PENENTUAN DIFUSIVITAS PANAS DAN KONDUKTIVITAS WORTEL (*Daucus carota* L)

Prediction of Thermal Diffusivity and Conductivity of Carrot

Lamhot P. Manalu[1] dan Kamaruddin Abdullah[2]

ABSTRACT

The more important limitation in process design for agricultural products is the lack of information on their thermal properties. Although a lot of experimental data can be found, the variety of products and the differences in measurement method make limitation on the value of the available data, especially for Indonesia's products. These data are needed to get information about temperature change when product was processed like heating or cooling. It is worth to optimize efficiency of energy.

The objective of his study is to predict thermal diffusivity and conductivity of carrot. The value was determined numerically with direct and indirect methods. The result shows that thermal conductivity is 0.626 W/m^{o}C while thermal diffusivity are 2.51 x 10^{-7} m^2/s (indirect method) and 2.08 x 10^{-7} m^2/s (direct method)

Key Words: thermal diffusivity, conductivity, numerical method

PENDAHULUAN

Produk pertanian terutama sayur-sayuran merupakan produk yang mudah rusak sehingga diperlukan cara-cara penanganan pasca-panen yang lebih baik untuk dapat memperpanjang umur simpan. Perlakuan pendinginan adalah cara yang biasa dilakukan untuk memperpanjang umur simpan sekaligus mempertahankan kualitas produk dengan syarat suhu, waktu dan parameter pendinginan lainnya sesuai dengan karakteristik produk yang didinginkan(1). Demikian juga dengan perlakuan panas baik menggunakan air panas, uap panas maupun kombinasi keduanya merupakan perlakuan pendahuluan dalam penanganan segar sayuran dan buah-buahan untuk menekan pertumbuhan mikroorganisme seperti jamur(2).

Untuk merancang sistem pendinginan dan pemanasan yang baik dan tepat untuk komoditas pertanian, perlu diketahui karakteristik sifat-sifat panas (*thermal properties*)

[1] Peneliti BPP-Teknologi

[2] Staf Pengajar Jurusan Teknik Pertanian, FATETA-IPB

masing-masing produk. Hal ini dapat dipahami mengingat pendinginan dan perlakuan panas berkaitan erat dengan dengan proses pindah panas. Sifat panas akan menentukan karakteristik perubahan suhu produk sehingga dapat ditentukan kebutuhan energi dan waktu perlakuannya secara tepat(3). Nilai difusivitas panas bahan merupakan salah satu sifat panas yang dibutuhkan untuk menduga laju perubahan suhu bahan sehingga dapat ditentukan waktu optimum yang dibutuhkan dalam proses pengolahan, pengeringan atau pendinginan(3). Dengan mengetahui waktu optimum tersebut, selain dapat dihindarkan terjadinya kerusakan bahan juga dapat menghemat energi.

Wortel (*Daucus carota* L) merupakan salah satu produk sayuran yang banyak dikonsumsi dalam bentuk segar maupun dalam bentuk olahan karena rasanya yang enak, renyah dan sedikit manis, disamping itu wortel merupakan sumber vitamin A dan mineral yang berguna bagi kesehatan. Dengan semakin meningkatnya kesadaran masyarakat akan kebutuhan gizi makanan dari jenis nabati, konsumsi wortel diperkirakan akan terus meningkat baik didalam maupun diluar negri. Jumlah produk wortel pada tahun 1990 sebanyak 172.200 ton (BPS, 1992).

Penelitian ini bertujuan untuk mentukan nilai difusivitas panas wortel secara tidak langsung dengan mencari nilai konduktivitas panas (k), massa jenis (ρ), dan panas jenis (Cp) wortel terlebih dahulu serta menentukan nilai difusivitas panas wortel secara langsung dengan metode numerik pada proses pendinginan.

BAHAN, ALAT DAN METODE

Penelitian dilakukan di Laboratorium Energi dan Eektrifikasi Pertanian Jurusan Teknik Pertanian Fateta-IPB Bogor. Bahan yang digunakan adalah wortel varietas lokal (Cipanas). Alat-alat yang digunakan adalah *conductivity meter* (Kemtherm QTM-D3), lemari pendingin (Ebara 3848), *hybrid recorder* (HR-2500E), termokopel CC, *drying oven* (Ikeda SS-204D), timbangan digital (AND EK-1200A), kalorimeter, termometer, jangka sorong, gelas ukur.

Metode yang digunakan dalam penentuan sifat-sifat panas wortel yang mencakup panas jenis, konduktivitas panas dan difusivitas panas adalah sebagai berikut.

Penentuan Panas Jenis

Panas jenis didefinisikan sebagai jumlah energi yang dibutuhkan oleh satu satuan berat bahan untuk menaikkan suhunya sebesar satu derajat(4). Besaran ini dipakai untuk menduga jumlah energi (Q) yang diperlukan bila suhu bahan berubah satu satuan (ΔT).

$$Cp = \frac{Q/\Delta T}{m} = \frac{Q}{(m)(\Delta T)} \qquad (1)$$

Siebel mengembangkan suatu persamaan untuk menghitung panas jenis bahan dengan membedakan pada dua kondisi yaitu pertama, kondisi diatas titik beku dan kedua, di bawah titik beku[5], masing-masing sebagai berikut :

$$Cp = 4.1868\ (0.008\ M + 0.20) \qquad (2)$$

$$Cp = 4.1868\ (0.003\ M + 0.20) \qquad (3)$$

dimana M adalah persentase kadar air (basis basah).

Metode yang diajukan Charm dalam menghitung panas jenis turut mempertimbangkan kandungan lemak bahan[6]. Metode ini cukup baik terutama bagi bahan-bahan yang kandungan lemaknya cukup tinggi.

$$Cp = 4.1868\ (0.5\ X_f + 0.33\ X_s + X_m) \qquad (4)$$

dimana X_f adalah fraksi lemak, X_s adalah fraksi padatan dan X_m adalah fraksi air dalam bahan.

Selain dua metode diatas, panas jenis dapat ditentukan dengan metode campuran (*method of mixtures*)[7]. Metode ini banyak dipakai karena caranya sederhana yaitu dengan memasukkan bahan yang sudah diketahui masanya (W_S) kedalam kalorimeter berisi air yang sudah diketahui berat (W_W) dan kapasitas panasnya (C_W).

Pengukuran dengan metode campuran didasarkan pada hukum keseimbangan panas dalam kalorimeter yang secara matematis ditulis sebagai berikut[7] :

$$C_S \cdot W_S\,(T_a - T_e) = C_w \cdot W_w\,(T_e - T_o) + C_c \cdot W_c\,(T_e - T_o) \qquad (5)$$

Panas jenis dan masa kalorimeter dianggap konstan sehingga perkaliannya merupakan kapasitas panas kalorimeter. Persamaan di atas dapat ditulis sebagai berikut[7] :

$$C_S = \frac{C_W \cdot W_W\,(T_e - T_o) + H_C\,(T_e - T_o)}{W_S\,(T_a - T_e)} \qquad (6)$$

Kapasitas panas kalorimeter (H_C) dapat ditentukan dengan mencampur sejumlah air yang berbeda suhu awalnya dalam kalorimeter hingga dicapai suhu keseimbangan. Persamaan untuk menetukan kapasitas panas H_C[7] :

$$H_C = \frac{C_h \cdot W_h\,(T_a - T_e) - C_C \cdot W_C\,(T_e - T_o)}{(T_e - T_o)} \qquad (7)$$

dimana :

Hc = kapasitas panas kalorimeter, kJ/°C
Wh = massa air panas, kg
Wc = massa air dingin, kg
Ta = suhu awal air panas, °C
Te = suhu keseimbangan, °C
To = suhu awal air dingin, °C
Cs = panas jenis bahan, kJ/kg °C
Ws = massa bahan, kg
Cc = panas jenis kalorimeter, kJ/kg °C

Penentuan Konduktivitas Panas

Konduktivitas panas adalah sifat termal suatu benda untuk merambatkan panas dalam suatu unit waktu melalui luas penampang tertentu yang diakibatkan oleh adanya perbedaan suhu. Untuk bahan hayati, besarnya nilai konduktivitas panas (k) banyak dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti struktur sel/fisik, komposisi kimia bahan, dan kandungan air.

Variasi nilai konduktivitas panas bahan hayati lebih besar dibandingkan bahan non hayati[7].

Dalam percobaan ini konduktivitas panas wortel diukur langsung dengan menggunakan alat *conductivity meter*, sedangkan secara tidak langsung konduktivitas panasnya dihitung dengan persamaan Sweat[6] sebagai berikut :

$$k = 0.148 + 0.00493\ M \qquad (8)$$

dimana M adalah kadar air wortel (% bb.).

Penentuan Difusivitas Panas

Difusivitas panas dapat diartikan sebagai laju pada saat panas terdifusi keluar dari bahan[7]. Distribusi suhu pada suatu bahan dalam kondisi tidak mantap telah dirumuskan oleh persamaan umum Fourier[8] sebagai berikut :

$$\partial T/\partial t = \alpha\ \nabla^2 T \qquad (9)$$

dimana T adalah suhu pada titik tertentu (pada koordinat x, y dan z), t adalah waktu dan α adalah koefisien difusivitas panas.

Dengan mengasumsikan wortel berbentuk silinder dan perpindahan panas merata ke arah radial, suhu awal di setiap titik dianggap seragam, kadar air tetap dan tidak terjadi penyusutan, persamaan (8) dapat ditulis sebagai berikut[9] :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha\left(\frac{\partial T^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r}\right) \qquad (10)$$

Persamaan (10) di atas didiskretisasi memakai metode numerik beda hingga dengan bantuan kisi-kisi seperti pada Gambar 1 sehingga diperoleh :

$$T_i^{j+1} - T_i^{j} = S\left[\{T_{i+1}^{j} - 2T_i^{j} + T_{i-1}^{j}\} + \frac{1}{i}\{T_{i+1}^{j} - T_i^{j}\}\right] \qquad (11)$$

Selanjutnya nilai S dihitung dengan metode kuadrat terkecil (*least square method*) dan nilai α dihitung dengan persamaan (12).

$$S = \frac{\alpha\,\Delta t}{(\Delta r)^2} < 0.5 \qquad (12)$$

Dalam hubungannya dengan sifat termofisik bahan lainnya, nilai difusivitas panas berbanding lurus dengan konduktivitas panas (k) dan berbanding terbalik dengan panas jenis (Cp) dan kerapatan bahan (ρ) tersebut.

Hubungan yang digambarkan pada persamaan (13) dapat dipakai untuk menentukan difusivitas panas yang dikenal sebagai metode tidak langsung.

$$\alpha = \frac{k}{Cp\ \rho} \qquad (13)$$

Penentuan difusifitas panas secara langsung dengan metoda numerik dilakukan dengan menggunakan data distribusi perubahan suhu wortel selama pendinginan. Data perubahan suhu wortel diambil dari tiga titik pengukuran. Titik pertama merupakan titik pusat sedangkan titik kedua dan ketiga diukur berjarak Δr dan $2*\Delta r$ kearah radial. Pengukuran dihentikan bila suhu disetiap titik pengamatan sudah relatif seragam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pengukuran dan hasil perhitungan massa jenis wortel disajikan pada Tabel 1, Dari tabel tersebut terlihat massa jenis wortel rata-rata adalah 0.803 g/cm^3 atau 803 kg/m^3.

Pada Tabel 2 dapat dilihat nilai pengukuran konduktivitas panas wortel yang diperoleh dengan menggunakan alat *thermal conductivity meter (Kemtherm QTM-D3)*. Konduktivitas panas rata-rata adalah 0.626 W/m^{o}C pada kisaran suhu 33-43 ^{o}C.

Panas jenis wortel ditentukan dengan metode Siebel (persamaan 2) dan metode campuran (persamaan 6). Hasil perhitungan panas jenis wortel rata-rata dengan metode Siebel adalah 3.097 kJ/kg^{o}C (Tabel 3), sedangkan dengan metode campuran didapatkan 3.260 kJ/kg^{o}C (Tabel 4).

Panas jenis wortel makin tinggi bila kadar airnya makin tinggi. Hal ini menunjukkan adanya korelasi positif antara panas jenis dan kadar air karena panas jenis air lebih tinggi dari padatannya. Dengan demikian dapat dimengerti bahwa metode Siebel cukup baik diterapkan untuk bahan yang mengandung kadar air tinggi. Penentuan difusivitas panas wortel secara tidak langsung (persamaan 13) dengan menggunakan nilai panas jenis wortel dari persamaan Siebel didapatkan nilai 2.51 x 10^{-7} m^2/det, sedangkan bila menggunakan Cp yang ditentukan dengan metode campuran didapatkan difusivitas panas sebesar 2.39 x 10^{-7} m^2/det.

Hasil pengukuran distribusi suhu pada wortel selama pendinginan untuk menentukan difusivitas panas secara langsung disajikan pada Gambar 2. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pada saat awal suhu wortel turun cepat dan semakin lambat ketika suhunya mendekati suhu udara ruang pendingin. Hal ini menunjukkan bahwa sebenarnya koefisien difisivitas panas juga akan berubah semakin kecil bila suhu bahan semakin rendah, tetapi untuk menyederhanakan perhitungan nilai difusivitas dianggap tetap.

Tabel 2. Hasil pengukuran konduktivitas panas wortel

Ulangan	Konduktivitas Panas (W/m°C)
1	0.611
2	0.607
3	0.584
4	0.655
5	0.672
Rata-rata	0.626
SD	0.036

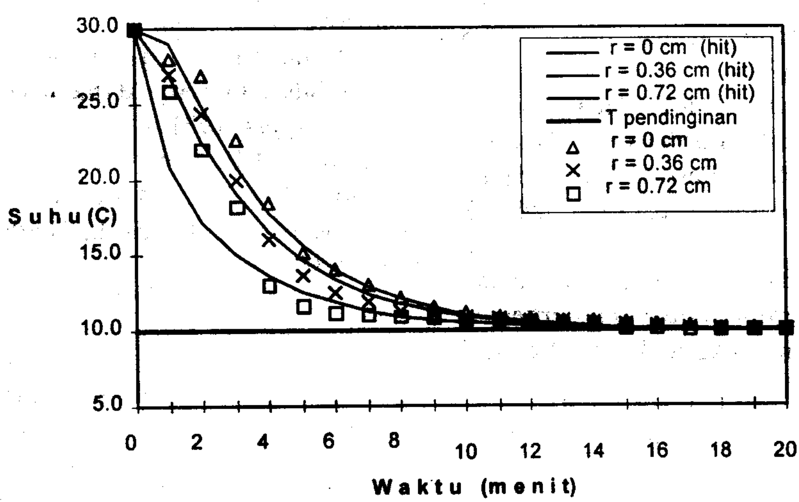
Koefisien difusivitas panas wortel yang ditentukan dengan persamaan (12) dan (13) mendapatkan nilai 2.05 x 10^{-7} m^2/detik dan 2.11 x 10^{-7} m^2/detik untuk ulangan 1 dan 2, sehingga rata-ratanya adalah 2.48 x 10^{-7} m^2/detik. Mohsenin[7] melaporkan bahwa difusifitas panas wortel adalah 2.62 x 10^{-7} m^2/det. Perbedaan ini diduga disebabkan oleh perbedaan kandungan komposisi dan varietas bahan serta metoda yang digunakan.

Tabel 3. Hasil pengukuran kadar air dan perhitungan panas jenis metode Siebel

Ulangan	Kadar air (% bk.)	Kadar air (% bb.)	Panas jenis (kJ/kgC)
1	226.80	69.40	3.162
2	195.86	66.20	3.058
3	199.40	66.60	3.068
4	216.40	68.40	3.103
Rata-rata	209.61	67.65	3.097
SD	14.55	1.51	0.048

Tabel 4. Data pengukuran dan hasil perhitungan panas jenis wortel dengan metode campuran

No.	Keterangan	Simbol	Ulangan 1	Ulangan 2
1	Massa air dingin (g)	Ww	180	180
2	Massa wortel (g)	Ws	20	20
3	Suhu wortel awal (°C)	Ta	29	30
4	Suhu keseimbangan (°C)	Te	11.5	12.6
5	Suhu air dingin awal (°C)	To	10.2	10.2
6	Panas jenis air (kJ/kg°C)	Cw	4.1868	4.1868
7	Kapasitas Panas Kalorimeter (kJ/kg)	Hc	89.12	89.12
8	Panas jenis bahan (kJ/kg°C)	Cp	3.130	3.390
	Rata-rata Cp wortel (kJ/kg°C)	3.260		



Gambar 2. Kurva distribusi suhu wortel selama pendinginan.

KESIMPULAN

1. Panas jenis wortel (metode Siebel) adalah 3097 J/kg^{o}C pada selang kadar air 66.2 - 69.4%. Konduktivitas panasnya 0.626 W/m^{o}C pada suhu rata-rata 38 ^{o}C dan masa jenisnya (*density*) 803 kg/m^{3}.
2. Perhitungan difusivitas panas wortel secara langsung mendapatkan nilai 2.08 x 10^{-7} m^{2}/detik, sedangkan dengan metode tidak langsung didapatkan nilai 2.51 x 10^{-7} m^{2}/detik.

DAFTAR PUSTAKA

Pantastico, E.B., T.K. Chattopadhyay and H. Subramanyam, "Storage and Commercial Storage Operation. *In* Pantastico (ed.), "Postharvest Physiology, Handling and Utilization of Tropical and Subtropical Fruits and Vegetables", The AVI Pub. Co. Inc., Westport, Connecticut., 1975, 314-338.

Couey, E.E., "Heat Treatment for Control Postharvest Diseases and Insect Pest of Fruits", Horticulture Science, 1989, 24:198-202.

Kamaruddin Abdullah and Y. Sagara, "Thermophysical Properties of Tropical Agricultural Product", Paper in ASAE International Summer Meeting, North Carolina-USA, 1992.

Sears, "Mechanic, Heat and Sound", Addison Wessley Pub. Co. Inc., Massachusetts, 1950.

Wirakartakusumah, M.A., Kamaruddin A. dan Atjeng M. Syarif, "Sifat Fisik Pangan", Depdikbud, Dirjen Dikti, PAU Pangan dan Gizi, IPB-Bogor, 1992.

Heldman, D.R. and R.P. Singh, "Food Process Engineering", The AVI Pub. Co. Inc., Westport, Connecticut, 1981.

Mohsenin, N.N., "Thermal Properties of Foods and Agricultural Materials", Gordon and Breach Science Publishers, New York, 1980.

Bird, R.B., W.E. Stewart and E.N. Lightfoot. "Transport Phenomena". John Wiley & Sons, New York, 1960.

Carslaw, H.S. and J.C. Jaeger, "Conduction of Heat and Solids", Oxford At the Clarendon Press, 1971.

Chowdary, T.P., "Thermal Properties of Mangoes", Master of Eng. Thesis, AIT, Bangkok, Thailand, 1988.