

EVALUASI KOEFISIEN PERPINDAHAN KALOR DAN EFEKTIVITAS PADA PENUKAR KALOR SPIRAL TUBE IN SHELL

EVALUATION OF HEAT TRANSFER COEFFICIENT AND EFFECTIVENESS ON SPIRAL TUBE IN SHELL HEAT EXCHANGER

Rifqi Firdaus¹, Tri Ayodha Ajiwiguna², M. Ramdhan Kirom³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹firdausrifqi4@gmail.com, ²tri.avodha@gmail.com, ³jakasantang@gmail.com

Abstrak

Alat penukar kalor (*heat exchanger*) adalah suatu perangkat dimana dua aliran fluida dengan suhu yang berbeda bergerak bertukar kalor. Penukar kalor mempunyai tipe dan desain yang berbeda, salah satu jenisnya yaitu penukar kalor *spiral tube in shell*. Umumnya pada penukar kalor tipe *spiral tube in shell* terdapat dua jenis aliran yaitu *parallel* dan *counter flow*. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja penukar kalor *spiral tube in shell* pada dua arah aliran yang berbeda. Dengan menggunakan jenis fluida yang sama yaitu air dan laju aliran massa yang sama di kedua sisi yaitu sebesar 0.017 kg/s maka kinerja alat penukar kalor dapat dievaluasi melalui nilai U dan nilai *effectiveness* (ϵ). Rentang pengambilan data yaitu dari suhu *hot fluid inlet* sebesar 50 – 80 °C, pengambilan data dilakukan dengan mencatat seluruh informasi suhu pada *thermocouple display* saat suhu *hot fluid inlet* menunjukkan kenaikan $\pm 5^\circ\text{C}$ dari rentang minimum. Berdasarkan eksperimen yang dilakukan nilai U pada arah aliran *parallel flow* menghasilkan nilai sebesar 0.5462 kW/m².K sedangkan pada *counter flow* menghasilkan nilai 1.4200 % lebih tinggi yaitu 0.5604 kW/m².K. Untuk arah aliran *parallel flow* menghasilkan *effectiveness* 36.9815 % sedangkan arah *counter flow* menghasilkan *effectiveness* 5.0415 % lebih tinggi yaitu 42.0229 %

Kata kunci : efektivitas, koefisien perpindahan kalor, *parallel flow*, *counter flow*

Abstract

Heat exchanger is a device where two fluid flows with different temperatures move to exchange heat. Heat exchangers have different types and designs, one of which is a spiral tube in shell heat exchanger. Generally in spiral tube in shell heat exchanger there are two types of flow, namely parallel and counter flow. This study was conducted to evaluate the performance of spiral tube in shell heat exchangers in two different flow directions. By using the same type of fluid, namely water and the same mass flow rate on both sides, which is equal to 0.017 kg / s, the performance of heat exchanger can be evaluated through U value and effectiveness value (ϵ). Data retrieval range is from the hot fluid inlet temperature of 50 - 80 °C, data collection is done by recording all temperature information on the thermocouple display when the hot fluid inlet temperature shows an increase of $\pm 5^\circ\text{C}$ from the minimum range. Based on experiments carried out the U value in the direction of parallel flow produces a value of 0.5462 kW/m².K while the counter flow produces a value of 1.4200 % higher that is 0.5604 kW/m².K. For parallel flow direction, it produces effectiveness of 36.9815% while the counter flow direction results in effectiveness 5.0415% higher, that is 42.0229%.

Key word : effectiveness, heat transfer coefficient, *parallel flow*, *counter flow*

1. Pendahuluan

Alat penukar kalor adalah suatu perangkat dimana dua aliran fluida dengan suhu yang berbeda bergerak bertukar kalor [1]. Penukar kalor mempunyai tipe dan desain yang berbeda – beda, sehingga hal itu memungkinkan bahwa penukar kalor dapat diaplikasikan di berbagai bidang. Salah satunya adalah penukar kalor tipe *spiral tube in shell*, yang merupakan klasifikasi penukar kalor berdasarkan desain konstruksinya. *Shell* merupakan kerangka luar berbentuk silinder dan *spiral tube* adalah pipa berpenampang lingkaran yang berbentuk *spiral* [2]. Berdasarkan jenis alirannya alat penukar kalor ini dibagi menjadi dua yaitu *parallel flow*

dan *counter flow*. *Parallel flow* yaitu dimana arah aliran *hot* dan *cold fluid* searah sedangkan *counter flow* arah aliran *hot* dan *cold fluid* berlawanan. Penelitian ini bertujuan untuk membuat dan mengevaluasi kinerja *heat exchanger spiral tube in shell*. Evaluasi kinerja *heat exchanger* dilakukan dengan menganalisis nilai koefisien perpindahan kalor (U) menggunakan metode LMTD dan nilai *effectiveness* (ε) menggunakan metode *effectiveness-NTU*. Dengan adanya variasi dua arah aliran yaitu *parallel flow* dan *counter flow* sehingga di akhir penelitian ini akan didapatkan perbandingan nilai U dan ε pada dua arah aliran yang berbeda.

2. Dasar Teori

2.1 Heat Exchanger

Penukar kalor (*heat exchanger*) adalah suatu perangkat termal yang digunakan sebagai tempat mengalirnya dua atau lebih jenis fluida dengan suhu yang berbeda. Beberapa industri proses yang berhubungan dengan kegiatan produksi menggunakan penukar kalor ini untuk memanfaatkan sisa panas yang dibuang dari suatu reaktor agar dapat digunakan lagi dalam proses yang lain [3]. Secara umum penukar kalor dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa aspek. Seperti contoh berdasarkan kontak antara fluidanya dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu tipe *direct contact* dan *indirect contact*. Jika ditinjau berdasarkan jenis alirannya penukar kalor dibagi menjadi dua tipe yaitu *parallel flow* dan *counter flow*. Dalam mengevaluasi kinerja penukar kalor terdapat dua nilai yang dicari yaitu nilai U dan ε dengan dua metode berbeda dimana nilai U dicari menggunakan metode *log mean temperature difference (LMTD)* dan nilai ε dicari menggunakan metode *effectiveness-NTU* [4]. Metode LMTD cocok digunakan jika suhu masing-masing fluida ditentukan besarnya atau dapat ditentukan dari persamaan kesetimbangan energi. Berikut merupakan metode LMTD :

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \quad (1)$$

dimana: ΔT_1 = perbedaan suhu *input*
 ΔT_2 = perbedaan suhu *output*

Karena metode LMTD kurang praktis apabila tipe dan ukuran *heat exchanger* telah ditentukan maka metode *effectiveness-NTU* merupakan solusi yang lebih praktis karena metode ini bertumpu pada *heat transfer effectiveness*. Metode ini cocok digunakan untuk analisis performa dari suatu *heat exchanger* yang sudah ada, berikut persamaan umum untuk menentukan *effectiveness* dari suatu penukar kalor :

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}} \quad (2)$$

dimana : \dot{Q} = *actual heat transfer rate*
 \dot{Q}_{max} = *maximum possible heat transfer rate*

2.2 Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan kalor dengan mentransfer energi dari partikel yang lebih energik ke partikel yang kurang energinya. Kedua partikel tersebut berdekatan sebagai hasil interaksi antara partikel. Umumnya konduksi terjadi pada benda padat, namun dapat terjadi juga pada fluida. Konduksi pada fluida disebabkan oleh *collisions* dan *diffusion* dari molekul selama pergerakan acak. Berikut Hukum Fourier tentang perpindahan panas secara konduksi :

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (3)$$

dimana: k = konduktivitas termal (W/m.°C)

A = luas permukaan (m²)

dT/dx = perubahan *temperature* terhadap ketebalan

2.3 Konveksi

Konveksi merupakan perpindahan kalor akibat adanya perpindahan partikel – partikel dari suatu tempat ke tempat yang lainnya akibat pemuaiian dan hanya terjadi pada fluida. Perpindahan panas secara konveksi sangat bergantung pada properti fluida seperti viskositas dinamik (μ), konduktivitas termal (k), massa jenis fluida (ρ), *specific heat* (C_p), dan juga kecepatan fluida (V). Selain itu dapat dipengaruhi juga oleh

kekasaran, geometri dari permukaan padat, dan tipe aliran fluida seperti laminar ataupun turbulen. Secara matematis persamaan konveksi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (4)$$

dimana: h = koefisien konveksi ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

A_s = luas permukaan (m^2)

T_s = suhu permukaan ($^\circ C$)

T_∞ = suhu fluida ($^\circ C$)

2.4 Laju Perpindahan Kalor

Berdasarkan hukum satu termodinamika yang menjelaskan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan, namun dapat dipindahkan dari suatu tempat ke tempat yang lain. Prinsip dasar perpindahan kalor berdasarkan hukum satu termodinamika yang menjelaskan bahwa laju perpindahan kalor dari fluida panas sama dengan laju perpindahan kalor ke fluida dingin. Prinsip perpindahan kalor dapat dijelaskan dengan persamaan :

$$\dot{Q} = \dot{m}_c C_{pc} (T_{c,out} - T_{c,in}) \quad (5) \quad \text{dan} \quad \dot{Q} = \dot{m}_h C_{ph} (T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (6)$$

dimana:

\dot{m}_h = laju aliran massa *hot fluid* (kg/s) , \dot{m}_c =laju aliran massa *cold fluid* (kg/s)

C_{ph} = kapasitas panas *hot fluid* ($kJ/kg \cdot ^\circ C$) , C_{pc} =kapasitas panas *cold fluid* ($kJ/kg \cdot ^\circ C$)

$T_{h,out}$ = suhu *hot fluid outlet* ($^\circ C$) , $T_{c,out}$ = suhu *cold fluid outlet* ($^\circ C$)

$T_{h,in}$ = suhu *hot fluid inlet* ($^\circ C$) , $T_{c,in}$ = suhu *cold fluid inlet* ($^\circ C$)

Laju perpindahan kalor pada *heat exchanger* berdasarkan hukum pendinginan Newton adalah sebagai berikut:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T_m}{R} = UA_s \Delta T_{lm} \quad (7)$$

dimana: R = resistansi termal ($^\circ C/W$)

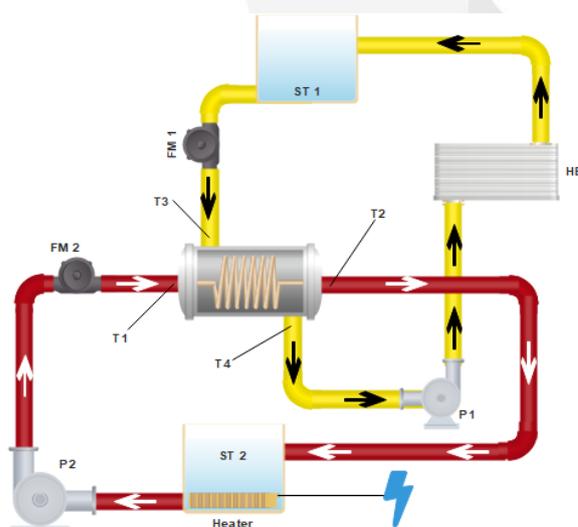
U = koefisien perpindahan panas keseluruhan ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

A_s = area transfer kalor (m^2)

ΔT_{lm} = perbedaan suhu rata-rata antara dua fluida.

3. Pembahasan

3.1 Metode Penelitian



Gambar 1. Skema Pengambilan Data

Keterangan Gambar :

- ST : *Storage Tank*
- FM : *Flowmeter*
- P : *Pump*
- T1 : Suhu *Hot Fluid Inlet*
- T2 : Suhu *Hot Fluid Outlet*
- T3 : Suhu *Cold Fluid Inlet*
- T4 : Suhu *Cold Fluid Outlet*
- HE : *heat exchanger*

Pada gambar 1 di setiap sisi *outlet* dan *inlet* penukar kalor *spiral tube in shell* yang memiliki panjang 30 cm dan lebar 10 cm dipasang sebuah termokopel tipe K yang dihubungkan dengan *digital thermocouple display* untuk memberikan informasi suhu fluida. Pengambilan data dilakukan saat *thermocouple display* telah menunjukkan informasi suhu sesuai dengan suhu input *hot fluid inlet* yang diinginkan. Pemanasan fluida dilakukan menggunakan *heater* dan pendinginan menggunakan *heat exchanger*. Terdapat dua pompa untuk mengalirkan fluida ke sisi *hot inlet* dan keluar dari *cold outlet* dengan laju aliran massa yang sama yaitu 0.017 kg/s. Untuk menampung fluida yang akan dialirkan terdapat dua tangki yg disediakan setelah sisi *outlet*. Terdapat dua *flowmeter* untuk mengukur laju aliran massa yang mengalir.

3.2 Pengolahan Data

Data seluruh suhu didapatkan dengan mengambil gambar *thermocouple display* yang telah menunjukkan suhu *hot fluid inlet* sesuai rentang pengukuran penelitian yaitu 50°C – 80°C. Proses pengambilan gambar dilakukan setiap kenaikan $\pm 5^\circ\text{C}$ dimulai dari suhu rentang minimum. Kemudian data yang diperoleh diolah dan dibuat grafik untuk mempermudah dalam menganalisis perbandingan arah aliran *parallel flow* dan *counter flow*. Sebelum mendapatkan nilai U dan ε , informasi suhu *hot fluid inlet* yang didapat diolah terlebih dahulu menjadi laju aliran kalor menggunakan persamaan;

$$\dot{Q} = \dot{m}_h C_{ph} (T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (8)$$

dengan \dot{m}_h adalah laju aliran massa *hot fluid inlet* (kg/s), C_{ph} adalah kapasitas panas *hot fluid inlet* (kJ/kg.K), dan ΔT adalah selisih suhu antara sisi *inlet* dan *outlet* pada *hot fluid* ($^\circ\text{C}$). Setelah mendapatkan nilai \dot{Q} selanjutnya akan diolah lagi untuk mendapatkan nilai U dengan persamaan;

$$U = \frac{\dot{Q}}{A_s \Delta T_{lmttd}} \quad (9)$$

dengan A_s adalah luas permukaan perpindahan panas. Lalu untuk mengevaluasi nilai ε nilai U yang telah didapat diolah menjadi nilai NTU terlebih dahulu dengan persamaan;

$$NTU = \frac{UA_s}{C_{min}} \quad (10)$$

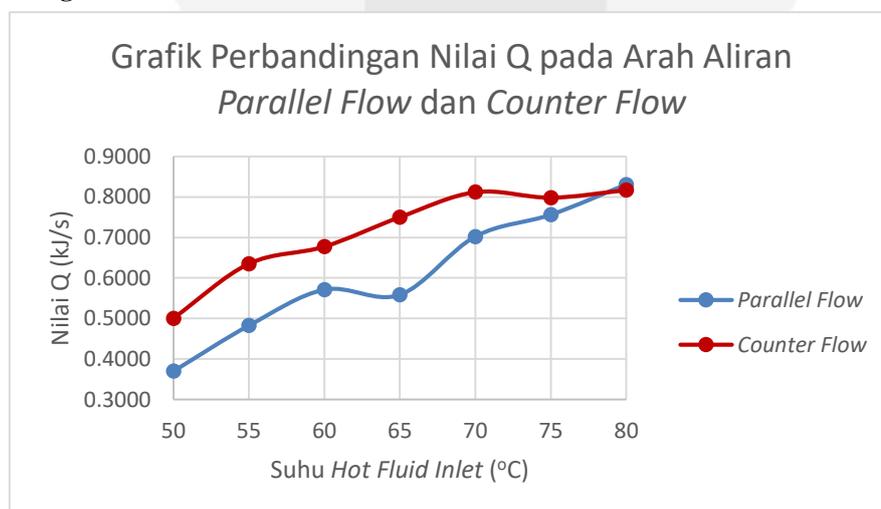
dengan C_{min} merupakan nilai terkecil dari perbandingan nilai antara C_c dan C_h . Nilai C_c dan C_h adalah hasil perkalian antara laju aliran massa dan kapasitas panas fluida. Jika nilai NTU telah didapat lalu diolah lagi sehingga mendapatkan nilai ε dan dibuat grafik pengaruh NTU terhadap nilai ε untuk mempermudah analisis perbandingan keefektifitasan penukar kalor pada dua arah aliran yang berbeda dengan menggunakan persamaan;

$$\varepsilon_{parallel\ flow} = \frac{1 - e^{-NTU \left(\frac{C_{min} + 1}{C_{max} + 1}\right)}}{\frac{C_{min} + 1}{C_{max} + 1}} \quad (11)$$

$$\varepsilon_{counter\ flow} = \frac{1 - e^{-NTU \left(1 - \frac{C_{min}}{C_{max}}\right)}}{1 - e^{-NTU \left(1 - \frac{C_{min}}{C_{max}}\right)}} \quad (12)$$

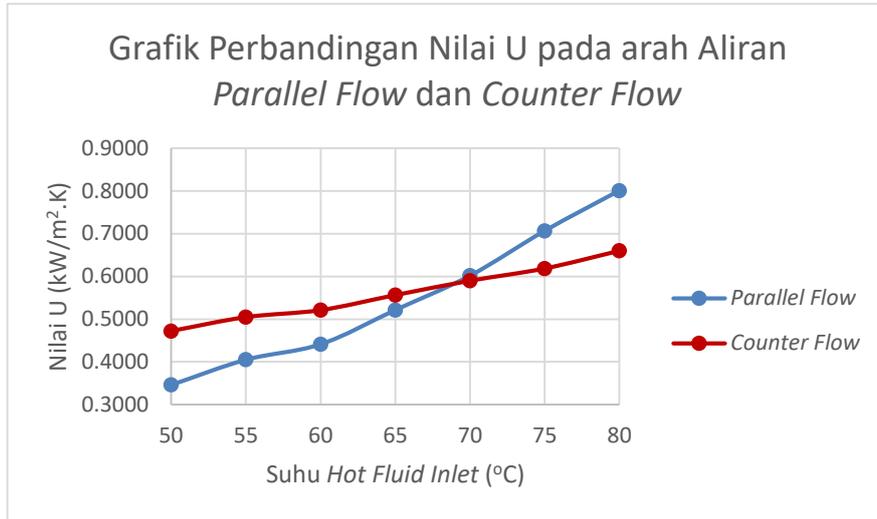
Setelah semuanya diperoleh maka dapat dianalisis bahwa arah aliran seperti apa yang dapat membuat kinerja *heat exchanger* lebih efektif dan arah aliran seperti apa yang mampu mempercepat proses perpindahan kalor.

3.3 Perbandingan Parallel Flow dan Counter Flow



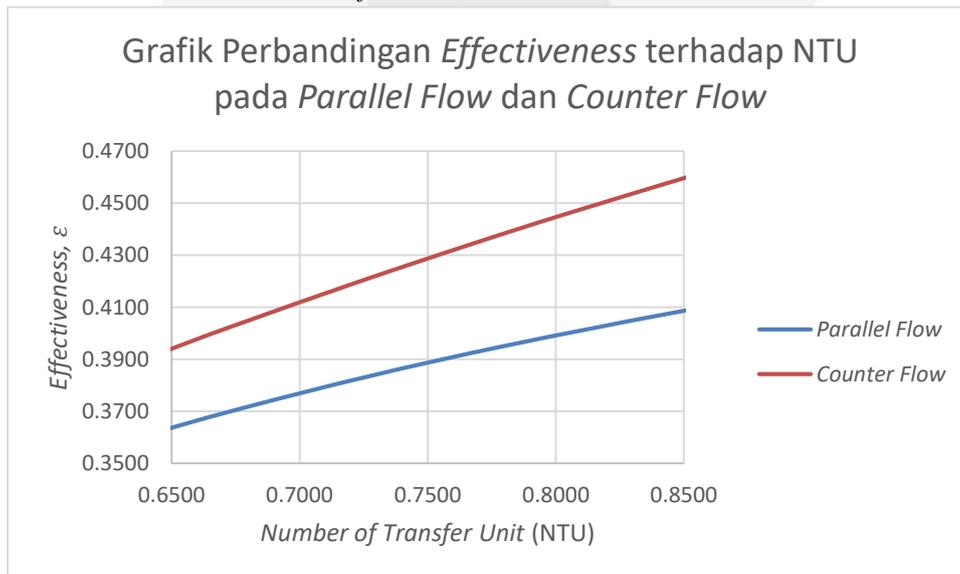
Gambar 2. Grafik Perbandingan Rata-rata Nilai \dot{Q}

Dalam sepuluh kali eksperimen yang dilakukan nilai \dot{Q} pada akhir pengambilan data akan selalu lebih besar dibanding saat awal pengambilan data. Terlihat di gambar dua bahwa nilai rata-rata \dot{Q} pada arah aliran *counter flow* lebih besar dibanding *parallel flow*. Nilai maksimum \dot{Q} arah aliran *parallel flow* yaitu sebesar 1.0494 kW dan nilai minimum \dot{Q} yaitu sebesar 0.2203 kW sedangkan nilai maksimum \dot{Q} arah aliran *counter flow* yaitu sebesar 1.1915 kW sedangkan nilai \dot{Q} minimum sebesar 0.3412 kW. Maka rata-rata nilai \dot{Q} untuk arah aliran *parallel flow* yaitu sebesar 0.6103 kW dan untuk arah aliran *counter flow* nilai laju aliran kalornya sebesar 0.7129 kW.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Rata-rata Nilai U

Dalam sepuluh kali eksperimen yang dilakukan nilai U pada akhir pengambilan data akan selalu lebih besar dibanding saat awal pengambilan data. Terlihat di gambar dua bahwa nilai rata-rata U pada arah aliran *counter flow* lebih besar dibanding *parallel flow*. Nilai maksimum U arah aliran *parallel flow* yaitu sebesar 0.9260 kW/m².K dan nilai minimum U yaitu sebesar 0.2437 kW/m².K sedangkan nilai maksimum U arah aliran *counter flow* yaitu sebesar 0.8925 kW/m².K sedangkan nilai U minimum sebesar 0.3853 kW/m².K. Maka rata-rata nilai koefisien perpindahan kalor untuk arah aliran *parallel flow* yaitu sebesar 0.5462 kW/m².K dan untuk arah aliran *counter flow* sebesar 0.5604 kW/m².K.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Rata-rata Nilai ε

Dalam sepuluh kali pengambilan data nilai ε pada akhir pengambilan data akan selalu lebih besar dibanding saat awal pengambilan data. Terlihat di gambar tiga bahwa nilai ε rata-rata pada arah aliran *counter flow* lebih besar dibanding *parallel flow*. Rata-rata nilai efektivitas untuk arah aliran *parallel flow* yaitu sebesar 36.9815 % dengan NTU 0.7095 dan untuk arah aliran *counter flow* sebesar 42.0229 % dengan NTU 0.728

Tabel 1. Nilai rata-rata \dot{Q} , U, NTU dan ε pada arah aliran *parallel flow* dan *counter flow*

	<i>Parallel Flow</i>	<i>Counter Flow</i>
Nilai laju perpindahan kalor (kW)	0.6103	0.7129
Nilai koefisien perpindahan kalor (kW/m ² .°C)	0.5462	0.5604
Number of Transfer Unit (NTU)	0.7095	0.7280
Nilai <i>Effectiveness</i> (ε)	0.3698	0.4202

Pada tabel satu menjelaskan perbandingan nilai rata-rata laju perpindahan kalor, nilai koefisien perpindahan kalor, NTU dan efektivitas dalam sepuluh kali eksperimen. Berdasarkan eksperimen rata-rata maka penukar kalor *spiral tube in shell* memiliki nilai ε lebih tinggi jika diberi arah aliran *counter flow*.

4. Kesimpulan

Penelitian mengenai evaluasi koefisien perpindahan kalor dan efektivitas pada penukar kalor *spiral tube in shell* telah dilakukan yang menghasilkan beberapa poin kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah dibuat *prototype* penukar kalor tipe *spiral tube in shell* dengan dimensi *spiral tube* berdiameter 0.25 inci sepanjang 6.5 m dan tebal 0.71 mm yang didesain *spiral helical* dengan diameter *bending* sebesar 9 cm sepanjang 29 cm. Sedangkan desain *shell* berbentuk tabung dengan dimensi panjang 30 cm dan diameter permukaan 10 cm.
2. Terdapat perbedaan nilai rata-rata U antara arah aliran *parallel flow* dan *counter flow*. Nilai rata-rata U pada arah aliran *counter flow* yaitu sebesar 0.5604 kW/m².K dan pada *parallel flow* sebesar 0.5462 kW/m².K. Nilai U pada *counter flow* memiliki nilai lebih tinggi 1.4200 % dibanding arah aliran *parallel flow*. Sehingga penukar kalor *spiral tube in shell* yang dioperasikan secara *counter flow* lebih cepat dalam melakukan perpindahan kalor.
3. Terdapat perbedaan nilai rata-rata *effectiveness* antara arah aliran *parallel flow* dan *counter*. Pada arah aliran *parallel flow* menghasilkan *effectiveness* sebesar 36.9815 % dan pada arah aliran *counter flow* menghasilkan *effectiveness* sebesar 42.0229 %. Nilai *effectiveness* pada *counter flow* memiliki nilai 5.0415 % lebih tinggi. Sehingga penukar kalor *spiral tube in shell* lebih efektif dalam proses perpindahan kalor jika dioperasikan secara *counter flow*.

Daftar Pustaka

- [1] Cengel, Y. A. (2004). *Heat Transfer : A Practical Approach (Vol. 2nd edition)*. New York: McGraw-Hill.
- [2] Handoyo, E. A. (2000). Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Efektivitas Shell-and-Tube Heat. *JURNAL TEKNIK MESIN Vol. 2, 5*.
- [3]. Parashurama M S. (2015). *Experimental Study of Heat Transfer in a Radiator using Nanofluid*. Hassan: India
- [4] Gilmour, C. (1960). Application of Heat Exchangers in Chemical Plants. *Heat Exchangers, 3*
- [5]. Ramesh K. Shah. (2003). *Fundamental of Heat Exchanger Design*. Lockport : New York
- [6] Maa Mustaza. (2013). Karakteristik Perpindahan Panas pada Double Pipe Heat Exchanger, perbandingan aliran parallel dan counter flow. Politeknik Caltex: Riau
- [7] Syaichurrozi Iqbal (2014). Kajian Performa Alat Penukar Panas *Plate and Frame* : Pengaruh Laju Aliran Massa, Temperatur Umpan dan Arah Aliran terhadap Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa: Banten.

