

# STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KECEPATAN UDARA (V) TERHADAP KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI PAKSA PELAT DATAR

Rikhardus Ufie\*

## Abstract

Effect of air velocity on heat transfer characteristics of flat plate; have been studied with forced convection heat transfer. Experimental research conducted by varying the air velocity ( $V$ ) = 0.43 to 0.93 m/s with the characteristic length ( $L_c$ ) = 0.50 m, the heat load ( $Q^*$ ) = 450 W, and room temperature ( $T_{ro}$ ) = 28 °C is constant. Data were collected from 15-minute intervals for 5 hours in order to observe the characteristics of heat transfer with increasing air velocity ( $V$ ) with a significant gradient. Characteristics of heat transfer namely the Reynolds number ( $Re$ ), Nusselt number ( $Nu$ ), convection coefficient ( $h$ ) the optimum occurs at  $V = 0.93$  m / s while the minimum  $V = 0.43$  m/s, while the convection heat transfer rate ( $q_{konv}$ ) occurred at optimal  $V = 0.63$  m/s and a minimum at  $V = 0.43$  m/s. Increasing air velocity ( $V$ ) < 0.93 m, the heat transfer characteristics of the accelerated namely;  $Re$  rose 45.11%,  $Nu$  rose 67.13%,  $h$  rose 68.30% and the rate of convection heat transfer  $q_{konv}$  on air velocity ( $V$ ) = 0.64 m/s rose 9.89%.

**Keywords:** Fluid velocity, flat plate, Reynolds number, Nusselt number, convection coefficient

## I. PENDAHULUAN

Proses perpindahan panas (heat transfer processes) merupakan salah satu wujud transformasi energi dan sangat penting dalam berbagai bidang teknologi. Industri permesinan, pesawat terbang, pengeringan, pendinginan, dan sebagainya selalu melibatkan proses perpindahan panas (Bejan, 1998). Perencanaan mesin, sudu turbin tanpa melibatkan pengetahuan perpindahan panas akan menyebabkan panas yang berlebihan (over heating). Penguapan atau pemanasan cairan dan pencairan gas maupun pengawetan dengan cara pengeringan maupun pendinginan selalu melibatkan proses perpindahan panas. Perpindahan panas (heat transfer) merupakan proses perpindahan energi dari suatu daerah ke daerah yang lain sebagai akibat dari gradien temperatur antara daerah-daerah tersebut (Kreith, 1986). 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, penyimpangan energi dan gerakan mencampur. Proses konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara benda padat, cair atau gas. 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 itu adalah konveksi bebas/alamiah (natural). Bila gerakan mencampur disebabkan oleh suatu alat tertentu dari luar maka disebut konveksi paksa (Cengel, 1998).

Fenomena perpindahan panas konveksi terdiri dari dua mekanisme, yaitu perpindahan energi sebagai akibat dari pergerakan molekular acak (difusi) dan energi yang dipindah secara makroskopik dari fluida. Pergerakan dari fluida ini dihubungkan dengan kenyataan bahwa setiap bagian, jumlah besar dari molekular bergerak secara bersama-sama atau sebagai gumpalan (Kays dan Crawford, 1993). Pergerakan ini dengan adanya gradien temperatur akan menaikkan proses perpindahan panas. Karena molekular dalam gumpalan tetap berada pada pergerakan acak, perpindahan panas total kemudian merupakan penjumlahan dari transport energi oleh pergerakan acak molekular dan pergerakan makroskopik dari fluida. Perpindahan panas konveksi biasanya terjadi dalam berbagai bentuk penampang. Menurut (Incropera dan de Witt, 1996) mekanisme perpindahan panas di atas pelat datar merupakan salah satu contoh dari sekian banyak bentuk penampang yang sering kita jumpai dan sangat luas aplikasinya, misalnya pada setrika listrik, prosesor dan pada head mesin.

Perpindahan panas konveksi pada pelat datar tergantung dari beban panas, temperatur permukaan, luas penampang, kecepatan fluida dan sebagainya. Dalam penelitian ini akan dirancang saluran udara di dalamnya diletakkan pelat datar secara horisontal, dimana pelat datar tersebut akan dipanasi oleh sebuah heater dengan daya 450 W. Sekeliling diberikan isolasi asbes pada bagian bawah, samping kiri, samping kanan sebagai dinding adiabatik, sedangkan bagian atas adalah pelat datar sebagai dinding isothermal untuk memperlihatkan fenomena perpindahan panas konveksi paksa. Jika

---

\* Rikhardus Ufie, Dosen Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Unpatty

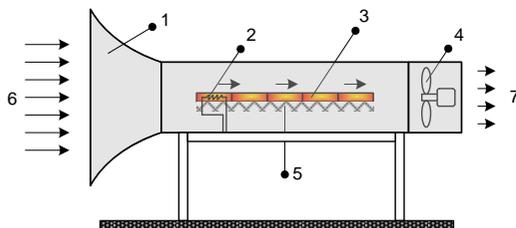
memvariasikan kecepatan udara pada beban panas konstan, maka ada indikasi laju perpindahan panas akan meningkat. Kecepatan udara divariasikan dari 0,43 hingga 0,93 m/s. penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar perubahan karakteristik perpindahan panas konveksi paksa akibat variasi kecepatan pada beban panas konstan.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1. Variabel Penelitian

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

### 2.2. Instalasi Penelitian



Gambar 1. Instalasi penelitian

Keterangan gambar: 1) pelat zenk 2) heater 3) pelat datar 4) kipas 5) asbes 6) saluran udara masuk dan 7) saluran udara keluar.

### 2.3. Prosedur Penelitian

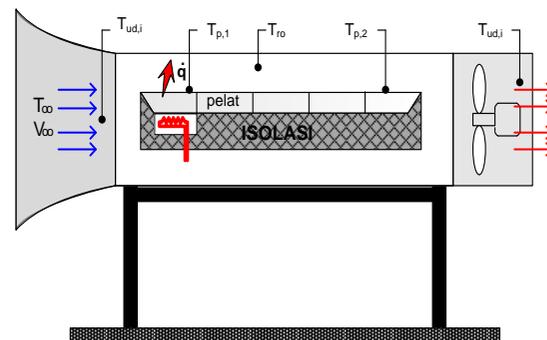
Adapun prosedur penelitian dari pelat datar sebagai berikut:

1. Pelat datar diletakkan diatas heater yang bagian dibawah diletakkan bahan isolasi (asbes), yang berfungsi sebagai penahan panas yang dihasilkan oleh heater agar tidak terbuang. Heater sebagai sumber panas dengan beban panas dianggap konstan (lihat gambar 1).
2. Pelat akan dimasukkan ke dalam suatu ruang dan diletakkan secara horisontal.
3. Kipas, digunakan untuk memvariasikan kecepatan fluida.
4. Termocotroller, untuk mengukur laju aliran listrik yang mengalir.
5. Termometer, untuk mengukur temperatur udara dalam ruangan ( $T_{\infty}$ ).
6. Thermocouple, untuk mengukur temperatur permukaan pelat ( $T_p$ ), temperatur kamar ( $T_{ro}$ ), temperatur udara masuk ( $T_{ud,i}$ ) dan temperatur udara keluar ( $T_{ud,o}$ ).
7. Regulator Daya, untuk mengukur daya.
8. Regulator suhu, untuk mengukur besar suhu dalam kamar ( $T_{ro}$ )

9. Animometer, untuk mengukur kecepatan udara.
10. Tachometer, untuk mengukur putaran kipas.

### 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 diperlihatkan pada gambar 2 di bawah ini.



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.

### 2.5. Teknik Analisa Data

Data hasil pengukuran akan dianalisa dengan menggunakan regresi berganda untuk mendapat karakteristik perpindahan panas konveksi paksa pelat datar yakni; bilangan Reynolds ( $Re$ ), bilangan Nusselt ( $Nu$ ), koefisien perpindahan panas konveksi ( $h$ ) dan laju perpindahan panas konveksi ( $q_{konv}$ ). Kemudian menyimpulkan hasil penelitian.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Data Hasil Penelitian

Pengujian dilakukan secara konveksi paksa dengan memvariasikan kecepatan udara ( $V$ ) yakni 0.43 m/s hingga 0.93 m/s pada beban panas ( $Q^*$ ) sebesar 450 W, temperature ruang ( $T_{ro}$ ) = 28 °C dan panjang karakteristik ( $Le$ ) = 0.5 m 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 dan tabel 2, sebagai berikut :

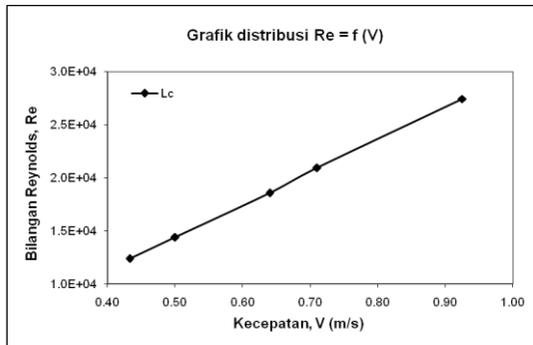
Tabel 1. Data hasil pengukuran

Putaran (n) = 2100 ; Beban panas (Q*) = 450 W					
Lc (m)	V	TP1	TP2	Tud,i	Tud,o
0.500	0.43	61.3	54.0	26.1	36.4
	0.50	59.1	52.5	26.3	35.9
	0.64	54.5	50.9	26.9	34.9
	0.71	48.6	46.4	26.1	35.0
	0.93	46.8	44.3	26.3	33.4

3.2. Analisa Grafik

3.2.1. Pengaruh kecepatan udara terhadap bilangan Reynolds.

Gambar 3 memperlihatkan bahwa semakin besar kecepatan udara (V) pada panjang karakteristik (L<sub>c</sub>) konstan, maka harga bilangan Reynold (Re) akan semakin meningkat. Peningkatan bilangan Reynold (Re) akan mencapai optimal pada kecepatan udara (V) = 0.93 m/s dan minimum pada kecepatan udara (V) = 0.43 m/s. Untuk kecepatan udara (V) < 0.50 m/s terjadi peningkatan bilangan Reynold (Re) yang tidak signifikan dengan kenaikan landai dan untuk kecepatan udara (V) > 0.50 m/s terjadi pula kenaikan bilangan Reynold (Re) cukup signifikan dengan gradien kenaikan curam.



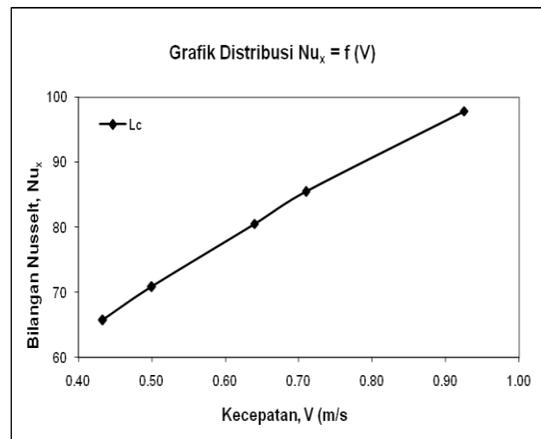
Gambar 3. Distribusi bilangan Reynolds (Re)

Fenomena ini memperlihatkan bilangan Reynold (Re) merupakan rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskous yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Semakin besar kecepatan udara (V), maka semakin besar pula bilangan Reynold (Re) dan juga sebaliknya bahwa semakin kecil kecepatan udara (V), maka semakin kecil pula bilangan Reynold. Kecepatan udara (V) yang besar akan menyebabkan efek pada aliran fluida sehingga udara yang mengalir diatas pelat juga semakin besar. Hal ini sesuai dengan persamaan :

$$Re = \frac{V \cdot L}{\nu}$$

3.2.2. Pengaruh kecepatan udara terhadap bilangan Nusselt

Gambar 4 memperlihatkan bahwa semakin besar kecepatan udara (V) pada panjang karakteristik (L<sub>c</sub>) konstan, maka bilangan Nusselt akan meningkat tidak signifikan dengan kenaikan landai, kondisi ini terjadi pada kecepatan udara (V) < 0.50 m/s dan pada kecepatan udara (V) > 0.50 m/s terjadi pula kenaikan bilangan Nusselt (Nu) cukup signifikan dengan gradien kenaikan curam. Bilangan Nusselt optimal pada kecepatan udara (V) = 0.93 m/s dan minimum pada kecepatan udara (V) = 0.43 m/s.

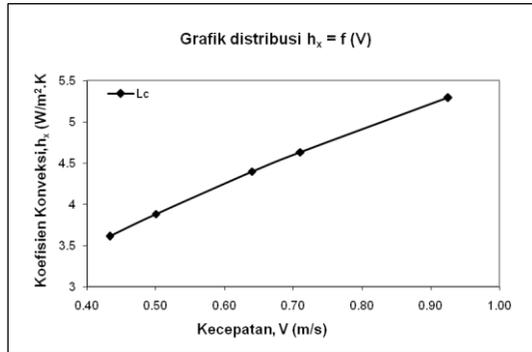


Gambar 4. Distribusi bilangan Nusselt (Nu)

Fenomena ini terjadi karena semakin meningkatnya temperatur pelat rata-rata menyebabkan semakin curam gradien temperatur pelat rata-rata dengan temperatur sekeliling yang konstant, mengakibatkan bilangan Nusselt (Nu) pada sisi pelat semakin meningkat. Pada penelitian ini semakin meningkat temperatur pelat rata-rata maka bilangan Reynold mengalami penurunan. Bilangan Nusselt merupakan salah satu parameter yang sangat penting untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas konveksi. Dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, bahwa bilangan Nusselt (Nu) adalah rasio antara konduksi dan konveksi. Semakin meningkatnya bilangan Nusselt (Nu) sebagai akibat bertambahnya kecepatan udara (V). Karena bilangan Nusselt berbanding lurus dengan bilangan Reynold dan bilangan Pr, yang juga sesuai dengan persamaan :

$$Nu = 0.664 Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3}$$

### 3.2.3. Pengaruh kecepatan udara terhadap koefisien perpindahan panas konveksi



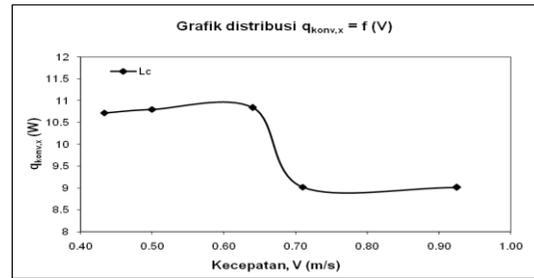
Gambar 5. Distribusi koefisien konveksi

Gambar 5 memperlihatkan bahwa semakin besar kecepatan udara (V) pada panjang karakteristik ( $L_c$ ) konstan, maka koefisien perpindahan panas konveksi (h) semakin meningkat tidak signifikan dengan gradien kenaikan landai, kondisi ini terjadi pada kecepatan udara (V) < 0.50 m/s dan pada kecepatan udara (V) > 0.50 m/s terjadi pula kenaikan koefisien perpindahan panas konveksi (h) cukup signifikan dengan gradien kenaikan curam. Fenomena ini terjadi karena bertambahnya kecepatan udara (V), maka temperature pelat rata-rata menjadi meningkat sehingga mengakibatkan harga bilangan Reynolds (Re) meningkat pula. Dengan meningkatnya harga bilangan Reynolds (Re) ini mengakibatkan harga bilangan Nusselt (Nu) menjadi semakin meningkat dan sesuai dengan persamaan:

$$\bar{h} = \frac{Nu_p \times k}{L}$$

### 3.2.4. Pengaruh kecepatan udara terhadap laju perpindahan panas konveksi

Gambar 6 memperlihatkan bahwa semakin besar kecepatan udara (v) pada panjang karakteristik ( $L_c$ ) konstant, maka semakin meningkat pula Laju Perpindahan Panas Konveksi ( $q_{konv}$ ). Kenaikan laju perpindahan panas konveksi ( $q_{konv}$ ) cukup signifikan terjadi pada kecepatan udara (V) < 0.64 m/s dengan gradien kenaikan curam, sedangkan pada kecepatan udara (V) > 0.64 m/s terjadi penurunan laju perpindahan panas konveksi ( $q_{konv}$ ) cukup signifikan dengan gradien penurunan curam. Laju perpindahan panas konveksi ( $q_{konv}$ ) optimal pada kecepatan udara (V) = 0.64 m/s dan minimum pada kecepatan udara (v) = 0.43 m/s.



Gambar 6. Distribusi laju perpindahan panas konveksi

Fenomena ini memperlihatkan laju perpindahan panas konveksi ( $q_{konv}$ ) sangat didominasi oleh kenaikan temperatur pelat rata-rata, karena dengan semakin bertambahnya kecepatan udara untuk panjang karakteristik ( $L_c$ ) konstan, maka temperatur pelat rata-rata akan semakin meningkat sehingga mengakibatkan gradien temperatur pelat dengan temperatur sekeliling menjadi curam. Kondisi ini terjadi pada kecepatan udara (V) < 0.64 m/s. Sebaliknya pada kondisi kecepatan udara (V) > 0.64 m/s semakin besar kecepatan udara (V) tidak berpengaruh lagi terhadap kenaikan temperatur rata-rata sehingga gradien temperatur pelat dengan temperatur sekeliling menjadi landai.

Hal ini sesuai dengan persamaan laju perpindahan panas konveksi berbanding lurus dengan temperatur pelat rata-rata :

$$q_{konv} = h \cdot A (T_p - T_\infty)$$

## IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian eksperimen dengan memvariasikan kecepatan udara (V) = 0.43 m/s hingga 0.93 m/s pada panjang karakteristik ( $L_c$ ) = 0.5 m dan beban panas ( $Q^*$ ) = 450 W konstan terhadap karakteristik perpindahan panas pelat datar menghasilkan kesimpulan, sebagai berikut :

1. Karakteristik perpindahan panas yakni bilangan Reynolds (Re), bilangan Nusselt (Nu), koefisien konveksi (h) optimal terjadi pada V = 0.93 m/s sedangkan minimum V = 0.43 m/s, sedangkan laju perpindahan panas konveksi ( $q_{konv}$ ) optimal terjadi pada V = 0.63 m/s dan minimum pada V = 0.43 m/s.
2. Semakin meningkat pada kecepatan udara (V) < 0.93 m, maka karakteristik perpindahan panas semakin terakselerasi yakni; Re naik 45.11%, Nu naik 67.13%, h naik 68.30% dan laju perpindahan panas konveksi  $q_{konv}$  pada kecepatan udara (V) = 0.64 m/s naik 9.89%.

**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.
- 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.