

PENGARUH SIRIP CINCIN *INNER TUBE* TERHADAP KINERJA PERPINDAHAN PANAS PADA *HEAT EXCHANGER*

Sujawi Sholeh Sadiawan¹⁾, Nova Risdiyanto Ismail²⁾, Agus suyatno³⁾

ABSTRAK

Bagian terpenting dari *Heat exchanger* adalah *inner tube*. Salah satu contoh *inner tube* berbentuk ring dan normal, model demikian menyebabkan aliran air pendingin membentuk lintasan lurus atau laminar, sehingga pembuangan panas air didalam *Heat exchanger* kurang optimal. Untuk meningkatkan pembuangan panas *Heat exchanger* tersebut diperlukan aliran yang mampu menyerap panas dan membuangnya dengan optimal, yaitu dengan cara mengubah/memodifikasi *inner tube* berbentuk ring. Dengan demikian perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh sirip cincin *inner tube* terhadap kinerja perpindahan panas pada *heat exchanger*.

Penelitian ini membandingkan antara *inner tube* normal dengan *inner tube* ring pada kinerja perpindahan panas. Variabel bebasnya adalah : Membandingkan *inner tube* normal dengan *inner tube* ring. Variabel terikatnya adalah: Temperatur panas masuk ($T_{h,in}$), Temperatur panas keluar ($T_{h,out}$), Temperatur dingin masuk ($T_{c,in}$), Temperatur dingin keluar ($T_{c,out}$), debit aliran air panas (Qh) dan debit aliran air dingin (Qc).

Laju pembuangan panas pada *inner tube ring* lebih tinggi dibandingkan dengan *inner tube* standart. Koefisien perpindahan panas pada *inner tube ring* lebih tinggi dibandingkan dengan *inner tube* standart. Kinerja mesin pada penggunaan *inner tube ring* lebih optimal.

Kata kunci : *inner tube* normal, *inner tube* ring, *heat exchanger*.

Pendahuluan

Latar Belakang

Heat Exchanger memegang peranan penting dalam dunia industri, yaitu berfungsi untuk memindahkan kalor. Ada juga dipakai pada pasteurisasi. Turbin uap pada dunia industri menyalurkan energi panas ke dalam bentuk energi lain. Tetapi energi panas dari turbin tidak sepenuhnya dapat dikonversikan ke dalam bentuk tenaga. Jika tidak dilakukan pendinginan maka temperatur setiap bagian turbin akan mengalami peningkatan suhu. Keadaan tersebut akan mengakibatkan kerusakan.

Bagian terpenting dari Heat Exchanger adalah *inner tube* dan material yang dipakai dari kedua penampang pipa tersebut. Untuk meningkatkan efisiensi perpindahan kalor tersebut diperlukan material pipa yang tahan terhadap karat dan mampu meningkatkan perpindahan panas, maka perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh sirip cincin *inner tube* untuk meningkatkan perpindahan kalor menggunakan bahan dari *stainless steel* pada heat exchanger.

Rumusan masalah

Dari latar belakang diatas, rumusan masalahnya adalah bagaimana pengaruh sirip cincin *inner tube* terhadap kinerja perpindahan panas pada *heat exchanger*?

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh sirip cincin *inner tube* terhadap kinerja perpindahan panas pada *heat exchanger*.

Manfaat Penelitian

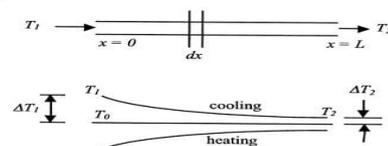
Manfaat dari hasil penelitian yang di harapkan dalam penelitian ini adalah

1. Dapat menentukan pengaruh sirip cincin dengan efisiensi perpindahan panas terbaik.
2. Dapat digunakan sebagai acuan bagi penelitian selanjutnya, tentunya yang berkaitan dengan efisiensi perpindahan panas pada *heat exchanger* dengan material *stainlees steel*.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pada peralatan *heat exchanger* dan dapat digunakan sebagai acuan pada industri makanan.

TINJAUAN PUSTAKA

Perpindahan Panas pada Heat Exchanger Tipe Double Pipe

Salah satu jenis alat penukar kalor ialah susunan pipa ganda. Dalam penukar kalor jenis ini dapat digunakan dengan aliran searah atau aliran lawan arah, baik dengan zat cair panas maupun zat cair dingin terdapat dalam ruang annulus dan zat cair yang lain di dalam pipa dalam.



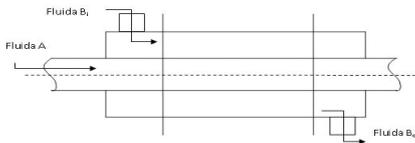
Gambar 1. Benda temperatur pada perpindahan kalor (Sumber : Laporan praktikum perpindahan panas *double pipe heat exchanger*; polban: 2010)

Dari gambar di atas menunjukkan bahwa beda suhu antara fluida panas dan fluida dingin pada waktu masuk dan pada waktu keluar tidaklah sama. Perpindahan kalor melalui dinding bidang datar dinyatakan sebagai:

$$q = \frac{TA - TB}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{\Delta x}{kA} + \frac{1}{h_2 A}}$$

1) Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Widyagama Malang
2), 3) Staf Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Widyagama Malang

Dimana TA dan TB masing-masing ialah suhu fluida pada kedua sisi dinding itu. Dari sudut pandangan penukar kalor, dinding bidang datar jarang ada penerapannya, kasus yang lebih penting untuk mendapat perhatian adalah penukar kalor pipa ganda.



Gambar 2 Layout Double Pipe Heat Exchanger (Sumber : Laporan praktikum perpindahan panas double pipe heat exchanger; polban: 2010)

Dalam penerapan ini salah satu fluida mengalir di dalam tabung yang lebih kecil, sedang fluida yang satu lagi mengalir di dalam ruang annulus di antara kedua tabung. Perpindahan kalor menyeluruh didapatkan dari jaringan termal.

$$q = \frac{TA - TB}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o}}$$

Di mana subskrip i dan o menunjukkan diameter dalam dan diameter luar tabung dalam yang lebih kecil.

Koefisiensi Perpindahan Panas Total

Koefisien perpindahan kalor menyeluruh bisa didasarkan atas luas dalam atau luas luar tabung, menurut kebutuhan perancang.

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

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

Walaupun rancangan akhir penukar kalor dibuat atas dasar perhitungan yang teliti mengenai U, ada juga baiknya mendaftarkan nilai-nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh untuk berbagai situasi yang mungkin ditemui dalam praktek. Nilai U dalam banyak hal ditentukan hanya oleh salah satu koefisien perpindahan kalor konveksi. Dalam kebanyakan soal-soal praktis tahanan konduksi sangat kecil bila dibandingkan dengan tahanan konveksi. Jika salah satu nilai h jauh lebih kecil dari yang lain, ia cenderung mempunyai pengaruh terbesar dalam persamaan U.

Konveksi bebas merupakan faktor yang sangat menentukan perpindahan kalor menyeluruh karena Ro jauh lebih besar dari Ri atau Rs. Koefisien perpindahan kalor menyeluruh yang didasarkan atas permukaan luar dinyatakan dengan tahanan-tahanan tersebut sebagai berikut;

$$U_o = \frac{1}{\frac{R_i A_o}{A_i} + A_o R_s + R_o}$$

LMTD (Log Mean Temperature Difference)

Penukar panas (*heat exchanger*) terdiri dari beberapa jenis, yaitu penukar panas jenis *double pipe*, penukar panas jenis *shell and tube*. Aliran fluida pada penukar kalor yaitu aliran searah (*co-current*) dan aliran lawan arah (*counter current*).

Panas yang berasal dari fluida panas dialirkan secara konveksi ke dinding pipa, kemudian panas dikonduksikan melalui dinding pipa dan dikonveksikan kembali dari dinding pipa ke fluida dingin pada sisi luar pipa. Perpindahan panas ini terjadi dikarenakan adanya perbedaan temperatur antara aliran fluida panas dan fluida dingin. Maka untuk menentukan laju perpindahan panas yang terjadi perlu ditentukan harga koefisien perpindahan panas menyeluruh (U).

$$q = U \times A \times \Delta T_{lm}$$

Karena $\Delta T_{lm} = LMTD$, maka persamaan tersebut menjadi :

$$q = U \times A \times LMTD$$

Dengan A adalah luas permukaan pipa (berdasarkan atas diameter sisi luar atau sisi dalam pipa, namun pada prakteknya diameter sisi luar pipa yang selalu digunakan).

$$A = A_o = \pi \cdot D_o \cdot L$$

Dengan :

A_o = luas permukaan pipa sisi luar;

D_o = diameter out pipa (diameter luar pipa);

L = panjang pipa

LMTD (*Log Mean Temperature Difference*) adalah perbedaan temperature rata-rata antara aliran fluida (panas dan dingin). Dalam hubungannya dengan koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U), LMTD disebut sebagai perbedaan teperatur rata-rata logaritma. Persamaan di bawah ini digunakan untuk menentukan nilai LMTD.

a. Aliran Searah (*co current*)

$$LMTD = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

$$\Delta T_1 = T_{h,1} - T_{c,1}$$

$$\Delta T_2 = T_{h,2} - T_{c,2}$$

Dengan :

$T_{h,1}$ = temperatur aliran fluida panas masuk

$T_{c,1}$ = temperatur aliran fluida dingin masuk

$T_{h,2}$ = temperatur aliran fluida panas keluar

$T_{c,2}$ = temperatur aliran fluida dingin keluar

b. Alirana Berlawanan Arah (*counter current*)

$$LMTD = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

$$\Delta T_1 = T_{h,1} - T_{c,2}$$

$$\Delta T_2 = T_{h,2} - T_{c,1}$$

Dengan :

$T_{h,1}$ = temperatur aliran fluida panas masuk

$T_{c,1}$ = temperatur aliran fluida dingin masuk

$T_{h,2}$ = temperatur aliran fluida panas keluar

$T_{c,2}$ = temperatur aliran fluida dingin keluar

Penelitian Terdahulu

Penelitian meningkatkan efisiensi kinerja perpindahan panas pada *heat exchanger* telah banyak dilakukan. Beberapa diantaranya digunakan sebagai dasar untuk mendukung pelaksanaan penelitian ini.

Incropera dan Dewitt (1981), efektivitas suatu *heat exchanger* didefinisikan sebagai perbandingan antara perpindahan panas yang diharapkan (nyata) dengan perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi dalam *heat exchanger* tersebut.

Widhiyanuriyawan, Purnami, dan Ardiansyah (2011). Meneliti pengaruh variasi sudut *static mixer* terhadap kinerja *Heat Exchanger*. Penelitian menghasilkan; Dari penelitian yang telah dilakukan laju Perpindahan panas pada semua variasi sudut *Static mixer* mengalami peningkatan dibandingkan dengan *plain tube* (tanpa pemasangan *static mixer*). Semakin besar sudut *static mixer* maka laju perpindahan panas semakin meningkat. Laju perpindahan panas untuk variasi sudut *static mixer* 120⁰ mengalami peningkatan yang paling besar dibandingkan dengan sudut *static mixer* 40⁰, 80⁰, dan *plain tube*.

Prasetya (2011), Analisis koefisiensi perpindahan kalor eksperimen untuk aliran evaporasi dua fasa pada kanal mini horizontal dengan menggunakan refrigerant R-22. Hasil penelitian menunjukkan kenaikan koefisiensi perpindahan kalor dua fasa refrigerant R-22 pada *heat flux* yang tinggi pada daerah kualitas uap yang sama nilainya akan lebih besar dibandingkan dengan koefisiensi perpindahan kalor pada *heat flux* yang lebih rendah.

Ardianto (2012), melakukan penelitian mengenai Koefisiensi Perpindahan Panas Pada Pipa Bulat. Dari hasil penelitiannya menyimpulkan: Nilai koefisien perpindahan panas pipa segi empat lebih besar dibandingkan dengan pipa bulat. Dan aliran berlawanan pada alat penukar kalor memiliki nilai koefisiensi perpindahan panas lebih tinggi pada pipa segi empat dan lebih rendah pada pipa bulat dibandingkan dengan aliran searah.

Halli (2012), mempelajari Koefisiensi perpindahan panas menggunakan profil kotak pada alat penukar kalor. Dari percobaan ini menunjukkan bahwa bentuk profil berpengaruh terhadap nilai perpindahan panas meskipun memiliki diameter hidrolis yang sama. Profil kotak memiliki nilai koefisiensi perpindahan panas yang lebih tinggi. Dan variasi jenis aliran tidak berpengaruh secara signifikan terhadap koefisiensi perpindahan panas.

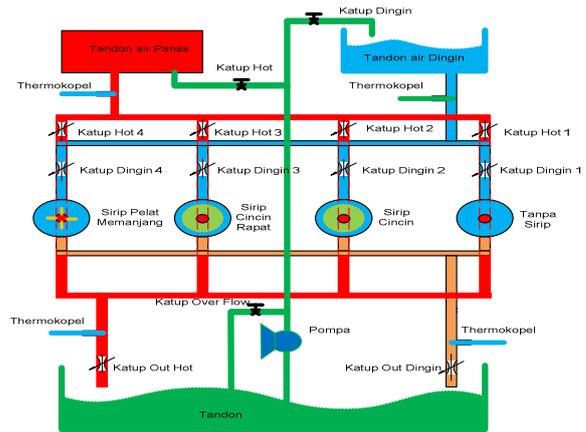
METODOLOGI PENELITIAN

Variabel Penelitian

Variabel Bebas : Model sirip cincin dan pelat memanjang pada *inner tube* dengan variasi kecepatan aliran.

Variabel Terikat: Temperatur panas masuk ($T_{in,h}$), Temperatur panas keluar ($T_{out,h}$), Temperatur dingin masuk ($T_{in,c}$), Temperatur dingin keluar ($T_{out,c}$), Debit aliran air panas (Q_h), Debit aliran air dingin (Q_c) dan LMTD.

Model Peralatan



Gambar 3 Skema Alat

Dengan deskripsi alat sebagai berikut: pompa dihidupkan untuk memompa air dari tandon bawah ke tandon atas melalui pipa penyalur, pipa penyalur dilengkapi dengan tiga buah katup yang berfungsi sebagai pengontrol aliran air yang masuk ke tandon panas dan dingin, sehingga debit air pada tandon selalu stabil. Kemudian air yang terisi di tandon air dingin disalurkan sebagai media pendingin dan tandon air panas akan dipanaskan terlebih dahulu dipanaskan dan selanjutnya dialirkan ke *inner tube* pada *heat exchanger*. Pertukaran panas dan dingin akan terjadi didalam *heat exchanger*. Kemudian air akan menuju tandon air bawah melalui saluran pipa keluar.

Prosedur pengujian

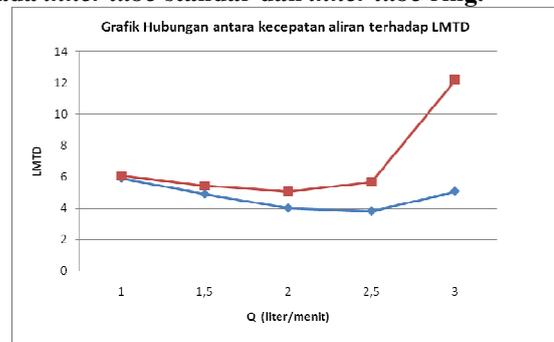
Pengujian dilakukan pada bulan januari 2013 Di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Jurusan Teknik Mesin Universitas Widya Gama Malang. Pengujian dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali. Adapun prosedur pengujian sebagai berikut:

1. Pengujian *inner tube* dengan normal.
2. Pengujian *inner tube* dengan sirip

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Analisa Data

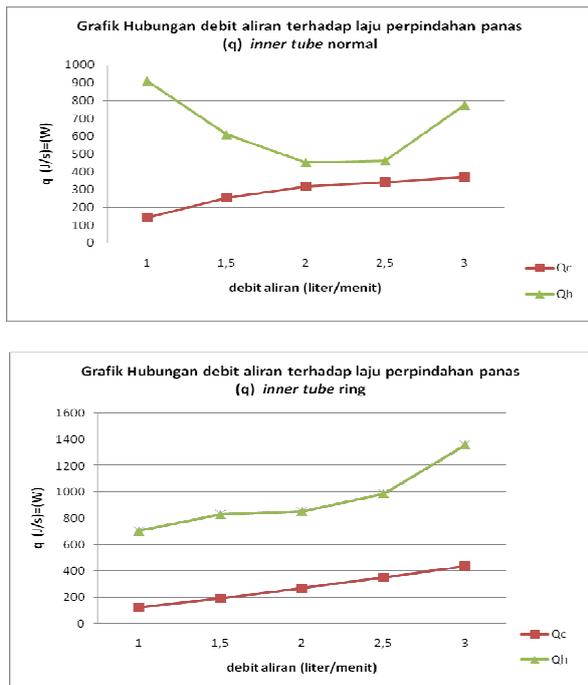
Hubungan antara kecepatan aliran terhadap LMTD pada *inner tube* standar dan *inner tube* ring.



Gambar 4 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Aliran Terhadap LMTD

Dari grafik gambar disamping menunjukkan bahwa nilai LMTD mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan debit aliran. Yaitu mengalami nilai LMTD tertinggi pada debit aliran 2,5 liter per menit dengan nilai LMTD 23,70 pada *inner tube standart* dan 30,38 pada *inner tube bersirip*. Nilai LMTD *inner tube bersirip* rata-rata selalu diatas dari nilai LMTD pada *inner tube standart*.

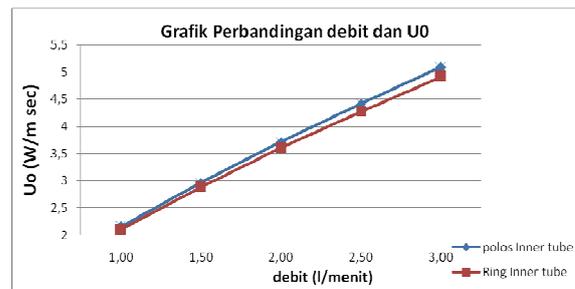
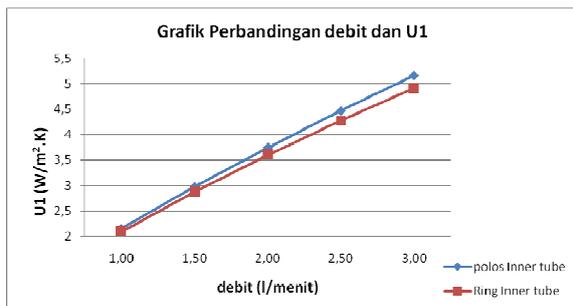
Hubungan antara debit terhadap laju perpindahan panas (q) pada *inner tube standar* dan *inner tube ring*



Gambar 6 Grafik Hubungan Debit Aliran Terhadap Laju Perpindahan Panas inner tube normal dan inner tube ring

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa laju perpindahan panas mengalami peningkatan dan berbanding lurus dengan peningkatan debit aliran. Laju panas inner tube normal terbesar terletak pada debit air panas 1 liter/menit yaitu 911,88 J/s. Sedangkan pada inner tube ring memiliki laju perpindahan panas terbesar adalah 1361,54 J/s.

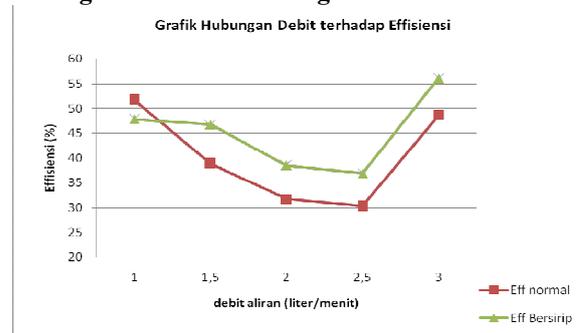
Hubungan antara debit dengan koefisiensi perpindahan panas



Gambar 6 Grafik Perbandingan Debit Terhadap U1 dan U0

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa koefisiensi perpindahan panas untuk *inner tube standart* selalu lebih tinggi bila dibanding *inner tube ring* baik itu U₀ maupun U₁, dan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya debit.

Hubungan antara debit dengan Efisiensi



Gambar 7 Grafik Hubungan Debit Terhadap Efisiensi

Pada grafik hubungan efisiensi terhadap debit maka nilai efisiensi tertinggi pada *inner tube bersirip*. Tetapi untuk debit 1 liter per menit nilai efisiensi pada *inner tube normal* 51,75 dan pada *inner tube bersirip* 47,85, jadi masih tinggi pada *inner tube normal*.

Pembahasan.

Hubungan antara kecepatan aliran terhadap LMTD

Dari gambar grafik 4 diatas dapat diketahui bahwa nilai LMTD akan meningkat seiring dengan meningkatkan debit aliran. Melihat hasil pengamatan dari grafik menunjukkan untuk debit 1,5 liter per menit nilai LMTD hampir sama, tetapi untuk debit yang lain nilai LMTD selalu lebih besar pada *inner tube bersirip*. Nilai LMTD sendiri sangat dipengaruhi oleh T in hot dengan T out hot dan T in could dengan T out could.

Hubungan antara kecepatan aliran terhadap Laju perpindahan panas (q)

Dari grafik 5 di atas dapat di analisa bahwa semakin tinggi laju aliran/ debit aliran maka akan meningkat pula q (laju panas) aliran air dingin dan q (laju panas) aliran air dingin.

Grafik Hubungan kecepatan aliran terhadap laju panas (q) pada *inner tube normal* dan grafik hubungan kecepatan aliran terhadap laju panas (q) pada *inner tube ring* mempunyai pola sama yakni semakin meningkatnya laju/ debit aliran maka meningkat pula q (laju panas). Namun q (laju panas) tertinggi terdapat

pada (grafik hubungan kecepatan aliran terhadap laju panas (q) pada *inner tube ring*).

Dari pembahasan diatas dapat diketahui bahwa penggunaan *inner tube ring* mempunyai laju panas yang besar sehingga temperature mengalami penurunan/proses pendinginan yang lebih baik.

Hubungan antara debit dengan koefisiensi perpindahan panas.

Dari data dan tabel diatas dapat dilihat bahwa *Heat Exchanger* dengan pipa *inner tube* normal memiliki koefisien $2,155 \text{ W/m}^2\text{K}$, pada debit 1 l/menit. Hal ini berbanding lurus dengan debit selanjutnya.

Maka dari itu dengan melihat grafik Hubungan debit dengan U_0 , dan hubungan debit dengan U_1 , dapat disimpulkan bahwa pipa *inner tube* normal masih mempunyai koefisien perpindahan panas paling tinggi.

Hubungan antara debit dengan Effisiensi

Kesimpulan yang bisa diambil dari pengolahan data dan grafik yang telah dibuat adalah bahwa efisiensi perpindahan panas yang terjadi *inner tube ring* mempunyai nilai yang lebih tinggi dibanding *inner tube* normal. Hal ini dipengaruhi oleh luas permukaan kedua *inner tube*, debit aliran dan *temperatur* fluida.

Kesimpulan

1. Laju perpindahan panas pada *inner tube ring* lebih tinggi dibandingkan dengan *inner tube standart*, hal ini dipengaruhi oleh perbedaan suhu masuk dan suhu keluar.
2. Koefisien perpindahan panas pada *inner tube ring* lebih rendah dibandingkan *inner tube standart*, dipengaruhi oleh luas penampang dari *heat exchanger*.
3. *Inner tube ring* mempunyai laju pembuangan panas yang besar, sehingga mengalami penurunan/proses pendinginan yang lebih baik, dan dapat dikatakan bekerja secara optimal.
4. Effisiensi perpindahan panas pada *inner tube ring* lebih tinggi dibandingkan dengan *inner tube standart*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardianto, Rino (2012), *Koefisiensi Perpindahan Panas Pada Pipa Bulat*, Jakarta: Universitas Indonesia
- Cengel, Y. A. (1997). *Introduction to Thermodynamics and Heat Transfer*. New York: McGraw Hill.
- Halli, Ahlul (2012), *Koefisiensi perpindahan panas menggunakan profil kotak pada alat penukar kalor*, Jakarta: Universitas Indonesia.
- Holman J. P., (1995). *Perpindahan Kalor*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Kern, D. Q. (1965), *Process Heat Transfer*, International Student Edition
- Rochmah, N dkk. (2010), *Praktikum Perpindahan Panas Double Pipe Heat Exchanger*, Bandung: Politeknik Negeri Bandung.

Widhiyanuriyawan, Denny dkk (2011), *Pengaruh Variasi Sudut Static Mixer Terhadap Kinerja Heat Exchanger*, Malang: Universitas Brawijaya
"Jurnal Rekayasa Mesin Vol.2, No. 2 Tahun 2011 : 159-164

