

ANALISA SISTEM MESIN PENDINGIN WATER CHILLER YANG MENGGUNAKAN FLUIDA KERJA R12 DENGAN VARIASI PULI KOMPRESOR

Agung Nugroho

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Fatah (UNISFAT)
Jl. Diponegoro 1B Jogoloyo Demak Telpn (0291) 686227

Abstrak : Dunia industri dewasa ini bidang refrigerasi memiliki pertumbuhan yang mantap. Penerapan teknik refrigerasi yang terbanyak adalah refrigerasi industri, ini meliputi pemrosesan, pengawetan makanan, penyerapan panas dari bahan-bahan kimia, perminyakan dan industri petrokimia. Selain itu terdapat penggunaan khusus seperti pada industri manufaktur dan konstruksi. Pada mesin pendingin ini proses pendinginan air (*water chiller*) terjadi pada evaporator, di mana kalor air yang diserap digunakan untuk penambahan kalor refrigeran pada tekanan konstan sehingga penguapan refrigeran menuju uap jenuh. Oleh sebab itu dalam penelitian ini penulis mencoba membahas tentang salah satu terapan dari bidang refrigerasi yaitu pembuatan mesin pendingin *water chiller*

Pembahasan mengenai persiapan alat untuk pengujian yang menyangkut dari segi kekuatan material dan konstruksi tidak dilakukan. Alat ukur buatan pabrik yang digunakan dalam penelitian ini diasumsikan sudah dikalibrasi oleh pabrik pembuatnya, sehingga tidak dibahas. Titik berat dari penelitian ini adalah analisa pengaruh pendinginan pada kondensor terhadap performansi sistem berdasarkan analisa keseimbangan energi, di mana seluruh sifat-sifat termodinamika berkaitan dengan energi. Permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah menganalisa performansi sistem *water chiller* dengan fluida kerja R12 dengan variasi puli kompresor, sedangkan analisa kerusakan alat tidak dibahas.

Kata kunci : Refrigerasi, refrigeran, kondensor, evaporator.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kompresor merupakan salah satu komponen penting dalam mesin pendingin jenis kompresi uap, di mana kompresor berfungsi untuk menaikkan tekanan refrigeran uap jenuh menuju tekanan kondensor.

Kerja kompresor sangat tergantung dari kecepatan putar kompresor. Perubahan kecepatan putaran kompresor akan menyebabkan juga perubahan tekanan yang akan dicapai pada kondensor serta laju aliran masa yang terjadi pada

sistem. Sehingga secara keseluruhan kecepatan putaran kompresor dapat mempengaruhi performansi sistem mesin pendingin.

Oleh sebab itu dalam tugas akhir ini penulis mencoba membahas tentang pengaruh perubahan kecepatan putaran kondensor terhadap unjuk kerja mesin pendingin water chiller.

Pembatasan masalah

Dalam penyusunan Tugas Akhir dengan judul ” Analisa Sistem Mesin Pendingin *Water Chiller* Yang Meng-

gunakan Fluida Kerja R12 Dengan Variasi Puli Kompresor” ini merupakan pengujian dan analisa pengaruh variasi kecepatan putaran kompresor terhadap performansi sistem.

Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

1. Pembahasan mengenai persiapan alat untuk pengujian yang menyangkut dari segi kekuatan material dan konstruksi tidak dilakukan.
2. Alat ukur buatan pabrik yang digunakan dalam tugas akhir ini diasumsikan sudah dikalibrasi oleh pabrik pembuatnya, sehingga tidak dibahas.
3. Titik berat dari tugas akhir ini adalah analisa pengaruh variasi puli motor penggerak kompresor terhadap performansi sistem berdasarkan analisa keseimbangan energi, dimana seluruh sifat-sifat termodinamika berkaitan dengan energi.

Tujuan dan Manfaat Penelitian

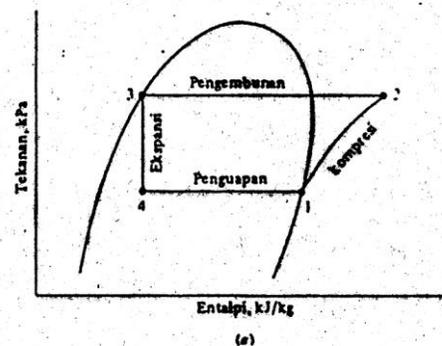
- a. Memahami proses-proses siklus kompresi uap sederhana pada mesin water chiller yang banyak sekali dijumpai dalam dunia industri.

- b. Dapat menyiapkan / merakit alat pengujian mesin pendingin water chiller.
- c. Mengetahui hubungan antara putaran kompresor dengan COP
- d. Mencari performansi sistem mesin pendingin water chiller terhadap pengaruh perubahan kecepatan putran kompresor.

TINJAUAN PUSTAKA

Prinsip Kerja Mesin Pendingin

Dalam sebuah mesin pendingin, refrigeran dialirkan dalam suatu pendinginan melalui pipa-pipa. Pipa-pipa ini terbuat dari tembaga. Hal ini karena tembaga mempunyai sifat logam yang kuat, liat, lunak sehingga mudah dibentuk, tidak berkarat dan penghantar panas yang baik. Prinsip kerja mesin pendingin dapat dilihat pada gambar berikut ini.

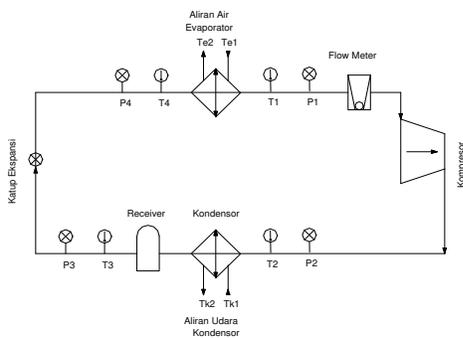


Gambar 1 Prinsip kerja mesin pendingin

Setelah refrigeran keluar dari refrigeran kontrol, refrigeran masuk ke dalam pipa-pipa evaporator. Di dalam evaporator refrigeran mulai menguap, hal ini disebabkan karena terjadi penurunan tekanan yang mengakibatkan titik didih refrigeran menjadi lebih rendah sehingga refrigeran menguap. Dalam evaporator terjadi perubahan fase refrigeran dari cair menjadi gas. Kemudian refrigeran dalam bentuk gas tersebut dialirkan ke kompresor. Di dalam kompresor refrigeran dikompresikan kemudian dialirkan ke kondensor.

Gas (refrigeran) yang mengalir ke kondensor mempunyai tekanan dan temperatur tinggi. Di kondensor refrigeran didinginkan oleh udara luar yang ini berlangsung terus menerus berulang-ulang sehingga didapat temperatur yang diinginkan.

3 Instalasi Peralatan Uji



Gambar 2 : Skema Instalasi Peralatan Uji

Instalasi peralatan uji dirangkai sedemikian rupa agar identik dengan instalasi sistem refrigerasi pendingin air (water chiller) pada umumnya, akan tetapi mempunyai kapasitas yang jauh lebih kecil dari ukuran sebenarnya. Perbedaannya terletak pada penambahan alat ukur yang dipakai untuk menentukan kondisi pada saat pengujian. Adapun pada intinya mampu mewakili dan menggambarkan keadaan sebenarnya dari water chiller.

Instalasi peralatan uji tetap terdiri dari komponen utama sistem refrigerasi yaitu berupa evaporator, kondensor, katup ekspansi dan kompresor yang digerakkan oleh motor listrik 3 fasa dengan daya 3 HP. Alat ukur yang dipakai antara lain termometer alkohol, termometer digital, pressure gauge, anemometer dan flow meter.

Di bawah ini diberikan contoh perhitungan untuk proses daur kompresi uap pada kondisi puli no. 1 (putaran 2480 rpm) posisi kipas no.1 sebagai berikut :

$$T_1 = 3.9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$h_{\text{flow}} = 9 \text{ cm}$$

$$\mu_{\text{ref}} = 0.00001196 \text{ Pa. det}$$

$$\rho_{\text{ref}} = 20.36581 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{bola}} = 2707 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_{\text{ref}} =$$

$$C \left(\frac{(\rho_{\text{bola}} - \rho_{\text{ref}})(r_{\text{bola}} + h \text{tg } \theta)^2}{\mu_{\text{ref}}} \right)$$

=

$$7,1425 \cdot 10^{-8} \left(\frac{(2707 - 20,36581) \left(5 \cdot 10^{-3} + 9 \cdot 10^{-2} \frac{6}{190} \right)^2}{1.196 \cdot 10^{-5}} \right)$$

$$= 9,87 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$m_{\text{ref}} = Q_{\text{ref}} \cdot \rho_{\text{ref}}$$

$$= 9,87 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \times 20.36581 \text{ kg/}$$

m^3

$$= 0.02010 \text{ kg/dt}$$

$$= 159.488 \text{ lbm/jam}$$

DATA HASIL PENGUJIAN

Data ini meliputi kondisi (temperatur dan tekanan) refrigeran pada inlet dan outlet evaporator, kompresor, kondensor dan katup ekspansi. Data ini diperlukan guna menghitung performansi sistem mesin pendingin water chiller seperti : efek refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas kondensasi dan koefisien prestasi (COP).

Prosedur pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali setiap kondisi pengujian, kemudian dirata-rata dengan tujuan didapat data yang lebih akurat.

Adapun data-data pengujian dapat dilihat pada tabel lampiran.

Perhitungan Data

Sebelum dilakukan perhitungan parameter-parameter performansi daur kompresi uap, seperti kerja kompresor, kapasitas evaporator dan kondensor serta COP terlebih dahulu harus dicari nilai-nilai enthalpi pada titik keluaran evaporator, kompresor, kondensor dan katup ekspansi.

Nilai-nilai enthalpi tersebut dicari dengan menggunakan diagram tekanan enthalpi freon 12 (*E.I. du Pont de Nemours Company*, T dalam ° F, v dalam ft³ /lbm, s dalam Btu/lbm.R) atau dengan program CATT.

A. Perhitungan laju aliran masa refrigeran

B. Kapasitas Kondensor

Kondisi refrigeran pada sisi masuk kondensor bertekanan 7.9 Bar (114,58Psia) dan temperatur 62 °C (143.6 °F) mempunyai nilai entalpi 95.57 Btu/ lbm, sedang keluar pada tekanan 7.8 Bar (113,13 Psia) dan temperatur 30 °C (86 °F) mempunyai nilai entalpi 27.7 Btu/ lbm. Maka parameter kapasitas kondensor adalah :

$$q = m_{\text{ref}}(h_2 - h_3)$$

$$\begin{aligned}
 &= 159.488 \times (95,57 - 27,7) \\
 &= 10824,42 \text{ Btu/jam}
 \end{aligned}$$

C. Dampak Refrigerasi

Kondisi keluar katup ekspansi terjadi pada tekanan 2,5 Bar (36,26 Psia) dan -12°C (10.4°F) didapat nilai entalpi sebesar 27,7 Btu/lbm. Sedangkan keluaran *evaporator* terjadi pada tekanan 2,4 Bar (34,809 Psia) dan $3,9^\circ\text{C}$ ($39,02^\circ\text{F}$) dengan nilai entalpi 82,31 Btu/lbm. Maka dampak refrigerasi untuk kondisi ini adalah :

$$\begin{aligned}
 RE &= h_1 - h_4 \\
 &= 82,31 \text{ Btu/lbm} - 27,7 \text{ Btu/lbm} \\
 &= 54,61 \text{ Btu/lbm}
 \end{aligned}$$

Sehingga kapasitas refrigerasi adalah :

$$\begin{aligned}
 q_{\text{evap}} &= m_{\text{ref}} (h_1 - h_4) \\
 &= 159.488 \times (82,31 - 27,7) \\
 &= 8709,618 \text{ Btu/jam}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Kerja Kompresi

Menurut data tabel 4.6, refrigeran masuk kompresor bertekanan 2,4 Bar (34,809 Psia) dengan suhu $3,9^\circ\text{C}$ ($39,02^\circ\text{F}$) maka nilai entalpi yaitu 82,31 Btu/lbm. Sedangkan tekanan keluar kompresor pada 7,9 Bar (114,58 Psia) dengan temperatur 62°C (143.6°F), harga entalpi kondisi ini adalah 95,57 Btu/lbm.

Besarnya parameter kerja kompresi adalah :

$$\begin{aligned}
 W_{\text{kom}} &= h_2 - h_1 \\
 &= 95,57 \text{ Btu/lbm} - 82,31 \text{ Btu/lbm} \\
 &= 13,26 \text{ Btu/lbm}
 \end{aligned}$$

Maka daya kompresor yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned}
 P_{\text{kom}} &= m_{\text{ref}} (h_2 - h_1) \\
 &= 159.488 \times (95,57 - 82,31) \\
 &= 2114,806 \text{ Btu/jam}
 \end{aligned}$$

Koefisien Prestasi (COP)

Harga *Coefficient Of Performace* untuk refrigeran R-12, pada kondisi diatas adalah sebesar :

$$\begin{aligned}
 COP &= \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{RE}{W_{\text{com}}} \\
 &= \frac{(82,31 - 27,7) \text{ Btu/lbm}}{(95,57 - 82,31) \text{ Btu/lbm}} \\
 &= 4.1184
 \end{aligned}$$

PEMBAHASAN DAN ANALISA DATA

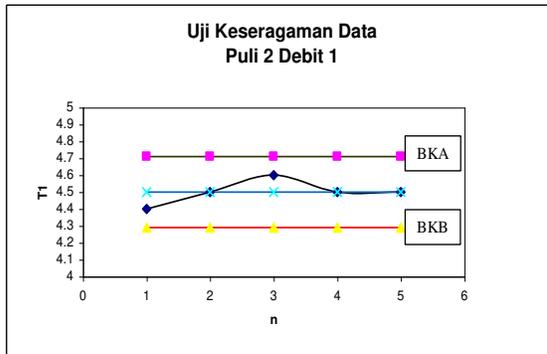
Setelah melakukan pengujian dan penghitungan hasil pengujian yang berupa parameter-parameter performansi sistem, maka kita akan mendapatkan hal-hal penting sebagai berikut :

1. Uji keseragaman data yang dilakukan menunjukkan bahwa data yang didapat tidak ada yang diluar dari BKA (Batas Kendali Atas) dan

BKB (Batas Kendali Bawah) sehingga dapat disimpulkan bahwa data pengujian yang didapat dalam kondisi terkendali.

Dimana :

$$BKA = \text{rata}^2 + 3 * \text{Std Deviasi}$$



$$BKA = \text{rata}^2 - 3 * \text{Std Deviasi}$$

Gambar 3 : Grafik uji keseragaman data T1 pada kondisi Puli 1 Kipas 1

2. Perubahan kecepatan puli kompresor dari P1, P2 sampai P3 dimana $P1 > P2 > P3$. Pada pengujian ini terlihat bahwa kecepatan kompresor semakin besar maka COP semakin turun nilainya, hal ini disebabkan karena peningkatan daya kompresor tidak sebanding dengan peningkatan kapasitas refrigerasi atau dengan kata lain peningkatan kapasitas refrigerasi lebih kecil

dibandingkan dengan peningkatan daya kompresor.

3. Dampak refrigerasi secara umum mengalami penurunan dengan naiknya putaran kompresor, hal ini dikarenakan adanya penurunan temperatur refrigeran pada pengeluaran evaporator.
4. Penurunan COP disebabkan adanya kenaikan putaran kompresor, sehingga kerja kompresi akan mengalami kenaikan harga. Kerja kompresi merupakan faktor pengendali harga COP.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Setelah melakukan pembuatan/prakitan mesin pendingin water chiller, pengujian serta analisa data maka penulis dapat menyimpulkan sebagai berikut :

1. Perubahan kecepatan puli kompresor dari P1, P2 sampai P3 dimana $P1 > P2 > P3$. Pada pengujian ini terlihat bahwa kecepatan kompresor semakin besar maka COP semakin turun nilainya, hal ini disebabkan karena peningkatan daya kompresor tidak

sebanding dengan peningkatan kapasitas refrigerasi atau dengan kata lain peningkatan kapasitas refrigerasi lebih kecil dibandingkan dengan peningkatan daya kompresor.

2. Dampak refrigerasi secara umum mengalami penurunan dengan naiknya putaran kompresor, hal ini dikarenakan adanya penurunan temperatur refrigeran pada pengeluaran evaporator.
3. Penurunan COP disebabkan adanya kenaikan putaran kompresor, sehingga kerja kompresi akan mengalami kenaikan harga. Kerja kompresi merupakan faktor pengendali harga COP.

Saran

1. Dalam melakukan pengujian sebaiknya menggunakan alat pengatur kecepatan motor listrik secara elektrik 3 fasa sehingga akan dapat lebih banyak membuat variasi kecepatan, disamping itu getaran yang terjadi untuk putaran tinggi lebih kecil.
2. Sebelum pengisian refrigeran, sistem harus betul-betul bersih dari kotoran

maupun uap air karena akan mengganggu performansi sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Brodkey, Robert S. dan Hershey, Harry C. *“Transport Phenomena a unified approach”*, Mc Graw Hill, New York, 1988
- Frank Kreith, *“Prinsip-prinsip Perpindahan Panas”*, terjemahan, Erlangga, Jakarta, 1991.
- Holman, J.P, *“Perpindahan Kalor”*, terjemahan, Erlangga, Jakarta, 1994.
- Reynold, W.C dan Perkins, H.C, *“Termodinamika Teknik”*, terjemahan, Erlangga, Jakarta, 1994.
- Soedjono BSc. dan H. Hartanto, *“Teknik Pesawat Pendingin”*, Effhar, Semarang, 1999.
- Stocker, W.F dan Jones, J.W. *“Refrigerasi dan Pengkondisian Udara”*, terjemahan, Erlangga, Jakarta, 1992.
- Sumanto, Drs.M.A, *“Dasar-dasar Mesin Pendingin”*, Andi Offset, Yogyakarta, 1989