

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH *TWIST RATIO* TERHADAP KARAKTERISTIK PENINGKATAN PERPINDAHAN PANAS DAN FAKTOR GESEKAN PADA PENUKAR KALOR PIPA KONSENTRIK DENGAN *RECTANGULAR-CUT TWISTED TAPE INSERT*

Adhid Praditya^{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 : adhidpraditya90@gmail.com

Phone: +6285649030914

Keywords :

bilangan Nusselt
bilangan Reynolds
faktor gesekan
twist tape insert
twist ratio

Abstract :

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *twist ratio* terhadap karakteristik perpindahan panas dan faktor gesekan pada penukar kalor pipa konsentrik dengan penambahan *rectangular cut twisted tape insert* (RCTT). Penambahan RCTT berada di pipa dalam penukar kalor. *Twist ratio* (H/d) divariasi pada nilai 2,7; 4,5; 6,5. Fluida kerja berupa air panas di pipa dalam dan air dingin di *annulus*, dengan arah aliran fluida berlawanan arah. Temperatur air panas masuk dijaga konstan 60°C, sedangkan temperatur air dingin masuk sekitar 27°C. Bilangan Reynolds divariasi pada 5500-17.500. Penambahan RCTT dengan variasi *twist ratio* 2,7; 4,5; 6,5 menghasilkan peningkatan bilangan Nusselt (Nu), faktor gesekan (*f*) dan rasio peningkatan perpindahan panas. Nilai bilangan Nusselt, faktor gesekan dan rasio peningkatan perpindahan panas meningkat dengan penurunan nilai *twist ratio*. Nilai bilangan Nusselt (Nu) pipa dalam dengan penambahan RCTT dengan H/d = 2,7; 4,5; 6,5 berturut – turut meningkat dalam kisaran 57-102,4%; 49,8-80,7%; dan 39,6-63,7% dibandingkan dengan *plain tube*. Sedangkan nilai faktor gesekan berturut – turut sebesar 2,23-3,5; 1,93-2,69; dan 1,61-2,0 lebih besar dibandingkan faktor gesekan *plain tube* dalam bilangan Reynolds yang sama. Rasio peningkatan perpindahan panas penukar kalor berturut – turut dalam kisaran 1,13-1,22; 1,09-1,14; dan 1,06-1,09.

PENDAHULUAN

Teknik peningkatan perpindahan panas biasanya digunakan dalam area seperti proses industri, pemanas dan pendingin evaporator, thermal power plant, komponen air-conditioning, sistem refrigerator, radiator untuk kendaraan ruang angkasa, mobil, dan lain - lain (Dewan, A., et al., 2004). Energi dan material merupakan aspek yang harus dipertimbangkan pada usaha peningkatan perpindahan panas untuk menghasilkan peralatan yang lebih efisien khususnya pada penukar kalor. Hal itu bertujuan untuk mengurangi ukuran penukar kalor dan mengurangi daya penggunaan pompa.

Terdapat beberapa variasi teknik yang ditemukan dalam peningkatan perpindahan panas satu laluan secara efektif, salah satunya adalah swirl flow device. Yang termasuk dalam swirl flow device adalah vortex generator, *twisted tape insert*, dan axial core *insert* dengan screw type winding. Efek teknik peningkatan perpindahan panas ini adalah meningkatkan panjang lintasan aliran, meningkatkan

jumlah jalur aliran, dan memperluas permukaan (Bergles, A., 1988).

Peningkatan perpindahan panas dapat diklasifikasikan ke dalam tiga teknik yaitu teknik aktif, pasif dan campuran. Perbedaan teknik pasif, aktif dan campuran yang digunakan untuk peningkatan perpindahan panas terletak pada segi pemasangan dan penggunaan daya eksternal. Teknik pasif hanya menyisipkan alat ke dalam ruang dimana fluida tersebut mengalir tanpa penggunaan daya eksternal. Teknik aktif perlu melibatkan daya eksternal dan pemasangan lebih kompleks serta dapat juga merubah geometri bentuk dan ukuran dari alat utama yang telah ada sehingga membutuhkan biaya yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan teknik pasif.

Sisipan ini bertujuan untuk memberikan aliran berputar yang dihasilkan oleh efek *twisted tape* sehingga aliran fluida yang melintasi kedua sisi *twist* akan mengakibatkan kenaikan pencampuran dan kenaikan panjang lintasan aliran fluida dalam pipa. Artinya *twist tape* tersebut menyebabkan turbulensi dan gerak pusaran di atas *tape* (swirl flow) yang mempengaruhi ketebalan lapis batas dan menghasilkan

koefisien perpindahan panas yang lebih baik dan jumlah Nusselt lebih tinggi karena perubahan geometri *twisted tape* (Liu, S. and Sakr, M., 2013).

Modifikasi potongan kecil twist tape pada sisipan, sebagai contoh broken atau spiky tape, tipe bergerigi, delta winglet tape dan *plain tube* dapat meningkatkan perpindahan panas seperti yang telah diteliti oleh Chang, S.W., et al. (2007); Chang, S.W., et al. (2009), Eiamsa-ard, Smith, et al. (2010); Eiamsa-Ard, S, et al. (2010). Penelitian Kumar, C.N. and Murugesan, P. (2012) menunjukkan bahwa untuk modifikasi geometri *twisted tape*, kecepatan perpindahan panas menjadi lebih tinggi dengan faktor gesekan untuk aliran laminar dan turbulen yang layak.

Salah satu bentuk modifikasi geometri adalah dengan memberikan potongan pada sisi – sisi *twisted tape*. Penelitian ini akan menguji pengaruh ratio *twisted tapes* terhadap peningkatan perpindahan panas dari pipa penukar kalor pipa konsentrik dengan penambahan rectangular-cut dengan dimensi yang tetap pada sisi - sisi *twisted tape insert*. Rectangular-cut merupakan modifikasi typical *twisted tape insert* dengan potongan berbentuk persegi panjang pada sisi – sisinya. Potongan dilakukan secara bergantian dan berurutan untuk disisipkan pada pipa penukar kalor. Diharapkan dengan penambahan sisipan rectangular-cut *twisted tape insert* dan variasi *twist ratio* dapat meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksi pipa dalam dengan nilai penurunan tekanan yang masih dapat diterima.

METODOLOGI PENELITIAN

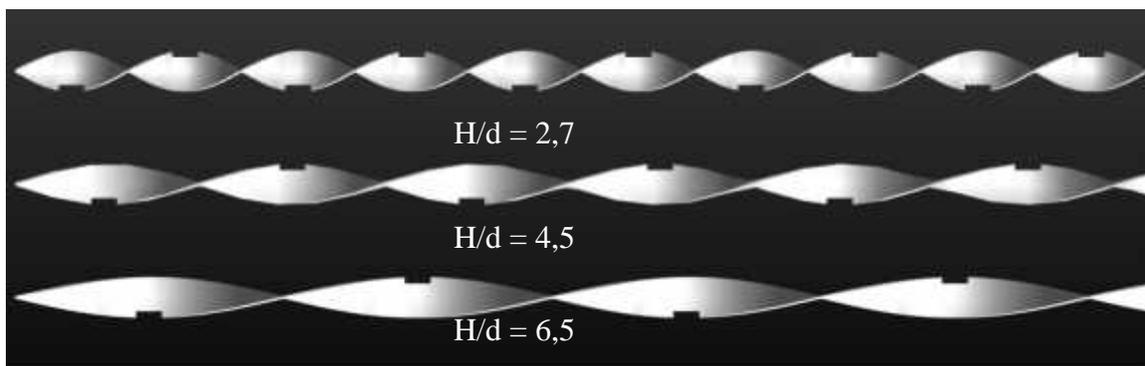
Peralatan penelitian terdiri dari 3 sistem, yaitu sistem pengukuran, sistem lintasan aliran air panas di pipa dalam, dan sistem lintasan aliran air dingin di annulus. Air di tangki air panas dipanaskan menggunakan pemanas air elektrik dengan daya total

4.000 Watt. Temperatur air panas di tangki air panas diseting dengan thermocontroller sehingga temperatur air panas masuk ke pipa dalam dari penukar kalor pipa konsentrik dijaga konstan sebesar 60°C. Sirkulasi air panas merupakan sirkulasi tertutup dimana air di dalam tangki air panas dipompa oleh pompa air panas, mengalir melewati seksi uji (pipa dalam) dan kembali ke tangki air panas.

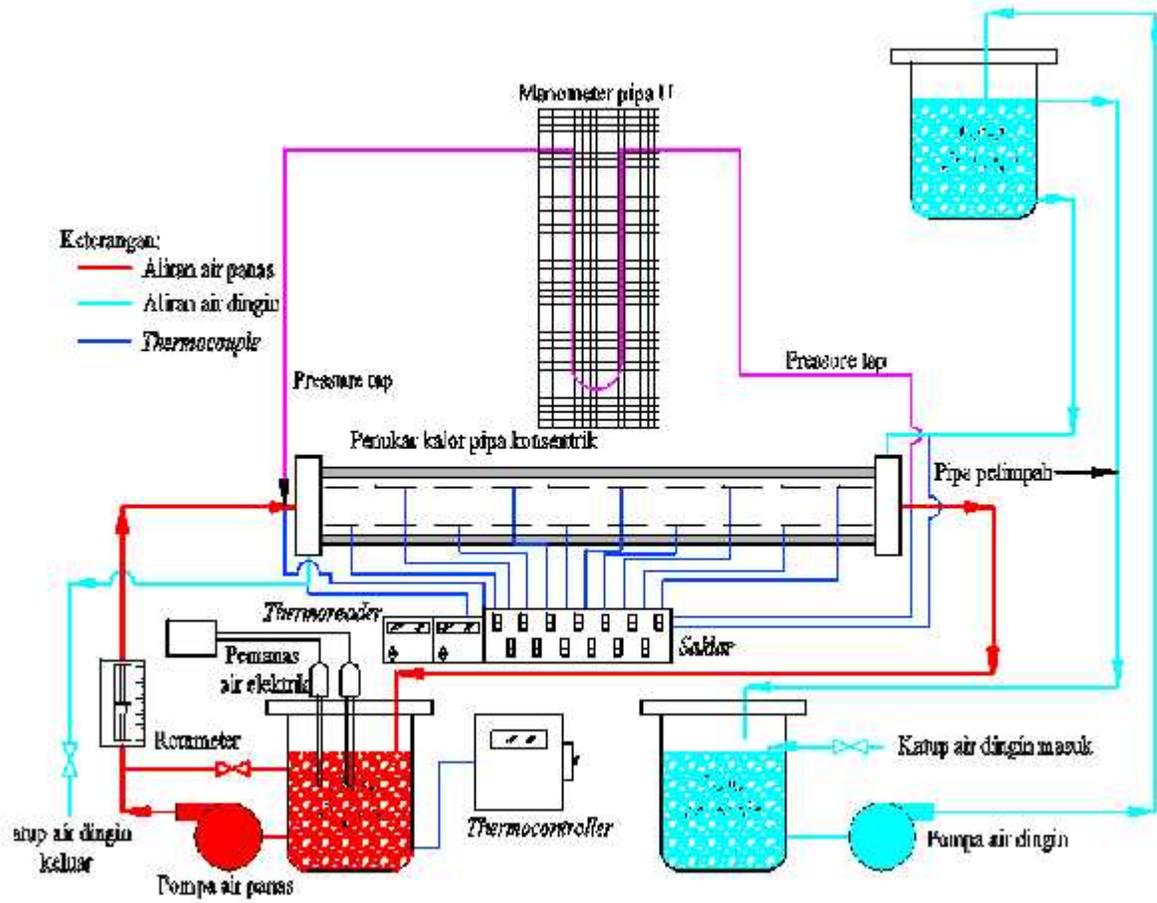
Konstruksi Penukar kalor pipa konsentrik satu laluan (one pass concentric tube heat exchanger) dengan penampang pipa dalam dan pipa luar adalah lingkaran. Penukar kalor diorientasikan mendatar. Pipa dalam dan pipa luar penukar kalor adalah aluminium dengan pipa dalam berdiameter luar 15,8 mm, diameter dalam 14,3 mm, panjang 2.527 mm dan pipa luar berdiameter luar 25,4 mm, diameter dalam 23,4 mm, panjang 1.940 mm. Ukuran celah annulus adalah 3,8 mm. Arah aliran fluida kerja mendatar berlawanan arah (counter flow) dengan jenis fluida kerjanya air.

Semua *twisted tape insert* yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari bahan aluminium strip dengan tebal (δ) = 0,7 mm dan lebar (d) = 12,6 mm yang dipuntir sedemikian rupa sehingga berbentuk sebuah pilinan yang mempunyai panjang pitch (H) = 35 mm; 56,81 mm; 81,9 mm dan dimensi cutting dengan panjang (b) 8 mm, lebar (de) 2 mm. Rectangular-cut *twisted tape insert* divariasi nilai twist tape ratio (H/d) dengan ukuran cutting yang konstan, dimana H adalah panjang ulir twist tape, d adalah lebar tape (tape width). Pada penelitian pengaruh twist tape ratio (H/d) dilakukan pada de/b yang konstan.

Pada penelitian ini nilai H divariasi sebesar 35 mm, 56,81 mm, 81,9 mm. Sehingga nilai dari twist tape ratio (H/d) divariasi sebesar 2,7; 4,5; dan 6,5. Rectangular-cut *twisted tape insert* variasi twist tape ratio (H/d) digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1



Gambar 1. Rectangular-cut *twisted tape insert*

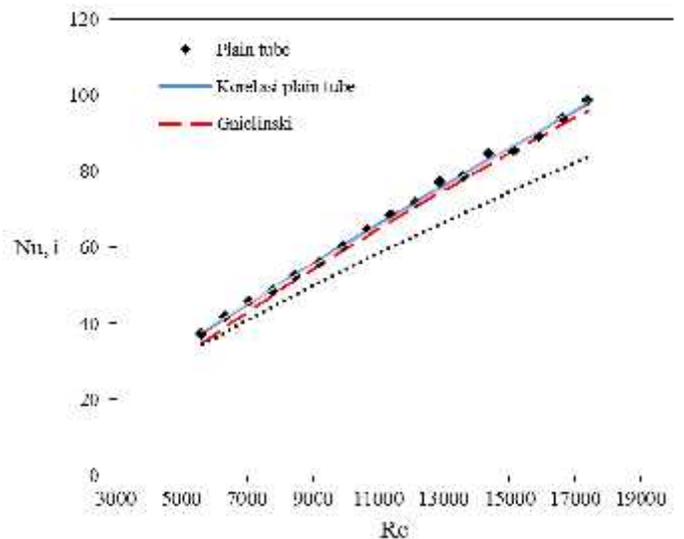


Gambar 2. Skema alat pengujian penukar kalor pipa konsentrik

HASIL DAN PEMBAHASAN

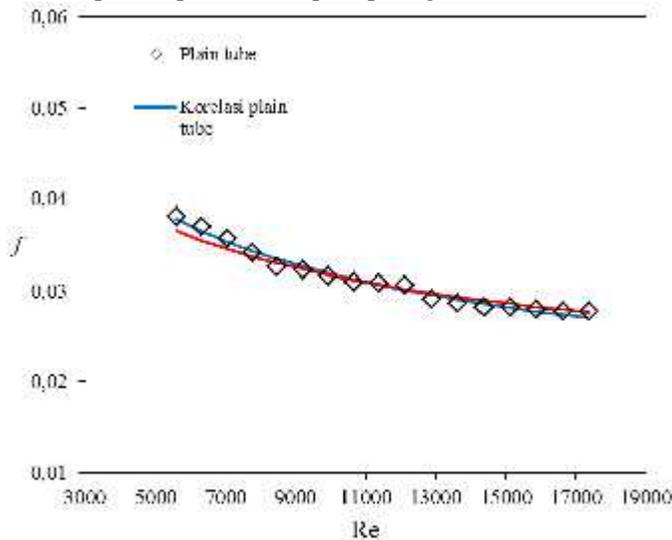
Validasi karakteristik perpindahan panas pada penelitian kali ini pada *plain tube* menggunakan korelasi empirik Dittus - Boelter dan Gnielinski. Dari hubungan bilangan Nusselt rata-rata di pipa dalam (Nu_i) dengan bilangan Reynolds (Re) dapat dilihat karakteristik perpindahan panasnya seperti pada gambar 3.

Pada gambar 3 diperoleh penyimpangan rata-rata Nu_i *plain tube* dengan korelasi Dittus - Boelter sebesar 13,09% dan Gnielinski 2,8%. Karena penyimpangan rata-rata nilai Nu_i *plain tube* terhadap korelasi Gnielinski kurang dari 10%, maka nilai Nu_i *plain tube* dapat dinyatakan valid. Dari perbandingan Nu_i *plain tube* terhadap korelasi Dittus - Boelter mempunyai kesalahan presentase 9,07% - 17,74% untuk $104 < Re < 5 \times 10^6$ dan $0,5 < Pr < 200$ dan 1,3% - 7,5 % untuk Gnielinski $0,5 < Pr < 2000$ (Petukhov, 1963).



Gambar 3. Grafik hubungan Nu_i dengan Re untuk *plain tube*, korelasi *plain tube*, Gnielinski dan Dittus - Boelter

Karakteristik faktor gesekan untuk *plain tube* pada penelitian kali ini divalidasi dengan korelasi empirik Blasius. Dari hubungan faktor gesekan pipa dalam (f) dengan bilangan Reynolds (Re) dapat dilihat karakteristik faktor gesekan *plain tube*. Grafik validasi karakteristik faktor gesekan *plain tube* dengan korelasi empirik dapat dilihat seperti pada gambar 4



Gambar 4. Grafik hubungan f dengan Re untuk *plain tube*, korelasi *plain tube* dan Blasius.

Didapatkan penyimpangan rata-rata faktor gesekan *plain tube* dengan korelasi Blasius perbandingan antara $f_{\text{plaintube}} - f_{\text{blasius}} / f_{\text{blasius}}$ sebesar 1 %, seperti pada gambar 4. Penyimpangan rata-rata faktor gesekan *plain tube* terhadap korelasi Blasius kecil yaitu kurang dari 10%, oleh karena itu nilai faktor gesekan *plain tube* dinyatakan valid.

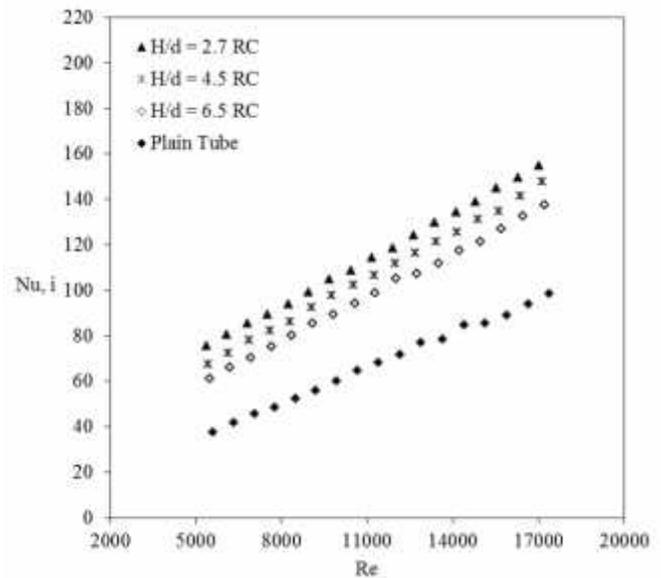
Pada pengujian ini dibuat korelasi data eksperimen untuk bilangan Nusselt dan faktor gesekan *plain tube* menggunakan software SPSS dengan analisis regresi non linier didapatkan sebagai berikut:

$$Nu_i = 0,015 Re^{0,863} Pr^{0,3} \quad (1)$$

$$f = 0,499 Re^{-0,299} \quad (2)$$

Penyimpangan korelasi bilangan Nusselt adalah 0,2% - 2% dan untuk penyimpangan korelasi faktor gesekan sebesar 0,1% - 2,8%, sehingga diperoleh penyimpangan rata-rata pada Nusselt 1% dan faktor gesekan 1,3%.

Rectangular cut twisted tape insert variasi *twist ratio* $H/d = 2,7; 4,5; \text{ dan } 6,5$ berperan penting dalam penular kalor pipa konsentrik dan berpengaruh terhadap karakteristik perpindahan panas di pipa dalam dibandingkan dengan *plain tube* seperti yang terlihat digambar 4.3. Pada grafik tersebut karakteristik perpindahan panas dinyatakan dengan hubungan bilangan Nusselt rata-rata (Nu_i) terhadap bilangan Reynolds (Re).



Gambar 5. Grafik hubungan Nu_i dengan Re *rectangular cut twisted tape* variasi *twist ratio* $H/d = 2,7; 4,5; \text{ dan } 6,5$

Pada gambar 5 diatas, terlihat bahwa dengan penambahan sisipan *rectangular cut twisted tape* dapat meningkatkan koefisien perpindahan panas. Bilangan Nusselt rata-rata (Nu_i) meningkat seiring kenaikan bilangan Reynolds. Semakin kecil *twist ratio*, bilangan Nusselt juga semakin meningkat dengan nilai Nu paling tinggi pada variasi *twist ratio* 2,7. Hal ini disebabkan karena dengan semakin kecil nilai *twist ratio*, maka kerapatan *twist* dan lintasan semakin panjang sehingga aliran tersebut menghasilkan intensitas turbulensi yang lebih tinggi. Penambahan *rectangular cut twisted tape insert* di pipa dalam dapat meningkatkan nilai Nu_i jika dibandingkan dengan *plain tube*.

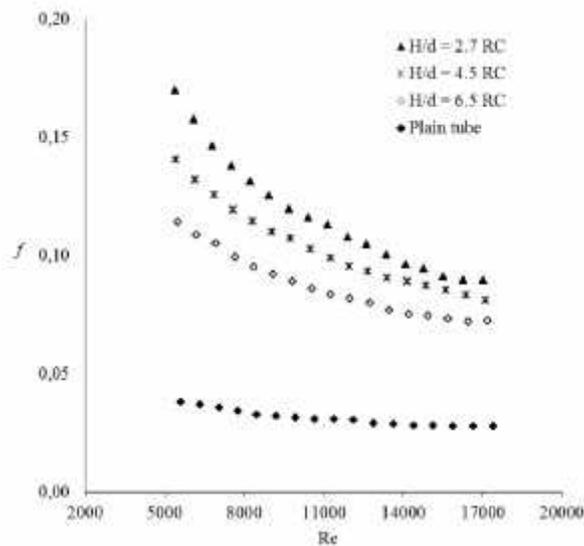
Pada kisaran $5300 < Re < 17.500$, nilai Nu_i pipa dalam dengan penambahan *rectangular cut twisted tape* variasi *twist ratio* $H/d = 2,7; 4,5; \text{ dan } 6,5$ berturut-turut meningkat dibandingkan dengan *plain tube*. Nilai peningkatan Bilangan Nusselt RCTT *twist ratio* 2,7; 4,5; dan 6,5 berturut turut adalah 57 - 102,4%; 49,8 - 80,7%, dan 39,6 - 63,7% terhadap *plain tube*

Pengaruh penambahan *rectangular cut twisted tape* variasi *twist ratio* $H/d = 2,7; 4,5; \text{ dan } 6,5$ terhadap karakteristik faktor gesekan (f) di pipa dalam dari penular kalor pipa konsentrik dapat dilihat pada gambar 6.

Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai faktor gesekan (f) pipa dalam berkurang seiring kenaikan bilangan Reynolds (Re). Faktor gesekan pipa dalam dengan penambahan *rectangular cut twisted tape* variasi *twist ratio* $H/d = 2,7; 4,5; \text{ dan } 6,5$ lebih besar dibandingkan dengan *plain tube*. Pada pipa dalam

dengan penambahan sisipan *twisted tape*, nilai faktor gesekan bertambah dengan semakin kecilnya *twist ratio*, hal ini serupa dengan penelitian (Salam, B., et al., 2013). Faktor gesekan dengan penambahan sisipan *twisted tape* menunjukkan penurunan bilangan Nusselt rata-rata dan faktor gesekan meningkat dengan penurunan *twist ratio* dan panjang spacer Ibrahim (2011).

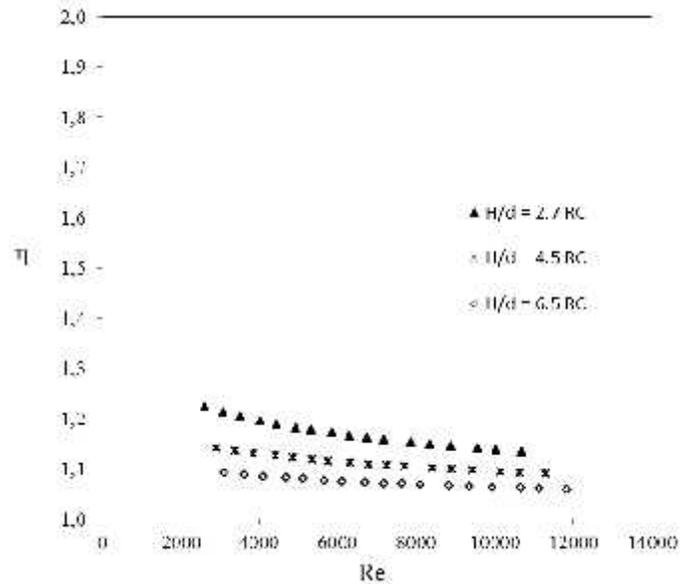
Nilai faktor gesekan pada kisaran $5300 < Re < 17.500$ di pipa dalam dengan penambahan *rectangular cut twisted tape* variasi *twist ratio* $H/d = 2,7; 4,5; \text{ dan } 6,5$ lebih besar dibandingkan *plain tube*. Rentang nilai faktor gesekan variasi *twist ratio* $H/d = 2,7; 4,5; \text{ dan } 6,5$ berturut-turut adalah $2,23 - 3,5; 1,93 - 2,69; \text{ dan } 1,61 - 2,0$ kali lebih besar dibandingkan dengan *plain tube*



Gambar 6. Grafik hubungan f terhadap Re variasi *twist ratio* $H/d = 2,7; 4,5; \text{ dan } 6,5$.

Rasio peningkatan perpindahan panas merupakan perbandingan antara koefisien perpindahan panas konveksi dipipa dalam dengan koefisien perpindahan panas konveksi di *plain tube*. Pada gambar 7, dapat dilihat bahwa rasio peningkatan perpindahan panas dari penukar kalor dengan penambahan sisipan *twisted tape* pada variasi *twist ratio* terkecil meningkat pada bilangan Reynolds yang rendah kemudian turun pada Reynolds yang tinggi. Hal ini membuktikan bahwa pada daya pemompaan yang rendah efek dari penambahan sisipan sudah dapat meningkatkan rasio peningkatan perpindahan panas.

Nilai rasio peningkatan perpindahan panas rata-rata penukar kalor dengan penambahan sisipan *twisted tape insert* dengan dan tanpa *rectangular cut* variasi *twist ratio* $H/d = 2,7; 4,5; \text{ dan } 6,5$ berturut-turut $1,13 - 1,22; 1,09 - 1,14 \text{ dan } 1,06 - 1,09$ kali dari pada *plain tube*.



Gambar 7. Grafik Hubungan η dengan Re variasi *twist ratio* $H.d = 2,7 ; 4,5; \text{ dan } 6,5$

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah diukur karakteristik perpindahan panas, faktor gesekan dan rasio peningkatan perpindahan panas pada fluida air dalam penukar kalor pipa konsetrik dengan sisipan *rectangular cut twisted tape* yang hasilnya dapat disimpulkan sebagai berikut,

- Bilangan Nusselt meningkat dengan kenaikan bilangan Reynolds. Nilai peningkatan Bilangan Nusselt RCTT *twist ratio* $2,7; 4,5; \text{ dan } 6,5$ berturut-turut adalah $57 - 102,4\%; 49,8 - 80,7\%, \text{ dan } 39,6 - 63,7\%$ terhadap *plain tube*
- Rasio peningkatan perpindahan panas RCTT *twist ratio* $2,7; 4,5; \text{ dan } 6,5$ rata-rata meningkat berturut-turut adalah $1,17; 1,11; \text{ dan } 1,07$ terhadap *plain tube*
- Penelitian faktor gesekan ditemukan pada RCTT *twist ratio* $2,7; 4,5; \text{ dan } 6,5$ rata-rata meningkat berturut-turut adalah $2,23 - 3,5; 1,93 - 2,69; \text{ dan } 1,61 - 2,0$ kali lebih besar dibandingkan dengan *plain tube*

DAFTAR PUSTAKA

- Bergles, A., 1988, *Heat Transfer Augmentation*, pp. 343-373.
- Bergman, T.L., Incropera, F.P., and Lavine, A.S., 2011, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, John Wiley & Sons.
- Chang, S.W., Jan, Y.J., and Liou, J.S., 2007, *Turbulent Heat Transfer and Pressure Drop in Tube Fitted with Serrated Twisted Tape*,

- International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 46 (5), pp. 506-518.
- Chang, S.W., Lees, A.W., and Chang, H.-T., 2009, *Influence of Spiky Twisted Tape Insert on Thermal Fluid Performances of Tubular Air–Water Bubbly Flow*, *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 48 (12), pp. 2341-2354.
- Dewan, A., Mahanta, P., Raju, K.S., and Kumar, P.S., 2004, *Review of Passive Heat Transfer Augmentation Techniques*, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, Vol. 218 (7), pp. 509-527.
- Eiamsa-ard, S., Seemawute, P., and Wongcharee, K., 2010, *Influences of Peripherally-Cut Twisted Tape Insert on Heat Transfer and Thermal Performance Characteristics in Laminar and Turbulent Tube Flows*, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 34 (6), pp. 711-719.
- Fox Robert, W., McDonald Alan, T., and Pritchard Philip, J., 2011, *Introduction to Fluid Mechanics Eighth Edition*.
- Hasanpour, A., Farhadi, M., and Sedighi, K., 2014, *A Review Study on Twisted Tape Inserts on Turbulent Flow Heat Exchangers: The Overall Enhancement Ratio Criteria*, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 55 pp. 53-62.
- Kreith, F., Manglik, R., and Bohn, M., 2011, *Principles of Heat Transfer Seventh Edition*, Cengage learning.
- Liu, S., and Sakr, M., 2013, *A Comprehensive Review on Passive Heat Transfer Enhancements in Pipe Exchangers*, *Renewable and sustainable energy reviews*, Vol. 19 pp. 64-81.
- Murugesan, P., Mayilsamy, K., and Suresh, S., 2011a, *Heat Transfer and Friction Factor in a Tube Equipped with U-Cut Twisted Tape Insert*, *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, Vol. 5 pp. 559-565.
- Murugesan, P., Mayilsamy, K., and Suresh, S., 2012, *Heat Transfer in a Tube Fitted with Vertical and Horizontal Wing-Cut Twisted Tapes*, *Experimental Heat Transfer*, Vol. 25 (1), pp. 30-47.
- Salam, B., Biswas, S., Saha, S., and Bhuiya, M.M.K., 2013, *Heat Transfer Enhancement in a Tube Using Rectangular-Cut Twisted Tape Insert*, *Procedia Engineering*, Vol. 56 pp. 96-103.
- Yunus, A.C., 2003, *Heat Transfer: A Practical Approach*, MacGraw Hill, New York, Vol.