

# STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PANJANG KARAKTERISTIK ( $Le$ ) TERHADAP KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI NATURAL PADA PELAT DATAR

Richard Luhulima\*, Nicolas Titahelu\*\*

## Abstract

Experimental studies conducted to investigate the effect of a flat plate with a characteristic length of heat transfer of natural convection. The study was conducted by varying the characteristic length ( $Le$ ) at 0.1-0.5 m, with the heat load ( $Q^*$ ) = 400 W is constant and the temperature surrounding 28 °C. The study shows the increasing characteristic length ( $Le$ ), the optimum heat transfer characteristics occurs at  $Le = 0.3$  m and a minimum at  $Le = 0.1$  m. increasing the characteristic length ( $Le$ ) <0.3 m, the heat transfer characteristics of the accelerated namely; Rayleigh number ( $Ra$ ) rose 4:13%, Nusselt number ( $Nu$ ) rose 64.29%, convective coefficient ( $h$ ) rose 79.14% and convection heat transfer rate ( $q_{conv}$ ) rose 46.92%.

**Keywords:** Characteristic long, flat plate, Rayleigh number, Nusselt number, convection coefficient

## I. PENDAHULUAN

Proses perpindahan panas merupakan salah satu wujud transformasi energi dan sangat penting dalam berbagai bidang teknologi. Industri permesinan, pesawat terbang, pengeringan, pendinginan dan sebagainya selalu melibatkan perpindahan panas. Menurut (Kreith, 1973) perpindahan panas merupakan proses perpindahan energi dari suatu daerah ke daerah yang lain sebagai akibat dari gradien temperatur. Umumnya mekanisme perpindahan panas dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu konduksi, radiasi dan konveksi. Perpindahan panas konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Perpindahan panas konveksi dapat diklasifikasikan dalam konveksi bebas (free convection) dan konveksi paksa (forced convection). Bila gerakan mencampur berlangsung semata-mata sebagai akibat dari perbedaan kerapatan yang disebabkan gradien temperatur, maka dikatakan sebagai konveksi bebas/alamiah (natural), sedangkan bila gerakan mencampur disebabkan oleh suatu alat tertentu dari luar dikatakan sebagai konveksi paksa. Fenomena perpindahan panas konveksi terdiri dari dua mekanisme yaitu perpindahan energi sebagai akibat dari pergerakan molekuler acak (difusi) dan energi yang dipindahkan secara makroskopik dari fluida. Menurut (Incropera dan de Witt, 1996) mekanisme perpindahan panas di atas pelat datar merupakan contoh dari sekian banyak bentuk penampang yang sering kita jumpai dan sangat luas aplikasinya, misalnya pada seterika listrik, prosesor dan head mesin.

Penggunaan pelat datar yang tidak sesuai dengan keadaan sekitar juga dapat mempengaruhi karakteristik dari pelat datar itu sendiri, misalnya pelat datar yang penggunaannya pada daerah terbuka akan berbeda dengan pelat datar yang diletakkan dalam suatu ruangan tertutup. Menurut hukum Newton pendinginan perpindahan panas konveksi pada pelat datar tergantung dari besarnya beban panas, temperatur permukaan, luas penampang dan kecepatan fluida. Jika memvariasikan panjang karakteristik pelat datar ( $Le$ ) pada beban panas konstan, maka ada indikasi laju perpindahan panas akan meningkat. Untuk itu dalam penelitian ini akan didesain sebuah pelat datar yang diletakkan secara vertikal untuk memperlihatkan fenomena perpindahan panas konveksi alamiah.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

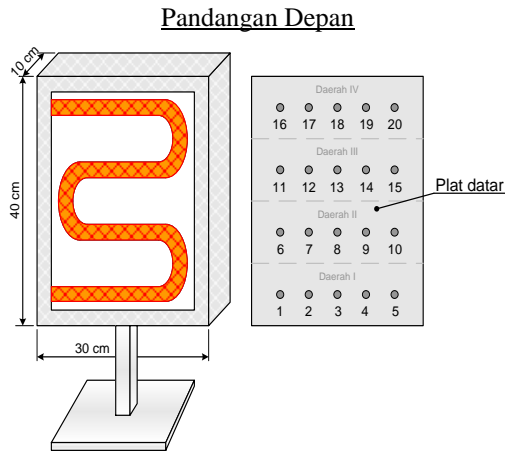
### 2.1. Variabel Penelitian

Adapun variabel penelitian dibedakan atas variabel bebas yakni panjang karakteristik ( $Le$ ) dan variabel terikat yakni karakteristik perpindahan panas pelat datar yakni:  $Ra$ ,  $Nu$ ,  $h$ , dan  $q_{konv}$ .

\* Richard B Luhulima, Dosen Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Unpatti Ambon.

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

## 2.2. Instalasi Penelitian



Gambar 1. Instalasi penelitian

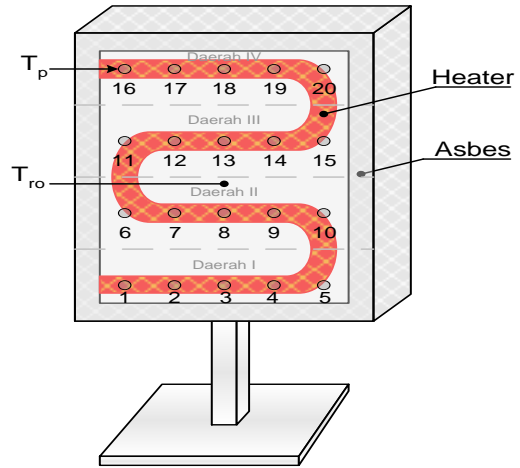
## 2.3. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian dari oven rumah tangga sebagai berikut:

1. Menyiapkan pelat datar sesuai dengan gambar 1 dimana heater diletakan dibawah pelat datar, sedangkan samping kiri, kanan dan bawah heater diberikan isolasi termal.
2. Meletakkan pelat datar diatas heater 400 W, dimana pelat datar dibagi dalam empat (4) region pengukuran.
3. Kemudian menghubungkan heater dengan aliran listrik sebagai sumber panas.
4. Setting temperatur ruang ( $T_{ro}$ ) = 160 °C.
5. Energi listrik diubah menjadi energi panas dihasilkan oleh heater tersebut diteruskan ke pelat datar sehingga menaikkan suhu ruang sebesar 160 °C pada ruang pemanas, jika  $T_{ro} > 160$  °C atau  $T_{ro} < 160$  °C akan dideteksi oleh sensor pemanas sehingga hubungan listrik akan diputuskan dan sebaliknya.
6. Tunggu hingga temperatur ruang ( $T_{ro}$ ) telah mencapai kondisi stedi dan dilakukan pengukuran.
7. Pengambilan data temperatur pelat ( $T_p$ ), temperatur udara sekeliling ( $T_{\infty}$ ) dengan menggunakan termocoupele Tipe T yang dihubungkan dengan display digital thermocontroller pada selang 15 menit.
8. Pengukuran temperatur pelat datar dilakukan pada region pertama dan diulang sebanyak lima kali.
9. Mengulangi langkah ke 5 hingga langkah ke 8 untuk berbagai variasi panjang karakteristik untuk region kedua, ketiga dan keempat.

## 2.4. 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:



Gambar 2. Lokasi pengukuran

Keterangan :  $T_p$  = temperatur pelat,  $T_{ro}$  = temperatur ruang.

## 2.5. Teknik Analisa Data

Data hasil pengukuran akan dianalisa dengan menggunakan regresi berganda untuk mendapat karakteristik perpindahan panas dari pelat datar yakni bilangan Rayleight ( $Ra$ ), bilangan Nusselt ( $Nu$ ), koefisien perpindahan panas konveksi ( $h$ ) dan laju perpindahan panas konveksi. Kemudian menyimpulkan hasil penelitian.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Data Hasil Penelitian

Pengujian dilakukan secara konveksi alamiah dengan memvariasikan panjang karakteristik ( $Le$ ) yakni 0.1 m hingga 0.5 m pada beban panas ( $Q^*$ ) sebesar 400 W dan temperatur kamar ( $T_{ro}$ ) = 80 °C konstan. Pengambilan data dilakukan setelah sistem dalam kondisi steady state. Dengan temperatur sekeliling 28 °C dan tekanan 1 atm, diperoleh data seperti diperlihatkan dalam tabel 1, sebagai berikut :

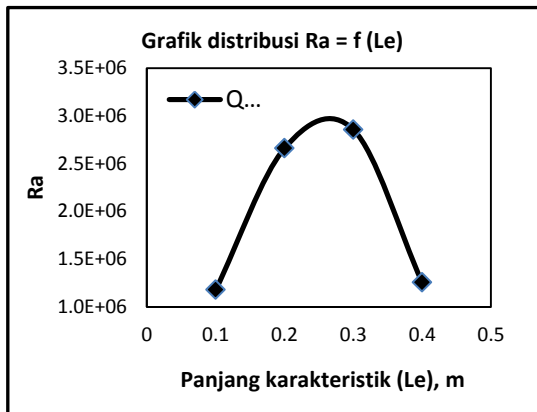
Tabel 1. Data penelitian distribusi temperatur pelat datar

$T_{ro} = 80$ °C; $T_{\infty} = 28$ °C						
$Q^*$ (W)	$Le$ (m)	Checkpoint temperatur				
		$T_{p1}$	$T_{p2}$	$T_{p3}$	$T_{p4}$	$T_{p5}$
400	0,1	58.7	62.5	62.6	61.8	59.3
	0,2	67.1	70.4	70.2	68.4	64.9
	0,3	71.9	73.6	74.4	71.9	70.7
	0,4	62.9	64.4	66.7	63.6	61.9

3.2. Analisa Grafik

3.2.1. Pengaruh panjang karakteristik terhadap bilangan Rayleigh.

Gambar 3 memperlihatkan semakin meningkat panjang karakteristik (Le) pelat datar dengan beban panas (Q\*) = 400 W konstan maka bilangan Rayleigh (Ra) mengalami akselerasi pula dan mencapai optimal pada Le = 0.3 m sedangkan minimum pada Le = 0.1 m. Kenaikan bilangan Ra cukup signifikan terjadi pada panjang karakteristik (Le) < 0.3 m dengan gradien kenaikan curam, sedang pada panjang karakteristik (Le) > 0.3 m terjadi deselerasi bilangan Ra dengan gradien kenaikan curam.



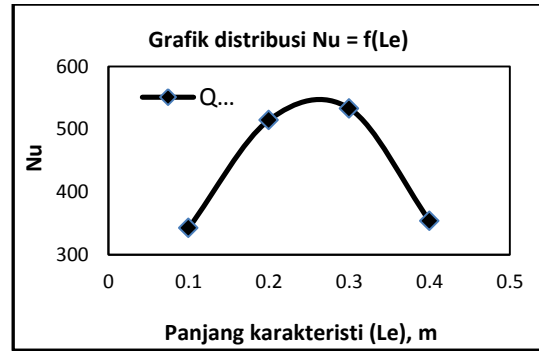
Gambar 3. Distribusi bilangan Rayleigh (Ra)

Bilangan Rayleigh (Ra) menunjukkan tingkat gaya bouyancy, dimana semakin besar bilangan Ra maka gaya bouyancy-nya menjadi semakin besar dan sebaliknya. 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 Ra berikut ini:

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

3.2.2. Pengaruh panjang karakteristik terhadap bilangan Nusselt

Gambar 4 memperlihatkan semakin meningkatnya panjang karakteristik (Le) pelat datar dengan beban panas (Q\*) = 400 W konstan, maka bilangan Nusselt (Nu) mengalami akselerasi cukup signifikan terjadi pada panjang karakteristik (Le) < 0.3 m dengan gradien kenaikan curam, sedang pada panjang karakteristik (Le) > 0.3 m terjadi deselerasi cukup signifikan bilangan Nu dengan gradien penurunan curam. Bilangan Nusselt (Nu) optimal terjadi pada Le = 0.3 m dan minimum pada Le = 0.1 m.



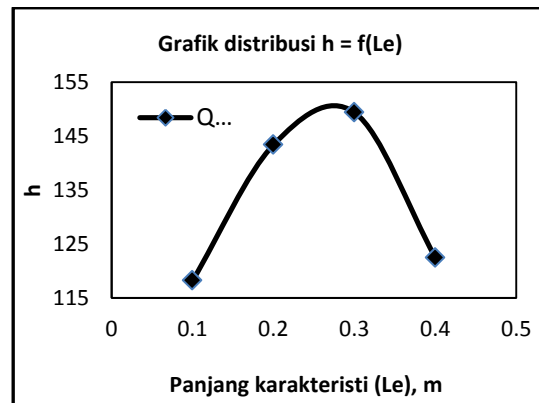
Gambar 4. Distribusi bilangan Nusselt (Nu)

Fenomena ini disebabkan oleh semakin meningkatnya temperautr pelat rata-rata yang menyebabkan gradient temperatur pelat merata dengan temperatur sekeliling yang konstan semakin curam menyebabkan bilangan Nu pada sisi pelat semakin terakselerasi. Kondisi ini terjadi pada Le < 0.3 m dan pada Le > 0.3 m sebaliknya.

Bilangan Nusselt (Nu) merupakan fungsi dari bilangan Rayleigh (Ra) dan bilangan Prandtl (Pr) diman semakin meningkatnya temperatur pelat rata-rata maka bilangan Ra mengalami peningkatan sedangkan bilangan Pr semakin mengalami penurunan. Bilangan Nu merupakan salah satu parameter yang sangat penting untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas konveksi. Semakin meningkatnya bilangan Nu sebagai akibat bertambahnya panjang karakteristik (Le) karena bilangan Nu berbanding lurus dengan bilangan Ra, sesuai pula dengan persamaan berikut:

$$Nu = \left[ 0.68 + \frac{0.670 Ra^{1/4}}{(1 + (0.492 / Pr)^{9/16})^{4/9}} \right]^2$$

3.2.3. Pengaruh panjang karakteristik terhadap koefisien perpindahan panas konveksi



Gambar 5. Distribusi koefisien konveksi

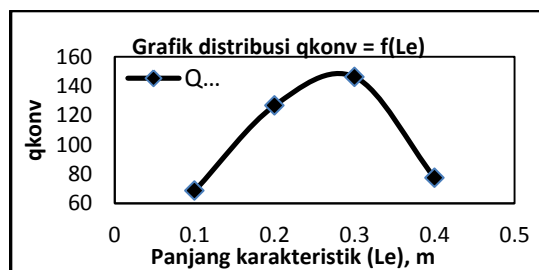
Gambar 5 memperlihatkan semakin bertambahnya panjang karakteristik (Le) pelat datar dengan beban panas ( $Q^*$ ) = 400 W konstan, maka koefisien perpindahan panas konveksi (h) mengalami akselerasi cukup signifikan terjadi pada panjang karakteristik (Le) < 0.3 m dengan gradien kenaikan curam, sedang pada panjang karakteristik (Le) > 0.3 m terjadi pula deselerasi koefisien perpindahan panas konveksi (h) dengan gradien penurunan curam. Fenomena ini disebabkan oleh semakin meningkatnya panjang karakteristik (Le) yang menyebabkan gradient temperatur pelat rerata semakin meningkat dengan temperatur sekeliling yang konstan semakin curam menyebabkan bilangan Ra menjadi semakin meningkat juga, maka bilangan Nu juga semakin meningkat yang akan mengakibatkan harga 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 panjang karakteristik (Le) = 0.3 m, sedangkan minimum pada panjang karakteristik (Le) = 0.1 m.

### 3.2.4. Pengaruh panjang karakteristik terhadap laju perpindahan panas konveksi

Gambar 6 memperlihatkan semakin bertambahnya panjang karakteristik (Le) dengan bebab panas ( $Q^*$ ) = 400 W konstan, maka laju perpindahan panas konveksi ( $q_{konv}$ ) mengalami akselerasi cukup signifikan terjadi pada panjang karakteristik (Le) < 0.3 m dengan gradien kenaikan curam, sedangkan pada panjang karakteristik (Le) > 0.3 m terjadi deselerasi laju perpindahan panas konveksi ( $q_{konv}$ ) cukup signifikan dengan gradien penurunan curam. Laju perpindahan panas konveksi optimal terdapat pada panjang karakteristik (Le) = 0.3 m, sedangkan minimum pada panjang karakteristik (Le) = 0.1 m.



Gambar 6. Distribusi laju perpindahan panas konveksi

Fenomena ini memperlihatkan laju perpindahan panas konveksi ( $q_{konv}$ ) sangat didominasi oleh kenaikan temperatur pelat rerata 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:

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

## 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian eksperimen dengan memvariasikan panjang karakteristik (Le) = 0.1 – 0.5 m pada beban panas ( $Q^*$ ) = 400 W konstan pada pelat datar menghasilkan beberapa kesimpulan, berikut ini :

1. Karakteristik perpindahan panas optimal terjadi pada Le = 0.3 m sedangkan minimum Le = 0.1 m.
2. Semakin meningkat Le < 0.3 m, maka karakteristik perpindahan panas semakin terakselerasi yakni; bilangan Ra naik 4.13%, bilangan Nu naik 64.29%, koefisien konveksi h naik 79.14% dan laju perpindahan panas konveksi  $q_{konv}$  naik 46.92%.

## 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" Mc-Graw 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", 2<sup>nd</sup> edition, John Willey & Sons, New York.
- Naylor, D dan Oosthuizen, P. H., 1999, "Introduction to Convective Heat Transfer Analysis", McGraw-Hill, New York.
- Wark. K. Jr. dan Richards D. E., 1999, "Termodinamics", Sixth edition, McGraw-Hill, Singapore.