

## ANALISIS PENGARUH LAJU ALIRAN MASSA TERHADAP KOEFSIEN PERPINDAHAN PANAS RATA-RATA PADA PIPA KAPILER DI MESIN REFRIGERASI FOCUS 808

**Basri**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako  
Jl. Sukarno-Hatta Km.9 Tondo, Palu 94119  
Email: [basrist@yahoo.com](mailto:basrist@yahoo.com)

### **Abstract**

*This study aimed to obtain the influence of the mass flow rate of heat transfer coefficient on average that occurs in the capillary tube and the relationship between mass flow with heat transfer coefficient on average in the capillary tube. This research was conducted at the University Engineering Laboratory Cooling Tadulako. Test methods used in the study is testing them experimentally. Data were collected by taking a direct test data on test equipment. Data were analyzed theoretically based on the experimental test data. The results of this study, namely that the refrigerant mass flow rate affect the heat transfer coefficient on average that occurs in the capillary tube is in the form of equation is*

$$h_{cm} = 1334244.721 \left( \dot{m}^{1.154} \right)$$

**Key work** : Capillary tube, Heat Trasfer

### **Pendahuluan**

Salah satu bahan teknik yang berbentuk saluran yang mendapat perhatian dewasa ini adalah saluran yang berdiameter mikro. Hal ini disebabkan karena semakin sempitnya lahan yang dapat digunakan, jadi alat-alat yang diproduksi diusahakan mempunyai dimensi yang kecil tapi mempunyai kemampuan yang sama dengan alat-alat yang berdimensi besar.

Pengujian tentang saluran yang berdiameter mikro telah banyak dilakukan, terutama untuk aliran satu fasa. Seperti yang dilakukan oleh Peng dan Wang [13], Peng dan Peterson [4] melakukan eksperimen thermal- hydraulic pada saluran mikro dengan mengalirkan air dan methanol. Diameter hidrolis dari saluran tersebut adalah antara 0,3 mm sampai 0,75 mm. Hasil dari eksperimennya adalah bahwa aliran transisi terjadi pada

bilangan Reynolds 700 sampai 1100. Mala dan Li [5] yang melakukan eksperimen untuk mengetahui karakteristik pipa yang diameter antara 50  $\mu\text{m}$  sampai 250  $\mu\text{m}$  dengan mengalirkan air kedalam pipa tersebut. Hasil dari eksperimen tersebut adalah bahwa aliran transisi terjadi ada bilangan Reynolds antara 300 sampai 900, sedang aliran turbulen penuh terjadi pada bilangan Reynold 1000 sampai 1500.

Untuk melengkapi pengujian-pengujian di atas, maka perlu dilakukan pengujian karakteristik thermal aliran dua fasa, yaitu cair dan uap pada pipa kapiler. Salah satu yang penting untuk diketahui pada karakteristik termal ini adalah hubungan antara koefisien perpindahan panas rata-rata dengan laju aliran massa.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka pengujian ini dititik beratkan pada masalah :

1. Bagaimana pengaruh laju aliran massa terhadap koefisien perpindahan panas rata-rata yang terjadi pada pipa kapiler.
2. Bagaimana hubungan antara laju aliran massa dengan koefisien perpindahan panas rata-rata pada pipa kapiler.

TujuanTujuan dari pengujian ini adalah mendapatkan :

1. Pengaruh laju aliran massa terhadap koefisien perpindahan panas rata-rata yang terjadi pada pipa kapiler.

2. Hubungan antara laju aliran massa dengan koefisien perpindahan panas rata-rata pada pipa kapiler.

Perpindahan panas secara umum dibedakan atas 3 macam, yaitu perpindahan panas konduksi, perpindahan panas konveksi dan perpindahan panas radiasi. Dalam pengujian ini yang akan dianalisis adalah perpindahan panas konveksi yang terjadi pada fluida kerja. Besarnya perpindahan panas konveksi (Q) yang terjadi, secara umum dapat dituliskan sebagai berikut[11] :

$$Q = A \cdot h_c \cdot \Delta T$$

dimana :

$$h_c = \text{Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$\Delta T = T_m - T_w$$

dimana :

$$T_m = \text{Temperatur rata – rata fluida (}^\circ\text{C)}$$

$$T_w = \text{Temperatur rata – rata dinding pipa kapiler (}^\circ\text{C)}$$

Secara umum perpindahan panas konveksi ada 2 macam, yaitu :

1. Perpindahan panas konveksi paksa, yaitu perpindahan panas yang terjadi akibat fluida bergerak karena adanya gaya luar yang bekerja pada fluida tersebut.
2. Perpindahan panas konveksi bebas, yaitu perpindahan panas yang terjadi jika suatu benda ditempatkan dalam suatu fluida yang suhunya lebih tinggi atau lebih rendah daripada benda tersebut. Sebagai akibat dari perbedaan suhu tersebut, panas mengalir antara fluida dan benda itu serta mengakibatkan perubahan densitas lapisan – lapisan fluida di dekat

permukaan. Perbedaan densitas menyebabkan fluida yang lebih berat mengalir ke bawah dan fluida yang lebih ringan mengalir ke atas. Atau dengan kata lain bahwa konveksi bebas adalah perpindahan panas yang terjadi karena gerakan fluida yang hanya diakibatkan oleh adanya perbedaan densitas fluida yang berada dekat benda yang memiliki temperatur lebih rendah atau lebih tinggi dari fluida tersebut.

Pada pengujian ini perpindahan panas yang terjadi pada fluida kerja adalah konveksi paksa karena fluidanya bergerak akibat adanya kerja compressor.

Mesin refregerasi adalah mesin yang mempunyai fungsi utama untuk mendinginkan zat sehingga temperaturnya lebih rendah dari temperature lingkungan. Komponen

utama dari mesin refregerasi, yaitu compressor, kondensor, alat ekspansi, evaporator dan refrigerant sebagai fluida kerja.

Skema sederhana dari mesin refrigerasi dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

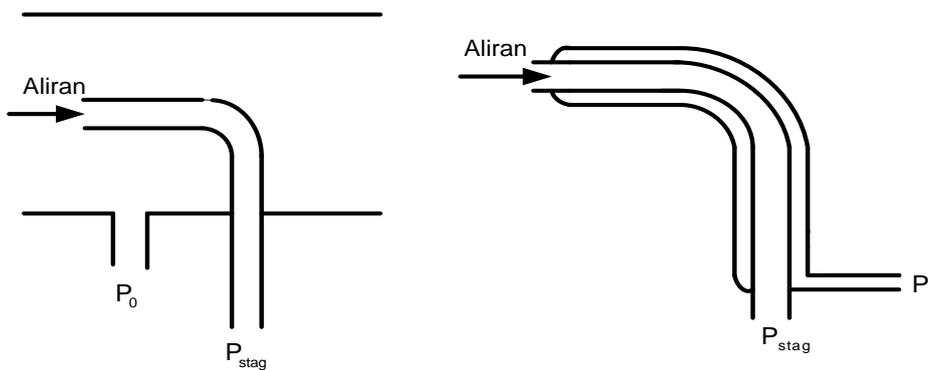


Gambar 1. Komponen utama dari mesin refrigerasi

Persamaan dasar yang digunakan untuk pemilihan pipa kapiler adalah sebagai berikut :

1. Kecepatan aliran refrigeran dalam pipa kapiler. Untuk mendapatkan kecepatan aliran mesin refrigerasi maka terlebih dahulu diukur tekanan stagnasi dan tekanan statiknya. Tekanan statik atau tekanan thermodinamika pada persamaan Bernoulli adalah tekanan fluida yang diukur oleh alat yang bergerak bersama dengan fluida. Kondisi ini sangat

sulit diwujudkan. Namun dengan kenyataan bahwa tidak ada variasi tekanan pada arah penampang tegak lurus aliran, maka tekanan statik dapat diukur dengan membuat lubang kecil pada dinding aliran sedemikian rupa sehingga sumbunya tegak lurus dinding aliran (wall pressure tap). Cara lain adalah dengan memasang probe atau tabung pitot pada aliran fluida jauh dari dinding aliran seperti ditunjukkan gambar dibawah ini.



Gambar 2. Wall pressure tap dan tabung pitot

Pengukuran tekanan statis dilakukan oleh lubang kecil dibagian bawah dinding tabung. Tekanan Stagnasi adalah tekanan fluida yang diukur pada aliran fluida yang diperlambat sampai diam,  $v = 0$  dengan kondisi aliran tanpa gesekan. Pengukuran tekanan stagnasi pada tabung pitot diukur oleh lubang kecil di mulut tabung yang akan tepat tegak lurus terhadap garis arus dari aliran. Untuk aliran tak mampu mampat dapat diterapkan persamaan Bernoulli pada kondisi tanpa perubahan ketinggian. Jika  $P_0$  adalah tekanan statik pada penampang dengan kecepatan fluida adalah  $v$  dan  $P_{stag}$  adalah tekanan stagnasi dimana kecepatan stagnasi aliran fluida  $v_{stag} = 0$ , maka dapat dihitung :

$$\frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} = C$$

Suku kedua,  $\rho \frac{v_0^2}{2}$  adalah tekanan dinamik yaitu tekanan akibat kecepatan fluida, yakni selisih antara tekanan stagnasi dengan tekanan statis. Maka kecepatan aliran refrigerant adalah :

$$v_0 = \sqrt{\frac{2}{\rho} P_{stag} - P_0}$$

2. Laju aliran refrigerant ( $\dot{m}$ ) diperoleh menggunakan persamaan :

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v_0$$

dimana :

A = Luas penampang dimana tabung pitot ditempatkan ( $m^2$ )

3. Kecepatan rata – rata refrigerant pada pipa kapiler ( $v_m$ ) diperoleh dengan persamaan :

$$v_m = \frac{\dot{m}}{\rho_{cm} \cdot A}$$

dimana :

A = Luas penampang pipa kapiler ( $m^2$ )

## METODE PENELITIAN

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaruh dan hubungan antara koefisien perpindahan panas rata-rata dengan laju aliran massa, maka Untuk mendapatkan variasi parameter – parameter tersebut di atas dilakukan dengan jalan merubah laju aliran massa refrigerant dengan cara mengatur bukaan katup.

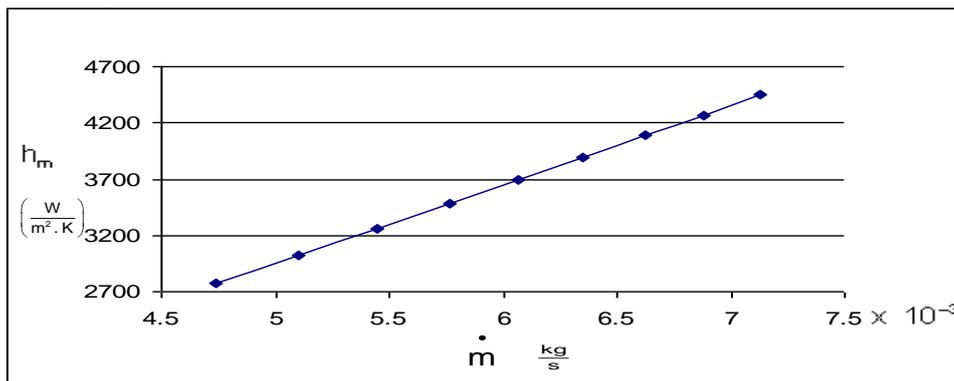
Pengambilan data pada pengujian ini dilakukan dengan dua cara, yaitu mengambil data secara langsung dan tidak langsung. Pengambilan data secara langsung, yaitu semua variabel diukur langsung saat melakukan pengujian. Tahap – tahap yang dilakukan dalam melakukan pengujian adalah sebagai berikut :

1. Pasang alat pengukur tekanan stagnasi dan statis pada alat uji.
2. Pasang manometer pada alat pengukur tekanan stagnasi dan statis.
3. Pasang pengukur temperatur ( $T_{stag}$ ) dan tekanan ( $P_{stag}$ ) pada tempat alat pengukur tekanan stagnasi dan statis dipasang
4. Alat uji dipasang pengukur tekanan dan temperature pada titik 1, 2, 3 dan 4 ( $P_1, T_1, P_2, T_2, P_3, T_3$  dan  $P_4, T_4$ )

5. Pasang alat pengukur temperatur ( $T_{heater}$ ) pada permukaan heater.
6. Pasang heater pada pipa kapiler kemudian isolasi.
7. Sambungkan heater dengan pengatur tegangan.
8. Pasang pengukur temperatur pada permukaan isolasi bagian luar ( $T_{iso\ bgn\ luar}$ ) dan isolasi bagian dalam ( $T_{iso\ bgn\ dalam}$ ).
9. Alat uji dijalankan sampai aliran refrigerannya stabil bersamaan dengan difungsikannya heater sampai heater berfungsi normal.
10. Catat tekanan dan temperature yang ditunjukkan oleh pengukur tekanan dan temperature.
11. Catat tegangan dan arus yang masuk ke heater ( $V$  dan  $I$ ).
12. Catat selisih tekanan stagnasi dan statisnya ( $\Delta H$ ).
13. Atur laju aliran refrigerant.
14. Lakukan prosedur pengujian 10, 11 dan 12.

**PEMBAHASAN**

Pada pengujian ini diperoleh hasil hubungan antara laju aliran massa refrigerant dengan koefisien perpindahan panas rata-rata pada pipa kapiler dalam bentuk grafik dibawah ini.



Dari grafik di atas terlihat bahwa koefisien perpindahan panas rata – rata makin besar seiring dengan makin besarnya laju aliran massa refrigerant. Hal ini terjadi karena jika laju aliran massa refrigerant bertambah, berarti kecepatan rata – rata aliran refrigerant juga bertambah yang menyebabkan koefisien perpindahan panas rata – ratanya juga bertambah. Dari tabel hasil perhitungan terlihat bahwa untuk laju aliran refrigerant  $0.0047 \frac{kg}{s}$  (minimal), kecepatan rata – ratanya adalah  $32.79 \frac{m}{s}$  dan koefisien perpindahan panas rata – ratanya adalah  $2876.9 \frac{W}{m^2 \cdot K}$  sedang untuk laju

aliran refrigerant  $0.0071 \frac{kg}{s}$  (maksimal), kecepatan rata – ratanya  $52.985 \frac{m}{s}$  dan koefisien perpindahan panas rata – ratanya adalah  $4521.6 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ , akibat dari bertambahnya kecepatan rata – ratanya, maka percampuran antara refrigerant panas dengan refrigerant dingin makin cepat sehingga meningkatkan koefisien perpindahan panas rata – ratanya. Hal ini sesuai dengan [17] yang menyatakan bahwa makin cepat percampuran antara fluida panas dengan fluida dingin akan menambah perpindahan panas yang terjadi akibatnya terjadi kenaikan koefisien perpindahan panas.

Dengan cara statistik diperoleh hubungan antara laju aliran massa refrigerant dengan koefisien perpindahan panas rata-rata yang terjadi pada pipa kapiler, yaitu :

$$h_{cm} = 1334244.721 \left( m \right)^{1.154}$$

dengan koefisien korelasi ( $R^2$ ) adalah 0.974.

## KESIMPULAN

Kesimpulan dari pengujian ini adalah :

1. Makin besar laju aliran massa refrigerant, maka makin besar pula koefisien perpindahan panas rata-rata yang terjadi pada pipa kapiler.
2. Hubungan antara laju aliran massa refrigerant dengan penurunan tekanan pada pipa kapiler adalah

$$h_{cm} = 1334244.721 \left( m \right)^{1.154}$$

$$\frac{W}{m^2 \cdot K}$$

## DAFTAR PUSTAKA

Bruce R. Munson, Donald F. Toung, Theodore H. Okiishi, Diterjemahkan Harinaldi. Dr. Ir., Budiarmo. M.Eng. Ir., 2003, *Mekanika fluida*, Penerbit Erlangga.

Ekadewi Anggraini, H., Agus Lukito, 2002, *Analisis Pengaruh Pipa Kapiler yang Dililitkan pada Line Suction Terhadap Performansi Mesin Pendingin*, <http://puslit.petra.ac.id/journal/mechanical/>, vol. 4, Oktober 94 – 98.

Z.X.Li, D.X., Du, Z.Y. Guo, 2000, *Experimental study on flow characteristics of liquid in circular microtubes*, Proc. Of the Int. Conference of Heat Transfer and Transport Phenomena in microscale, Banff, Canada, October 15 – 20.

Gh.M.Mala, D.Q.Li, 1999, *Flow characteristics in microtubes*, int.J., Heat Fluid Flow 20, 142 – 148

B.Xu, K.T.Ooi, N.T. Wong, C.Y. Liu, W.K. Choi, 1999, *Liquid flow in microchannel*, Proc. Of the 5<sup>th</sup> ASME/JSME Joint Thermal Engineering Conference, San Diego, California, March 15 – 19.

N.Henry. Ir. MT., 1998, *Aliran Dua Fasa (Cair – Gas)*, FTI Universitas Bung Hatta Padang.

Warren M.R.; James P.H.; Young I.C.; 1998; *Handbook of Heat Transfer*; Third edition; MCGRAW\_HILL

X.F. Peng, G.P. Peterson, 1996, *Convective heat transfer and flow friction for water flow in microchannel structures*, Int. J. Heat Mass Transfer 39(12), 2599 – 2608

Frank P. Incropera, David P. Dewitt, 1996, *Introduction to Heat Transfer*, third edition, John Wiley & Sons, New York . Chichester . Brisbane . Toronto . Singapore

Victor L.S.; E. Benjamin W.; diterjemahkan Arko Prijono; 1996; *Mekanika Fluida jilid I*; edisi delapan; Penerbit Erlangga, Jakarta

D.Yu, R.Warrington, R.Barron, T.Ameel, 1995, *An experimental ant theoretical investigation of fluid flow and heat transfer in microtubes*, in : ASME/JSME Thermal EGINEERING Conference, vol. 1, ASME.

Monji. H., Matsui, G. and Saito, T., 1995, *Pressure Drop Reduction of Liquid – Particles Two Phase Flow with Nearly Equal Density*, Proceeding of the 2<sup>th</sup> International Conf on Multiphase Flow, Kyoto, Japan.

X.F. Peng, B.X. Wang, 1993, *Forced Convection and fluid flow boiling heat transfer for liquid flowing microchannels*, Int.J., Heat Transfer 36(14), 3421 – 3427

Stoecker, W., Jones., 1992, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, edisi kedua, penerbit Erlangga, Jakarta

Raldi Artono Koestoer. DR. Ir., Sasanti Proborini., 1992, *Aliran Dua Fase dan Fluks Kalor Kritis*, PT. Pradnya Paramita

Watanabe, K., 1991, *Hydraulic and Pneumatic Conveyances of solid Particles by a Spiral Tube*, The fourth Korea – Japan Powder Tecnology Seminar, pp. 117 – 124

Frank K.; Diterjemahkan Arko Prijono; 1986; *Prinsip – Prinsip Perpindahan Panas*; Edisi ketiga; Penerbit Erlangga, Jakarta

Philip M.G.; Richard J.G.; John I.H.; 1985; *Fundamentals of Fluid Mechanics*; Second edition; Addison Wesley Publising Company