

# ANALISIS PENGARUH BEBAN PANAS (Q) TERHADAP KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI NATURAL PELAT DATAR

Pieter W. Tetelepta\*

## 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 heat load ( $Q^*$ ) at 300-400 W, with the characteristic length ( $Le$ ) = 0,4 m and the temperature surrounding 28 °C is constant. The study shows the increasing heat load ( $Q^*$ ), the optimum heat transfer characteristics occurs at  $Q^* = 400$  W and a minimum at  $Q^* = 300$  W. Increasing the heat load ( $Q^* < 400$  W), the heat transfer characteristics of the accelerated namely; Rayleigh number ( $Ra$ ) rose 77,43%, Nusselt number ( $Nu$ ) rose 88.02%, convective coefficient ( $h$ ) rose 86.74% and convection heat transfer rate ( $q_{conv}$ ) rose 61.93%.

**Keywords:** Natural convection, heat load, flat plate, Rayleigh number, Nusselt number

## I. PENDAHULUAN

Menurut Cengel (1997) aplikasi perpindahan panas dapat dijumpai pada berbagai bidang keteknikan diantaranya pada industri permesinan, pesawat terbang, sistim permesinan dan pendinginan, yang mana selalu melibatkan ketiga mekanisme perpindahan panas pada berbagai bentuk penampang yakni konduksi, konveksi dan radiasi.

Mekanisme perpindahan panas pelat datar merupakan salah satu dari sekian banyak penampang yang sering dijumpai dan sangat luas aplikasinya. Perpindahan panas konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur (Bayapcitoglu dan Ozirik, 1988). Perpindahan panas konveksi dapat diklasifikasikan dalam tiga kategori yaitu konveksi bebas (free convection), konveksi paksa (forced convection) dan konveksi campuran (mixture 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 dan gerakan mencampur berlangsung disebabkan akibat dari perbedaan kerapatan dan alat dari luar dikatakan sebagai konveksi campuran (Bejan, A., 1993). 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 (Kays, W. M dan Crawford, M. E., 1993).

Menurut Incropera dan de Witt (1996) menyatakan bahwa 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 Bejan, A (1993) hukum Newton pendinginan mengisyaratkan bahwa perpindahan panas konveksi pada pelat datar tergantung dari besarnya beban panas, temperatur permukaan, luas penampang dan kecepatan fluida. Jika memvariasikan beban panas pelat datar ( $Q^*$ ) pada panjang karakteristik ( $Le$ ) 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. Beban panas ( $Q^*$ ) = 300 hingga 400 W pada panjang karakteristik ( $Le$ ) = 0.4 m konstan bertujuan untuk mengetahui berapa besar perubahan karakteristik perpindahan panas pelat datar.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

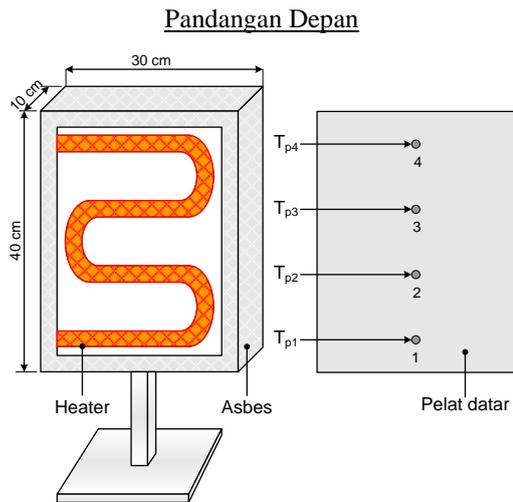
### 2.1. Variabel Penelitian

Adapun variabel penelitian dibedakan atas variabel bebas yakni beban panas ( $Q^*$ ) dan variabel terikat yakni karakteristik perpindahan panas pelat datar yakni:  $Ra$ ,  $Nu$ ,  $h$ , dan  $q_{conv}$ .

---

\* Pieter W Tetelepta , Dosen Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Unpatty

**2.2. Instalasi Penelitian**



Gambar 1. Instalasi penelitian

**2.3. Prosedur Penelitian**

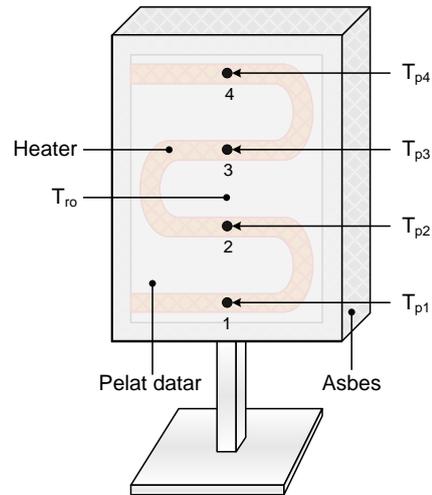
Adapun prosedur penelitian dari oven rumah tangga sebagai berikut:

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. Meletakan pelat datar diatas hetaer 400 W, dimana pelat datar dibagi dalam empat (4) region pengukuran.
3. Kemudian menghubungkan heater dengan aliran listrik sebagai sumber panas.
4. Setting beban panas ( $Q^*$ ) = 300 W.
5. Setting temperatur ruang ( $T_{ro}$ ) = 80 °C.
6. Energi listrik diubah menjadi energi panas dihasilkan oleh heater tersebut diteruskan ke pelat datar sehingga menaikkan suhu ruang sebesar 80 °C pada ruang pemanas, jika  $T_{ro} > 80$  °C atau  $T_{ro} < 80$  °C akan dideteksi oleh sensor pemanas sehingga hubungan listrik akan diputuskan dan sebaliknya.
7. Tunggu hingga temperatur ruang ( $T_{ro}$ ) telah mencapai kondisi stedi dan dilakukan pengukuran.
8. Pengambilan data temperatur pelat ( $T_p$ ), temperatur udara sekeliling ( $T_{\infty}$ ) dengan menggunakan termocoupep Tipe T yang dihubungkan dengan display digital termocontroller pada selang 15 menit.
9. Pengukuran temperatur pelat datar dilakukan dan diulang sebanyak lima kali.
10. Mengulangi langkah ke 4 hingga langkah ke 9 untuk berbagai variasi beban panas ( $Q^*$ ) yakni; 325 W, 350 W, 375 W dan 400 W.

**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 Rayleght ( $Ra$ ), bilangan Nusselt ( $Nu$ ), koefisen perpindahan panas konveksi ( $h$ ) dan laju perpindahan panas konveksi ( $q_{konv}$ ). Kemudian menyimpulkan hasil penelitian.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1. Data Hasil Penelitian**

Pengujian dilakukan secara konveksi alamiah dengan memvariasikan beban panas ( $Q^*$ ) yakni 300 W hingga 400 W pada panjang karakteristik ( $Le$ ) sebesar 0,4 m dan temperatur kamar ( $T_{ro}$ ) = 160 °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, di bawah.

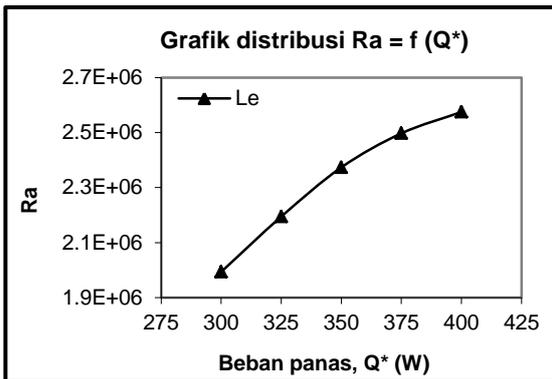
**Tabel 1. Data penelitian pengukuran temperatur pelat datar**

$T_{ro} = 80$ °C; $T_{\infty} = 28$ °C						
$Q^*$ (W)	$Le$ (m)	Checkpoint temperatur				
		$T_{p1}$	$T_{p2}$	$T_{p3}$	$T_{p4}$	$T_{p5}$
300	0.3	54.5	55.6	58.9	56.9	51.3
325		57.6	60.2	61.3	59.4	56.5
350		61.0	63.3	65.0	63.4	59.1
375		63.6	66.4	68.5	66.4	64.2
400		65.2	67.7	68.5	66.4	64.2

### 3.2. Analisa Grafik

#### 3.2.1. Pengaruh beban panas terhadap bilangan Rayleigh.

Gambar 3 memperlihatkan semakin meningkat beban panas (Q\*) pelat datar dengan panjang karakteristik (Le) = 0,4 m konstan maka bilangan Rayleigh (Ra) mengalami akselerasi pula dan mencapai optimal pada (Q\*) = 400 W sedangkan minimum pada (Q\*) = 300 W. Kenaikan bilangan Ra cukup signifikan terjadi pada panjang karakteristik (Q\*) < 375 W dengan gradien kenaikan curam, sedang pada beban panas (Q\*) > 375 W terjadi akselerasi bilangan Ra dengan gradien kenaikan landai.



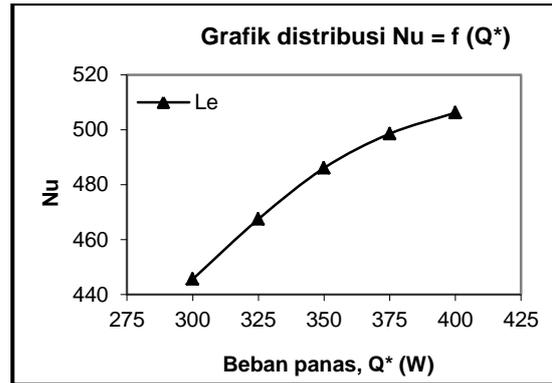
Gambar 3. Distribusi bilangan Rayleigh (Ra)

Bilangan Rayleigh (Ra) menunjukkan tingkat gaya buoyancy, dimana semakin besar bilangan Ra maka gaya buoyancy-nya menjadi semakin besar dan sebaliknya. Gaya buoyancy yang besar akan menyebabkan efek turbulensi fluida yang semakin besar sehingga pencampuran udara yang mengalir pada sekitar permukaan pelat juga semakin besar. Menurut Naylor, D dan Oosthuizen, P. H (1999) hal ini sesuai dengan persamaan bilangan Ra berikut ini:

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

#### 3.2.2. Pengaruh beban panas terhadap bilangan Nusselt

Gambar 4 memperlihatkan semakin meningkatnya beban panas (Q\*) pelat datar dengan panjang karakteristik (Le) = 0,4 m konstan, maka bilangan Nusselt (Nu) mengalami akselerasi cukup signifikan terjadi pada beban panas (Q\*) < 375 W dengan gradien kenaikan curam, sedang pada beban panas (Q\*) > 375 W terjadi pula akselerasi cukup signifikan bilangan Nu dengan gradien kenaikan curam. Bilangan Nusselt (Nu) optimal terjadi pada (Q\*) = 400 W dan minimum pada (Q\*) = 300 W.



Gambar 4. Distribusi bilangan Nusselt (Nu)

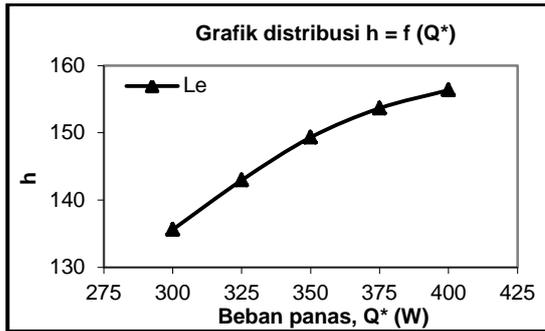
Fenomena ini disebabkan oleh semakin meningkatnya temperatur pelat rata-rata yang menyebabkan gradient temperatur pelat merata dengan temperatur sekeliling yang konstan semakin curam menyebabkan bilangan Nu pada sisi pelat semakin terakselerasi. Kondisi ini terjadi pada (Q\*) < 375 W dan pada (Q\*) > 375 W terjadi pula akselerasi bilangan Nu dengan gradient kenaikan landai.

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 natural. Semakin meningkatnya bilangan Nu sebagai akibat bertambahnya beban panas (Q\*) karena bilangan Nu berbanding lurus dengan bilangan Ra, sesuai pula dengan persamaan berikut (Kern, D.Q., 1983):

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

#### 3.2.3. Pengaruh beban panas terhadap koefisien perpindahan panas konveksi

Gambar 5 memperlihatkan semakin bertambahnya beban panas (Q\*) pelat datar dengan panjang karakteristik (Le) = 0,4 m konstan, maka koefisien perpindahan panas konveksi (h) mengalami akselerasi cukup signifikan terjadi pada panjang karakteristik (Q\*) < 375 W dengan gradien kenaikan curam, sedang pada (Q\*) > 375 W terjadi pula akselerasi koefisien perpindahan panas konveksi (h) dengan gradien kenaikan landai.



Gambar 5. Distribusi koefisien konveksi

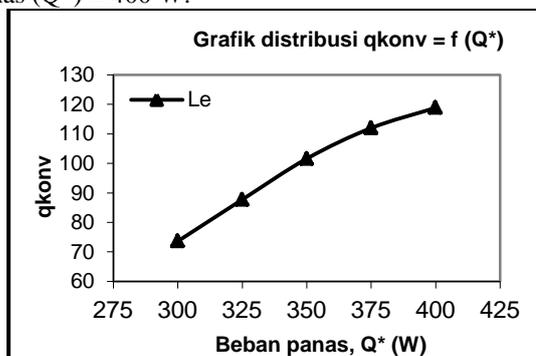
Fenomena ini disebabkan oleh semakin meningkatnya beban panas (Q\*) yang menyebabkan gradient temperatur pelat rerata semakin meningkat dengan temperatur sekeliling yang konstan semakin curam menyebabkan bilangan Ra menjadi semakin meningkat juga, maka bilangan Nu juga semakin meningkat yang akan mengakibatkan harga koefisien perpindahan panas konveksi (h) pada sisi pelat semakin terakselerasi. Hal ini pula sesuai dengan persamaan koefisien perpindahan panas konveksi (h) berikut ini (Incropera, Frank P. and de Witt, David P., 1999):

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

Koefisien perpindahan panas konveksi (h) optimal pada beban panas (Q\*) = 400 W, sedangkan minimum pada beban panas (Q\*) = 300 W.

**3.2.4. Pengaruh beban panas terhadap laju perpindahan panas konveksi**

Gambar 6 memperlihatkan semakin bertambahnya beban panas (Q\*) dengan panjang karakteritik (Le) = 0,4 m konstan, maka laju perpindahan panas konveksi (q<sub>konv</sub>) mengalami akselerasi cukup signifikan terjadi pada beban panas (Q\*) < 375 W dengan gradien kenaikan curam, sedangkan pada beban panas (Q\*) > 375 W terjadi pula akselerasi laju perpindahan panas konveksi (q<sub>konv</sub>) cukup signifikan dengan gradien kenaikan landai. Laju perpindahan panas konveksi optimal terdapat pada beban panas (Q\*) = 300 W, sedangkan minimum pada beban panas (Q\*) = 400 W.



Gambar 6. Distribusi laju perpindahan panas konveksi

Fenomena ini memperlihatkan laju perpindahan panas konveksi (q<sub>konv</sub>) 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<sub>konv</sub>) pada sisi pelat semakin terakselerasi. Hal ini pula sesuai dengan persamaan laju perpindahan panas konveksi (q<sub>konv</sub>) berikut ini (Cengel, Yunus, A., 1998):

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

**4. KESIMPULAN**

Hasil penelitian eksperimen dengan memvariasikan bebap panas (Q\*) = 300 - 400 W pada panjang karakteristik (Le) = 0,4 m konstan pada pelat datar menghasilkan kesimpulan, berikut ini :

1. Karakteristik perpindahan panas yakni; bilangan Rayleigh (Ra), bilangan Nusselt (Nu), koefisien konveksi (h) dan laju perpindahan panas konveksi (q<sub>konv</sub>) semakin terakselerasi dengan gradient kenaikan signifikan dan optimal terjadi pada (Q\*) = 400 W sedangkan minimum (Q\*) = 300 W.
2. Semakin meningkat (Q\*) < 400 W, maka karakteristik perpindahan panas semakin terakselerasi yakni; bilangan Ra naik 77.43%, bilangan Nu naik 88.02%, koefisien konveksi h naik 86.74% dan laju perpindahan panas konveksi q<sub>konv</sub> naik 61.93%.

**DAFTAR PUSTAKA**

Bejan, A., 1993., "Heat Transfer", John Willey & Sons, Inc, New York.  
 Bayazitoglu, Y dan Ozisik, M, N., 1988., "Element of Heat Transfer", McGraw-Hill Book Company, New York.  
 Cengel, Yunus, A., 1998, "Heat Transfer a Practical Approach", McGraw-Hill, New York.  
 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.  
 Kreith, 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.