

Pengaruh Penambahan Turbulator Kawat Spiral terhadap Faktor Gesekan Aliran Cairan di Dalam Pipa Horisontal Sirkular

¹⁾Aloysius Meo, ²⁾Matheus MD, ³⁾Muhamad Jafri

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana
Jl. Adisucipto, Penfui-Kupang NTT, E-mail: Blackdawn_sevenfold@engineer.com

Diterima _____; diterima terkoreksi _____; disetujui _____

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan korelasi empiris sebagai fungsi parameter geometri yang mampu memberikan peningkatan faktor gesekan untuk suatu keadaan aliran fluida di dalam pipa sirkular yang diisi turbulator kawat spiral. Hipotesa penelitian ini adalah dengan semakin kecil pitch ratio turbulator kawat spiral maka faktor gesekan yang dihasilkan akan semakin besar. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen pada pipa tunggal horisontal sirkular yang diisi turbulator kawat spiral dengan beberapa pitch ratio. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh penambahan turbulator kawat spiral terhadap faktor gesekan aliran cairan di dalam pipa horisontal sirkular, dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu Faktor gesekan terbesar diperoleh pada ukuran diameter kawat 2,2 mm dengan jarak lilitannya 20 mm dan faktor gesekan terendah diperoleh pada ukuran kawat 1,6 mm dengan jarak lilitannya 40 mm. Berdasarkan analisa data dengan menggunakan eliminasi Gauss, maka korelasi empiris yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah $f = 220,24 Re^{-0,4896} (P/D)^{-0,6396} (e/D)^{0,8146}$. Faktor gesekan akibat penambahan turbulator kawat spiral berbanding terbalik dengan bilangan Reynolds dan ratio antara jarak lilitan dan diameter pipa, namun berbanding lurus dengan ratio antara diameter kawat dan diameter pipa. Semakin besar bilangan Reynolds dan ratio antara jarak lilitan dan diameter pipa maka semakin kecil faktor gesekan akibat penambahan turbulator kawat spiral.

Kata Kunci : Turbulator Kawat Spiral, Faktor Gesekan, Pipa Horisontal Sirkular.

Abstract

This study aims to determine the empirical correlation as a function of geometric parameters that can provide increased friction factor for a state of fluid flow in a circular tube filled with spiral wire tabulator. The hypothesis of this research is to the smaller pitch ratio tabulator wire spiral so that the resulting friction factor will be even greater. The method used in this study is an experiment on a single horizontal circular pipe filled with a spiral wire tabulator pitch ratio. Based on this research has been done on the effect of the addition of a spiral wire tabulator on the friction factor of liquid flow in horizontal circular pipes, some conclusions can be drawn, which is the largest friction factor obtained on the size of 2.2 mm diameter wire windings with a distance of 20 mm and the lowest friction factor obtained on the size of 1.6 mm wire windings with a distance of 40 mm. Based on the analysis of the data using Gaussian elimination, then the empirical correlations generated in this study were: $f = 220,24 Re^{-0,4896} (P/D)^{-0,6396} (e/D)^{0,8146}$. Friction factor due to the addition of tabulator wire spiral is inversely proportional to the Reynolds number and the ratio between the distance of the coil and the pipe diameter, but is directly proportional to the ratio between the diameter of the wire and pipe diameter. The larger the Reynolds number and the ratio between the distance of the coil and the smaller diameter pipe friction factor due to the addition of tabulator wire spiral.

Keywords: Tabulator Wire Spiral, Friction Factor, Horizontal Circular Pipes.

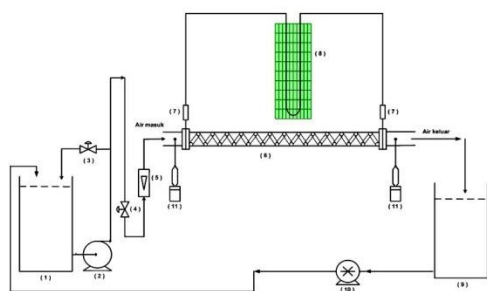
PENDAHULUAN

Perkembangan alat penukar kalor

sekarang ini menuju ke arah kebutuhan akan penghematan ruang, tetapi diikuti pula dengan kebutuhan akan peningkatan dalam kemampuan pertukaran kalornya.

Perkembangan-perkembangan tersebut mengarah pada efektivitas alat penukar kalor yang semakin tinggi nilainya. Efektivitas perpindahan kalor dari sebuah alat penukar kalor dipengaruhi oleh banyak hal. Salah satunya adalah jenis aliran yang berada di dalam alat penukar kalor. Aliran yang turbulen diketahui memiliki nilai perpindahan kalor yang lebih baik dibandingkan dengan jenis aliran laminar. Dengan meningkatkan turbulensi aliran fluida dalam pipa diharapkan koefisien perpindahan kalor konveksinya akan meningkat oleh Hakim, dkk. Turbulensi aliran fluida memiliki efek positif pada koefisien perpindahan kalor, namun di sisi lain semakin turbulen sebuah aliran fluida maka penurunan tekanan (*pressure drop*) yang terjadi antara sisi masuk dan sisi keluar dari aliran fluida tersebut semakin besar. Oleh karena itu peningkatan koefisien perpindahan kalor dengan meningkatkan turbulensi aliran dalam pipa harus dikaitkan dengan nilai penurunan tekanan yang dihasilkan akibat peningkatan turbulensi aliran fluida tersebut. Efektivitas optimum dari modifikasi ini adalah perbandingan koefisien perpindahan kalor yang baik diikuti dengan penurunan tekanan yang kecil.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan korelasi empiris sebagai fungsi parameter geometri yang mampu memberikan peningkatan faktor gesekan untuk suatu keadaan aliran fluida di dalam pipa sirkular yang diisi turbulator kawat spiral.



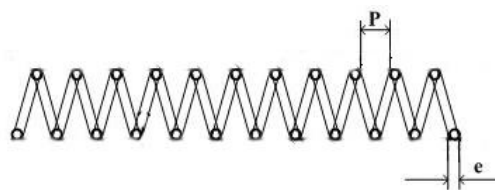
Gambar 1. Diagram skematik instalasi penelitian

Naphon meneliti tentang perpindahan kalor dan penurunan tekanan di dalam pipa ganda horisontal dengan dan tanpa penyisipan pelat dipilin, dengan pitch 25 mm dan 30 mm. Pada tahun yang sama Eiamsa-ard, dkk melakukan penelitian dengan membandingkan

dua tipe pelat dipilin, yaitu (1) full-length typical twisted tape dengan twisted ratio $y = 6$ dan 8; (2) regularly spaced twisted tape dengan space ratio, $S = 1, 2$ dan 3. Promvongse dan Eiamsa-ard [4] melakukan penelitian perpindahan kalor dan faktor gesekan dengan menggunakan conical-nozzle turbulator yang diisi pada pipa tunggal sirkular horisontal.

METODE PENELITIAN

Susunan alat penelitian seperti pada gambar instalasi penelitian yang ditunjukkan dalam Gambar 1. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen pada pipa tunggal horisontal sirkular yang diisi turbulator kawat spiral dengan beberapa pitch ratio. Pipa uji berupa pipa acrylic berdiameter 23,5 mm dan panjang 2010 mm yang bagian dalamnya ditambahkan kawat spiral.



Gambar 2. Turbulator kawat spiral

Jenis benda uji : benda uji sebanyak 10 buah yaitu terdiri dari kawat spiral berdiameter 1,6 mm dan 2,2 mm, yang setiap ukuran kawat diambil dari jarak lilitan 20 mm, 25 mm, 30 mm, 35 mm; dan 40 mm. Sebelum dilakukan penelitian, flowmeter air dikalibrasi untuk menghindari kesalahan pengukuran. Pengukuran awal dilakukan untuk mendeteksi kebocoran pada semua sambungan dan pipa uji. Setelah tes kebocoran dilakukan, maka kemudian dilakukan pengecekan ulang terhadap semua sistem sebelum dilakukan penelitian. Pengambilan data dilakukan terhadap benda uji A sampai dengan benda uji L. Parameter yang divariasikan adalah laju aliran air. Laju aliran air diatur dengan menggunakan katup pengatur aliran air dan katup by pass. Dari data-data yang diperoleh, maka perbedaan tekanan pada titik masuk dan titik keluar pipa uji dapat diukur dengan teliti menggunakan persamaan :

$$P_1 - P_2 = (\rho_2 - \rho_1) g h \quad (1)$$

Atau

$$\Delta P = (\rho_2 - \rho_1) g h \quad (2)$$

Korelasi empiris faktor gesekan merupakan hubungan antara bilangan Reynolds, jarak lilitan, dan diameter kawat. Model korelasi yang dipengaruhi oleh beberapa properties air dan geometris turbulator kawat spiral yang digunakan yaitu: kerapatan air (ρ), viskositas dinamik (μ), kecepatan aliran air (V), diameter pipa (D), jarak lilitan (P), dan diameter kawat turbulator (e).

Sehingga faktor gesekan dapat dihitung berdasarkan fungsi dari beberapa property tersebut, seperti pada persamaan (3):

$$f(V, \mu, \rho, D, P, e) \quad (3)$$

Persamaan (3) dapat diselesaikan dengan teori Pi-Buckingham. teori ini terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut:

Langkah - 1. Parameter yang terlibat ada enam ($n=6$), yaitu : V, μ, ρ, D, P, e

Langkah - 2. Jumlah dimensi primer ada tiga ($r = 3$), yaitu M, L , dan T

Langkah - 3. Tuliskan parameter yang terlibat dalam dimensi primer

$$V = \frac{L}{T}; \mu = \frac{M}{L.T}; \rho = \frac{M}{L^3}; P = L; D = L; e = L$$

Langkah - 4. Jumlah parameter berulang ada tiga ($m = r = 3$)

Langkah - 5. Jumlah bilangan Π ada tiga ($n - m = 6 - 3 = 3$), yaitu :

$$\Pi_1 = V^a \rho^b D^c \mu \quad (4)$$

$$= [LT^{-1}]^a [ML^{-3}]^b [L]^c [ML^{-1}T^{-1}] = [M^0 L^0 T^0]$$

$$L : a - 3b + c - 1 = 0$$

$$M : b + 1 = 0$$

$$T : -a - 1 = 0$$

Dari sini didapat $a = -1; b = -1; c = -1$

Sehingga

$$\Pi_1 = V^{-1} \rho^{-1} D^{-1} \mu \quad (5)$$

$$\Pi_1 = \frac{\mu}{V \rho D} \text{ atau } = \frac{V \rho D}{\mu} = Re$$

$$\Pi_2 = V^d \rho^e D^f P \quad (6)$$

$$= [LT^{-1}]^d [ML^{-3}]^e [L]^f L = [M^0 L^0 T^0]$$

$$L : d - 3e + f + 1 = 0$$

$$M : e = 0$$

$$T : -d = 0$$

Dari sini didapat $d = 0; e = 0; f = 0$ sehingga

$$\Pi_2 = V^0 \rho^0 D^0 P \quad (7)$$

$$\Pi_2 = \frac{P}{D}$$

$$\Pi_3 = V^g \rho^h D^i e \quad (8)$$

$$= [LT^{-1}]^g [ML^{-3}]^h [L]^i L = [M^0 L^0 T^0]$$

$$L : g - 3h + i + 1 = 0$$

$$M : h = 0$$

$$T : -g = 0$$

Dari sini didapat $g = 0; h = 0; i = -1$ sehingga

$$\Pi_3 = V^0 \rho^0 D^{-1} e \quad (9)$$

$$\Pi_3 = \frac{e}{D}$$

Langkah - 6. Dimensi semua bilangan Π diperiksa dan terbukti tak berdimensi, sehingga persamaan non dimensi yang dihasilkan melalui analisis Phi-Buckingham dapat dituliskan sebagai berikut :

$$f(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3) \quad (10)$$

atau

$$f = \left(\frac{V \rho D}{\mu} \frac{P}{D} \frac{e}{D} \right)$$

atau

$$f = \left(Re \frac{P}{D} \frac{e}{D} \right) \quad (11)$$

maka hubungan antara f dengan $Re, (P/D), (e/D)$ memiliki bentuk :

$$f = a Re^b \left(\frac{P}{D} \right)^c \left(\frac{e}{D} \right)^d \quad (12)$$

Untuk menghitung a, b, c , dan d diperlukan Multiple linear regression. Dalam hal ini akan diperoleh empat persamaan dengan empat besaran yang tidak diketahui. Jika persamaan (12) dirumuskan dalam bentuk persamaan logaritma, maka

$$\text{Log } f = \text{Log } a + b \text{ Log } Re + C \text{ Log } \left(\frac{P}{D} \right) + d \text{ Log } \left(\frac{e}{D} \right) \quad (13)$$

Persamaan (3.13) merupakan persamaan linear, yang sama dengan persamaan berikut :

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 \quad (14)$$

Selanjutnya dengan analisis regresi linear jamak, persamaan (14) dapat dibentuk menjadi persamaan matrik sebagai berikut :

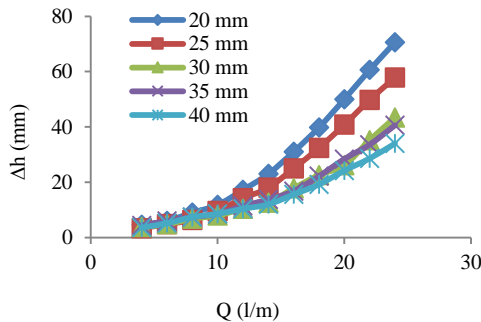
$$\begin{bmatrix} n & \sum x_1 & \sum x_2 & \sum x_3 & \sum x_4 \\ \sum x_1 & \sum x_1^2 & \sum x_1 x_2 & \sum x_1 x_3 & \sum x_1 x_4 \\ \sum x_2 & \sum x_2 x_1 & \sum x_2^2 & \sum x_2 x_3 & \sum x_2 x_4 \\ \sum x_3 & \sum x_3 x_1 & \sum x_3 x_2 & \sum x_3^2 & \sum x_3 x_4 \\ \sum x_4 & \sum x_4 x_1 & \sum x_4 x_2 & \sum x_4 x_3 & \sum x_4^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum Y \\ \sum Y x_1 \\ \sum Y x_2 \\ \sum Y x_3 \\ \sum Y x_4 \end{bmatrix}$$

Dengan metode eliminasi Gauss persamaan matrik tersebut dapat diselesaikan untuk menentukan nilai a_0 , a_1 , a_2 , a_3 , dan a_4 sehingga pada akhirnya konstanta a dan eksponensial b , c , d , dan e dapat diketahui.

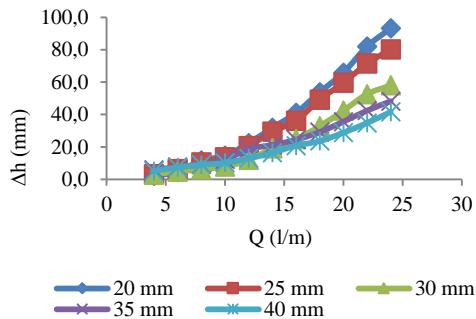
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Penelitian

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh data tinggi air raksa (Δh) di dalam manometer U (mm), untuk tiap debit aliran air (l/m) sepanjang pipa uji, pada setiap diameter kawat yang diuji dari Gambar 3 terlihat bahwa dengan bertambahnya debit aliran air di dalam pipa uji maka akan bertambah pula tinggi air raksa (Δh) di dalam manometer U, dimana tinggi air raksa (Δh) di dalam manometer U tertinggi terjadi pada jarak lilitan 20 mm, sedang Δh terendah terjadi pada jarak lilitan 40 mm, untuk diameter kawat yang digunakan adalah 1,6 mm.



Gambar 3. Grafik Hubungan Δh pada manometer U dengan debit aliran untuk diameter kawat 1,6 mm



Gambar 4. Hubungan Grafik Δh pada manometer U dengan debit aliran untuk diameter kawat 2,2 mm

Dari Gambar 4 terlihat bahwa dengan bertambahnya debit aliran air di dalam pipa uji maka akan bertambah pula tinggi air raksa (Δh) di dalam manometer U, dimana tinggi air raksa (Δh) di dalam manometer U tertinggi terjadi pada jarak lilitan 20 mm, sedang Δh terendah terjadi pada jarak lilitan 40 mm, untuk diameter kawat yang digunakan adalah 2.2 mm.

Analisa data dan pembahasan

Dari data yang telah diperoleh selama pengujian maka dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan besar faktor gesekan, f sebagai berikut:

Bilangan Reynolds untuk aliran yang terjadi di dalam pipa uji dihitung dengan persamaan:

$$Re = \frac{u \cdot D}{\nu}$$

$$Re = \frac{(0,15)(0,0235)}{8,009 \times 10^{-7}} = 4401,29$$

Dari bilangan Reynolds, $Re = 4401,29$ maka diketahui bahwa aliran yang terjadi di dalam pipa uji adalah aliran turbulen. Selanjutnya ditentukan nilai faktor gesekan yang terjadi sepanjang pipa uji adalah :

$$f = \frac{\Delta P}{\left(\frac{l}{D}\right) \rho_{air} \frac{u^2}{2}}$$

$$f = \frac{611,4031}{\left(\frac{2,1}{0,0235}\right) 995,95(0,01125)}$$

$$= \frac{611,4031}{1001,2476} = 0,6106$$

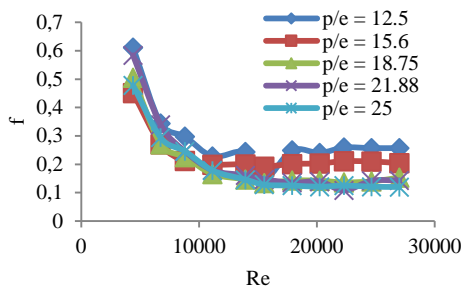
Dengan demikian maka faktor gesekan untuk debit aliran air $6,67 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ (4 liter/menit), pada penggunaan diameter kawat 1,6 mm dan panjang lilitan 20 mm adalah 0,6107. Ratio antara panjang lilitan dengan diameter pipa adalah :

$$\frac{P}{D} = \frac{0,02}{0,0235} = 0,851$$

Sedangkan ratio antara diameter kawat dengan diameter pipa dan ratio antara panjang lilitan dengan diameter kawat adalah :

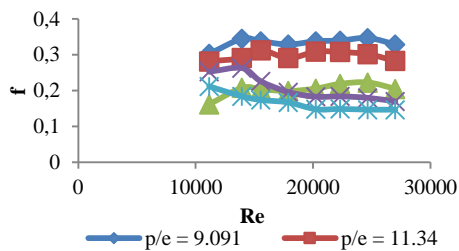
$$\frac{e}{D} = \frac{1,6 \times 10^{-3}}{0,0235} = 0,068$$

$$\frac{P}{e} = \frac{0,02}{1,6 \times 10^{-3}} = 12,5$$



Gambar 5. Hubungan faktor gesekan f dengan bilangan Reynolds untuk diameter kawat 1,6 mm pada tiap ratio p/e

Berdasarkan Gambar 5 maka terlihat bahwa faktor gesekan terbesar diperoleh pada $P/e = 12,5$ dengan besar bilangan Reynolds, $Re = 4401,29$; sedangkan faktor gesekan terkecil diperoleh pada $P/e = 25$ dengan besar bilangan Reynolds, $Re = 26994,63$.



Gambar 6. Hubungan faktor gesekan f dengan bilangan Reynolds untuk diameter kawat 2,2 mm pada tiap ratio p/e

Pembentukan Korelasi Empiris

Logaritma untuk tiap-tiap parameter yang telah dihitung. Selanjutnya dilakukan perhitungan regresi berdasarkan hasil yang didapat perhitungan logaritma untuk tiap parameter yang telah dihitung. Dari hasil perhitungan regresi maka dapat diketahui elemen-elemen matriks yang diperlukan:

$$\begin{bmatrix} 110 & 455,17 & 10,26 & -120,79 \\ 453,98 & 1889,71 & 42,69 & -499,83 \\ 10,26 & 42,44 & 2,20 & -11,26 \\ -120,79 & -499,83 & -11,32 & 133,17 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -70,09 \\ -293,09 \\ -7,32 \\ 77,40 \end{pmatrix}$$

atau

$$\begin{aligned} 110 a_0 + 455,17 a_1 + 10,26 a_2 - 120,79 a_3 &= -70,09 \\ 453,98 a_0 + 1889,71 a_1 + 42,44 a_2 - 499,83 a_3 &= -293,09 \\ 10,26 a_0 + 42,44 a_1 + 2,20 a_2 - 11,26 a_3 &= -7,32 \\ -120,79 a_0 - 499,83 a_1 - 11,26 a_2 + 133,17 a_3 &= 77,40 \end{aligned}$$

Untuk menyelesaikan persamaan linier empat variabel ini digunakan metode eliminasi Gauss dan perhitungannya menggunakan program MATLAB 7.04. Dari hasil perhitungan dengan menggunakan program MATLAB maka diperoleh $a_0 = 2,3429$; $a_1 = -0,4896$; $a_2 = -0,6396$; $a_3 = 0,8146$.

Dari persamaan (13) dan (14) diperoleh :
 $\log a = a_0$ atau $a = 10^{a_0}$ $a = 10^{2,3429} = 220,24$
 dan $b = a_1 = -0,4896$; $c = a_2 = -0,6396$; $d = a_3 = 0,8146$

Dengan demikian maka korelasi empirisnya adalah :

$$f = a Re^b \left(\frac{P}{D}\right)^c \left(\frac{e}{D}\right)^d$$

$$f = 220,24 Re^{-0,4896} (P/D)^{-0,6396} (e/D)^{0,8146}$$

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh penambahan turbulator kawat spiral terhadap faktor gesekan aliran cairan di dalam pipa horisontal sirkular, dapat disimpulkan bahwa faktor gesekan terbesar diperoleh pada ukuran diameter kawat 2,2 mm dengan jarak lilitannya 20 mm dan faktor gesekan terendah diperoleh pada ukuran kawat 1,6 mm dengan jarak lilitannya 40 mm.

Berdasarkan analisa data dengan menggunakan eliminasi Gauss, maka korelasi empiris yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah $f = 220,24 Re^{-0,4896} (P/D)^{-0,6396} (e/D)^{0,8146}$. Faktor gesekan akibat penambahan turbulator kawat spiral berbanding terbalik dengan bilangan Reynolds dan ratio antara jarak lilitan dan diameter pipa, namun berbanding lurus dengan ratio antara diameter kawat dan diameter pipa.

Semakin besar bilangan Reynolds dan ratio antara jarak lilitan dan diameter pipa maka semakin kecil faktor gesekan akibat penambahan turbulator kawat spiral.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dwinanto, M. M., dan Limbong, I. S., 2010, *Peningkatan Perpindahan Kalor Konveksi Aliran Turbulen Di Dalam Pipa Sirkular Dengan Turbulator Kawat Spiral*, Laporan Penelitian Ilmu Pengetahuan Terapan, DIPA Universitas Nusa Cendana.
- [2] Eiamsa-ard, S., et al, 2010, Influence of Combined Non-Uniform Wire Coil Insert and Twisted Tape Inserts on Thermal Performance Characteristic, *Int. Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 37, page 850-856.
- [3] Eiamsa-ard, S., Thianpong, C., and Promvonge, P., 2006, Experimental Investigation of Heat Transfer and Flow Friction in a Circular Tube Fitted with Regularly Spaced Twisted Tape Elements., *Int. Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 33, page 1225-1233.
- [4] Garcia, A., et al, 2007, Enhancement of Laminar and Transitional Flow Heat Transfer in Tubes by Means of Wire Coil Inserts., *Int. Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 50, page 3176-3189.
- [5] Hakim, I. I., Prasetyo, D., dan Rainade, 2006, Pengaruh Pilitan Plat Terhadap Koefisien Perpindahan Kalor pada Alat Penukar Kalor Double Pipe, *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) V*, 21 – 23 November, Universitas Indonesia, hal. M2-018/1 – M2-018/6.
- [6] Munson, B. R., Young, D. F., dan Okiishi, T. H., 2003, *Mekanika Fluida*, alih bahasa Harinaldi, Edisi Keempat, Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- [7] Munson, B. R., Young, D. F., dan Okiishi, T. H., 2003, *Mekanika Fluida*, alih bahasa Harinaldi, Edisi Keempat, Jilid 2, Erlangga, Jakarta.
- [8] Naphon, P., 2006, Heat Transfer and Pressure Drop in the Horizontal Double Pipes with and without Twisted Tape Insert., *Int. Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 33, page 166-175.
- [9] Promvonge, P., and Eiamsa-ard, S., 2007, Heat Transfer and Turbulent Flow Friction in a Circular Tube with Conical-Nozzle Turbulators., *Int. Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 34, page 72-82.
- [10] Promvonge, P., and Eiamsa-ard, S., 2007, Heat Transfer Augmentation in a Circular Tube Using V-Nozzle Turbulator Inserts and Snail Entry., *Int. Journal of Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 32, page 332-340.
- [11] White, F. M., 1986, *Mekanika Fluida*, alih bahasa Manahan Hariandja, Edisi Kedua, Jilid 1, Erlangga, Jakarta