

LAJU ALIRAN MASSA AIR PENDINGIN YANG DIPERLUKAN DAN LAJU PERPINDAHAN PANAS DARI REFRIGERAN KE AIR PENDINGIN

Aloysius Eddy Liemena

Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon

Email :

ABSTRAK

Pipa dalam membentuk belokan ganda di dalam tabung untuk meningkatkan luas perpindahan panas. Pertama keseluruhan penukar panas dipilih sebagai volume atur, \dot{Q} menjadi nol oleh karena batas untuk hal ini terletak tepat di bawah isolasi dan sedikit atau tidak ada panas yang melewati batas ini. Kedua hanya satu dari fluida-fluida yang dipilih sebagai volume atur, kemudian panas akan melewati batas ini karena dia mengalir dari satu fluida ke fluida yang lainnya dan \dot{Q} tidak akan menjadi nol. Refrigeran-12 didinginkan oleh air di dalam kondensor. Refrigeran masuk kondensor dengan laju aliran massa sebesar 5,5 kg/min pada 0,9 MPa dan variasi temperatur dari 60⁰ - 80⁰ C dan keluar pada variasi dari 25⁰ - 45⁰ C. Air pendingin masuk kondensor pada 295 kPa dan variasi temperatur dari 5⁰ - 25⁰ C dan keluar pada variasi dari 15⁰ - 35⁰ C. Laju aliran massa dari air pendingin yang dibutuhkan dengan variasi dari 20,9 hingga 20,31 kg/min (menurun). Laju perpindahan panas dari refrigerant ke air pendingin, yang dibutuhkan bervariasi dari 878 hingga 848,75 kJ/min (menurun).

Kata-kata kunci : Kondensor, refrigerant-12 & air pendingin

ABSTRACT

The inner tube made a couple of turns inside the shell to increase the heat transfer area, thus the rate of heat transfer. The first, the entire heat exchanger was selected as control volume, \dot{Q} became zero, since the boundary for this case lay just beneath the insulation and little or no heat crossed the boundary, The second, one of the fluids was selected as the control volume, then heat would cross this boundary as it flew from one fluid to other and \dot{Q} would not be zero. Refrigerant -12 was to be cooled by water in a condenser. The refrigerant entered the condenser with a mass flow rate of 5,5 kg/min at 0,9 MPa and variety of temperature 60⁰ - 80⁰ C and left at variety 25⁰ - 45⁰ C. The cooling water entered the condenser at 295 kPa and variety of temperature 5⁰ - 25⁰ C and left at variety 15⁰ - 35⁰ C. The mass flow rate of the cooling water required was variety 20,9 - 20,31 kg/min (decreased). The heat transfer rate from the refrigerant to water was variety of 878 - 848,75 kJ/min (decreased).

Keywords : Condenser, refrigerant -12 & the cooling water

PENDAHULUAN

Penukar panas adalah alat di mana dua aliran fluida yang bergerak dan bertukar panas tanpa bercampur. Penukar panas digunakan luas dalam berbagai industri, dan dia terdapat dalam banyak rancangan.

Bentuk yang paling sederhana dari suatu penukar panas adalah suatu penukar panas pipa ganda (a double tube) juga disebut penukar panas tabung dan pipa. Dia terdiri dari dua pipa konsentrik dengan diameter berbeda. Satu fluida mengalir didalam pipa dalam, dan yang lainnya dalam ruang anular (the annular space) di antara kedua pipa tersebut. Panas ditransfer dari fluida panas ke yang dingin melalui dinding yang memisahkan kedua fluida itu. Terkadang pipa dalam membentuk suatu belokan ganda di dalam tabung (a couple of turn) untuk meningkatkan luas perpindahan panas. Bentuk penukar panas ini yang akan di analisis laju aliran massa air pendingin dan laju perpindahan panas dari refrigerant ke air. Penukar panas tersebut adalah suatu kondensor untuk mesin pendingin, di mana di dalam pipa

dalam tersebut, mengalir refrigerant-12 sedangkan yang mengalir di dalam tabung berupa air yang akan mendinginkan refrigeran tersebut sehingga refrigerant tersebut mengembun dan akhirnya mencair, kemudian disemprotkan oleh katup ekspansi dan selanjutnya menguap di dalam evaporator.

Prinsip kekekalan massa untuk suatu penukar panas dalam proses aliran ajeg (steady) mensyaratkan bahwa jumlah laju aliran massa yang masuk sama dengan jumlah laju aliran massa yang keluar. Prinsip ini dapat juga dinyatakan sebagai berikut : pada proses aliran ajeg, laju aliran massa dari setiap aliran fluida yang mengalir melalui suatu penukar panas tinggal tetap konstan.

Penukar panas khususnya tidak mengandung interaksi kerja ($w = 0$) dan perubahan energi kinetis dan potensial dapat diabaikan ($\Delta ek = 0, \Delta ep = 0$). Untuk setiap aliran fluida laju perpindahan panas hubungannya dengan penukar panas tergantung pada bagaimana volume atur dipilih. Penukar panas diperuntukkan perpindahan panas di antara dua fluida di dalam alat tersebut, dan dinding tabung terluar biasanya terisolasi baik untuk mencegah kehilangan panas ke lingkungannya

LANDASAN TEORI

Prinsip Kekekalan Massa Untuk Sistem Terbuka

(Massa total yang masuk ke sistem terbuka) dikurangi (massa total yang keluar dari sistem terbuka) sama dengan (perubahan massa di dalam sistem terbuka). Dengan formulasi sebagai berikut :

$$\sum m_{masuk} - \sum m_{keluar} = \Delta m_{sistem-terbuka}. \quad (1)$$

Laju Aliran Massa

Jumlah massa yang mengalir melalui suatu penampang persatuan waktu disebut laju aliran massa dan dinyatakan sebagai berikut :

$$\dot{m} = \rho V_{rerata} A, \frac{kg}{s} \quad (2)$$

dengan : $\rho = \text{kerapatan massa}, \frac{kg}{m^3} = \frac{1}{\nu}$

$V_{rerata} = \text{kerapatan rerata fluida}, \frac{m}{s}$

$A = \text{luas penampang saluran}, m^2$.

Laju Aliran Volume

Volume fluida yang mengalir melalui suatu penampang persatuan waktu disebut laju aliran volume, dan dinyatakan sebagai berikut :

$$\dot{V} = V_{rerata} A, \frac{m^3}{s} \quad (3)$$

Hubungan antara \dot{m} dan \dot{V} adalah :

$$\dot{m} = \delta \cdot \dot{V} = \frac{\dot{V}}{\nu} \quad (4)$$

Prinsip Kekekalan Energi Untuk Sistem Terbuka

(Energi total yang melewati batas sistem berupa panas dan kerja) ditambah (energi total dari massa yang masuk sistem terbuka) dikurangi (energi total dari massa yang keluar dari sistem terbuka) adalah sama dengan (perubahan energi di dalam sistem terbuka). Yang diformulasikan sebagai berikut :

$$Q - W + \sum E_{msk} - \sum E_{klr} = \Delta E_{sistem-terbuka} \quad (5)$$

Kerja Aliran

$$W_{aliran} = F.L = P.A.L = P.V, \text{ kJ.} \quad (6)$$

Sedangkan kerja aliran persatuan massa adalah :

$$W_{aliran} = P.v, \frac{kJ}{kg} \quad (7)$$

2.6. ENERGI TOTAL SUATU FLUIDA YANG MENGALIR PERSATUAN MASSA.

$$\theta = P.v + e$$

= $P.v + (u + ek + ep)$, dan $P.v + u = h$, sehingga :

$$\begin{aligned}
 &= h + ek + ep \\
 &= h + \frac{V^2}{2} + gz, \frac{kJ}{kg}
 \end{aligned} \tag{8}$$

dengan : $P \cdot V$ = kerja aliran persatuan massa, $\frac{kJ}{kg}$.

h = enthalpi persatuan massa, $\frac{kJ}{kg}$.

V = kecepatan rerata, $\frac{m}{s}$.

g = percepatan gravitasi, $\frac{m}{s^2}$.

z = ketinggian system, m.

Proses Aliran Ajeg / Stabil (Steady)

Suatu proses aliran ajeg/stabil adalah suatu proses yang terjadi dalam periode waktu yang lama dengan kondisi yang konstan.

Karakteristiknya antara lain :

Tidak ada perubahan sifat-sifat (intensif atau ekstensif) di dalam sistem terbuka jadi volume V , massa m , dan energi total E dari sistem terbuka tetap konstan selama suatu proses aliran ajeg. Jadi kerja pada batas sama dengan nol untuk suatu sistem aliran ajeg (karena $V_{\text{sistem-terbuka}} = \text{konstan}$).

Kekekalan Massa Untuk Proses Aliran Ajeg / Stabil

Prinsip kekekalan massa dalam bentuk laju dan sistem mempunyai banyak saluran masuk maupun keluar dinyatakan sebagai berikut :

(Massa total yang masuk sistem terbuka persatuan waktu) = (massa total yang keluar dari sistem terbuka persatuan waktu).

Atau :

$$\sum \dot{m}_{\text{masuk}} = \sum \dot{m}_{\text{keluar}}, \frac{kg}{s} \tag{9}$$

Untuk sistem dengan sepasang saluran masuk dan keluar maka persamaan di atas menjadi:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2. \tag{10}$$

atau :

$$\begin{aligned}
 \rho_1 \cdot V_1 \cdot A_1 &= \rho_2 \cdot V_2 \cdot A_2 \\
 \left(\frac{1}{\nu_1}\right) V_1 \cdot A_1 &= \left(\frac{1}{\nu_2}\right) V_2 \cdot A_2
 \end{aligned} \tag{11}$$

dengan : ρ = kerapatan massa, $\frac{m}{V}, \frac{kg}{m^3} = \frac{1}{\nu}$.

ν = volume jenis, $\frac{V}{m}, \frac{m^3}{kg} = \frac{1}{\rho}$.

V = kecepatan rerata dalam arah aliran, $\frac{m}{s}$.

A = luas penampang normal arah aliran, m^2 .

Kekekalan Energi Untuk Proses Aliran Ajeg / Stabil

Untuk proses ini, perubahan energi total di dalam sistem terbuka adalah nol atau $\Delta E_{\text{sistem-terbuka}} = 0$, kemudian untuk sistem dengan banyak saluran masuk dan keluar, prinsip ini dinyatakan sebagai berikut : (energi total yang melewati batas sistem berupa panas dan kerja persatuan waktu) = (energi total yang keluar dari sistem terbuka dengan massa persatuan waktu) dikurangi (energi total yang masuk sistem terbuka dengan massa persatuan waktu). Diformulasikan sebagai berikut :

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{\text{keluar}} \cdot \theta_{\text{keluar}} - \sum \dot{m}_{\text{masuk}} \cdot \theta_{\text{masuk}} \tag{12}$$

dengan : $\theta = h + \left(\frac{V^2}{2}\right) + gz = h + ek + ep$.

Jadi :

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{keluar} \left(h_{keluar} + \frac{V_{keluar}^2}{2} + gz_{keluar} \right) - \sum \dot{m}_{masuk} \left(h_{masuk} + \frac{V_{masuk}^2}{2} + gz_{masuk} \right) \quad (13)$$

Untuk sistem dengan sepasang saluran masuk dan keluar maka didapat :

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \left[h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right]$$

atau :

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} [\Delta h + \Delta ek + \Delta ep], \text{ kw} \quad (15)$$

Kemudian persamaan ini, dibagi dengan \dot{m} menjadi :

$$q - w = \Delta h + \Delta ek + \Delta ep, \frac{kJ}{kg} \quad (16)$$

$$\text{Dengan : } q = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}}$$

$$= \text{perpindahan panas persatuan massa, } \frac{kJ}{kg}$$

$$w = \frac{\dot{W}}{\dot{m}} = \text{kerja persatuan massa, } \frac{kJ}{kg}$$

Jika Δek dan Δep diabaikan maka persamaan kekekalan energi untuk sistem terbuka (volume atur) dengan sepasang saluran masuk dan keluar, yang mengalami proses aliran stabil (a single stream steady flow system), akan menjadi :

$$q - w = \Delta h, \frac{kJ}{kg} \quad (17)$$

METODE PENELITIAN

Metodologi yang dipakai dalam penelitian ini adalah deskriptif yaitu menganalisis proses aliran ajeg / stabil (steady) dari aliran massa refrigerant-12 yang panas lanjut didinginkan oleh air pendingin. Dengan temperature masuk & keluar untuk aliran air & refrigerant-12 berturut-turut adalah T_1 , & T_2 , serta T_3 & T_4 .

Sumber data : table tempertur air jenuh (saturated water temperature Table A-4) dan tabel panas lanjut refrigerant-12 (superheated refrigerant-12 table-13) serta tabel temperatur refrigerant-12 jenuh (saturated refrigerant-12 table A-11).

Analisis data : dari data yang didapat dari tabel temperatur air jenuh, tabel panas lanjut refrigerant-12 serta tabel temperatur refrigerant-12 jenuh diambil enthalpy untuk kedua macam aliran massanya maka dapatlah dihitung laju aliran massa air pendingin yang diperlukan dan laju perpindahan panas dari refrigerant ke air

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menentukan laju aliran massa air, kita pilih keseluruhan penukar panas sebagai volume atur. Dari prinsip kekekalan massa mensyaratkan bahwa laju aliran massa setiap aliran fluida tinggal tetap konstan : Tidak ada perpindahan panas atau kerja yang melewati batas system ($\dot{Q} = 0, \dot{W} = 0$) dan energi kinetis dan potensial dipandang dapat diabaikan ($ek = 0, ep = 0$). Maka persamaan kekekalan energi untuk aliran ini adalah :

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_w$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_R$$

Penukar panas biasanya terisolasi baik. Batas volume atur dipilih terletak di bawah bawah isolasi, sehingga tidak ada panas yang akan melewati batas tersebut. Maka persamaan kekekalan energi terurai menjadi :

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{keluar} \left(h_{keluar} + \frac{V_{keluar}^2}{2} + gz_{keluar} \right) - \sum \dot{m}_{masuk} \left(h_{masuk} + \frac{V_{masuk}^2}{2} + gz_{masuk} \right)$$

$$\dot{Q} = 0, \dot{W} = 0$$

$$V_{masuk}^2 = 0, V_{keluar}^2 = 0$$

$$z_{masuk} = 0, z_{keluar} = 0$$

Jadi :

$$\sum \dot{m}_{masuk} \cdot h_{masuk} = \sum \dot{m}_{keluar} \cdot h_{keluar}$$

atau :

$$\dot{m}_{air} \cdot h_1 + \dot{m}_{refrig} \cdot h_3 = \dot{m}_{air} \cdot h_2 + \dot{m}_{refrig} \cdot h_4$$

penyusunan kembali, didapat :

$$\dot{m}_{air} \cdot (h_1 - h_2) = \dot{m}_{refrig} \cdot (h_3 - h_4)$$

dengan :

$$h_1 = h_{f.pada.T_1} \text{ dan } h_2 = h_{f.pada.T_2}$$

$$h_3 = h_{refrigeran.panas.lanjut} \text{ dan } h_4 = h_{f.pada.T_4}$$

Tabel 1. Hasil perhitungan laju aliran massa air pendingin yang diperlukan & perpindahan panas dari refrigerant-12 ke air pendingin tersebut.

T_1	T_2	T_3	T_4	h_1	h_2	h_3	h_4	\dot{m}_{air}	$\dot{Q}_{refrig-12}$
5	15	60	20	20,98	62,99	219,37	59,7	20,9	878
10	20	65	39	42,01	83,96	223	64,59	20,77	871,3
15	25	70	35	62,99	104,89	226,7	69,55	20,63	864,4
20	30	75	40	83,96	125,79	230,365	74,59	20,48	856,68
25	35	80	45	104,89	146,68	234,03	79,72	20,31	848,75

KESIMPULAN

Air pendingin masuk pada tabung kondensor dengan variasi temperatur, T_1 dari 5 °C hingga 25 °C. Air pendingin tersebut keluar dari tabung kondensor dengan variasi temperatur, T_2 dari 15 °C dengan laju aliran massa sebesar 5,5 kg/min dan pada tekanan 0,9 MPa. Sedangkan refrigerant-12 masuk pipa dalam kondensor dengan variasi temperatur, T_3 dari 60 °C hingga 80 °C dan keluar dari pipa dalam kondensor dengan variasi temperatur T_4 dari 25 °C hingga 45 °C dan dengan tekanan 295 kPa.

Makin meningkatnya temperatur masuknya dan keluarnya aliran air pendingin dan makin meningkatnya temperatur masuk dan keluarnya aliran refrigerant-12 maka makin meningkatnya enthalpinya, laju aliran massa air pendingin serta perpindahan panas dari refrigerant-12 ke air pendingin.

Menurut Cengel & Boles (1994), air pendingin masuk kondensor pada temperatur 15 °C dan keluar dengan 25 °C sedangkan refrigerant-12 masuk kondensor pada temperatur 70 °C dan keluar pada temperatur 35 °C, maka laju aliran massa air pendingin adalah 22,3 kg/min, dan laju perpindahan panas dari refrigerant-12 ke air pendingin sebesar 934,4 kJ/min.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahern J.E., 1980, " The Exergy Method of Energy Systems Analysis ", Wiley, New York.
- Bannister R.L. and Silvestri, G.J., 1989, " The Evolution of Central Station Steam Turbines ", Mechanical Engineering, pp.70-78.
- Black W.Z. and Hartley, J.G., 1985, " Thermodynamics ", Harper & Row, New York.
- Bejan A., 1988, " Advanced Engineering Thermodynamics ", Wiley, New York.
- Cengel Y.A. & Boles M.A., " Thermodynamics An Engineering Approach ", Second Edition, McGraw-Hill Inc, New York.

- Djodihardjo H., 1985, "Dasar-Dasar Termodinamika", PT Gramedia, Jakarta.
- Giles R.V. dan Soemitro, H.W., 1993, Mekanika Fluida dan Hidraulika, Edisi Kedua (SI Metrik), Erlangga, Jakarta.
- Howel J.R. and Buckius, R.O., 1987, "Fundamental of Engineering", McGraw-Hill, New York.
- Jones J.B. and Hawkins, G.A., 1986, "Engineering Thermodynamics", 2nd ed., Wiley, New York.
- Karlekar B.V., 1983, "Thermodynamics for Engineering", Prentice-Hall, Engewood Cliffs, New York.
- Rifkin J., 1980, "Entropy", The Viking Press, New York.
- Shapiro A.H., 1953, "The Dynamics and Thermodynamics of Compresible Fluid Flow", Vol.1, Ronald Press Company, New York.
- Van Wylen G.J. and Sonntag, R.E., 1985, "Fundamentals of Classical Thermodynamics", 3rd ed., Wiley, New York.