 No. 2 Juli 2006, p. 125-129.
- Manalu, L.P. dan Kamaruddin Abdullah. 2001. "Model Simulasi Proses Pengeringan Kakao Memakai Pengering Surya Tipe Efek Rumah Kaca". *Buletin Keteknikan Pertanian*, Fakultas Teknologi Pertanian IPB Bogor, Vol. 15, No. 3 Desember 2001, p. 154-166.
- Mohsenin, N.N. 1980. *Thermal Properties of Food and Agricultural Materials*. Gordon and Breach Science Pub., New York.

- Pedro D. Silva, L. C. Gonçalves and L. Pires. 2002. "Transient behaviour of a latent-heat thermal-energy store: numerical and experimental studies". *Applied Energy*, Vol. 73, Issue 1, September 2002, p. 83-98.
- Rismunandar. 1987. *Lada Budidaya dan Tataniaganya*. Penebar Swadaya, Jakarta
- Sukardi, T. 1989. *Model Persamaan Kadar Air Keseimbangan Desorpsi Lada (Piper nigrum L.)*. Skripsi. IPB, Bogor.
- Wang, N. and J. G. Brennan. 1995. "A mathematical model of simultaneous heat and moisture transfer during drying of potato". *J. of Food Engineering*, Vol. 24, Issue 1, 1995, p. 47-60.