

## Pengaruh Pilinan Plat Terhadap Koefisien Perpindahan Kalor pada Alat Penukar Kalor Double Pipe

**Imansyah Ibnu Hakim, Daniel Prasetyo, Rainade**  
Laboratorium Perpindahan Kalor Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Indonesia  
Kampus Baru UI Depok 16424  
E-mail : imansyah@eng.ui.ac.id

### ABSTRAK

*Efektivitas sebuah alat penukar kalor dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah jenis aliran yang berkembang di dalam penampang aliran fluida. Penekanan pada penelitian ini adalah hubungan antara turbulensi aliran fluida dan koefisien perpindahan kalornya. Turbulensi aliran fluida ditingkatkan dengan menggunakan insert berupa twisted strips yang diletakkan pada bagian tube dari alat penukar kalor double pipe. Pengambilan data dilakukan pada arah aliran sejajar (paralel flow) dan aliran berlawanan (counterflow) dengan 3 variasi. Variasi pertama adalah kondisi normal double pipe tanpa insert yang digunakan sebagai data referensi, dan dua kondisi yang menggunakan insert twisted strips pada tube-nya. Data yang didapat digunakan untuk mencari korelasi bilangan Nusselt dan Reynolds yang kemudian digunakan untuk memprediksi nilai koefisien perpindahan kalor konveksi pada bagian tube dan jatuh tekanan yang dihasilkan.*

*Kata Kunci: Twisted Strips, Turbulensi, double pipe heat exchanger*

### 1. Pendahuluan

Alat penukar kalor sudah lama dikenal oleh industri-industri yang berhubungan dengan fenomena perpindahan kalor. Seiring dengan perkembangan industri yang semakin banyak perkembangan alat penukar kalor juga semakin meningkat. Perkembangan alat penukar kalor sekarang menuju ke arah kebutuhan akan penghematan ruang, tetapi diikuti pula dengan kebutuhan akan peningkatan dalam kemampuan pertukaran kalornya. Bentuk-bentuk alat penukar kalor pun sudah banyak berkembang untuk memenuhi tuntutan di atas. Perkembangan-perkembangan tersebut mengarah pada efektivitas alat penukar kalor yang semakin tinggi nilainya.

Efektifitas perpindahan kalor dari sebuah alat penukar kalor dipengaruhi oleh banyak hal. Salah satunya adalah jenis aliran yang berada di dalam alat penukar kalor. Aliran yang turbulen diketahui memiliki nilai perpindahan kalor yang lebih baik dibandingkan dengan jenis aliran laminar. Dengan meningkatkan turbulensi aliran fluida dalam pipa diharapkan koefisien perpindahan kalornya akan meningkat.

Salah satu cara untuk meningkatkan turbulensi aliran fluida pipa adalah dengan menggunakan *insert*, yaitu isian material yang dapat membuat aliran di dalam pipa menjadi lebih turbulen. *Insert* diharapkan dapat membuat koefisien perpindahan kalor sebuah alat penukar kalor menjadi lebih tinggi yang nantinya akan meningkatkan nilai efektifitas dari alat penukar kalor tersebut. *Insert* yang ingin diteliti pada penelitian ini berbentuk pilinan plat yang diputar (*twisted strips*). Turbulensi aliran fluida memiliki efek positif pada koefisien perpindahan kalor dari alat penukar kalor. Di sisi lain, semakin turbulen sebuah aliran fluida maka jatuh tekanan yang terjadi antara sisi masuk dan sisi keluar dari aliran fluida tersebut semakin besar. Jatuh tekanan ini berpengaruh pada besarnya energi yang harus diberikan pompa kepada fluida untuk mengalirkan fluida tersebut. Semakin besar jatuh tekanannya maka semakin besar energi yang diberikan pompa.

Oleh sebab itu peningkatan koefisien perpindahan kalor dengan meningkatkan turbulensi aliran dalam pipa harus dikaitkan dengan nilai jatuh tekanan yang dihasilkan akibat peningkatan turbulensi aliran fluida tersebut. Efektifitas optimum dari modifikasi ini adalah perbandingan koefisien perpindahan kalor yang baik diikuti dengan jatuh tekanan yang kecil.

Perkembangan teknik-teknik yang telah dilakukan diklasifikasikan oleh Bergles, seperti yang ditampilkan pada Tabel.1

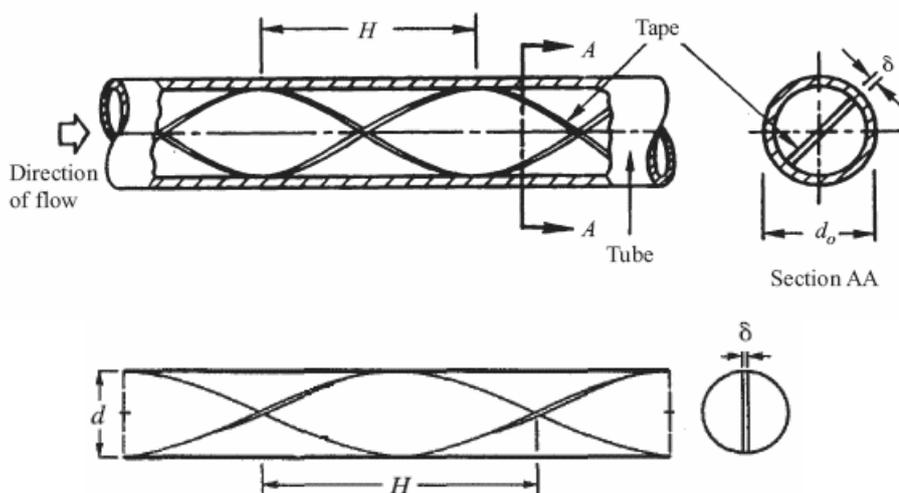
**Tabel 1.** Klasifikasi Teknik Peningkatan Performa Perpindahan Panas

Passive Techniques	Active Techniques
Treated Surfaces Rough surfaces Extended surfaces Displaced enhancement devices Swirl flow devices Coiled tubes Surface tension devices Additives for liquids Additive for gases	Mechanical aids Surface vibration Fluid vibration Electrostatic fields Injection Suction Jet impingement

## 2. Alat Penukar Kalor dengan *Twisted Tape*

Alat penukar kalor dengan *twisted tape* ini termasuk pada klasifikasi metode pasif – *Swirl Flow Devices* (Alat Pemuntir Aliran). Alat ini adalah alat yang paling efektif dan paling banyak digunakan untuk aliran fasa tunggal. Desain metode ini dan aplikasinya telah dimulai lebih dari satu abad yang lalu. Telah diketahui juga bahwa alat ini dapat meningkatkan koefisien perpindahan panas dengan signifikan dengan nilai *pressure drop* yang relatif kecil (Lopina & Bergles, 1969) [1]. Karakteristik geometrik dari alat ini seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5 termasuk  $180^\circ$  *twist pitch* ( $H$ ), ketebalan *tape* ( $\delta$ ), dan lebar *tape* ( $w$ ). Parameter dari *tape twist* digambarkan dengan bilangan tak berdimensi, *twist ratio* ( $\gamma$ ) ( $= H/d$ ). Dan tergantung dari diameter *tube* dan material dari *tape* itu sendiri, maka sisipan dengan *twist ratio* yang sangat kecil dapat digunakan.

Ketika diletakkan didalam sebuah *circular tube*, aliran dengan segera berubah dengan beberapa cara, yaitu meningkatnya kecepatan aksial dan perimeter terbasahi karena hambatan dan partisi dari penampang aliran, panjang aliran efektif yang lebih besar, dan bentuk *helical* dari *tape* itu sendiri yang menyebabkan sirkulasi sekunder dari fluida yang ada.



**Gambar 1.** Karakteristik Geometrik Alat Penukar Panas dengan *Twisted Tape*

Keterangan Gambar:

$H = 180^\circ$  twist pitch

$d =$  lebar plat

$\delta =$  tebal plat

$d_o =$  diameter dalam *tube*

### 3. Skema Alat Uji

Pada Gambar 2 diperlihatkan skema alat uji yang dipakai pada penelitian ini.

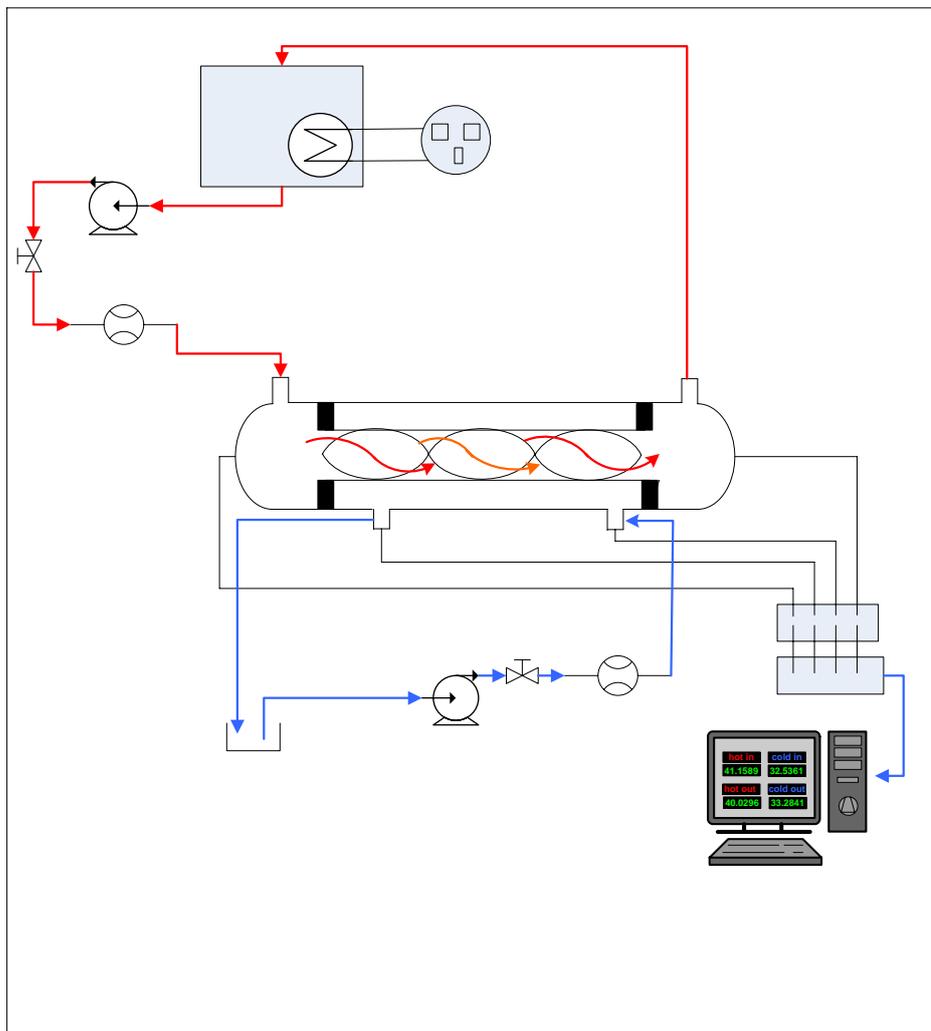
- Aliran Fluida Panas

*Reservoir 1* diisi dengan fluida yang akan dipanaskan, yaitu dengan cara mengatur *heater* melalui panel utama. Suhu diatur dengan menggunakan *thermo controller* yang terletak pada panel utama. Debit aliran fluida panas dapat diatur dengan menggunakan stop keran 1. Tampilan dari debit tersebut dapat dilihat pada *flowmeter 1*.

Saat fluida panas memasuki HE, suhu inlet diukur dengan termokopel T1. Sedangkan suhu keluarannya diukur oleh termokopel T2. Kemudian aliran akan kembali ke *reservoir 1* untuk mengalami proses pemanasan.

- Aliran Fluida Dingin

Fluida dingin berasal dari *reservoir 2*. Debit aliran ini diatur melalui stop keran 2, dan tampilannya dapat dilihat pada *flowmeter 2*.



Gambar 2. Skema Instalasi Alat Lengkap

### 4. Hasil dan Analisa

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa kondisi. Untuk kondisi alat penukar kalor double pipe digunakan variasi tanpa pilinan, dimasukkan pilinan dengan twist ratio 10, dan twist ratio 8,33. Sedangkan untuk temperatur kerja digunakan variasi 40°C, 50°C, dan 60°C. Variasi debit untuk fluida dingin digunakan kondisi yang konstan yaitu 0,26 L/s, sedangkan untuk fluida panas digunakan variasi debit 0,20 L/s; 0,24 L/s; 0,28 L/s; 0,32 L/s.

#### 4.1 Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi

Pada temperatur kerja 40°C, 50°C, dan 60°C menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu bilangan Reynolds meningkat diikuti peningkatan nilai koefisien perpindahan kalor konveksi. Peningkatan nilai Reynolds dapat diprediksikan karena adanya pilinan plat di dalam aliran fluida panas. Adanya pilinan plat membuat kondisi aliran di dalam sisi *tube* menjadi lebih turbulen sehingga proses perpindahan panas yang terjadi secara konveksi meningkat pula. Hal ini juga ditunjukkan dengan kenaikan nilai bilangan Nusselt pada aliran dengan pilinan. Pada Gambar 3 terlihat bahwa untuk *range* bilangan Reynolds yang sama, nilai koefisien perpindahan kalor konveksi alat penukar kalor meningkat bila diisikan dengan *twisted tape*. Bilangan Reynolds yang dimaksud pada Gambar 3 adalah bilangan Reynolds sesaat sebelum memasuki daerah pilinan sedangkan bilangan Reynolds pada daerah yang sudah terpilin (bilangan Reynolds lokal) memiliki nilai yang berbeda.

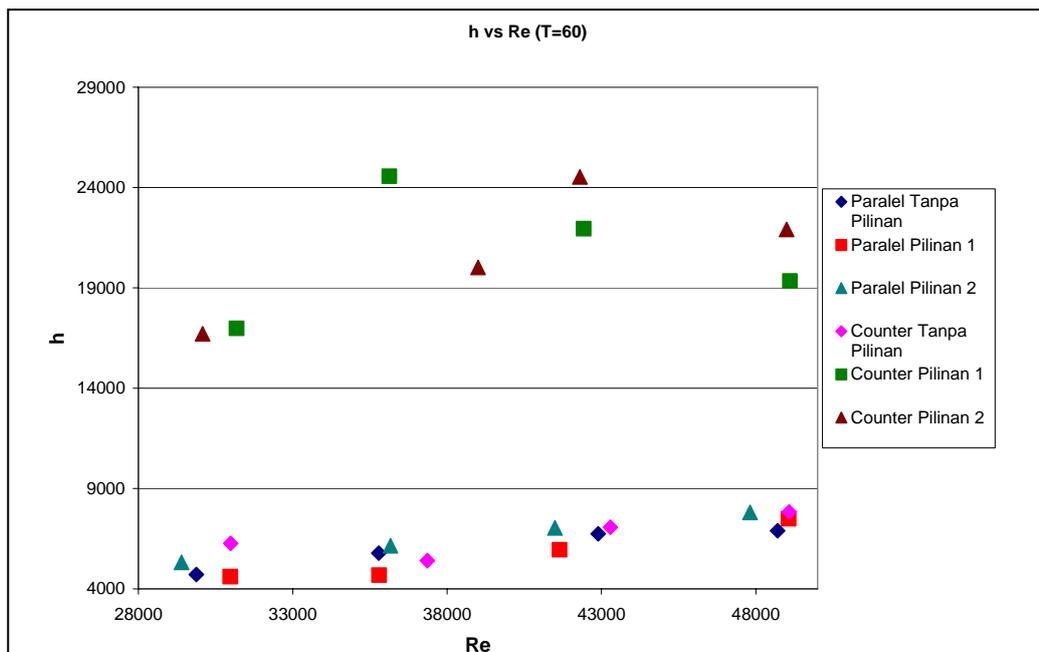
Bilangan Reynolds lokal memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan nilai bilangan Reynolds sebelum aliran terpilin. Faktor yang mempengaruhi peningkatan bilangan Reynolds adalah faktor diameter hidrolis sesuai dengan persamaan:

$$Re_{dh} = \frac{4m_h}{\pi\mu D_h}$$

Berdasarkan persamaan di atas, maka dapat dilihat bahwa bilangan Reynolds akan meningkat bilamana besarnya diameter hidrolis berkurang. Variabel diameter hidrolis dipengaruhi oleh perimeter terbasahi dan luas penampang menurut persamaan:

$$D_h = \frac{4 \cdot \text{Channel Flow Area}}{\text{Wetted Perimeter}}$$

Dengan adanya *insert* di dalam *tube double pipe* maka luasan penampang laluan fluida akan berkurang sedangkan perimeter terbasahinya akan meningkat sebanding dengan lebar dan tebal *insert* yang dimasukkan. Pengaruh variasi *twist ratio* yang digunakan adalah semakin besar *twist ratio*, maka akan semakin besar tumbukan antara fluida dan pilinan yang ada di dalam *tube*. Tumbukan-tumbukan ini akan membentuk pola aliran turbulen di dalam *tube*. Pola aliran ini akan meningkatkan koefisien perpindahan kalor konveksi pada bagian *tube*.



Gambar 3. Grafik h vs Re untuk temperatur 60°C

## 4.2 Pressure Drop

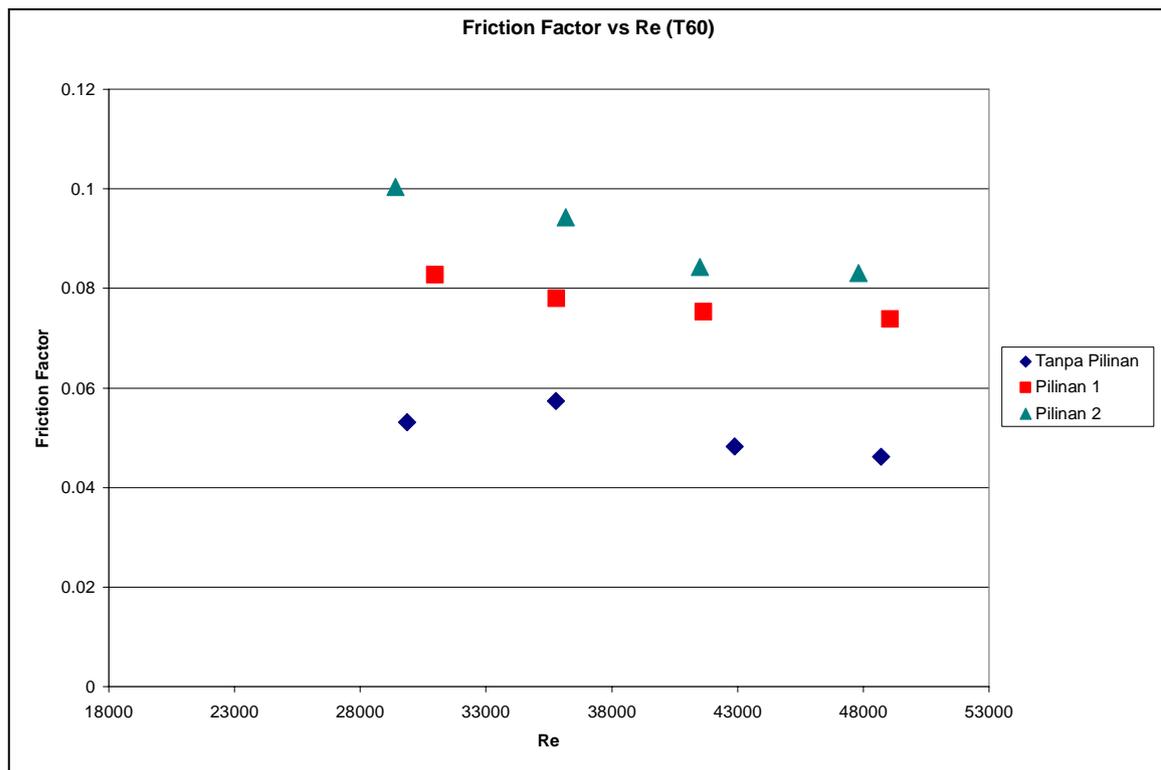
Peningkatan nilai koefisien perpindahan kalor konveksi tidak secara langsung membuat *performance* alat penukar kalor itu menjadi lebih baik secara keseluruhan. Peningkatan nilai koefisien kalor konveksi dapat diprediksikan turut serta meningkatkan nilai kalor yang dipindahkan. Namun hal itu bukanlah ukuran peningkatan kinerja total alat. Kompensasi *pressure drop* yang terjadi akibat usaha meningkatkan nilai bilangan Reynolds dengan cara memasukkan *twisted insert* ke dalam *tube* juga merupakan hal yang harus diperhitungkan.

Analisa *pressure drop* dilakukan dengan menghitung *friction factor* [2] yang dihasilkan untuk setiap variasi pilinan dan juga dibandingkan antara koefisien perpindahan kalor yang terjadi dengan *friction factor* yang terdapat pada kondisi itu. *Friction factor* dihitung menurut persamaan:

$$\Delta p = 2f \frac{l}{d_i} \frac{G^2}{\rho}$$

Dengan data masukan *pressure drop* ( $\Delta p$ ), diameter dalam *tube* ( $d_i$ ), panjang *tube* ( $l$ ), kecepatan massa ( $G$ ), dan densitas fluida ( $\rho$ ) nilai *friction factor* dapat dicari.

Dari hasil perhitungan yang dilakukan penulis didapatkan bahwa untuk bilangan Reynolds yang semakin besar maka *friction factor* yang dihasilkan semakin kecil. Bila dibandingkan dengan *twist ratio insert*nya, semakin besar *twist ratio* semakin besar pula *friction factor* yang dihasilkan. Nilai *friction factor* yang semakin besar ini disebabkan berubahnya komponen kecepatan yang diakibatkan adanya *insert* di dalam *tube*. Semakin besar *twist rasionya* maka komponen kecepatan pada arah vertikal semakin besar yang akan menambah gesekan antara fluida kerja dengan *insert* itu sendiri.



Gambar 4. Grafik *Friction Factor* vs Re pada suhu 60°C

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pengolahan data yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Penambahan *twisted strips* pada *tube double pipe* akan menaikkan nilai bilangan Reynolds local yang merepresentasikan kondisi aliran di sisi *tube* yang semakin turbulen.
2. Kondisi aliran yang semakin turbulen menyebabkan kenaikan koefisien perpindahan kalor konveksi pada bagian *tube*.
3. Makin kecil *twist ratio* makin besar koefisien perpindahan panasnya, begitu pula dengan nilai *friction factornya*.
4. *Twisted strips* dengan *twist ratio* yang semakin kecil berpengaruh pada *pressure drop* yang semakin besar nilainya.

## 6. Daftar Acuan

- [1] Bejan, Adrian; Krauss, Allan D, "*Heat Transfer Handbook*", John Wiley & Sons, 2003
- [2] Incropera, Frank P. Dan David P. DeWitt, "*Fundamentals of Heat and Mass Transfer*", Fifth Edition, Singapore : John Wiley & Sons, Inc., 1990
- [3] Fauzun dan Suhanan, "*Peningkatan Perpindahan Panas Evaporator Pipa Pendek Horizontal Yang Diisi Pilinan Plat Tipis*", Jurusan Teknik Mesin FT-UGM, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin III, Makasar, 2005
- [4] Ferky, Riki Edy., "*Konveksi Paksa Pada Nanofluida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Air*", Departemen Teknik Mesin FTUI, Juli, 2003
- [5] J. P. Holman, "*Metode Pengukuran Teknik* ", Alih bahasa Ir. E. Jasfi M.Sc, Jakarta : Erlangga, 1985
- [6] J. P. Holman, "*Perpindahan Kalor* ", Alih bahasa Ir. E. Jasfi M.Sc, Jakarta : Erlangga, 1991
- [7] Koestoer, Raldi A., "*Perpindahan Kalor untuk Mahasiswa Teknik*", Jakarta, Salemba Teknika, 2002
- [8] Koestoer, Raldi A., "*Pengukuran Teknik untuk Mahasiswa*", Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia, 2004