

Analisis Perancangan Sebuah Evaporator Jenis *Shell And Tube* Bagi Sistem Pengkondisian Udara

Ramon Trisno¹ & Joko Binangun²

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA, Jakarta.
Jalan Limau II, Kebayoran Baru, Jakarta 12130. Indonesia.
Telp: +62-21-7256659, Fax: +62-21-7256659.

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Pancasila, Jakarta.
Kampus Srengseng Sawah, Jagakarsa
Jakarta 12640, Indonesia
Telp.+62-21-7270086 Ext. 104 dan 112
Fax.:+62-21-7864721/7271868
E-mail: ramontrisno@gmail.com

Abstrak:

Evaporator jenis shell and tube dengan fluida kerja propana (R-290) dan air pada sistem pengkondisian udara dirancang untuk menurunkan temperatur ruangan sebesar 12°C membutuhkan laju perpindahan kalor sebesar 240,86 kW. Untuk kemudian dilakukan langkah perhitungan perancangan dan optimasi sebagai solusi untuk memperoleh hasil disain yang ekonomis dengan jumlah pipa dan diameter shell yang seminimal mungkin.

Kata kunci: pengkondisian udara, sistem tata udara, perpindahan kalor

1 PENDAHULUAN

Penggunaan freon sintetis pada mesin pengkondisi udara akan berdampak negatif terhadap lingkungan. Freon tersebut akan terdifusi pada lapisan stratosfer dan mengalami pemutusan ikatan kimia oleh radiasi sinar ultraviolet sehingga menghasilkan klorida bebas yang dapat mengikat suatu atom oksigen dari molekul ozon (O₃), kemudian mengubahnya menjadi molekul oksigen (O₂).

Salah satu solusi dalam mengatasi permasalahan tersebut adalah mengganti penggunaan freon sintetis dengan freon non sintetis yang ramah lingkungan dengan merancang sistem pengkondisian udara yang menggunakan evaporator jenis *shell and tube* dengan fluida kerja berupa propana (R-290) dan air untuk menurunkan temperatur aliran udara pada koil pendingin sebesar 12°C

Penelitian ini bertujuan untuk merancang evaporator jenis *shell and tube* pada sistem pengkondisian udara dengan fluida kerja propana (R-290) dan air. Pada sistem pengkondisian udara diketahui temperatur aliran udara keluar koil pendingin yang diinginkan adalah sebesar 17°C dengan temperatur aliran udara masuk koil pendingin sebesar 29°C.

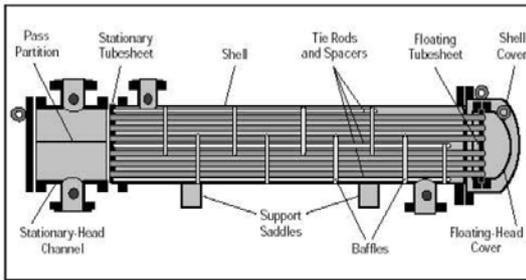
Penelitian ini membatasi perancangan evaporator jenis *shell and tube* menggunakan bahan tembaga yang akan digunakan pada sistem pengkondisian udara untuk gedung bank Resona Perdana lantai 8 di jalan Jend. Sudirman Kav 40-41 Jakarta 10210 Indonesia, dengan luas bangunan ialah 759 m².

2 TINJAUAN PUSTAKA

Alat penukar kalor adalah suatu alat yang dapat menghasilkan perpindahan kalor dari satu fluida ke fluida lain. Proses perpindahan kalor terjadi antara dua fluida yang dipisahkan oleh suatu batas dengan temperatur yang berbeda.

Suatu evaporator dalam sistem refrigerasi adalah alat penukar kalor yang memindahkan panas dari zat yang didinginkan ke refrigeran yang menguap.

Tujuan dari sistem refrigerasi tersebut adalah membebaskan panas dari udara, air, atau beberapa fluida lainnya.

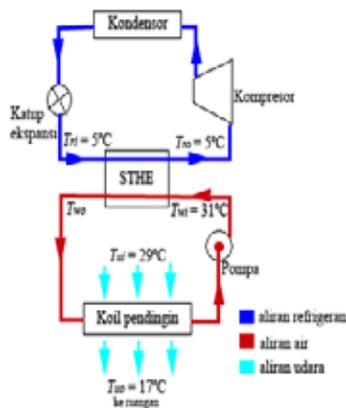


Gambar 1 Komponen-komponen shell and tube

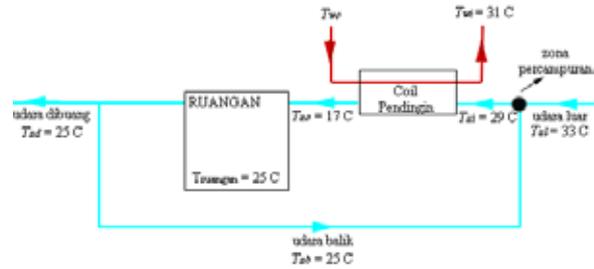
Tujuan utama perhitungan perancangan sebuah alat penukar kalor, termasuk didalamnya evaporator, adalah menentukan dimensi utama tersebut yaitu luas permukaan perpindahan panasnya yang kemudian diwakili oleh besaran jumlah pipa yang harus disediakan dan diameter shell-nya untuk menentukan kriteria perancangan tertentu.

Makalah ini berisi tentang langkah-langkah perhitungan termal perancangan sebuah evaporator jenis shell and tube, langkah utama perhitungan tersebut diawali dengan perhitungan temperatur rata-rata aliran fluida, laju perpindahan kalor, beda temperatur rata-rata logaritmik, diameter shell, jumlah pipa dan lainnya.

Evaporator jenis shell and tube yang menjadi objek studi berfungsi sebagai pendingin aliran air seperti dijelaskan pada skema di bawah ini. Air dingin tersebut kemudian digunakan untuk mendinginkan aliran udara ruangan melalui koil pendingin. Skema sederhana instalasi mesin pendingin tersebut adalah berikut :



Gambar 2 Instalasi mesin pendingin udara ruangan yang menggunakan evaporator jenis shell and tube



Gambar 3 Skema sederhana diagram aliran udara pendingin ruangan

2 ANALISIS PERHITUNGAN

Sebagai langkah awal perhitungan perancangan dibutuhkan data-data kondisi aliran udara yang melewati koil pendingin beserta debitnya, aliran air dingin yang melewati koil pendingin beserta laju alir massanya, dan aliran refrigeran yang melewati evaporator. Perincian data tersebut adalah :

1. Temperatur udara masuk, $(T_{ui}) = 29^\circ\text{C} = 302 \text{ K}$
2. Temperatur udara keluar, $(T_{uo}) = 17^\circ\text{C} = 290 \text{ K}$
3. Temperatur air masuk, $(T_{wi}) = 31^\circ\text{C} = 304 \text{ K}$
4. Temperatur refrigeran masuk, $(T_{ri}) = 5^\circ\text{C} = 278 \text{ K}$
5. Temperatur refrigeran yang keluar, $(T_{ro}) = 5^\circ\text{C} = 278 \text{ K}$
6. Debit udara yang masuk, $(q_u) = 16,89 \text{ m}^3/\text{s}$
7. Laju alir massa air yang masuk, $(\dot{m}_a) = 40 \text{ kg/s}$

Dengan data-data tersebut dapat dilakukan langkah-langkah perhitungan perancangan evaporator jenis shell and tube tersebut.

Besarnya temperatur rata-rata udara dapat diperoleh menggunakan persamaan :

$$T_u = \frac{T_{uo} + T_{ui}}{2} = 296 \text{ K}$$

Maka diperoleh :

- a. Massa jenis aliran udara, $\rho_u = 1,1801 \text{ kg/m}^3$
- b. Kalor jenis aliran udara, $c_{pu} = 1007 \text{ J/kg K}$

Laju perpindahan kalor yang dibutuhkan untuk menurunkan temperatur aliran udara dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$Q_u = \dot{m}_u c_{pu} (T_{uo} - T_{ui}) = 240857 \text{ W}$$

Besarnya temperatur aliran air keluar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$T_w = - \left[\left(\frac{Q_u}{\dot{m}_w c_{pw}} \right) - T_{iw} \right]$$

Pada langkah perhitungan ini harga c_{pw} tidak diketahui, maka dilakukan langkah *trial and error* untuk mencari besarnya harga T_{wo} , sehingga didapatkan $c_{pw} = 4178 \text{ J/kg.K}$ dan $T_{wo} = 302,6 \text{ K}$.

Dari besarnya temperatur rata-rata air tersebut dapat diperoleh sifat aliran air, yaitu:

- Massa jenis aliran air, $\rho_w = 995,57 \text{ kg/m}^3$
- Kalor jenis aliran air, $c_{pw} = 4180,1 \text{ J/kg K}$
- Viskositas dinamik air, $\mu_w = 7,95 \times 10^{-4} \text{ Pa s}$
- Konduktivitas termal aliran air, $k_w = 0,61567 \text{ W/m K}$
- Bilangan Prandtl aliran air, $Pr_w = 5,3988$
- Viskositas kinematik aliran air, $\nu_w = 7,98708 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

Besarnya temperatur rata-rata aliran refrigeran diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$T_r = \frac{T_o + T_i}{2} = 278 \text{ K}$$

Dari besarnya temperatur rata-rata aliran refrigeran tersebut dapat diperoleh sifat aliran refrigeran pada lampiran 3 tabel sifat refrigeran (R-290), yaitu:

- Massa jenis aliran refrigeran, $\rho_r = 522,02 \text{ kg/m}^3$
- Kalor jenis aliran refrigeran, $c_{pr} = 2540,2 \text{ J/kg.K}$
- Viskositas dinamik aliran refrigeran, $\mu_r = 0,00011954 \text{ Pa.s}$
- Konduktivitas termal aliran refrigeran, $k_r = 0,10352 \text{ W/m.K}$
- Bilangan Prandtl aliran refrigeran, $Pr_r = 2,9333$
- Viskositas kinematik aliran refrigeran, $\nu_r = 2,28995 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

Mesin pendingin pada sistem pengkondisian udara ini diasumsikan memiliki temperatur evaporasi sebesar 5°C dan temperatur

kondensasi sebesar 40°C . Sehingga dari tabel sifat termodinamik R-290 (*propane*) didapatkan $h_{g,e} = 578720 \text{ J/kg}$ dan $h_{f,k} = 304480 \text{ J/kg}$.

Besarnya laju alir massa refrigeran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\dot{m}_r = \frac{Q_r}{h_{g,e} - h_{f,k}} = 0,8783 \text{ kg/s}$$

Besarnya nilai beda temperatur rata-rata logaritmik, ΔT_m dapat diperoleh dari persamaan:

$$\Delta T_m = \frac{(T_{iw} - T_o) - (T_w - T_i)}{\ln \left(\frac{T_{iw} - T_o}{T_w - T_i} \right)} = 2,3 \text{ K}$$

Besarnya beda temperatur rata-rata logaritmik dipengaruhi oleh nilai faktor koreksi-nya. Alat penukar kalor jenis *shell and tube* pada umumnya memiliki nilai faktor koreksi sebesar 0,9. Besarnya beda temperatur rata-rata sebenarnya, *LMTD* dapat diperoleh menggunakan persamaan:

$$LMTD = F_c \Delta T_m = 2,7 \text{ K}$$

Dengan menggunakan data tabel hambatan termal fluida dan pemilihan nilai *surface over design*, dimana :

$$\begin{aligned} A_f/A_c &= 1,25 \\ R_{fi} &= 0,0002 \text{ m}^2\text{K/W} \\ R_{fo} &= 0,0001 \text{ m}^2\text{K/W} \\ \Sigma R_f &= 0,0003 \text{ m}^2\text{K/W} \end{aligned}$$

Maka besarnya harga koefisien perpindahan panas global pada kondisi bersih dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$U_c = \frac{\left(\left(\frac{A_f}{A_c} \right) - 1 \right)}{\Sigma R_f} = 833,3 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Kemudian besarnya harga koefisien perpindahan panas global dengan memperhitungkan lapisan *fouling*, U_f dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$U_f = \left(\frac{1}{U_c} + \Sigma R_f \right)^{-1} = 666,6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Besarnya luas permukaan luar pipa dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

$$A_o = \frac{Q_w}{U_f LMTD} = 5,8 \text{ m}^2$$

Dengan menggunakan data hasil perhitungan sebelumnya dan pemilihan beberapa parameter, dimana :

$$CL = 0,875$$

$$PR = 1,25$$

$$CTP = 0,8$$

$$L = 2 \text{ m}$$

$$d_o = 0,00952 \text{ m}$$

Maka, besarnya diameter *shell* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$D_s = 0,637 \left[\frac{CL A_o PR^2 d_o}{CTP L} \right]^{0,5} = 0,229 \text{ m}$$

Sehingga, dari hasil perhitungan diatas, jumlah pipa dapat dihitung dari persamaan :

$$N_i = 0,785 \left(\frac{CTP}{CL} \right) \left(\frac{D_s^2}{PR^2 d_o^2} \right) = 266$$

3 SIMPULAN

Makalah ini membahas tentang perhitungan perancangan bagi sebuah evaporator jenis *shell and tube* yang merupakan komponen utama pada instalasi pengkondisian udara bangunan perkantoran. Sebagai fluida kerja pendingin adalah refrieran R-290, sedangkan media perantaranya adalah aliran air. Rangkaian perhitungan perancangan evaporator tersebut, dengan batasan perancangan tertentu telah ditetapkan sebelumnya. Dari hasil perancangan ini dapat disimpulkan bahwa :

- Evaporator jenis *shell and tube* dengan fluida kerja propana (R-290) dan air dirancang untuk menurunkan temperatur aliran udara pada koil pendingin sebesar 12°C yang membutuhkan laju perpindahan kalor 240,86 kW.
- Temperatur rata-rata aliran refrigeran diperoleh sebesar 278 K, dengan laju aliran sebesar 0,8783 kg/s, didapatkan LMTD sebesar 22,7 K dengan faktor koreksi sebesar 0,9 untuk alat penukar kalor jenis *shell and tube*.
- Dengan memperhitungkan lapisan fouling, didapatkan harga koefisien perpindahan

panas global sebesar 666,67 W/m² K

- Data-data geometrik yang didapat adalah :
 - Luas permukaan pipa = 15,88 m²
 - Diameter shell = 0,229
 - Jumlah pipa = 266

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- [1] Liu Hongtan, Kakac Sadik. *Heat Exchanger Selection, Rating, and Thermal Design*. US: CRC Press (2002).
- [2] Shah Ramesh K, Sekulic Dusan P. *Fundamental Of Heat Exchanger Design*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc (2003).
- [3] Zainnudin, *Studi Eksperimental Efektivitas Alat Penukar Kalor Shell and Tube*. Medan : Universitas Sunatra Utara (2006).
- [4] Pudjanarsa, Astu. *Mesin Konversi Energi*. Surabaya: Penerbit ANDI (2006).
- [5] Cengel. A. Yunus. *Fundamental of Thermal Fluid Sciences*. University of Nevada, Reno (2001).
- [6] Arora CP. 2001. *Refrigeration and air conditioning second edition*. Singapore: Mc Graw Hill.
- [7] <http://sttib.wordpress.com>. 1 juli 2011. 13:27.