

STUDI PENINGKATAN PERPINDAHAN KALOR KONVEKSI DENGAN CARA PENYISIPAN KAWAT SPIRAL PADA ALIRAN DALAM PIPA

Oleh:
Suyitnadi*)

Abstrak

Tujuan penelitian ini untuk mempelajari peningkatan perpindahan kalor konveksi pada aliran air dalam pipa dengan cara penyisipan kawat spiral di dalamnya. Data-data penelitian diperoleh melalui pengukuran laju aliran massa air, temperatur air saat masuk dan keluar pipa, temperatur dinding pipa serta tekanan statik aliran air saat masuk dan keluar pipa. Hasil pengolahan data-data yang diperoleh, digunakan untuk menghitung peningkatan perpindahan kalor konveksi. Peningkatan perpindahan kalor konveksi dinyatakan dalam modulus perpindahan kalor konveksi atau $Nu/Pr^{1/3}$, selanjutnya diperoleh persamaan empiris yang menyatakan hubungannya terhadap angka Reynolds dan geometri kawat sisipan.

**)Lektor Tek Ir. Suyitnadi, M.T. Dosen Jurusan Teknik Penerbangan AAU*

Pendahuluan

Ketersediaan sumber energi dunia semakin terbatas, telah memacu para pakar di bidang energi untuk melakukan kegiatan penelitian, yang bertujuan menemukan cara penghematan energi atau penggunaan energi secara efisien. Khusus di bidang teknologi penukar kalor, cara pemakaian energi secara efisien terwujud dalam bentuk kegiatan penelitian untuk menemukan cara peningkatan perpindahan kalor khususnya perpindahan kalor konveksi.

Salah satu upaya peningkatan perpindahan kalor konveksi yang cukup populer pada dewasa ini adalah dengan membangkitkan turbulensi pada suatu aliran dalam pipa. Pembangkitan turbulensi dilakukan dengan memberikan gangguan terhadap aliran, yang salah satunya dengan cara menyisipkan kawat spiral pada aliran dalam pipa.

Turbulensi pada aliran menyebabkan munculnya komponen-komponen kecepatan radial disamping komponen kecepatan aksial yang sudah ada. Gabungan kedua macam komponen kecepatan tersebut akan menghasilkan dampak pengadukan yang lebih agresif, sehingga transportasi energi akan meningkat dalam aliran yang berakibat terjadinya peningkatan perpindahan kalor konveksi. Di samping itu keberadaan kawat spiral dalam medan aliran, menyebabkan terjadinya distribusi koefisien perpindahan kalor lokal di sekitar kawat spiral. Distribusi koefisien perpindahan kalor tersebut akan lebih meningkatkan perpindahan kalor konveksi.

Peningkatan perpindahan kalor diartikan sebagai perpindahan kalor yang diperoleh dari aliran dalam pipa dengan sisipan kawat, dibanding dengan perpindahan kalor yang diperoleh dari aliran dalam pipa tanpa sisipan yang dinyatakan dengan Nu/Nu_0 . Unjuk kerja yang optimal dari suatu alat penukar kalor antara lain dapat dilihat dari besarnya harga Nu/Nu_0 .

Penelitian tentang peningkatan perpindahan kalor dilaksanakan pada daerah laminar. Alasannya bahwa koefisien perpindahan kalor pada aliran laminar biasanya rendah, sehingga usaha peningkatan perpindahan kalor diharapkan dapat diperoleh hasil yang optimal. Di samping itu hanya sedikit para peneliti yang tertarik pada penelitian peningkatan perpindahan kalor pada aliran laminar, meskipun aplikasi perpindahan kalor pada aliran laminar banyak ditemui di dunia industri misalnya pada sistem pelumasan atau proses reaksi kimia.

Sieder dan Tate (1936) menyatakan bahwa besarnya perpindahan kalor konveksi yang dinyatakan dalam angka Nusselt, pada aliran turbulen adalah :

$$Nu = 0,027 Re^{0,6} Pr^{1/3} (\mu/\mu_w)^{0,14} \dots\dots\dots (1)$$

Perpindahan kalor konveksi pada aliran laminar dengan batasan $6 < L/d < 400$ dan aliran sudah berkembang penuh, persamaannya adalah :

$$Nu = 1,86 (Re Pr)^{1/3} (d/l)^{1/3} (\mu/\mu_w)^{0,14} \dots\dots\dots (2)$$

Uttawar dan Raja Rao (1985) meneliti tentang peningkatan kalor konveksi pada aliran laminar dengan cara penyisipan kawat spiral. Peningkatan perpindahan kalor yang diperoleh dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$Nu = 1,65 \tan \alpha (Re)^{(0,25(\tan \alpha)^{-0,38})} (Pr)^{0,35} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \dots\dots (3)$$

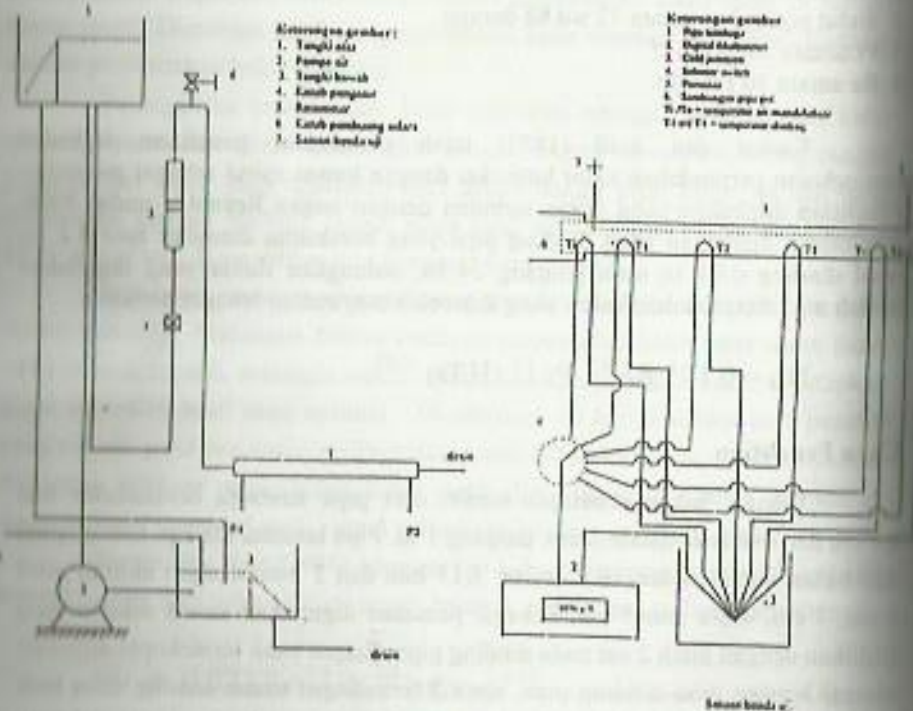
- Persamaan di atas hanya terbatas pada :
1. Fluida yang digunakan *servotherm oil*
 2. Sudut puntir (α) antara 32 s/d 68 derajat
 3. Pr antara 300 s/d 675
 4. Re antara 30 s/d 700.

Kumar dan Judd (1970) telah melakukan penelitian terhadap peningkatan perpindahan kalor konveksi dengan kawat spiral sebagai *promoter*. Penelitian dilakukan pada aliran turbulen dengan angka Reynolds mulai 5000. Pemanasan dilakukan pada dinding pipa yang berukuran diameter luar 0,5 in, tebal dinding 0,01 in serta panjang 24 in, sedangkan fluida yang digunakan adalah air. Perpindahan kalor yang diperoleh dinyatakan sebagai berikut :

$$Nu = 0,175 Re^{0,7} Pr^{1/3} (H/D)^{-0,35} \dots\dots\dots (4)$$

Cara Penelitian

Sebagai bahan penelitian terdiri dari pipa tembaga berdiameter luar 1,3 cm dan diameter dalam 2 cm, panjang 1 m. Pipa tersebut disisipi kawat spiral dari bahan tembaga dengan diameter 1,15 mm dan 2 mm, dengan ukuran *pitch* 1 cm, 3 cm, 4 cm dan 5 cm. Sebagai pemanas digunakan kawat nikelin yang dililitkan dengan *pitch* 2 cm pada dinding pipa. Empat buah termokopel dipasang sebagai *sensing* suhu dinding pipa, serta 2 termokopel untuk *sensing* suhu bulk pada lubang masuk dan ke luar pipa. Guna memperoleh penurunan tekanan sepanjang pipa digunakan 2 buah manometer miring (*tilting manometer*) dengan resolusi pembacaan 0,25 mm air. *Digital multimeter* digunakan untuk konversi tegangan listrik yang dihasilkan termokopel menjadi suhu dengan ketelitian pembacaan 0,05° C. Pengukuran suhu pada setiap titik dilaksanakan secara bergantian dengan *selector switch*. Diameter kumparan kawat dibuat sedemikian rupa sehingga jika disisipkan kawat menyentuh dinding dalam pipa. Alat penelitian secara lengkap ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1.
Alat Penelitian

Langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Katub pengatur air ke dalam pipa diatur sesuai debit aliran yang dibendaki yaitu mulai dari 30 liter/jam. Pemanas dihidupkan dan ditunggu sampai sekitar 10 menit, setelah itu dilakukan pencatatan data penelitian. Data-data yang dicatat adalah suhu dinding, suhu air masuk dan ke luar serta tekanan

statik air masuk dan ke luar. Pencatatan data-data tersebut diulang 3 kali dengan interval 8 menit, kemudian hasilnya dirata-rata. Sebagai variabel digunakan debit aliran dalam liter/jam. Pada aliran laminar, debit yang digunakan mulai 30 sampai sekitar 110 liter/jam. Dalam mengatur besar debit aliran, biasanya mengalami hambatan berupa gelembung udara atau uap yang terikut dalam aliran. Guna mengatasinya digunakan katub pengusiran udara atau *bleeding valve* yang dipasang pada sistem perpipaan. Penelitian diawali dengan pipa tanpa sisipan, karena perpindahan kalor pada pipa tanpa sisipan, berguna sebagai acuan dalam perhitungan besarnya peningkatan perpindahan kalor dari setiap geometri sisipan kawat yang diteliti.

Hasil Penelitian Dan Pembahasan

Data hasil penelitian yang dicatat dilakukan perhitungan-perhitungan sebagai berikut:

Menentukan properti aliran digunakan acuan temperatur rata-rata antara air masuk dan ke luar. Properti yang diperlukan antara lain density ρ , viskositas dinamis μ , angka Prantil Pr , koefisien konduktivitas thermal k dan panas jenis pada tekanan konstan C_p . Data yang diperoleh pada setiap debit aliran diperoleh harga properti tertentu.

Masing-masing debit aliran dapat ditetapkan suatu parameter tanpa dimensi, yaitu angka Reynolds Re .

$$Re = \rho V D_e / \mu \quad (5)$$

$$De = \frac{D^2 L}{(DL + d_i)} \quad (6)$$

$$V = m / (\rho A) \quad (7)$$

$$A = \pi D^2 / 4 \quad (8)$$

$$m = \text{debit aliran} / 3600000 \text{ m}^3/\text{dtk} \quad (9)$$

Besarnya kalor yang diserap aliran air didasarkan pada keseimbangan energi, yaitu jumlah kalor yang diserap sama dengan jumlah kalor yang dipindahkan secara konveksi :

$$Q = m C_p (T_o - T_i) = h A (T_w - T_{rata-rata}) \quad (10)$$

$T_w - T_{rata-rata}$ bisa didekati dengan ΔT_{LMTD} atau beda temperatur logaritmik :

$$\Delta_{LMTD} = \frac{(T_w - T_i) - (T_w - T_o)}{\ln \left[\frac{T_w - T_i}{T_w - T_o} \right]} \quad (11)$$

Dengan demikian koefisien perpindahan kalor h bisa dihitung :

$$h = \frac{m C_p (T_o - T_i)}{A \Delta T_{LMTD}} \quad (12)$$

Besarnya koefisien perpindahan kalor bisa dinyatakan dalam angka Nusselt :

$$Nu = hD/k \quad (13)$$

Guna memperoleh hubungan peningkatan perpindahan kalor dengan Re dan parameter tanpa dimensi yang diperoleh dari geometri kawat sisipan yaitu L/d , maka digunakan parameter tanpa dimensi yang disebut modulus perpindahan kalor $Nu/Pr^{1/3}$.

$Pr = Cp/(\mu k)$ diperoleh dari tabel properti air dengan mengetahui temperatur lebih dahulu.

Peningkatan perpindahan kalor yang dinyatakan dalam korelasi antara $Nu/Pr^{1/3}$, Re dan L/d diperoleh dengan prediksi :

$$Nu/Pr^{1/3} = p Re^q (L/d)^r \quad (14)$$

Persamaan (14) bisa dirubah dalam bentuk persamaan logaritma, yaitu :

$$\text{Log } (Nu/Pr^{1/3}) = \text{Log } p + q \text{ Log } Re + r \text{ Log } L/d \quad (15)$$

$$\text{atau} \\ Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 \quad (16)$$

Persamaan (16) dapat diselesaikan dengan "multiple linear regression", yaitu dengan menghitung harga dari setiap faktor yang ada dalam matrik berikut :

$$\begin{bmatrix} n & \Sigma X_1 & \Sigma X_2 \\ \Sigma X_1 & \Sigma X_1^2 & \Sigma X_1 X_2 \\ \Sigma X_2 & \Sigma X_1 X_2 & \Sigma X_2^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma Y \\ \Sigma X_1 Y \\ \Sigma X_2 Y \end{bmatrix} \quad (17)$$

- n = jumlah data
- X_1 = $\text{Log } Re$
- X_2 = $\text{Log } (L/d)$
- Y = $\text{Log } (Nu/Pr^{1/3})$

Hasil perhitungan parameter-parameter tersebut disusun dalam matrik, kemudian harga a_0 , a_1 dan a_2 bisa diselesaikan dengan matrik invers. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa peningkatan perpindahan kalor dapat dikatakan sebagai korelasi antara $Nu/Pr^{1/3}$, Re dan L/d sebagai berikut

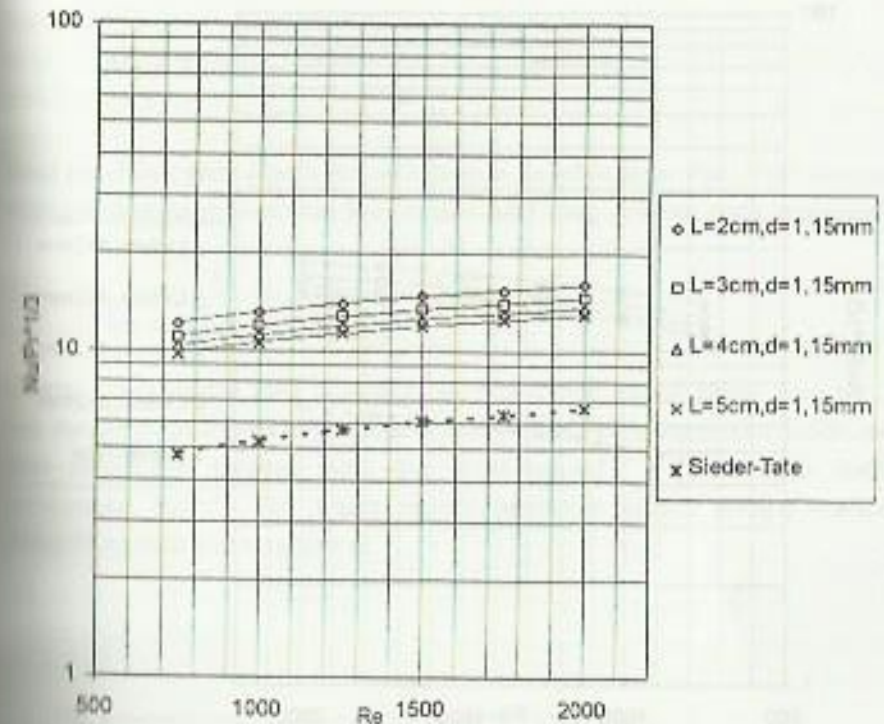
$$\frac{Nu}{Pr^{1/3}} = 3,621 Re^{0,2826} \left(\frac{L}{d} \right)^{-0,233} \quad (18)$$

Persamaan (18) berlaku untuk Re antara 500 sampai dengan 2000, L/d antara 10 sampai dengan 44 dan fluida yang digunakan adalah air.

Angka Reynolds pada persamaan (18) berpangkat positif, yang berarti semakin tinggi harga Re akan meningkatkan perpindahan kalor konveksi. Bertambahnya Re akan menyebabkan naiknya tingkat turbulensi, yang berarti meningkatnya komponen-komponen kecepatan radial sehingga transportasi energi ke arah radial menjadi lebih besar.

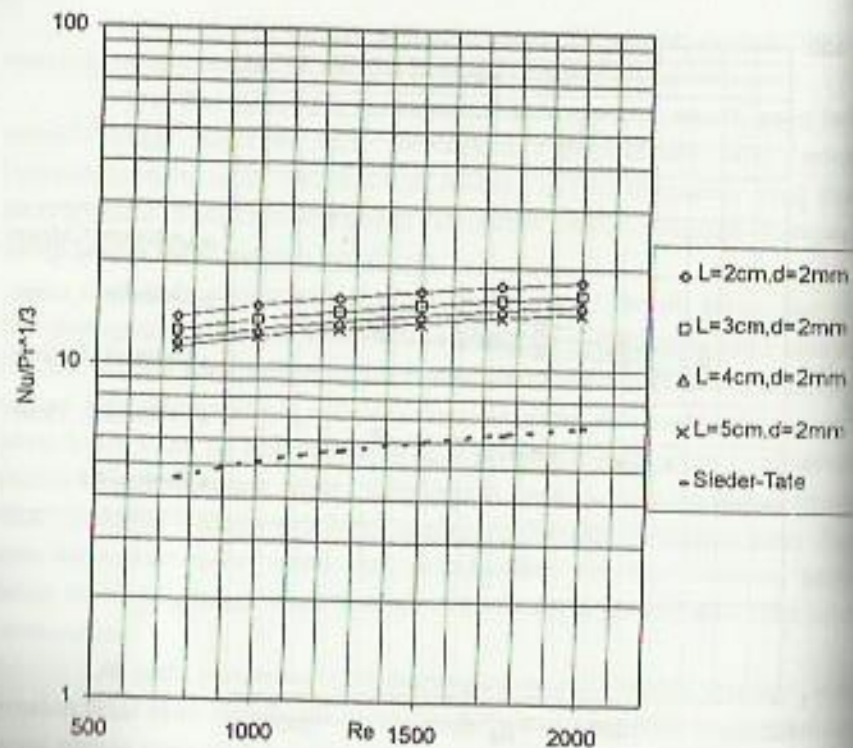
L/d pada persamaan (18) berpangkat negatif, berarti pengecilan *pitch* atau peningkatan diameter kawat akan menaikkan perpindahan kalor konveksi. Pengecilan *pitch* berarti terjadi peningkatan luasan *wake* pada daerah di belakang sisipan. Peningkatan luasan *wake* akan meningkatkan distribusi koefisien perpindahan kalor lokal. Di samping itu dengan pengecilan *pitch* akan meningkatkan jumlah kumparan dalam aliran, yang berarti usikan terhadap aliran semakin besar, sehingga tingkat turbulensi meningkat. Tingkat turbulensi yang tinggi serta keberadaan kawat spiral yang menghasilkan distribusi koefisien perpindahan kalor yang tinggi, akan meningkatkan koefisien perpindahan kalor secara keseluruhan.

L/d pada persamaan (18) berpangkat negatif, berarti diameter kawat semakin besar akan menghasilkan tingkat turbulensi yang lebih tinggi. Diameter kawat sisipan yang lebih besar juga akan meningkatkan luasan *wake* di belakang kawat, sehingga koefisien perpindahan kalor lokal akan semakin besar. Turbulensi yang tinggi serta distribusi perpindahan kalor lokal yang besar akan meningkatkan perpindahan kalor konveksi. Dari hasil pengujian bahwa koefisien perpindahan kalor konveksi terbesar diperoleh pada penyisipan kawat spiral dengan diameter 2 mm dan jarak *pitch* 2 cm. Peningkatan perpindahan kalor konveksi yang diperoleh sekitar 300 % dari perpindahan kalor konveksi pada pipa polos yaitu pipa tanpa sisipan. Harga $Nu/Pr^{1/3}$ yang diperoleh dari data penelitian dibandingkan dengan $Nu/Pr^{1/3}$ hasil "multiple linear regression" mempunyai standard deviasi 1,5 dan varian 11,5%. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian Uttarwar dan Raja Rao diperoleh standard deviasi 2,6 dan varian 11,6%. Harga $Nu/Pr^{1/3}$ dari data penelitian pipa tanpa sisipan, jika dibandingkan dengan hasil penelitian Sieder and Tate diperoleh standard deviasi 0,365 dan varian 6,1%. Peningkatan perpindahan kalor yang dinyatakan pada persamaan (18) ditunjukkan pada kurva gambar 2 dan 3.



Gambar 2.
Kurva modulus perpindahan kalor $Nu/Pr^{1/3}$ terhadap angka Reynolds Re untuk kawat sisipan diameter 1,15 mm

Perhitungan optimasi dimaksudkan untuk mencari daerah operasi alat pemukar kalor dalam angka Reynolds, yang menghasilkan unjuk kerja atau *performance* optimal. Unjuk kerja alat pemukar kalor yang optimal yang dimaksud adalah jumlah perpindahan kalor konveksi terbesar yang diperoleh dari penyisipan kawat spiral, dibanding dengan harga perpindahan kalor konveksi pipa tanpa sisipan. Dengan dasar tersebut akan dibandingkan hasil peningkatan perpindahan kalor dari 3 macam penelitian, yaitu penelitian pada daerah laminar dengan Re rendah, pada daerah laminar pada Re 700 sampai dengan 2000 dan pada daerah turbulen dengan Re lebih besar dari 5000.



Gambar 3.
Kurva modulus perpindahan kalor $Nu/Pr^{1/3}$ terhadap angka Reynolds Re untuk kawat sisipan diameter 2 mm

Hasil penelitian pada daerah laminar dengan Re rendah yaitu antara 30 sampai dengan 500, digunakan persamaan Uttarwar dan Raja Rao yaitu :

$$Nu = 1,65 \tan \alpha (Re)^{(0,25(\tan \alpha)^{-0,38})} (Pr)^{0,35} \left(\frac{\mu}{\mu_W} \right)^{0,14}$$

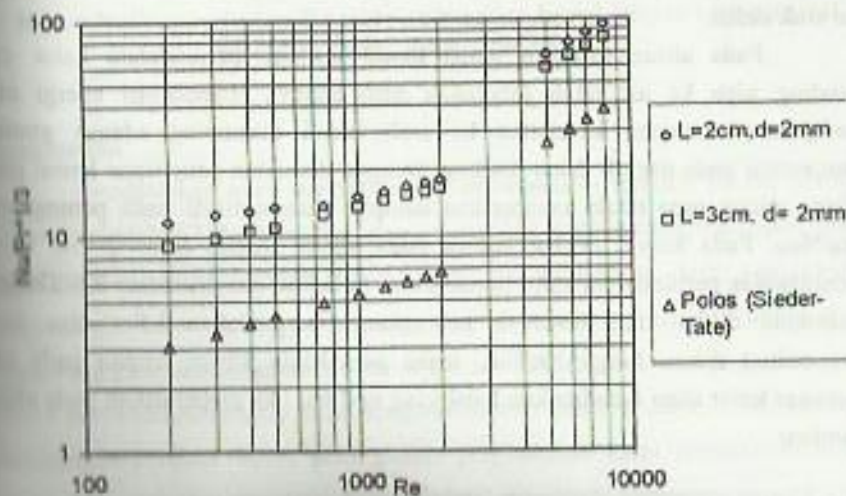
Hasil penelitian pada daerah laminar dengan Re 700 sampai dengan 2000, menggunakan persamaan (19), yaitu :

$$Nu = 3,621 Re^{0,2826} \left(\frac{L}{d} \right)^{-0,233} Pr^{1/3}$$

Hasil penelitian pada daerah turbulen dengan Re lebih besar dari 5000, dengan menggunakan hasil penelitian Kumar dan Ludd yang tersebut pada persamaan (4)

$$Nu = 0,175 Re^{0,7} \left(\frac{L}{D} \right)^{-0,355} Pr^{1/3}$$

Ukuran kawat sisipan yang digunakan sebagai contoh adalah kawat diameter 2 mm dengan *pitch* 2 cm. Dengan asumsi bahwa fluida yang digunakan adalah air serta mempunyai properti sama dan harga $(\mu/\mu_w)^{0,14} = 1,06$, maka hasil perhitungan $Nu/Pr^{1/3}$ dari ketiga macam penelitian adalah sebagai berikut ditunjukkan pada kurva gambar 4.



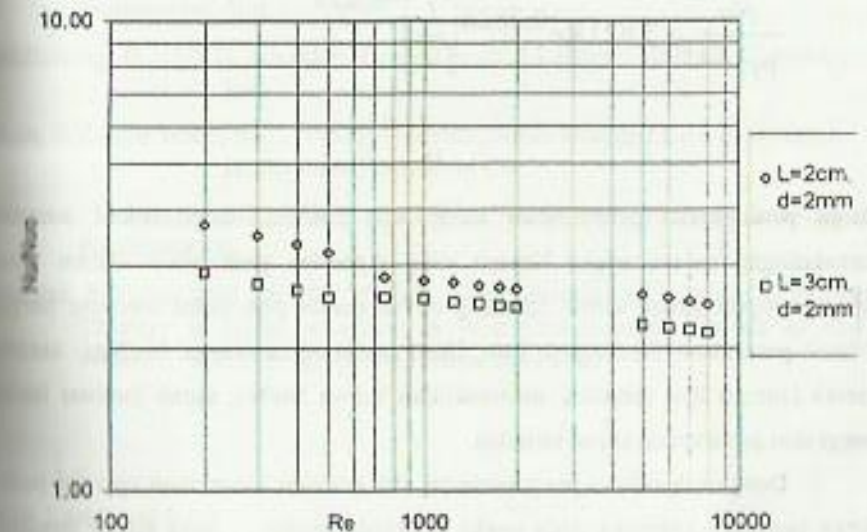
Gambar 4.
Kurva $Nu/Pr^{1/3}$ terhadap Re untuk aliran dalam pipa dengan sisipan kawat diameter 2 mm dan pipa polos pada daerah laminar dan turbulen

Perbandingan antara modulus perpindahan kalor setiap pipa dengan sisipan kawat spiral $Nu/Pr^{1/3}$ terhadap modulus perpindahan kalor pipa tanpa sisipan $Nu_0/Pr^{1/3}$, diartikan sebagai harga peningkatan perpindahan kalor Nu/Nu_0 . Harga Nu/Nu_0 untuk aliran dalam pipa yang berisi kawat sisipan berdiameter 2 mm, *pitch* 2 cm dan 3 cm pada daerah laminar dan turbulen ditunjukkan pada gambar 5.

Kurva Nu/Nu_0 terhadap angka Reynolds Re pada gambar 5, terlihat bahwa harga peningkatan perpindahan kalor atau Nu/Nu_0 pada daerah aliran laminar lebih tinggi dibanding pada daerah turbulen. Tercatat pada angka $Re = 200$, *pitch* 2 cm dan diameter kawat 2 mm, Nu/Nu_0 berharga tertinggi yaitu 3,71. Sebagai alasan bahwa peningkatan perpindahan kalor pada daerah laminar lebih tinggi dari pada daerah turbulen adalah sebagai berikut :

Pada saat aliran bersifat laminar, perpindahan kalor dari dinding pipa ke air disebabkan gradien temperatur pada daerah dekat dinding pipa. Adanya sisipan kawat pada aliran dalam pipa, mengakibatkan aliran dipaksa menjadi turbulen secara prematur. Kondisi demikian menyebabkan perpindahan kalor dari dinding pipa ke air selain disebabkan adanya gradien temperatur pada daerah dekat dinding, diperkuat lagi oleh adanya komponen-komponen kecepatan aliran ke arah radial.

Pada aliran turbulen tanpa kawat sisipan, perpindahan kalor dari dinding pipa ke air telah dilakukan oleh adanya transportasi energi oleh komponen-komponen kecepatan ke arah radial disamping adanya gradien temperatur pada daerah dekat dinding. Dengan demikian penyisipan kawat pada aliran dalam pipa tidak memberikan dampak yang optimal pada peningkatan Nu/Nu_0 . Pada kurva terlihat bahwa pada kawat sisipan *pitch* 2 cm, harga peningkatan perpindahan kalor untuk aliran turbulen hanya sebesar 2,6. Dengan demikian dilihat dari besarnya peningkatan perpindahan kalor atau yang dinyatakan dalam harga Nu/Nu_0 , maka pemakaian kawat sisipan pada alat penukar kalor akan memberikan hasil yang optimal jika dioperasikan pada aliran laminar.



Gambar 5.
Kurva Nu/Nu_0 terhadap Re pada aliran pipa berisi sisipan kawat spiral diameter 2mm, *pitch* 2 cm dan 3 cm

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan terbukti bahwa peningkatan perpindahan kalor konveksi, dapat dilakukan dengan cara penyisipan kawat spiral pada aliran dalam pipa dari suatu alat penukar kalor. Besar peningkatan perpindahan kalor selain tergantung pada besarnya angka Reynolds, juga tergantung pada ukuran geometri kawat spiral. Ukuran geometri yang dimaksud adalah perbandingan antara *pitch* dengan diameter kawat spiral L/d . Berdasarkan perhitungan korelasi antara peningkatan perpindahan kalor konveksi terhadap angka Reynolds dan geometri kawat spiral, diperoleh hubungan seperti yang dinyatakan pada persamaan (22)

$$\frac{Nu}{Pr^{1/3}} = 3,621 Re^{0,2826} \left[\frac{L}{d} \right]^{-0,233}$$

Harga peningkatan perpindahan kalor atau Nu/Nu_0 , didefinisikan sebagai perbandingan antara angka Nusselt yang diperoleh pada aliran dalam pipa dengan sisipan kawat spiral, terhadap aliran dalam pipa polos menurut harga Nusselt persamaan Sieder and Tate. Hasil perhitungan harga Nu/Nu_0 antara daerah laminar dan turbulen, membuktikan bahwa Nu/Nu_0 untuk laminar lebih tinggi dari pada untuk aliran turbulen.

Dengan demikian pengoperasian alat penukar kalor akan optimal pada aliran laminar khususnya pada angka Reynolds rendah. Jenis aliran tersebut sangat sesuai dengan pendinginan pada sistem pelumasan atau sistem-sistem yang digunakan dalam proses reaksi kimia.

Daftar Pustaka

- Bejan, A., (1984), *Convection Heat Transfer*, John Wiley & Sons
- Fox, W.R., dan McDonald, T.A., (1985), *Introduction to Fluid Mechanics*, John Wiley & Sons
- Fernandez, J.L. dan Peulter, R., (1967), "Heat Transfer Enhancement by Mean Of Flag-Type Insert in Tubes", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 30, No. 13, pp.2603-2609, 1987.
- Frasa, A.P. and Ozisik, M.N., (1965), *Heat Exchanger Design*, John Wiley & Sons.
- Hollman, J.P., (1986), *Heat Transfer*, McGraw-Hill, Inc.

- Judd, R.L. dan Kumar, P., (1970), "Heat Transfer with Coiled Wire Turbulence Promoters", *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 43, 1970.
- Schlichting, H., (1962), *Boundary Layer Theory*, McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Shah, R.K. and Webb, R.L., (1981), *Compact and Exchanged Heat Exchanger*, Hemisphere Publishing Co.
- Taborok, J dkk., (1981), *Heat Exchangers Theory and Practice*, Hemisphere Publishing Co
- Utawar, S.B. dan Raja Rao, M., (1985), "Augmentation of Laminar Flow Heat Transfer in Tubes by Means of Wire Coil Inserts", *Journal of Heat Transfer*, Vol. 107, pp.930-935, Nopember 1985.

Arti Lambang

- A = luas permukaan bagian dalam pipa (m²)
- C_p = panas jenis (J/(kg K))
- d = diameter kawat (m)
- D = diameter pipa (m)
- D_e = diameter pipa ekuivalen (m)
- f = faktor (koefisien) gesek (-)
- g = percepatan gravitasi (m²/dtk)
- h = koefisien perpindahan kalor konveksi (W/ m² K)
- h₀ = perbedaan ketinggian air pada manometer (m)
- h₁ = penurunan tekanan (Pascal)
- k = koefisien perpindahan kalor konduksi (W/ m K)
- L = panjang kawat spiral (m)
- p = pitch (m)
- ΔT_{lm} = log mean temperature difference
- m = laju aliran massa (kg/dtk)
- Nu = Angka Nusselt (hD/k)
- Pr = Angka Prandtl (C_pμ/k)
- Q = Jumlah kalor (Joule)
- Re = Angka Reynolds (ρVD/μ) atau (VD/ν)
- T₁ = temperatur air masuk (°C)
- T₂ = temperatur air keluar (°C)

Studi Peningkatan perpindahan Kalor Konveksi dengan Cara Penyisipan Kawat Spiral pada Aliran dalam Pipa

- T_w = temperatur dinding ($^{\circ}\text{C}$)
- V = kecepatan air (m/dtk)
- W = debit aliran, Watt (l/jam)
- α = sudut puntir kawat spiral
- ρ = density (kg/m^3)
- μ = viskositas dinamis (Pascal dtk)
- ν = viskositas kinematis (m^2/dtk)