

Kajian Performa Alat Penukar Panas *Plate and Frame* : Pengaruh Laju Alir Massa, Temperatur Umpan dan Arah Aliran Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

Study of Plate and Frame Heat Exchanger Performance : The Effects of Mass Flow Rate, Inlet Temperature and Type of Flow Againsts The Overall Heat Transfer Coefficient

Iqbal Syaichurrozi^{*}, Afdwiarny Metta Karina^a, Ahmad Imanuddin^a

^aJurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jalan Jenderal Sudirman Km.3 Cilegon 42435, Banten, Indonesia

Artikel histori :

Diterima 17 Desember 2014
Diterima dalam revisi 23 Desember 2014
Diterima 24 Desember 2014
Online 28 Desember 2014

ABSTRAK: Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh laju alir, temperatur umpan dan arah aliran terhadap koefisien perpindahan panas overall (U). Alat penukar panas yang digunakan adalah *Plate and Frame* tipe TRIMGS 10. Laju alir fluida panas divariasikan 0,3 dan 0,253 kg/s; laju alir fluida dingin divariasikan 0,276 dan 0,22 kg/s; temperatur masuk fluida panas 40, 45, 50°C; arah aliran divariasikan *co-current* dan *counter-current*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar laju fluida panas dan fluida dingin maka koefisien perpindahan panas menyeluruh semakin besar. Semakin tinggi temperatur masuk fluida panas maka koefisien perpindahan panas menyeluruh semakin besar. Nilai koefisien perpindahan panas overall paling besar diperoleh pada temperatur fluida masuk 50°C, laju alir fluida dingin 0,276 kg/s, laju alir fluida panas 0,3 kg/s yaitu sebesar 140,6532 W/m²°C pada aliran *counter-current* dan 135,4576 W/m²°C pada aliran *co-current*. Jenis aliran *counter-current* memberikan hasil yang lebih memuaskan dibanding jenis aliran *co-current*.

Kata Kunci: *plate and frame*, perpindahan panas, penukar panas, koefisien perpindahan panas menyeluruh

ABSTRACT: The purpose of this study is to know the effects of mass flow rate, inlet temperature and type of flow againsts overall heat transfer coefficient (U). Heat exchanger used in this study was plate and frame type of TRIMGS 10. Mass flow rate of hot fluida was variated into 0.3 and 0.253 kg/s; mass flow rate of cold fluida was variated into 0.276 and 0.22 kg/s; inlet temperature of hot fluida was variated into 40, 45, 50 °C; type of flow was variated into *co-current* and *counter current*. The results showed that mass flow rate of hot and cold fluid influenced overall heat transfer coefficient. Also, the higher inlet temperature, the the bigger overall heat transfer coefficient obtained. In this study, the biggest of U value was obtained in variable of inlet temperatur 50°C, mass flow rate of cold fluid 0.276 kg/s, mass flow rate of hot fluid 0.3 kg/s, which were 140.6532 W/m²°C using type of counter-current flow and 135.4576 W/m²°C using type of co-current flow. Type of counter-current flow gave more satisfactory result of U value than type of co-current flow

Keywords: plate and frame, heat transfer, heat exchanger, overall heat transfer coefficient

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Setiap benda memiliki panas atau kalor. Ketika terdapat dua benda yang memiliki suhu berbeda dalam kontak termal, maka panas atau kalor akan mengalir atau berpindah dari suhu tinggi ke rendah. Dari perpindahan panas atau kalor tersebut, kita dapat mengetahui banyaknya panas yang berpindah dari dua benda tersebut dan kesetimbangan suhu yang terjadi pada kedua benda tersebut.

Aplikasi dari perpindahan kalor di industri yaitu perminyakan, pangan, farmasi dan lain-lain. Unit penukar panas adalah suatu alat untuk memindahkan panas dari suatu fluida ke fluida yang lain (Holman, 1986). Sebagian besar dari industri-industri yang berkaitan dengan pemrosesan selalu menggunakan alat ini, karena alat penukar kalor ini mempunyai peran yang penting dalam suatu proses produksi atau operasi. Salah satu tipe dari alat penukar kalor yang banyak dipakai adalah tipe plate. Plate *heat exchanger* adalah suatu alat perpindahan panas yang

^{*}Corresponding Author: +6285641679534
Email: iqbalnyaichurrozi@gmail.com

berbentuk frame yang diberi plat sebagai sekat-sekat (Holman, 1986).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu menentukan harga koefisien perpindahan kalor pada alat penukar panas *plate and frame* tipe TRIGMS 10 tahun 1998 pada variasi laju alir, temperatur dan aliran *co-current* dan *counter-current*. Penelitian ini difokuskan pada kajian unjuk kerja alat penukar panas *plate and frame* TRIGMS 10 tahun 1998 di Laboratorium Operasi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon-Indonesia.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan harga koefisien perpindahan panas overall (U) sistem dua fluida, mempelajari pengaruh variabel laju alir fluida, temperatur fluida dan arah aliran terhadap koefisien panas overall (U) dan untuk membandingkan kerja *counter-current* dan *co-current*. Alat penukar panas yang digunakan adalah jenis *plate and frame* tipe TRIGMS 10 dengan nomor serial A-10308 produksi APV HE Asia Tahun 1998. Gasket yang digunakan berbahan nitril dengan temperatur operasi maksimum 110°C. Jenis fluida yang digunakan adalah air panas dan dingin pada temperatur tertentu sesuai variabel.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Definisi Penukar Kalor

Panas atau kalor merupakan suatu bentuk energi yang berpindah karena adanya perbedaan temperatur. Panas atau kalor tersebut akan bergerak dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Ketika panas atau kalor bergerak maka akan terjadi pertukaran panas dan kemudian akan berhenti ketika kedua tempat tersebut sudah memiliki temperatur yang sama. Contohnya, kopi panas ke lingkungan yang mempunyai suhu 20°C, hingga terjadi kesetimbangan atau kesamaan suhu pada gelas dan lingkungan (Cengel, 2003).

2.2 Mekanisme Perpindahan Panas

Mekanisme perpindahan panas yang terjadi dapat berupa konduksi, konveksi atau radiasi. Dalam aplikasinya, ketiga mekanisme ini dapat terjadi secara simultan.

2.2.1 Konduksi

Suatu material bahan yang mempunyai gradient, maka kalor akan mengalir tanpa disertai oleh suatu gerakan zat. Aliran kalor seperti ini disebut konduksi atau hantaran. Konduksi termal pada logam-logam padat terjadi akibat gerakan elektron yang terikat dan konduksi termal mempunyai hubungan dengan konduktivitas listrik. Pemanasan pada logam berarti pengaktifan gerakan molekul, sedangkan pendinginan berarti pengurangan gerakan molekul (Mc. Cabe, 1993).

Laju perpindahan kalor secara konduksi sebanding dengan gradien suhu (Mc. Cabe, 1993),

$$q = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

dan dengan konstanta kesetimbangan (konduksi), maka menjadi persamaan Fourier.

$$q = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

Tanda (-) digunakan untuk memenuhi hukum II Termodinamika yaitu “kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala temperatur” (Holman, 1986)

2.2.2 Konveksi

Konveksi merupakan proses perlindungan kalor dengan media atau benda yang menghantarkan kalor juga turut berpindah, seolah-olah kalor dibawa oleh media tersebut. Proses perpindahan kalor ini umumnya terjadi dari benda padat ke fluida baik cair maupun gas. Kalor yang dipindahkan secara konveksi dinyatakan dengan persamaan Newton.

$$q = -h \cdot A \cdot \Delta T$$

Tanda (-) digunakan untuk memenuhi hukum II Termodinamika, sedangkan panas yang dipindahkan selalu mempunyai tanda (+).

2.2.3 Radiasi

Pada proses radiasi, panas diubah menjadi gelombang elektromagnetik yang merambat tanpa melalui ruang media penghantar. Jika gelombang tersebut mengenai suatu benda, maka gelombang dapat mengalami transisi (diteruskan), refleksi (dipantulkan) dan absorpsi (diserap) dan menjadi kalor. Hal itu tergantung pada jenis benda.

Menurut hukum Stefan Boltzman tentang radiasi panas dan berlaku hanya untuk benda hitam, bahwa kalor yang dipancarkan (dari benda hitam) dengan laju yang sebanding dengan pangkat empat temperatur absolut benda itu dan berbanding lurus dengan permukaan benda, secara matematis dapat ditulis,

$$q = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

2.3 Alat Penukar Panas

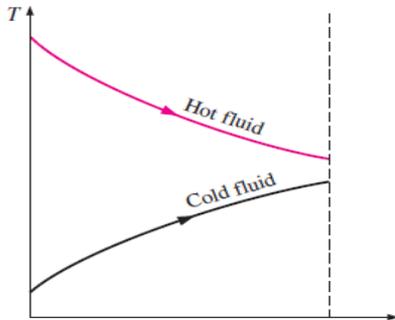
Alat penukar panas adalah alat yang digunakan untuk memindahkan panas dapat berfungsi sebagai pemanas maupun pendingin. Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak balik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung (*direct contact*).

Terdapat dua aliran penukar panas yaitu penukar panas dengan aliran searah (*co-current*) dan penukar panas dengan aliran berlawanan arah (*counter-current*).

2.3.1 Aliran Co-Current

Penukar panas jenis ini, kedua fluida (dingin dan panas) masuk pada sisi penukar yang sama, mengalir dengan arah yang sama dan keluar pada sisi yang sama pula. Karakter

penukar panas jenis ini, temperatur fluida dingin yang keluar dari alat penukar panas tidak dapat melebihi temperatur fluida panas yang keluar dari alat penukar panas, sehingga diperlukan media pendingin/pemanas yang banyak.



Gambar 1. Profil Temperatur Aliran *Co-Current* (Cengel, 2003)

Neraca panas yang terjadi:

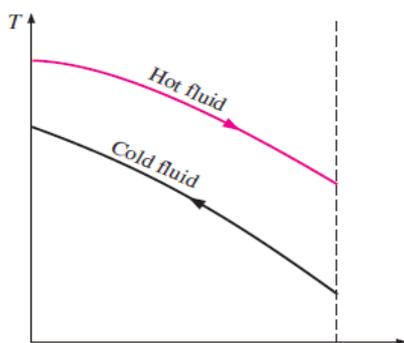
$$m_c \cdot (T_{cb} - T_{ca}) = m_h \cdot (T_{ha} - T_{hb})$$

Dengan asumsi nilai kapasitas panas spesifik (C_p) fluida dingin dan panas konstan, tidak ada kehilangan panas ke lingkungan serta keadaan steady state, maka kalor yang dipindahkan,

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{LMTD}$$

2.3.2 Aliran *Counter-Current*

Penukar panas jenis ini, kedua fluida (panas dan dingin) masuk dan keluar pada sisi yang berlawanan. Temperatur fluida dingin yang keluar dari penukar panas lebih tinggi dibandingkan temperatur fluida panas yang keluar dari penukar kalor, sehingga dianggap lebih baik dari aliran searah.

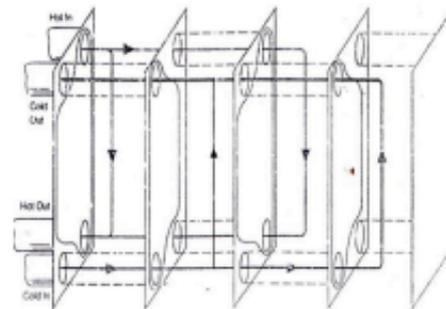


Gambar 2. Profil Temperatur Aliran *Counter-Current* (Cengel, 2003)

2.4 Plate and Frame Heat Exchanger

Alat penukar panas ini terdiri dari pelat-pelat tegak lurus, bergelombang atau profil lainnya. Pemisah antara pelat tegak lurus dipasang penyekat lunak. Pelat-pelat dari sekat ditentukan oleh suatu perangkat penekan yang pada setiap sudut pelat terdapat lubang pengalir fluida, fluida mengalir

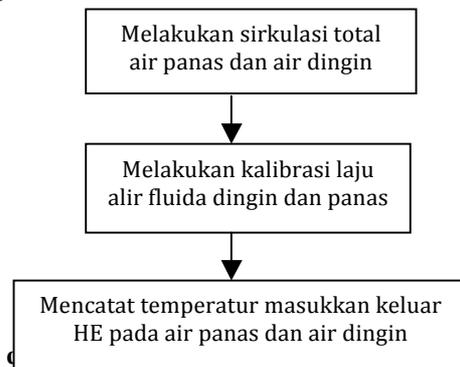
pada sisi yang lain, sedangkan fluida yang lain mengalir melalui lubang dan ruang pada sisi sebelahnya karena ada sekat (Artono, 2002).



Gambar 3. Penukar Panas *Plat and Frame*

3. Metode Penelitian

3.1 Diagram Alir



3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian penukar panas antara lain:

- Rangkaian plate and frame heat exchanger tipe TRIMGS 10 dengan nomor serial A-10308 produksi APV HE Asia Tahun 1998. Gasket yang digunakan berbahan nitril dengan temperatur operasi maksimum 110°C. Rangkaian alat penukar panas yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.
- Stopwatch

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian penukar panas adalah air (sebagai fluida dingin dan panas).

3.3 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah dalam melakukan penelitian yaitu memastikan semua alat percobaan dalam kondisi baik, memastikan semua sistem perpipaan serta valve telah siap untuk dioperasikan. Setelah itu, memompakan air dingin dan air panas untuk sirkulasi ke masing-masing tangki penampung. Kemudian melakukan kalibrasi laju alir untuk masing-masing sistem aliran. Pengambilan data dilakukan di akhir percobaan untuk aliran searah dan berlawanan arah dengan mencatat temperatur masuk dan keluar HE Plate

and Frame tipe TRIGMS 10 tahun produksi 1998 pada masing-masing sistem aliran.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel pada penelitian ini divariasikan pada laju alir massa fluida panas, laju alir massa fluida dingin dan suhu umpan fluida panas. Variasi variabel dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Arah aliran	m H	m C	TH in	TC in
Counter-Current	0,3	0,276	50	32
	0,3	0,22	50	32
	0,253	0,276	50	32
	0,253	0,22	50	32
	0,3	0,276	45	32
	0,3	0,22	45	32
	0,253	0,276	45	32,5
	0,253	0,22	45	32,5

	0,3	0,276	40	30
	0,3	0,22	40	30
	0,253	0,276	40	30
	0,253	0,22	40	30
Co-Current	0,3	0,276	50	33
	0,3	0,22	50	33
	0,253	0,276	50	33
	0,253	0,22	50	33
	0,3	0,276	45	33
	0,3	0,22	45	33
	0,253	0,276	45	33
	0,253	0,22	45	33
	0,3	0,276	40	33
	0,3	0,22	40	33
	0,253	0,276	40	33
	0,253	0,22	40	33



Gambar 4. Rangkaian Alat Penukar Panas *Plate and Frame* Tipe TRIGMS 10

4. Pembahasan

4.1 Pengaruh laju alir massa fluida terhadap harga koefisien perpindahan panas overall menyeluruh (U) pada aliran Counter-Current

Penelitian dilakukan pada laju alir massa fluida panas konstan pada aliran *Counter-Current*. Gambar 5a dan Gambar 5b menunjukkan bahwa semakin besar laju alir massanya, maka semakin besar pula harga koefisien perpindahan panas menyeluruhnya (U).

Fenomena ini dapat terjadi, karena semakin besar laju alir massa fluidanya, maka semakin besar pula nilai koefisien konveksinya, karena laju alir massa mempengaruhi harga dari bilangan tak berdimensi, yakni bilangan Reynolds (NRe), dengan persamaan (Mc Cabe, 1993) :

$$NRe = \frac{\rho v d}{\mu}$$

$$\dot{m} = \rho v A$$

Sehingga persamaan yang didapat

$$NRe = \frac{\dot{m}}{\pi d \mu}$$

Di mana dari persamaan ini menunjukkan bahwa bilangan Reynolds (NRe) berbanding lurus terhadap laju alir massa. Harga NRe ini mempunyai hubungan terhadap bilangan Nusselts (NNu)

Bilangan Nusselt adalah bilangan tak berdimensi yang menjelaskan rasio perpindahan panas konveksi dan konduksi pada permukaan fluida, dimana semakin besar

harga NNu, maka nilai konveksinya akan lebih besar dibandingkan dengan konduksinya (Chengel, 2003)

Hubungan antara NRe dengan NNu didapat dari persamaan (Chengel, 2003):

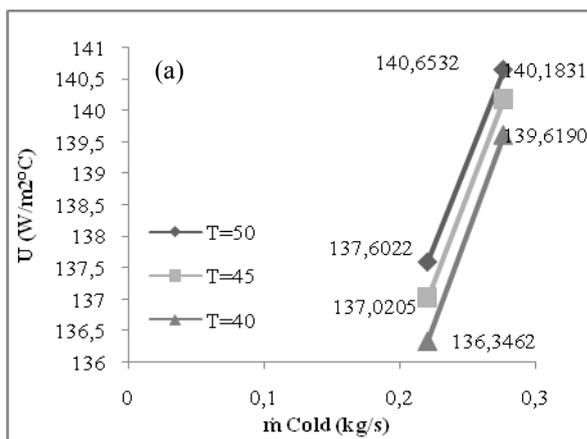
$$NNu = C NRe^m Pr^n$$

Harga NRe akan mempengaruhi harga koefisien C, m dan n. dari percobaan didapatkan harga NRe berkisar antara 0.3-0.7, sehingga harga koefisien dari C, m dan n berturut-turut ialah 0.664, 0.5 dan 1/3, sehingga persamaannya menjadi:

$$NNu = 0.664 NRe^{0.5} Pr^{1/3}$$

Persamaan NNu yang didapatkan berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh (Titahelu, 2010) yang dilakukan dengan menggunakan alat penukar panas berupa shell and tube, yakni:

$$NNu = 0.023 NRe^{0.8} Pr^{0.4}$$



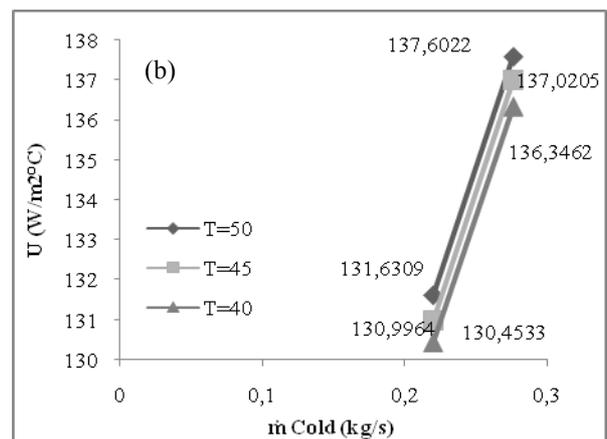
Hal ini dimungkinkan karena penggunaan alat penukar panas dan fluida yang digunakan. Pada percobaan ini HE yang digunakan berupa *plate and frame*, dengan fluida panas dan fluida dinginnya ialah air. Sedangkan pada penelitian (Titahelu, 2010), HE yang digunakan ialah *shell and tube* dengan fluida panasnya ialah oli dan fluida dinginnya berupa air tawar.

Dari bilangan Nusselts (NNu) ini, didapatkan persamaan koefisien konveksi, yakni:

$$h = \frac{NNu k}{L}$$

Dimana k adalah koefisien konduksi (14.9) sedangkan L adalah panjang dari HE (0.037). Semakin besar bilangan Nusselt, maka semakin besar pula harga koefisien konveksi yang didapatkan, sehingga harga dari koefisien perpindahan overall (U) yang didapatkan akan semakin besar pula. Dimana nilai U berbanding lurus dengan koefisien konveksi (h) (Chengel, 2003), yaitu :

$$\frac{1}{u} \approx \frac{1}{ho} + \frac{1}{hi}$$



Gambar 5. Grafik hubungan antara laju alir massa fluida dingin (mc) terhadap koefisien perpindahan panas overall (U) pada aliran Counter-Current dengan laju alir massa fluida panas (mh) konstan (a) mh 0.3 kg/s dan (b) mh 0.253 kg/s

Gambar 5a menunjukkan harga U terhadap laju alir fluida dingin (0.276 dan 0.22 kg/s) pada keadaan laju alir fluida panas (mh) konstan (0.3). harga U terbesar yang diperoleh ialah pada temperatur 50°C sebesar 137.6022W/m²C dan 140.6532 W/m²C pada mc 0.22 dan 0.276 kg/s. Sedangkan gambar 5b dengan mc yang sama dan harga mh sebesar 0.253 kg/s, didapatkan harga U terbesar pada temperatur 50 °C yakni 130.4533 W/m²C pada mc 0.22 kg/s dan 136.3462 W/m²C pada mc 0.276 kg/s

Naik dan Matawala (2013) melaporkan bahwa harga U pada alat penukar panas plate dan frame pada rentang 410 sampai 570 W/m²K sedangkan pada penelitian ini harga U maksimal adalah 140,6532 W/m²C. Perbedaan ini diduga karena perbedaan temperatur masuk antara fluida panas dan dingin pada penelitian Naik dan Matawala (2013) lebih besar dibandingkan penelitian ini. Temperatur umpan fluida panas dan dingin sebesar 70°C dan 32,1 °C pada Naik dan Matawala (2013); 40~50 °C dan 30~33 °C pada

penelitian ini. Telah diuraikan diatas bahwa, variasi temperatur umpan mempengaruhi harga U. Selain itu, perbedaan fluida yang digunakan juga dapat mempengaruhi perbedaan nilai U. Naik and Matawala (2013) menggunakan fluida oil (minyak) dengan air sedangkan penelitian ini menggunakan air dengan air.

Hasil penelitian ini juga berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Titahelu (2010) dimana harga U yang didapatkan ialah 14000 W/m²C dan harga U yang didapat oleh Wibowo dan Prawoto (2010) adalah 6250,5 W/m² K. Perbedaan harga U yang sangat jauh ini dapat terjadi karena perbedaan jenis alat penukar panas yang digunakan. Adapun pada penelitian ini dilakukan menggunakan HE jenis *plate and frame* dan pada kedua penelitian yang dijadikan sebagai pembandingan menggunakan HE jenis *shell and tube*.

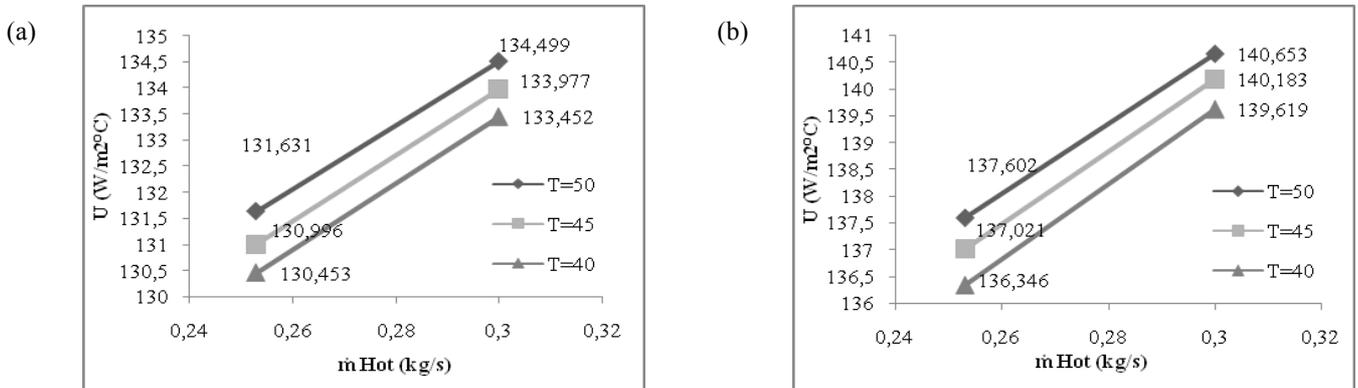
4.2 Pengaruh Tekanan dan Temperatur terhadap harga koefisien perpindahan panas overall menyeluruh (U) pada aliran Counter-Current

Gambar 6a dan Gambar 6b merupakan grafik hubungan antara laju alir massa fluida panas (0.253 dan 0.3 kg/s) terhadap U pada laju alir massa fluida dingin konstan (0.276 dan 0.22 kg/s).

Dari Gambar 6a terlihat bahwa harga U berbanding lurus dengan laju alir massanya, namun berbanding terbalik

dengan Tekanan yang diberikan oleh compressor pada fluida. Hal ini dapat terjadi karena hubungan antara tekanan terhadap laju alir massa, dimana semakin besar tekanan yang diberikan, maka laju alir massanya akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan :

$$Pv + \frac{1}{2}mv^2 + mgz = \text{konstan}$$



Gambar 6. Grafik hubungan antara laju alir massa fluida panas (mh) terhadap koefisien perpindahan panas overall (U) pada aliran Counter-Current dengan laju alir massa fluida dingin (mc) konstan (a) mc 0.276 kg/s dan (b) mc 0.22 kg/s

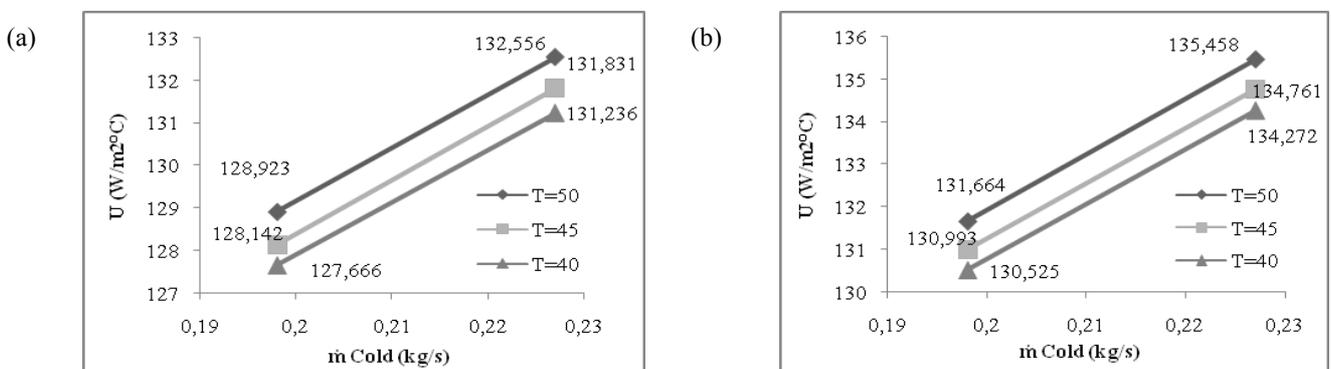
Pada penelitian ini tekanan yang digunakan pada fluida dingin dengan fluida panas berbeda. Pada fluida panas digunakan tekanan 0.4 dan 0.6, sehingga didapatkan harga mh sebesar 0.3 dan 0.253 kg/s. pada fluida dingin tekanan yang digunakan ialah 0.8 dan 0.9, sehingga nilai mc nya ialah 0.276 dan 0.22. harga dari laju alir massa fluida ini didapatkan dari hasil kalibrasi yang dilakukan sebelum penelitian.

Pada Gambar 6a dengan mc 0.276, didapatkan harga U sebesar 140.6532 pada mh 0.3 kg/s dan 137.6022 pada mh 0.253. pada Gambar 6b dengan mc 0.22 didapatkan harga U sebesar 134.4992 pada mh 0.3 kg/s dan 131.6309 pada mh 0.253 kg/s. hasil yang diperoleh sesuai dengan teori yang digunakan.

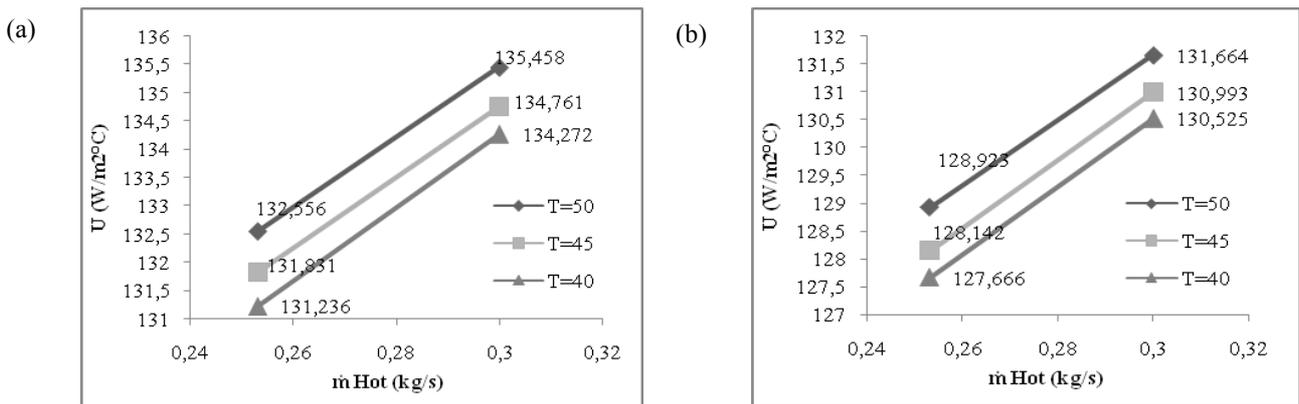
Penelitian selanjutnya dilakukan pada aliran *Co-Current*. Hasil yang serupa didapatkan, dimana laju alir massa berbanding lurus terhadap harga koefisien perpindahan panas overall, baik pada laju alir massa fluida dingin konstan maupun pada fluida panas.

Pada Gambar 7 menunjukkan harga U terhadap laju alir fluida dingin (0.276 dan 0.22 kg/s) pada keadaan laju alir fluida panas (mh) konstan. harga U terbesar yang diperoleh ialah pada temperatur 50°C sebesar 132.5564W/m²°C pada mh 0.253 kg/s dan 135.4576 W/m²°C pada mh 0.3 kg/s. sedangkan pada gambar 8 dengan laju alir massa fluida dingin konstan (mc), didapatkan harga U terbesar pada temperatur 50 °C yakni 135.4576W/m²°C pada mc 0.22 kg/s dan 131.6638W/m²°C pada mc 0.198 kg/s.

4.3 Pengaruh laju alir massa fluida terhadap harga koefisien perpindahan panas overall menyeluruh (U) pada aliran Co-Current



Gambar 7. Grafik hubungan antara laju alir massa fluida dingin (mc) terhadap koefisien perpindahan panas overall (U) pada aliran Co-Current dengan laju alir massa fluida panas (mh) konstan (a) mc 0.253 kg/s dan (b) mc 0.3 kg/s

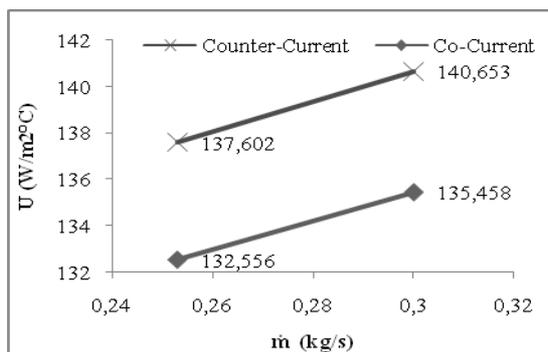


Gambar 8. Grafik hubungan antara laju alir massa fluida panas (mh) terhadap koefisien perpindahan panas overall (U) pada aliran Counter-Current dengan laju alir massa fluida panas (mc) konstan (a) mc 0.227 kg/s dan (b) mc 0.198 kg/s

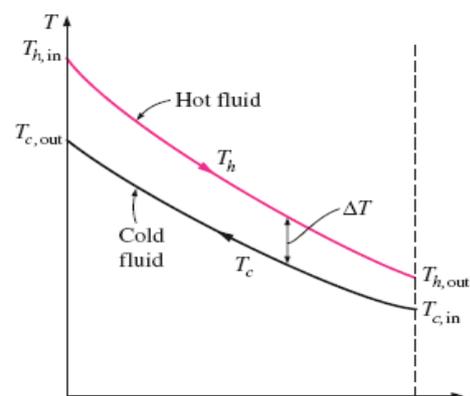
4.4 Pengaruh laju alir massa fluida terhadap ΔT_{LMTD} dan harga koefisien perpindahan panas overall menyeluruh (U) pada aliran Counter-Current dan Co-Current

Gambar 9 menunjukkan grafik hubungan laju alir massa (m) dengan harga U pada kedua aliran, yaitu aliran Counter-Current dengan aliran Co-Current. Pada aliran Counter-Current didapatkan harga U sebesar 140.6532 dan 137.6022 dan pada aliran Co-Current sebesar 135.4576 dan 132.5564 pada laju alir massa 0.3 dan 0.257 kg/s berturut-turut.

Terlihat dari Gambar 9, bahwa aliran *Counter-Current* memiliki harga U yang lebih besar dibandingkan dengan harga U pada aliran *Co-Current*, hal ini dapat terjadi karena pada proses perpindahan panas pada HE plate and frame pada aliran counter-current memiliki perpindahan panas yang lebih baik dibandingkan dengan aliran co-current. Hal ini terlihat dengan temperatur keluaran fluida dingin yang lebih tinggi dibandingkan keluaran temperatur fluida panas pada aliran *counter-current*, sedangkan pada aliran *co-current* tidak. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 10.



Gambar 9. Grafik hubungan antara laju alir massa fluida terhadap koefisien perpindahan panas overall (U) pada aliran Counter-Current dan aliran Co-Current



Gambar 10. Perubahan Temperatur pada Aliran Counter-Current (Chengel, 2003)

Pengaruh dari temperatur keluaran yang lebih besar pada fluida dingin dibandingkan dengan fluida panas, akan memengaruhi harga ΔT_{LMTD} , dimana harga ΔT_{LMTD} diperoleh dari persamaan :

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T1 - \Delta T2}{\ln(\Delta T1/\Delta T2)}$$

Dimana pada aliran *Co-Current*

$$\begin{aligned} \Delta T1 &= Th_{in} - Tc_{in} \\ \Delta T2 &= Th_{out} - Tc_{out} \end{aligned}$$

Dan pada aliran *Counter-Current*

$$\begin{aligned} \Delta T1 &= Th_{in} - Tc_{out} \\ \Delta T2 &= Th_{out} - Tc_{in} \end{aligned}$$

Sehingga harga U yang didapatkan pun akan berpengaruh, karena memiliki hubungan yakni ;

$$U = \frac{Q}{A \Delta T_{LMTD}}$$

Tabel 2. harga ΔT_{LMTD} , U dan juga Q pada aliran Counter-Current

m H (kg/s)	TH in (°C)	TC out (°C)	$\Delta T1$ (°C)	TH out (°C)	TC in (°C)	$\Delta T2$ (°C)	ΔT_{LMTD}	U (W/m ² .°C)	Q (W)
0.3	50	35	14	32	32	1	13.62108	140.7482	183.3095
0.3	50	36	13	33	32	2	11.93151	134.4992	153.4425
0.253	50	35	14	32	32.5	1	13.62108	137.6022	179.2121
0.253	50	35	13	32	32.5	2	11.93151	131.6309	150.1702

Tabel 3. harga ΔT_{LMTD} , U dan juga Q pada aliran Co-Current

m H (kg/s)	TH in (°C)	TC out (°C)	$\Delta T1$ (°C)	TH out (°C)	TC in (°C)	$\Delta T2$ (°C)	ΔT_{LMTD}	U (W/m ² .°C)	Q (W)
0.3	50	34.5	17	35	33	0.5	16.85821	135.4576	218.3461
0.3	50	35	17	36	33	1	16.64704	131.6638	209.5724
0.253	50	34.5	17	35	33	0.5	16.85821	132.5564	213.6696
0.253	50	34.5	17	36	33	1.5	16.38214	128.9229	201.9442

Dari data diatas, terlihat bahwa harga ΔT_{LMTD} berbanding lurus dengan harga U dan berbanding lurus dengan harga Q. percobaan ini sesuai dengan teori yang ada pada (Cengel, 2003) yang menunjukkan :

$$U = \frac{Q}{A \Delta T_{LMTD}}$$

Engineering and Advanced Technology (IJEAT), Vol. 2 (4) :362-369.

Titahelu, Nicolas., 2010, *Analisis Pengaruh Kecepatan Fluida Panas Aliran Sejarah terhadap Karakteristik Heat Exchanger Shell and Tube*, Maluku: Teknik Mesin Fakultas Teknik Unpatti.

5. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Nilai koefisien perpindahan panas overall (U) maksimum terjadi pada temperatur 50°C, yakni :
Aliran counter-current : 140,6532 W/m²°C
Aliran co-current : 135,4576 W/m²°C
2. Laju alir massa berbanding lurus dengan nilai U, begitu juga dengan temperatur.
3. Nilai koefisien perpindahan panas overall (U) pada *counter-current* lebih besar dibandingkan pada *co-current* karena perpindahan panas yang lebih baik.

Daftar Pustaka

- Artono Koestoer, Raldi., 2002, *Perpindahan Kalor*, Jakarta: Salemba Teknik.
- Cengel, Yunus A., 2003, *Heat Transfer A Practical Approach*, Second Edition, Singapura: Mc.Graw-Hill Book.
- Holman, J.P., 2002, *Perpindahan Kalor*, Jakarta: Erlangga
- Mc.Cabe, W.L., 1999, *Operasi Teknik Kimia*, Jilid I Edisi 4, Jakarta: Erlangga.
- Naik, V.R., Matawala, V.K., 2013, Experimental Investigation of single phase Chevron Type Gasket Plate Heat Exchanger. *International Journal of*