

## VARIASI KEMIRINGAN SUDUT TURBULATOR TERHADAP LAJU PERPINDAHAN PANAS PADA ALAT PENUKAR KALOR ALIRAN BERLAWANAN (*COUNTER FLOW HEAT EXCHANGER*)

Nyoman Aryaa Wigraha  
Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Pendidikan Ganesha  
Singaraja Indonesia

e-mail: [arya\\_wigraha@yahoo.co.id](mailto:arya_wigraha@yahoo.co.id)

### Abstrak

Pengaruh turbulator yang berbentuk Louvered strip terhadap laju perpindahan panas dan faktor gesekan aliran turbulen pada *double tube heat exchanger* dapat memecah (*partitioning*) dan mengganggu (*blockage*) pola streamline dari fluida yang mengalir kesaluran pipa dalam (inner tube) sehingga mengakumulasi aliran turbulensi dan meningkatkan laju perpindahan kalor dalam pipa. Turbulator *Louvered strips* memiliki variasi sudut serang ( $\theta = 15^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ ) yang terpasang ditengah-tengah pipa bagian dalam dan searah aliran fluida masuk. Laju aliran fluida (air) panas di bagian pipa dalam diteliti dengan interval 400 lt/jam sampai 900 lt/jam dan laju aliran air dingin di bagian pipa luar konstan 900 lt/jam. Data hasil pengujian dari masing – masing sudut serang turbulator ini dibandingkan data tanpa turbulator (plain tube), secara keseluruhan terjadi peningkatan laju perpindahan kalor sebesar 26% sampai 58% dari pada tanpa turbulator serta menghasilkan faktor gesekan dari 25% sampai 40%. Dengan *performance ratio* rata –rata tertinggi pada turbulator dengan sudut  $30^\circ$  sebesar 0,948.

**Kata kunci:** Turbulator, Heat Exchanger, Counter flow, turbulensi, faktor gesekan, turbulator, efektifitas

### Abstract

Effect of turbulator louvered strips on the rate of heat transfer and friction factor of turbulent flow in a double tube heat exchanger can split and interrupt streamline pattern of the fluid flowing into the pipeline that accumulates the flow of turbulence and increase the rate of displacement heat in the pipeline. Louvered strips have a variation of angle of attack ( $\theta = 15^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ ) which is attached in the middle of the inner pipe and the direction of fluid flow inside. The flow rate of fluid (water) heat in the pipe in the interval studied 400 lt / hour to 900 liters / hour and the cold water flow rate in the outer pipe of constant 900 lt / hour. Data from each test result of attack is compared to data without turbulator, the overall heat transfer rate increased by 26% to 58% of the no turbulator as well as generate friction factor from 25% to 40%. Performance ratio with the highest average in the turbulator with 30o angle of 0.948.

**Key words:** louvered strips, Heat Exchanger, Counter flow, turbulence, friction factor, turbulator, effectiveness

## PENDAHULUAN

Peningkatan efisiensi dari perpindahan energi perlu adanya perubahan parameter – parameter, antara lain perubahan parameter aliran fluida (turbulensi), perubahan area penerimaan energi dan pengkondisian temperatur fluida kerja. Faktor perubahan parameter tersebut sangat penting dalam kontrol suatu proses *Engineering* baik di *Power Plant Industry*, *Production Processing Utility* dll yang akan menentukan kualitas produk yang dihasilkan (Lunsford,1998). Dalam dunia industri pemanfaatan kembali perpindahan energi atau panas sangat diperlukan, dimana perpindahan kalor dapat berlangsung melalui 3 cara, antara lain perpindahan kalor secara molekuler (konduksi), secara aliran (konveksi), secara gelombang elektromagnet (radiasi). Aplikasi perpindahan kalor tersebut banyak ditemui secara rinci dengan penggunaan *Heat Exchanger* baik berupa kondensor, recuperator, boiler dll. *Heat exchanger* adalah peralatan yang digunakan untuk memindahkan energi termal (Entalpi) antara dua atau lebih fluida, antara permukaan padat (*solid*) dan cair/gas, atau antara partikel padat dan partikel cair/gas, pada perbedaan temperatur dan area kontak termal fluida/konveksi paksa, sedangkan roses perpindahan kalor HE ada dua yaitu tipe direct dan indirect (Shah, 2003).

Pengembangan perpindahan kalor dari HE terbagi menjadi beberapa cara yaitu secara cara *passive* dan *active* (Lunsford,1998) : Pengembangan HE *passive techniq* yaitu merekayasa aliran fluida kerja melalui penambahan area permukaan perpindahan panas (turbulator) pada pipa – pipa HE seperti pengasaran permukaan dinding dalam/luar pipa, alat pemusar aliran/*swirler*/penghalang, external

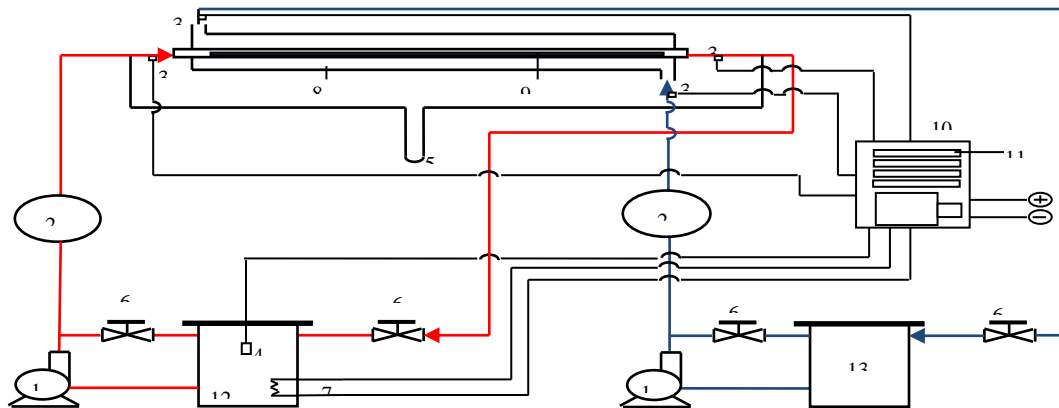
atau internal fin, dll. Sedangkan secara *active technique* yaitu dengan memberikan penambahan energy ke fluida kerja seperti pemberian getaran secara mekanik ke area fluida kerja agar dapat memecah lapisan batas kalor. Pengembangan perpindahan kalor dari *Heat exchanger* dimaksudkan untuk mengatasi permasalahan – permasalahan seperti laju perpindahan kalor, area permukaan perpindahan kalor, faktor gesekan, pola aliran fluida kerja, daya pompa, jenis *Heat Exchanger* yang digunakan, serta jenis material HE(Bergles, 1998). Dalam penelitian ini akan mengembangkan teknik *passive* yaitu dengan memodifikasi dan menggabungkan kanti peturbulator *insert HE Louverd strips Insert* (Smith Eiamsa-ard;2007) dan *Twisted tape Insert* atau disebut "*Louvered Strips Inserts*" yang memiliki variasi sudut serang sirip  $\theta = 15^\circ, 25^\circ$  dan  $30^\circ$ . Pemasangan turbulator dapat memecah (*partitioning*) dan mengganggu (*blockage*) pola *streamline* dari fluida yang mengalir ke saluran pipa dalam (*inner tube*). Dengan kata lain akan mengalirkan aliran fluida sesuai dengan arah vector pergerakan fluida sesuai dengan bentuk dan model turbulator. Akibatnya lintasan dan luasan bebas alir fluid di dalam pipa berkurang sehingga akan meningkatkan kecepatan alir fluida. Kecepatan pada fluida ini akan meningkatkan kontak termal antara permukaan pipa dalam dengan fluida yang mengalir. Hal ini merupakan adanya rotasi (*curl*) fluida yang bersinggungan dengan penghalang turbulator dimana ada perbedaan tekanan local sehingga mengakibatkan olakan – olakan aliran berpusar fluida (*swirl*) diantara ruang antar sirip (*fin*) turbulator (Saunders,1986). Fluida yang berpusar ini akan memperbesar gradient temperature artinya ada pelepasan

kalor yang besar ke sekitarnya akibat meningkatkan pergerakan partikel fluida (turbulensi) untuk mentransferkan energinya keluar atau memiliki koefisien mampu pindah kalor yang tinggi (*high heat transfer coefficient*). Pemasangan turbulator juga menerapkan konveksi paksa, hal ini berkaitan dengan besarnya energy diterima kedalam fluida maupun perpindahan kalor antar pipa dan fluida.

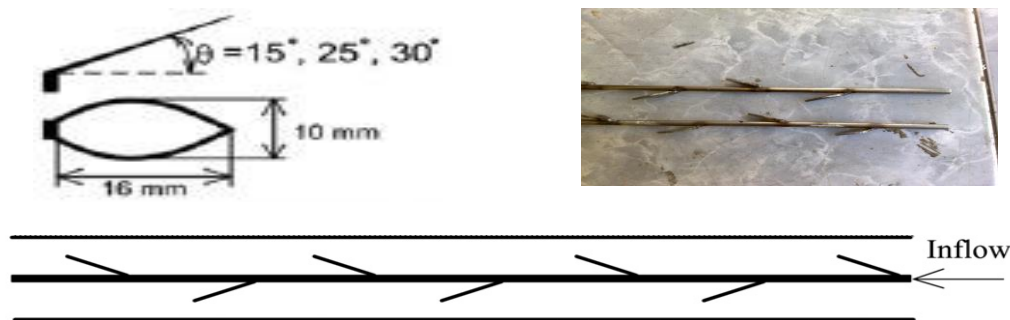
## METODE

Dalam penelitian ini menggunakan *double tube heat exchanger*, dengan pipa bagian luar dari *stainless steel* berdiameter dalam 76,2 mm dengan dan pipa bagian dalam dari tembaga berdiameter 25,4 mm dengan panjang 1,1 meter. Fluida yang digunakan adalah air baik pada pipa bagian luar (*shell*) dan pipa bagian dalam (*tube*) sedangkan arah aliran dalam *heat exchanger* ini yaitu *counter flow*. Untuk kerugian pipa dan kerugian panas ke lingkungan diabaikan

karena sistem dianggap *steady*. Pengukuran *pressure drop* pada pipa bagian dalam menggunakan manometer. Air dingin mengalir konstan pada pipa luar (*shell*) 900 lt/jam dan temperaturnya dijaga konstan 27°C. Sedangkan pada air panas mengalir pada pipa dalam (*tube*) bervariasi dari 400 lt/jam sampai 900 lt/jam dengan kenaikan interval 100 lt/jam dan temperatur reservoirnya konstan 65°C dengan toleransi temperatur  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . Untuk menjaga temperatur air panas maka digunakan daya heater 2400 KW serta menggunakan *automatic thermocontroler* sedangkan untuk menjaga temperatur reservoir dingin maka digunakan sirkulasi dengan air PDAM. *Louvered strips insert* ini berjumlah 22 buah dan terbuat dari *stainless steel* dengan variasi sudut serang  $\theta = 15^{\circ}, 25^{\circ}, 30^{\circ}$ . Ukuran dan bentuk turbulator ini seperti pada gambar 2.



Gambar 1. Skema peralatan penelitian: 1 pompa air ¼ PK, 2 Debit meter, 3 LM 35, 4 Thermocouple tipe K, 5 Manometer, 6 Ball Valve, 7 Heater, 8 Double tube HE, 9 Louvered strip twisted insert, 10 control panel, 11 Display digital, 12 & 13 Reservoir air panas dan dingin.



Gambar 2. Ukuran dan bentuk turbulator

Dalam penelitian ini air dimasukkan ke reservoir air panas dan air dingin. Kemudian dilakukan kalibrasi pada debit meter untuk air dingin sebesar 900 lt/jam dan debit meter air panas dari 400 lt/jam – 900 lt/jam dimana kalibrasi ini dilakukan tiap kenaikan interval 100 lt/jam. Air pada reservoir panas dipanaskan dengan heater sampai suhunya 65°C, setelah itu pompa air panas dinyalakan untuk mengalirkan air kedalam pipa dalam (*tube*) sampai kondisi steady pada temperatur  $T_{hin}$  (65°C) dan  $T_{hout}$  yang terbaca pada display digital serta steady perbedaan ketinggian yang terukur pada manometer. Dan selanjutnya reservoir air dingin yang ber kondisi steady pada suhu 27°C ( $T_{cin}$ ) dialirkan ke dalam pipa luar (*shell*) melalui pompa air dingin. Setelah itu dilakukan pencatatan dan pengambilan data 5 kali dengan pengulangan 3 kali dari temperatur  $T_{hin}$ ,  $T_{hout}$ ,  $T_{cin}$ ,  $T_{cout}$  dan  $\Delta z$  (perbedaan ketinggian cmH<sub>2</sub>O). Prosedur penelitian ini dilakukan pada *plain tube* dan *Heat exchanger* dengan *turbulator Louvered strips insert*.

Perubahan temperatur  $T_{hin}$ ,  $T_{hout}$ ,  $T_{cin}$ ,  $T_{cout}$  berpengaruh terhadap propertis fluida antara lain  $Pr$ ,  $\rho$ ,  $cp$ ,  $v$ ,  $k$ ,  $\mu$  yang didapatkan di tabel melalui berdasarkan temperatur rata –

rata fluida dingin dan fluida panas (temperatur bulk),

$$T_{\text{bulk hot}} = (T_{hin} + T_{hout})/2 \text{ dan } T_{\text{bulk cold}} = (T_{cin} + T_{cout})/2$$

Karena aliran fluida pada *doublé tube heat exchanger* ini *cross flow* maka;

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \text{ dengan}$$

$$\Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,out}$$

$$\Delta T_2 = T_{h,out} - T_{c,in}$$

Luasan permukaan total perpindahan kalor  $A_s$  ;

$A_s = \text{Luasan permukaan pipa dalam} + \text{Luas total turbulator}$

Dimana luas total sirip ini dipengaruhi sudut sinus dari *louvered strip twisted insert*  $\theta = 15^\circ$ ,  $25^\circ$  dan  $30^\circ$ . Koefisien perpindahan kalor  $U$ ;

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o}}$$

Dimana  $A_i$  dan  $A_o$  adalah luasan total permukaan perpindahan kalor pipa dalam bagian dalam

$$A_o = \pi D_o L \text{ dan } A_i = \pi D_i L$$

dengan koefisien konveksi ;

$$h_{in,out} = \frac{k_{in,out}}{D_h} Nu_{in,out}$$

Untuk perhitungan angka Nusselt dari pipa luar dan pipa dalam pada *double tube heat exchanger* ini dengan menggunakan persamaan *Dittus-Boelter*.

$$Nu_o = \frac{h_o \cdot D_h}{k} = 0.023 Re_o^{0.8} Pr_o^{0.33}$$

dan

$$Nu_i = \frac{h_i \cdot D_h}{k} = 0.023 Re_i^{0.8} Pr_i^{0.4}$$

Dimana  $D_h = D_o - D_i$  adalah diameter hidrolis yang dipengaruhi luasan aliran fluida (perimeter basah) didalam pipa – pipa *Heat exchanger*. Dan angka Reynold berdasarkan ;

$$Re_{in,out} = \frac{u \cdot D}{\nu} = \frac{\rho_{in,out} \cdot u_{in,out} \cdot D_{in,out}}{\mu_{in,out}}$$

Maka laju perpindahan kalor *double tube heat exchanger* ;

$$Q = U A_s \Delta T_{LMTD}$$

Sedangkan *capacity ratio* (c) dan *Number of Transfer Unit* :

$$c = \frac{C_{min}}{C_{max}} \text{ dan } NTU = \frac{UA_s}{C_{min}} = \frac{UA_s}{(\dot{m}C_p)_{min}}$$

Hubungan antara NTU dan *capacity ratio* (c) terhadap efektivitas (ε) pada

*counter flow heat exchanger*, sebagai berikut :

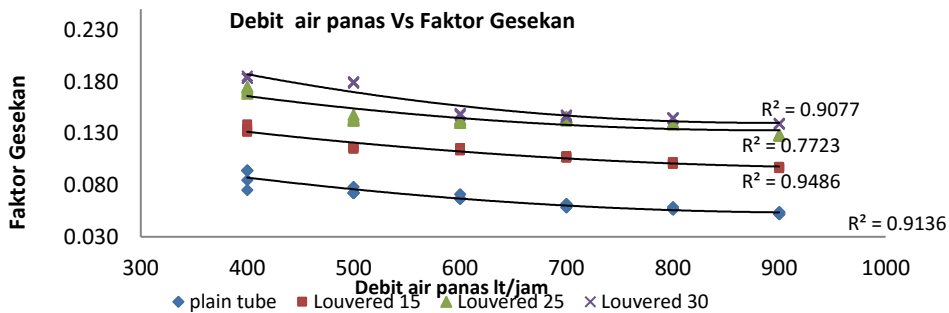
$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1 - c)]}{1 - c \exp[-NTU(1 - c)]}$$

$$f = \frac{\Delta P}{\left(\frac{L}{D}\right) \left(\rho \frac{u^2}{2}\right)}$$

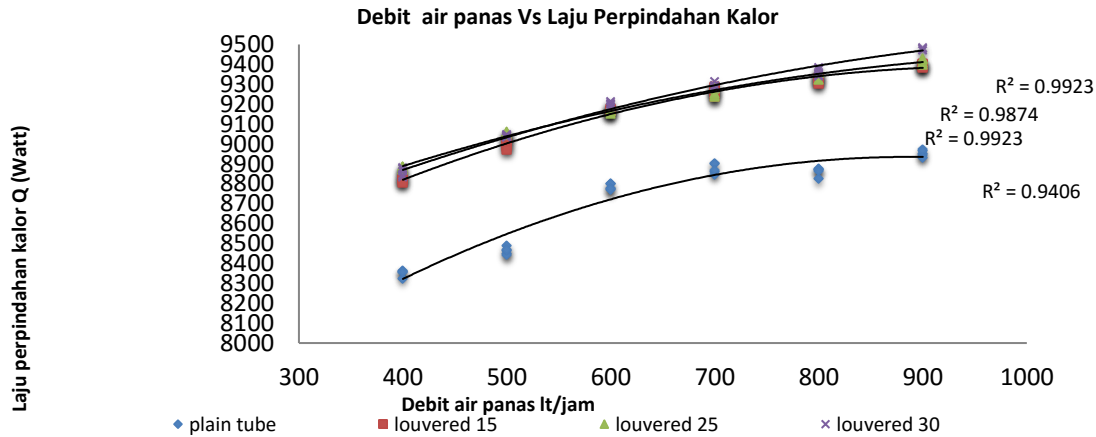
Sedangkan faktor gesekan didalam pipa untuk aliran turbulen dipengaruhi besarnya penurunan tekanan (ΔP) sebagai akibat adanya hambatan dari pemasangan turbulator *louvered strip* kedalam pipa *heat exchanger*. Artinya dengan semakin besar penurunan tekanan maka faktor gesekan akan bertambah besar, sehingga kerja pompa akan meningkat ;

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari gambar 1 dapat dilihat dengan adanya pemasangan berbagai variasi sudut *louvered strips*, maka akan semakin besar sudut *louvered strips* maka akan semakin besar faktor gesekan. Faktor gesekan akan semakin menurun dengan kenaikan debit dikarenakan hambatan pada fluida panas semakin besar dengan kecepatan fluida semakin besar, meskipun penurunan tekanan semakin besar.



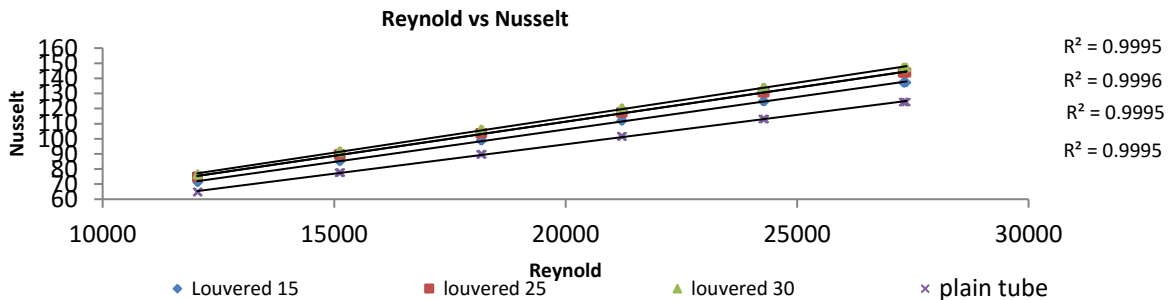
Gambar 3. Grafik pengaruh berbagai variasi sudut *louvered strips* terhadap faktor gesekan pada berbagai variasi debit air panas



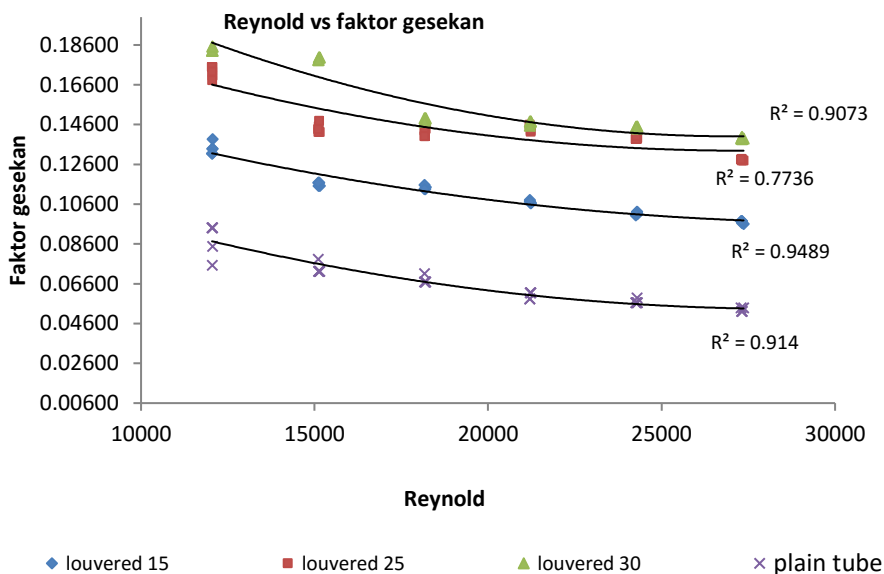
Gambar 4. Grafik pengaruh berbagai variasi sudut *louvered strips* terhadap laju perpindahan kalor yang ditimbulkan pada berbagai variasi debit

Pada gambar 4 menunjukkan bahwa dengan adanya pemasangan penghalang dengan variasi sudut *louvered strips* menyebabkan terjadinya peningkatan laju perpindahan kalor dibandingkan dengan tanpa penghalang, sebanding dengan peningkatan debit air panas, disebabkan semakin besar sudut dari *louvered strips* akan mempersempit penampang sehingga meningkatkan kecepatan rata-rata dari fluida dan akan semakin tinggi laju perpindahan kalornya. Pada gambar 5 ditunjukkan grafik perbandingan angka *Reynold* pada plain

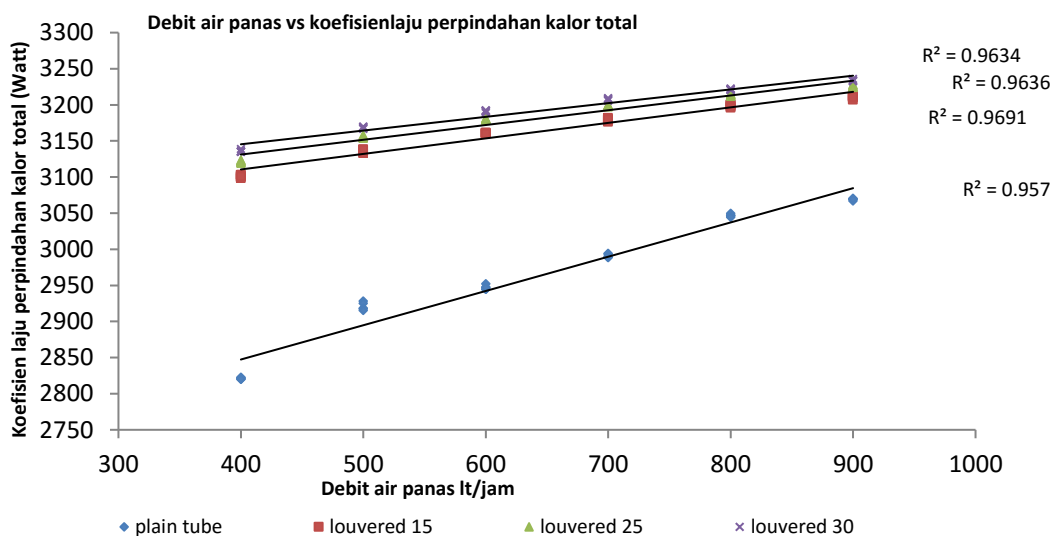
tube dengan angka *Nusselt* pada berbagai variasi sudut *louvered strips*. Dapat dilihat adanya kenaikan angka *Nusselt* dari penghalang dengan berbagai variasi sudut *louvered strips* dibandingkan dengan tanpa penghalang, yang mana semakin besar angka *Nusselt*, maka perpindahan kalor konveksi akan semakin efektif, dimana angka *Nusselt* menunjukkan besar perpindahan kalor konveksi terhadap besar perpindahan kalor konduksi pada lapisan fluida yang sama.



Gambar 5. Grafik perbandingan angka *Nusselt* dari berbagai variasi sudut *louvered strips* dengan dengan angka *Reynold*



Gambar 6. Grafik perbandingan angka *Reynold* dengan faktor gesekan berbagai variasi sudut *louvered strips*



Gambar 7. Grafik perbandingan debit air panas dengan koefisien laju perpindahan kalor total pada berbagai sudut *louvered strips*

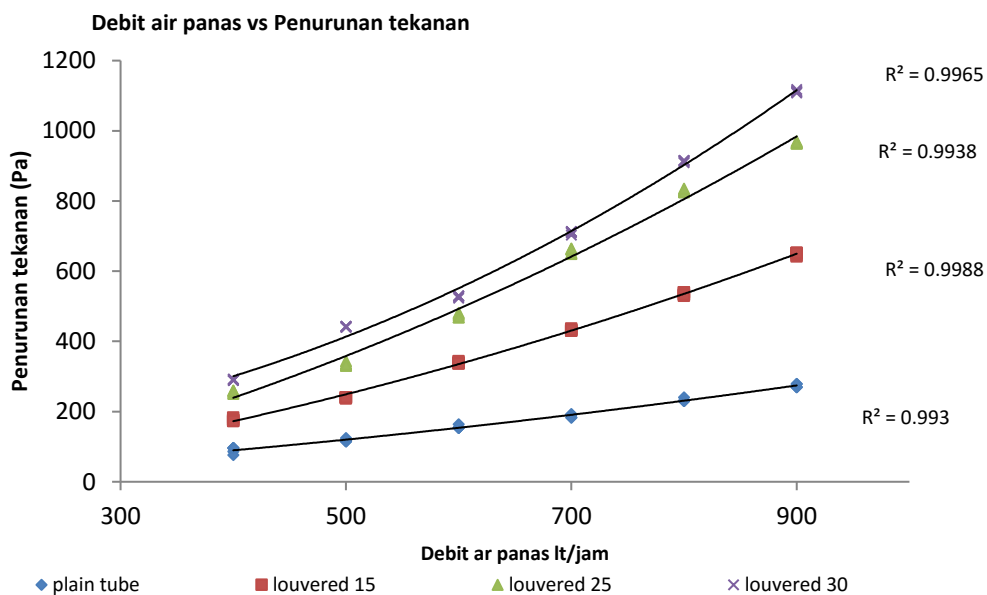
Pada gambar 6 dapat dilihat dengan kenaikan angka *Reynold* diikuti dengan

penurunan faktor gesekan, penurunan faktor gesekan akan meningkatkan gaya

inersia yang menimbulkan fluktuasi fluida yang cepat dan acak yang akan meningkatkan turbulensiyang akan menaikkan bilangan *Reynold*.

Pada gambar 7 dapat dilihat pada debit air panas yang sama didapatkan peningkatan terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh pada masing-masing pengujian dengan variasi

sudut *louvered strips*, peningkatan terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh dapat menunjukkan bahwa proses perpindahan kalor melalui mekanisme perpindahan kalor konveksi pada pipa dalam akan semakin efektif seiring dengan adanya peningkatan sudut *louvered strips* sehingga hambatan *thermal* konveksi pada aliran fluida panas juga semakin kecil.



Gambar 8. Hubungan antara variasi debit air panas dengan terhadap penurunan tekanan pada tiap-tiap variasi sudut *louvered strips*

Pada Gambar 8 dapat dilihat semakin meningkatnya sudut *louvered strips* akan meningkatkan faktor kerugian komponen pada aliran air panas. Pemasangan *louvered strip* menyebabkan luas penampang aliran air panas menjadi lebih kecil, akibatnya aliran air akan mempunyai kecepatan yang lebih untuk mempertahankan debit aliran air panas pada debit yang sama, sehingga gesekan

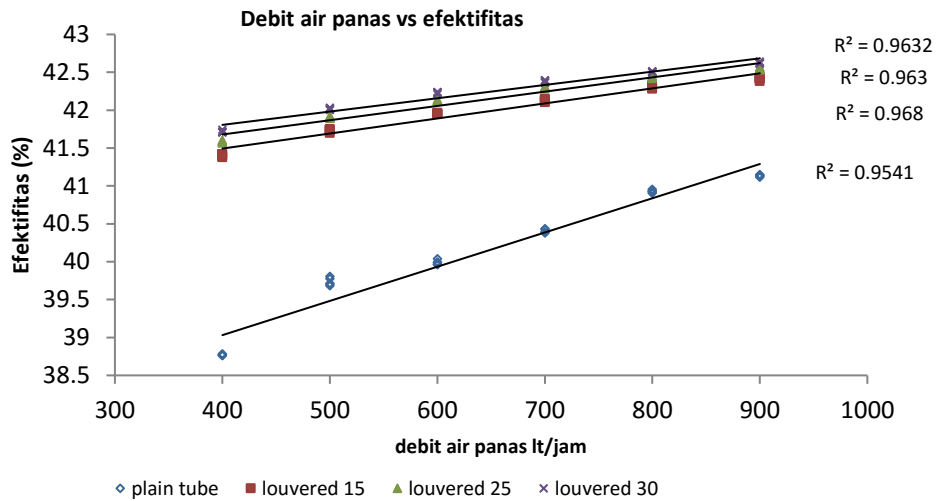
dengan dinding pipa dalam maupun dengan *louvered strips* juga akan semakin meningkat, sehingga penurunan tekanan juga akan semakin meningkat.

Pada Gambar 9 dapat dilihat dengan semakin meningkatnya debit aliran pada masing-masing pengujian dengan maupun tanpa pemasangan *louvered*, efektifitas cenderung meningkat, hal ini disebabkan dengan adanya peningkatan

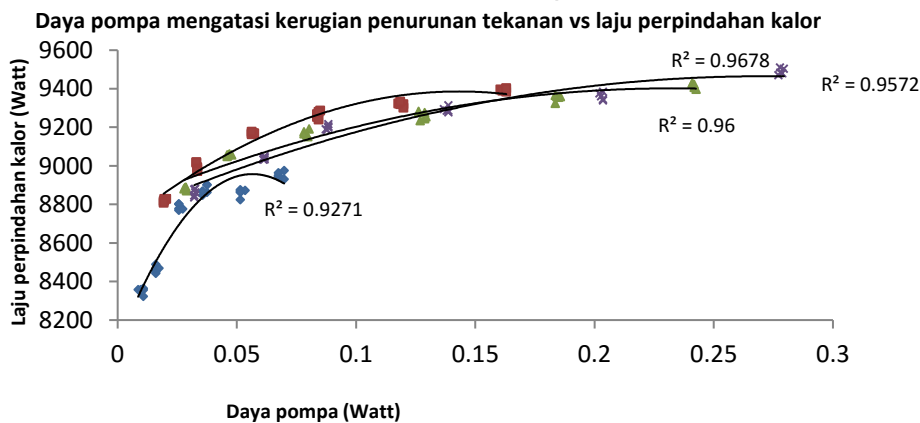


debit maka gerakan fluida akan semakin cepat menggantikan fluida panas yang lebih rendah suhunya di sekitar permukaan dinding pipa dalam dengan partikel fluida

panas yang lain, temperatur keluar fluida menjadi lebih panas dibandingkan dengan aliran fluida pada debit yang lebih rendah.



Gambar 9. Grafik pengaruh debit air panas terhadap efektifitas pada tiap-tiap variasi sudut *louvered strips*



Gambar 10. Grafik perbandingan daya pompa untuk mengatasi kerugian penurunan tekanan dengan laju perpindahan kalor pada berbagai variasi sudut *louvered strips*

Pada Gambar 10 menunjukkan grafik perbandingan daya pompa yang digunakan untuk mengatasi kerugian penurunan tekanan dengan laju

perpindahan kalor pada berbagai variasi sudut *louvered strips* pada daya pompa yang sama, dengan semakin naiknya laju perpindahan kalor maka akan semakin

meningkat daya pompa yang dibutuhkan untuk mengatasi kerugian penurunan tekanan.

## PENUTUP

Dari penelitian pengaruh *louvered strips* terhadap laju perpindahan panas dan faktor gesekan dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut *louvered strips* dengan bertambahnya debit air panas pada masing-masing pengujian dengan variasi debit air panas yang sama akan meningkatkan laju perpindahan kalor, menurunkan tekanan, dan meningkatkan efektifitas. Kesimpulan lain yang didapatkan adalah faktor gesekan akan semakin menurun dengan meningkatnya debit air panas pada berbagai variasi sudut *louvered strips*, dikarenakan hambatan pada fluida panas semakin besar dengan kecepatan fluida semakin besar, meskipun penurunan tekanan semakin besar

## DAFTAR PUSTAKA

- Bergles, A.E. 1998. *The imperative to enhance heat transfer*, in :*Energy conservation through heat transfer enhancement of heat exchangers*. NATO Advanced Study Institute. Izmir – Turkey.
- Byron Black of the Brown Fintube Company. *Heat transfer innovators*. URL : [http://www.kochheattransfer.com/cp/userfile\\_Byron\\_black\\_of\\_the\\_brown\\_fintube\\_company.pdf](http://www.kochheattransfer.com/cp/userfile_Byron_black_of_the_brown_fintube_company.pdf). 16 februari 2010.
- Eiamsa-ard, Smith.&Promvonge, P. 2006. *Heat transfer characteristics in a tube fitted with helical screw-tape with/without core-rod inserts*. Bangkok: King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang.
- Eiamsa-ard, Smith.Pethkool, Somsak. Thianpong, Chinaruk. &Promvonge, P. 2007 *Turbulent Flow Heat Transfer and Pressure Loss in a Double Pipe Heat Exchanger with Louvered Strip Inserts*. Bangkok: King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang.
- Engineering data book III 5-1. Wolverine Tube Heat Transfer Data book*. Wolverine Tube, Inc. URL :[http://www.wlv.com/products/databook/ch2\\_2.pdf](http://www.wlv.com/products/databook/ch2_2.pdf). 16 februari 2010.
- Introduction to engineering heat transfer*. URL : [http://www.ocw.mit.edu/..10\\_part1\\_3.pdf](http://www.ocw.mit.edu/..10_part1_3.pdf). 16 Februari 2010.
- Lunsford, Kevin M. 1998. *Increasing heat exchanger performance*. Bryan : Texas US. Bryan Research & Engineering, Inc.
- Pethkool, Somsak. Eiamsa-ard, Smith.Ridluan, Artit. And Promvonge, P. 2006 *Effect of Louvered Strips on Heat Transfer in a Concentric Pipe Heat Exchanger*. Bangkok:KingMongkuts Institute of Technology Ladkrabang.
- Saunders, E.A.D. 1986. *Heat Exchangers Selection, Design and Construction*. Darlington :Whessoe Heavy Engineering Ltd.
- Shah, Ramesh K. &Sekulic, Dušan P. 2003. *Fundamentals of Heat Exchan*