

PERBANDINGAN PENERAPAN JENIS DAN TEBAL ISOLASI THERMAL TERHADAP KOEFISIEN KONVEKSI OVEN RUMAH TANGGA

Pieter W. Tetelepta *

Abstract

An experimental study was conducted to investigate the effect of type and thickness insulation for natural convection of heat transfer coefficient convective on clove drying oven. Investigation was made on the range of varying thickness insulation (dx) at 1 to 4 cm with a constant head load (Q^*) at 600 W and surrounding temperature at 28 degree Celsius. Rayleigh number (Ra), Nusselt number (Nu) and coefficient convective (h) resulted in the increase of acceleration at 1.32, 1.07 and 1.08 percentage, respectively on clove drying oven after modification. Before modification clove drying oven its increase too with enlargement T_{ro} i.e. 1.54, 1.11 and 1.18 percentage, respectively.

Keywords: *Room temperature clove, insulation glass woll, natural convection, Rayleigh number, coefficient convective*

I. PENDAHULUAN

Minyak dan gas bumi merupakan energi fosil yang ketersediaannya makin terbatas karena tidak terbarukan. Energi fosil ini mempunyai peranan yang penting dalam pembangunan, selain untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat (Soeleiman, 1998). Oven rumah tangga merupakan salah satu konstruksi atau peralatan pendukung yang sering dijumpai dan digunakan dalam industri rumah tangga sebagai alat pengering produk pada berbagai lapisan masyarakat. Proses perpindahan panas seperti ini menurut (Incropera dan de Witt), 1996 berlangsung secara konduksi, konveksi dan radiasi. Energi dalam bentuk panas ini akan menaikkan suhu ruangan oven yang digunakan sebagai tempat pengeringan produk yang berlangsung dalam selang waktu tertentu. Oven pengering yang selama ini digunakan oleh industri rumah tangga belum memanfaatkan energy panas secara optimal sehingga sebagian besar panas hilang secara konduksi, konveksi dan radiasi ke sekeliling. Terjadinya kehilangan panas ke sekeliling dari oven rumah tangga akibat dari desain konstruksi yang sederhana. Jika dimodifikasi oven dengan menerapkan isolasi thermal pada dinding oven tersebut maka kerugian panas akibat dari perpindahan panas konduksi dan konveksi dapat diperkecil serta dapat menghasilkan panas yang optimal guna menghemat waktu dan bahan bakar.

Berdasarkan hukum Fourier untuk laju aliran panas konduksi tergantung dari konduktifitas termal, luas penampang perpindahan panas, tebal material oven pengering (dx) dan gradien temperatur (dT). Dengan menerapkan jenis dan tebal isolasi thermal pada dinding oven pengering (memperkecil Δx) dimaksudkan untuk memperkecil luas bidang perpindahan panas sehingga kehilangan panas dapat diperkecil. Jika diaplikasikan hasil penelitian Davies pada oven rumah tangga dibutuhkan bilangan Nusselt yang kecil, sehingga temperatur udara dalam ruang oven pengering meningkat menyebabkan proses perpindahan panas dari kompor listrik ke oven dapat berlangsung dengan baik dan cepat.

Penelitian ini akan memodifikasi oven rumah tangga dengan cara memberikan jenis dan tebal isolasi thermal (dx) pada sisi depan, samping kanan, samping kiri dan atas sebagai dinding adiabatik. Salah satu sisi dinding belakang dianggap sebagai dinding isothermal. Jika memvariasikan tebal (dx) dan jenis isolasi thermal oven pengering pada temperatur kamar (T_{ro}) = 160 °C dan beban panas konstan yakni 600 W mengindikasikan laju perpindahan panas dari oven pengering akan semakin meningkat pula. Tebal isolasi thermal oven pengering rumah tangga (dx) divariasikan dari 1 cm hingga 5 cm untuk jenis isolasi thermal glasswoll dan asbes. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar perubahan laju koefisien konveksi akibat variasi

* Pieter W Tetelepta, Dosen Program Studi Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Unpatti Ambon.

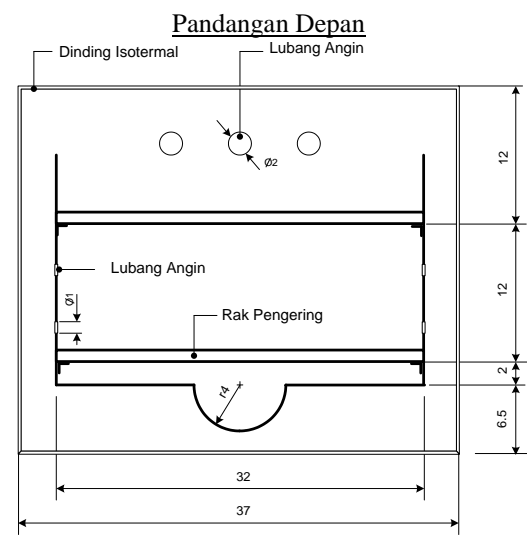
tebal isolasi termal (dx) dan membandingkan jenis isolasi thermal asbes dan glass woll.

II. METODOLOGI PENELITIAN

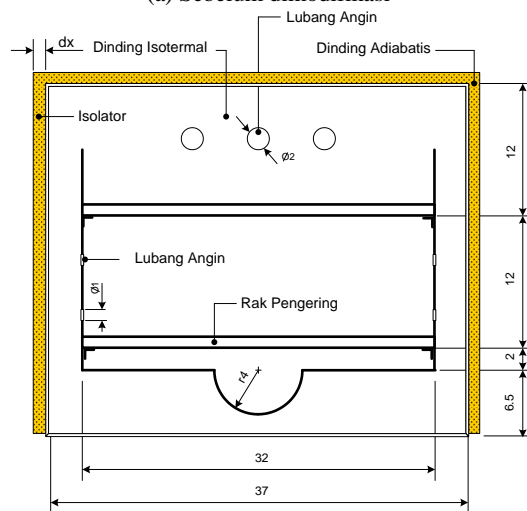
1. Variabel Penelitian

Adapun variabel penelitian dibedakan atas variabel bebas yakni tebal isolasi termal (dx) dan variabel terikat yakni karakteristik perpindahan panas oven pengering yakni: q_p , q_{ud} , Ra , Nu , h . Secara matematis ditulis : $q_p = f(T_{ro})$, $q_{ud} = f(T_{ro})$, $Ra = f(T_{ro})$, $Nu = f(T_{ro})$, $h = f(T_{ro})$.

2. Instalasi Penelitian



(a) Sebelum dimodifikasi



(b) Setelah dimodifikasi

Gambar 1. Instalasi penelitian

3. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian dari oven rumah tangga sebagai berikut:

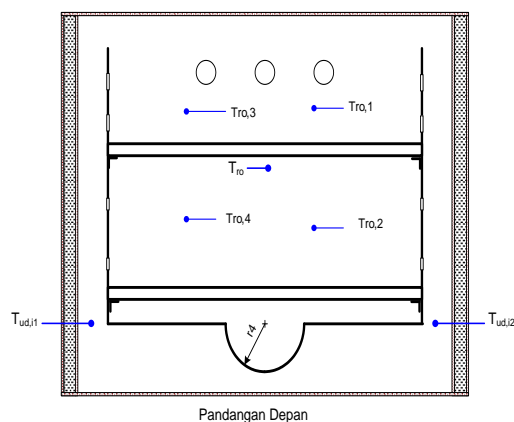
1. Menyiapkan oven pengering rumah tangga sesuai dengan gambar 1 di atas dengan ketebalan isolasi

(dx) = 1-5 cm untuk jenis isolasi thermal asbes dan glass woll.

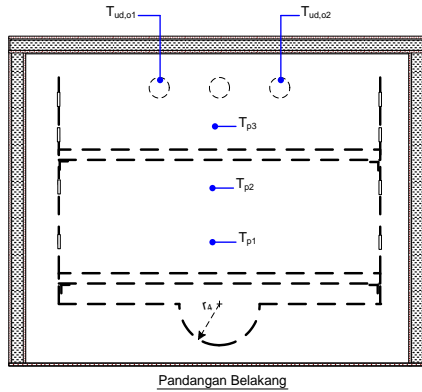
2. Menyiapkan kompor listrik yang berfungsi sebagai sumber panas dinyalakan dengan beban panas konstan 600 W.
3. Kemudian oven diletakan di atas kompor listrik.
4. Setting temperatur ruang (T_{ro}) = 160 °C.
5. Energi dalam bentuk panas yang dihasilkan oleh kompor tersebut diteruskan ke oven sehingga menaikkan suhu ruang sebesar 160 °C pengering pada oven, jika $T_{ro} > 160$ °C atau $T_{ro} < 160$ °C akan dideteksi oleh sensor pemanas sehingga hubungan listrik akan diputuskan.
6. Masukkan rak-rak pengering yang telah diletakkan roti sebagai produk pengering, tunggu hingga temperatur ruang (T_{ro}) telah mencapai kondisi stedi.
7. Pengambilan data temperatur udara masuk ($T_{ud,i}$), temperatur udara keluar ($T_{ud,o}$), temperatur pelat (T_p), temperatur udara sekeling (T_{∞}) dengan menggunakan termocoupe Tipe T yang dihubungkan dengan display digital thermocontroller pada selang 15 menit.
8. Selang 30 menit prodak pengering berupa roti dikeluarkan dari oven pengering untuk ditimbang untuk mengetahui berat akhir produk sebesar 20% dari berat awal.
9. Mengulangi langkah ke 5 hingga langkah ke 8 untuk berbagai variasi tebal isolasi thermal (dx) = 1 – 5 cm untuk jenis isolasi thermal asbes dan glass woll pada temperatur ruang oven pengering konstan (T_{ro}) = 160 °C.

4. Teknik Pengambilan Data

Pengukuran temperatur pada model uji dilakukan dengan menggunakan thermocouple dan dibaca dengan menggunakan display thermometer. Pembacaan temperatur dilakukan saat kondisi dari model uji dalam keadaan steady. Penempatan alat ukur pada model uji adalah sebagai berikut:



Pandangan Depan



Gambar 2. Lokasi pengukuran

Keterangan : T_p = temperatur pelat, T_{ro} = temperatur ruang, $T_{ud,o}$ = temperatur udara keluar, $T_{ud,i}$ = temperatur udara masuk.

5. Teknik Analisa Data

Data hasil pengukuran akan dianalisa dengan menggunakan regresi berganda untuk mendapat laju perpindahan panas dari udara (q_{ud}), laju perpindahan panas pelat (q_p), bilangan Rayleight (Ra), bilangan Nusselt (Nu) dan koefisien perpindahan panas konveksi (h). Kemudian menyimpulkan hasil penelitian.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Data Hasil Penelitian

Pengujian dilakukan secara konveksi bebas dengan memvariasikan temperatur kamar (T_{ro}) yakni 120 K hingga 160 K pada beban panas (Q^*) sebesar 600 W dan tebal isolasi (dx) = 4 cm konstan. Jenis isolasi yang digunakan adalah glass woll. Pengambilan data dilakukan setelah sistem dalam kondisi steady state, dengan menggunakan beban pengeringan 2 buah roti. Dengan temperatur sekeliling 28 °C dan tekanan 1 atm, diperoleh data seperti diperlihatkan dalam tabel 1 dan tabel 2, sebagai berikut :

Tabel 1. Data penelitian untuk isolasi thermal asbes

Isolasi Thermal Asbes, $T_{00} = 28\text{ }^\circ\text{C}$; $T_{ro} = 160\text{ }^\circ\text{C}$								
Q^* (W)	dx (cm)	Checkpoint temperatur						
		T_p			$T_{ud,i}$		$T_{ud,o}$	
		1	2	3	1	2	1	2
600	1	75.9	89.6	101.8	157.1	157.9	100.6	92.4
	2	83.1	97.8	109.4	159.8	160.7	105.9	98.6
	3	89.6	104.2	114.9	162.3	163.2	110.6	103.7
	4	94.1	108.5	117.8	164.7	165.6	114.8	109.1
	5	97.7	110.8	119.8	166.7	166.8	117.4	111.6

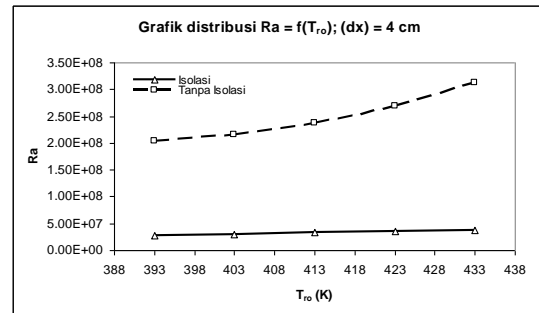
Tabel 2. Data penelitian untuk isolasi thermal glass woll

Q^* (W)	dx (cm)	T_{∞} (°C)	T_{ro}	Checkpoint temperatur							
				$T_{ud,i}$ (°C)			$T_{ud,o}$ (°C)		T_p (°C)		
				1	2	3	1	2	1	2	3
600	4	28	120	153.4	154.7	85.6	81.6	71	80.9	96.4	
			130	156.3	158.4	92.2	86.9	73.9	88.9	101.5	
			140	158.0	158.8	98.7	92.3	78.8	99.2	107.2	
			150	159.9	161.3	106.7	101.2	87.5	104.0	112.6	
			160	164.7	165.6	114.8	109.1	94.1	108.5	117.8	

2. Analisa Grafik

2.1. Pengaruh temperatur kamar terhadap bilangan Rayleigh.

Gambar 3 memperlihatkan semakin besar temperatur kamar (T_{ro}) oven pengering dengan tebal isolasi asbes (dx) = 4 cm konstan maka semakin akselerasi pula bilangan Ra. Kenaikan bilangan Ra cukup signifikan terjadi pada temperatur kamar (T_{ro}) < 130 K dengan gradien kenaikan landai, sedang pada temperatur kamar (T_{ro}) > 130 K terjadi pula akselerasi bilangan Ra dengan gradien kenaikan curam. Kondisi ini terjadi pada oven pengering tanpa menggunakan isolasi asbes. Sedangkan untuk kondisi pada oven pengering menggunakan isolasi asbes bilangan Rayleigh semakin terakselerasi seiring dengan bertambahnya temperatur kamar (T_{ro}) tidak terlalu signifikan terjadi pada temperatur kamar (T_{ro}) < 150 K dengan gradien kenaikan curam, sedang pada temperatur kamar (T_{ro}) > 150 K terjadi pula akselerasi bilangan Rayleigh dengan gradien kenaikan landai.



Gambar 3. Distribusi bilangan Rayleigh (Ra)

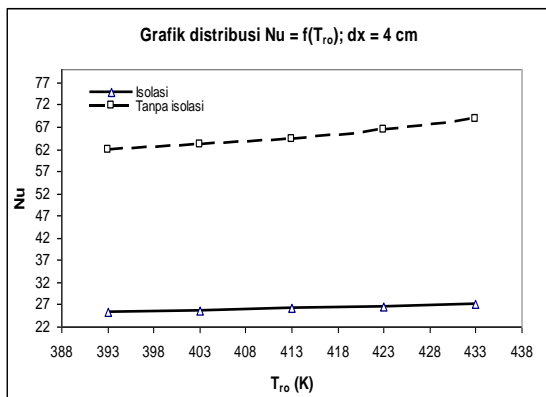
Hal ini terjadi karena dengan semakin bertambahnya temperatur kamar (T_{ro}), maka temperatur pelat merata akan semakin meningkat yang mengakibatkan gradien temperatur pelat dengan temperatur sekeliling menjadi semakin curam pula, yang mana mengakibatkan harga bilangan Rayleigh menjadi semakin meningkat yang mengindikasikan tingkat gaya bouyanci semakin besar. Hal ini sesuai pula dengan persamaan bilangan Rayleigh berikut:

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

Bilangan Rayleigh (Ra) optimal pada temperatur kamar (T_{ro}) = 160 K sedangkan minimum pada temperatur kamar (T_{ro}) =120 K.

2.2. Pengaruh temperatur kamar terhadap bilangan Nusselt

Gambar 4 memperlihatkan semakin meningkatnya temperatur kamar (T_{ro}) dengan tebal isolasi asbes (dx) = 4 cm konstan, maka bilangan Nusselt (Nu) mengalami akselerasi tidak terlalu signifikan terjadi pada temperatur kamar (T_{ro}) < 130 K dengan gradien kenaikan landai, sedang pada temperatur kamar (T_{ro}) > 130 K terjadi pula akselerasi cukup signifikan bilangan Nu dengan gradien kenaikan curam.



Gambar 4. Distribusi bilangan Nusselt (Nu)

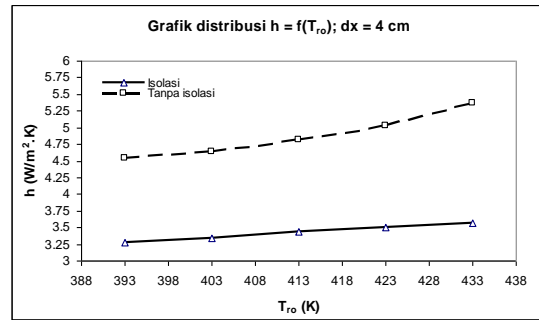
Kondisi ini terjadi pada oven pengering tanpa menggunakan isolasi asbes. Sedangkan untuk kondisi pada oven pengering menggunakan isolasi asbes bilangan Nu semakin terakselerasi seiring dengan bertambahnya temperatur kamar (T_{ro}) tidak terlalu signifikan terjadi pada temperatur kamar (T_{ro}) < 150 K dengan gradien kenaikan curam, sedang pada temperatur kamar (T_{ro}) > 150 K terjadi pula akselerasi bilangan Nu dengan gradien kenaikan landai.

Fenomena ini disebabkan oleh semakin meningkatnya temperatur kamar (T_{ro}) yang menyebabkan gradient temperatur pelat rerata dengan temperatur sekeliling yang konstan semakin curam menyebabkan bilangan Nu pada sisi pelat semakin terakselerasi. Hal ini pula sesuai dengan persamaan bilangan Nu berikut ini:

$$Nu = 0.68 + \frac{0.670Ra^{1/4}}{(1 + (0.492/Pr)^{9/16})^{4/9}}$$

Bilangan Nusselt (Nu) optimal pada temperatur kamar (T_{ro}) = 160 K, sedangkan minimum pada temperatur kamar (T_{ro}) =120 K.

2.3 Pengaruh temperatur kamar terhadap koefisien perpindahan panas konveksi



Gambar 5. Distribusi koefisien konveksi

Gambar 5 memperlihatkan semakin bertambahnya temperatur kamar (T_{ro}) dengan tebal isolasi asbes (dx) = 4 cm konstan, maka koefisien perpindahan panas konveksi (h) mengalami akselerasi tidak signifikan terjadi pada temperatur kamar (T_{ro}) < 130 K dengan gradien kenaikan landai, sedang pada temperatur kamar (T_{ro}) > 130 K terjadi pula akselerasi koefisien perpindahan panas konveksi (h) dengan gradien kenaikan curam. Kondisi ini terjadi pada oven pengering tanpa menggunakan isolasi asbes. Sedangkan untuk kondisi pada oven pengering menggunakan isolasi asbes koefisien perpindahan panas konveksi (h) semakin terakselerasi seiring dengan bertambahnya temperatur kamar (T_{ro}) cukup signifikan terjadi pada temperatur kamar (T_{ro}) < 150 K dengan gradien kenaikan curam, sedang pada temperatur kamar (T_{ro}) > 150 K terjadi pula akselerasi koefisien perpindahan panas konveksi (h) tidak signifikan dengan gradien kenaikan landai. Fenomena ini disebabkan oleh semakin meningkatnya temperatur kamar (T_{ro}) yang menyebabkan gradient temperatur pelat rerata dengan temperatur sekeliling yang konstan semakin curam menyebabkan bilangan koefisien perpindahan panas konveksi (h) pada sisi pelat semakin terakselerasi. Hal ini pula sesuai dengan persamaan koefisien perpindahan panas konveksi (h) berikut ini:

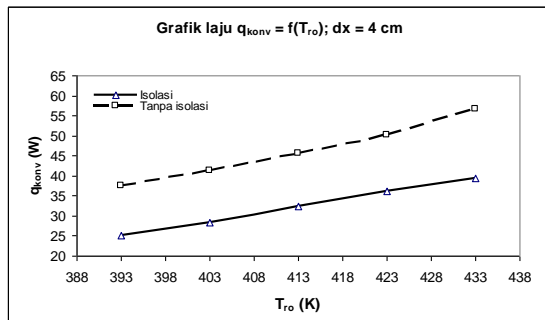
$$h = \frac{Nu \cdot k}{L}$$

Koefisien perpindahan panas konveksi (h) optimal pada temperatur kamar (T_{ro}) = 160 K, sedangkan minimum pada temperatur kamar (T_{ro}) =120 K.

2.4. Pengaruh temperatur kamar terhadap laju perpindahan panas konveksi

Gambar 6 memperlihatkan semakin bertambahnya temperatur kamar (T_{ro}) dengan tebal isolasi asbes (dx) = 4 cm konstan, maka laju perpindahan panas konveksi (q_{konv}) mengalami akselerasi tidak signifikan terjadi pada temperatur kamar (T_{ro}) < 130 K dengan gradien kenaikan landai, sedang

pada temperatur kamar (T_{ro}) > 130 K terjadi pula akselerasi laju perpindahan panas konveksi (q_{konv}) dengan gradien kenaikan curam.



Gambar 6. Distribusi laju perpindahan panas konveksi

Kondisi ini terjadi pada oven pengering tanpa menggunakan isolasi asbes. Sedangkan untuk kondisi pada oven pengering menggunakan isolasi asbes laju perpindahan panas konveksi (q_{konv}) semakin terakselerasi seiring dengan bertambahnya temperatur kamar (T_{ro}) cukup signifikan terjadi pada temperatur kamar (T_{ro}) < 150 K dengan gradien kenaikan curam, sedang pada temperatur kamar (T_{ro}) > 150 K terjadi pula akselerasi laju perpindahan panas konveksi (q_{konv}) tidak signifikan dengan gradien kenaikan landai. Fenomena ini disebabkan oleh semakin meningkatnya temperatur kamar (T_{ro}) yang menyebabkan gradient temperatur pelat rerata dengan temperatur sekeliling yang konstan semakin curam menyebabkan laju perpindahan panas konveksi (q_{konv}) pada sisi pelat semakin terakselerasi. Hal ini pula sesuai dengan persamaan laju perpindahan panas konveksi (q_{konv}) berikut ini:

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

IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian eksperimen dengan memvariasikan temperatur kamar (T_{ro}) = 388 – 438 K pada tebal isolasi (dx) = 4 cm konstan oven rumah tangga menghasilkan beberapa kesimpulan, diantaranya :

1. Sebelum dimodifikasi karakteristik perpindahan panas yakni Ra naik sebesar 1.32 %, Nu naik sebesar 1.07 %, h naik sebesar 1.09 %, q_{konv} naik 1.57 % dan pemakaian bahan bakar naik 1.30 %.
2. Sesudah dimodifikasi karakteristik perpindahan panas yakni Ra naik sebesar 1.54 %, Nu naik sebesar 1.11 %, h naik sebesar 1.18 %, q_{konv} naik 1.51 % dan pemakaian bahan bakar naik sebesar 1.43 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Bejan, A., 1993., "Heat Transfer", John Willey & Sons, Inc, New York.
- 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.
- Incropera, Frank P. and David P. Dewitt., 1999., "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", Fourth Edition, John Willey & Sons Co, New York.
- Kays, W. M dan Crawford, M. E., 1993, "Convective Heat and Mass Transfer", McGraw-Hill, Inc, New York.
- Kern, D.Q., 1983., "Process Heat Transfer" McGraw Hill, Tokyo.
- Keith, F dan Priyono, A., 1986 "Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas", Edisi ketiga, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Moran, Michael J. & Howard, N. Shapiro., 1993., "Fundamental of Engineering Thermodynamics", 2nd edition, John Willey & Sons, New York.
- Naylor, D dan Oosthuizen, P. H., 1999, "Introduction to Convective Heat Transfer Analysis", McGraw-Hill, New York.
- Soeiman., 1998 "Jurnal Studi Pembangunan", Volume 1., ISSN 1410-6809., Program Studi Pembangunan Program Pascasarjana ITB., Bandung.
- Wark. K. Jr. dan Richards D. E., 1999, "Termodinamics", Sixth edition, McGraw-Hill, Singapore.