

## **PENGARUH PENAMBAHAN SILINDER PEJAL PADA ALAT PENUKAR KALOR PIPA GANDA**

**Indra Pertama Putra, Kennedy M, Basri.**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik,  
Universitas Tadulako Kampus Bumi Tadulako Tondo, Palu  
e-mail : indraonevision@gmail.com

### **Abstract: The effect of adding a solid cylinder to a double pipe heat exchanger.**

This study aims to determine the effectiveness of heat pipe type heat exchangers with the addition of a solid cylinder and flow rate variation (debit). The test was carried out without the addition of a solid cylinder (standard) and the addition of a solid cylinder with variations in diameter 6 mm, 8 mm, and 10 mm. Variations of discharge on the hot water side of 0.1 gal / min and 0.2 gal / min while on the cold water side maintained 6 gal / min. The effectiveness value of pipe double heat exchange tool without solid cylinder at 0.1 gal / min discharge is 62.39%, which then increased up to 79.33% on the addition of 10mm diameter solid cylinder. Meanwhile, the variation of 0.2 gal / min discharge value of effectiveness of double pipe heat exchanger without the addition of cylinder solids is 48.46% which then increased up to 76.8% in the addition of 10mm diameter solid cylinder.

Keywords: Double Pipe, heat exchanger, debit, cylinder diameter, effectiveness.

### **Abstrak: Pengaruh penambahan silinder pejal pada alat penukar kalor pipa ganda.**

Penelitian ini bertujuan mengetahui efektivitas alat penukar kalor jenis pipa ganda dengan penambahan silinder pejal dan variasi laju aliran (debit). Pengujian dilaksanakan tanpa penambahan silinder pejal (standar) dan penambahan silinder pejal dengan variasi diameter 6 mm, 8 mm, dan 10 mm. Variasi debit pada sisi air panas 0,1 gal/min dan 0,2 gal/min sedangkan pada sisi air dingin dipertahankan 6 gal/min. Nilai efektivitas alat penukar kalor pipa ganda tanpa silinder pejal pada debit 0,1 gal/min yaitu 62,39%, yang kemudian mengalami peningkatan hingga 79,33% pada penambahan silinder pejal diameter 10 mm. Sedangkan, pada variasi debit 0,2 gal/min nilai efektivitas alat penukar kalor pipa ganda tanpa penambahan silinder pejal yaitu 48,46% yang kemudian mengalami peningkatan hingga 76,8% pada penambahan silinder pejal diameter 10 mm.

**Kata Kunci :** alat penukar kalor, pipa ganda, debit, diameter silinder pejal, efektivitas.

## **PENDAHULUAN**

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi selalu mengalami kemajuan yang cukup pesat. Dalam berbagai hal dapat dijumpai banyak sekali pengembangan dari teori-teori yang telah ada sebelumnya. Sebagai contoh pada dunia keteknikan, telah banyak dilakukan penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan pengetahuan serta menemukan hasil yang lebih baik dari penelitian yang telah ada sebelumnya.

Beragam penelitian terus dilakukan untuk menemukan kinerja serta performa

terbaik dari alat penukar kalor pipa ganda. Adapun penelitian yang telah dilakukan hingga saat ini adalah dengan menggunakan pendekatan aplikasi software MATLAB dan pengujian eksperimental, (Al-Kayiem dan El-Rahman , 2011) melakukan uji perbandingan alat penukar kalor pipa ganda yang menambahkan rigid pada permukaan pipa bagian dalam dengan yang tanpa rigid (smooth pipe), penambahan rigid menghasilkan peningkatan perpindahan kalor 4 kali lipat di permukaan rigid yang ditunjukkan dengan bilangan Stanton.

(Ojha Pramod Kailash, Choudary Bishwajee, Gajera Umang ,2015)

melakukan pengamatan tentang penambahan *tube fin* setengah lingkaran pada double pipe heat exchanger (DPHE), yang di tempatkan pada sisi dingin aliran fluida. Hasilnya menunjukkan penambahan fin pada sisi anular akan meningkatkan koefisien perpindahan kalor konveksi.

Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh (William G. Oesley, Peter D., dan Peter E. , 2013) mengambil penelitian investigasi CFD perpindahan kalor dan pola aliran dalam sisi tube aliran laminar dan potensi untuk meningkatkannya, hasil penelitian menunjukkan bahwa perpindahan panas telah meningkat dengan penggunaan sisipan tabung. Peningkatan terbesar dalam Nu dicapai oleh insert hiTRAN, memberikan peningkatan 420% dibandingkan tabung kosong. *Twisted tapes* memberikan peningkatan 257% dibandingkan tabung kosong. Kedua jenis insert menunjukkan perubahan bertahap dalam Nu sebagai peningkatan Re. Penelitian lain yang juga dilakukan oleh (Shiva Kumar, Vasudev Kumar, dan Krishna Murthy , 2015) melakukan studi numerik alat penukar kalor pipa ganda dengan penambahan sirip, perbandingan dilakukan antara alat penukar kalor tanpa sirip dengan penambahan sirip berbentuk kotak, segitiga, dan parabola cekung hasilnya berdasarkan uji CFD dan eksperimental sirip berbentuk kotak memiliki nilai perpindahan kalor yang lebih tinggi dibandingkan dengan sirip bentuk segitiga dan parabola cekung.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tersebut terlihat bahwa penambahan fin dan tau rigid pada alat penukar kalor pipa ganda (Double Pipe Heat Exchanger, DPHE) akan mempengaruhi laju perpindahan kalor yang terjadi, untuk itu penelitian ini

mencoba melakukan penambahan pipa pejal yang menembus kedua pipa fluida dingin dan panas, dimana fluida panas mengalir dalam pipa bagian dalam sedangkan fluida dingin mengalir dalam selongsong atau diantara pipa bagian dalam dan pipa bagian luar dari penukar kalor.

## TINJAUAN PUSTAKA

Alat penukar kalor (Heat Exchanger) adalah suatu alat yang memungkinkan terjadinya perpindahan panas dan dapat berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin suatu fluida. Penukar kalor dirancang sebisa mungkin agar perpindahan kalor terjadi karena adanya proses kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung.

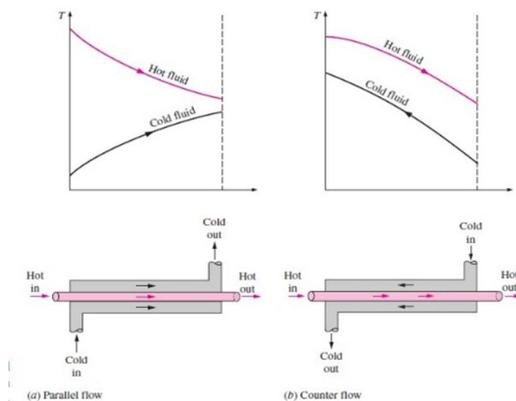
Perpindahan panas pada alat penukar kalor biasanya melibatkan konveksi masing-masing fluida dan konduksi sepanjang dinding yang memisahkan kedua fluida. Laju perpindahan panas antara kedua fluida pada alat penukar kalor bergantung pada besarnya perbedaan temperatur pada lokasi tersebut, dimana variasi temperatur terjadi sepanjang alat penukar kalor.

### Alat Penukar Kalor Pipa Ganda

Salah satu jenis dari alat penukar kalor ialah alat penukar kalor pipa ganda (*Double Pipe Heat Exchanger, DPHE*), di bedakan menurut arah aliran fluidanya, berlawanan arah aliran (*Counter Flow*) atau searah arah aliran (*Parallel Flow*), baik dengan fluida panas atau fluida dingin yang terkandung dalam

ruang selongsong dan cairan lainnya dalam pipa.

Pada alat penukar kalor pipa ganda terdiri dari sebuah pipa besar (selongsong) dan sebuah pipa kecil (tube) di dalamnya, dimana salah satu fluida mengalir di seluruh pipa besar sedangkan fluida lainnya mengalir di dalam pipa berdiameter lebih kecil. Umumnya penukar kalor jenis ini digunakan air sebagai fluida dingin yang akan menyerap kalor dari fluida panas.

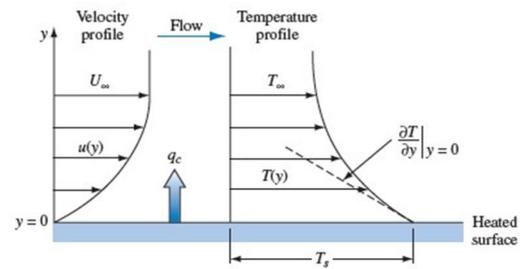


**Gambar 1.** Penukar kalor pipa ganda (a) aliran searah, (b) aliran berlawanan (Cengel, 2003)

### Analisis Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor adalah perpindahan energi dari satu tempat ke tempat lainnya yang dikarenakan oleh adanya perbedaan temperatur di tempat tersebut.

Konveksi adalah proses perpindahan kalor dengan disertainya perpindahan partikel. Konveksi ini terjadi umumnya pada zat fluida seperti air atau udara. Konveksi dapat terjadi secara alami maupun dipaksa. Gambar 2.2 menunjukkan profil temperatur dan kecepatan pada sebuah permukaan benda.



**Gambar 2.** Profil Temperatur dan Kecepatan Perpindahan Kalor Konveksi

Bilangan Nusselt adalah rasio perpindahan kalor konveksi dan konduksi normal terhadap lisan batas perpindahan kalor fluida. Bilangan Nusselt diperoleh dengan cara mendapatkan hasil dari bilangan Reynolds. Persamaan yang direkomendasi oleh Dittus dan Boelter (Cengel, 2003) untuk aliran turbulen adalah :

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (1)$$

Sementara untuk aliran laminar maka persamaan yang direkomendasi oleh Edwards (Cengel, 2003) adalah :

$$Nu = 3,66 + \frac{0,065 \left(\frac{Di}{Lt}\right) Re \cdot Pr}{1 + 0,04 \left[\left(\frac{Di}{Lt}\right) Re \cdot Pr\right]^{2/3}} \quad (2)$$

Dalam hal penentuan jenis aliran transisi adalah kondisi yang sangat sulit untuk ditebak, karena aliran transisi merupakan kondisi aliran laminar yang akan berubah menjadi aliran turbulen. B. S. Petukhov (Heat Transfer and Friction in Turbulent Pipe Flow with Variable Physical Properties, 1970) menyatakan bahwa aliran transisi dapat menggunakan persamaan berikut:

$$Nu_h = \frac{\xi/8(Re - 1000)Pr}{1 + 12,7\sqrt{\xi/8(Pr^{2/3} - 1)}} \left[1 + (D/L)^{2/3}\right] \quad (3)$$

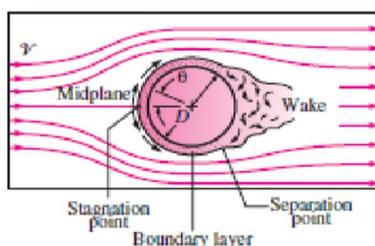
Dimana  $\xi$  adalah faktor koreksi :

$$\xi = \frac{1}{(1,82 \log Re - 1,64)^2} \quad (4)$$

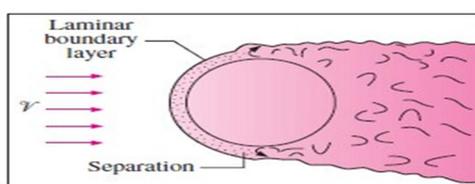
### Aliran Kalor Melintasi Silinder

Pada penelitian kali ini akan menambahkan pipa pejal pada tube alat penukar kalor. Aliran kalor yang melintasi silinder menunjukkan pola aliran yang kompleks, seperti pada gambar 2.5. Fluida yang melewati dan mengelilingi silinder membentuk lapisan batas pada permukaan silinder.

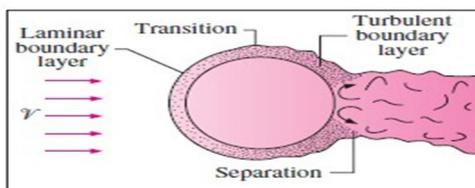
Fluida pada bagian tengah (midplane) yang melintasi silinder pada titik stagnasi, membawa fluida berhenti total dan meningkatkan tekanan pada area tersebut. Tekanan mengalami penurunan pada aliran yang mengalir namun kecepatannya akan meningkat.



**Gambar 3.** Pola Melintasi Silinder (Cengel, 2003)



(a) Laminar flow ( $Re < 2 \times 10^5$ )



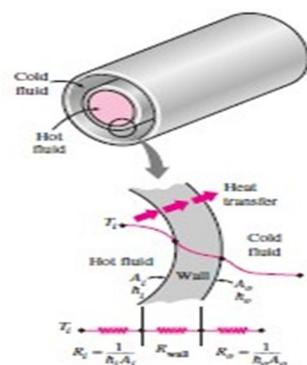
(b) Turbulence occurs ( $Re > 2 \times 10^5$ )

**Gambar 4.** Aliran Laminar dan turbulen Melintasi Silinder

Pemisahan aliran yang terjadi pada  $Re \approx 80$  (diukur dari titik stagnasi) ketika lapisan batas adalah laminar dan pada  $Re \approx 140$  ketika itu turbulen (gambar 2.5.). Keterlambatan pemisahan di aliran turbulen diakibatkan oleh fluktuasi yang cepat dari fluida dalam arah melintang, yang memungkinkan lapisan batas turbulen untuk melewati lebih lanjut sepanjang permukaan sebelum pemisahan terjadi, mengakibatkan wake yang lebih sempit dan tekanan drag yang lebih kecil. Pada kisaran bilangan Reynolds dimana perubahan aliran dari laminar menjadi turbulen, terjadi penurunan gaya drag (FD) sebagai akibat dari peningkatan kecepatan fluida, dengan demikian nilai bilangan Reynolds pun ikut meningkat. Hal ini menyebabkan penurunan drag secara tiba-tiba dan memunculkan ketidakstabilan.

### 2.4. Koefesien Perpindahan Kalor Menyeluruh

Koefesien peprindahan kalor menyeluruh adalah penjumlahan secara keseluruhan koefesien perpindahan kalor yang meliputi koefesien perpindahan kalor konduksi, konveksi dan radiasi, akan tetapi perpindahan kalor radiasi tidak berpengaruh besar dalam penelitian kali ini.



**Gambar 5.** Koefesien Perpindahan Kalor Menyeluruh Pada Silinder

perpindahan kalor menyeluruh dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\dot{Q} = \frac{T_i - T_o}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o}} \quad (5)$$

Atau dapat dituliskan menjadi :

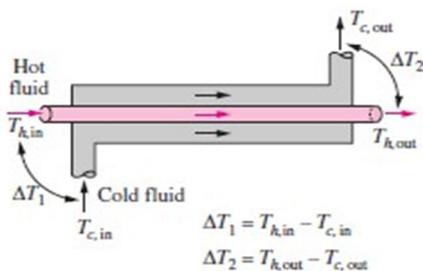
$$\dot{Q} = \frac{\Delta T_{LMTD}}{R_{tot}} \quad (6)$$

Dimana :

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}} \quad (7)$$

Pada aliran parallel :

$$\Delta T_{max} = (T_1 - t_1); \Delta T_{min} = (T_2 - t_2) \quad (8)$$



**Gambar 6.** Penentuan nilai  $\Delta T_1$  dan  $\Delta T_2$  pada alat penukar kalor pipa ganda dengan aliran searah (Cengel, 2003)

### 2.5. Efektivitas Alat Penukar Kalor

Efektivitas dari alat penukar kalor adalah parameter unjuk kerja dari sebuah alat penukar kalor.

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{act}}{\dot{Q}_{max}} \quad (9)$$

Laju perpindahan kalor aktual dalam alat penukar kalor dapat ditentukan dari persamaan kesetimbangan energi dari fluida panas maupun dingin.

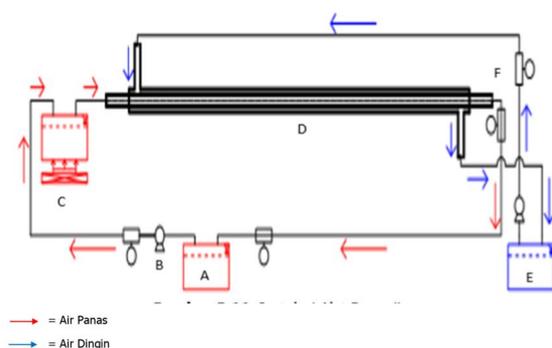
$$\dot{Q}_{act} = C_c(T_{co} - T_{ci}) = C_h(T_{hi} - T_{ho}) \quad (10)$$

Sementara perpindahan kalor maksimum adalah :

$$\dot{Q}_{max} = C_{min}(T_{hi} - T_{ci}) \quad (11)$$

### 3. METODE PENELITIAN

Pada pengujian ini, air digunakan sebagai fluida kerja, air panas ( $50^\circ\text{C}$ ) dialirkan pada sisi bagian dalam pipa tube dengan variasi debit aliran 0,1 gal/min dan 0,2 gal/min, seangkan air dingin dialirkan di luar tube dengan debit konstan 6 gal/min. Pipa alat penukar kalor pipa ganda, terbuat dari stainless steel dengan panjang pipa selongsong 1500 mm dan panjang pipa tube 1700 mm, diameter pipa selongsong adalah 2" dan diameter pipa tube adalah 1".



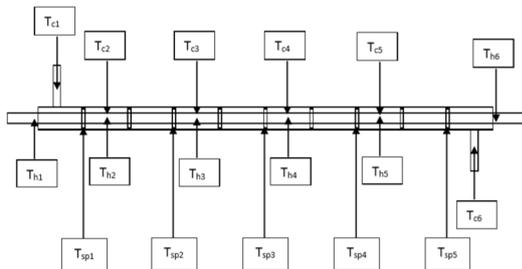
**Gambar 7** Skema Pengujian

Sebanyak 9 buah besi pejal di susun tegak segaris menembus pipa tube dengan jarak antar besi pejal seragam. Pengujian dilakukan menggunakan pola aliran searah (*Parallel Flow*) dengan 3 variasi silinder pejal yaitu 6 mm, 8 mm, dan 10 mm, panjang seragam 48,5 mm.

Penukar kalor tanpa besi pejal (standar) dengan dimensi, material serta variasi aliran yang sama, turut di uji sebagai pembandingan.



**Gambar 8.** Instalasi Pengujian



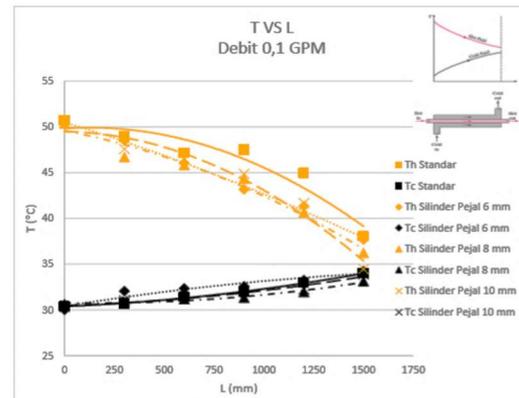
**Gambar 9.** Penempatan alat ukur pada pengujian

#### 4. HASIL dan PEMBAHASAN

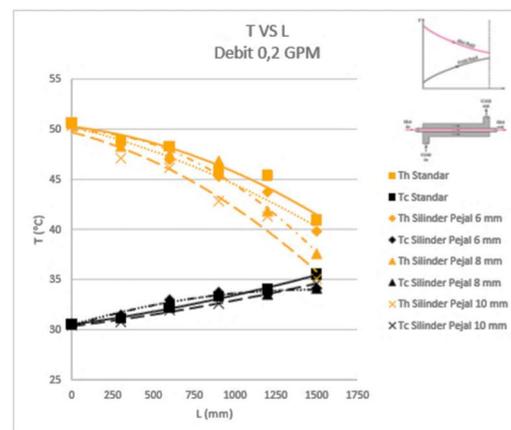
Penurunan temperatur pada air panas di sepanjang alat penukar kalor dapat ditunjukkan pada grafik 4.1 untuk debit aliran 0,1 gal/min dan pada grafik 4.2 untuk debit 0,2 gal/min dimana tampak adanya perbedaan laju penurunan temperatur. Penurunan temperatur air panas pada penukar kalor standar tampak membentuk garis lengkung diimana pada jarak 1500 mm debit 0,1 gal/min air panas mencapai turun hingga 38,01°C, sementara, pada debit 0,2 gal/min, temperatur air panas turun hingga 40,9°C.

Penambahan silinder pejal pada alat penukar kalor terlihat memberikan dampak cukup signifikan, dimana semakin besar diameter silinder pejal maka laju penurunan temperatur air panas cenderung lebih cepat. Temperatur air panas terendah pada jarak 1500mm terjadi pada penukar kalor dengan silinder pejal 10 mm; untuk debit aliran

0,1 gal/min temperatur turun hingga 34,45°C. Sementara pada laju aliran 0,2 gal/min mencapai 35,05°C.



**Grafik 10.** Perubahan temperatur fluida sepanjang pipa (debit 0,1 gal/min)



**Grafik 11.** Perubahan temperatur fluida sepanjang pipa (debit 0,2 gal/min)

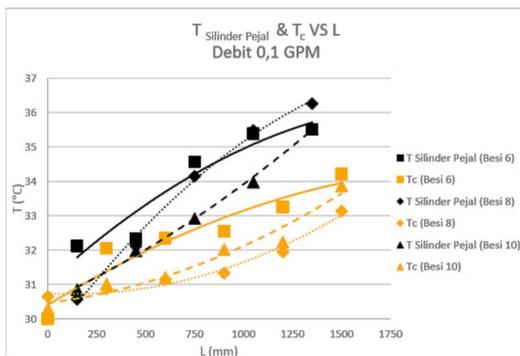
Temperatur air dingin di sepanjang alat penukar kalor secara umum mengalami peningkatan. Peningkatan yang cukup signifikan temperatur silinder pejal pada panjang 1350 mm diakibatkan oleh penumpukkan aliran air panas yang keluar dari alat penukar kalor.

Penambahan pipa pejal memberikan dampak terhdap laju perpindahan kalor yang terjadi, dimana selain di sepanjang permukaan tube, kalor juga mengalir secara konduksi pada silinder pejal.

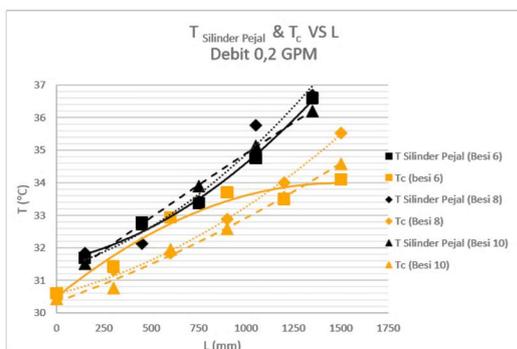
Grafik 4.3, untuk debit 0,1 gal/min dan grafik 4.4, untuk debit 0,2 gal/min

menunjukkan temperatur pada bagian ujung pipa pejal lebih tinggi dibandingkan terhadap temperatur air dingin di sekitarnya. Hal ini menunjukkan bahwa rambatan kalor dari air panas akan mengalir secara konduksi ke arah luar melalui besi pejal. Adanya perbedaan temperatur antara fluida dingin dan besi pejal akan menyebabkan terjadinya laju aliran kalor dari besi pejal ke air dingin yang mengalir disekitarnya.

Pada grafik 4.3 dan 4.4, tampak bahwa debit aliran fluida panas berpengaruh terhadap rambatan kalor pada besi pejal, dimana pada debit 0,2 gal/min temperatur besi pejal relative lebih tinggi dibandingkan dengan aliran 0,1 gal/min.

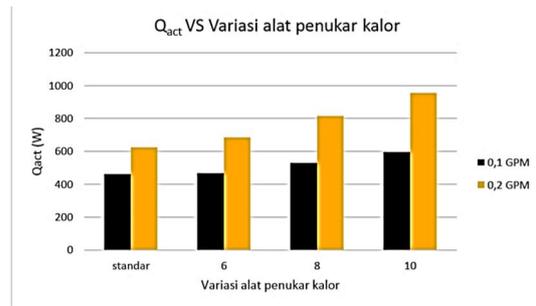


**Grafik 4.3** Temperatur silinder pejal dan temperatur fluida dingin ( $T_c$ ) (0,1 gal/min)



**Grafik 4.4** Temperatur silinder pejal dan temperatur fluida dingin ( $T_c$ ) (0,2 gal/min)

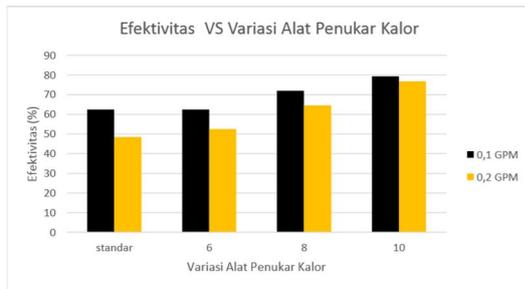
Perbandingan laju aliran kalor aktual di tunjukkan pada grafik 4.5. Tampak bahwa laju aliran fluida panas mempengaruhi laju perpindahan kalor yang terjadi. Pengaruh penambahan besi pejal terhadap laju perpindahan kalor akan semakin baik pada debit aliran yang besar.



**Grafik 4.5**  $Q_{act}$  terhadap variasi penukar kalor.

Namun pada efektifitas penukar kalor, pada grafik 4.6. Dari grafik, selisih presentase alat penukar kalor untuk debit menunjukkan hal sebaliknya, dimana presentase peningkatan nilai efektifitas terbaik pada laju aliran yang rendah, 0,1 gal/min dibandingkan dengan 0,2 gal/min. Namun pada penambahan besi pejal diameter 10mm, tampak efektifitas kalor terhadap kedua debit aliran terjadi perbedaan yang tipis.

Nilai efektifitas perpindahan kalor pada aliran fluida panas dengan debit 0,2 gal/min tampak meningkat lebih besar seiring dengan penambahan diameter besi pejal jika dibandingkan dengan aliran fluida 0,1 gal/min.



Grafik 4.6 •• terhadap variasi penukar kalor.

Dari hasil tersebut bahwa nilai efektivitas alat penukar kalor mengalami peningkatan di setiap penambahan silinder pejal, variasi diameter silinder pejal berdampak pada luasan area perpindahan kalor yang terjadi. Sehingga, peningkatan variasi diameter silinder pejal memiliki nilai efektivitas alat penukar kalor lebih tinggi jika dibandingkan dengan alat penukar kalor standar.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan, tampak bahwa penambahan besi pejal dan debit aliran fluida berpengaruh terhadap pada alat penukar kalor berdampak pada laju perpindahan kalor yang terjadi. Penambahan besi pejal akan meningkatkan efektifitas alat penukar kalor pipa ganda.

Diperlukan kajian lebih lanjut untuk menyempurnakan kajian ini.

## Daftar Pustaka

Al-Kayiem, H. dan El-Rahman M.F. (2011). Ribbed Double Pipe Heat Exchanger: Analytical Analysis. Journal of Engineering Science and Technology. Taylor University

Cengel, Y A. (2003). Heat Transfer A Practical Approach. 2<sup>nd</sup> Ed. McGraw-Hill. New York

Kumar S., Karanth V., & Murthy K. (2015) Numerical Study Of Heat Transfer In A Finned Double Pipe Heat Exchanger. World Journal of Modelling and Simulation Vol. 11. England, UK.

Osley William G., Droegemueller P., & Eleerby P. (2013) CFD Investigation of Heat Transfer and Flow Patterns in Tube Side Laminar Flow and the Potential for Enhancement. Chemical Engineering Transactions Vol. 35. England, UK.

Ojha Pramod Kailash, Choudary Bishwajee, Gajera Umang B, (2015). Design and Eksperimental Analysis of Pipe in Pipe Heat Exchanger, International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), Vol.5.Iss3.Mar,2015

Ramesh K. S & Dusan P. S (2003) Fundamentals of Heat Exchanger Designe. Jhon Willey & Son, INC. New Jersey