

KAJI EKSPERIMENTAL DAN ANALISA KINERJA PENUKAR PANAS UDARA TYPE SHELL AND TUBE JENIS ALIRAN BERLAWANAN

Muhammad Furqan¹, Syukran², Sariyusda²

¹Mahasiswa Prodi D-IV Teknik Mesin Teknologi Rekayasa Manufaktur

²Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe

Jl. Banda Aceh-Medan Km.280 Buketrata

Email : Muhammadfurqan724@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju perpindahan kalor dengan melakukan variasi temperatur inlet pada tube dan mengetahui efisiensi efektif pada heat exchanger jenis shell and tube. Alat penukar kalor yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari carbon steel dengan spesifikasi diantaranya yaitu spesifikasi pada shell terdiri dari diameter dalam (IDs) 10", jumlah baffle (N) 4 buah, fluida yang digunakan berupa udara panas, sedangkan spesifikasi pada tube yaitu diameter luar (ODt) $\frac{3}{4}$ in, jumlah tube (Nt) 40 buah, panjang tube (L) 70 cm, fluida yang digunakan yaitu udara dingin. Dari data tersebut, heat exchanger ini merupakan heat exchanger yang digunakan untuk proses pemanasan fluida dingin. Heat exchanger tersebut kemudian dilakukan pengujian. Udara dingin dialirkan ke dalam tube dengan kecepatan tetap dan udara panas dialirkan ke dalam shell dengan suhu temperatur berubah 15 menit setelah pengujian pertama yaitu dengan perubahan dari T_{cin} dan T_{hin} . Dari hasil pengujian didapatkan hasil bahwa jika semakin tinggi nilai faktor kenaikan suhu maka efisiensi Heat exchanger akan semakin meningkat.

Kata Kunci: Alat Penukar Kalor Shell and Tube, Efektifitas, Temperatur fluida masuk

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Penukaran Panas (*Heat Exchanger*) adalah alat yang digunakan untuk menukar energi termal (entalpi) antara dua atau lebih fluida, antara sebuah permukaan padat dan fluida, atau antara partikulat padat dan fluida pada suhu berbeda [1]Rk Shah, (2003). *Heat exchanger* atau alat penukar kalor berguna untuk menurunkan atau menaikkan suhu di dalam suatu sistem pada berbagai jenis industri seperti industri kimia dan makanan, elektronik, industri manufaktur, refrigrasi dan sebagainya. Di dunia industri, perancangan alat penukar kalor lebih banyak difokuskan pada modifikasi bentuk dan dimensi alat penukar kalor untuk meningkatkan laju perpindahan kalor pada alat penukar kalor.

Modifikasi yang biasa diterapkan dalam alat penukar kalor adalah pengaturan jumlah dan bentuk *baffle*, penggunaan *twisted tape* di dalam tube alat penukar kalor, penggunaan aliran berlawanan (*counter-flow*). [2]Taher dkk (2014) telah meneliti dampak dari jarak antar *baffle* terhadap performa dari alat penukar kalor tipe *shell and tube* di mana ditemukan bahwa jarak antar *baffle* yang semakin panjang akan

mempunyai koefisien perpindahan kalor yang lebih tinggi pada gradien tekanan yang sama. Lain halnya dengan [3]Bhuiya dkk (2014) yang meneliti performa perpindahan kalor dengan penambahan *twisted tape* ganda di dalam tube alat penukar kalor di mana ditemukan adanya peningkatan signifikan terhadap perpindahan kalor dari penambahan tersebut. Sementara itu, penelitian tentang aliran berlawanan dilakukan oleh [4]Peiro dkk (2016) pada proses *charging* dan *discharging* pada penyimpan energi termal (*thermal energy storage*) di mana disimpulkan bahwa aliran berlawanan mempunyai kinerja yang lebih baik.

Dalam menganalisa alat penukar kalor, metode yang paling lumrah digunakan adalah metode *Log Mean Temperature Difference* (LMTD), namun, metode ini mempunyai kekurangan seperti mempunyai proses iterasi perhitungan yang panjang dan membutuhkan purwarupa untuk melihat apakah desain tersebut dapat bekerja. Jika untuk skala besar, tentu hal ini akan memakan waktu dan biaya yang tidak sedikit. Salah satu cara yang lebih ekonomis dalam mengimplementasikan purwarupa adalah dengan menggunakan *Visual Basic*. Dalam Skripsi ini, akan dilakukan analisa kinerja alat

penukar kalor *shell and tube* tipe aliran berlawanan dengan variasi laju aliran massa fluida panas dan pengamatan terhadap pengaruhnya pada performa perpindahan kalor.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Melakukan analisa kinerja alat penukar kalor *shell and tube* tipe aliran berlawanan dengan variasi laju aliran massa fluida panas.
2. Melakukan pengamatan terhadap pengaruhnya pada performa perpindahan kalor.

1.3 Batasan Masalah

Agar penyusun ini lebih mengarah ke tujuan penelitian dengan membatasi pokok permasalahan sebagai berikut :

1. *Datasheet* alat penukar kalor *shell and tube* untuk *feed fuel gas exchanger*.
2. Fluida kerja yang digunakan tidak mengalami perubahan fasa.
3. Laju aliran massa fluida dingin dijaga tetap.
4. Jumlah *tube* yang digunakan dalam alat penukar kalor *shell and tube* tipe aliran berlawanan mempunyai jumlah yang sama.
5. Perpindahan kalor ke lingkungan diabaikan.

2 Teori Dasar

2.1 Penukar Panas

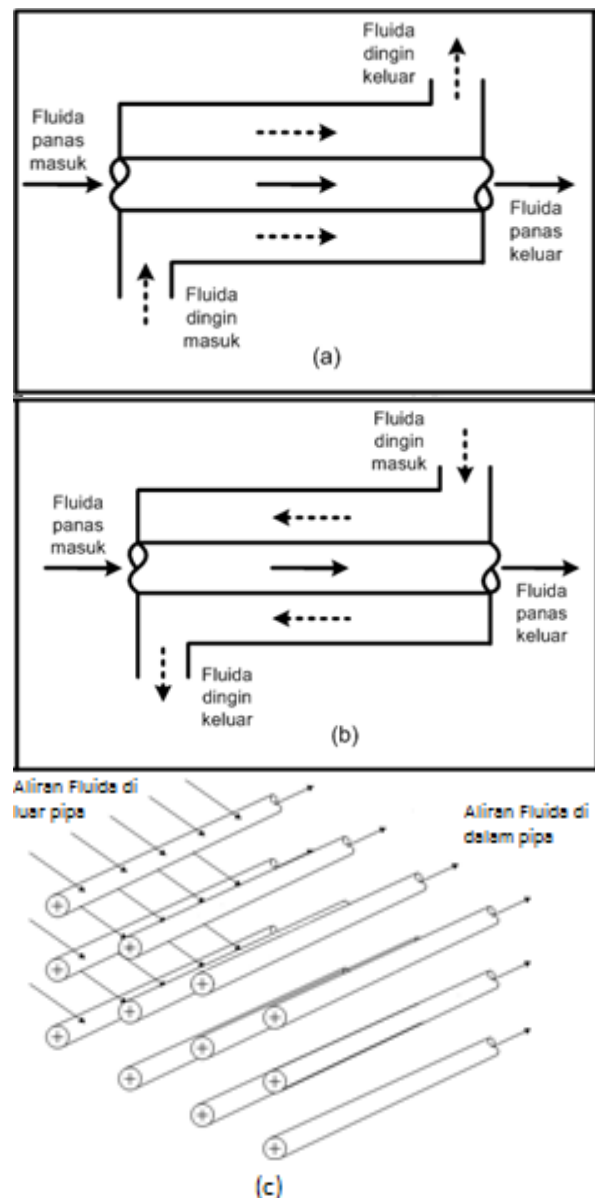
Alat penukar/pemindah panas adalah alat-alat yang digunakan untuk mengubah temperatur fluida atau mengubah fasa fluida dengan cara mempertukarkan panasnya dengan fluida lain. Arti mempertukarkan di sini adalah memberikan atau mengambil panas. Pemahaman teknologi penukar panas membutuhkan pengetahuan dalam bidang termodinamika, mekanika fluida, *heat transfer*, ilmu material dan proses produksi. Penukar panas umumnya merupakan peralatan di mana dua jenis fluida yang berbeda temperaturnya dialirkan ke dalam nya dan saling bertukar panas melalui bidang-bidang perpindahan panas atau dengan cara kontak langsung (bercampur).

Bidang-bidang ini umumnya berupa dinding pipa-pipa atau sirip-sirip yang dipasangkan pada pipa (*fin*). Panas yang dipindahkan di antara fluida tersebut, besarnya tergantung pada kecepatan dan arah aliran, sifat-sifat fisika fluida, kondisi permukaan, luas perpindahan panas dan beda temperatur diantara kedua fluida. Fluida yang mengalir di dalam penukar panas kadang-kadang mengandung zat-zat yang dapat mengendap/mengerak pada permukaan pipa atau

bereaksi dan menyebabkan korosi atau kerusakan lainnya, sehingga *performance* penukar panas dapat menjadi turun.

2.1.1 Jenis-jenis penukar panas

Penukar panas secara garis besar dibagi berdasarkan arah aliran fluidanya. Berdasarkan arah aliran fluida, penukar panas dibedakan menjadi 3 jenis aliran, yaitu : aliran searah (*parallel flow*), aliran berlawanan (*counter flow*) dan aliran silang (*cross flow*) seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.1 (a) Penukar panas aliran searah (paralel flow) (b) Penukar panas aliran berlawanan (counter flow) (c) Penukar panas aliran silang (cross flow)

2.2 Mekanisme Perpindahan Penukar Panas

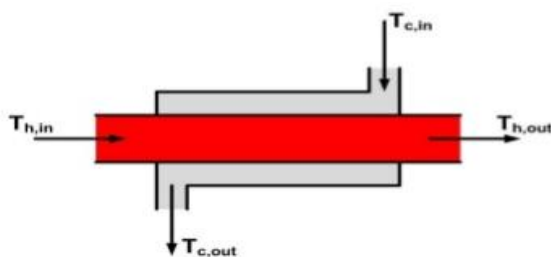
Perpindahan panas terjadi jika terdapat perbedaan temperatur antara dua buah zat, baik padat, cair, maupun gas. Energi dalam bentuk panas berpindah dengan 3 (tiga) macam mekanisme, yaitu secara konduksi, konveksi, dan radiasi. [5]Ikhsan, (2012) Perpindahan panas secara konduksi dan radiasi hanya bergantung dari perbedaan temperatur, sedangkan pada konveksi selain bergantung pada temperatur juga bergantung pada perpindahan massa yang terjadi. Untuk menganalisis perpindahan panas pada penukar panas dalam penelitian ini, mekanisme perpindahan panas yang diperhatikan adalah konduksi dan konveksi, sedangkan mekanisme secara radiasi tidak dominan sehingga dapat diabaikan. Namun pada beberapa kasus, laju perpindahan panas konduksi juga dapat diabaikan, karena sangat kecil dibandingkan konveksi. Secara keseluruhan, mekanisme perpindahan panas yang terjadi di dalam sebuah penukar panas kompak adalah:

1. konduksi melalui dinding pipa
2. konveksi paksa di dalam pipa
3. konveksi paksa di luar pipa

2.3 Perbedaan Temperatur Rata-Rata Logaritma (LMTD)

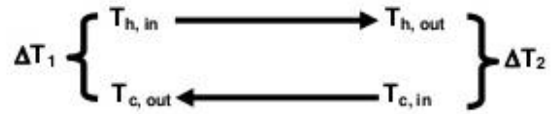
Perbedaan temperatur rata-rata logaritma (LMTD) adalah menentukan nilai perbedaan temperatur yang terjadi pada alat penukar kalor. Penentuan LMTD tergantung pada jenis aliran yang di aplikasikan atas alat penukar kalor tersebut.

2.3.1 LMTD untuk alat penukar kalor berlawanan arah



Gambar 2.3.1 Alat penukar kalor berlawanan arah

2.3.2 LMTD untuk analogi temperatur alat penukar kalor berlawanan arah



Gambar 2.3.2 Analogi temperatur alat penukar kalor berlawanan arah

Maka persamaan :

$$LMTD = \frac{\Delta T1 - \Delta T2}{\ln\left(\frac{\Delta T1}{\Delta T2}\right)} = \frac{(T_{h.in} - T_{c.out}) - (T_{h.out} - T_{c.in})}{\ln\left(\frac{T_{h.in} - T_{c.out}}{T_{h.out} - T_{c.in}}\right)} \tag{2.1}$$

2.4 Keefektifan Temperatur Pada Sisi Fluida

Efisiensi temperature didefinisikan sebagai perbandingan antara perubahan temperature dari fluida dingin dengan perbedaan antara dua temperature inlet fluida.

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \tag{2.2}$$

Dimana :

- t_2 = temperature keluar fluida dingin
- t_1 = temperature masuk fluida dingin
- T_1 = temperature masuk fluida panas

2.5 Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

Untuk alat penukar kalor adalah berpenampang selinder, maka persamaan umum koefisien perpindahan menyeluruh (U). Dapat di kembangkan untuk mengetahui nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh pada sisi dalam dan sisi luar permukaan selinder.

$$U = \frac{1}{1/h_o + 1/h_i} \tag{2.3}$$

Dimana:

- U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh
- H_o = Temperatur keluar fluida panas
- H_i = Temperatur masuk fluida panas

2.6 Luas Permukaan Perpindahan Panas

Konveksi panas pada aliran massa ini dapat juga dipandang sebagai arus panas yang selain bergantung kepada aliran, juga pada luas penampang A, dan pada beda temperature. konduksi panas yang berlangsung di dalam alat penukar kalor, tetapi pada perpindahan panas ini,

jumlah panas yang hilang dari atau berkumpul pada permukaan juga mengambil panas dari atau memberikan panas kepada sekitarnya.

$$A = \frac{Q \times 1000}{U \times LMTD} \quad (2.4)$$

Dimana:

A = Luas Penampang

Q = Laju perpindahan panas

U = Koefisien perpindahan panas

$LMTD$ = Perbedaan temperature rata-rata logaritma

2.7 Laju Perpindahan Panas

Perpindahan panas untuk berbagai tipe penukar panas dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$Q = U \times A \times LMTD \quad (2.5)$$

Dimana:

Q = Laju perpindahan panas

U = Koefisien perpindahan panas

A = Luas Penampang

$LMTD$ = Perbedaan temperature rata-rata logaritma

Berdasarkan kekekalan energy, maka laju perpindahan panas dapat di tentukan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_m &= Q_{out} \\ Q_h &= Q_c \\ i n_h (h_{h,i} - h_{h,o}) &= i n_c (h_{c,i} - h_{c,o}) \end{aligned} \quad (2.6)$$

Dimana :

Q = Laju perpindahan panas

In = Laju aliran massa

H = Enthalpi fluida panas pada sisi aliran masuk

sementara subcribt :

$h:c$ = Menjelaskan sebagai fluida panas dan fluida dingin

$i:c$ = Menjelaskan sebagai aliran masuk dan aliran keluar

2.8 Kinerja Penukar Panas

Dikatakan aliran berlawanan penukar panas ketika arah aliran antara fluida dingin dan fluida panas saling berlawanan. Pada kondisi ini perbedaan temperature antar fluida tidak terlalu signifikan sehingga perpindahan panas sepanjang

aliran relative konstan. Selain itu, pada aliran berlawanan penukar panas memungkinkan bahwa temperature keluaran fluida dingin lebih tinggi dari pada temperature keluaran fluida panas. Pada dasarnya prinsip kerja dari alat penukar kalor yaitu memindahkan panas dari dua fluida pada temperatur berbeda di mana transfer panas dapat dilakukan secara langsung ataupun tidak langsung. Adapun secara kontak langsung dan tidak langsung yaitu:

1. Secara kontak langsung

Panas yang dipindahkan antara fluida panas dan dingin melalui permukaan kontak langsung berarti tidak ada dinding antara kedua fluida. Transfer panas yang terjadi yaitu melalui interfase / penghubung antara kedua fluida.

2. Secara kontak tidak langsung

Perpindahan panas terjadi antara fluida panas dan dingin melalui dinding pemisah. Dalam sistem ini, kedua fluida akan mengalir.

2.9 Perhitungan Efisiensi menggunakan Microsoft Visual Basic 6.0

Microsoft Visual Basic merupakan sebuah bahasa pemrograman yang menawarkan *Integrated Development Environment (IDE)* visual basic untuk membuat program perangkat lunak berbasis system operasi Microsoft Windows dengan menggunakan model pemrograman (COM).

Aplikasi program untuk perhitungan efisiensi alat penukar kalor dengan menggunakan *Microsoft Visual Basic 6.0* adalah untuk :

1. Memberikan pengetahuan tentang aplikasi pemrograman dengan menggunakan *Microsoft Visual Basic 6.0*.
2. Mempelajari dan menciptakan aplikasi program tentang perhitungan efisiensi alat penukar kalor tipe *shell and tube*.
3. Mempermudah penghitungan efisiensi alat penukar kalor tipe *shell and tube*.

Alat penukar kalor sangat dibutuhkan pada proses produksi dalam suatu industri, maka untuk mengetahui unjuk kerja dari alat penukar kalor perlu diadakan analisis. Dengan analisis yang dilakukan dapat diketahui bahwa alat tersebut mampu menghasilkan kalor dengan standar kerja sesuai kebutuhan yang diinginkan.

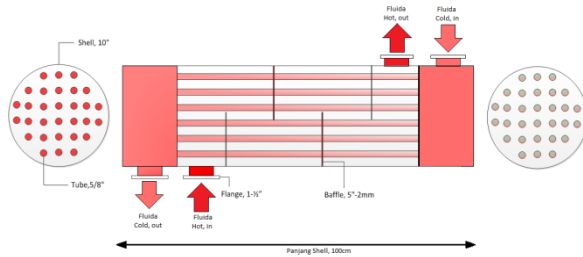
Hasil penelitian ini digunakan untuk mempermudah dalam perhitungan alat penukar kalor tipe *shell and tube* dengan memasukkan perhitungannya ke dalam aplikasi program *visual basic 6.0*.

3. METODELOGI PENELITIAN

3.1 Peralatan Pengujian

Peralatan uji penelitian ini terdiri dari 1 (satu) unit penukar panas aliran berlawanan tipe *shell and tube*. Penukar panas tersebut memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Type : Shell and Tube
- Jenis aliran : Counter Flow
- Dimensi : Shell 10" Carbon Steel
Tube 5/8" Carbon Steel
- Header Inlet : 2 inchi
- Header Outlet : 2 inchi
- Draft Forced : Blower



Gambar 3.1 Penukar panas yang akan direncanakan untuk aliran berlawanan

3.2 Analisa Data Secara Manual dan Pemodelan Komputasi

3.2.1 Analisa Data Secara Manual

Analisa data secara manual sebagaimana persamaan dasar *heat transfer* pada *heat exchanger* $Q = U A LMTD$, maka perhitungan *heat transfer* tergantung pada beda temperatur. Akan tetapi, seperti telah dijelaskan pada bagian sebelumnya beda temperatur bervariasi sepanjang *heat exchanger*. Untuk mengatasi permasalahan ini, digunakan konsep *Log Mean Temperature Difference (LMTD)* pada setiap aliran dengan menggunakan persamaan neraca energy.

3.2.2 Analisa Data Menggunakan Pemodelan Komputasi

Aplikasi program untuk perhitungan efisiensi pemodelan komputasi alat penukar kalor dengan menggunakan *Microsoft Visual Basic 6.0*. Hasil penelitian ini digunakan untuk mempermudah dalam perhitungan alat penukar

kalor tipe *shell and tube* dengan memasukkan perhitungannya ke dalam aplikasi program *visual basic 6.0*.

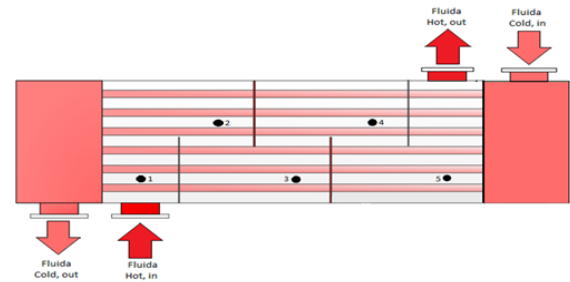
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

Hasil pengujian penukar panas udara selama 45 menit dengan input panas yang konstan, maka diperoleh data pengujian sebagaimana di tunjukkan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.1 Data 1 hasil pengujian penukar panas

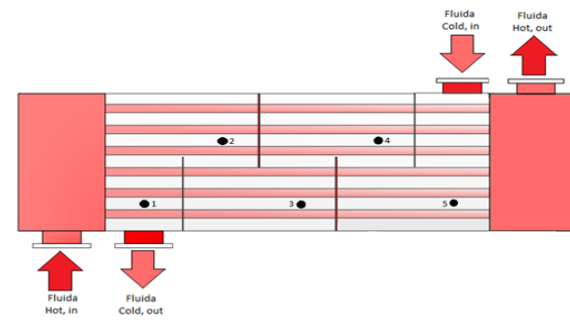
No	Waktu	Inlet Udara Panas		Outlet Udara Panas		Inlet Udara Dingin		Outlet Udara Dingin	
		T (°C)	v (m/s)	T (°C)	v (m/s)	T (°C)	v (m/s)	T (°C)	v (m/s)
1	16.45-17.00	155	2.53	79	2.53	35	2.53	96	2.53
2	17.00-17.15	336	2.53	99	2.53	36	2.53	130	2.53
3	17.15-17.30	347	2.53	103	2.53	39	2.53	139	2.53



Berdasarkan tabel 4.1 pada data 1 pengujian pertama adalah masuknya aliran panas pada sisi tube dengan temperature panas yaitu 155°C dan keluar dengan temperature 79°C. Kemudian masuknya aliran dingin pada sisi shell dengan temperatur 35°C dan keluar dengan suhu temperatur 96°C.

Tabel 4.2 Data 2 hasil pengujian penukar panas

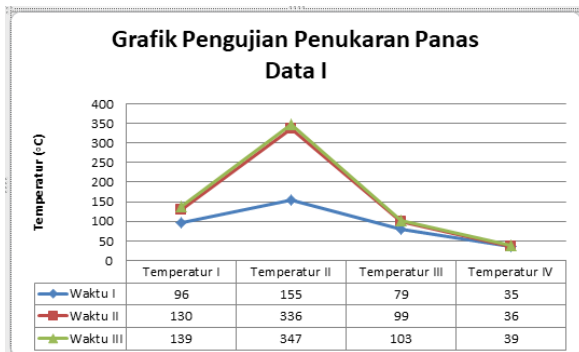
No	Waktu	Inlet Udara Panas		Outlet Udara Panas		Inlet Udara Dingin		Outlet Udara Dingin	
		T (°C)	v (m/s)	T (°C)	v (m/s)	T (°C)	v (m/s)	T (°C)	v (m/s)
1	14.45-15.00	250	2.53	136	2.53	43	2.53	198	2.53
2	15.00-15.15	276	2.53	154	2.53	45	2.53	202	2.53
3	15.15-15.30	338	2.53	163	2.53	47	2.53	244	2.53



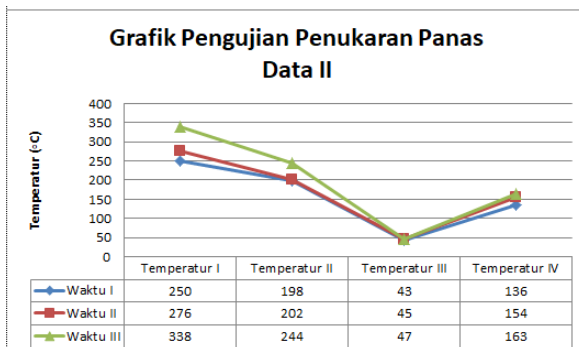
Berdasarkan tabel 4.2 pada data 2 pengujian pertama adalah masuknya aliran panas pada sisi shell dengan temperature panas yaitu 250°C dan keluar dengan temperature 136°C. kemudian masuknya aliran dingin pada sisi tube dengan temperatur 43°C dan keluar dengan suhu temperatur 198°C.

4.2 Analisa Data Hasil Pengujian

Berdasarkan data hasil pengujian Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 maka dapat digambarkan Grafik perbandingan temperature *inlet* dan *outlet* antara penukar panas menggunakan Data 1 dan 2.



Gambar 4.1 Grafik distribusi temperature penukar panas Data 1



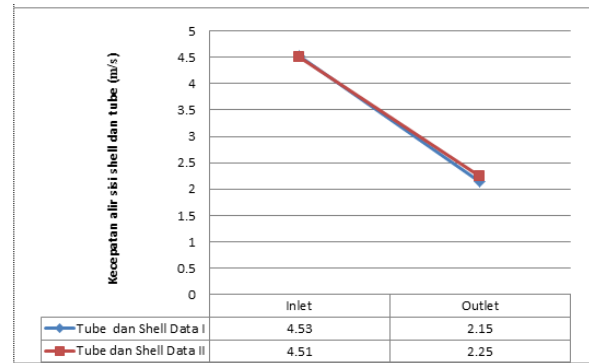
Gambar 4.2 Grafik distribusi temperature penukar panas Data 2

Keterangan:

Waktu untuk pengujian dilakukan 15 menit tahap awal dan seterusnya dengan suhu temperatur yang berbeda.

Berdasarkan Gambar 4.1 dan 4.2 dapat di terangkan bahwa terjadi kenaikan temperatur pada laluan aliran di dalam *shell* dan *tube* penukar panas pada sisi data 1 dan data 2, sebagai akibat bertambah panjang laluan fluida sehingga menambah waktu kontak fluida pemanas dan yang di panaskan.

Grafik garis ini digunakan untuk menggambarkan suatu perkembangan atau perubahan dari waktu ke waktu pada analisa data alat penukar kalor *type shell and tube*. Garfik ini terdiri dari 2 sumbu utama yakni sumbu X dan sumbu Y. Untuk penggunaannya sumbu X digunakan untuk menunjukkan waktu pengamatan. Sedangkan sumbu Y digunakan untuk menunjukkan nilai hasil pengamatan pada waktu-waktu tertentu. Waktu dan hasil pengamatan dikumpulkan dengan titik-titik pada bidang XY.



Gambar 4.3 Kecepatan alir pada sisi *shell* dan *tube* penukar panas

Berdasarkan Gambar 4.3 dapat diterangkan bahwa terjadi kenaikan kecepatan alir pada sisi *inlet* di data 1 dengan kecepatan alir 4.53 m/s dan terjadi penurunan di sisi alir *outlet* dengan kecepatan alir 2.15 m/s. Penurunan kecepatan pada sisi *shell* di sebabkan hambatan aliran akibat adanya barisan *tube* didalam *shell*. Sedangkan penurunan kecepatan pada sisi *tube* disebabkan hambatan aliran pada sisi masuk dan keluar *tube*.

Selanjutnya untuk penukar panas menggunakan data 2 kecepatan alir pada sisi *inlet tube* 4.51 m/s turun menjadi 2.25 m/s pada sisi *shell*. Penurunan kecepatan pada sisi *shell* dan sisi *tube* juga disebabkan oleh hambatan aliran akibat adanya barisan *tube* dan sudu pengarah pada didalam *shell*. Sedangkan penurunan kecepatan pada sisi *tube* disebabkan hambatan aliran pada sisi masuk dan keluar *tube*.

4.3 Perhitungan Harga LMTD Secara Manual

Aliran Panas	Aliran Dingin
Inlet = 155°C	Inlet = 35°C
Outlet = 79°C	Outlet = 96°C

Counter-current Flow

$$\Delta T1 = T \text{ Hot In} - T \text{ Cold Out} = 155.00 - 96.00$$

$$\begin{aligned}
 &= 59.00 \\
 \Delta T_2 &= T_{\text{Hot Out}} - T_{\text{Cold In}} \\
 &= 79.00 - 35.00 \\
 &= 44.00
 \end{aligned}$$

$$\text{LMTD} = 51.13$$

Koefisien perpindahan panas menyeluruh

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i}} = \frac{1}{\frac{1}{79,00} + \frac{1}{155,00}} \\
 &= \frac{1}{0,012 + 0,006} \\
 &= 1/0,018 = 55,5 \text{ W/m}^2
 \end{aligned}$$

Luas penampang permukaan perpindahan panas

$$A = \frac{3.621,2 \times 1000}{55,5 \times 51,13} = 3.621,200/2.837,715$$

$$A = 1,2761 \text{ m}^2$$

Perbedaan temperatur rata-rata logaritma

$$\text{LMTD} = 51,13^\circ\text{C}$$

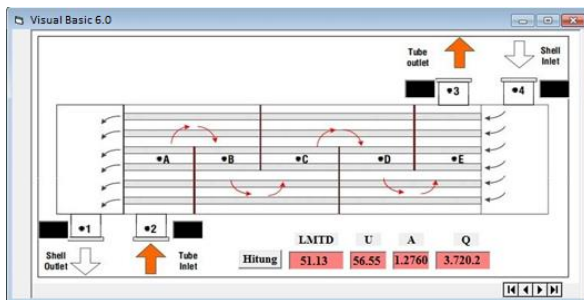
Laju perpindahan panas

$$Q = U \cdot A \cdot \text{LMTD}$$

$$Q = 55,5 \times 1,2761 \times 51,12$$

$$= 3.621,2 \text{ W}$$

4.4 Perhitungan Metode Komputasi Menggunakan Visual Basic 6.0



Gambar 4.3 Hasil perhitungan menggunakan visual basic 6.0

Berdasarkan gambar 4.4 dapat dijelaskan bahwa harga LMTD yang dapat dari hasil komputasi memiliki jumlah nilai yang sama yaitu 51.13. Untuk nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh U perhitungan manual dengan nilai 55.5 sedangkan dengan perhitungan komputasi memiliki nilai 56.5. Untuk nilai Luas penampang permukaan perpindahan panas A perhitungan manual memiliki jumlah nilai 1.2761 cenderung sama dengan nilai komputasi. Laju perpindahan panas Q dengan perhitungan manual memiliki nilai 3.621,2, sedangkan menggunakan perhitungan komputasi memiliki nilai 3.720,2.

Dapat diterangkan bahwa perbandingan nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh U perhitungan manual dan komputasi dengan perbedaan 1%. Selanjutnya perbandingan nilai laju perpindahan panas Q perhitungan manual dan komputasi dengan perbedaan 1%.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Waktu untuk pengujian dilakukan 15 menit tahap awal dan seterusnya dengan suhu temperatur yang berbeda.
2. Dapat diterangkan bahwa perbandingan nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh U perhitungan manual dan komputasi dengan perbedaan 1%. Selanjutnya perbandingan nilai laju perpindahan panas Q perhitungan manual dan komputasi dengan perbedaan 1%.
3. Kecepatan aliran pada sisi masuk dan keluar kedua penukar panas cenderung relatif sama. Terjadi penurunan kecepatan pada *outlet tube* dan *outlet shell* akibat adanya hambatan aliran pada sisi *inlet* dan *outlet* serta susunan *tube* dan *baffle*.
4. Naiknya nilai LMTD dikarenakan naiknya suhu temperatur rata-rata logaritmik antara fluida pemanas dengan fluida yang dipanaskan semakin kecil pada sisi *inlet* dan *outlet*. Hal ini memberi informasi bahwa pelepasan panas (*heatlosses*) semakin kecil yang terbuang sehingga penyerapan panas oleh system sebaliknya menjadi tinggi.

5.2 Saran

Beberapa saran yang mungkin dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Pengujian sebaiknya menggunakan input panas yang konstan.
2. Perlu dilakukan pengukuran temperatur di sepanjang laluan aliran untuk penukar panas yang menggunakan *baffle* untuk mengetahui derajat kenaikan temperatur disepanjang laluan aliran.
3. Pengukuran temperatur pengujian sebaiknya dilakukan secara sistematis dengan menggunakan mode mikrokontroler deteksi suhu.
4. Perhitungan menggunakan program visual basic sebaiknya di tambah inputan beberapa lagi, untuk hasil yang lebih konstan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rk Shah. (2003). *Heat Exchanger Permukaan Padat Dan Fluida*. University of Kentucky.

- [2] Taher., (2003) *Jarak Antar Baffle.. International Communications in Heat and Mass Transfer*, 50, pp. 25-33.
- [3] Bhuiya M.M.K et.al., (2014) *Performa Perpindahan Kalor. International Communications in Heat and Mass Transfer*, 50, pp. 25-33.
- [4] Peiro J.M., (2016). *Experimental Thermal and Fluid Science. Volume 14, Issue 4, May 1997, Pages 442-454. Book.*
- [5] Ikhsan, (2012). *Mekanisme Perpindahan Penukaran Panas*. Politeknik Negeri Bandung.