

ANALISIS PENGARUH KUALITAS UAP RATA-RATA TERHADAP KOEFISIEN GESEK RATA-RATA PADA PIPA KAPILER DI MESIN REFRIGERASI FOCUS 808

Basri¹

¹Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Tadulako

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaruh Kualitas uap rata – rata terhadap Koefisien gesek rata – rata yang terjadi pada pipa kapiler dan hubungan antara Kualitas uap rata – rata terhadap Koefisien gesek rata – rata pada pipa kapiler. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Pendingin Universitas Tadulako. Metode pengujian yang digunakan dalam penelitian adalah pengujian secara eksperimen. Pengambilan data dilakukan dengan mengambil sejumlah data pengujian langsung pada alat uji. Data dianalisis secara teoritis berdasarkan data pengujian eksperimen. Hasil penelitian ini, yaitu bahwa Kualitas uap rata – rata berpengaruh terhadap Koefisien gesek rata – rata yang terjadi pada pipa kapiler yang dalam bentuk persamaan adalah $f_m = (2.37)(10^{-5})(x_m^{-1.6})$

Kata kunci : *Koefisien Gesek*

Abstract

This research aims to get influence of quality of average vapor to coefficient of friction flatten that happened in capillary pipe. This paper was conducted in Laboratory Technique Cooler of University of Tadulako. The research method used in research was examination experimentally. Data collected by taking a number of direct examination data at the experiment. Data analyzed theoretically pursuant to data examination of experiment. Result of this research is that quality of average vapour has an effect on to coefficient of average friction that happened in the capillary pipe which is in the form of equation of $f_m = (2.37)(10^{-5})(x_m^{-1.6})$

Key Work : *Coefficient of Friction*

I. LATAR BELAKANG

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 Mala dan Li [5] yang melakukan eksperimen untuk mengetahui karakteristik pipa yang diameter antara 50 μm sampai 250 μm 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. Xu et al [6] melakukan ekperimental dengan mengalirkan air pada saluran mikro yang berdiameter hidrolik antara 50 μm sampai 300 μm dengan bilangan Reynolds

antara 50 sampai 1500. Hasil dari ekperiment ini adalah bahwa tidak terjadi aliran transisi pada bilangan Reynolds antara 50 sampai 1500, dan untuk saluran yang berdiameter hidrolis 100 μm keatas factor geseknya sama dengan teory yang dikemukakan oleh Hagen–Poiseuille.

Hal yang mendapat perhatian untuk aliran fluida dalam saluran tertutup adalah kerugian tekanan yang terjadi. Karena hal ini berpengaruh terhadap efisiensi pengaliran fluida dan pemilihan pompa. Untuk itu perlu dilakukan pengujian, apa yang menjadi penyebab sehingga terjadi kerugian tekanan jika fluida dialirkan.

II. TEORI DASAR

II.1 Konfigurasi Aliran

Fasa adalah salah satu kondisi atau bentuk zat, dapat berupa gas, cair atau padat. Aliran multi fasa adalah aliran yang mengalir secara serempak atau bersama-sama dari beberapa fasa. Aliran cair – gas biasa juga disebut dengan aliran dua fasa adalah kasus yang paling sederhana dari aliran multi fasa.

Pemisahan cair dan uapnya dalam sebuah pipa panas atau dingin dapat dipresentasikan dalam berbagai bentuk dimana pengetahuan dan prediksi dibutuhkan untuk menghitung penurunan tekanan dan koefisien perpindahan panas antara fluida dua fasa dan dinding pipa.

Aliran cair – gas dapat mengambil berbagai konfigurasi geometris yang dikenal sebagai pola aliran. Parameter fisik yang penting dalam menentukan pola aliran adalah [15] :

- a. Tegangan permukaan, yang menjaga dinding saluran tetap basah dan cenderung untuk membuat tetes-tetes cairan dan gelembung gas kecil.
- b. Gravitasi, yang cenderung mendorong cairan pada dasar saluran.

Pola aliran yang berlaku dapat diperlihatkan pada gambar 1 [15]. Jika kualitas uap naik secara perlahan-lahan dari nol, maka pola aliran yang diperoleh adalah :

- a. Aliran gelembung (bubble), dimana gelembung gas cenderung untuk mengalir pada bagian atas pipa.
- b. Aliran kantung gas (plug), dimana gelembung gas kecil bergabung membentuk kantung gas.
- c. Aliran strata licin (stratified), dimana permukaan bidang sentuh cair – gas sangat halus. Tetapi pola aliran seperti ini biasanya tidak terjadi, batas fasa hamper selalu bergelombang.
- d. Aliran strata gelombang (stratified wavy), dimana amplitudo gelombang meningkat karena kenaikan kecepatan gas.
- e. Aliran sumbat cairan (slug), dimana amplitude gelombang sangat besar hingga menyentuh bagian atas pipa.
- f. Aliran cincin (annular), dimana gas mengalir diantara cairan, tapi cairan film lebih tebal di dasar pipa daripada bagian atas akibat gravitasi.



Gambar 1. Pola aliran pipa horizontal

Sifat – sifat fluida yang ditinjau, yaitu :

1. Densitas fluida untuk aliran dua fasa (campuran) dihitung berdasarkan persamaan [15] :

$$\frac{1}{\rho_c} = \frac{x}{\rho_g} + \frac{1-x}{\rho_l} \quad 1)$$

Dimana : x adalah kualitas uap yang terkandung dalam campuran, yaitu rasio antara massa uap dengan massa total campuran.

atau :

$$x = \frac{m_g}{m_g + m_l} \quad 2)$$

ρ_c = Densitas campuran aliran dua fasa (kg/m³)

ρ_g = Densitas uap pada aliran dua fasa (kg/m³)

ρ_l = Densitas cairan pada aliran dua fasa (kg/m³)

2. Viskositas kinematis dari aliran dua fasa dapat hitung dengan menggunakan persamaan [15] :

$$\frac{1}{\mu_c} = \frac{x}{\mu_g} + \frac{1-x}{\mu_l} \quad 3)$$

Dimana : μ_c = Viskositas dinamis campuran aliran dua fasa (kg/m³)

μ_g = Viskositas dinamis uap pada aliran dua fasa (kg/m³)

μ_l = Viskositas dinamis cair pada aliran dua fasa (kg/m³)

II.2 Kerugian Tekanan pada Pipa

Dengan mengukur kerugian tekanan dalam pipa menggunakan manometer, koefisien gesek aliran dua fasa dapat ditentukan, apakah koefisien gesek uap lebih besar atau lebih kecil dari pada cair. Dunia industri banyak sekali menggunakan pipa dalam pendistribusian fluida cair dalam melakukan proses produksi. Oleh karena itu efisiensi pendistribusian dalam industri harus diperhatikan. Dengan efisiensi yang baik, maka biaya produksi dapat ditekan sehingga harga jual produk atau barang tersebut lebih kompetitif.

Dalam berbagai industri sebagian besar fluidanya mengalir pada pipa-pipa saluran tertutup (closed conduit flow). Masalah utama yang muncul antara lain [1] :

1. Terjadinya gesekan pada dinding pipa.

2. Terjadinya turbulensi karena gerakan relatif dalam molekul fluida yang dipengaruhi oleh viskositas fluida itu sendiri dan bentuk pipa.
3. Terjadinya kapasitas aliran yang semakin kecil pada daerah yang jauh dari sumber karena hambatan gesek pada aliran yang semakin membesar.

Dari seluruh permasalahan tersebut diatas dapat diduga bahwa faktor tekanan atau kerugian tekanan dapat mempengaruhi kinerja dan efisiensi pompa. Oleh karenanya diperlukan peninjauan lebih mendalam lagi pada bidang mekanika fluida terutama dinamika fluida untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Menurut Henry Darcy (1857) yang melakukan eksperimen aliran dalam pipa, menyatakan bahwa kekasaran mempunyai efek, sehingga didapatkan faktor gesekan yang dikenal dengan faktor gesekan Darcy (f), yaitu [2] :

$$f = \left(2 \cdot \Delta P \frac{D}{L} \cdot \frac{1}{\rho_c \cdot v_m^2} \right) \quad 4)$$

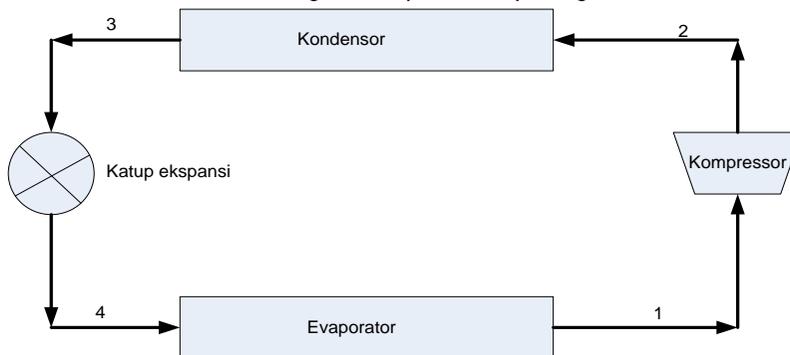
Dimana : L = Panjang pipa (m)

ΔP = Pressure drop yang terjadi pada pipa

$\Delta P = P_{in} - P_{out}$

II.3 Mesin Refrigerasi

Mesin refrigerasi adalah mesin yang mempunyai fungsi utama untuk mendinginkan zat sehingga temperaturnya lebih rendah dari temperature lingkungan. Komponen utama dari mesin refrigerasi, yaitu compressor, kondensor, alat ekspansi, evaporator dan refrigerant sebagai fluida kerja. Skema sederhana dari mesin refrigerasi dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2. Komponen utama dari mesin refrigerasi

Cara kerja mesin refrigerasi yang ideal dapat digambarkan dengan diagram P – H, dapat dilihat pada gambar 3. Dari diagram P – H diatas terlihat bahwa refrigerant keluar katup ekspansi pada state 4 yang berupa fase campuran uap-cair. Kualitas uap yang terkandung pada titik 4 dapat dicari dengan persamaan :

$$x_1 = \frac{h_4 - h_{f4}}{h_{fg4}} \quad 5)$$

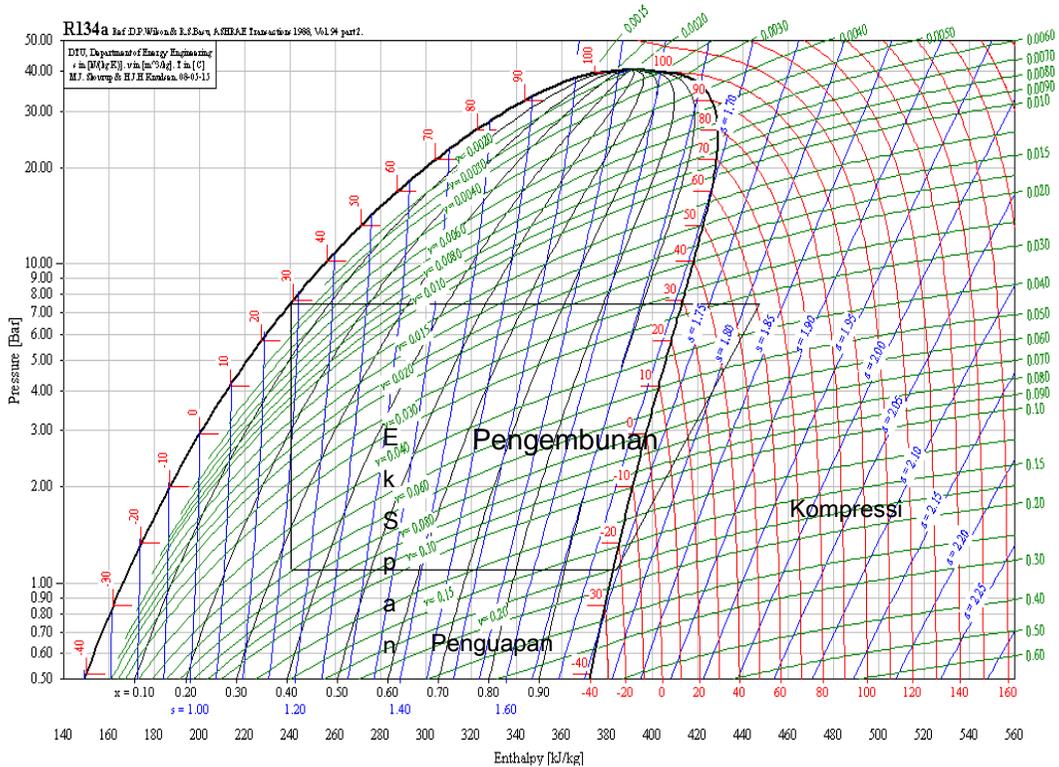
Dimana : x_1 = Kualitas uap

h_{f4} = Entalphy spesifik cairan (kJ/kg)

h_{fg} = Entalphy spesifik campuran antara cairan dengan gas (kJ/kg)

$h_g = h_g - h_f$

h_g = Entalphy spesifik gas (kJ/kg)



Gambar 3. Diagram P – H

Untuk menganalisis mesin refrigerasi, maka yang perlu diperhatikan adalah sifat – sifat dari fluida kerjanya, seperti :

1. Suhu, yaitu menyatakan keadaan termal dari suatu bahan dan kemampuannya untuk bertukar energy dengan bahan lain yang bersentuhan dengannya.
2. Tekanan, yaitu gaya normal (tegak lurus) yang diberikan oleh suatu fluida per satuan luas benda yang terkena gaya tersebut.
3. Kalor spesifik, yaitu jumlah energy yang diperlukan suatu bahan untuk menaikkan suhu satu satuan massa bahan tersebut sebesar 1 K.
4. Volume spesifik, yaitu volume yang diisi satu satuan massa[9].

III. METODE PENELITIAN

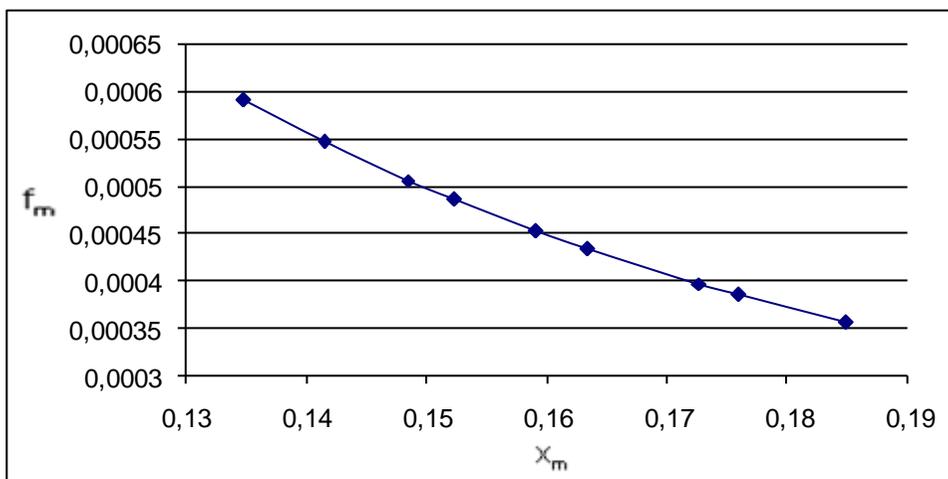
Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan cara bahwa semua variabel diukur langsung saat pengujian. Tahap – tahap yang dilakukan saat pengujian adalah :

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 (ΔH).
13. Atur laju aliran refrigerant.
14. Lakukan prosedur pengujian 10, 11 dan 12.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil

Hasil dari penelitian ini dapat dilihat dari grafik antara koefisien gesek rata – rata (f_m) dengan kualitas uap rata – rata (x_m) dibawah ini.



Gambar 4. Hubungan antara koefisien gesek rata – rata (f_m) dengan kualitas uap rata – rata (x_m)

IV.2 Pembahasan

Dari Grafik antara koefisien gesek rata – rata (f_m) dengan kualitas uap rata – rata (x_m) di atas terlihat bahwa koefisien gesek rata – rata menurun seiring dengan bertambahnya kualitas uap. Hal ini terjadi karena jika kualitas uap bertambah, maka viskositas refrigerant berkurang. Dari hasil perhitungan dapat lihat bahwa untuk perubahan kualitas uap dari 0 menjadi 0.097, maka viskositasnya turun dari $1.99 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$ menjadi $0.84 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$. Pada [11] dinyatakan bahwa sifat fisik fluida yang memberikan tahanan terhadap tegangan geser adalah viskositas, dimana makin besar viskositas fluida, makin besar pula tahanannya terhadap tegangan geser demikian pula sebaliknya jika viskositas fluida makin kecil, makin kecil pula tahanannya terhadap tegangan geser.

Hubungan antara koefisien gesek rata – rata (f_m) dengan kualitas uap rata – rata (x_m) yang dalam bentuk persamaan diperoleh dengan cara statistik adalah $f_m = (2.37)(10^{-5})(x_m^{-1.6})$ dengan koefisien korelasi (R^2) adalah 0.99.

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian diatas, maka dapat ditarik kesimpulan, yaitu :

1. Kualitas uap rata–rata berpengaruh terhadap koefisien gesek rata – rata yang terjadi pada pipa kapiler.
2. Hubungan antara koefisien gesek rata – rata (f_m) dengan kualitas uap rata – rata (x_m) dalam bentuk persamaan adalah $f_m = (2.37)(10^{-5})(x_m^{-1.6})$

VI. DAFTAR PUSTAKA

1. Bruce R. Munson, Donald F. Toung, Theodore H. Okiishi, Diterjemahkan Harinaldi., Budiarmo., 2003, *Mekanika fluida*, Penerbit Erlangga.
2. Ekadewi A., 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.
3. 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.
4. Gh.M.Mala, D.Q.Li, 1999, *Flow characteristics in microtubes*, *int.J.*, Heat Fluid Flow 20, 142 – 148
5. B.Xu, K.T.Ooi, N.T. Wong, C.Y. Liu, W.K. Choi, 1999, *Liquid flow in microchannel*, *Proc. Of the 5th ASME/JSME Joint Thermal Engineering Conference*, San Diego, California, March 15 – 19.
6. N.Henry. Ir. MT., 1998, *Aliran Dua Fasa (Cair – Gas)*, FTI Universitas Bung Hatta Padang.
7. Warren M.R.; James P.H.; Young I.C.; 1998; *Handbook of Heat Transfer; Third edition; MCGRAW_HILL*

8. 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
9. Frank P. Incropera, David P. Dewitt, 1996, *Introduction to Heat Transfer, third edition*, John Wiley & Sons, New York . Chichester . Brisbane . Toronto . Singapore
10. Victor L.S.; E. Benjamin W.; diterjemahkan Arko Prijono; 1996; *Mekanika Fluida jilid I*; edisi delapan; Penerbit Erlangga, Jakarta
11. D.Yu, R.Warrington, R.Barron, T.Ameel, 1995, *An experimental and theoretical investigation of fluid flow and heat transfer in microtubes*, in : ASME/JSME Thermal Engineering Conference, vol. 1, ASME.
12. Monji. H., Matsui, G. and Saito, T., 1995, *Pressure Drop Reduction of Liquid – Particles Two Phase Flow with Nearly Equal Density*, Proceeding of the 2th Interational Conf on Multiphase Flow, Kyoto, Japan.
13. 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
14. Stoecker, W., Jones., 1992, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, edisi kedua*, penerbit Erlangga, Jakarta
15. Raldi Artono Koestoer. DR. Ir., Sasanti Proborini., 1992, *Aliran Dua Fase dan Fluks Kalor Kritis*, PT. Pradnya Paramita
16. Watanabe, K., 1991, *Hydraulic and Pneumatic Conveyances of solid Particles by a Spiral Tube*, The fourth Korea – Japan Powder Tecnology Seminar, pp. 117 – 124
17. Frank K.; Diterjemahkan Arko Prijono; 1986; *Prinsip – Prinsip Perpindahan Panas; Edisi ketiga*, Penerbit Erlangga, Jakarta
18. Philip M.G.; Richard J.G.; John I.H.; 1985; *Fundamentals of Fluid Mechanics; Second edition*; Addison Wesley Publising Company