

PENGEMBANGAN METODE PENGUKURAN DIFUSIVITAS PANAS HASIL PERTANIAN DENGAN METODE INVERSI

Development of Inverse Method for Thermal Diffusivity of Agricultural Product

Suroso¹

Abstract

An inverse method for measurement of thermal diffusivity has been developed. The inverse method was developed based on a finite difference method and an artificial neural network. The training data for the neural network was generated using a finite difference of conduction heat transfer in agricultural products. The input to neural network was temperature distribution of the agricultural products during heating or cooling process. The output of the neural network was a thermal diffusivity. The developed inverse method has been applied to predict the thermal diffusivity of avocado, mango and sweet potato. The value of predicted thermal diffusivity was validated using a hot water treatment. The predicted temperature of finite difference using predicted thermal diffusivities were compared with the experimental temperature distribution during hot water treatment. The results showed that the predicted temperatures were closed to the experimental temperatures with error less than 5 %.

Keywords: *inverse method, neural network, finite difference, thermal diffusivity*

PENDAHULUAN

Pemanasan atau pendinginan merupakan hal yang sering dilakukan dalam pengolahan hasil pertanian maupun pangan. Proses yang terjadi selama pemanasan atau pendinginan adalah proses pindah panas dari bahan ke medium atau sebaliknya. Mekanisme pindah panas dalam pemanasan atau pendinginan ini perlu diperhatikan dalam mendisain proses pengolahan pangan atau hasil pertanian.

Salah satu faktor yang harus diperhatikan misalnya adalah sensitivitas bahan pangan dan hasil pertanian

terhadap proses termal. Proses yang menggunakan termal dalam pengolahan bahan pangan dan hasil pertanian perlu memperhatikan batasan tinggi suhu yang dikenakan. Untuk menggambarkan proses pindah panas yang terjadi pada bahan pangan dan pertanian dapat dilakukan dengan menggunakan hubungan teoritis maupun empiris. Metode numerik seperti *finite difference* dan *finite element* juga telah banyak digunakan dalam mengamati proses pindah panas dalam produk pangan maupun hasil pertanian. Dalam membuat hubungan-hubungan tersebut dibutuhkan sifat termal bahan pangan dan hasil

¹ Departemen Teknik Pertanian IPB, Kampus IPB Darmaga, suroso@ipb.ac.id

pertanian. Tetapi tidak selamanya sifat termal produk pangan dan hasil pertanian tersebut tersedia, sehingga harus dilakukan pengukuran terlebih dahulu. Beberapa metode pengukuran sifat termal telah dilakukan tetapi tidak selalu memperoleh nilai yang tepat, karena ketidakseragaman bahan pangan dan hasil pertanian, sedangkan pengukuran biasanya adalah nilai rata-ratanya. Oleh sebab itu diperlukan metode pengukuran yang lebih tepat. Pada penelitian ini akan dikembangkan metode penentuan sifat termal produk pangan dan hasil pertanian yang baru yaitu dengan menggunakan metode inversi.

Metode inversi ini dikembangkan dengan menggunakan metode numerik *finite difference* dan jaringan syaraf tiruan (*artificial neural network*). Suroso et al. (1996a; 1996b; 1997) telah mengembangkan metode inversi *finite element neural network* untuk menentukan koefisien pindah panas konveksi pada wadah kultur jaringan. Dengan metode tersebut maka koefisien pindah konveksi dapat ditentukan secara akurat dan cepat. Pada penelitian ini metode inversi akan menggabungkan antara *finite difference* dengan *neural network* untuk menentukan salah satu sifat termal yang penting adalah difusivitas panas hasil pertanian.

Sifat termal pangan telah dipelajari dengan menggunakan 5 metode pendekatan (Woodams and Nowrey, 1968; Qashou et al., 1970), yaitu 1) metode silinder kosentrik, 2) metode bola konsentrik, 3) metode pelat paralel, 4) metode difusi termal, dan 5) metode sumber kawat. Dari kelima metode tersebut, yang terbanyak digunakan adalah modifikasi pelat paralel, metode difusi panas dan metode sumber kawat. Setiawan (1980) telah melakukan pengukuran difusivitas panas pada buah yang berbentuk bulat yaitu jambu biji, sawo, alpokat dan apel malang. Metode yang sama telah digunakan pengukuran

difusivitas panas untuk jeruk siyem (Handi, 1982), semangka (Harsitorukmi, 1988). Manalu dan Abdullah (1998) melakukan penentuan difusivitas panas pada wortel. Tastra (2004) menggunakan metode Dickerson untuk menentukan difusivitas panas tepung ubi garut pada selang kadar air 11.6 - 14.3% dan suhu 23 - 36 °C. Pada penelitian ini, nilai difusivitas panas yang akan ditentukan adalah pada proses perlakuan air panas yang dilakukan pada suhu 40-50 °C.

Penelitian ini secara umum bertujuan untuk mengembangkan metode pengukuran difusivitas panas hasil pertanian dengan metode inversi dengan berdasarkan *finite difference* dan jaringan syaraf tiruan. Sedangkan tujuan khususnya adalah 1) mengembangkan *finite difference* untuk proses panas konduksi sebagai pembuat data training, 2) mengembangkan jaringan syaraf tiruan untuk pendugaan difusivitas panas, dan 3) pendugaan difusivitas panas hasil pertanian dengan metode inversi yang dikembangkan.

METODOLOGI PENELITIAN

Pendekatan Metode Inversi *Finite Difference* Dan Jaringan Syaraf Tiruan

Metode inversi untuk menentukan difusivitas panas hasil pertanian yang dikembangkan terdiri dari metode *finite difference* dan jaringan. *Finite difference* digunakan untuk membangun data hubungan difusivitas panas bahan dengan distribusi suhu pada hasil pertanian yang dihasilkan pada saat pemanasan/pendinginan. Persamaan pindah panas yang dipecahkan dengan *finite difference* dapat dilihat pada persamaan (1)

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (1)$$

Dengan menggunakan metode *finite difference* maka suhu bahan pada titik tertentu dan waktu tertentu $\theta(x,y,z,t)$ akan dapat dihitung apabila nilai difusivitas panas (α) diketahui. Sedangkan jaringan syaraf tiruan digunakan untuk membangun hubungan yang terbalik antara distribusi suhu dengan difusivitas panas.

$$\theta = f(\theta(x,y,z,t)) \quad (2)$$

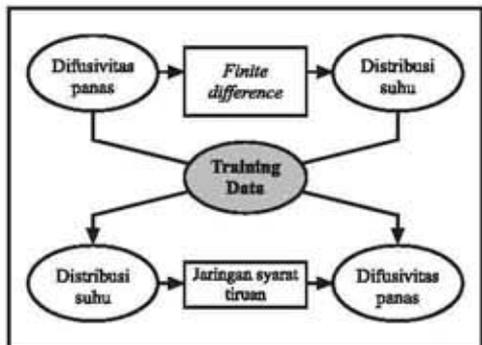
Skema metode inversi yang dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 1. Masukan untuk *finite difference* yaitu difusivitas panas hasil pertanian akan dijadikan sebagai keluaran pada jaringan syaraf tiruan. Keluaran dari *finite difference* akan dijadikan sebagai masukan untuk jaringan syaraf tiruan. Data hubungan antara difusivitas panas dengan distribusi suhu dibuat dengan dari *finite difference* dan digunakan sebagai data training untuk jaringan syaraf tiruan. Setelah jaringan syaraf tiruan ditraining maka akan didapatkan hubungan antara distribusi suhu bahan dengan difusivitas panasnya. Sehingga difusivitas panas dapat ditentukan dengan menggunakan data pengukuran distribusi suhu pada saat pemanasan bahan (Gambar 2).

Penyusunan Model Pindah Panas Dengan Finite Difference

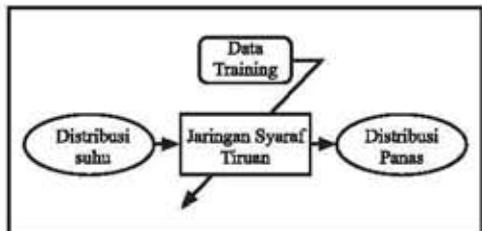
Model pindah panas yang diselesaikan dengan menggunakan *finite difference* adalah untuk hasil pertanian yang akan dibentuk kubus. *Finite difference* digunakan untuk mendapatkan distribusi suhu pada kubus dengan kondisi awal dan batas tertentu. Pengaturan tata letak titik-titik dalam ruang tiga dimensi dalam saat tertentu dapat dilihat pada Gambar 3.

Diasumsikan bahan homogen dan sifat-sifat termalnya konstan selama proses pemanasan sehingga turunan kedua suhu terhadap jarak dinyatakan

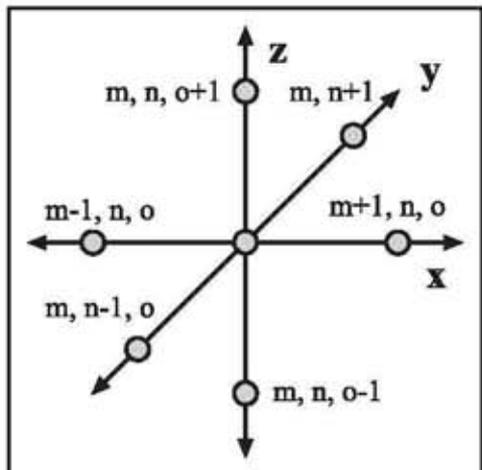
dengan persamaan (3), (4) dan (5)(Holman, 1990)



Gambar 1. Skema metode inversi *finite difference neural network*



Gambar 2. Penentuan nilai difusivitas panas dengan metode inversi.



Gambar 3. Noda (pengaturan grid) untuk penyelesaian numerik konduksi tiga dimensi

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = \frac{1}{(\Delta x)^2} (\theta_{m+1,n,o} + \theta_{m-1,n,o} - 2\theta_{m,n,o}) \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} = \frac{1}{(\Delta y)^2} (\theta_{m,n+1,o} + \theta_{m,n-1,o} - 2\theta_{m,n,o}) \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} = \frac{1}{(\Delta z)^2} (\theta_{m,n,o+1} + \theta_{m,n,o-1} - 2\theta_{m,n,o}) \quad (5)$$

Sedangkan turunan suhu terhadap waktunya dapat dilihat pada persamaan 6.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{(\theta_{m,n,o}^{p+1} - \theta_{m,n,o}^p)}{\Delta t} \quad (6)$$

Sehingga persamaan 1 dapat dirubah menjadi persamaan 7

$$\begin{aligned} & \frac{\theta_{m+1,n,o}^p + \theta_{m-1,n,o}^p - 2\theta_{m,n,o}^p}{(\Delta x)^2} + \\ & \frac{\theta_{m,n+1,o}^p + \theta_{m,n-1,o}^p - 2\theta_{m,n,o}^p}{(\Delta y)^2} + \\ & \frac{\theta_{m,n,o+1}^p + \theta_{m,n,o-1}^p - 2\theta_{m,n,o}^p}{(\Delta z)^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\theta_{m,n,o}^{p+1} - \theta_{m,n,o}^p}{\Delta t} \quad (7) \end{aligned}$$

Jika suhu pada masing-masing titik diketahui setiap waktu maka suhu setelah t dapat dihitung menggunakan persamaan 7, demikian juga jika difusivitas bahan diketahui maka suhu titik setelah t dapat diketahui.

Jika dipilih $\Delta x = \Delta y = \Delta z$ maka :

$$\begin{aligned} \theta_{m,n,o}^{p+1} = & \frac{\alpha \Delta t}{(\Delta x)^2} (\theta_{m+1,n,o}^p + \theta_{m-1,n,o}^p + \theta_{m,n+1,o}^p \\ & + \theta_{m,n-1,o}^p + \theta_{m,n,o+1}^p + \theta_{m,n,o-1}^p) \\ & + \left[1 - \frac{6\alpha \Delta t}{(\Delta x)^2} \right] \theta_{m,n,o}^p \quad (8) \end{aligned}$$

Nilai koefisien konveksi air dihitung berdasarkan persamaan untuk konveksi bebas pada bola atau balok seperti pada persamaan (Welty, 1978) berikut ini:

$$Nu_D = 0,53 \left[\frac{Gr_D Pr}{0,952 + Pr} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (9)$$

untuk $10^4 < Gr_D Pr < 10^9$

Model Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Difusivitas Panas

Jaringan syaraf tiruan yang dikembangkan adalah jaringan syaraf lapisan jamak yang terdiri dari tiga lapisan yaitu lapisan masukan, lapisan keluaran dan lapisan tersembunyi. Masukan pada lapisan masukan adalah distribusi suhu bahan, yaitu suhu pada tiga titik yang berbeda dan pada dua waktu yang berbeda ($\theta_1^1, \theta_2^1, \theta_3^1, \theta_1^2, \theta_2^2, \theta_3^2$). Sehingga jumlah keseluruhan masukan ada 6 buah noda. Sedangkan lapisan keluaran adalah difusivitas panas bahan. Jumlah noda pada lapisan tersembunyi akan ditentukan pada training berdasarkan kesalahan pada saat training dan validasi.

Algoritma pelatihan jaringan syaraf yang digunakan adalah *backpropagation*. Pada metode *backpropagation* ini, data masuk ke dalam jaringan syaraf tiruan kemudian digunakan untuk menghitung output. Nilai output jaringan syaraf tiruan dibandingkan dengan nilai yang seharusnya. Perbedaan antara nilai hasil jaringan syaraf tiruan dengan yang seharusnya ini digunakan untuk memperbaiki nilai pembobot jaringan syaraf tiruan. Pekerjaan ini dilakukan berulang-ulang sampai didapatkan nilai kesalahan yang dapat diterima.

Fungsi transformasi yang digunakan lapisan tersembunyi dan lapisan keluaran adalah fungsi sigmoid (Persamaan 10)

$$y = \frac{1}{1 + \exp(-x)} \quad (10)$$

Arsitektur jaringan syaraf tiruan yang akan dikembangkan dapat dilihat pada

Gambar 4. Setelah ditraining kemudian jaringan syaraf tiruan divalidasi dengan menggunakan data validasi yang tidak digunakan dalam proses training.

Penentuan Difusivitas Panas

Nilai difusivitas panas diduga dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan yang sudah ditraining dengan data dari *finite difference*. Masukan distribusi suhu yang digunakan untuk menduga difusivitas panas didapatkan dari pengukuran distribusi bahan pertanian secara langsung pada saat pemanasan. Hasil pertanian yang digunakan pada penelitian ini adalah alpokat, mangga dan ubi jalar. Ukuran kubus untuk setiap bahan adalah 2.5 cm x 2.5 cm x 2.5 cm Kemudian 3 titik pada bahan tersebut ditempatkan termokopel jenis *Copper Constantan*, yaitu pada pusat, kedalaman 0.5 cm, dan permukaan. Bahan dimasukkan ke dalam *water bath* untuk diberikan perlakuan panas dengan suhu 47.5 °C. Termokopel dihubungkan dengan *hybrid recorder DR*

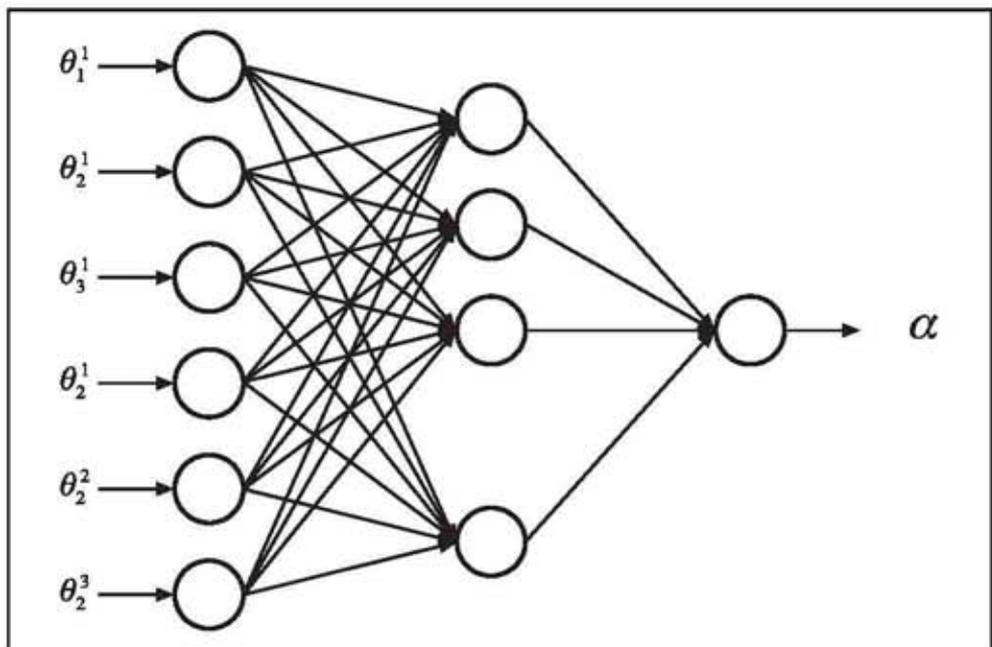
130 (Yokogawa) untuk mengukur suhu. Air dalam *water bath* dipanaskan oleh elemen pemanas dari listrik dan dikontrol dengan menggunakan termostat.

Dari hasil pengukuran ini akan didapatkan data penetrasi suhu dalam bahan selama pemanasan. Data ini akan digunakan untuk menentukan difusivitas panas dalam bahan yang diukur, dengan cara memasukkan ke dalam jaringan syaraf tiruan yang sudah ditraining dengan data hasil *finite difference*. Hasil dari jaringan syaraf adalah difusivitas panas bahan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Training Jaringan Syaraf Tiruan

Distribusi suhu selama proses pemanasan akan tergantung dari kondisi awal bahan, kondisi batas pemanasan dan sifat termal dari bahan yang dipanaskan. Program *finite difference* untuk proses pemanasan telah dengan



Gambar 4. Arsitektur jaringan syaraf tiruan yang dikembangkan

menggunakan Visual Basic 3.0. Gambar 5 menunjuk salah satu contoh distribusi suhu daging buah selama pemanasan buah dengan kondisi awal dan kondisi batas sebagai berikut:

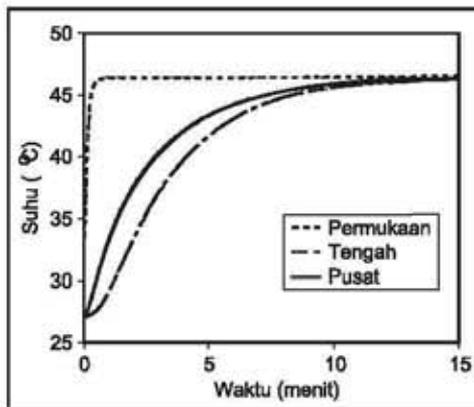
Kondisi awal :

$$t = 0, 0 \leq x \leq X, T = 27 \text{ }^\circ\text{C}$$

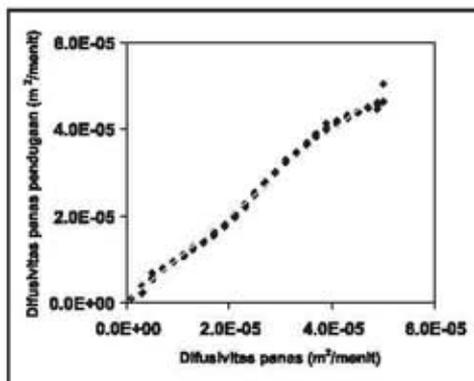
Kondisi batas :

$$x = X, t > 0, T = 47.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Suhu daging buah akan meningkat selama pemanasan dan akan mendekati suhu medium pada saat tertentu



Gambar 5. Distribusi suhu bahan selama pemanasan



Gambar 6. Validasi pendugaan nilai difusivitas panas dengan jaringan syaraf tiruan

tergantung dari letak titik pengukuran. Suhu pusat cenderung lebih lambat mendekati suhu medium dibandingkan dengan suhu di dekat permukaan. Karena adanya perbedaan suhu pada titik tersebut, maka dipilih tiga buah titik pengukuran suhu dan dua waktu yang berbeda untuk dijadikan sebagai masukan pada jaringan syaraf tiruan.

Model Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Pendugaan Difusivitas Panas

Data training dan data validasi untuk jaringan syaraf tiruan untuk pendugaan difusivitas panas dibuat dengan model *finite difference*. Data training dan validasi dibuat dengan nilai difusivitas panas bahan yang bervariasi. Nilai difusivitas panas bahan yang digunakan untuk membuat data training dan validasi berkisar antara 1.0×10^{-6} m²/menit sampai dengan 5.0×10^{-4} m²/menit dengan selang 1.0×10^{-6} m²/menit sehingga akan berjumlah 750 pasang data. Dari 750 pasang data tersebut 440 buah digunakan sebagai data training dan 210 buah digunakan sebagai data validasi.

Jaringan syaraf tiruan ditraining dengan menggunakan metode penjalaran balik (*back propagation*). Hubungan antara nilai difusivitas panas dari *finite difference* dan pendugaan jaringan syaraf tiruan dengan data validasi dapat dilihat pada Gambar 6.

Nilai difusivitas panas hasil pendugaan dengan menggunakan jaringan syaraf mempunyai nilai yang mendekati dengan nilai dari difusivitas dari *finite difference*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai kesalahan 3.9 %. Dengan demikian maka dapat dikatakan bahwa jaringan syaraf tiruan yang dikembangkan dapat menduga nilai difusivitas panas berdasarkan distribusi suhu bahan selama dipanaskan. Dengan demikian maka jaringan syaraf tersebut dapat digunakan untuk pendugaan nilai difusivitas panas berdasarkan data distribusi suhu bahan.

Tabel 1. Hasil pendugaan nilai difusivitas panas beberapa hasil pertanian.

Jenis Bahan	Difusivitas panas (m ² /menit)
Ubi jalar	8.37x 10 ⁻⁶
Daging buah mangga	1.75x10 ⁻⁵
Daging buah alpukat	1.00x10 ⁻⁵

Pendugaan Nilai Difusivitas Panas Hasil Pertanian

Data distribusi suhu dari hasil pengukuran selama pemanasan digunakan sebagai masukan untuk jaringan syaraf tiruan yang telah ditraining, untuk menduga nilai difusivitas panas bahan pertanian. Tiga bahan pertanian yang ditentukan nilai difusivitas panasnya adalah alpukat, mangga dan ubi jalar. Pada alpukat dan mangga, nilai difusivitas yang ditentukan adalah pada bagian daging. Distribusi suhunya digunakan untuk menduga difusivitas panas bahan tersebut. Nilai difusivitas panas hasil pendugaan dari jaringan syaraf tiruan dapat dilihat pada Tabel 1.

Nilai difusivitas dipengaruhi oleh beberapa faktor misalnya adalah komposisi kimia bahan, suhu dan lain-lain. Nilai difusivitas buah alpukat yang didapat oleh Setiawan (1980) adalah 0.22 m²/menit, sedangkan dengan metode inversi didapat nilai 1.0 m²/menit. Perbedaan ini disebabkan karena pada metode inversi ini hanya difusivitas untuk dagingnya saja, buah bukan secara utuh.

Validasi Nilai Difusivitas Panas

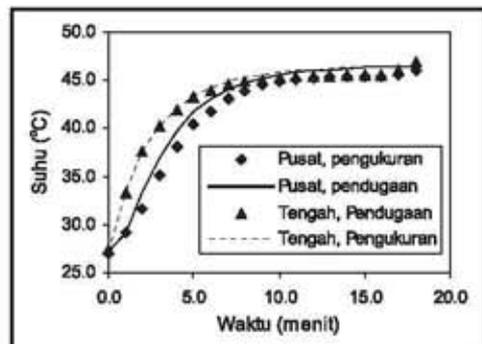
Validasi nilai difusivitas panas yang ditentukan dengan model inversi ini dilakukan dengan melakukan pengukuran distribusi suhu pada bahan pertanian secara langsung pada saat hot water treatment. Daging buah alpukat, mangga dan ubi jalar dimasukkan ke dalam air yang sudah dipanaskan pada suhu 47.5

°C. Distribusi suhu yang dihasilkan dengan pengukuran langsung kemudian dibandingkan dengan distribusi suhu yang dihasilkan dengan menggunakan *finite difference* yang nilai difusivitas yang sudah ditentukan.

Pada Gambar 7 dapat dilihat perubahan suhu pusat dan suhu tengah yang didapat dengan cara pengukuran dan dengan menggunakan *finite difference* dengan menggunakan nilai difusivitas panas yang didapat dengan metode inversi pada daging buah alpukat.

Suhu pusat daging buah alpukat pendugaan mendekati suhu pusat hasil pengukuran. Perbedaan suhu pusat terbesar terjadi pada saat menit ke-3 yaitu sebesar 5.4 % dengan suhu pusat pendugaan sebesar 37.0 °C sedangkan suhu pusat pengukuran baru mencapai 35.1 °C. Demikian juga dengan suhu tengah daging buah alpukat pendugaan mendekati suhu hasil pengukuran, dengan kesalahan terbesar terjadi pada menit ke 13 yaitu sebesar 1.8 %.

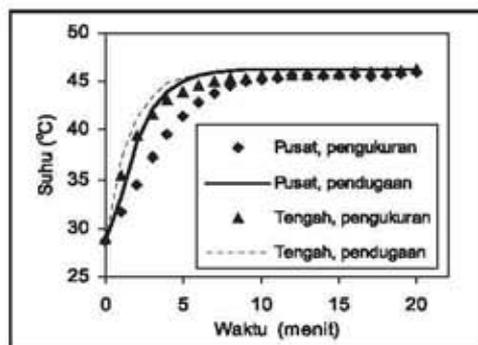
Perbandingan suhu pendugaan dengan hasil pengukuran selama hot water treatment pada daging buah mangga dapat dilihat pada Gambar 8. Pada gambar terlihat bahwa pola kenaikan suhu pengukuran dan pendugaan relatif sama, namun suhu pendugaan selalu lebih tinggi daripada suhu pengukuran sampai menit ke-20.



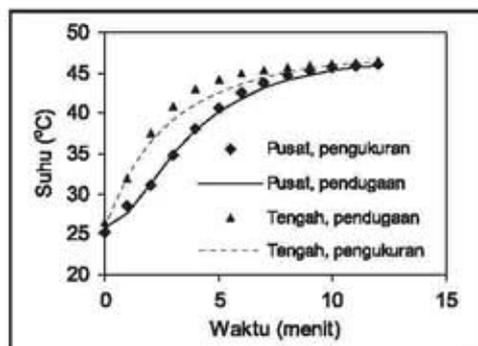
Gambar 7. Suhu pendugaan dan pengukuran pada daging buah alpukat.

Perbedaan yang terjadi antara suhu pendugaan dan suhu pengukuran cukup besar terutama pada menit ke-2 sampai menit ke-6, namun rata-rata nilai kesalahannya tidak besar yaitu 4.0 % untuk suhu pusat dan 1.9 % untuk suhu tengah bahan.

Perbandingan suhu pendugaan dengan pengukuran pada ubi jalar dapat dilihat pada Gambar 9. Suhu pusat pendugaan relatif sama dengan suhu pusat pengukuran hingga menit ke-5. Setelah itu suhu pengukuran lebih tinggi daripada suhu pendugaan sampai menit ke-9, namun kesalahan suhu pendugaan sangat kecil yaitu 1.3-1.7 %. Pada bagian tengah bahan, setelah menit ke-2 suhu pengukuran selalu lebih tinggi daripada suhu pendugaan. Namun perbedaannya



Gambar 8. Suhu pendugaan dan pengukuran pada daging buah mangga.



Gambar 9. Suhu pendugaan dan pengukuran pada ubi jalar..

relatif kecil yaitu dengan dengan rata-rata kesalahan sebesar 2.1 %. Suhu pusat pengukuran pada saat akhir pemanasan adalah 46.2 °C, pada waktu yang sama suhu pusat pendugaannya baru mencapai 46.0 °C. *Error* yang terjadi pada saat itu adalah 0.5 %. Nilai kesalahan terbesar terjadi pada menit ke- 4 pada suhu tengah bahan yaitu sebesar 4.2 %. Suhu pengukuran pada saat itu adalah 42.9 °C sedangkan suhu pendugaannya adalah 41.1 °C.

KESIMPULAN

1. Metode inversi untuk pendugaan difusivitas panas hasil pertanian berdasarkan *finite difference* dan jaringan syaraf tiruan telah dikembangkan. Pada metode ini *finite difference* digunakan sebagai komponen untuk membuat data training untuk jaringan syaraf tiruan.
2. Metode inversi yang dikembangkan telah digunakan untuk menduga difusivitas panas pada daging buah alpokat, mangga dan ubi jalar.
3. Nilai kesalahan pendugaan suhu selama proses perlakuan air panas pada daging buah alpokat, mangga, dan ubi jalar berada di bawah 5 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Harsitorukmi, M.G. 1988. Difusivitas Panas Buah Semangka (*Citrus vulgaris* Schrad). Skripsi. Jurusan Teknik Pertanian, IPB, Bogor.
- Holman, J. P. 1997. Heat Transfer. 8th Edition, McGraw-Hill, Inc., New York, USA.
- Manalu, L.P. dan K. Abdullah. 1998. Penentuan difusivitas panas dan konduktivitas wortel (*Daucus carota* L.). Buletin Keteknikan Pertanian 12(2): 32-37.

- Morley, M.J. 1966. Thermal conductivities of muscles, fats, and bones. *Journal Food Technology* 1: 303.
- Qashou, M., G.H. Nix., R.I. Vachon dan G.W. Lowery. 1970. thermal conductivity values for ground beef and chuck. *Food Technology* 24: 493.
- Setiawan, Y. 1980. Menentukan Difusivitas Panas dari Buah-buahan Berbentuk Bulat. Skripsi. Jurusan Teknik Pertanian, IPB, Bogor, Indonesia.
- Suroso, H. Murase, A. Tani, N. Honami, H. Takigawa dan Y. Nishlura. 1996. Inverse technique for analysis of convective heat transfer over the surface of plant culture vessel. *Trans.ASAE* 39(6): 2277-2282.
- Suroso, H. Murase dan N. Honami. 1996. Neural network inverse analysis for plant thermal behavior. *Acta Horticulturae*, 440: 481 - 485.
- Suroso, H. Murase dan N. Honami. 1997. Application of finite element neural network in predicting thermal characteristics of heat equivalent mass. In proceedings of 11th IFAC symposium on System Identification Vol. 4, Kitakyushu, Japan, 8 - 11 July, 1997.
- Tastra, I.K. 2004. Simple descriptive model for measuring the thermal diffusivity of arrowroot flour using Dickerson method. *International Agricultural Engineering Journal* 13:107-112.
- Welty, J. R. 1978. *Engineering Heat Transfer*. John Wiley and Sons. New York, N.Y. USA.
- Woodams, E. dan J.E. Nowrey. 1968. Literature values of thermal conductivities of foods. *Food Technology* 22: 494.

