

## PENGARUH KECEPATAN FAN TERHADAP TEMPERATUR PERPINDAHAN PANAS ALIRAN UDARA DALAM PIPA DENGAN FLUKS PANAS PERMUKAAN KONSTAN

**A. Walujodjati**

e-mail: agung\_djati@yahoo.com

Lab. Fenomena Dasar Mesin  
Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik  
Universitas Wahid Hasyim  
Semarang  
Jl Menoreh Tengah X/22  
Semarang

*Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui kecepatan fan terhadap temperature konveksi perpindahan panas aliran udara dalam pipa dengan variabel Fluks panas permukaan konstan. Pengujian ini menggunakan pipa aluminium yang dililit oleh kawat filamen 2 mm dengan jarak yang sama dan diisolator penuh di sepanjang pipa tersebut untuk memperoleh energi panas yang sama dan permukaan pipa saat dimana kondisi pengembangan penuh termal telah tercapai dalam koefisien konveksi yang semakin berkurang sampai nilai tersebut konstan. Alat perpindahan panas konveksi paksa adalah suatu alat yang digunakan untuk pengujian besar koefisien aliran dalam pipa. Komponen pada alat uji ini terdiri dari panel meter yang menyuplai arus pada rangkaian pipa dengan suatu batasan termal yang diinginkan dan mengetahui nilai temperatur dari beberapa variasi kecepatan fan DC. Dari pengolahan data dalam beberapa kali pengujian diperoleh nilai suatu temperatur permukaan, temperatur ruang dalam pipa di setiap variasi tegangan dengan kecepatan masing-masing fluidanya.*

**Kata kunci :** temperatur permukaan pipa, temperatur udara dalam pipa, koefisien konveksi udara

### Pendahuluan

Konveksi untuk menunjukkan pada perpindahan panas yang akan terjadi antara permukaan dan fluida yang bergerak ketika mereka berada pada perbedaan temperatur. Perpindahan panas konveksi terdiri dari dua mekanisme yaitu perpindahan energi sebagai akibat dari pergerakan molekular acak dan ada juga energi yang dipindahkan oleh pergerakan secara mikroskopis dari fluida. Perpindahan panas konveksi yang terjadi antara fluida yang bergerak dan batas permukaan, ketika keduanya berada pada temperatur yang berbeda.

Menurut keadaan alirannya perpindahan panas secara konveksi dikategorikan menjadi dua yaitu :

1. Konveksi bebas yang mana aliran fluida disebabkan oleh adanya variasi masa jenis yang selalu diikuti dengan adanya perbedaan temperatur dalam fluida.
2. Konveksi paksa yang mana aliran disebabkan oleh beberapa cara yang berasal dari luar. Misalnya dari fan, pompa, ataupun tiupan angin.

Perpindahan panas konveksi sebagai perpindahan energi terjadi dalam fluida akibat dari efek kombinasi dari konduksi dan pergerakan kasar fluida. Adapun energi yang dipindahkan adalah energi dalam fluida. Begitu pula dengan konveksi sebagai pertukaran panas latent yang dihubungkan dengan perubahan fase antara keadaan cairan dan uap fluida.

Konveksi paksa adalah perpindahan panas yang mana dialirannya tersebut berasal dari luar, seperti

dari blower atau kran dan pompa. Konveksi paksa dalam pipa merupakan persoalan perpindahan konveksi untuk aliran dalam atau yang disebut dengan internal flow. Adapun aliran yang terjadi dalam pipa adalah fluida yang dibatasi oleh suatu permukaan. Sehingga lapisan batas tidak dapat berkembang secara bebas seperti halnya pada aliran luar.

Kondisi aliran dalam pipa bulat dengan jari-jari  $r_0$  merupakan aliran laminar dimana fluida memasuki pipa dengan kecepatan yang seragam. Fluida berkontak langsung dengan permukaan di dinding pipa dan efek viskos berperan penting sedangkan lapisan batas berkembang dengan pertambahan  $X$ . Adapun perkembangan terjadi akibat pengecilannya daerah aliran yang tidak berviskos dan menghasilkan pertemuan lapisan batas pada garis pusat pipa. Pada gambar 2.5.1  $X_{fd,h}$  merupakan jarak dari ujung masuk sampai dimana lapisan batas bertemu.  $X_{fd,h}$  ini disebut panjang masukan hidrodinamik dimana untuk  $X > X_{fd,h}$  pada seluruh luas penampang pipa dan aliran disebut pengembangan penuh (*fully developed*).

### Temperatur Permukaan Konstan

Laju perpindahan panas total dan distribusi aksial temperatur rata-rata adalah berbeda dengan kondisi temperatur permukaan konstan (*Constant Surface Temperatur Condition*).

Untuk mendefinisikan  $\Delta T$  sebagai  $T_s - T_m$ , dapat dinyatakan sebagai,

$$\frac{dT_m}{dx} = - \frac{d(\Delta T)}{dx} = - \frac{\rho}{m C_p} h \Delta T \quad \dots (1)$$

Dengan memisahkan variabel dan mengintegrasikan persamaan di atas maka didapat :

$$\ln \frac{\Delta T_o}{\Delta T_i} = - \frac{P L}{m C_p} \left( \frac{1}{L} \int_0^L h dx \right) \quad \dots (2)$$

Dari definisi koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata didapat persamaan :

$$\ln \frac{\Delta T_o}{\Delta T_i} = - \frac{P L}{m C_p} \bar{h}_L$$

( $T_s = \text{konstan}$ ) ... (3)

dimana  $\bar{h}_L$  adalah nilai rata-rata dari  $h$  untuk seluruh pipa.

Dengan menyusun sedemikian didapat persamaan :

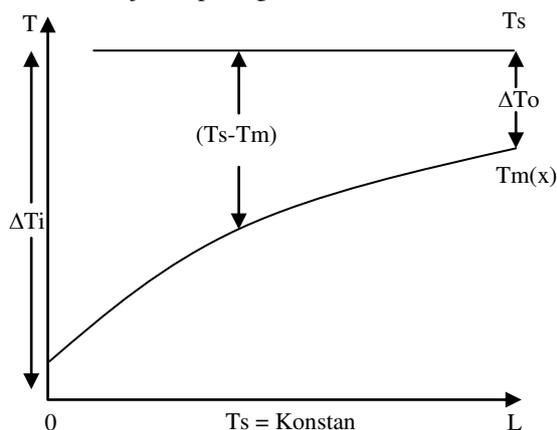
$$\frac{\Delta T_o}{\Delta T_i} = \frac{T_s - T_{m,o}}{T_s - T_{m,i}} = \exp \left( - \frac{P L}{m C_p} \bar{h} \right)$$

( $T_s = \text{konstan}$ ) ... (4)

Jika mengintegrasikan dari pipa masukan ke sembarang posisi pada arah aksial  $x$  pada pipa maka didapatkan hasil persamaan :

$$\frac{T_s - T_m(x)}{T_s - T_{m,i}} = \exp \left( - \frac{P x}{m C_p} \bar{h} \right) \quad (T_s = \text{konstan}) \quad \dots (5)$$

Dimana  $h$  adalah nilai rata-rata dari masukan pipa sampai ke posisi  $x$ . Hasil ini menyarankan bahwa perbedaan temperatur ( $T_s - T_m$ ) berkurang secara eksponensial dengan jarak memanjang sumbu pipa. Distribusi temperatur aksial permukaan aksial dan rata-rata ditunjukkan pada gambar di bawah :



Gambar 1. Grafik Distribusi temperatur aksial permukaan aksial dan rata-rata

**Metodologi Penelitian**

Mesin uji konveksi paksa dalam pipa merupakan alat perpindahan energy kalor dalam pipa yang terjadi

antara permukaan dalam pipa dengan aliran udara yang berada pada perbedaan temperatur dimana pergerakan tersebut disebabkan oleh fan. Pengujian perpindahan energi kalor dalam pipa ini dilakukan pada alat uji konveksi paksa dalam pipa saat fluks panas konstan.

**Mesin Uji (Konveksi Paksa Dalam Pipa Dengan Fluks Panas Konstan)**

Mesin uji konveksi paksa dalam pipa dengan fluks panas konstan didesain sebagaimana mungkin agar kondisi fluks panas permukaan pipa konstan dengan cara memanasi dinding pipa yang telah diisolator dengan selubung pipa menggunakan aliran listrik agar menerima panas seragam yang berada pada perbedaan temperatur. Mesin uji konveksi paksa terdiri dari dua bagian yaitu bagian rangkaian pipa dan panel meter. Rangkaian pipa itu sendiri terdiri dari pipa aluminium, selubung pipa / isolator, fan DC (Blower), dan kawat filamen. Rangkaian ini berfungsi untuk mengetahui perbedaan temperatur dalam pipa pada masing- masing titik pengukuran. Sedangkan panel meter terdiri dari manometer, voltmeter, amperemeter, dimer, tombol ON/OFF dan terminal kabel. Panel meter berfungsi sebagai penyuplai arus pada kawat filamen dengan batasan termal yang diinginkan dan mengetahui 19 nilai temperatur dari beberapa variasi kecepatan fan DC.

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam mesin uji konveksi paksa dalam pipa untuk Fluks Panas Konstan adalah :

1. Alat ukur yang digunakan terdiri dari :
  - a. Termometer Digital  
Termometer digital dalam alat uji ini berfungsi untuk mengukur temperatur dinding dan ruang dari masukan sampai keluaran pipa aliran.
  - b. Volt meter  
Voltmeter dalam alat uji ini berfungsi untuk mengukur tegangan yang masuk ke rangkaian kawat filamen.
  - c. Amperemeter  
Amperemeter dalam alat uji ini berfungsi untuk mengukur arus listrik yang masuk ke rangkaian kawat filamen.
  - d. Anemometer  
Anemometer dalam alat uji ini berfungsi untuk mengukur kecepatan fluida di dalam pipa dari ujung pipa satu menuju ke ujung pipa yang dekat dengan Fan.
2. Alat bantu yang digunakan adalah :
  - a. Dimmer  
Dalam alat uji berfungsi untuk mengatur dan membatasi arus yang masuk dalam kawat filamen sehingga panasnya mudah diatur.
  - b. Transformator  
Transformator dalam alat uji ini berfungsi untuk mengubah tegangan pada AC ke DC dengan

variasi tegangan 18 volt, 20 volt dan 24 volt, serta memiliki arus 300 miliAmpere (mA).

3. Bahan yang digunakan dalam perakitan mesin uji konveksi paksa dalam pipa yang fluks panas konstan adalah :
  - a. Fan  
Fan yang digunakan dalam alat uji berjenis DC dengan tegangan 24 volt dan arusnya sebesar 0,32 A. alat ini berfungsi untuk menghisap aliran udara bebas agar dapat masuk ke dalam pipa aluminium.
  - b. Sambungan pipa pertama  
Sambungan pipa yang digunakan dalam alat uji yang digunakan untuk menyambung dalam pipa aluminium (pipa pertama) memiliki diameter masukan 6 inch, keluaran 4 inch.
  - c. Sambungan pipa kedua  
Yang digunakan untuk menyambung pada sambungan pipa kedua memiliki diameter masukan 4 inch dan diameter keluaran 2 inch.
  - d. Pipa  
Pipa yang digunakan dalam alat uji berjenis pipa aluminium dengan diameter 2 inch dan panjangnya 1,5 meter.
  - e. Kawat  
Kawat yang digunakan adalah kawat filamen dengan lebar 2 mm yang fungsinya untuk melilit pipa aluminium dengan jarak lilitan tertentu.
  - f. Selubung pipa / Isolator  
Selubung pipa berfungsi sebagai penahan panas.

**Teknik Pengambilan Data**

Mesin uji konveksi paksa dalam pipa untuk fluks panas konstan didesain untuk mengetahui koefisien konveksi lokal saat kondisi fluks panas permukaan pipa konstan yang berada pada perbedaan temperatur. Adapun cara pengambilan data dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

1. pipa aluminium yang diisolasi penuh dipanaskan dengan besar arus kurang lebih 2 ampere melalui kawat filamen yang dililit dihubungkan dengan sumber tegangan. Jarak lilitan kawat filamen antara satu dengan yang lainnya diusahakan sama supaya didapatkan fluks panas permukaan konstan atau mendekati konstan.
2. Menunggu beberapa saat sampai temperatur (Tm1; Tm2; Tm3; dan Tm4) seragam.
3. Blower dihidupkan dengan variasi tegangan 18 volt, 20 volt, dan 24 volt.
4. Menghidupkan stopwatch dan menunggu sampai jangka waktu kurang lebih 1 menit kemudian mencatat perbedaan temperatur dinding dan ruang dari ujung masukan sampai pada keluaran pipa pada tabel data pengujian.

**Hasil dan Pembahasan**

Pengujian koefisien konveksi lokal (h) menggunakan beberapa ketentuan antara lain :

1. Variasi kecepatan fluida yang diambil adalah kecepatan dengan tegangan 18 Volt, 20 Volt dan 24 Volt.
2. Temperatur dinding (Ts) dan Temperatur dalam pipa (Tm) yang diukur adalah selama satu menit pada setiap percobaan, sampai tiga kali pengukuran.
3. Arah lilitan kawat filamen ± 3 cm dimana pipa tersebut menggunakan selubung isolator sebagai penahan panas hingga fluks panas permukaan pipa konstan.

Data-data yang diperoleh dari hasil pengujian yang berdasarkan ketentuan di atas tersebut adalah berupa tabel distribusi temperatur fluks panas konstan.

Tabel 1. Distribusi Temperatur Fluks Panas Konstan pada kecepatan 1,2 m/det (Fan DC 18 Vol)

No	Panjang pipa L (m)	Tm	Ts
1	0,0	32,7	33,6
2	0,1	33,6	35,5
3	0,3	34,6	37,4
4	0,9	36,7	39,4
5	1,43	38,7	41,3

Tabel 2. Distribusi Temperatur Fluks Panas Konstan pada kecepatan 1,3 m/det (Fan DC 20 Volt)

No	Panjang pipa L (m)	Tm	Ts
1	0,0	31,5	32,4
2	0,1	32,4	34,3
3	0,3	34,1	36,9
4	0,9	36,3	39
5	1,43	38,3	40,9

Tabel 3. Distribusi Temperatur Fluks Panas Konstan pada kecepatan 1,4 m/det Fan DC 24 Volt

No	Panjang pipa L (m)	Tm	Ts
1	0,0	31,4	32,3
2	0,1	32,3	34,2
3	0,3	33,9	36,7
4	0,9	35,8	38,5
5	1,43	37,9	40,5

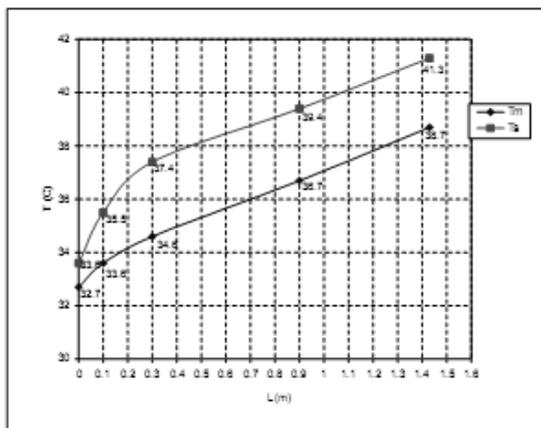
Dari tabel 1 dapat diketahui bahwa dengan fluks panas yang konstan sepanjang pipa maka temperatur dinding (Ts) dan temperatur udara di dalam pipa (Tm) cenderung naik. Demikian pula pada setiap variasi kecepatan fan mengalami kenaikan sepanjang pipa. Hal ini disebabkan adanya pemanasan dari dinding (Ts) oleh elemen pemanas yang diisolasi sepanjang pipa dan arah aliran udara di dalam pipa.

Berdasarkan tabel 1,2 dan 3 dapat diketahui bahwa distribusi temperatur Tm dan Ts pada kecepatan fan 1,2 m/det lebih tinggi daripada

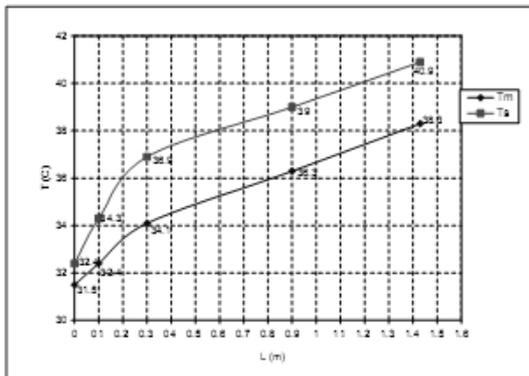
kecepatan fan  $V = 1,3$  m/det, begitu pula seterusnya distribusi temperatur pada kecepatan fan  $V = 1,3$  m/det lebih tinggi daripada kecepatan fan  $V = 1,4$  m/det.

Hal ini disebabkan kecepatan aliran udara yang melalui penampang pipa rendah dan udara di dalam pipa akan mendapatkan pemanasan dari elemen yang ada di dinding pipa lebih lama sehingga temperatur udara  $T_m$  dan  $T_s$  menjadi lebih tinggi.

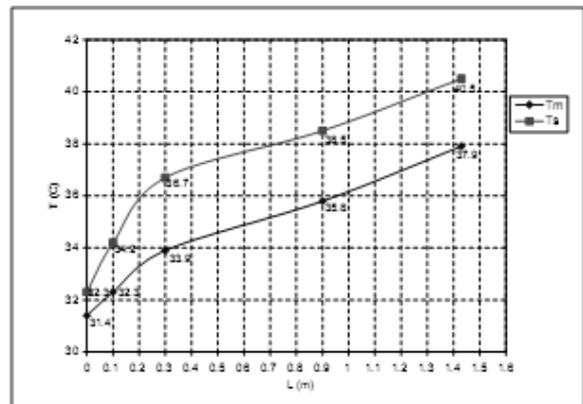
Temperatur udara dalam pipa pada setiap variasi kecepatan mengalami kenaikan di sepanjang aliran udara di dalam pipa. Hal ini disebabkan adanya pemanasan dari dinding ( $T_s$ ) sepanjang udara di dalam pipa. Berikut grafik distribusi temperatur pada masing-masing Fan DC :



Gambar 2. Grafik Temperatur pada kecepatan 1,2 m/det (Fan DC 18 V)



Gambar 3 Grafik Temperatur pada kecepatan 1,3 m/det (Fan DC 20 V)



Gambar 4. Grafik Temperatur pada kecepatan 1,4 m/det (Fan DC 24 V)

### Kesimpulan

Besar nilai distribusi temperatur dinding ( $T_s$ ) dan temperatur udara ( $T_m$ ) dengan fluks panas yang konstan pada variasi kecepatan fan dipengaruhi oleh adanya pemanasan dari dinding oleh elemen pemanas yang diisolasi sepanjang pipa dan arah aliran udara di dalam pipa. Semakin mendekati fan nilai dari  $T_s$  dan  $T_m$  akan cenderung naik. Distribusi temperatur  $T_s$  dan  $T_m$  pada kecepatan fan 1,2 m/det lebih tinggi daripada distribusi temperature pada kecepatan fan 1,3 m/det dan seterusnya, karena dipengaruhi oleh kecepatan aliran yang dihasilkan dari fan tersebut dan udara akan mendapatkan pemanasan dari elemen lebih lama. Semakin tinggi kecepatan aliran udara maka temperatur dalam pipa akan semakin menurun.

### Daftar Pustaka

- Ichsani, Djatmiko. 1987. Perpindahan Panas I. ITS : Surabaya.
- Ichsani, Djatmiko. 1987. Perpindahan Panas II. ITS : Surabaya.
- Incropera, F.P. and David, D.P., 1996, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Fourth Edition. School of Mechanical Engineering Purdue University: USA.
- Koestor, Artono, R. 2002. Perpindahan Kalor. Salemba Teknik : Jakarta.