

PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN *LOUVERED STRIP INSERT* SUSUNAN *BACKWARD* TERHADAP KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS DAN FAKTOR GESEKAN PADA PENUKAR KALOR PIPA KONSENTRIK

Inggit Novitasari^{1,*}, Indri Yaningsih², Agung Tri Wijayanta²

¹Program Sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

²Staff Pengajar Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

*e-mail : inggitnovitasari19@gmail.com

Keywords :

Bilangan Nusselt
Bilangan Reynolds
Faktor gesekan
louvered strip insert
Sudut kemiringan

Abstract :

Penelitian ini dilakukan untuk menguji karakteristik perpindahan panas dan faktor gesekan pada penukar kalor pipa konsentrik dengan penambahan *louvered strip insert* (LSI) susunan *backward*. Sudut kemiringan (*slant angle* = α) divariasi 15°, 20°, dan 25°. Pengujian pada penukar kalor tanpa sisipan (*plain tube*) juga dilakukan sebagai pembanding. LSI dipasang di pipa dalam sebagai turbulator. Fluida kerja yang digunakan yaitu air panas di pipa dalam dan air dingin di *annulus*, arah aliran fluida *counterflow*. Temperatur masuk air panas dipertahankan pada suhu 60°C, sedangkan air dingin masuk di *annulus* pada suhu $\pm 27^\circ\text{C}$. Bilangan Reynolds (Re) divariasi pada rentang 5500-17.500. Penambahan LSI variasi $\alpha 15^\circ$, 20° , dan 25° menghasilkan nilai bilangan Nusselt (Nu), faktor gesekan (f) dan rasio peningkatan perpindahan panas yang semakin meningkat. Semakin meningkat nilai α , semakin meningkat pula nilai bilangan Nusselt, faktor gesekan dan rasio perpindahan panas. Nilai bilangan Nusselt pipa dalam untuk $\alpha = 15^\circ$, 20° dan 25° berturut-turut meningkat dalam kisaran 17,2% - 21,6%; 42,3% - 50,3%; dan 62,9% - 70,0% dibandingkan dengan *plain tube*. Nilai faktor gesekan rata-rata di pipa dalam dengan $\alpha = 15^\circ$, 20° dan 25° berturut-turut sebesar 0,39 - 0,61 ; 1,26 - 1,53 ; dan 1,85 - 2,30 kali lebih besar dibandingkan faktor gesekan *plain tube*. Rasio peningkatan perpindahan panas penukar kalor dengan penambahan *louvered strip insert* dengan $\alpha = 15^\circ$, 20° dan 25° berturut-turut dalam kisaran 1,00 - 1,06; 1,02 - 1,07; dan 1,06 - 1,10.

PENDAHULUAN

Energi sangat penting dalam perkembangan industri di seluruh dunia. Perkembangan industri yang sangat pesat menimbulkan masalah seperti krisis energi, oleh karena itu perlu adanya eksploitasi energi untuk memanfaatkan energi secara efektif. Salah satu proses industri yang menggunakan aplikasi energi adalah proses perpindahan panas. Perpindahan panas dalam industri menggunakan alat penukar kalor. Penukar kalor mempunyai banyak variasi bentuk sesuai keluaran yang dibutuhkan. Prosedur desain penukar kalor cukup rumit, karena memerlukan analisis yang tepat dari laju perpindahan panas, efisiensi dan penurunan tekanan, aspek unjuk kerja jangka panjang dan aspek ekonomi dari peralatan. Perkembangan teknologi banyak dilakukan untuk meningkatkan unjuk kerja penukar kalor, salah satunya adalah teknologi sisipan (*inserts*). Metode ini perlu dioptimalkan untuk meningkatkan laju perpindahan panas dan penurunan tekanan. Pemanfaatan elemen turbulator seperti sisipan dalam meningkatkan

perpindahan panas adalah salah satu aplikasi untuk meningkatkan koefisien perpindahan panas dari permukaan aliran melalui kenaikan gerakan turbulen. Mekanisme umum dari peningkatan perpindahan panas dengan menggunakan sisipan pipa adalah turbulator dapat meningkatkan aliran berputar (*swirl flow*) dan juga dapat mengurangi tebal lapis batas termal (*thermal boundary layer*). Contoh sisipan pipa meliputi *louvered strip*, *twisted tapes*, *coil wire* dan *helical wire coil*.

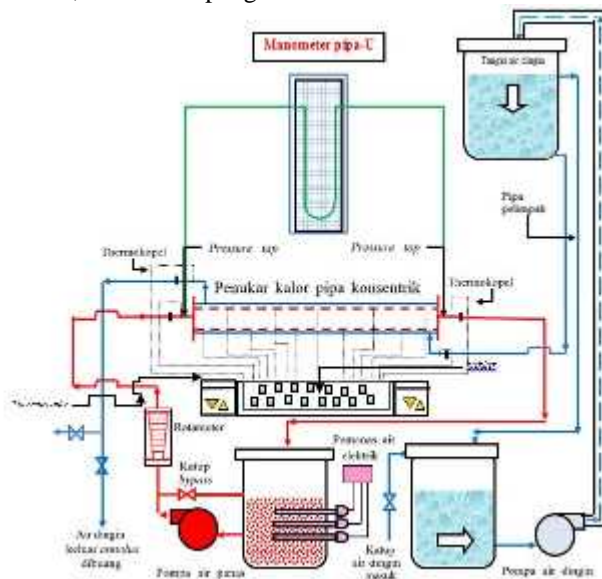
Baru-baru ini, konsep baru dalam meningkatkan perpindahan panas menggunakan *louvered strip insert* telah dikembangkan dan diteliti secara eksperimental dan numerik. *Louvered strip insert* diharapkan akan menimbulkan percampuran fluida yang cepat, turbulensi yang tinggi dan pembentukan vorteks longitudinal (Eiamsa-ard, S., 2008). Pada penelitian ini, akan menguji pengaruh sudut kemiringan (*slant angle* = α) *louvered strip* terhadap peningkatan perpindahan panas dari penukar kalor pipa konsentrik dengan *louvered strip insert* susunan *backward*.

Diharapkan dengan penambahan sisipan *louvered strip insert* dengan variasi sudut kemiringan *louvered strip* dengan susunan *backward* dapat meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksi pipa dalam dengan kenaikan penurunan tekanan yang masih dapat diterima.

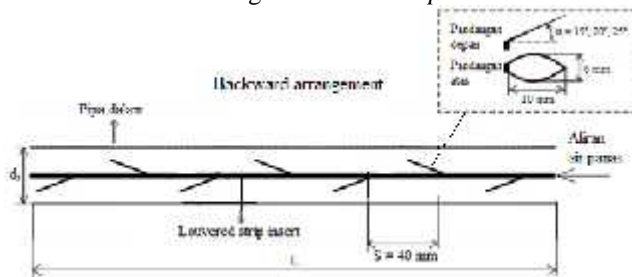
METODOLOGI PENELITIAN

Peralatan Pengujian

Penelitian ini menggunakan peralatan yang terdiri dari 3 sistem, yaitu sistem lintasan aliran air panas di pipa dalam, sistem lintasan aliran air dingin di *annulus*, dan sistem pengukuran



Gambar 1. Skema alat pengujian penukar kalor pipa konsentrik dengan *louvered strip insert*



Gambar 2. Skema pemasangan *louvered strip insert* susunan *backward* di pipa dalam

Pemanas air yang digunakan mempunyai daya total 4.000 Watt untuk memanaskan air di tangki pemanas. Air panas masuk pipa dalam dijaga konstan sebesar 60°C dengan menggunakan *thermocontroller*. Pompa air panas mengalirkan air panas dari tangki air panas ke pipa dalam dan kembali lagi ke tangki air panas. Katup *bypass* digunakan untuk mengatur variasi debit air panas masuk pipa dalam, sedangkan untuk membaca debit air panas dapat menggunakan rotameter.

Temperatur air dingin adalah temperatur lingkungan, dengan debit yang mengalir ke *annulus* adalah satu nilai konstan. Aliran air dingin menggunakan metode gravitasi (aliran air dingin berasal dari tangki air dingin yang terletak diatas) dengan ketinggian permukaan air dingin di tangki air dingin dijaga konstan menggunakan pipa pelimpah. Air dingin yang keluar dari seksi uji akan langsung dibuang.

Termokopel tipe K digunakan untuk mengukur temperatur air panas masuk pipa dalam, air panas keluar pipa dalam, air dingin masuk *annulus*, air dingin keluar *annulus*, dan temperatur dinding luar pipa. Pengukuran temperatur dinding luar pipa dalam berjumlah 10 titik yang diukur secara selang-seling. Pembacaan termokopel menggunakan *thermocouple reader*. Pengukuran penurunan tekanan di pipa dalam menggunakan manometer pipa U dengan fluida manometer adalah air.

Louvered strip terbuat dari plat baja lunak (*mild steel*) dengan ketebalan 1 mm, dan berbentuk ellips dengan dimensi sumbu pendek dan sumbu panjang berturut-turut 6 mm dan 10 mm. *Louvered strip* dipasangi di kawat baja ringan yang berdiameter 2 mm dengan cara menggunakan las kuningan. Jarak antar *louvered strip* ($\text{pitch} = S$) di kawat baja adalah 40 mm. Sudut kemiringan ($\text{slant angle} = \alpha$) *louvered strip* divariasi sebesar 15° , 20° dan 25° . Pemasangan *louvered strip insert* di pipa dalam dengan susunan *backward* terhadap arah aliran fluida.

Prosedur Percobaan

Pada pengujian ini, *louvered strip insert* dimasukan ke pipa dalam. Kemudian *thermocontroller* disetel pada temperatur 60°C . Debit aliran air panas di pipa dalam diatur dan dibaca pada rotameter. Membuka penuh katup yang mengatur aliran air dingin yang berasal dari tangki air dingin atas ke *annulus*, sehingga diperoleh satu debit konstan di *annulus*. Setelah temperatur air yang masuk ke pipa dalam telah mencapai 60°C maka dilakukan pengambilan data berupa temperatur air panas masuk dan keluar pipa dalam, temperatur air dingin masuk dan keluar *annulus*, temperatur-temperatur dinding luar pipa dalam, dan beda ketinggian air di manometer hingga diperoleh kondisi tunak (*steady state*). Sementara itu, temperatur air yang masuk ke pipa dalam dijaga konstan 60°C .

Langkah yang sama dilakukan untuk variasi debit aliran air panas di pipa dalam berikutnya hingga diperoleh variasi debit aliran air panas di pipa dalam. Debit aliran air panas yang divariasi sama dengan debit aliran air panas saat pengujian dengan penukar kalor tanpa *louvered strip insert*.

PERHITUNGAN DATA

Laju perpindahan panas di pipa dalam dapat dinyatakan sebagai:

$$Q_h = \dot{m} \cdot C_{p,h} \cdot (T_{h,i} - T_{h,o}) = U_i A_i \Delta T_{LMTD} \quad (1)$$

Laju perpindahan panas ke air dingin di sisi *annulus* dapat dihitung dengan:

$$Q_c = \dot{m} \cdot C_{p,c} \cdot (T_{c,o} - T_{c,i}) = h_o \cdot A_o \cdot (\bar{T}_{w,o} - T_{b,c}) \quad (2)$$

Dimana

$$T_{b,c} = \frac{T_{c,i} + T_{c,o}}{2} \text{ dan } \bar{T}_{w,o} = \frac{\sum_{i=1}^{i=10} T_{w,o,i}}{10} \quad (3)$$

Koefisien perpindahan panas menyeluruh (*overall*) berdasarkan luas permukaan dalam pipa dalam dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$U_i = \frac{Q_h}{A_i \Delta T_{LMTD}} \quad (4)$$

Koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata di sisi *annulus* dapat dihitung dengan:

$$h_o = \frac{Q_c}{A_o (\bar{T}_{w,o} - T_{b,c})} \quad (5)$$

Koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata di sisi pipa dalam dapat dihitung sebagai berikut:

$$\frac{1}{U_i A_i} = R_{total} \quad (6)$$

$$\frac{1}{U_i \cdot A_i} = \frac{1}{h_i \cdot A_i} + \frac{\ln(d_o/d_i)}{2fk_p L} + \frac{1}{h_o \cdot A_o} \quad (7)$$

Sehingga koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata di sisi pipa dalam adalah sebagai berikut:

$$h_i = \frac{1}{\left[\frac{1}{U_i} - \frac{d_i \cdot \ln(d_o/d_i)}{2k_p} - \frac{d_i}{d_o \cdot h_o} \right]} \quad (8)$$

Bilangan Nusselt rata-rata di pipa dalam dapat dihitung dengan:

$$Nu_i = \frac{h_i \cdot d_i}{k_{fi}} \quad (9)$$

Faktor gesekan (*friction factor*) di pipa dalam dapat dihitung dengan

$$f = \frac{\Delta P}{\left(\frac{L_i}{d_i} \right) \left(\frac{\dots V^2}{2} \right)} \quad (10)$$

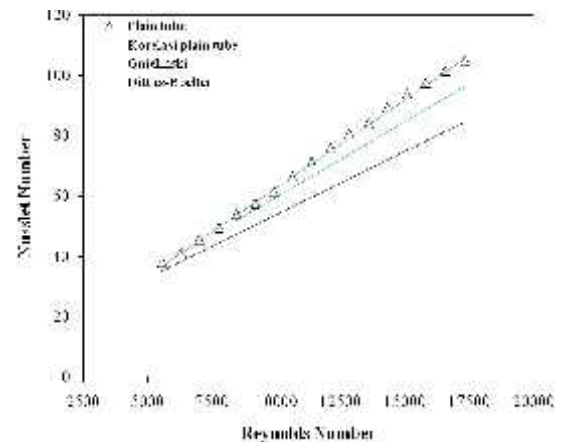
Bilangan Reynolds aliran air panas di pipa dalam dapat dihitung dengan

$$Re = \frac{\dots V \cdot d_i}{\dots} \quad (11)$$

dimana sifat-sifat air panas di pipa dalam (\dots , k_{fi} dan \dots) dievaluasi pada temperatur air panas *bulk* rata-rata ($T_{b,h}$).

Validasi Pada Plain Tube

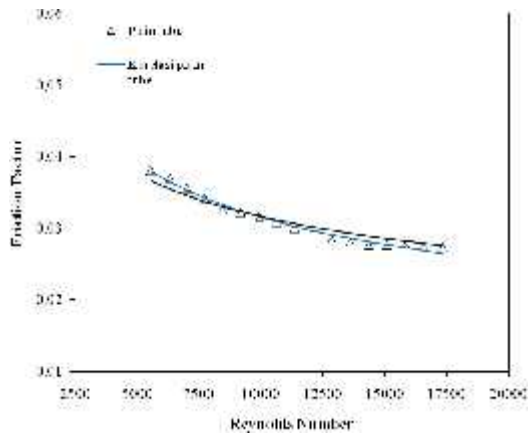
Pada pengujian ini korelasi empirik Gnielinski dan Dittus-Boelter digunakan sebagai validasi karakteristik perpindahan panas *plain tube*. Karakteristik perpindahan panas *plain tube* dapat dilihat dari hubungan bilangan Reynolds (Re) dengan bilangan Nusselt rata-rata di pipa dalam (Nu_i). Grafik validasi karakteristik perpindahan panas *plain tube* dengan korelasi-korelasi empirik dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik hubungan bilangan Reynolds dengan bilangan Nusselt untuk *plain tube*

Diketahui bahwa penyimpangan rata-rata Nu_i *plain tube* dengan korelasi Gnielinski adalah 7,3%. Penyimpangan rata-rata nilai Nu_i *plain tube* terhadap Gnielinski kurang dari 10%, sehingga nilai Nu_i *plain tube* adalah valid (Incropera,2011). Untuk penyimpangan rata-rata Nu_i *plain tube* terhadap korelasi Dittus-Boelter cukup besar yaitu 18,18%, akan tetapi korelasi Dittus-Boelter mempunyai kesalahan yang besar yaitu $\pm 25\%$ dari nilai aktual (Incropera,2011), sehingga Nu_i *plain tube* adalah valid.

Korelasi empirik Blasius digunakan pada validasi karakteristik faktor gesekan untuk pengujian *plain tube*. Karakteristik faktor gesekan *plain tube* dapat dilihat dari hubungan Reynolds (Re) dengan faktor gesekan pipa dalam (f). Grafik validasi karakteristik faktor gesekan *plain tube* dengan korelasi empirik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik hubungan bilangan Reynolds dengan dengan faktor gesekan untuk *plain tube*

Diketahui bahwa penyimpangan rata-rata faktor gesekan *plain tube* dengan korelasi Blasius sebesar 2,31%. Penyimpangan rata-rata faktor gesekan *plain tube* terhadap korelasi Blasius kecil yaitu kurang dari $\pm 8\%$ (Eiamsa-ard, S., 2008), oleh karena itu nilai faktor gesekan *plain tube* adalah valid.

Pada pengujian ini dibuat korelasi-korelasi data eksperimen untuk bilangan Nusselt dan faktor gesekan *plain tube* dengan analisis regresi non linier didapatkan sebagai berikut:

$$Nu_i = 0,007 Re^{0,949} Pr^{0,3} \quad (12)$$

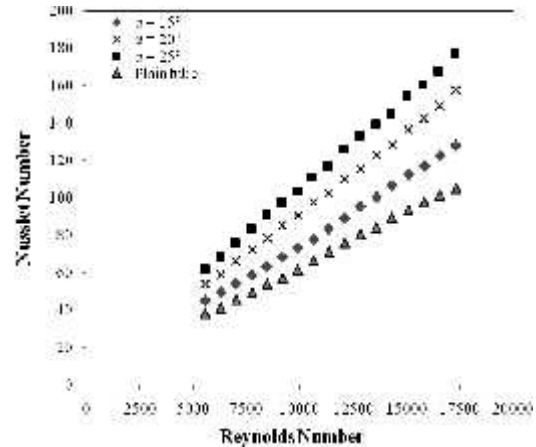
$$f = 0,590 Re^{-0,318} \quad (13)$$

Grafik untuk persamaan (12) dan (13) berturut-turut dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan 4.2. Rata-rata penyimpangan korelasi bilangan Nusselt adalah 0%-4,7%, sedangkan untuk korelasi faktor gesekan sebesar 0%-3,3%. Dengan rata-rata penyimpangan korelasi bilangan Nusselt dan faktor gesekan berturut-turut adalah $\pm 1\%$ dan $\pm 1,1\%$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Sudut Kemiringan (*Slant Angle*) Susunan *Backward* Terhadap Karakteristik Perpindahan Panas Penukar Kalor Dengan Penambahan *Louvered Strip Insert*.

Karakteristik perpindahan panas dengan penambahan *louvered strip insert* susunan *backward* yang mempunyai sudut kemiringan (*slant angle*) = 15° , 20° dan 25° di pipa dalam dapat ditunjukkan dengan hubungan bilangan Reynolds (Re) dengan bilangan Nusselt rata-rata (Nu_i). Karakteristik perpindahan panas penukar kalor dengan penambahan *louvered strip insert* tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.

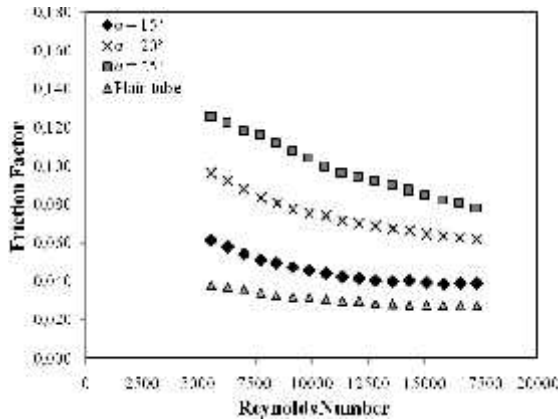


Gambar 5. Grafik hubungan bilangan Reynolds dengan bilangan Nusselt

Gambar 5. menunjukkan bahwa semakin meningkatnya bilangan Reynolds maka bilangan Nusselt rata-rata (Nu_i) juga meningkat untuk *plain tube* maupun pipa dalam yang telah ditambahkan *louvered strip insert* dengan susunan *backward*. Peningkatan bilangan Nusselt rata-rata (Nu_i) juga semakin meningkat dengan semakin besarnya sudut kemiringan (*slant angle*) pada sisipan, hal ini sesuai dengan penelitian Pethkool (2006) dan Mohammed (2013). Peningkatan bilangan Reynolds dan bilangan Nusselt dikarenakan penambahan *louvered strip insert* pada pipa dalam serta penambah besaran sudut kemiringan (*slant angle*) pada masing-masing *louvered strip insert* dapat memecah aliran dan meningkatkan intensitas turbulensi pada fluida yang mengalir di pipa dalam. (Eiamsa-ard, 2008). Dari Gambar 4.3 diketahui bahwa pada kisaran $5500 < Re < 17.500$, nilai Nu_i pipa dalam dengan penambahan *louvered strip insert* dengan $\alpha = 15^\circ$, 20° dan 25° berturut-turut meningkat dalam kisaran 17,2% - 21,6%; 42,3% - 50,3%; dan 62,9% - 70,0% dibandingkan dengan *plain tube*.

Pengaruh Sudut Kemiringan (*Slant Angle*) Terhadap Karakteristik Faktor Gesekan Penukar Kalor Dengan Penambahan *Louvered Strip Insert* Susunan *Backward*.

Faktor gesekan pada penukar kalor dengan penambahan *louvered strip insert* susunan *backward* yang mempunyai sudut kemiringan (*slant angle*) = 15° , 20° dan 25° di pipa dalam dapat ditunjukkan dengan hubungan bilangan Reynolds (Re) dengan faktor gesekan (f). Karakteristik faktor gesekan penukar kalor dengan penambahan *louvered strip insert* tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.



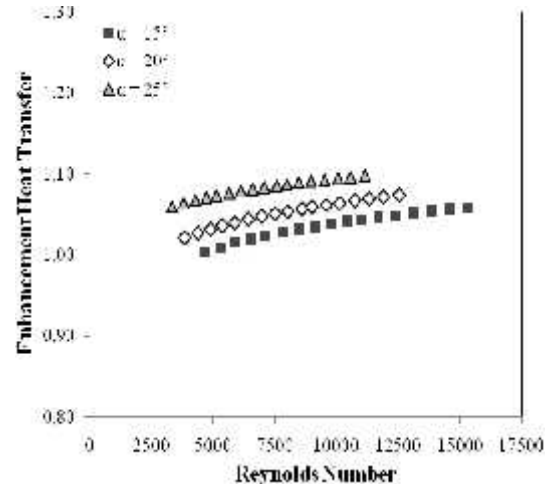
Gambar 6. Grafik hubungan bilangan Reynolds dengan faktor gesekan

Gambar 6. menunjukkan bahwa semakin meningkatnya bilangan Reynolds (Re) maka faktor gesekan (f) menurun untuk *plain tube* maupun pipa dalam yang telah ditambahkan *louvered strip insert* dengan susunan *backward*. Faktor gesekan pipa dalam dengan penambahan *louvered strip insert* lebih besar dibandingkan dengan *plain tube*. Demikian juga dengan semakin besarnya sudut kemiringan (*slant angle*) faktor gesekan juga semakin besar. Hal ini disebabkan dengan semakin besar , hambatan aliran semakin besar. Untuk masing-masing *louvered strip insert* terlihat semakin besarnya bilangan Reynolds maka faktor gesekannya semakin kecil, karena dengan semakin besarnya bilangan Reynolds maka kecepatan aliran air di pipa dalam akan semakin tinggi, dimana nilai faktor gesekan berbanding terbalik dengan nilai kuadrat dari kecepatan aliran air di pipa dalam.

Dari Gambar 6. diketahui bahwa pada kisaran $5500 < Re < 17.500$, nilai faktor gesekan dengan penambahan *louvered strip insert* dengan $\alpha = 15^\circ, 20^\circ$ dan 25° berturut-turut meningkat dalam kisaran $0,39 - 0,61$; $1,26 - 1,53$; dan $1,85 - 2,44$ kali lebih besar dibandingkan dengan *plain tube*.

Pengaruh Sudut Kemiringan (*Slant Angle*) Terhadap Karakteristik Rasio Perpindahan Panas Penukar Kalor Dengan Penambahan *Louvered Strip Insert* Susunan *Backward*.

Pengaruh sudut kemiringan ($\alpha = 15^\circ, 20^\circ$ dan 25°) dari *louvered strip insert* menggunakan susunan *backward* terhadap karakteristik peningkatan perpindahan panas penukar kalor pipa konsentrik dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik hubungan rasio peningkatan perpindahan panas dengan bilangan Reynolds

Dari gambar 7. dapat dilihat bahwa pada $2500 < Re < 15.000$ rasio peningkatan perpindahan panas dari penukar kalor dengan sisipan *louvered strip insert* meningkat dengan kenaikan bilangan Reynolds. Rasio peningkatan perpindahan panas juga meningkat dengan kenaikan sudut kemiringan (α). Hal ini sesuai dengan penelitian Fan (2012), dalam penelitian fan terlihat pada bilangan Reynolds $10000 - 17.500$ nilai rasio peningkatan perpindahan panas meningkat kemudian pada bilangan Reynolds diatas $17500 - 42.500$ nilai rasio perpindahan panas menurun, hal ini dikarenakan pada bilangan Reynolds yang tinggi aliran masuk ke dalam pipa dalam bergerak dengan kecepatan tinggi kemudian bertemu dengan turbulensi yang kuat yang sedang terjadi di pipa dalam dan saling bertumbukan sehingga mengakibatkan efek turbulensi di pipa dalam menjadi turun dan lapis batas menjadi lebih tebal diikuti menurunnya nilai perpindahan panas. Rasio peningkatan perpindahan panas penukar kalor dengan penambahan sisipan *louvered strip insert* dengan $\alpha = 15^\circ, 20^\circ$ dan 25° berturut-turut dalam kisaran $1,00 - 1,06$; $1,02 - 1,07$; dan $1,06 - 1,10$. Hal ini berarti bahwa pada daya pemompaan yang sama, nilai koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata di pipa dalam dengan penambahan *louvered strip insert* lebih besar dari nilai koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata *plain tube*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, dengan penambahan *louvered strip insert* variasi sudut kemiringan (*slant angle*) $\alpha = 15^\circ, 20^\circ$ dan 25° susunan *backward* di pipa dalam, dapat diambil kesimpulan bahwa pengujian dengan menambahkan *louvered strip insert* pada pipa dalam dapat meningkatkan perpindahan panas dibandingkan dengan *plain tube*. Peningkatan perpindahan panas membuat faktor gesekan pada pipa dalam ikut meningkat. Karakteristik

perpindahan panas, faktor gesekan, dan rasio peningkatan perpindahan panas penukar kalor dengan penambahan *louvered strip insert* meningkat seiring dengan kenaikan sudut kemiringan. Pada kisaran $5500 < Re < 17.500$, nilai N_{ui} pipa dalam berturut-turut meningkat sebesar 17,2% - 21,6%; 42,3% - 50,3%; dan 62,9%-70,0%, nilai faktor gesekan pipa dalam berturut-turut meningkat sebesar 0,39-0,61; 1,26-1,53; dan 1,85 - 2,30 kali lebih besar dibandingkan dengan *plain tube*, dan rasio peningkatan perpindahan panas penukar kalor 1,00 - 1,06; 1,02-1,07; dan 1,06-1,10.

ISTILAH

C_p	Panas jenis (kJ/kg.°C)
D	Diameter pipa (m)
f	Faktor gesekan
h	Koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2.°C$)
k	Konduktivitas termal ($W/m.°C$)
Nu	Bilangan Nusselt
Pr	Bilangan Prandtl
Q	Laju perpindahan panas (W)
Re	Bilangan Reynold
R_i	Tahanan termal konveksi
$T_{b,c}$	temperatur air dingin <i>bulk</i> rata-rata di <i>annulus</i> ($°C$)
$T_{b,h}$	Temperatur air panas <i>bulk</i> rata-rata di pipa dalam
$T_{c,i}$	Temperatur air dingin masuk <i>annulus</i> ($°C$)
$T_{c,o}$	Temperatur air dingin keluar <i>annulus</i> ($°C$)
$T_{h,i}$	temperatur air panas masuk pipa dalam ($°C$)
$T_{h,o}$	temperatur air panas keluar pipa dalam ($°C$)
U_i	koefisien perpindahan panas menyeluruh berdasarkan permukaan dalam pipa dalam ($W/m^2.°C$)
ρ	densitas air panas di pipa dalam (kg/m^3)
η	faktor unjuk kerja termal
μ	viskositas dinamik fluida di pipa ($kg/m.s$)
Δh	beda ketinggian fluida manometer (m)
ΔP	penurunan tekanan (Pa)
ΔT_{LMTD}	beda temperatur rata-rata logaritmik ($°C$)

DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Y.A., 2003, *Heat Transfer: A Practical Approach*, 2nd edition, McGraw-Hill, New York
- Cengel, Y.A., Cimbala, J.M., 2006, *Fluid Mechanics: Fundamental and Applications*, 1st edition, McGraw-Hill, New York
- Dewan, A., Mahanta, P., SumithraRaju, K., Suresh Kumar, P., 2004, Review of passive heat transfer augmentation techniques, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part A: Journal of Power and Energy*, Vol. 218, pp. 509-527.

- Eiamsa-ard, S., Pethkool, S., Thianpong, C., Promvonge, P., 2008, Turbulent flow heat transfer and pressure loss in a double pipe heat exchanger with louvered strip inserts, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 35, pp. 120-129
- Fan, A.W., Deng, J.J., Nakayama, A., Liu, W., 2012, Parametric study on turbulent heat transfer and flow characteristics in a circular tube fitted with louvered strip inserts, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 55, pp. 5205-5213
- Incropera, F.P., DeWitt, D.P., 2011, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 7th Ed, John Wiley and Sons, New York
- Mohammed, H.A., Hasan, H.A., Wahid, M.A., 2013, Heat transfer enhancement of nanofluids in a double pipe heat exchanger with louvered strip inserts, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 40, pp. 36-46
- Pethkool, S., Eiamsa-ard, S., Ridluan, A., and Promvonge, P., 2006, Effect of louvered strips on heat transfer in a concentric pipe heat exchanger, *The 2nd Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)"*, 21-23 November 2006, Bangkok, Thailand
- Raut, K.R., Farkade H.S., 2014, Convective heat transfer enhancements in tube using louvered strip insert, *International Journal of Technical Research and Applications*, Vol. 2, pp. 01-04