

## KARAKTERISTIK KOMPONEN UTAMA PADA MESIN PENDINGIN TIPE WATER CHILLER

Yuhani Djaja dan Marsudi

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UPN "Veteran" Jakarta  
Jl. R.S. Fatmawati, Pondok Labu, Jakarta Selatan – 12450  
Telp. +62 21 7662056

### Abstract

*The main use of cooling machine is to make hotel rooms, offices, houses comfortable, cool and fresh. One type of cooling machine which is widely used is Water Chiller type. In order to get the optimum result of this cooling machine, it must be working in good condition as seen through its performance. To keep this cooling machine always in good condition, periodic and continuous maintenance and repair are needed as shown in the instruction given. Technicians need some knowledge of how the machine works and characteristics of the main component of Water Chiller type and how to maintain. Besides, we also need to compare the price of COP (Coefficient of Performance) between cooling machine of Water Chiller type by using Intercooler and Flash Tank with standard cooling machine.*

**Keywords :** water chiller type , main component , characteristic.

### PENDAHULUAN

Pada saat ini penggunaan mesin pendingin di Indonesia bukan merupakan suatu hal yang baru, seperti pada kenyataannya untuk memenuhi kebutuhan akan kenyamanan dan kesegaran di hotel, kantor, tempat pertemuan, gedung bioskop, di rumah dan lain sebagainya. Tipe mesin pendingin yang akan digunakan tergantung dari jenis tempat, atau ruangan yang

dipakai oleh orang yang membutuhkannya.

Dalam memilih tipe mesin pendingin yang akan digunakan, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan diantaranya adalah kapasitas pendinginan ( $Q_c$ ) atau daya mesin pendingin ( $N$ ), kualitas bahan, harga relatif murah dan mudah dalam perawatannya. Secara teoritis cara kerja dan fungsi utama dari mesin pendingin tipe *Wa-*

ter Chiller, yang mana cara kerja mesin pendingin tersebut mempunyai hubungan yang erat dengan perawatan mesin itu sendiri.

Oleh karena itu penguasaan teori sangat diperlukan dalam menganalisa gejala-gejala yang terjadi dalam kerusakan sehingga dapat dengan cepat menemukan kerusakan-kerusakan yang terjadi tanpa membongkar bagian-bagian mesin yang lain yang sebenarnya tidak perlu dibongkar pada saat reparasi dilakukan. Jadi dengan penguasaan teori dapat membantu para teknisi di lapangan dalam menganalisa gangguan-gangguan yang terjadi, cara memperbaiki alat dan cara memilih alat atau bahan secara tepat dan akurat. Dengan penjelasan tersebut di atas, maka penguasaan teori mesin pendingin tipe Water Chiller mutlak diperlukan bagi para teknisi yang bertugas di lapangan, sehingga gangguan-gangguan yang terjadi di lapangan dapat diatasi.

Selain itu untuk mengetahui perubahan kondisi kerja dari mesin pendingin Water Chiller dilakukan perhitungan besar daya kompresor, laju pelepasan kalor dan harga COP (*Coeficient of Performance*) terhadap tekanan kerja evaporator, sehingga dengan demikian apabila besar beban pendinginan yang diterima evaporator berubah-ubah, maka perlu adanya suatu sistem kontrol yang dapat mengatur perubahan kondisi kerja mesin pendingin Water Chiller. Pemilihan daerah kondisi kerja mesin pen-

dingin Water Chiller, tentunya dipilih yang menghasilkan harga COP yang baik, sehingga membutuhkan konsumsi energi sehemat mungkin.

## PEMBAHASAN

### Pengertian Mesin Pendingin

Penyegaran udara adalah suatu proses mendinginkan udara sehingga dapat dicapai temperatur dan kelembaban yang sesuai dengan yang dipersyaratkan terhadap kondisi udara dari suatu ruangan tertentu. Selain itu, untuk mengatur aliran udara dan kebersihannya. Di beberapa negara, beberapa faktor kesegaran tersebut di atas ditetapkan dalam Undang-undang, yang sesuai dengan tujuan penggunaan ruangan, misalnya digunakan untuk kantor, hotel dan sebagainya.

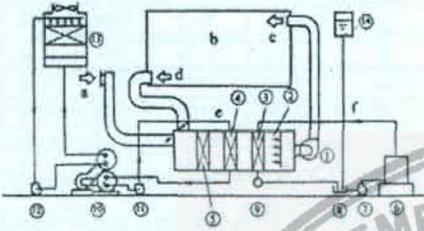
Sistem penyegaran udara pada umumnya dibagi menjadi 2 (dua) bagian utama, yaitu : sistem penyegaran udara untuk kenyamanan yang berfungsi untuk menyegarkan udara ruangan sehingga memberikan kenyamanan kerja bagi orang yang melakukan kegiatan tertentu. Kondisi temperatur dan kelembaban mesin pendingin untuk tempat tinggal dapat dilihat pada tabel 1, dan sistem penyegaran udara yang dipergunakan untuk keperluan industri.

Tabel 1. Kondisi Temperatur dan Kelembaban Tempat Tinggal

Temperatur °C	Kelembaban Relatif %	Jenis Ruangan
27	50 - 55	Tempat tinggal biasa
26	50 - 55	Tempat tinggal mewah, atau ruangan yang dikenai panas radiasi

**Cara Kerja Sistem Penyejatan Udara**

Seperti terlihat pada gambar 1 dibawah ini suatu instalasi pendingin ruangan yang menggunakan alat penyejatan udara (Air Conditioner) tipe Water Chiller.



Gambar 1. Skema Sistem Penyejatan Udara

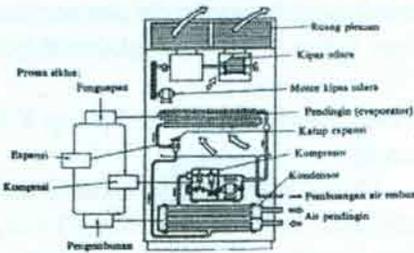
**Keterangan :**

- a. Udara luar
- b. Ruangan
- c. Udara masuk
- d. Udara keluar
- e. Air dingin
- f. Air panas
- 1. Kipas udara
- 2. Pelembab udara
- 3. Koil pemanas udara
- 4. Pendingin udara
- 5. Saringan udara
- 6. Ketel uap
- 7. Pompa air
- 8. Tangki air kondensat
- 9. Penangkap uap
- 10. Mesin refrigerasi
- 11. Pompa sirkulasi air dingin
- 12. Pompa sirkulasi air pendingin
- 13. Menara pendingin
- 14. Tangki ekspansi

**Proses Penguapan (pada Evaporator)**

Tekanan cairan refrigeran yang diturunkan pada katup ekspansi, didistribusikan secara merata ke dalam pipa evaporator. Dalam keadaan tersebut refrigeran akan menguap dan menyerap kalor dari udara ruangan yang dialirkan melalui permukaan luar pipa evaporator. Apabila udara didinginkan (di bawah titik embun), maka air yang ada dalam udara akan mengembun pada evaporator, kemudian ditampung dan dialirkan keluar. Jadi, cairan refrigeran diuapkan secara berangsur-angsur karena menerima kalor sebanyak kalor laten penguapan, selama mengalir di dalam setiap pipa dari koil evaporator. Selama proses penguapan itu, didalam pipa akan terdapat campuran refrigeran dalam fasa cair dan gas. Dalam keadaan tersebut tekanan (tekanan penguapan) dan temperatur (temperatur penguapan) konstan. Oleh karena itu temperaturnya dapat dicari dengan mengukur tekanan refrigeran didalam evaporator. Seperti ditunjukkan pada Tabel C dibawah ini, hubungan antara temperatur dan tekanan penguapan.

**Siklus Kerja Sistem Refrigerasi**



Gambar 2. Siklus Refrigerasi dari Mesin Penyejatan Udara

Tabel 2. Temperatur penguapan dan tekanan penguapan dari beberapa refrigeran

Temperatur Penguapan (°C)	Tekanan (lebih) penguapan (kg/cm <sup>2</sup> )			
	R12	R22	R500	R502
5	2,67	4,97	3,31	5,75
6	2,78	5,15	3,46	5,96
7	2,91	5,35	3,61	6,17

**Proses Kompresi (pada Kompresor)**

Kompresor mengisap uap re-

refrigeran dari ruang penampung uap (header). Di dalam penampung uap, tekanannya diusahakan supaya tetap rendah, supaya refrigeran senantiasa berada dalam keadaan uap dan ber-temperatur rendah. Di dalam kompresor, tekanan refrigeran dinaikkan sehingga memudahkan untuk pencairan kembali. Energi yang diperlukan untuk kompresi diberikan oleh motor listrik yang menggerakkan kompresor. Jadi dalam proses kompresi, energi diberikan kepada uap refrigeran. Pada waktu uap refrigeran diisap masuk ke dalam kompresor, temperaturnya masih rendah, tetapi selama proses kompresi berlangsung, temperatur naik. Jumlah refrigeran yang bersirkulasi dalam siklus refrigerasi tergantung pada jumlah uap yang diisap masuk ke dalam kompresor.

**Proses Pengembunan**

Uap refrigeran yang bertekanan dan bertemperatur tinggi pada akhir kompresi dapat dengan mudah dicairkan dengan mendinginkannya dengan air pendingin yang ada pada temperatur normal. Dengan kata lain, uap refrigeran menyerahkan panasnya (kalor laten pengembunan) kepada air pendingin di dalam kondensor, sehingga mengembun dan menjadi cair. Jadi, karena air pendingin menyerap panas dari refrigeran, maka ia akan menjadi panas pada saat keluar dari kondensor. Selama refrigeran mengalami perubahan dari fasa uap ke fasa cair, dimana terdapat campuran dari refrigeran dalam fasa uap dan cair, tekanan (tekanan pengembunan) dan temperatur (temperatur

pengembunan) konstan. Seperti terlihat pada Tabel D dibawah ini menunjukkan hubungan antara temperatur pengembunan (kondensasi) dan tekanan pengembunan.

Tabel 3. Temperatur pengembunan dan tekanan pengembunan dari beberapa refrigeran

Temperatur Pengembunan (°C)	Tekanan (lebih) pengembunan (kg/cm <sup>2</sup> )			
	R12	R22	R500	R502
30	6,55	11,23	7,94	14,04
35	7,60	12,92	9,19	15,93
40	8,74	14,76	12,06	17,99

Kalor yang dikeluarkan di dalam kondensor adalah jumlah kalor yang diperoleh dari udara yang mengalir melalui evaporator (kapasitas pendinginan), dan kerja (energi) yang diberikan oleh kompresor kepada fluida kerja. Dalam hal penyegaran udara (mesin pendingin) jumlah kalor tersebut kira-kira sama dengan 1,2 kali kapasitas pendinginannya. Uap refrigeran menjadi cair sempurna di dalam kondensor, kemudian dialirkan ke dalam pipa evaporator melalui katup ekspansi. Dalam hal ini, temperatur refrigeran cair biasanya 2 : 3°C lebih rendah daripada temperatur refrigeran cair jenuh pada tekanan kondensasinya. Temperatur tersebut menyatakan besarnya derajat pendinginan lanjut (degree of subcooling).

**Proses Ekspansi (pada Katup Ekspansi)**

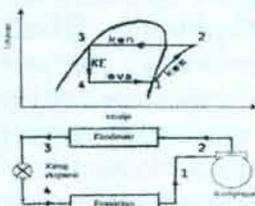
Untuk menurunkan tekanan dari refrigeran cair (tekanan tinggi) yang akan dicairkan di dalam kondensor, agar dapat mudah menguap, maka dipergunakan alat yang dinamakan

katup ekspansi atau pipa kapiler. Alat tersebut terakhir dirancang untuk suatu penurunan tekanan tertentu. Katup ekspansi yang biasa dipergunakan adalah katup ekspansi thermostatik yang dapat mengatur laju aliran refrigeran yaitu agar derajat super panas uap refrigeran di dalam evaporator dapat diusahakan konstan.

Dalam penyegar udara yang kecil, dipergunakan pipa kapiler sebagai pengganti katup ekspansi. Diameter dalam dan panjang dari pipa kapiler ditentukan berdasarkan besarnya perbedaan tekanan yang diinginkan, antara bagian yang bertekanan tinggi dan bagian yang bertekanan rendah, dan jumlah refrigeran yang bersirkulasi. Cairan refrigeran yang mengalir ke dalam evaporator, tekanannya turun dan menerima kalor penguapan dari udara, sehingga menguap secara berangsur-angsur. Selanjutnya, proses siklus tersebut di atas terjadi secara berulang-ulang.

**Teori Dasar Siklus Kompresi Uap Standar**

Seperti terlihat pada Gambar 2 dibawah ini, siklus kompresi uap standar terdiri dari 4 proses utama yaitu : penguapan, kompresi, pengembunan dan throtling/ekspansi.



Gambar 3. Siklus Kompresi Uap Standar

Laju aliran massa  $m_1$  :

$$m_1 = \frac{200}{(h_1 - h_2)}$$

Daya per Ton Refrigeran (TR) yang diperlukan :

$$\text{Daya} = \frac{(h_2 - h_1)}{(h_1 - h_3)} \times 4,717$$

Panas yang dilepas oleh kondensor ( $Q_{kon}$ ) :

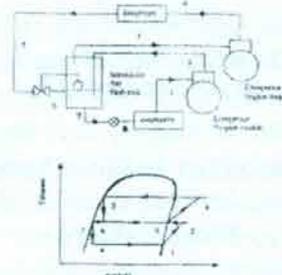
$$Q_{kon} = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_1 - h_3)}$$

Coefficient of Performance (COP) :

$$COP = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_1 - h_3)}$$

**Teori Dasar Kompresi Uap dengan Intercooler dan Flash Tank**

Seperti terlihat pada Gambar 4 dibawah ini, siklus kompresi uap dengan intercooler dalam diagram tekanan-entalpi dan diagram aliran.



Gambar 4. Siklus Kompresi Uap dengan Intercooler dan Flash Tank

Tekanan pertengahan (intermediate pressure) untuk daya total minimum :

$$P_1 = (P_2 \cdot P_1)^{0,5}$$

Laju aliran massa  $m_1$  :

$$m_1 = \frac{200}{(h_1 - h_2)}$$

dimana :  $m_1 = m_2 = m_7 = m_8$

Laju aliran massa  $m_3$  :

$$m_3 = m_2 \frac{(h_2 - h_7)}{(h_3 - h_6)}$$

dimana :  $m_3 = m_4 = m_5 = m_6$

Daya kompresor tingkat rendah (daya-1) :

$$\text{daya-1} = m_1 (h_2 - h_1)$$

Daya kompresor tingkat tinggi (daya-2) :

$$\begin{aligned} \text{daya-2} &= m_3 (h_4 - h_3) \\ &= m_2 (h_4 - h_3) \\ &= m_1 (h_4 - h_3) \end{aligned}$$

Daya total (Daya) :

$$\text{Daya} = \text{daya-1} + \text{daya-2}$$

Laju aliran kalor di kondensor ( $Q_{kon}$ )

$$Q_{kon} = m_4 (h_4 - h_3)$$

Coefficient of Performance (COP) :

$$(h_2 - h_1)$$

COP =

$$m_1 (h_2 - h_1) + m_3 (h_4 - h_3)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{(h_2 - h_1)}{m_1 (h_2 - h_1) + m_3 (h_4 - h_3)} \\ &= \frac{(h_2 - h_1)}{m_1 (h_2 - h_1) + m_2 (h_4 - h_3)} \end{aligned}$$

**Perhitungan dan Pembahasan**

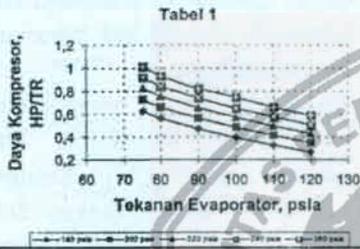
Dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh staf pengajar Unika Atma Jaya, PK. Purwadi dan Wibowo Kusbandono tahun 2001 tentang karakteristik Mesin Pendingin tipe Water Chiller dapat diuraikan dalam pembahasan berikut ini.

Penelitian secara teoritis, dilakukan terhadap siklus kompresi uap standar dan siklus kompresi uap dengan menggunakan Intercooler dan Flash Tank. Daerah tekanan kerja untuk evaporator adalah 180 ÷ 260 psia dan daerah kerja untuk kondensor adalah 75 ÷ 120 psia. Refrigeran pertama dari Mesin Chiller adalah R-22, sedangkan refrigeran kedua yang dipergunakan dalam sistem pengkondisian udara adalah fluida cair. Beban pendinginan total dari Mesin Water Chiller adalah : besarnya kalor yang diterima "refrigeran pertama" dari refrigeran kedua (fluida cair) yang berlangsung di evaporator (dari Chiller). Dari hasil penelitian, kemudian dilakukan perhitungan dan pembahasan dengan menganalisa 3 (tiga) perbandingan utama yang dapat menghasilkan kondisi kerja Water Chiller. Ketiga perbandingan utama tersebut adalah sebagai berikut:

Perbandingan Daya Kompresor (HP/TR) terhadap Tekanan Evaporator (Psia) untuk Mesin Pendingin Water Chiller standar dan dengan menggunakan Intercooler dan Flash Tank, dapat dilihat pada grafik 1 dan 2.

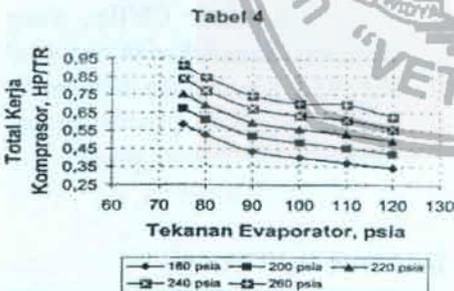
Grafik 1.

Daya Kompresor (HP/TR) terhadap Tekanan Evaporator (Psia) untuk Mesin Pendingin Water Chiller standar



Grafik 2.

Total kerja Kompresor (HP/TR) terhadap Tekanan Evaporator (psia) untuk Mesin Pendingin Water Chiller dengan menggunakan Intercooler dan Flash Tank.



jika dibandingkan dengan daya kerja kompresor (HP/TR) Mesin Pendingin Water Chiller standar.

Perbandingan Laju pelepasan kalor (Ton/TR) terhadap Tekanan evaporator (psia) untuk Mesin Pendingin Water Chiller standar dan dengan menggunakan Intercooler dan Flash Tank, dapat dilihat pada grafik 3 dan 4.

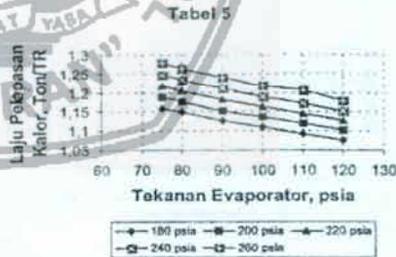
Grafik 3

Laju pelepasan kalor (Ton/TR) terhadap Tekanan evaporator (psia) untuk Mesin Pendingin Water Chiller standar.



Grafik 4.

Laju pelepasan kalor (Ton/TR) terhadap Tekanan evaporator (psia) untuk Mesin Pendingin Water Chiller dengan menggunakan Intercooler dan Flash Tank.



Ternyata bahwa Total kerja kompresor (HP/TR) yang dihasilkan oleh Mesin Pendingin Water Chiller yang menggunakan Intercooler dan Flash Tank mempunyai perbedaan yang "nyata" atau sedikit lebih kecil dalam hal pemakaian Total kerja kompresor pada tekanan evaporator yang sama,

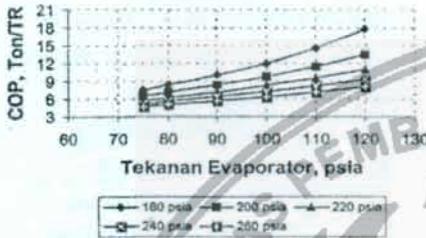
Ternyata bahwa laju pelepasan kalor (Ton/TR) yang dihasilkan oleh Mesin Pendingin Water Chiller yang menggunakan Intercooler dan Flash Tank menunjukkan pelepasan panas yang lebih besar pada tekanan evaporator yang sama, jika dibandingkan dengan laju pelepasan kalor (Ton/TR) Mesin Pendingin Water Chiller standar.

Perbandingan COP (Ton/TR) terhadap Tekanan evaporator (psia) untuk Mesin Pendingin Water Chiller standar dan dengan menggunakan Intercooler dan Flash Tank, dapat dilihat pada grafik 5 dan 6.

Grafik 5.

COP (Ton/TR) terhadap tekanan evaporator (psia) untuk Mesin Pendingin Water Chiller standar.

Tabel 3



Grafik 6.

COP (Ton/TR) terhadap tekanan evaporator (psia) untuk Mesin Pendingin Water Chiller dengan menggunakan Intercooler dan Flash Tank.

Tabel 6



Ternyata bahwa besar harga COP yang dihasilkan oleh Mesin Pendingin Water Chiller yang menggunakan Intercooler dan Flash Tank menunjukkan harga COP yang lebih besar pada tekanan evaporator yang sama, jika dibandingkan dengan besar harga COP pada Mesin Pendingin Water Chiller standar.

SIMPULAN

Simpulan yang dapat ditarik dari hasil analisis karakteristik komponen utama pada mesin pendingin tipe water chiller adalah :

- Dengan mengetahui prinsip kerja dasar secara teori dan memahaminya dari Mesin Pendingin tipe Water Chiller, maka akan dapat membantu para teknisi di lapangan dalam hal perawatan dan perbaikan.
- Besar harga COP yang dihasilkan Mesin Pendingin Water Chiller dengan siklus kompresi uap yang menggunakan Intercooler dan Flash Tank mempunyai harga yang lebih besar dari harga COP yang dihasilkan oleh Mesin Pendingin Water Chiller standar.
- Perubahan kondisi kerja Mesin Pendingin Water Chiller, yang meliputi harga tekanan evaporator maupun tekanan kondensor dapat mengikuti perubahan besarnya beban pendinginan.

DAFTAR PUSTAKA

R.S. Khurmi, J.K Gupta, 1995, *Refrigerating and Air Conditioning*, Eurasia Publishing House (P) Ltd, New Delhi.

Richard C. Jordan dan Gayle B. Pries-ter, 1985, *Refrigeration & Air Conditioning*, Prentice Hall of India, Private Limited, New Delhi-110001.

Sumanto, 1989, *Dasar-dasar Mesin Pendinginan*, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta.

Wiranto Arismunandar, Heizo Saito, 1980, *Penyegaran Udara*, Penerbit Pradnya Paramita, Jakarta.

....., *Ashrae Guide and Data Book*, 1963, *Application, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*.

....., *Ashrae Handbook and Product Directory*, 1978, *Application American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers*.

