

ISSN: 0853 – 926X

JURNAL PENELITIAN **Iptek & Humaniora**

Nomor I (Iptek), Tahun ke-5, 2000

- Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa (Pengaruh Lama Perendaman dengan Aktivator dan Temperatur Pemanasan terhadap Daya Adsorpsi)
- Pengaruh Konsentrasi dan Jenis Kation Bivalen Terhadap Sifat Fisika Gel Asam Alginat dari Alga Coklat (*Phaeophyceae*)
- Kestabilan Senyawa Kompleks Amonia-Nessler
- Penentuan Koefisien Gaya Angkat Berdasarkan Distribusi Tekanan pada *Permukaan Airfoil*
- Pengaruh Minuman Berkarbohidrat dan Berelektrolit Terhadap Ambang Anaerobik
- Amplifikasi dan Karakterisasi Fragmen DNA 0,6 Kilobasa Gen *ivIII* Bakteri *Salmonella typhimurium*
- Perpindahan Kalor dan Aliran Fluida dalam Pipa Horisontal yang diisi Plat Dipilin dengan pemanasan Uap Jenuh
- Isolasi dan Karakterisasi Kolesterol dalam Kuning Telur Beberapa Jenis Unggas



LEMBAGA PENELITIAN
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

JURNAL PENELITIAN

Iptek dan Humaniora

Penerbit:

Lembaga Penelitian Universitas Negeri Yogyakarta

Pemimpin Umum/Penanggung Jawab:

Ketua Lembaga Penelitian Universitas Negeri Yogyakarta

Redaksi:

Dr. Wardan Suyanto, M.A. (Ketua)

Dr. Sudaryanto, M.Pd. (Anggota)

Dr. Mukminan (Anggota)

Dr. Nurfini Aznam, Apt., SU. (Anggota)

Dra. Farida Hanum, M.Si. (Anggota)

Dr. dr. Woro Kushartanti, M.S. (Anggota)

Tata Usaha/Pelaksana:

Dra. Sri Ningsih

Setting dan Tata Letak:

Drs. Dulgani

Alamat Redaksi/Tata Usaha:

Lembaga Penelitian Universitas Negeri Yogyakarta

Gedung LPM Lantai II – Karangmalang, Yogyakarta. 55281

Telepon (0274) 586168 pesawat 242, 262, Fax (0274) 518617

e-mail: LPIKIPYK@yogya.wasantara.net.id

STT: Surat Keputusan Menteri Penerangan RI

(dalam proses)

ISSN: 0853-926X

Semua tulisan yang ada dalam Jurnal Iptek dan Humaniora bukan merupakan cerminan sikap dan atau pendapat Dewan Redaksi. Tanggung jawab terhadap isi dan atau akibat dari tulisan, tetap terletak pada penulis.

PERPINDAHAN KALOR DAN ALIRAN FLUIDA DALAM PIPA HORIZONTAL YANG DIISI PLAT DIPILIN DENGAN PEMANASAN UAP JENUH

**Oleh:
Agus Budiman**

Abstrak

Twisted tape inserts are widely used in industries as a means to increase the heat transfer coefficient of fluid flow inside tube. The objective of the present study was to experimentally determine the heat transfer coefficient friction factor characteristics of a twisted tape inserts inside circular tube. The test facility consists of the test section and calming section. Both sections were made of smooth copper tube with an inside diameter of 15.9 mm. The test section had a nominal length of 1600 mm and preceded by calming length of 1300 mm. Nine different twisted tape inserts were used in this research and there were three twist ratio each with three different thicknesses. Saturated steam was introduced in the annulus of the test section and used as a heater of the test tube. Fresh water was introduced as the working fluid. Wrapping insulation around all the exposed parts of the system insulated the whole system. The wall surface temperature of the test section was monitored by six thermocouples while temperature of fluid flow was measured by thermometer at the suction and discharge part. Fluid flow pressure differences were measured by open manometer installed at suction and discharge. The result of this research shown that the increase in heat transfer and pressure drop was strongly influenced by the helical motion of fluid induced by the twisted tape inserts. As the twist pitch decrease, the swirl flow increase, resulted in an increase in heat transfer. It was concluded that heat transfer coefficient in Nusselt number was a function between of twist pitch, twisted tape thickness, and Reynolds number in Prandtl number of 3.75 and 4.89. The Nusselt correlation number was: $Nu/Pr^{0.40} = 1.8478 Re^{0.50} (H/D)^{-0.31} (\delta/D)^{0.47}$. Pressure drop, that correlated to friction factors was a function of twist pitch and Reynolds number. The correlation of friction factor was: $f = 58.33188 Re^{-0.60} (H/D)^{-0.53}$.

Key words: heat transfer enhancement, twisted tape, friction factor, heat transfer coefficient

Pendahuluan

Penyisipan plat dipilin digunakan di industri sebagai cara untuk memacu (*to enhance*) koefisien perpindahan kalor pada aliran fluida dalam pipa. Pemacuan perpindahan kalor dicapai dengan menggunakan plat dipilin ini pada suatu kenaikan kerugian tekanan tertentu. Berarti dampak penyisipan plat dipilin tersebut adalah munculnya kerugian tekanan yang meningkat.

Penelitian tentang plat dipilin sebagai piranti untuk memacu perpindahan kalor telah banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu. Lopina dan Bergles (1969) meneliti perpindahan kalor dan kerugian tekanan pada aliran pusar air yang disebabkan oleh penyisipan plat dipilin, sedangkan Hong dan Bergles (1976) melakukan eksperimen mengenai pemacuan perpindahan kalor dengan penyisipan plat dipilin pada aliran fluida laminar. Du Plessis dan Kroger (1987) meneliti secara numeris korelasi perpindahan kalor aliran fluida laminar dalam pipa isothermal yang diisi plat dipilin. Berdasarkan data eksperimen, Manglik dan Bergles (1993a;1993b) membahas korelasi faktor gesekan dan bilangan Nusselt aliran fluida air dan *ethylene glycol* dalam pipa yang diisi plat dipilin pada aliran laminar, transisi dan turbulen. Ayub dan Al-Fahed (1993) serta Al-Fahed dan Chakroun (1996) meneliti pengaruh kelonggaran antara plat dipilin dengan pipa horisontal terhadap kerugian

tekanan dan perpindahan kalor pada aliran fluida turbulen. Ishikawa dan Kamiya (1994) juga meneliti perpindahan kalor dan faktor gesekan aliran fluida larutan *glycerin* dalam pipa *acrylic* yang diisi plat baja tahan karat yang dipilin.

Penelitian terdahulu menunjukkan adanya variasi korelasi maupun variasi pemacuan perpindahan kalor. Lopina dan Bergles (1969) yang meneliti pengaruh lebar plat dipilin pada aliran fluida turbulen menyimpulkan adanya peningkatan bilangan Nusselt sebesar 20% untuk plat yang terpasang rapat dibandingkan untuk plat yang terpasang longgar. Namun demikian, Manglik dan Bergles (1993a;1993b) melaporkan bahwa pemacuan perpindahan kalor pada plat yang terpasang rapat dapat diabaikan dibandingkan dengan plat yang terpasang longgar. Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan mendapatkan korelasi bilangan Nusselt maupun faktor gesekan terhadap parameter-parameter plat dipilin yaitu jarak antar pilin, tebal plat dan parameter bilangan Reynolds pada aliran fluida dalam pipa yang diisi plat dipilin. Untuk mencapai tujuan tersebut, dilakukan eksperimen menggunakan 9 buah plat dipilin dengan 3 variasi jarak antar pilin dan 3 variasi tebal plat. Dimensi fisis plat ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini.

Perpindahan Kalor dan Aliran Fluida dalam Pipa Horisontal yang Diisi Plat Dipilin dengan pemanasan Uap Jenuh

Tabel 1.
Spesifikasi Plat Dipilin

Jarak Pilin (H) (mm)	Tebal Plat (δ) (mm)		
	2	1,5	1
85	A	B	C
70	D	E	F
60	G	H	I

Kerugian Tekanan

Kerugian tekanan aliran fluida dalam pipa akibat pemacuan perpindahan kalor:

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{\rho \mu_m^2}{2} \quad (1)$$

Kerugian tekanan dalam eksperimen ini ditentukan dengan menentukan selisih antara pengukuran tekanan fluida pada titik pemasukan dan titik pengeluaran fluida pada pipa percobaan.

Jenis aliran fluida dalam pipa ditentukan dengan bilangan Reynolds:

$$Re = \frac{\mu_m D_h}{\nu} \quad (2)$$

Faktor gesekan dapat ditentukan dengan korelasi terhadap geometri plat dipilin dan bilangan Reynolds.

Koefisien Perpindahan Kalor

Koefisien perpindahan kalor aliran fluida dalam pipa ditentukan dengan asumsi bahwa laju perpindahan kalor dalam aliran fluida sama dengan laju perpindahan kalor antara dinding pipa dengan fluida, yaitu:

$$\dot{m} c_p (T_o - T_i) = \pi D_h L h (T_w - T_b) \quad (4)$$

$$\dot{m} = (Q \rho) / 1000 \quad (5)$$

$$Q = \pi/4 D_h^2 u_m \quad (6)$$

Temperatur rerata dinding pipa (T_w) dihitung dengan:

$$T_w = \Sigma T_i / n \quad (7)$$

n = jumlah titik pengukuran pada dinding pipa

Temperatur rerata limbak (T_b) dihitung dengan persamaan:

$$T_b = 1/2 (T_o + T_i) \quad (8)$$

Perhitungan ($T_w - T_b$) dapat didekati dengan beda temperatur rerata logaritmik atau *Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD)*:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln (\Delta T_1 / \Delta T_2)} \quad (9)$$

$\Delta T_1 = T_w - T_i$; $\Delta T_2 = T_w - T_o$; sehingga h dihitung dengan persamaan:

Perpindahan Kalor dan Aliran Fluida dalam Pipa Horisontal yang Diisi Plat Dipilin dengan pemanasan Uap Jenuh

$$h = \frac{\dot{m} c_p (T_o - T_i)}{\pi D_h L \Delta T_m} \quad (10)$$

Bilangan Nusselt ditentukan dengan persamaan:

$$Nu = \frac{h D_h}{k} \quad (11)$$

Bilangan Nusselt dapat juga ditentukan berdasarkan korelasi data eksperimen, misalnya korelasi dari Dittus-Bolter atau Sieder-Tate.

Hipotesis yang diajukan adalah perpindahan kalor konveksi akan meningkat bersama meningkatnya bilangan Reynolds, menurunnya nisbah pilin, dan meningkatnya nisbah tebal plat terhadap diameter pipa pada bilangan Prandtl tertentu. Faktor gesekan akan meningkat bersama menurunnya bilangan Reynolds, menurunnya nisbah pilin dan meningkatnya nisbah tebal plat terhadap diameter pipa.

Hipotesis penelitian diajukan dalam korelasi sebagai berikut :

$$f = a Re^b (H/D)^c (\delta/D)^d \quad (12) \text{ dan}$$

$$Nu / Pr^{0.40} = p Re^q (H/D)^r (\delta/D)^s \quad (13)$$

Pemakaian Plat Dipilin Yang Optimal

Prosentase pemacuan perpindahan kalor:

$$e_h = (Nu_{it} / Nu_{sp}) \times 100\% \quad (14)$$

Prosentase pemacuan faktor gesekan:

$$e_f = (f_{it} / f_{sp}) \times 100\% \quad (15)$$

Nisbah antara pemacuan perpindahan kalor dan pemacuan faktor gesekan:

$$\xi = (e_h / e_f) \times 100 \% \quad (16)$$

Fasilitas dan Prosedur Penelitian

Bahan penelitian berupa air biasa, sedangkan akuades sebagai pembangkit uap dalam generator uap. Bahan-bahan yang dirakit menjadi alat penelitian adalah pipa PVC, pipa tembaga diameter 15,9 mm, plat tembaga lebar 15,9 mm dengan tebal 2 mm, 1,5 mm dan 1 mm untuk dipilin, tangki air plastik, kran-kran air, isolasi asbes dan *rockwool*, kerangka besi siku. Generator uap yang digunakan berukuran kecil dengan kapasitas air 30 liter, tekanan uap maksimum 8 bar, dengan produksi uap 26 kg per jam dengan temperatur maksimum 120° C. Generator uap ini memerlukan daya listrik 18 kW.

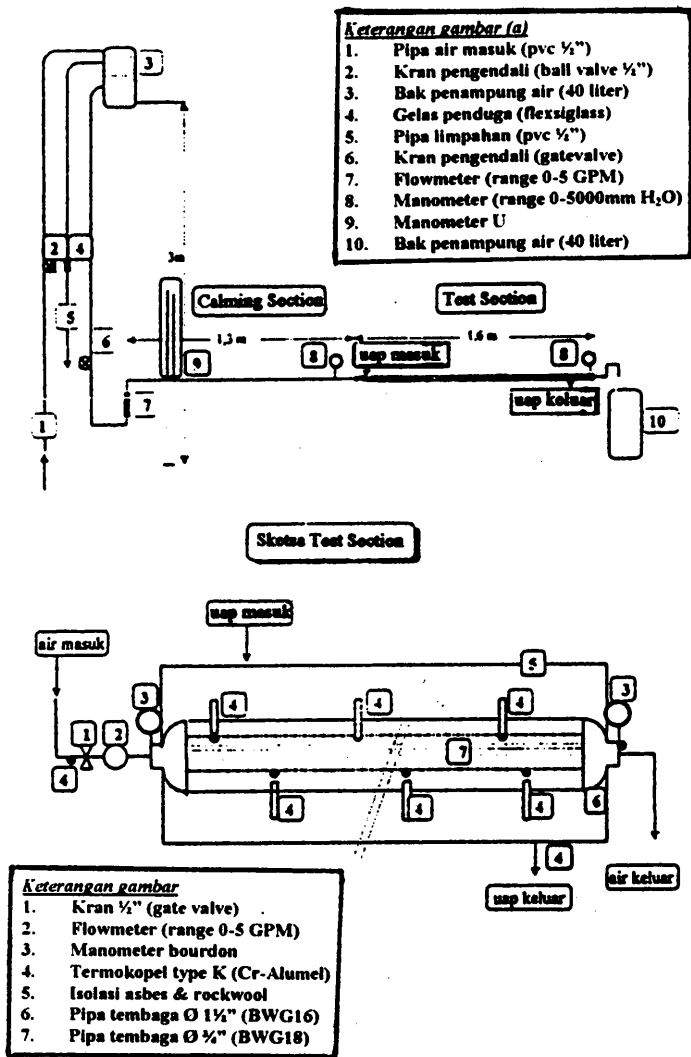
Alat ukur yang digunakan adalah flowmeter air (0-5 GPM), manometer Bourdon (0 – 5000 mm H₂O), manometer terbuka, termokopel jenis K (Chromel-Alumel), dan termometer digital dari OMEGA. Secara skema susunan alat percobaan disajikan pada gambar 1.

Perpindahan Kalor dan Aliran Fluida dalam Pipa Horisontal yang Diisi Plat Dipilin dengan pemanasan Uap Jenuh

Bagian percobaan (*test section*) ditunjukkan pada gambar 2, sedangkan bentuk plat dipilin disajikan pada gambar 3.

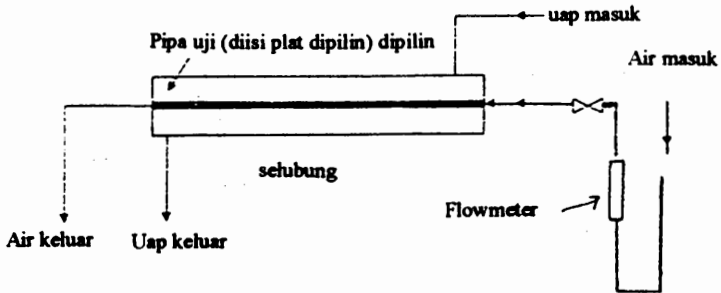
Penelitian ini tidak langsung mengukur koefisien perpindahan kalor melainkan dengan pengukuran parameter-parameter lain, yaitu: temperatur dinding pipa, temperatur fluida kerja, laju aliran volume (debit) air dan geometri pipa dan plat dipilin. Faktor gesekan juga akan diperoleh berdasarkan parameter kerugian tekanan dan geometri pipanya. Temperatur dinding pipa pengukuran perbedaan tekanan fluida dan pengukuran temperatur dinding pipa percobaan.

Data dianalisis secara matematis dan statistis (regresi linier berganda).

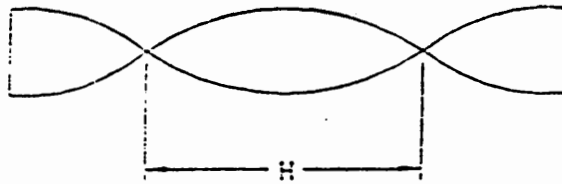


Gambar 1.
Skema Susunan Alat Percobaan.

Perpindahan Kalor dan Aliran Fluida dalam Pipa Horizontal yang Diisi Plat Dipilin dengan pemanasan Uap Jenuh



Gambar 2.
Skema Bagian Percobaan



Gambar 3.
Bentuk Plat yang Dipilin

Hasil dan Pembahasan

Secara kuantitatif dari pengukuran parameter temperatur dinding, laju aliran volume, kerugian tekanan dan geometri dapat dihitung bilangan Reynolds (Re), bilangan Nusselt (Nu) dan faktor gesekan (f) yang disajikan pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2.
Harga Re, Nu dan f Pipa tanpa
Plat Dipilin

Debit	Re	Nu	f
1	7313	41,92	0,0484
1.5	10745	53,07	0,0387
2	14079	53,60	0,0378
2.5	17,534	70,03	0,0358
3	20,990	78,16	0,0331
3.5	24,429	91,81	0,0334

Tabel 2 a.
Harga Re, Nu dan f Pipa dengan
Plat Dipilin (H=85 mm ; $\delta = 2$ mm)

Debit	Re	Nu	F
1	9464	73,66	0,0982
1,5	13267	81,31	0,0729
2	17005	91,41	0,0639
2,5	20850	112,09	0,0603
3	24262	118,38	0,0541
3,5	28163	142,58	0,0491

Tabel 2b.
Harga Re, Nu dan f Pipa dengan
Plat Dipilin (H=85 mm; $\delta = 1,5$ mm)

Debit	Re	Nu	f
1	9122	68,59	0,0992
1.5	12970	79,94	0,0754
2	16825	86,30	0,0671
2.5	20622	96,71	0,0629
3	24426	117,70	0,0573
3.4	28084	129,81	0,0449

Tabel 2 c.
Harga Re, Nu dan f Pipa dengan
Plat Dipilin (H=85 mm ; $\delta = 1$ mm)

Debit	Re	Nu	F
1	8198	54,68	0,0960
1,5	11664	61,34	0,0729
2	15173	68,77	0,0642
2,5	18771	71,37	0,0606
3	22297	81,98	0,0570
3,4	25918	94,21	0,0520

Tabel 2d.
Harga Re, Nu dan f Pipa dengan
Plat Dipilin (H=70 mm; $\delta = 2$ mm)

Debit	Re	Nu	f
1	9048	75,60	0,1054
1.5	12852	82,96	0,0761
2	16511	99,50	0,0675
2.5	19895	115,77	0,0639
3	23276	133,59	0,0584
3.3	16682	145,20	0,0511

Tabel 2 e.
Harga Re, Nu dan f Pipa dengan
Plat Dipilin (H=70 mm; $\delta = 1,5$ mm)

Debit	Re	Nu	F
1	9273	70,00	0,1088
1,5	13101	81,97	0,0820
2	16825	88,68	0,0705
2,5	20645	101,17	0,0678
3	24197	123,71	0,0606
3,3	27649	136,68	0,0540

Perpindahan Kalor dan Aliran Fluida dalam Pipa Horisontal yang Diisi Plat Dipilin dengan pemanasan Uap Jenuh

Tabel 2 f.
 Harga Re, Nu dan f Pipa dengan
 Plat Dipilin (H=70 mm; $\delta=1$ mm)

Debit	Re	Nu	F
1	8170	55.04	0.1193
1.5	11921	64.12	0.0853
2	15466	72.86	0.0735
2.5	19059	77.60	0.0686
3	22719	85.88	0.0629
3.4	26342	97.04	0.0553

Tabel 2 g.
 Harga Re, Nu dan f Pipa dengan
 Plat Dipilin (H=60mm ; $\delta = 2$ mm)

Debit	Re	Nu	F
1	9545	80.29	0.1203
1.5	13279	90.86	0.0860
2	17154	106.21	0.0786
2.5	20777	120.53	0.0745
3	24291	135.51	0.0668
3.3	27813	148.47	0.0571

Tabel 2 h.
 Harga Re, Nu dan f Pipa dengan
 Plat Dipilin (H=60mm; $\delta=1.5$ mm)

Debit	Re	Nu	f
1	9289	72.93	0.1278
1.5	13057	83.59	0.0941
2	16912	97.63	0.0858
2.5	20749	117.27	0.0767
3	24177	130.66	0.0686
3.3	27884	147.83	0.0594

Tabel 2 i.
 Harga Re, Nu dan f Pipa dengan
 Plat Dipilin (H=60mm ; $\delta = 1$ mm)

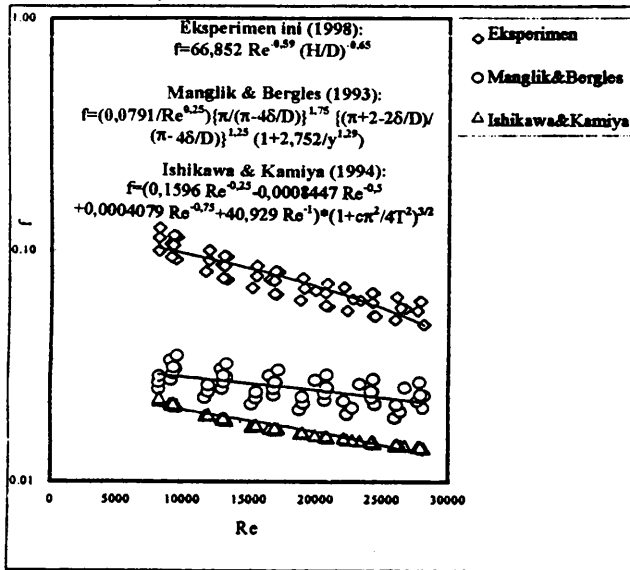
Debit	Re	Nu	F
1	8210	59.31	0.1348
1.5	11901	67.44	0.1114
2	15505	76.27	0.0866
2.5	18957	84.99	0.0770
3	22405	89.28	0.0701
3.4	26044	107.57	0.0641

Hasil analisis pada faktor gesekan menunjukkan bahwa makin kecil jarak pilin pada plat maka faktor gesekan aliran fluida dalam pipa makin besar. Bila jarak pilin makin pendek maka jalur aliran fluida bertambah panjang sehingga menambah kerugian tekanan. Kondisi ini akan meningkatkan faktor gesekan.

Analisis juga menunjukkan bahwa tebal plat tidak mempunyai pengaruh yang pasti terhadap faktor gesekan, sehingga data pengukuran tidak mendukung hipotesis yang diajukan. Korelasi faktor gesekan yang dihasilkan adalah:

$$f = 58,33188 \text{ Re}^{-0,60} (H/D)^{-0,53}$$

dengan ralat rerata 4,55% pada $9044 < \text{Re} < 28210$ dan $3,773 < (H/D) < 5,345$. Posisi faktor gesekan dalam penelitian lebih besar daripada penelitian lain (Manglik dan Bergles, 1993; Ishikawa dan Kamiya, 1994) dan disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4.
Kedudukan f Eksperimen terhadap Penelitian Lain.

Perpindahan Kalor dan Aliran Fluida dalam Pipa Horisontal yang Diisi Plat Dipilin dengan pemanasan Uap Jenuh

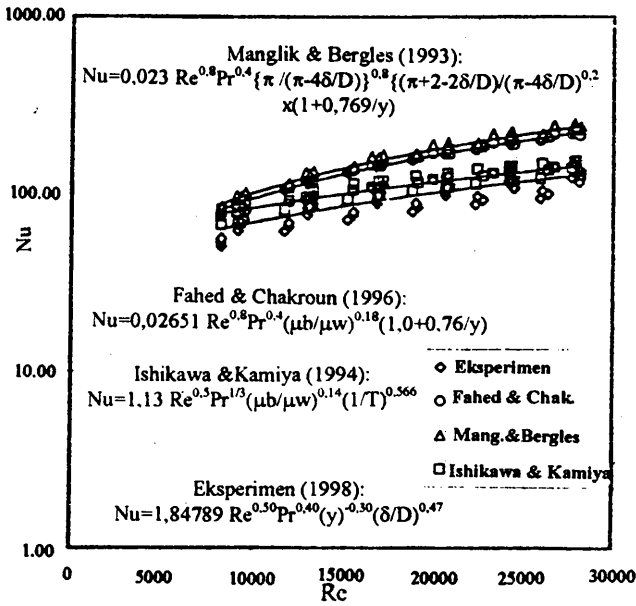
Hasil analisis perpindahan kalor menunjukkan bahwa makin pendek jarak pilin pada plat yang disisipkan pada aliran fluida di dalam pipa maka bilangan Nusselt makin besar. Bila jarak pilin makin pendek maka aliran pusar makin meningkat secara heliks dan gerakan fluida sekunder akan memperbaiki perpindahan kalor konveksi, karena lapis batas akan berkurang akibat pusaran.

Ditinjau dari variasi tebal plat dipilin menunjukkan bahwa makin tebal plat mengakibatkan berkurangnya diameter hidrolis maupun luasnya, sehingga akan meningkatkan pusaran. Kondisi ini akan memperbaiki koefisien perpindahan kalornya. Korelasi Nu yang dihasilkan adalah:

$$\text{Nu}/\text{Pr}^{0,40} = 1,84789 \text{ Re}^{0,50} (\text{H}/\text{D})^{-0,31} (\delta/\text{D})^{0,47}$$

dengan ralat rerata 5,4% pada $8155 < \text{Re} < 28210$; $3,773 < (\text{H}/\text{D}) < 5,345$; dan $0,0628 < (\delta/\text{D}) < 0,1257$ yang berlaku pada $\text{Pr} = 3,75 - 4,89$.

Posisi Nu eksperimen ini lebih kecil daripada penelitian lain (Manglik dan Bergles, 1993; Ishikawa dan Kamiya, 1994; dan Al-Fahed dan Chakroun, 1996) dan disajikan pada Gambar 5 di bawah ini.



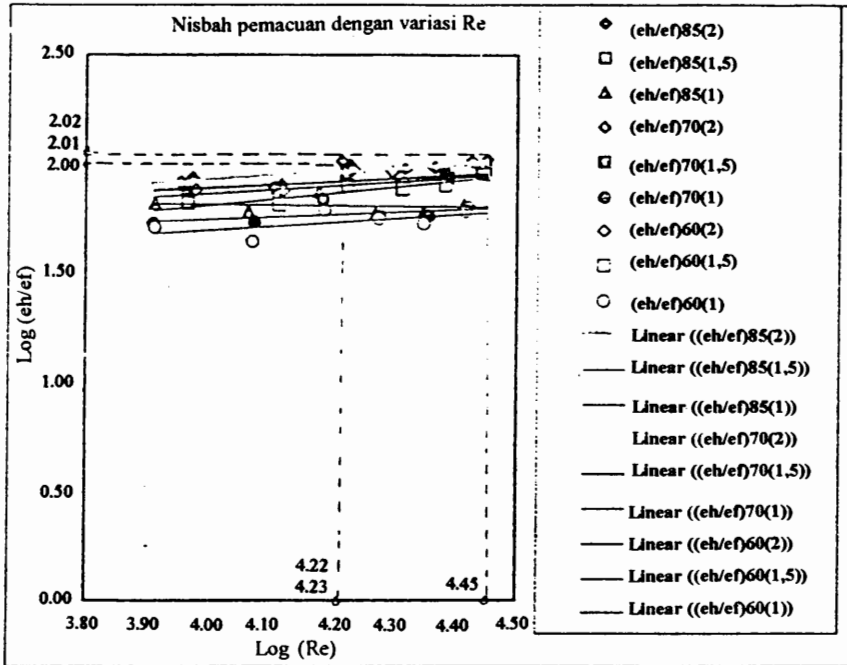
Gambar 5.
 Kedudukan Nu Eksperimen terhadap Penelitian Lain

Kondisi pemacuan perpindahan kalor dan faktor gesekan di atas menurut analisis Manglik dan Bergles (1993a) merupakan dampak dari :
 (1) pembagian dan rintangan pada penampang aliran sehingga kecepatan

Perpindahan Kalor dan Aliran Fluida dalam Pipa Horisontal yang Diisi Plat Dipilin dengan pemanasan Uap Jenuh

aliran lebih besar, (2) pengurangan diameter saluran yang mengakibatkan naiknya koefisien perpindahan kalor, (3) gerakan fluida yang berpusar secara heliks yang berakibat jalur aliran lebih panjang, (4) gerakan fluida sekunder yang memperbaiki koefisien perpindahan kalor konveksi, dan (5) kontak yang baik antara plat dan pipa yang dapat berakibat meningkatkan luas perpindahan kalor.

Pada penentuan pemakaian plat dipilin yang optimal diperoleh hasil bahwa prosentase pemacuan perpindahan kalor (e_h) = 101,9 – 198,15 % dan prosentase pemacuan faktor gesekan (e_f) = 147,01 – 287,86 %. Nisbah pemacuan (ξ) diperoleh 44,15 – 105,64 %. Berdasarkan hubungan antara nisbah pemacuan ($\log e_h / e_f$) dengan bilangan Reynolds ($\log Re$) yang disajikan pada Gambar 6 diperoleh bahwa nisbah pemacuan optimal dicapai oleh plat dipilin dengan jarak pilin $H = 85$ mm dan tebal plat $\delta = 2$ mm dengan nisbah pemacuan $\xi = 81,34 - 105,64$ %, dan juga oleh plat dengan $H = 70$ mm dan $\delta = 2$ mm dengan $\xi = 82,81 - 103,96$ %.



Gambar 6.
Nisbah Pemacuan Aliran dalam Pipa yang Diisi Plat Dipilin dengan Variasi Re untuk Berbagai Jenis Plat Dipilin

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini masih mempunyai keterbatasan: (1) belum memasukkan analisis neraca kalor terutama kalor yang berasal dari uap

pemanas, sebab kesulitan mengukur laju aliran massa uap yang berasal dari generator uap, (2) pencatatan temperatur pada 10 termokopel yang tidak dapat bersamaan sehingga di antara masing-masing titik posisi temperatur pada termokopel tersebut mengalami penundaan waktu (*time delay*). Hal ini diakibatkan oleh termometer pencatat *digital* dengan 10 tombol yang hanya dapat menampilkan temperatur secara bergantian.

Kesimpulan dan Saran

Kerugian tekanan pada aliran fluida air di dalam pipa yang disisipi plat dipilin yang berbentuk faktor gesekan merupakan fungsi dari jarak antar pilin dan bilangan Reynolds dengan korelasi:

$$f = 58,33188 \text{ Re}^{-0,60} (H/D)^{-0,53}$$

dengan ralat rerata 4,55% pada $9044 < \text{Re} < 28210$ dan $3,773 < (H/D) < 5,345$. Koefisien perpindahan kalor dalam bentuk bilangan Nusselt pada aliran fluida air dalam pipa yang disisipi plat dipilin merupakan fungsi dari jarak antar pilin, tebal plat dipilin dan bilangan Reynolds pada rentang bilangan Prandtl = 3,75 – 4,89 dengan korelasi:

$$\text{Nu}/\text{Pr}^{0,40} = 1,84789 \text{ Re}^{0,50} (H/D)^{-0,31} (\delta/D)^{0,47}$$

dengan ralat rerata 5,4% pada $8155 < \text{Re} < 28210$; $3,773 < (H/D) < 5,345$.

Berdasarkan dua kesimpulan kuantitatif di atas dapat dinyatakan bahwa penyisipan plat dipilin ke dalam aliran fluida air dalam pipa yang dipanaskan dengan uap jenuh akan meningkatkan koefisien perpindahan kalor konveksi meskipun diikuti pula dengan kerugian tekanan dalam bentuk faktor gesekan yang jauh lebih besar.

Nisbah pemacuan perpindahan kalor dan faktor gesekan di atas yang optimal dapat dicapai pada penggunaan plat dipilin dengan tebal plat $\delta = 2$ mm dengan jarak pilin $H = 85$ mm dan $H = 70$ mm.

Penelitian penyisipan plat dipilin ke dalam aliran fluida air dalam pipa selanjutnya disarankan menggunakan ukuran tebal plat yang lebih bervariasi, sehingga diperoleh perbedaan pemacuan perpindahan kalor yang lebih jelas maupun plat dipilin yang lebih optimal. Parameter-parameter lain, seperti lebar plat yang dipilin, variasi nisbah geometri yang lain (L/D , tebal pipa) dan variasi bahan pipa dan plat disarankan dilibatkan dalam penelitian masalah penyisipan plat dipilin ini. Disarankan pula dalam penelitian selanjutnya untuk menggunakan pemanasan uap pada anulus dengan arah yang berlawanan dengan arah aliran fluida air (*counter-current steam-water flow*).

Daftar Pustaka

- Al-Fahed, S. F. and Chakroun, W. 1996. Effect of tube-tape clearance on heat transfer fully-developed turbulent flow in a horizontal isothermal tube. *Int. J. Heat Flow*. **17**, 173 – 178.
- Ayub, Z. and Al-Fahed, S.F. 1993. The effect of gap width between horizontal tube and twisted on the pressure drop in turbulent water flow. *Int. J. Heat fluid Flow*. **14** (1), 64 - 67.
- Du Plessis, J.P. and Kroger, D.G. 1987. Heat transfer correlation for thermally developing laminar flow in a smooth tube with a twisted-tape insert. *Int. J. Heat Mass Transfer*. **30**, 509 – 515.
- Hong, S.W. and Bergles, A.E. 1976. Augmentation of laminar flow heat transfer in tube by means of twisted-tape inserts. *ASME J. Heat Transfer*. **98**, 251 – 256.
- Ishikawa, T. and Kamiya, T. 1994. Limits of Reynolds number for effective use of heat transfer promoter-twisted tape and static mixer. *Heat Transfer Japanese Research*. **23**(2), 185 – 198.
- Lopina, R. F. and Bergeles, A.E. Heat transfer and pressure drop in tape generated swirl flow of single-phase water. *ASME J. Heat Transfer*. **91**, 434 – 442.
- Manglik, R.M. Bergles, A.E. Heat transfer and pressure drop correlation for twisted tape inserts in isothermal tubes. Part I-Laminar flows. *J. Heat Transfer*. **115**, 881-889.
- Manglik, R.M. Bergles, A.E. Heat transfer and pressure drop correlation for twisted tape inserts in isothermal tubes. Part II-Transition and Turbulent flows. *J. Heat Transfer*, **115**, 890-896.