

KAJIAN EKSPERIMENTAL KELAYAKAN DAN PERFORMA ALAT PENUKAR KALOR TIPE *SHELL AND TUBE SINGLE PASS* DENGAN METODE BELL DELAWARE

Sri Utami Handayani^{*1)}, Didik Ariwibowo^{**1)}, Fauzi Kusuma NH²⁾

¹⁾ PSD III Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang Semarang

²⁾ PT. Bukit Makmur Mandiri Utama, Kalimantan

^{*)} Email : handayani@undip.ac.id, ^{**)} Email : ariwibowo_d@yahoo.com

Abstrak

Peranan Alat Penukar Kalor dalam industri sangat besar, misalnya dipergunakan pada industri makanan, pembangkit tenaga listrik, perminyakan, transportasi, pendingin dan pemanas, dll. Pada umumnya Alat Penukar Kalor berperan dalam peningkatan efisiensi sistem. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa Alat Penukar Kalor tipe Shell and Tube Aliran Tunggal dengan Metode Bell Delaware. Penelitian dilakukan di Lab Konversi Energi PSD III Teknik Mesin Undip secara eksperimental dengan laju aliran pada shell sebesar 5 lpm dan laju aliran pada tube sebesar 10 lpm. Dari hasil perhitungan data diperoleh hasil bahwa nilai effectiveness peralatan adalah berkisar antara 0,4 – 0,5. Sedangkan nilai koefisien perpindahan kalor total alat penukar kalor 132,618 W/m²K.

Kata kunci: penukar kalor, shell and tube single pass, bell delaware

PENDAHULUAN

Alat Penukar Kalor berfungsi untuk mengubah temperatur dan fasa suatu jenis fluida dengan memanfaatkan proses perpindahan panas dari fluida bersuhu tinggi menuju fluida bersuhu rendah atau sebaliknya. Peranan Alat Penukar Kalor sangat besar, misalnya dipergunakan pada industri proses, makanan, pembangkit tenaga listrik, perminyakan, transportasi, pendingin dan pemanas, dll. Pada umumnya Alat Penukar Kalor berperan dalam peningkatan efisiensi sistem. Contohnya melalui heater yaitu alat penukar kalor yang berfungsi memanaskan feed water sebelum masuk ke boiler menggunakan panas dari exhaust steam (uap sisa turbin) atau gas yang telah diekspansikan di turbin gas

Dengan mempertimbangkan pentingnya Alat Penukar Kalor (APK) dalam industri, maka keberadaannya sebagai alat peraga pendidikan menjadi sangat penting. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan dan performa Alat Penukar Kalor yang dibuat di Lab Konversi Energi PSD III Teknik Mesin FT Undip sebagai salah satu alat peraga pendidikan yang dipergunakan pada Praktikum Konversi Energi.

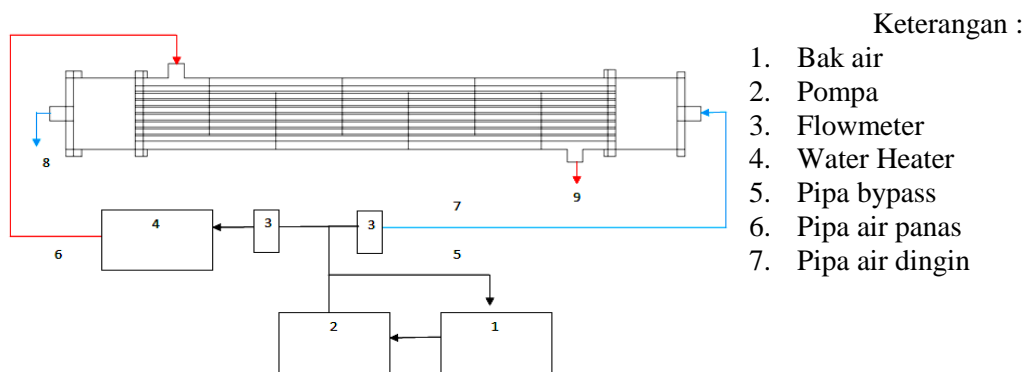
Parameter untuk menentukan performa alat penukar kalor adalah efektivitas thermal, pressure drop dan kecenderungan terjadinya pengotoran (fouling). Pemilihan Alat penukar kalor umumnya didasarkan pada kriteria tertentu seperti : memiliki efektivitas thermal yang tinggi, pressure drop rendah, kehandalan dan umur pakai yang lama serta kualitas produk serta keamanan (Kuppan, 2000)

Ada berbagai macam jenis alat penukar kalor seperti and tube, flat tube, continuous plate fins, fin tube, dll. Dari berbagai jenis tersebut yang paling banyak dipakai adalah jenis and tube (Kern, 1950) Hal ini disebabkan karena beberapa faktor. Antara lain karena jenis and tube memberikan rasio antara luas perpindahan kalor dan volume atau berat fluida yang cukup besar. Jenis ini juga mudah dibuat dalam berbagai ukuran, handal, mudah dibersihkan,serta dapat dimodifikasi untuk permasalahan khusus (TEMA, 1978)

METODOLOGI

Peralatan

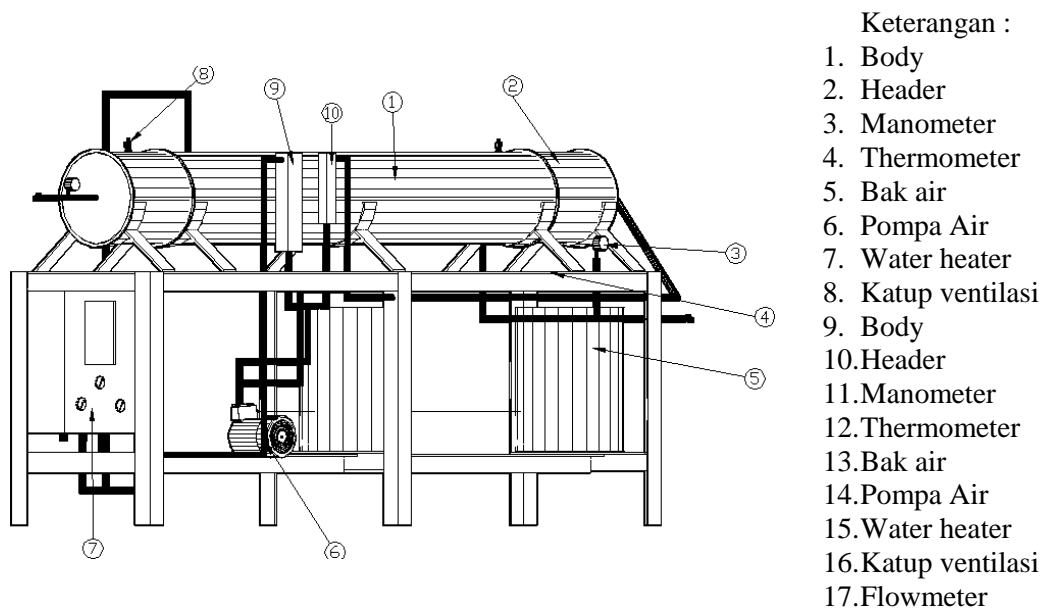
Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini adalah Alat Penukar Kalor tipe shell dan tube dengan satu lintasan aliran, tipe aliran adalah menyilang berlawanan arah dengan skema sebagai berikut :



Gambar 1. Skema aliran fluida

Pada alat penukar kalor yang dipergunakan terdapat dua siklus air, yaitu air panas dan air dingin, keduanya merupakan siklus terbuka. Dari bak air, air dingin dipompa sebagian masuk ke tube dengan melewati flow meter terlebih dahulu. Setelah keluar dari tube air dibuang. Sebagian air dialirkan ke heater dan keluar pada temperatur yang lebih tinggi dan kemudian dialirkan ke bagian shell. Setelah keluar dari pada temperatur yang lebih rendah kemudian air dibuang.

Adapun peralatan yang dipergunakan adalah sebagai berikut (lihat Gambar 1 dan Tabel 1):



Gambar 2. Gambar Peralatan

Prosedur Pengambilan Data

Dalam penelitian ini prosedur yang dilakukan untuk pengambilan data adalah sebagai berikut :

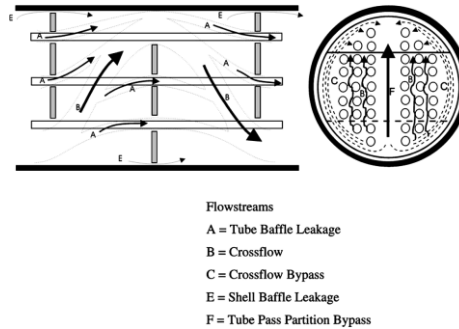
Pompa dinyalakan, dan kemudian heater dinyalakan dengan cara menyambungkan heater dengan tabung gas, heater akan menyala secara otomatis. Alat penukar kalor diisi secara penuh, baik pada sisi shell maupun tube. Kemudian dilakukan pengaturan laju aliran air yang menuju ke shell maupun tube dengan menggunakan katup. Sedangkan temperatur air panas diatur dengan mengatur tombol pada heater. Setelah semua variabel yang diinginkan telah sesuai, hasil pengukuran pada manometer, flowmeter dan termometer dicatat. Untuk mendapatkan data pada suhu dan laju alir yang lain, dapat disesuaikan dengan mengatur tombol pada heater dan katup baik yang menuju ke sisi shell maupun ke sisi tube. Pada penelitian ini data diambil dalam rentang waktu 20 menit, dengan interval waktu tiap data 2 menit.

Tabel 1. Spesifikasi alat

| No | Deskripsi | Notasi | Nilai | Satuan |
|----|-----------------------------|---------------|-------------|-------------------|
| 1 | Diameter inside | D_s | 254 | Mm |
| 2 | Diameter outside tube | $D_{t,o}$ | 19,05 | Mm |
| 3 | Diameter inside tube | $D_{t,i}$ | 17,05 | Mm |
| 4 | Koefisien konduksi pipa | k_t | 40,5 | W/mK |
| 5 | Jarak pitch tube | L_{tp} | 25,4 | Mm |
| 6 | Sudut konfigurasi tube | Θ_{tp} | 90 | ° |
| 7 | Panjang tube | L_{ti} | 1500 | Mm |
| 8 | Jumlah tube | N_t | 52 | Buah |
| 9 | Jumlah baffle | | 6 | Buah |
| 10 | Tinggi baffle cut | L_{bch} | 51 | mm |
| 11 | Baffle cut | B_c | 20,0787 | % |
| 12 | Jarak antar baffle | L_{bc} | 214,376 | mm |
| 13 | Densitas air | r | 1000 | kg/m ³ |
| 14 | Laju alir volume sisi shell | Ψ_{m_s} | 5 | ltr/min |
| 15 | Laju alir massa sisi shell | | 0,08333 | kg/s |
| 16 | Temperatur masuk shell | $T_{s,i}$ | 47 | °C |
| 17 | Temperatur keluar shell | $T_{s,o}$ | 37,6 | °C |
| 18 | Laju alir volume sisi tube | Ψ_t | 2,4,6,8, 10 | ltr/min |
| 19 | Laju alir massa sisi tube | \dot{m}_t | 0,133 | kg/s |
| 20 | Temperatur masuk tube | $T_{t,i}$ | 31,5 | °C |
| 21 | Temperatur keluar tube | $T_{t,o}$ | 37,7 | °C |
| 22 | Jumlah pass shell | $N_{t,o}$ | 1 | |
| 23 | Jumlah pass tube | N_{tp} | 1 | |
| 24 | Clearance dan bundel | L_{bb} | 25,4 | mm |
| 25 | Viskositas dinamik air | m_s | 0,00065 | N/sm ² |
| 26 | Panas spesifik air shell | C_{p_s} | 4,179 | kJ/kg.K |
| 27 | Konduktivitas air shell | $k_{a,s}$ | 0,631 | W/mK |
| 28 | Bilangan Prandtl shell | Pr_s | 4,34 | |
| 29 | Panas spesifik air tube | C_{p_t} | 4,179 | kJ/kg.K |
| 30 | Konduktivitas air tube | $k_{a,t}$ | 0,631 | W/mK |
| 31 | Bilangan Prandtl tube | Pr_t | 5,20 | |
| 32 | Viskositas dinamik air tube | m_t | 0,00077 | Ns/m ² |

Analisa Hasil Penelitian

Data yang diperoleh kemudian dianalisa dengan menggunakan persamaan-persamaan untuk memperoleh koefisien perpindahan kalor serta nilai kalor yang dipindahkan. Ada beberapa persamaan yang bisa digunakan untuk perhitungan tersebut, diantaranya adalah dengan metode Kern (Kern, 2000), namun pada persamaan ini tidak memperhitungkan pengaruh kebocoran dan aliran bypass pada sisi shell. Pada penelitian ini alat penukar kalor yang digunakan memiliki baffle yang dipotong 20%, sehingga aliran yang terbentuk adalah seperti pada gambar 3. Dengan model aliran ini, metode yang lebih sesuai adalah metode Bell Delaware, (Serna and Jimenez, 2005).



Gambar 3. Aliran fluida ketika melintasi baffle

Metode Bell Delaware

Persamaan dasar untuk menghitung koefisien perpindahan kalor rata-rata adalah :

$$h_o = h_{ideal}(J_c J_l J_b J_s J_r) \quad (1)$$

dengan h_{si} adalah koefisien perpindahan kalor untuk aliran silang dengan tube bundle ideal, J_c , J_l , J_b , J_r , dan J_s adalah faktor koreksi untuk sekat yang dipotong, kebocoran pada sekat, aliran bypass pada sekat, aliran laminar dan ketidaksamaan jarak sekat pada sisi inlet dan outlet.

Koefisien perpindahan kalor untuk aliran silang dengan tube bundle ideal adalah sebagai berikut :

$$h_i = \frac{\overline{Nu} \cdot k}{Dt} \quad (2)$$

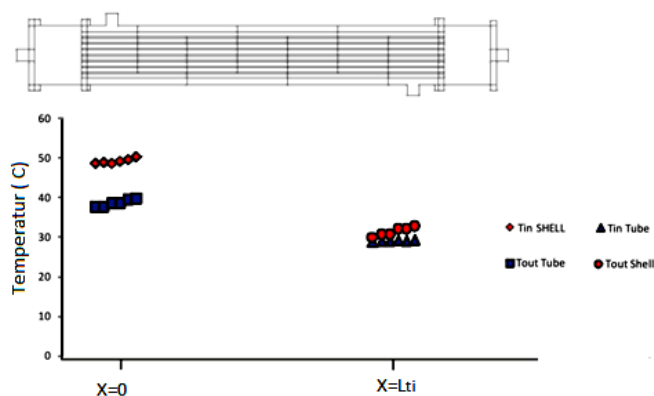
$$\overline{Nu} = a \cdot Re^m \cdot Pr^{0.34} \quad (3)$$

dimana, Nu adalah bilangan Nusselt, k konduktifitas termal fluida dalam pada temperatur rata-rata, Dt diameter luar tube, a dan m konstanta korelasi yang ditentukan berdasar harga bilangan Reynolds dan susunan tube, Re bilangan Reynold dan Pr bilangan Prandtl.

Sebelum menghitung faktor-faktor koreksi di atas, sebaiknya harus diketahui besarnya kebocoran serta luas aliran yang ada pada sisi. Kalkulasi ini meliputi : perhitungan besarnya segmen sekat yang dipotong (jendela sekat), luas aliran jendela sekat, diameter ekivalen hidrolis, jumlah efektif baris tube, jumlah sekat, besarnya by-pass, luas bocoran -baffle, luas bocoran tube-baffle, luas area bundel yang melintang. Persamaan-persamaan yang digunakan telah dituliskan oleh Thome, 2004.

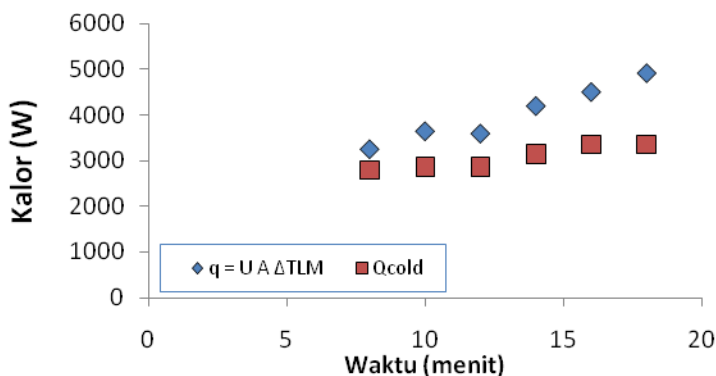
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan metode kalkulasi seperti diatas, performa alat penukar kalor dapat digambarkan pada grafik-grafik berikut ini.

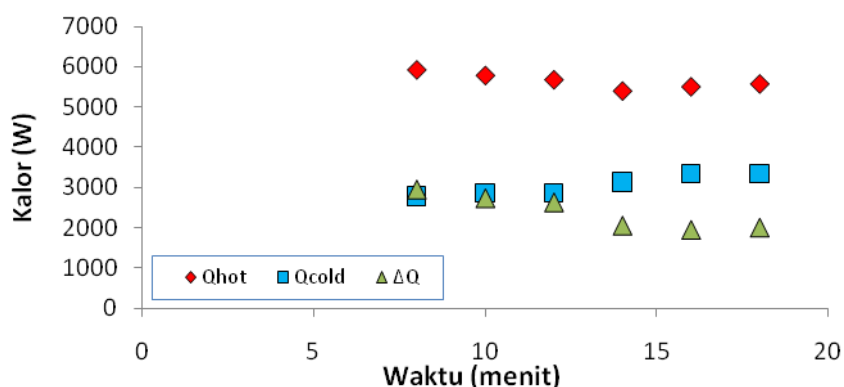


Gambar 4. Temperatur pada sisi inlet shell, sisi outlet shell, sisi inlet tube dan sisi outlet tube

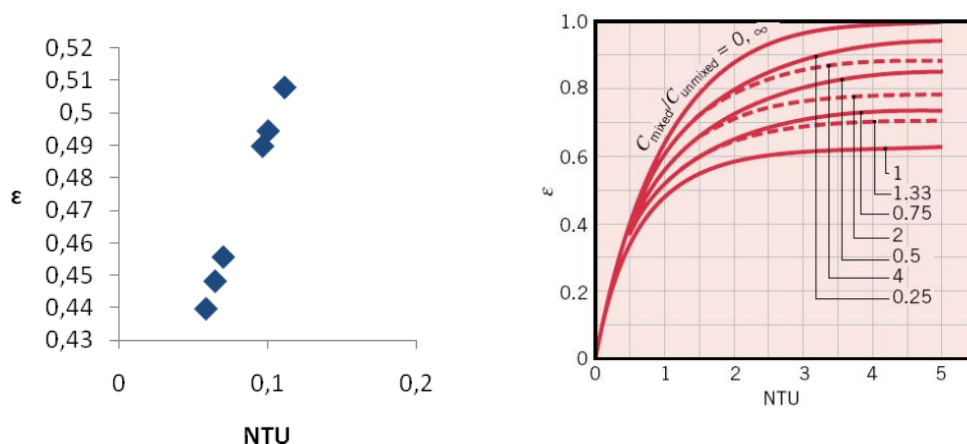
Dari gambar 4 diatas terlihat bahwa temperatur air panas pada sisi inlet shell masih kurang stabil. Hal ini dikarenakan heater yang digunakan memiliki sistem on off otomatis setiap 20 menit, sehingga pada awal dan akhir penyalaan heater temperaturnya menjadi tidak stabil. Data pada awal dan akhir penyalaan heater sebenarnya telah dihilangkan namun pengaruhnya masih terlihat pada data yang lain. Ketidakstabilan temperatur inlet menyebabkan ketidakstabilan temperatur pada sisi keluar dan temperature inlet dan outlet tube.



Gambar 5. Perbandingan antara nilai kalor yang ditransfer oleh fluida sisi shell dengan nilai perubahan energi kalor fluida sisi tube.



Gambar 6. Perbedaan perubahan energi kalor pada fluida sisi shell dan fluida sisi tube



Gambar 7. Perbandingan antara nilai NTU terhadap effectiveness heat exchanger.

Nilai kalor yang dipindahkan dengan variabel laju alir sisi shell 5 lpm dan sisi tube 10 lpm dalam rentang 20 menit proses berjalan berkisar antara 3258 – 4906 W. Dari kurva pada gambar 5 terlihat bahwa nilai kalor yang dipindahkan memiliki selisih yang cukup besar terhadap nilai kalor pada sisi tube. Hal ini menunjukkan adanya kerugian kalor yang timbul pada sisi shell akibat pertukaran kalor dengan lingkungan. Untuk menghindari pertukaran kalor dengan lingkungan maka harus dilakukan isolasi pada sekeliling atau perubahan konfigurasi aliran, dimana fluida panas ditempatkan di sisi tube.

Nilai kalor perubahan energi yang terjadi memiliki kisaran 1955 - 2960 W. Nilai perubahan energi cenderung menurun, nilai pada menit ke 8 lebih tinggi dari pada menit ke 18. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu heat exchanger beroperasi, nilai kalor yang ditransfer semakin besar.

Nilai effectiveness heat exchanger, yaitu dalam rentang 0.4 – 0.5. Sedangkan menurut grafik 4.9, dengan berpatokan hubungan antara NTU dan $C_{mixed}/C_{unmixed}$ diperoleh nilai effectiveness heat exchanger sekitar 0.2. Hal ini menunjukkan bahwa heat exchanger yang didesain memiliki kualitas yang baik karena nilai effectiveness yang dihasilkan lebih tinggi dari nilai effectiveness teoritis.

KESIMPULAN

1. Nilai koefisien perpindahan kalor total adalah sebesar 132.618 W/m² K.
2. Bila dilihat dari nilai effectiveness, alat penukar kalor ini memiliki kualitas yang baik dan layak untuk dipergunakan sebagai alat peraga pendidikan.
3. Nilai kalor yang dipindahkan memiliki selisih yang cukup besar terhadap nilai kalor pada sisi tube, hal ini menunjukkan adanya kerugian kalor
4. Untuk meningkatkan unjuk kerja alat penukar kalor sebaiknya dilakukan beberapa modifikasi seperti perubahan konfigurasi aliran, pemasangan isolator pada sekeliling dan penambahan sensor untuk mengatur kestabilan temperature heater.

DAFTAR PUSTAKA

- Hewitt, G.F, et all, 1994, Process Heat Transfer. CRC Press. USA
Incropera, Fundamental of Heat and Mass Transfer
Kern, D.Q, 1950, Process Heat Transfer, Mc Graw Hill Kohaguka, New York
Kuppan, 2000, T, Heat Exchanger Design Handbook, Marcel Dekker, Inc. New York,
Sitompul, T.M, 1993, Alat Penukar Kalor, PT. Raja Grafindo Persada. Jakarta
Serna, M and Jimenez, A, 2005, A compact formulation of the Bell-Delaware method for heat exchanger design and optimization, Institution of Chemical Engineers, Trans IChemE Part A May 2005, 83(A5): 539–550
Thome, JR, 2004, Engineering Data Book III, Wolverine Tube, Inc, Lausanne, Switserland
Tubular Exchange Manufacturers Association, 1978, Standard of the Tubular Exchange Manufacturers Association, 6th ed., , New York,
Wolverine Tube, Inc., 2001, Wolverine Tube Heat Transfer Data Book, Wolverine Tube, Inc,