

## Pengaruh Variasi Besar Sudut *Static Radial Fin Mixer* Terhadap Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor

Purnami, Slamet Wahyudi, Reza Maharajasa P. U.

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.  
Jl. MT Haryono no 167, Malang 65 145  
[purnami.ftub@ub.ac.id](mailto:purnami.ftub@ub.ac.id)

### Abstrak

Alat penukar kalor berfungsi memindahkan kalor antara dua fluida yang mempunyai perbedaan temperatur dan menjaga agar kedua fluida tersebut tidak bercampur. Telah dikembangkan berbagai berbagai rekayasa untuk meningkatkan unjuk kerja alat penukar kalor termasuk di dalamnya dengan menambahkan *static mixer*. Perpindahan panas secara konveksi sangat dipengaruhi oleh bentuk geometri alat penukar kalor dan tiga bilangan tak berdimensi, yaitu bilangan Reynold, bilangan Nusselt dan bilangan Prandtl fluida. Besarnya ketiga bilangan tersebut sangat tergantung dari besarnya tingkat turbulensi aliran fluida yang mengalir. Pengaruh *static radial fin mixer* pada alat penukar kalor jenis *double tube* adalah menyebabkan terjadinya gangguan pola *streamline* fluida yang mengalir dalam pipa sehingga menyebabkan terjadinya turbulensi aliran. Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui pengaruh variasi sudut *static radial fin mixer* terhadap laju aliran kalor dan penurunan tekanan pada alat penukar kalor jenis *double tube*. Dalam penelitian ini digunakan 3 (tiga) macam variasi besar sudut *static radial fin mixer* yaitu 30°, 45° dan 60°. Laju aliran fluida (air) panas di bagian pipa dalam divariasikan mulai dari 400 l/jam, 500 l/jam, 600 l/jam, 700 l/jam, 800 l/jam, 900 l/jam dan laju aliran air dingin di bagian pipa luar konstan 900 l/jam. Data hasil pengujian didapat bahwa laju aliran kalor yang tertinggi pada besar sudut *static radial fin mixer* 45° yaitu sebesar 4,47KW dan penurunan tekanan terendah pada sudut *static radial fin mixer* 60° yaitu 735 N/m<sup>2</sup>.

**Kata kunci :** *Static radial fin mixer, counter flow, laju perpindahan panas, pressure drop.*

### LATAR BELAKANG

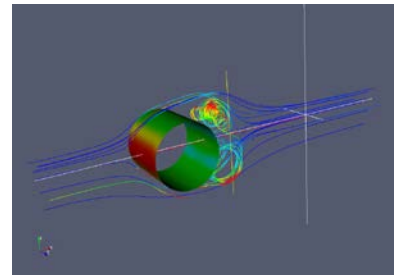
Alat penukar kalor merupakan alat yang berfungsi memindahkan kalor antara dua fluida yang mempunyai perbedaan temperatur dan menjaga agar kedua fluida tersebut tidak bercampur (Cengel, 2003:569). Banyak jenis alat penukar kalor yang dibuat dan digunakan dalam pusat pembangkit tenaga, unit pendingin, unit pengkondisi udara, proses di industri, sistem turbin gas, dan lain – lain. Salah satu cara untuk meningkatkan koefisien perpindahan kalor adalah dengan menciptakan pusaran (*vortex*) dalam aliran fluida dengan cara memasang *turbulator*. Jenis *turbulator* yang digunakan pada penelitian ini adalah *radial fin mixer*, karena jenis *turbulator* ini menghasilkan *turbulensi* yang tinggi karena luas permukaan kontak fluida dengan *turbulator* besar dan arah alirannya dibuat berubah-ubah sehingga menghasilkan aliran yang acak. Pemasangan *radial fin mixer* mempunyai pengaruh positif dan negatif pada alat penukar kalor. Pengaruh positifnya adalah peningkatan laju perpindahan kalor, sedangkan pengaruh negatifnya adalah peningkatan *head losses* berupa gesekan pada

saluran yang dapat meningkatkan *pressure drop*. Salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja *radial fin mixer* adalah besarnya sudut *radial fin mixer*, sehingga diperlukan penelitian untuk mengetahui berapa besarnya sudut *radial fin mixer* yang bisa meningkatkan laju perpindahan kalor dan mengurangi *pressure drop*.

### TINJAUAN PUSTAKA

#### Vortex

Vortex adalah massa fluida yang partikel-partikelnya bergerak berputar dengan garis arus (*streamline*) membentuk lingkaran konsentris.



Gambar 1 : Vortex

Sumber : <http://www.cs.ualberta.ca/vortex>

**Angka Reynold**

Bilangan *Reynold* merupakan bilangan tak berdimensi yang menunjukkan perbandingan antara gaya inersia terhadap gaya viskos dari suatu fluida. Secara matematis besarnya angka *Reynold* dapat dirumuskan sebagai berikut

$$Re = \frac{\text{inertia force}}{\text{viscous force}} = \frac{V_{\infty} \delta}{\nu}$$

Dimana :

$Re$  = *Reynold Number*

$V_{\infty}$  = Kecepatan aliran ( m/s )

$\delta$  = Karakteristik panjang atau geometri (m)

$\nu$  = *Kinematic Viscosity* ( m<sup>2</sup>/s )

**Angka Prandtl (Pr)**

Angka *prandtl* merupakan parameter yang menghubungkan ketebalan relatif antara lapisan batas hidrodinamika dengan lapisan batas thermal yaitu menyatakan perbandingan viskositas kinematik fluida terhadap difusivitas thermal.

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu/\rho}{k/c_p \cdot \rho} = \frac{\mu \cdot c_p}{k}$$

Dimana :

$Pr$  = *Prandtl Number*

$\alpha$  = Difusivitas *thermal*

$c_p$  = Panas jenis pada tekanan konstan ( J/kg .K )

$\nu$  = *Kinematic Viscosity*

$\mu$  = *Absolute Viscosity*

$k$  = *Thermal Conductivity* (W/m. K)

**Angka Nusselt (Nu)**

Angka *Nusselt* menunjukkan besar perpindahan kalor melalui proses konveksi terhadap besar perpindahan kalor melalui proses konduksi pada lapisan fluida yang sama.

$$Nu = \frac{Q_{conv}}{Q_{cond}} = \frac{h \Delta T}{k \Delta T / \delta} = \frac{h \delta}{k}$$

Dimana :

$Nu$  = *Nusselt Number*

$h$  = Koefisien perpindahan kalor konveksi ( W/m<sup>2</sup> °C )

$\delta$  = Geometri profil penampang fluida ( m )

**Peningkatan Kinerja Alat Penukar Kalor**

Peningkatan kinerja alat penukar kalor berarti memindahkan kerja lebih besar atau melakukan pertukaran temperature antar fluida yang lebih cepat. Salah satunya dengan peningkatan perpindahan kalor menyeluruh  $U$  (*Overall heat transfer coefficient*), karena  $U$  ini sangat berhubungan dengan area perpindahan kalor  $A$ , laju perpindahan kalor  $Q$  dan perbedaan

temperature  $\Delta T$ .

$$Q = UA \Delta T$$

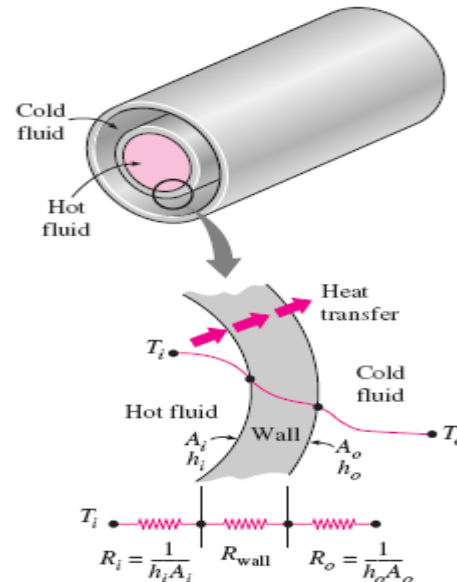
Dimana :

$Q$  : Laju perpindahan kalor ( W )

$U$  : Koefisien perpindahan kalor menyeluruh

**Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh**

Suatu alat penukar kalor pada umumnya terdapat dua fluida yang memiliki beda temperatur yang dipindahkan oleh dinding sehingga akan terjadi tiga proses perpindahan kalor yaitu proses perpindahan kalor konveksi yang terjadi antara fluida dengan permukaan bagian dalam pipa dari pipa dalam (*inner tube*), perpindahan kalor konduksi yang terjadi dari permukaan dalam hingga permukaan luar dari pipa dalam (*inner tube*), serta proses perpindahan kalor konveksi antara fluida yang terdapat pada pipa luar (*outer tube*) dengan permukaan luar dari pipa dalam (*inner tube*). Dijelaskan lebih detail pada gambar dibawah ini :



Gambar 2 : Hambatan *thermal* pada *concentric double tube heat exchanger*

Sumber : Çengel *Heat Transfer: A Practical Approach* (2003:671)

$$R = R_{total} = R_i + R_{wall} + R_o = \frac{1}{h_i A_i} +$$

$$\frac{\ln(D_o/D_i)}{2 \pi k l} + \frac{1}{h_o A_o}$$

(Cengel,2003:672 )

Dimana:

$$Q = \frac{\Delta T}{R} = UA \Delta T = U_i A_i \Delta T =$$

$$U_o A_o \Delta T$$

Sehingga:

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

Dapat dinyatakan :

$$U_o = \frac{A_o}{\frac{A_o}{h_i A_i} + \frac{A_o \ln(r_o/r_i)}{2 \pi k L} + 1} h_o$$

Dimana :

- Q : Laju perpindahan kalor ( W )
- U : Koefisien perpindahan kalor menyeluruh
- h : Koefisien perpindahan kalor konveksi
- A : Luas permukaan panas pipa (m<sup>2</sup>)
- k : Konduktivitas *thermal* bahan (W/m.°C )
- D : Diameter pipa ( m )
- L : Panjang pipa ( m )
- i/o : i (bagian pipa dalam), o (bagian pipa luar)

**Penurunan Tekanan**

Penurunan tekanan yang terjadi pada alat penukar kalor dapat dirumuskan :

$$\Delta P = \rho g h_f \text{ (White, 2005: 328)}$$

Dimana :

- $\Delta P$ : Penurunan tekanan( kg/m<sup>2</sup> )
- $\rho$  : Massa jenis fluida ( kg/m<sup>3</sup> )
- $g$ : Percepatan gravitasi ( m/s<sup>2</sup> )
- $h_f$ : Kerugian gesek ( m )

Sedangkan kerugian gesek akibat adanya factor gesekan pada aliran melalui celah bentuk cincin ( *concentric annulus* ) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$h_f = f \frac{L}{D_h} \frac{V^2}{2g} \text{ (White, 2005: 328)}$$

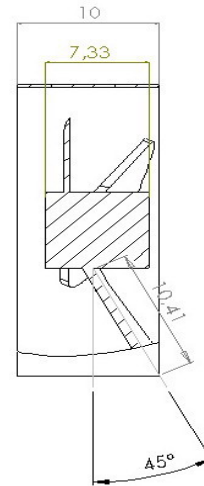
Dimana :

- $h_f$ : Kerugian gesek ( m )
- $f$ : Faktor gesekan
- $L$ : Panjang pipa (m)
- $D_h$ :Diameter hidrolis pada *concentric annulus*(m)
- $V$ : Kecepatan aliran fluida ( m/s )

**Radial Fin Mixer**

*Radial Fin mixer* merupakan suatu pengarah atau pengacak aliran yang dipasang pada saluran dengan tujuan mengganggu jalannya aliran fluida, sehingga dengan adanya *Radial Fin Mixer* maka akan meningkatkan intensitas turbulensi pada saluran yang mengakibatkan timbulnya pusaran atau olakan (*vortex*) di dalam saluran tersebut. Pada pusaran atau olakan (*vortex*) inilah terjadi percampuran antara

partikel-partikel fluida yang bergerak acak sehingga akan meningkatkan laju perpindahan kalor, serta dengan meningkatkan kecepatan aliran pada saluran dapat memperbesar bilangan Reynold dan bilangan Nusselt yang kemudian meningkatkan koefisien perpindahan kalor konveksi akibatnya laju perpindahan kalor akan meningkat.



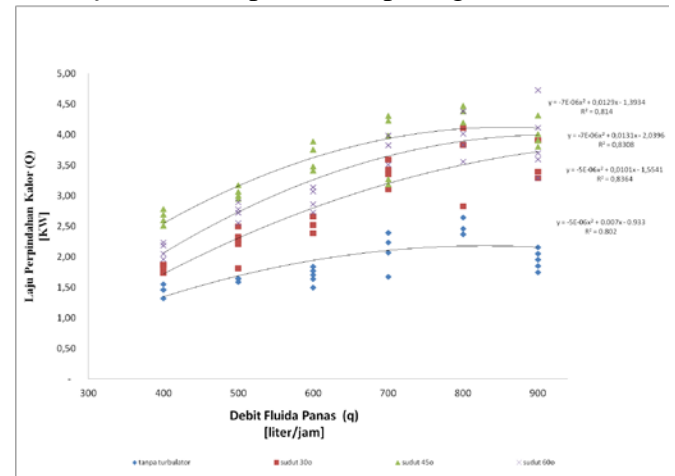
Gambar 3: *radial fin mixer*

**METODOLOGI PENELITIAN**

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah Debit fluida air panas pada bagian pipa dalam divariasikan dari 400 l/jam, hingga 900 l/jam dengan interval kenaikan 100 l/jam dan besarnya sudut radial fin mixer yang divariasikan pada sudu yaitu 30°, 45°, 60°. Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah: laju perpindahan kalor dan penurunan tekanan.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hubungan Debit Fluida Panas terhadap Laju Perpindahan Kalor pada Variasi besar sudut *radial fin mixer* dapat dilihat pada grafik 1 berikut.



Grafik 1 Hubungan Debit Fluida Panas terhadap laju perpindahan kalor pada Variasi besar sudut *radial fin mixer*

Pada sudut *radial fin mixer* konstan dengan bertambahnya debit fluida panas menghasilkan peningkatan laju perpindahan kalor hingga titik maksimum. Pada sudut  $45^\circ$  terlihat laju perpindahan kalor pada debit 400 liter/jam sebesar 2,26 KW dan terus meningkat hingga dihasilkan laju perpindahan kalor maksimum pada debit fluida panas 800 liter/jam. Hal ini disebabkan oleh peningkatan debit fluida panas yang menyebabkan bertambah besarnya kecepatan sehingga meningkatkan bilangan Reynold dan menghasilkan tingginya angka Nusselt sehingga laju perpindahan keseluruhan akan meningkat pula hingga laju perpindahan kalor maksimum yakni sebesar 4,47 KW. Laju perpindahan kalor terkecil terjadi pada alat penukar kalor tanpa menggunakan *radial fin mixer* dengan laju perpindahan kalor maksimum sebesar 2,83 KW. Pada sudut *radial fin mixer*  $45^\circ$  Menghasilkan nilai laju perpindahan kalor yang paling tinggi sebesar 4,47 KW. Ini mengindikasikan variasi besar sudut menghasilkan perbedaan nilai laju perpindahan kalor yang signifikan.

Sedangkan pada debit fluida panas yang konstan yakni pada debit dengan laju perpindahan kalor maksimum pada debit fluida panas 800 liter/jam didapatkan laju perpindahan kalor terendah yang dihasilkan tanpa pemasangan *radial fin mixer* yakni sebesar 2,83 Kw. Kemudian pada pemasangan *radial fin mixer* sudut  $30^\circ$  menghasilkan laju perpindahan kalor 3,83 KW, pada sudut  $60^\circ$  dengan laju perpindahan kalor sebesar 4,38 KW. Laju perpindahan terbesar yang dihasilkan oleh variasi sudut *radial fin mixer* adalah sudut  $45^\circ$  dengan nilai laju perpindahan kalor maksimum 4,47 KW pada debit fluida panas 800 liter/jam. Peningkatan laju perpindahan kalor ini menunjukkan bahwa penggunaan *radial fin mixer* berpengaruh terhadap laju perpindahan kalor jika dibandingkan tanpa *radial fin mixer* dan besar sudut *radial fin mixer* yang berbeda. Pada grafik 1 dapat dilihat bahwa pada debit aliran fluida panas yang sama terdapat kecenderungan peningkatan laju perpindahan kalor pada tiap-tiap variasi besar sudut *radial fin mixer*, hal ini disebabkan pemasangan *radial fin mixer* yang sudutnya bervariasi akan menyebabkan perubahan garis aliran pada aliran fluida panas. Arah aliran fluida dari sisi masuk melewati *radial fin mixer* dengan sudut  $45^\circ$  dari sisi masuk, akan

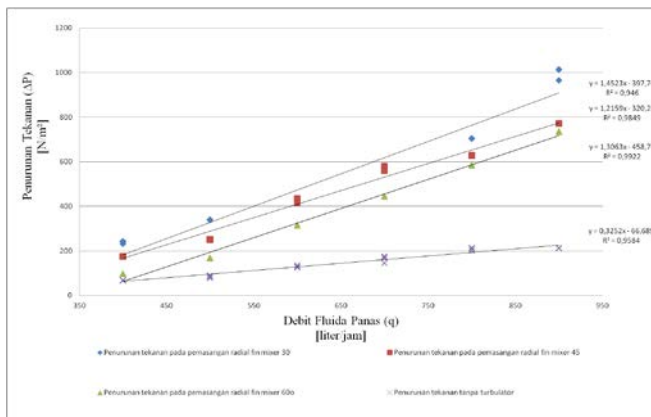
terjadi laju perpindahan kalor yang paling tinggi dikarenakan sesuai persamaan  $Re = \frac{V \times Dp}{\nu}$  terlihat semakin besar kecepatan aliran fluida maka Reynold akan semakin meningkat dan peningkatan Reynold sebanding dengan laju perpindahan kalor sehingga laju perpindahan kalorpun akan menjadi lebih tinggi. Akibat adanya perbedaan luas penampang, maka menyebabkan kecepatan aliran berubah, sesuai dengan rumus kontinuitas yakni:

$$m_1 = m_2 ; Q_1 = Q_2,$$

Dalam hal ini kecepatan fluida yang keluar relatif terhadap besar sudut sudu dengan kecepatan aliran fluida yang melewati penampang yang lebih kecil menghasilkan arah dan kecepatan yang baru (kecepatan resultan). Kecepatan resultan ini bergantung dari kecepatan relatif sudu yang dipengaruhi oleh besar sudut *radial fin mixer*. Selain itu arah aliran dari sisi masuk sudah memiliki pusaran atau olakan sehingga ketika fluida melewati *radial fin mixer* olakan tersebut akan semakin membesar, pusaran atau olakan (*vortex*) inilah partikel-partikel fluida yang bergerak acak saling bercampur dan berinteraksi selanjutnya akan terjadi pertukaran energi kalor antar partikel yang bergerak secara acak sehingga meningkatkan perpindahan kalor konveksi serta laju perpindahan kalor akan meningkat. Berbeda dengan sudut  $30^\circ$  yang memiliki resultan kecepatan terbesar, akan tetapi arah alirannya memiliki sudut yang terlalu kecil terhadap garis horizontal sehingga menyebabkan efek aliran acak yang ditimbulkan tidak bertahan lama. Sedangkan pada sudut  $45^\circ$  resultan kecepatan yang ditimbulkan memiliki angka yang kecil ditambah besar sudut yang cenderung landai menyebabkan aliran yang terbentuk cenderung kurang acak atau *turbulen*. Dapat pemakaian sudut *radial fin mixer*  $45^\circ$  menyebabkan peningkatan intensitas turbulensi pada aliran yang akan meningkatkan transfer energi kalor tersebut. Adanya gerakan fluida yang acak ini akan meningkatkan perpindahan kalor secara konveksi di pipa dalam (*tube*) sehingga fluida panas akan semakin cepat menggantikan fluida panas yang telah dingin di sekitar permukaan dinding pipa dalam (*tube*) dengan fluida panas yang lain sehingga dihasilkan beda temperatur fluida yang lebih besar pada lapisan-lapisan fluida yang saling berinteraksi melakukan perpindahan kalor

tersebut, sesuai dengan persamaan  $q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$  laju perpindahan kalor akan sebanding dengan beda temperatur antar fluida masuk dan fluida keluar yang saling berinteraksi melakukan perpindahan kalor, hal tersebut menyebabkan laju perpindahan kalor semakin tinggi. Maka terlihat bahwa pada peletakan *radial fin mixer* 45° pada debit 800 liter/jam memiliki nilai yang paling tinggi, yakni dengan laju perpindahan kalor sebesar 4,47 KW yang kemudian menurun pada debit 900 liter/jam dikarenakan kecepatan aliran yang tinggi juga meningkatkan *minor losses* pada *radial fin mixer* sehingga nilai laju perpindahan kalor keseluruhan akan menurun. Pemasangan *radial fin mixer* pada alat penukar kalor meningkatkan nilai laju perpindahan kalor maksimum sebesar 68% dari laju perpindahan kalor tanpa pemasangan *radial fin mixer*.

Hubungan Debit Fluida Panas terhadap Penurunan Tekanan pada Variasi besar sudut *radial fin mixer* ditunjukkan dalam grafik 2 di bawah ini.



Grafik 2. Hubungan Debit Fluida Panas terhadap Penurunan Tekanan pada Variasi besar sudut *radial fin mixer*

Dari Grafik 2 terlihat bahwa penurunan tekanan memiliki kecenderungan untuk terus meningkat hingga debit 900 liter/jam. Penurunan tekanan yang cenderung meningkat terus akibat dari penambahan debit fluida panas dikarenakan oleh meningkatnya head losses, yang mana terdiri dari *major losses* dan *minor losses*. Berdasarkan persamaan  $h_{ma} = f \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2g}$  dan  $h_{ma} = K \frac{V^2}{2g}$  *major losses* dan *minor losses* berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan fluida. Berdasarkan persamaan  $\Delta P = \rho \cdot g \cdot h_{total}$  penurunan tekanan berbanding lurus dengan head losses dan kecepatan berbanding lurus dengan debit,

sehingga penurunan tekanan juga berbanding lurus dengan debit.

Penurunan tekanan terkecil terjadi pada alat penukar kamlor tanpa turbulator. Hal ini terjadi karena penurunan tekanan hanya disebabkan oleh *major losses* saja. Sehingga penurunan tekanan pada alat penukar kalor tanpa *radial fin mixer* akan selalu lebih kecil dibanding dengan menggunakan *radial fin mixer* yang disebabkan oleh *major losses* dan *minor losses*, hal ini terlihat secara signifikan dari persamaan kurva polinomial yang terbentuk.

Pemasangan *radial fin mixer* pada debit fluida panas yang konstan menunjukkan adanya perbedaan nilai penurunan tekanan. Pada debit fluida panas 900 liter/jam, alat penukar kalor dengan besar sudut *radial fin mixer* 60° memiliki nilai penurunan tekanan yang paling kecil yakni sebesar 735 N/m<sup>2</sup> kemudian pada sudut 45° penurunan tekanan meningkat hingga 771,64 N/m<sup>2</sup>. Dan penurunan tekanan terbesar ditunjukkan oleh pemasangan *radial fin mixer* dengan sudut 30° yakni sebesar 1012,77 N/m<sup>2</sup>. Sehingga sudut 60° memiliki nilai penurunan tekanan yang paling kecil dibandingkan dengan pemasangan *radial fin mixer* 45° dan 30°. Hal ini disebabkan karena luar penampang yang terbentuk dari besar bukaan sudut mempengaruhi besar penurunan tekanan fluida. Semakin kecil luas permukaan maka penurunan tekanan akan semakin meningkat. Hal ini sesuai dengan hukum Bernoulli dimana luas penampang yang kecil akan meningkatkan tekanan, dalam hal ini mengakibatkan selisih penurunan tekanan sepanjang saluran akan meningkat. Sehingga akan merugikan kerja motor dikarenakan kebutuhan beban yang lebih besar. Pada penelitian yang dilakukan besar penurunan tekanan antara sudut *radial fin mixer* sudut 45° dengan 60° tidak terlalu besar, yakni selisih 36,64 N/m<sup>2</sup>

**KESIMPULAN DAN SARAN**

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Variasi sudut *radial fin mixer* berpengaruh pada penurunan tekanan pada *inner tube* dan mampu meningkatkan nilai laju perpindahan kalor.
2. Pemasangan sudut *radial fin mixer* 45° menghasilkan laju perpindahan kalor maksimal yakni sebesar 4,47 KW pada debit 800 liter/jam atau mengalami peningkatan 68% disbanding tanpa pemasangan *radial fin mixer* .

3. Pemasangan sudut radial fin mixer pada  $60^\circ$  menghasilkan penurunan tekanan yang paling kecil  $735 \text{ N/m}^2$ .

#### DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Yunus A; 1994: *Heat Transfer a Practical Approach*; McGraw-Hill Companies Inc, New York.
- Cengel, Yunus A. dan Turner, Robert H; 2001: *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences*; Edisi pertama; McGraw-Hill Companies Inc, New York.
- Cengel, Yunus A; 2003: *Heat Transfer a Practical Approach*; 2<sup>nd</sup> edition; McGraw-Hill Companies Inc, New York.
- Eiamsa-ard, Smith. Pethkool, Somsak. Thianpong, Chinaruk. dan Promvonge, P.; 2007: *Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics in a Double-pipe Heat Exchanger Fitted with a Turbulator.*; Bangkok, Thailand.
- Fox, Robert W., Alan T. Mc Donald; 1976 : *Introduction to Fluid Mechanics, Fourth Edition*; John Wiley and Sons, Inc, New York.
- Holman, J.P; 1991: *Perpindahan Kalor*; Edisi kelima; Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Kreith, Frank; 1997: *Prinsip-prinsip Perpindahan Kalor*; Edisi Ketiga; Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Leinhard, John H; 2005: *A Heat Transfer Textbook*; 3<sup>rd</sup> edition; Phlogiston Press, Massachusetts