

IDENTIFIKASI SIFAT-SIFAT HANTARAN PANAS PADA LADA

Agus Supriatna Somantri¹⁾, Sri Yuliani¹⁾ dan Armansyah H. Tambunan²⁾

¹⁾Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat

²⁾Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

ABSTRAK

Parameter-parameter penting pada proses yang menggunakan panas, seperti pengeringan, pasteurisasi, dan sterilisasi produk adalah sifat-sifat panasnya, mencakup kapasitas panas spesifik (C_p), difusivitas panas (α), konduktivitas panas (k), dan sebagainya. Data-data dasar ini sangat terbatas ketersediaannya, khususnya bagi komoditas rempah dan obat Indonesia. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya pada rekayasa proses lada sangat tergantung pada data dasar dan sifat bahan tersebut seperti sifat-sifat panas yang tergantung pada spesifikasi produk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kapasitas panas spesifik lada varietas Belantung (metoda Charm) adalah $1.6063 \text{ kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$, sedangkan difusivitas panasnya adalah $0.1242 \text{ m}^2/\text{s}$ dan konduktivitas panasnya dari pengukuran langsung (dengan Kemtherm QTM-D3) adalah $0.1282 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ dan dengan pengukuran tidak langsung adalah $0.1171 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. Tingkat ketepatan kedua nilai tersebut adalah 90.52%.

ABSTRACT

The most important parameters in the application of heat, such as drying, pasteurization and sterilization of the product are thermal properties including specific heat capacity (C_p), thermal diffusivity (α), thermal conductivity (k), etc. These fundamental data are very limited currently, especially for Indonesian spices and medicinal crop products. The advancement of science and technology especially in the process engineering of pepper is very dependent on fundamental data and their characteristics according to specification of the product. The experiment showed that

specific heat capacity of Belantung pepper (Charm method) was $1.6063 \text{ kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$, while thermal diffusivity $0.1242 \text{ m}^2/\text{s}$ and thermal conductivity from direct measurement (by Kemtherm QTM-D3) was $0.1282 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ and indirect measurement (prediction) was $0.1171 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. The accuracy level of both such values was 90.52%.

Keywords : Thermal properties, thermal diffusivity, thermal conductivity, specific heat capacity, pepper.

PENDAHULUAN

Lada (*Piper nigrum* L.) merupakan salah satu komoditas andalan penghasil devisa terbesar dalam kelompok rempah-rempah dan penghasil devisa ke lima setelah karet, teh, kelapa sawit dan kopi. Ekspor lada tahun 1996 sebesar 3.400 ton dengan nilai US \$ 98.988.000. Nilai tersebut merupakan nilai tertinggi diantara negara-negara penghasil lada lainnya seperti India (US \$ 77.420.000), Malaysia (US \$ 39.271.000) dan Brazil (US \$ 36.564.000) (IPC, 1997). Sedangkan pada tahun 1998 ekspor lada meningkat menjadi 38.727 ton atau senilai US \$ 188.919.000 (Ditjenbun, 1999). Komoditas tersebut diekspor dalam bentuk lada putih dan lada hitam. Dalam perdagangan internasional lada putih dikenal dengan Muntok white pepper, sedangkan lada hitam dikenal dengan sebutan

Lampung black pepper (Nurdjannah, dkk., 2000).

Pengeringan merupakan salah satu tahap penting dalam rangkaian proses pengolahan yang dapat mempengaruhi mutu produk yang dihasilkan. Proses pengeringan merupakan proses termal yang seringkali dilakukan di daerah produsen. Tujuan utama dari proses pengolahan ini adalah untuk menciptakan kondisi produk agar nantinya dapat disimpan dalam waktu yang lama baik untuk tujuan konsumsi, produksi maupun perdagangan. Tanpa proses pengeringan, dapat dipastikan bahwa produk pertanian tersebut mudah sekali busuk, berjamur dan berkecambah, mengingat negara Indonesia sepanjang tahunnya berada pada suhu dan kelembaban udara yang cocok bagi kehidupan jasad renik atau serangga yang merusak.

Penerapan sistem optimasi dan simulasi sistem termal pada lada seperti rancang bangun peralatan pengeringan yang bertujuan untuk menekan biaya konstruksi alat dan mendapatkan cara operasi sistem yang diinginkan, mutlak memerlukan parameter-parameter teknik sebagai data dasar yang merupakan sifat intrinsik dari bahan hasil pertanian yang disebut dengan sifat termofisik. Sifat ini meliputi sifat termal dan sifat fisik dari bahan pertanian (Kamaruddin, dkk., 1998). Sifat termal meliputi sifat bahan yang mencirikan reaksinya terhadap perlakuan pertukaran panas, seperti panas jenis atau kapasitas panas spesifik (C_p), panas laten (ΔH_{fg}),

koefisien konduksi (k) dan difusivitas panas (α).

Salah satu sifat termal yang cukup penting dan dibutuhkan dalam proses pengeringan komoditas pertanian adalah difusivitas panas, karena sifat ini erat kaitannya dengan kemampuan penetrasi atau disipasi panas dari bahan. Kamaruddin dan Sagara (1992) menyebutkan bahwa nilai difusivitas panas komoditas pertanian dapat digunakan untuk menduga laju perubahan suhu bahan sehingga dapat ditentukan waktu optimum untuk proses pengolahannya, seperti pada pengeringan dan pendinginan.

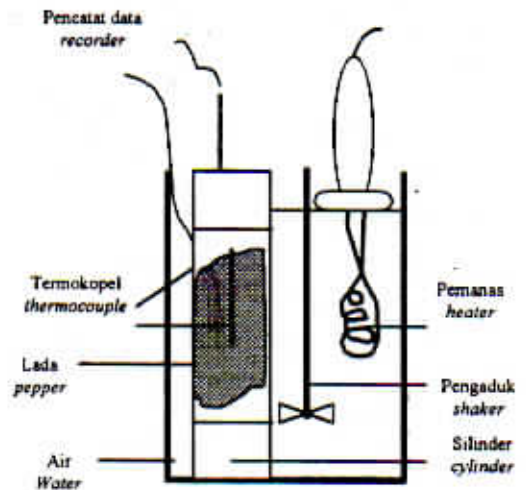
Walaupun banyak penelitian yang dilaporkan oleh berbagai peneliti, tetapi masih belum ada kesepakatan atau metode baku dalam menentukan nilai difusivitas panas ini. Data mengenai sifat termal khususnya difusivitas panas pada komoditas rempah-rempah belum banyak diteliti, padahal data mengenai difusivitas ini akan banyak membantu dalam pengembangan sistem pengolahan dan perekayasaan alatnya.

Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari sifat hantaran panas pada lada dengan menentukan nilai difusivitas panas (α), nilai konduktivitas panas (k), dan nilai panas jenis bahan (C_p). Selanjutnya data-data sifat panas ini dapat dipergunakan sebagai parameter dalam merancang bangun system peralatan pasca panen, seperti alat pengering maupun dalam rekayasa proses.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pengolahan Hasil dan Keteknikan, Balitro dan di Laboratorium Pindah Panas dan Pindah Massa, Institut Pertanian Bogor. Dalam penelitian ini bahan yang digunakan berupa buah lada segar matang varietas Belantung sebagai bahan pembuatan lada putih, yang diperoleh dari kebun percobaan Sukamulya, Sukabumi.

Pengukuran nilai kapasitas panas spesifik menggunakan metoda Charm, sedangkan pengukuran difusivitas panas dilakukan secara langsung dengan menggunakan peralatan yang telah dirancang seperti pada Gambar 1. Peralatan ini berupa tabung yang diisi dengan lada kemudian tabung tersebut direndam dalam air yang suhunya tetap, yaitu 80°C. Sebaran suhu pada bahan akibat adanya rambatan panas ke arah radial diukur selama waktu tertentu. Pengukuran nilai konduktivitas panas dilakukan secara tidak langsung, yaitu dengan perhitungan dari data-data kapasitas panas spesifik bahan, densitas dan nilai difusivitas panas yang telah diperoleh. Sebagai pembandingan dilakukan pengukuran secara langsung menggunakan peralatan laboratorium (Kemtherm QTM-D3), kemudian ditentukan tingkat ketepatannya.



Gambar 1. Peralatan untuk mengukur difusivitas panas
Figure 1. Apparatus for measurement of heat diffusivity

Kapasitas panas spesifik

Kapasitas panas didefinisikan sebagai keseluruhan panas yang dibutuhkan oleh satu satuan massa bahan untuk menaikkan suhunya satu derajat. Persamaan umum telah banyak ditunjukkan untuk menentukan kapasitas panas spesifik ini berdasarkan pada komponen yang dikandung oleh produk tersebut. Untuk menentukan nilai kapasitas panas spesifik dari produk dengan mempertimbangkan kandungan dari bahan seperti ditunjukkan pada persamaan berikut ini (Charm and Merril, 1959; Charm, 1978).

$$C_p = m_w C_w + m_c C_c + m_p C_p + m_f C_f + m_a C_a \quad (1)$$

Simbol m_w , m_c , m_p , m_f , dan m_a masing-masing adalah fraksi air,

karbohidrat, protein, pati dan abu, sedangkan C_w , C_c , C_p , C_f , dan C_a masing-masing adalah panas spesifik dari masing-masing komponen tersebut.

Difusivitas panas

Bahan pertanian mempunyai bentuk dan struktur yang beragam. Karena itu setiap bahan pertanian mempunyai kemampuan yang berbeda dalam menguapkan air atau mengubah suhunya bila ada perlakuan pemanasan dari luar. Walaupun demikian ada beberapa bentuk dasar yang dapat mewakili bentuk-bentuk yang ada yaitu bentuk bola, silinder terbatas, silinder tak terhingga, lempeng dan lain-lain. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai difusivitas panas lada, menggunakan metoda silinder tak terbatas. Persamaan dasar untuk difusivitas panas pada koordinat silinder diasumsikan bahwa tidak ada panas yang merambat ke arah aksial ataupun ke arah tangensial. Persamaan tersebut adalah sebagai berikut (Dickerson, 1965):

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (3)$$

Pada kondisi stabil, $\frac{\partial T}{\partial t}$ adalah konstan sehingga dapat dinyatakan sebagai konstanta, misalnya $\frac{\partial T}{\partial t} = B$.

Jika disubstitusikan pada persamaan (2) akan menjadi,

$$\frac{B}{\alpha} = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \quad \text{atau} \quad \frac{Br}{\alpha} = r \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial T}{\partial r} \quad \text{atau} \quad \frac{Br}{\alpha} = \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (4)$$

Kemudian persamaan (4) diintegrasikan sehingga :

$$T = \frac{Br^2}{4\alpha} + C_1 \ln r + C_2 \quad (5)$$

Apabila memasukan kondisi batas : $t > 0$ sehingga $r = R$; $T = Bt = T_s$ dan $t = 0$; $r = 0$; $\frac{\partial T}{\partial r} = 0$, diperoleh $C_1 = 0$ dan $C_2 = T_s - (BR^2/4\alpha)$, sehingga persamaannya menjadi :

$$T_s - T = \frac{B(R^2 - r^2)}{4\alpha} \quad (6)$$

Apabila diambil r pada sumbu silinder, yaitu $r = 0$ dan T adalah suhu pusat silinder (T_c), persamaannya kini menjadi:

$$\alpha = \frac{BR^2}{4(T_s - T_c)} \quad (7)$$

Persamaan (7) dapat digunakan untuk menentukan difusivitas panas dari distribusi suhu pada bahan selama proses pemanasan.

Simbol T menyatakan suhu bahan ($^{\circ}\text{C}$), t = waktu (menit), B = konstanta laju rambatan panas per satuan waktu, r = jari-jari silinder pada titik pengukuran dan R adalah jari-jari silinder bagian luar.

Konduktivitas panas

Konduksi adalah perambatan panas dalam suatu bahan atau dari satu benda padat ke benda padat yang lain

dengan pertukaran energi kinetik tanpa adanya perubahan struktur molekul dalam benda tersebut. Cara perpindahan panas seperti ini biasanya terjadi dalam proses pemanasan atau pendinginan (Heldman dan Singh, 1981). Dalam penelitian ini nilai konduktivitas panas lada ditentukan dengan cara pendugaan dari hasil pengukuran difusivitas panasnya dengan menggunakan peralatan yang telah dirancang secara sederhana. Untuk menentukan tingkat ketepatan pendugaan digunakan persamaan:

$$\begin{aligned} & \text{Tingkat ketepatan (\%)} \\ & = \left[1 - \left| \frac{k_p - k_n}{k_p} \right| \right] \times 100\% \end{aligned} \quad (8)$$

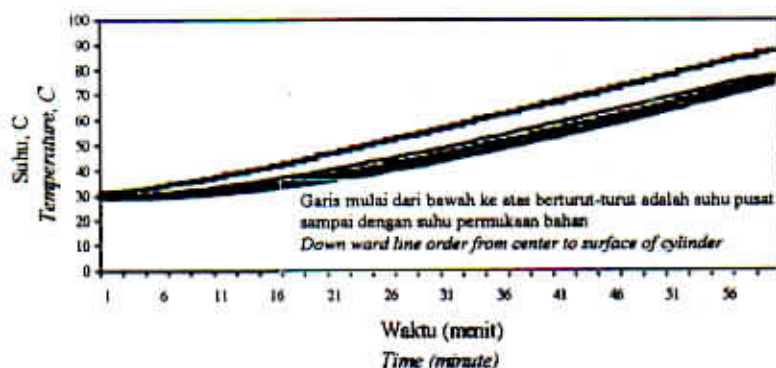
Untuk menentukan besarnya nilai difusivitas panas dan konduktivitas panas lada di dalam silinder percobaan selama proses pemanasan, digunakan beberapa asumsi seperti :

1. Model matematik untuk silinder tak terhingga di penuhi jika perbandingan panjang silinder dengan diameter lebih besar dari empat ($l/d > 4$). Dalam penelitian ini panjang silinder 30 cm dan diameternya 5 cm, sehingga syarat silinder tak terbatas terpenuhi.
2. Laju perubahan temperatur dalam bahan diasumsikan konstan atau tetap setiap saat ($dT/dt = \text{konstan}$). Pada penelitian ini peningkatan suhu bahan akan konstan setiap saat akibat adanya pemberian panas yang konstan dari pemanas air.

3. Perambatan panas hanya terjadi pada arah radial. Kondisi ini dapat diasumsikan demikian, karena persyaratan yang pertama telah terpenuhi sehingga perambatan panas ke arah aksial dan tangensial dapat diabaikan.
4. Besarnya gradien temperatur tidak tergantung oleh waktu.
5. Temperatur permukaan luar silinder tidak berbeda nyata dengan temperatur permukaan dalam silinder.
6. Hanya terjadi pindah panas konduksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebaran suhu dalam bahan selama proses pemanasan adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Pada gambar terlihat bahwa sebaran suhu dalam bahan menyebar dari permukaan menuju pusat bahan. Sejalan dengan lamanya pemanasan, rambatan suhu pada setiap titik pengukuran bergerak konstan setelah pemanasan berjalan selama 40 menit. Difusivitas panas lada yang diperoleh dari pengukuran dengan menggunakan peralatan ini ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 2. Sebaran suhu dalam bahan selama pemanasan
 Figure 2. Temperature distribution within the product

Tabel 1. Difusivitas panas lada yang diperoleh dari pengukuran langsung
 Table 1. Thermal diffusivity of pepper from direct measurement

Ulangan Replication	Gradien suhu Temperature gradient	Suhu permukaan, °C Surface temperature, °C	Suhu pusat, °C Center temperature, °C	Difusivitas panas, m ² /s Thermal diffusivity, m ² /s
1	0.96216	64.9	52.8	0.1242
2	1.04380	73.2	59.6	0.1208
3	0.91406	58.8	48.7	0.1414
4	1.03660	72.5	57.8	0.1102
<i>Rata-rata/Average</i>				0.1242

Fraksi massa dari komponen utama biji lada diperoleh dari analisis proksimat di laboratorium seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Pada tabel ini juga ditunjukkan besarnya kapasitas panas spesifik dari masing-masing komponen, yang dapat dipergunakan untuk menduga besarnya kapasitas panas spesifik biji lada.

Sementara itu nilai konduktivitas panas yang terukur menggunakan Kemtherm QTM-D3. Dengan menggunakan persamaan (3) dan menggunakan nilai rapat massa lada sebesar 0.5868 g/ml, maka nilai konduktivitas panasnya dapat diduga. Nilai konduktivitas panas yang terukur dengan menggunakan thermal conductivity meter dan perbandingannya dengan hasil pendugaan di sajikan pada Tabel 3.

Tabel 2. Fraksi massa dari biji lada dan kapasitas panas spesifik dari masing-masing komponen

Table 2. Mass fraction of pepper and specific heat capacity from each component

Komponen <i>Components</i>	Fraksi massa, % <i>Mass fraction, %</i>	Kapasitas panas spesifik, $\text{kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ <i>Specific heat capacity, $\text{kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$</i>
Air <i>Water</i>	14.63	4.18
Karbohidrat <i>Carbohydrate</i>	79.50	1.22
Protein <i>Protein</i>	0.85	1.90
Lemak <i>Fat</i>	0.46	1.90
Abu <i>Ash</i>	4.56	-
Total <i>Total</i>		$0.1463(4.18)+0.7950(1.22)+0.0085(1.90)+0.0046(1.90)=1.6063$

Tabel 3. Konduktivitas panas lada yang diperoleh dari pengukuran langsung (Kemtherm QTM-D3) dan hasil dugaan..

Table 3. Comparison the heat conductivity of pepper from direct measurement by Kemtherm QTM-D3 and prediction.

Ulangan <i>Replication</i>	k ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)	
	Pengukuran <i>Measurement</i>	Pendugaan <i>Prediction</i>
1	0.1285	0.1171
2	0.1286	0.1139
3	0.1277	0.1333
4	0.1279	0.1039
Rata-rata <i>Average</i>	0.1282	0.1171

Perbandingan antara dua metode yang digunakan untuk menentukan nilai konduktivitas panas lada menunjukkan bahwa nilai konduktivitas panas dari pengukuran langsung ($0.1282 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$) sedikit lebih besar

dari hasil pendugaan ($0.1171 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$), dengan tingkat ketepatan 90.52 %. Perbedaan nilai ini disebabkan oleh besarnya nilai kapasitas panas bahan yang digunakan dalam menduga nilai konduktivitas panas tersebut. Pada penghitungan nilai kapasitas panas

spesifik tersebut ada fraksi massa yang diabaikan seperti kandungan minyak atsirinya karena kadarnya relatif kecil.

Secara umum perbedaan varietas dengan struktur fisik bahan yang berbeda menyebabkan nilai kapasitas panas spesifiknya berbeda, demikian juga nilai difusivitas dan konduktivitas panasnya akan berbeda pula, karena tahanan panas pada bahan sangat ditentukan oleh struktur fisiknya.

KESIMPULAN

Penelitian tentang pendugaan sifat termal lada varietas Belantung segar dan matang menunjukkan bahwa kapasitas panas lada (metode Charm) dan difusivitas panasnya masing-masing besarnya adalah $1.6063 \text{ kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ dan $0.1242 \text{ m}^2/\text{s}$. Nilai konduktivitas panas lada yang diperoleh dari pengukuran langsung besarnya adalah $0.1282 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, sedangkan dari hasil pendugaan sebesar $0.1171 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. Tingkat ketepatan pengukuran sebesar 90.52 %. Data-data sifat hantaran panas ini dapat dipergunakan sebagai parameter rancangan seperti pada rekayasa alat maupun pada rekayasa proses.

DAFTAR PUSTAKA

- Charm, S.E. and E.W. Merrill, 1959. Heat Transfer Coefficient in Straight Tubes for Pseudoplastic Fluids in Streamline Flow. *Food Res.* 24, 319.
- Charm, S.E., 1978. The Fundamentals of Food Engineering, 3rd Edition. AVI Publishing Co., Westport, Conn.
- Dickerson, R.W. J.R., 1965. An apparatus for the measurement of thermal diffusivity of food. *J. Food Technol.* 19, 880.
- Direktorat Jenderal Perkebunan, 1999. Peningkatan Produksi dan Produktivitas Lada. Direktorat Produksi Hasil Perkebunan, Dephutbun.
- Heldman, R.D. and R.P. Singh, 1981. Food Process Engineering, 2nd edition. AVI Publishing Company, Inc. Westport Connecticut.
- International Pepper Community, 1997. Pepper Statistic Year Book 1995/1996. 300p.
- Kamaruddin, A. and Y. Sagara, 1992. Thermophysical Properties of Tropical Agricultural Product. Paper in SAE International Seminar Meeting, North Carolina-USA.
- Kamaruddin, A., B.I. Setiawan, W. Dyah, 1998. Penentuan parameter model pindah panas Dow and Jacob dan resistensi aliran udara, *J. Teknik Pertanian*, 6(1): 22 - 34.
- Nurdjannah, N., T. Hidayat and Risfaheri, 2000. The manual of white pepper processing by machine. Collaboration between Bangka District, Institute of Research and Development of Forestry and Estate and RISMC.