

**UNJUK KERJA SISTEM AIR-COOLED CHILLER
DENGAN EVAPORATOR JENIS SPIRAL MENGGUNAKAN REFRIGERAN HCR-22**

Syaiful¹⁾

Abstrak

Refrigeran sintetik mempunyai karakteristik dan sifat tidak berbau, tidak beracun dan mudah diperoleh sehingga harganya murah. Refrigeran sintetik yang langsung mendominasi pasaran baru-baru ini diketahui memiliki sifat merusak lingkungan terutama yang mengandung senyawa CFC seperti R-12 dan R-13. Kesadaran akan kelestarian lingkungan inilah yang akhirnya membuat refrigeran hidrokarbon kembali digunakan. Refrigeran hidrokarbon memiliki sifat tidak merusak lingkungan tetapi mempunyai kelemahan yaitu sifatnya yang mudah terbakar, namun dengan perkembangan teknologi hal ini dapat diatasi. Salah satu solusi untuk menjaga keamanan sistem refrigerasi yang menggunakan refrigeran hidrokarbon adalah dengan cara membuat refrigeran tidak berhubungan langsung dengan ruang yang akan dikondisikan. Refrigeran digunakan untuk mendinginkan air (refrigeran sekunder) sehingga mencapai temperatur tertentu, kemudian refrigeran sekunder tersebut dialirkan ke koil-koil pendingin yang berada di dalam ruangan (fan coil unit).

Hasil dari penggunaan refrigeran hidrokarbon type 22 (HCR 22) ini adalah COP yang mempunyai kecenderungan naik oleh karena kenaikan temperatur keluar evaporator (T_1). Dimana pada temperatur keluar evaporator (T_1) -5°C dan 10°C , COP-nya masing-masing adalah sebesar 3,22 dan 3,98. Maka kenaikan COP dari temperatur keluar evaporator (T_1) -5°C menjadi 10°C adalah sebesar 23,6 %. Data tersebut diambil pada nilai temperatur kondensor 29°C .

Abstract

Synthetic Refrigerant has the characteristic, that are nature of odourless, easy to get in everywhere and nontoxic so the price is cheap. The Domination of Refrigerant Synthetic has known about property of character that environmental will damage especially compound CFC inside, like R-12 and R-13. Finally, this Continuity Awareness will be uninterrupted environmental that making the refrigerant hydrocarbon return used. Refrigerant Hydrocarbon hasn't characteristic destroy the environment, but have some weakness that is flammable in character, nevertheless with the technological growth this matter can be overcome. One of the solution to take care of the security of system refrigeration that using refrigerant hydrocarbon is by making refrigerant not in direct correlation with the room which it's condition of. Refrigerant used to make cool the water (secondary refrigerant) until getting the certain temperature, and then the secondary refrigerant poured into coils cooler residing in the room (fan coil unit).

Result from used refrigerant hydrocarbon type 22 (HCR 22) is the COP which having tendency go up because of increasing the temperature go out the evaporator (T_1). Where it's temperature go out the evaporator (T_1) -5°C and 10°C , every COP were equal to 3,22 and 3,98. So increasing COP from temperature go out the evaporator (T_1) -5°C becoming 10°C it's about 23,6 %. Those data is taken from value of condensor temperature 29°C ..

NOMENKLATUR

Simbol	Definisi	Satuan
COP	Koefisien Prestasi	
h	Entalpi	kJ/kg
h ₁	entalpi refigeran pada titik 1	kJ/kg
h ₂	entalpi refigeran pada titik 2	kJ/kg
h ₃	entalpi refigeran pada titik 3	kJ/kg
h ₄	entalpi refigeran pada titik 4	kJ/kg
•		
m	laju aliran massa	kg/det
•		
m _{ref}	laju aliran massa refrigeran	kg/det
P ₁	tekanan keluar evaporator	Mpa
P ₂	tekanan masuk kondensor	Mpa
P ₃	tekanan keluar kondensor	Mpa
P ₄	tekanan masuk evaporator	Mpa
q	Laju aliran energi dalam bentuk kalor	J
q _c	Laju aliran kondensasi	w

q _e	Laju aliran evaporasi	w
RE	Efek refrigerasi	kJ/kg
T ₁	Temperatur keluar evaporator	$^{\circ}\text{C}$
T ₂	Temperatur masuk kondensor	$^{\circ}\text{C}$
T ₃	Temperatur keluar kondensor	$^{\circ}\text{C}$

PENDAHULUAN

Salah satu pengembangan dalam pengkondisian udara adalah pemanfaatan sistem refrigerasi tidak langsung (*indirect heat transfer*) dimana *refrigerant* sebagai bahan pendingin tidak kontak langsung dengan beban yang akan didinginkan namun melalui media pendingin lain yaitu berupa air yang mengalir bersirkulasi menuju beban melewati koil-koil pendingin.

Sistem yang lebih dikenal dengan istilah *air-cooled chiller*. *Chiller* banyak digunakan untuk pemakaian beban pendinginan yang besar seperti hotel, rumah sakit besar, supermarket dan lain sebagainya. Salah satu parameter yang mempengaruhi unjuk kerja sistem pendingin ini adalah beban pendinginan yang

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

diterima oleh media air sebagai media pendingin beban karena akan mempengaruhi temperatur keluar evaporator. Pada evaporator akan terjadi perpindahan panas antara refrigerant dengan air. Perubahan beban yang menyebabkan adanya perubahan pada temperatur keluar evaporator serta unjuk kerja parameter lain yang sedang penulis pelajari dalam penelitian ini.

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui unjuk kerja sistem *air-cooled chiller* dengan evaporator jenis spiral yang menggunakan refrigeran HCR-22. Selain itu penelitian ini juga dimaksudkan untuk mendapatkan karakteristik kompresor rotary hermetik dengan perubahan temperatur isap dan temperatur keluar kondensor.

DASAR TEORI

PRINSIP KERJA PENDINGIN AIR

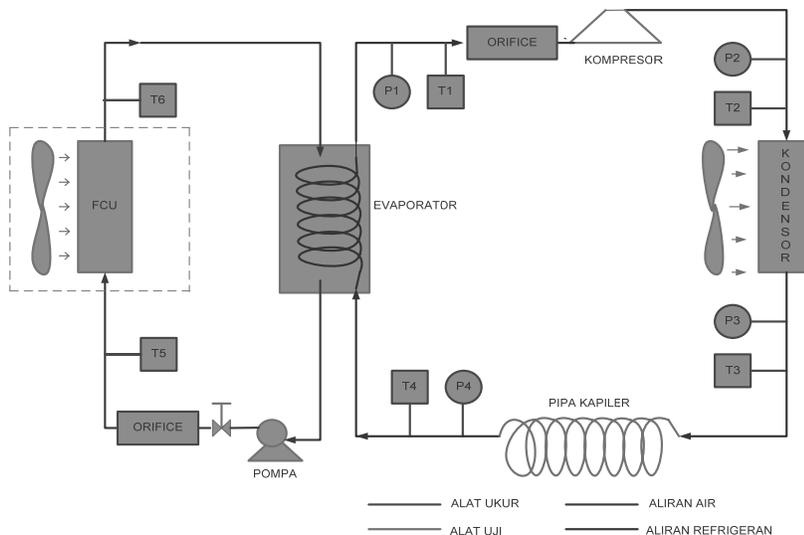
Pada dasarnya prinsip kerja pendingin air atau *air-cooled chiller* sama seperti sistem pendingin yang lain seperti AC dimana terdiri dari beberapa komponen utama yaitu evaporator, kondensor, kompresor serta alat ekspansi. Pada evaporator dan kondensor terjadi pertukaran kalor. Pada *air-cooled chiller* terdapat air sebagai refrigeran sekunder untuk mengambil kalor dari bahan yang sedang didinginkan ke evaporator. Air ini akan mengalami perubahan suhu bila menyerap kalor dan membebaskannya di evaporator.

Gambar 2.1 diperlihatkan skema *air-cooled chiller* dimana air dingin yang dihasilkan digunakan untuk mendinginkan ruangan dengan media aliran angin dari sebuah fan.

Secara umum prinsip kerjanya adalah sebagai berikut. Refrigeran didalam kompresor dikompresikan kemudian dialirkan ke kondensor. Refrigeran yang mengalir ke kondensor mempunyai tekanan dan temperatur yang tinggi. Di kondensor refrigeran didinginkan oleh udara luar disekitar kondensor sehingga terjadi perubahan fase dari uap menjadi cair. Kemudian refrigeran mengalir menuju pipa kapiler dan terjadi penurunan tekanan.

Setelah keluar dari pipa kapiler, refrigeran masuk ke dalam 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 uap. Pada evaporator ini terjadi perpindahan kalor yang bersuhu rendah, dimana air didinginkan oleh refrigeran. Kemudian refrigeran dalam bentuk uap tersebut dialirkan ke kompresor kembali.

Di dalam evaporator, air sebagai bahan pendingin sekunder yang telah didinginkan sampai temperatur tertentu kemudian dialirkan oleh sebuah pompa menuju coil-coil pendingin dalam ruangan. Air ini akan bersirkulasi terus menerus selama sistem pendingin bekerja.



Gambar 1 : Diagram alir peralatan uji *water chiller*

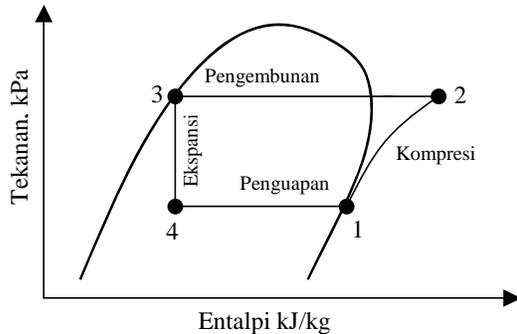
SISTEM KOMPRESI UAP

Daur Kompresi Uap Standar (Teoritis)

Daur kompresi uap standar merupakan siklus teoritis, dimana pada siklus tersebut mengasumsikan beberapa proses sebagai berikut :

- 1 – 2 merupakan proses kompresi adiabatik dan reversibel, dari uap jenuh menuju ke tekanan kondensor.
- 2 – 3 merupakan proses pelepasan kalor reversible pada tekanan konstan, menyebabkan penurunan panas lanjut (*desuperheating*) dan pengembunan refrigerasi.

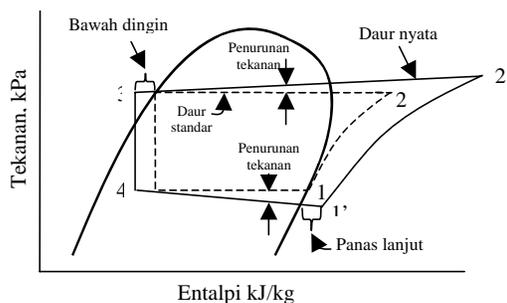
- 3 – 4 merupakan proses ekspansi *unreversibel* pada entalpi konstan, dari fase cair jenuh menuju tekanan evaporasi.
- 4 – 1 merupakan proses penambahan kalor reversibel pada tekanan konstan yang menyebabkan terjadinya penguapan menuju uap jenuh.



Gambar 2 : Diagram Tekanan-entalpi siklus kompresi uap

Daur Kompresi Uap Aktual

Daur kompresi uap yang sebenarnya (aktual) berbeda dari siklus standar (teoritis). Perbedaan ini muncul karena asumsi – asumsi yang ditetapkan dalam siklus standar. Pada siklus aktual terjadi superheat atau pemanasan lanjut uap refrigeran yang meninggalkan evaporator sebelum masuk ke kondensor. Pemanasan lanjut ini terjadi akibat tipe peralatan ekspansi yang digunakan atau dapat juga karena penyerapan panas dijalar masuk (*suction line*) antara evaporator dan kompresor. Pemanasan lanjut yang terjadi pada evaporator juga merupakan sesuatu yang menguntungkan karena peristiwa ini dapat mencegah refrigeran yang masih dalam fase cair memasuki kompresor. Begitu juga dengan refrigeran cair mengalami *subcooling* pendinginan lanjut atau bawah dingin sebelum masuk katup ekspansi atau pipa kapiler. *Pendinginan lanjut* yang terjadi pada kondensor merupakan peristiwa yang normal dan menguntungkan karena dengan adanya proses ini maka refrigeran yang memasuki katup ekspansi seluruhnya dalam keadaan cair, sehingga menjamin efektifitas alat ini.



Gambar 3 : Perbandingan siklus aktual dan siklus standar

Perbedaan yang penting antara daur nyata (aktual) dan standar terletak pada penurunan tekanan didalam kondensor dan evaporator. Daur standar dianggap tidak mengalami penurunan tekanan pada kondensor dan evaporator, tetapi pada daur nyata terjadi penurunan tekanan karena adanya gesekan antara refrigeran dengan dinding pipa. Akibat dari penurunan tekanan ini, kompresi pada titik 1 dan 2 memerlukan lebih banyak kerja dibandingkan dengan daur standar.

REFRIGERAN

Dalam sistem refrigerasi, refrigeran yang ideal minimal mengikuti sifat- sifat :

1. Tekanan Penguapan positif
Tekanan penguapan positif mencegah kemungkinan terjadinya kebocoran udara kedalam sistim selama selama operasi.
2. Tekanan pembekuan yang cukup rendah.
3. Suhu pembekuan harus cukup rendah, agar pemadatan refrigerant tidak terjadi selama operasi normal.
4. Daya larut minyak pelumas
Minyak yang digunakan sebagai pelumas dalam refrigerator, terutama pada sistim, harus mudah larut, karena bersentuhan langsung dengan refrigeran.
5. Refrigeran yang murah.
6. Tidak mudah terbakar.
Uap refrigeran tidak boleh terbakar atau mengakibatkan kebakaran pada setiap konsentrasi dengan udara.
7. Mempunyai tekanan kondensasi yang tidak terlalu tinggi, karena dengan tekanan kondensasi yang tinggi memerlukan kompresor yang besar dan kuat, juga pipa-pipa harus kuat dan kemungkinan terjadinya kebocoran sangat besar.
8. Kekuatan dielektrik yang tinggi.
Sifat ini penting untuk kompresor hermetik, karena uap refrigeran berhubungan langsung dengan motor.
9. Mempunyai struktur kimia yang stabil, tidak boleh terurai setiap kali dimampatkan, diembunkan, dan diuapkan.

METODOLOGI PENELITIAN

Air-cooled chiller adalah salah satu jenis alat pendingin air. Komponen utama *air-cooled chiller* yang dibuat sebagai alat pengujian terdiri dari kompresor, kondensor, pipa kapiler, evaporator, pompa air serta *fan coil unit*. Untuk mempermudah pengujian, instalasi ini dilengkapi dengan alat ukur seperti termometer digital, termometer analog (air raksa), *pressure gauge* yang dipasang pada titik-titik pengukuran. Adapun pembuatan instalasi *air-cooled chiller* hanya disesuaikan untuk aplikasi alat pengujian.

Tahap kalibrasi alat ukur

Kalibrasi adalah cara untuk menentukan sifat-sifat metrologi suatu alat ukur dengan membandingkannya terhadap alat ukur yang lebih presisi. Proses kalibrasi sangat penting dalam suatu pengukuran untuk menjamin validitas data pengujian, karena ketelitian alat ukur bisa berubah setelah pemakaian yang lama, sehingga hasil yang ditunjukkan belum tentu menunjukkan data yang sebenarnya.

Pressure Gauge

Kalibrasi *pressure gauge* dilakukan di Badan Metrologi Pusat di Bandung. Pada prinsipnya, kalibrasi *pressure gauge* ini membandingkan dengan suatu alat *Precision Pressure Calibrator* sebagai acuan yang telah di tetapkan sebelumnya.

Termometer Digital

Kalibrasi *termometer digital* dilakukan di laboratorium Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Diponegoro. Pada prinsipnya sama dengan kalibrasi *pressure gauge*, pada kalibrasi ini, menggunakan peralatan inkubator dan termometer yang ada di inkubator sebagai acuannya. Termometer digital yang akan dikalibrasi dimasukan didalam inkubator, dimana didalam inkubator, temperatur dapat dirubah sesuai dengan keinginan kita dan mempertahankan temperatur tersebut sampai waktu yang kita inginkan.

Pengambilan data

Pengambilan data dilakukan setelah dilakukan pemeriksaan peralatan dan kondisi peralatan maupun peralatan alat ukurnya dalam kondisi baik. Pada pengambilan data ini, temperatur keluar kondensator (T_3) dijaga konstan sebesar 27°C , 28°C , 29°C , 30°C dengan mengkombinasikan temperatur keluar evaporator yang bervariasi.

ANALISA HASIL PENGUJIAN

Pengaruh Temperatur Keluar Evaporator (T_1) Terhadap Daya Kompresor

Daya kompresor adalah daya yang dibutuhkan kompresor dari hasil kali antara laju aliran massa dan beda entalpi masuk dan keluar kompresor. Gambar 4 grafik pengaruh temperatur keluar evaporator (T_1) terhadap daya kompresor.

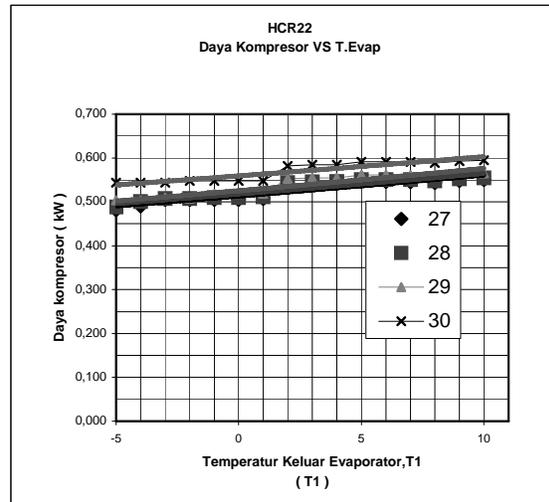
Kenaikan temperatur isap akan mempengaruhi kerja kompresi dari kompresor, selain kenaikan rasio volume kompresi dari kompresor dan rasio panas jenis kompresor.

Pengaruh Temperatur Keluar Evaporator (T_1) Terhadap Kapasitas Refrigerasi

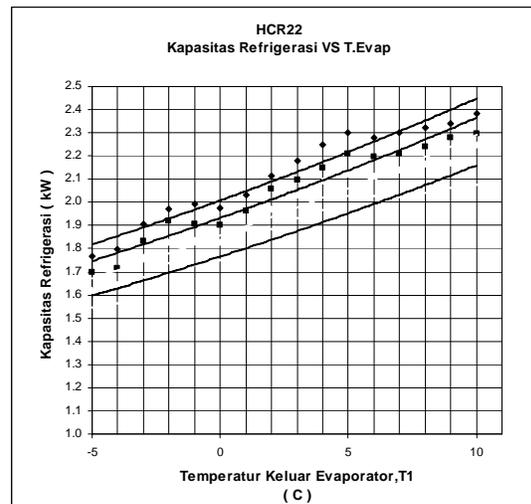
Nilai dari Kapasitas refrigerasi adalah berbanding lurus dengan laju aliran massa refrigeran (kg/s) dan dampak refrigerasinya (kJ/kg). Dampak

refrigerasi tersebut adalah selisih entalpi refrigeran yang meninggalkan dan yang memasuki evaporator.

Berikut grafik yang menunjukkan Pengaruh Temperatur Keluar Evaporator (T_1) Terhadap Kapasitas Refrigerasi.



Gambar 4 : Grafik daya kompresor terhadap variasi T_1 dan T_3



Gambar 5 : Grafik kapasitas refrigerasi terhadap variasi T_1 dan T_3

Dari Gambar 5 dapat diperlihatkan bahwa kapasitas refrigerasi cenderung naik seiring dengan kenaikan temperatur keluar evaporator. Hal ini disebabkan karena :

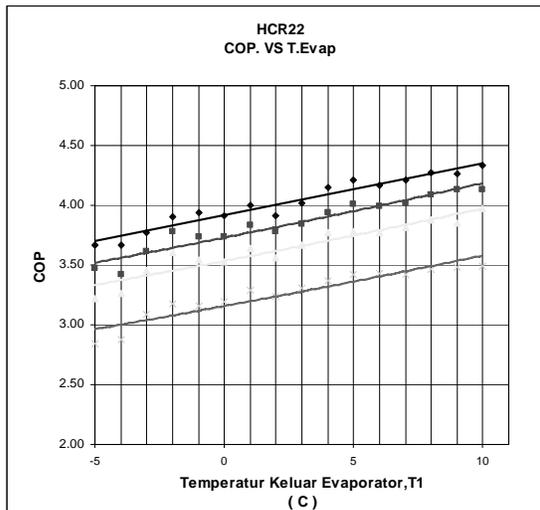
1. Temperatur keluar evaporator yang makin meningkat menyebabkan tekanan hisap kompresor menjadi cenderung naik dengan asumsi entalpi di refrigeran yang memasuki pipa kapiler tetap konstan sehingga nilai $h_1 - h_4$ cenderung sedikit naik. Kenaikan ini dikarenakan oleh entalpi uap sebelum masuk kompresor yang makin besar pada temperatur keluar evaporator yang makin tinggi.

- Adanya kenaikan laju aliran massa refrigeran memasuki kompresor selama temperatur keluar evaporator makin meningkat.

Pengaruh Temperatur Keluar Evaporator (T_1) Terhadap Coefisien of Performance (COP)

Konsep COP atau koefisiensi prestasi sama dengan efisiensi yang menyatakan perbandingan jumlah hasil yang diinginkan dengan pengeluaran. Nilai dari COP berbanding lurus dengan dampak refrigerasinya dan berbanding terbalik dengan kerja kompresinya.

Berikut grafik Pengaruh Temperatur Keluar Evaporator (T_1) Terhadap Coefisien of Performance (COP).



Gambar 6 : Grafik COP terhadap variasi T_1 dan T_3

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai coefisien of performance (COP) semakin naik dengan peningkatan temperatur keluar evaporator. Kenaikan nilai COP dikarenakan pada kenaikan temperatur keluar evaporator menyebabkan kenaikan dampak refrigerasi dan menurunkan kerja kompresi sehingga kedua parameter tersebut memperbesar nilai COP.

KESIMPULAN

Dari analisa data pengujian maupun analisa data perhitungan yang telah dibuat maka dapat diambil kesimpulan dari pengaruh kenaikan temperatur keluar evaporator dari mulai -5°C sampai 10°C COP sistem *air-cooled chiller* ini mengalami kenaikan sebesar 23,6%.

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE Handbook of Fundamental, 1998, Millstar Electronic Publish Group, Inc.
- C.P Arora, 2001, "Refrigeration and Air Conditioning", edisi kedua, McGraw-Hill.
- Ari Darmawan, Aryadi Suwono, Nathanael Tandian, "Pelatihan Refrigeran Hidrocarbon", Seminar Refrigeran Hidrocarbon, Semarang, 10 Oktober 2002
- Handoko K, 1981 "Teknik Memilih, Memakai, Memperbaiki Lemari Es", PT Ichtar Baru, Jakarta 10160
- Holman, J.P. Alih bahasa Jasjfi, E. Ir. MSc. *Perpindahan Kalor*. Penerbit Erlangga, Jakarta. 1988.
- PT. Hartono Istana Teknologi, "Penggunaan Refrigeran Hidrocarbon pada Lemari Es", Seminar Refrigeran Hidrocarbon, Semarang, 10 Oktober 2002
- Roy. J Dosaat, "Principles Of Refrigeration" edisi kedua, John Wiley & Son.
- Reynolds, William C & Perkins, Henry C. *Termodinamika Teknik*. Penerbit Erlangga, Jakarta. 1991.
- Syaiful, *Pengembangan Perangkat Lunak Untuk Perancangan Chiller*, Tesis Magister, ITB, Bandung. 2003
- W. Arismunandar, Pieso Saito; 1981; "Penyegaran Udara", PT Pradya Paramita, Jakarta
- W.J. Gadja Jr dan J.P. Holman, alih bahasa Ir. E. Jasifi, M.Sc; 1985, "Metode Pengukuran Teknik", edisi keempat, Erlangga.
- W.F. Stoecker dan J.W. Jones. Alih bahasa Supratman Hara; 1992, "Refrigerasi dan Pengkondisian Udara", edisi kedua, Erlangga