

EKSPERIMEN PENGARUH BEBAN PANAS TERHADAP KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS OVEN PENDING CENKIH

Nicolas Titahelu *

Abstract

Investigate effect of heat load (Q^*) for free convection heat transfer and applied to design clove drying oven to the answer peoples needs used traditional clove drying oven. Innovative model clove drying oven should be modified with reduction air temperature where upper and bottom wall will be opened so that Nusselt number (Nu) enhanced with heat generation from heater i.e. 600 W. An experimental investigation is made of the interaction between heat load (Q^*) = 400 to 600 W range and room temperature (T_{ro}) = 40 Celsius degree constant, to observe free convection heat transfer characteristic clove drying oven. Experimental investigation result show enlargement of heat load (Q^*) given heat transfer rate of heater increasing with gradient upward 55.22 percentages significant and maximum at head load (Q^*) = 550 W i.e. 888.09 W with 97.44 percentage heat transfer by air and clove drying for 8 hours. Increased with enlargement heat load (Q^*) < 550 W rises gradient significant heat transfer characteristic of Ra , Nu , h , q_{ud} and q_p i.e. 7.73, 9.25, 9.17, 68.01 and 54.33 percentage, respectively.

Keywords: Heat load, Clove drying oven, Natural convection, Rayleigh numbers, Nusselt numbers, and Coefficient convection.

I. PENDAHULUAN

Cengkih merupakan salah satu komoditas pertanian yang tinggi nilai ekonomisnya. Pemanfaatannya mulai beraneka ragam dari rempah-rempah kemudian berkembang sebagai bahan campuran rokok kretek dan pada saat ini telah dimanfaatkan di bidang industri farmasi sebagai bahan pembuatan minyak atsiri (Najiyati dan Danarti, 2002). Proses pengeringan yang selama ini digunakan oleh petani cengkih secara tradisional dengan memanfaatkan sinar matahari membutuhkan 2-3 hari dengan waktu pengeringan per hari antara 8-9 jam, kenyataannya proses pengeringan ini sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan (temperatur). Terkadang pasca panen petani cengkih bertepatan dengan musim penghujan sehingga proses pengeringan secara tradisional menjadi kendala petani. Penelitian yang dilakukan oleh (Davies M. R. D, 2000) menyatakan bahwa perubahan temperatur udara bebas berpengaruh terhadap bilangan Nusselt dimana semakin tinggi temperatur udara bebas di dalam enclosure maka semakin rendah bilangan Nusselt. Bilangan Nusselt adalah koefisien perpindahan panas konveksi dan merupakan karakteristik perpindahan panas yang terjadi. Jika bilangan Nusselt semakin besar maka efek perpindahan panasnya semakin baik dan sebaliknya. Jika diaplikasikannya hasil penelitian Davies ini pada proses pengeringan cengkih dimana oven pengering ini bekerja pada kondisi konveksi bebas (*free convection*) terjadi antara permukaan

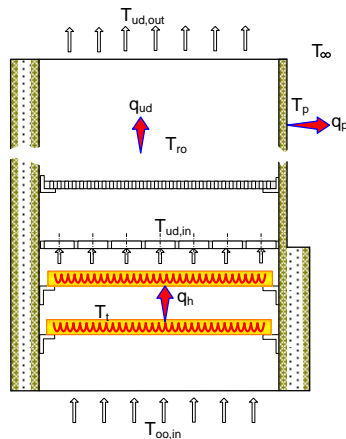
cengkih dan fluida yang bergerak pada permukaannya. Pergerakan fluida tersebut disebabkan oleh gaya apung (bouyanci) akibat perbedaan densitas fluida yang ditimbulkan oleh gradient temperatur aliran udara. Untuk itu dalam penelitian ini, akan dirancang suatu oven pengering cengkih dalam saluran vertikal dengan harapan akan terjadi sirkulasi udara bebas untuk menurunkan temperatur udara bebas dan menaikkan angka Nusselt. Jika memvariasikan beban panas (Q^*) pada oven pengering cengkih mengindikasikan laju perpindahan panas dari cengkih akan semakin terakselerasi sehingga akan diperoleh kualitas cengkih yang memenuhi 12-14 persen kadar air (Najiyati dan Danarti, 2002) dan memperpendek waktu pengeringan, dengan memanfaatkan panas yang dibangkitkan dari elemen listrik sebagai sumber panas. Penelitian ini akan divariasikan beban panas (Q^*) = 400 hingga 600 °C pada temperatur kamar (T_{ro}) dan temperatur sekeliling (T_{∞}) konstan, masing-masing sebesar 40 °C dan 28 °C.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Gambar 1 menjelaskan balans panas dari oven pengering cengkih dengan sumber panas berasal dari heater yang diletakan dalam tube menyebabkan perpindahan panas dari tube ke

* Nicolas Titahelu, Dosen Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Unpatti Ambon

udara bebas dalam oven secara konveksi bebas melalui udara yang mengalir dari saluran udara masuk.



Gambar 1 Skema balans energi oven pengering cengkik

Udara panas tersebut akan bergerak ke atas akibat gradien temperatur yang menyebabkan densitas udara yang melintasi tube heater akan lebih ringan dan keluar melalui saluran udara keluar. Udara panas sebelum keluar akan melintasi cengkik yang diletakkan pada rak dalam oven pengering serta menguapkan air yang dikandung oleh cengkik. Energi panas dari heater dapat dipindahkan melalui udara dan pelat, sehingga kesetimbangan energi pada sistem di atas sebagai berikut :

$$q_h = q_{ud} + q_{pelat} \quad (1)$$

dimana q_h adalah perpindahan panas dari heater yang mengalir dari permukaan tube bagian dalam dari oven pengering cengkik dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$q_h = \frac{T_h - T_\infty}{\frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi Lk} + \frac{1}{\pi D_o Lh}} + \frac{T_h - T_\infty}{\frac{1}{2\pi k} \left(\frac{1}{D_i} - \frac{1}{D_o} \right) + \frac{1}{\pi D_o^2 h}} \quad (2)$$

dimana q_h = laju perpindahan panas heater [W], T_h = temperatur permukaan heater [K], T_∞ = temperatur sekeliling [K], D_i dan D_o = diameter dalam dan luar [m], k = konduktivitas termal tube [W/m.K], L = panjang tube [m], h = koefisien perpindahan panas konveksi [W/m².K]. Sedangkan perpindahan panas yang terjadi pada sisi pelat yaitu dimulai dengan perpindahan panas udara dalam oven pengering ke sisi pelat bagian dalam secara konveksi, berikutnya perpindahan panas pelat bagian dalam ke sisi pelat bagian luar secara konduksi dan selanjutnya perpindahan panas dari sisi pelat bagian luar ke udara sekeliling secara konveksi. Dengan demikian pada eksperimen ini perpindahan panas pada sisi pelat dapat diselesaikan dengan persamaan berikut

$$q_p = q_{konv} (T_p - T_\infty)$$

$$= h \cdot A_p (T_p - T_\infty) \quad (3)$$

dimana h = koefisien konveksi pelat rerata [W/m².K], A_p = luas penampang pelat [m²]. Untuk mendapatkan koefisien perpindahan panas konveksi berlaku persamaan berikut :

$$h = \frac{Nu \cdot k}{L_p} \quad (4)$$

dimana Nu = bilangan Nusselt, k = konduktivitas thermal dari pelat [W/m.K], L_p = panjang pelat [m]. Untuk perpindahan panas secara konveksi bebas, bilangan Nusselt merupakan fungsi dari bilangan Rayleigh. Dimana bilangan Nusselt untuk perpindahan panas secara konveksi bebas pada tube isothermal berlaku persamaan berikut ini :

$$Nu_{L_p} = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_{L_p}^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{\frac{1}{4}} \right]^{\frac{4}{7}}} \right\}^2 \quad (5)$$

Dengan Ra = bilangan Rayleigh, Pr = bilangan Prandlt, sedangkan persamaan bilangan Rayleigh diperoleh :

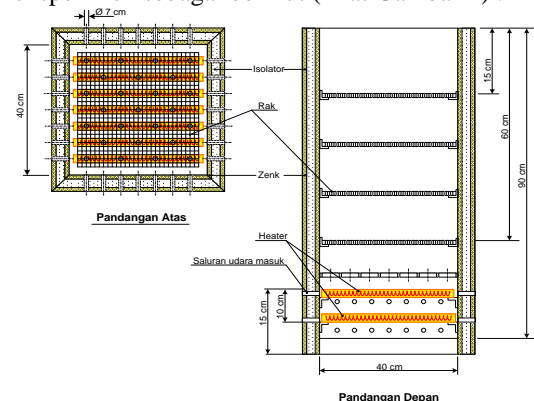
$$Ra = \frac{g \cdot L_p^3 \cdot \beta (T_{s,2} - T_{\infty,2})}{\nu \cdot \alpha}$$

(6)

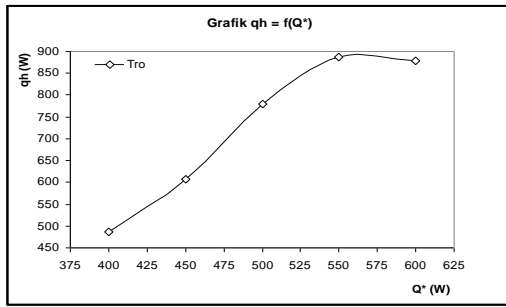
dimana g = percepatan gravitasi [m/s²], β = koefisien ekspansi thermal volumetric udara = $1/T_f$, ν = viskositas kinematik udara [m²/s], α = diffusivitas thermal udara [m²/s].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Adapun variabel penelitian dibedakan atas variabel bebas yakni beban panas (Q^*) dan variabel terikat terhadap karakteristik perpindahan panas oven pengering cengkik yakni: Ra , Nu , h , q_h , q_p , q_{ud} . Instalasi yang diperlukan untuk melakukan eksperimen sebagai berikut (lihat Gambar 2) :



Gambar 2 Skema instalasi eksperimen



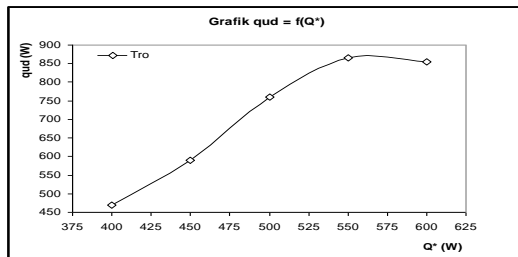
Gambar 5 Laju perpindahan panas heater (q_h)

Gambar 5 memperlihatkan kenaikan laju perpindahan panas heater cukup signifikan terjadi pada Q* < 550 W dengan gradien kenaikan yang curam. Laju perpindahan panas heater (q_h) terendah pada Q* = 400 W dan optimal pada Q* = 550 W. Penambahan beban panas (Q*) > 550 W tidak lagi berpengaruh secara signifikan terhadap laju perpindahan panas heater. Fenomena ini terjadi disebabkan oleh semakin meningkatnya temperatur heater rata-rata terhadap laju perpindahan panas heater dan pada beban panas (Q*) > 550 W terjadi penurunan laju perpindahan panas heater dengan gradien penurunan yang landai. Nampak pula bahwa profil distribusi temperatur heater merata cenderung sama dengan profil distribusi laju perpindahan panas heater. Hal ini sesuai pula dengan persamaan laju perpindahan panas heater dimana laju perpindahan panas heater merupakan berbanding lurus dengan temperatur rata-rata heater, sebagai berikut :

$$q_h = \frac{T_h - T_\infty}{\frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi L_i k_i} + \frac{1}{\pi D_o L_i h}} + \frac{T_h - T_\infty}{\frac{1}{2\pi k_i \left(\frac{1}{D_i} - \frac{1}{D_o}\right)} + \frac{1}{\pi D_o^2 h}}$$

4.2. Analisa Panas Udara

Gambar 6 memperlihatkan bahwa semakin besar beban panas (Q*) dengan temperatur ruang oven pengering (T_{ro}) konstan maka semakin akselerasi pula laju perpindahan panas udara (q_{ud}) dimana peningkatan laju perpindahan panas udara (q_{ud}) cukup signifikan terjadi pada beban panas (Q*) < 550 W dengan gradien kenaikan curam, sedangkan untuk beban panas (Q*) > 550 W terjadi pula deselerasi laju perpindahan panas udara (q_{ud}) tetapi tidak signifikan dengan gradien penurunan landai.



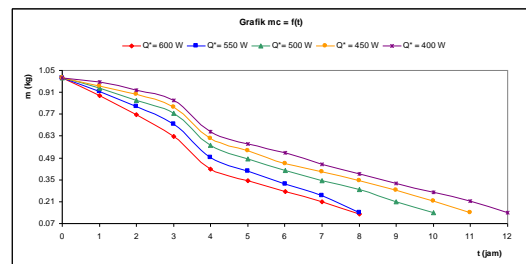
Gambar 6 Laju perpindahan panas udara (q_{ud}) fungsi beban panas (Q*)

Laju perpindahan panas udara (q_{ud}) optimal terdapat pada (Q*) = 550 W sedangkan laju perpindahan panas

udara (q_{ud}) minimum terdapat pada (Q*) = 400 W. Hal ini menunjukkan bahwa laju perpindahan panas heater (q_h) sangat dipengaruhi secara dominan oleh temperatur udara yang mengalir dalam saluran. Fenomena ini berarti semakin besar beban panas (Q*) pada temperatur kamar (T_{ro}) tertentu semakin kuat pengaruh gaya bouyant yang disebabkan oleh meningkatnya percepatan udara akibat gradien temperatur udara yang melintasi permukaan tube heater semakin curam, mengakibatkan temperatur udara merata meningkat pula. Hal ini berkaitan pula dengan semakin besar temperatur kamar oven (T_{ro}) maka udara dalam saluran mengalami percepatan menyebabkan laju alir massa udara semakin meningkat.

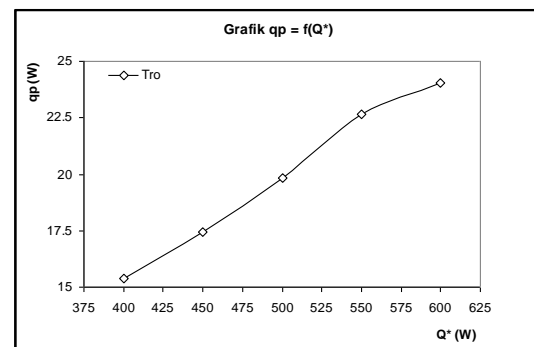
4.3. Analisa Konsumsi Panas Cengkih

Gambar 7 memperlihatkan bahwa semakin besar beban panas (Q*) maka waktu yang diperlukan untuk mengeringkan cengkih lebih cepat yakni 8 jam, dengan kadar air yangandung cengkih antara 12-14% atau dengan berat akhir produk antara 0.12 – 0.14 kg.



Gambar 7 Laju pengeringan cengkih fungsi beban panas (Q*)

4.4. Analisa Panas Pelat

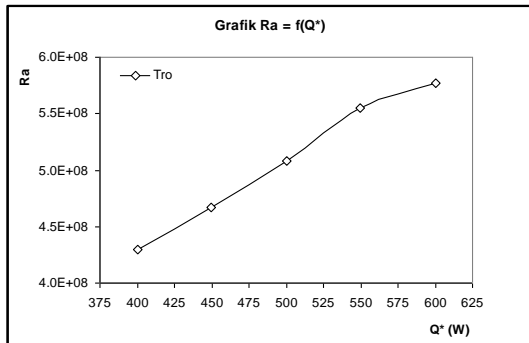


Gambar 8 Laju perpindahan panas pelat (q_p) fungsi beban panas (Q*)

Gambar 8 memperlihatkan bahwa semakin besar beban panas (Q*) dengan temperatur kamar oven (T_{ro}) konstan maka semakin akselerasi pula laju perpindahan panas pelat (q_p). Kenaikan laju perpindahan panas pelat (q_p) cukup signifikan terjadi pada beban panas (Q*) < 550 W dengan gradien kenaikan curam, sedangkan pada beban panas (Q*) > 550 W terjadi pula kenaikan laju

perpindahan panas pelat (q_p) tetapi tidak signifikan dengan gradien kenaikan landai. Laju perpindahan panas pelat (q_p) optimal terdapat pada beban panas (Q^*) = 600 W sedangkan minimum pada beban panas (Q^*) = 400 W. Fenomena ini memperlihatkan laju perpindahan panas pelat (q_p) sangat didominasi oleh kenaikan temperatur pelat rata-rata. Fenomena ini terjadi karena dengan semakin bertambahnya beban panas (Q^*) untuk temperatur kamar oven (T_{ro}) konstan, maka temperatur pelat rata – rata akan semakin meningkat sehingga mengakibatkan beda temperatur pelat dengan temperatur lingkungan menjadi semakin curam.

Gambar 9 memperlihatkan bahwa untuk setiap temperatur kamar oven (T_{ro}) konstan, maka harga bilangan Rayleigh (Ra) akan semakin meningkat dengan semakin bertambahnya beban panas (Q^*). Peningkatan bilangan Rayleigh (Ra) akan mencapai optimal pada beban panas (Q^*5) = 6000 W, sedangkan minimum pada beban panas (Q^*1) = 400 W. Sementara untuk beban panas (Q^*) < 550 W terjadi peningkatan bilangan Rayleigh cukup signifikan dengan gradien kenaikan curam dan untuk beban panas (Q^*) > 550 W terjadi pula kenaikan bilangan Rayleigh (Ra) tetapi tidak terlalu signifikan dengan gradient kenaikan landai. Bilangan Rayleigh (Ra) menunjukkan tingkat gaya bouyancy, dimana semakin besar bilangan Rayleigh maka gaya bouyancynya menjadi semakin besar pula, dan berlaku juga sebaliknya bahwa semakin kecil bilangan Rayleigh maka gaya bouyancy-nya menjadi semakin kecil pula.



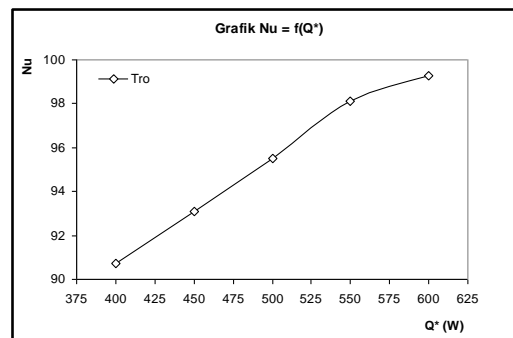
Gambar 9 Bilangan Rayleigh (Ra) fungsi beban panas (Q^*)

Gaya bouyancy yang besar akan menyebabkan efek turbulensi fluida yang semakin besar sehingga pencampuran udara yang mengalir pada sekitar permukaan pelat juga semakin besar. Hal ini sesuai dengan persamaan bilangan Rayleigh berikut ini :

$$Ra = \frac{g \cdot L_p^3 \cdot \beta \cdot (\bar{T}_p - T_\infty)}{\nu \cdot \alpha}$$

Gambar 10 memperlihatkan semakin besar beban panas (Q^*) pada temperatur kamar oven (T_{ro}) tertentu maka bilangan Nusselt (Nu) semakin meningkat cukup signifikan dengan gradien kenaikan curam, kondisi terjadi pada beban panas (Q^*) < 550 W dan pada beban panas (Q^*) > 550 W terjadi pula kenaikan bilangan Nusselt (Nu) tetapi tidak signifikan dengan gradien

kenaikan landai. Nu optimal terjadi pada beban panas (Q^*) = 600 W dan minimum pada (Q^*) = 400 W.

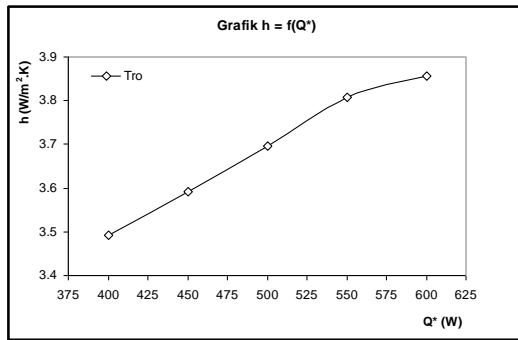


Gambar 10 Bilangan Nusselt (Nu) fungsi beban panas (Q^*)

Fenomena ini disebabkan oleh semakin meningkatnya temperatur pelat rata-rata menyebabkan semakin curam gradien temperatur pelat rata-rata dengan temperatur sekeliling yang konstan mengakibatkan bilangan Nusselt (Nu) pada sisi pelat semakin meningkat. Bilangan Nusselt merupakan fungsi dari bilangan Rayleigh (Ra) dan bilangan Prandtl (Pr) dimana semakin meningkatnya temperatur pelat rata-rata maka bilangan Ra mengalami peningkatan sedangkan bilangan Pr semakin mengalami penurunan. Bilangan Nusselt (Nu) merupakan salah satu parameter yang sangat penting untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas konveksi. Dari penelitian pendahuluan yang telah dilakukan bahwa bilangan Nusselt adalah ratio antara konveksi dan konduksi fluida. Semakin meningkatnya bilangan Nusselt (Nu) sebagai akibat bertambahnya beban panas (Q^*) karena bilangan Nu berbanding lurus dengan bilangan Ra , sesuai pula dengan persamaan berikut ini:

$$\overline{Nu}_L = 0.68 + \frac{0.670 Ra_L^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}}$$

Gambar 11 memperlihatkan semakin bertambahnya beban panas (Q^*) pada temperatur kamar oven (T_{ro}) konstan maka koefisien perpindahan panas konveksi semakin meningkat cukup signifikan dengan gradien kenaikan curam terjadi pada beban panas (Q^*) < 550 W dan pada (Q^*) > 550 W terjadi pula kenaikan koefisien perpindahan panas konveksi tetapi tidak signifikan dengan gradien kenaikan landai. Fenomena ini terjadi karena dengan bertambahnya beban panas (Q^*) maka temperatur pelat rata-rata menjadi semakin meningkat sehingga mengakibatkan harga bilangan Rayleigh menjadi semakin meningkat juga.



Gambar 11 Koefisien konveksi (h) fungsi beban panas (Q*)

Dengan semakin meningkatnya bilangan Rayleigh tersebut mengakibatkan harga bilangan Nusselt menjadi semakin meningkat pula dan hal ini akan mengakibatkan harga koefisien konveksi menjadi semakin meningkat, sesuai dengan persamaan dibawah ini :

$$h = \frac{Nu \cdot k}{L}$$

Semakin meningkatnya temperatur pelat rata-rata menyebabkan gradien temperatur pelat rata-rata dan udara sekeliling yang konstan semakin curam menyebabkan laju perpindahan panas konveksi pada sisi pelat ke udara luar menjadi semakin meningkat sehingga laju perpindahan panas pelat turut meningkat. Hal ini sesuai dengan persamaan laju perpindahan panas pelat berbanding lurus dengan temperatur pelat rata-rata, yang sebagai berikut :

$$q_p = h \cdot A (\bar{T}_p - T_\infty)$$

V. KESIMPULAN

Hasil penelitian eksperimen dengan memvariasikan beban panas (Q*) = 400-600 W pada temperatur kamar oven (T_{ro}) = 40 °C konstan dihasilkan beberapa kesimpulan, diantaranya :

1. Semakin besar beban panas (Q*) pada temperatur kamar oven (T_{ro}) konstan maka karakteristik perpindahan panas semakin meningkat kondisi ini terjadi pada Q* < 550 W dan unjuk kerja semakin deselerasi, sedangkan pada Q* > 550 W sebaliknya.
2. Karakteristik perpindahan panas optimal terdapat pada beban panas (Q*) = 550 W dengan waktu pengeringan cengkih selama 8 jam dan minimum pada beban panas (Q*) = 400 W dengan waktu pengeringan cengkih selama 12 jam.
3. Bertambah besar beban panas (Q*) < 550 W dengan temperatur kamar oven (T_{ro}) = 40 °C, maka diperoleh :
 - Laju perpindahan panas heater semakin terakselerasi dari 485,65 W menjadi 879,44 W atau meningkat sebesar 55,22 %.
 - Laju perpindahan panas heater maksimum pada beban panas (Q*) = 550 W sebesar 888,09 W dengan 97.44 % panas diserap oleh udara.

- Distribusi bilangan Rayleigh (Ra) semakin terakselerasi dari 4.29×10^8 hingga 5.077×10^8 atau meningkat 1.34%.
- Distribusi bilangan Nussel (Nu) semakin terakselerasi dari 90.71 menjadi 99.27 atau meningkat sebesar 1.10 %.
- Distribusi koefisien perpindahan panas konveksi (h) semakin terakselerasi dari 3.49 (W/m².K) menjadi 3.86 (W/m².K) atau meningkat sebesar 1.09 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Bejan, A., Fowler, A. J dan Stanesco, G., 1995, "The Optimal Spacing between Horizontal Cylinder in Fixed Volume Cooled by Natural Convection", International Journal Heat and Mass Transfer, vol.38, pp 2047-2055.
- Cengel, Yunus, A., 1998, "Heat Transfer a Practical Approach", McGraw-Hill, New York.
- Davies, M. R. D., 2000, "On Gaseous Free Convection Heat Transfer with Well-Defined Boundary Condition", Journal of Heat Transfer, vol. 122, pp. 3-10.
- Holman, J. P., 1997, Alih bahasa oleh Jasjfi, "Perpindahan Kalor", Airlangga, Indonesia.
- Incropera, F. P dan DeWitt, D. P., 1996, "Fundamental of Heat and Mass Transfer", John Wiley and Sons, New York.
- Kays, W. M dan Crawford, M. E., 1993, "Convective Heat and Mass Transfer", McGraw-Hill, Inc, New York.
- Manca, O., Nardini, S dan Naso, V., 2002, "Effect on Natural Convection of the Distance Between an Inclined Discretely Heated Plat and a Parallel Shroud Below", Journal of Heat Transfer, vol.124, pp. 441-451.
- Naylor, D dan Oosthuizen, P. H., 1999, "Introduction to Convective Heat Transfer Analysis", McGraw-Hill, New York.
- Newport, D. T., Dalton, T. M., Davies, M. R. D., Whelan, M dan Forno, C., 2001, "On the Thermal Interaction Between an Isothermal Cylinder and its Isothermal Enclosure for Cylinder Rayleigh Numbers of Order 10⁴", Journal of Heat Transfer, vol.123, pp 1052-1061.
- Prabowo., Irie, M., Fujie, K., Suzuki, H dan Kikuchi, Y., 1997, "Combined Forced and Free Convection Around Two In-line Cylinders in Crossflow, Int. Conference on Fluid and Thermal Eng. Con, Indonesia.

- Sadeghipour dan Asheighi., 1994, “**Free Convection Heat Transfer From Arrays of Vertically Separated Horizontal Cylinders at Low Rayleigh Numbers**”, *Journal of Heat Transfer*, vol.37, p 103-109.
- Sri Najiyati dan Danarti, 2002, “**Budidaya dan Penanganan Pascapanen Cengkih**”, Edisi Revisi., Penebar Swadaya., Jakarta.
- Velusamy, K., Sundararajan, T dan Seetharamu, K. N., 2001, “**Interaction Effects Between Surface Radiation and Turbulent Natural Convection in Square and Rectangular Enclosure**”, *Journal of Heat Transfer*, vol.123, p 1062-1070.