

ANALISIS PENGARUH GANGGUAN *HEAT TRANSFER KONDENSOR* TERHADAP PERFORMANSI AIR CONDITIONING

Puji Saksono¹⁾

ABSTRAK

Kondensor merupakan alat penukar kalor pada sistem refrigerasi yang berfungsi untuk melepaskan kalor ke lingkungan. Bagian kondensor biasanya dilengkapi kipas untuk meniup udara yang melewati celah alat penukar kalor.

Koefisien prestasi yang tinggi sangat diharapkan dalam daur refrigerasi kompresi uap. Dalam penelitian ini dirakit satu unit uji sistem refrigerasi berupa seperangkat *AC window* yang meliputi kompresor, kondensor, evaporator, pipa kapiler, *air dryer*, dan refrigeran yang dipergunakan adalah R-22. Bagian kondensor dipasang kipas angin yang bisa diatur putarannya dengan menggunakan alat pengontrol putaran. Kecepatan udara yang dari *fan* akan diukur dengan *anemometer*.

Dalam penelitian ini akan diperoleh data tekanan, temperatur, dan laju aliran massa refrigeran dengan variasi putaran kipas kondensor terhadap kecepatan udara pendingin. Variasi kecepatan udara pendingin antara 1,6 – 3,5 m/s yang dihasilkan dari putaran kipas 600 – 1200 rpm. Hasil penelitian menunjukkan semakin cepat putaran kipas semakin besar laju aliran udara untuk mendinginkan kondensor sehingga koefisien prestasi (COP) semakin meningkat.

Kata kunci: Putaran fan, laju aliran, efek refrigerasi, COP.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Penerapan sistem refrigerasi dalam kehidupan sehari-hari maupun di industri sangat banyak dan bervariasi, dalam industri misalnya pabrik es, pengemasan/ penyimpanan makan yang akan dieksport, pendinginan gedung skala besar seperti supermarket, gedung perkantoran, hotel dan sebagainya. Aplikasi lain yang sering kita manfaatkan adalah kulkas dan AC (*Air Conditioning*).

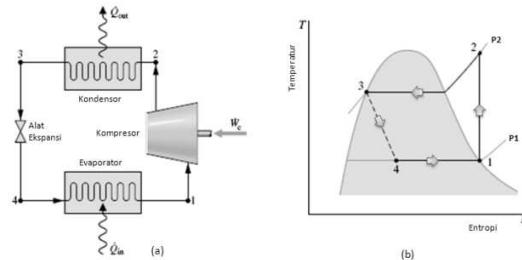
Pada umumnya komponen utama mesin pendingin adalah kompresor, kondensor, evaporator dan alat ekspansi. Kondensor merupakan alat penukar kalor pada sistem refrigerasi yang berfungsi untuk melepaskan kalor ke lingkungan. Bagian kondensor biasanya dilengkapi dengan *fan/ kipas* untuk meniup/ menghisap udara yang melewati celah alat penukar kalor. Seringkali pada AC mobil dilakukan modifikasi dengan menambah jumlah kipas atau mengganti kipas dengan diameter yang lebih besar, dan pada *AC window* atau split efek dingin yang keluar dari AC tidak normal akibat putaran kipas/ fan kondensor yang tidak stabil.

Sistem refrigerasi siklus kompresi uap

Sistem refrigerasi siklus kompresi uap merupakan daur yang terbanyak digunakan dalam daur refrigerasi, pada daur ini terjadi proses kompresi (1 ke 2), pengembunan (2 ke 3), ekspansi (3 ke 4) dan penguapan (4 ke 1), seperti ditunjukkan pada gambar 1.

Komponen utama dari sistem refrigerasi terdiri dari: Kompressor, kondensor, alat ekspansi (pipa kapiler atau katup ekspansi) dan evaporator. (Stocker, 1996; Dincer, 2003; Pasek, 2007)

Susunan empat komponen tersebut secara skematis ditunjukkan pada Gambar 1a dan sketsa proses Siklus Kompresi Uap Standar dalam diagram T-s (temperatur-entropi) ditunjukkan pada Gambar 1b .



Gambar 1. Siklus kompresi uap standar (a) Diagram alir proses (b) Diagram temperatur-entropi (T-s)
Sumber: Pasek, 2007.

Analisa Kinerja Mesin Refrigerasi Kompresi Uap

Parameter-parameter prestasi sistem refrigerasi kompresi uap antara lain: efek/dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi, dan koefisien performansi (*coefficient of performance, COP*). Penentuan parameter-parameter tersebut dapat dibantu dengan penggunaan sketsa proses pada diagram tekanan-entalpi. (Stocker, 1996; Pasek, 2004)

Kerja kompresi persatuan massa refrigeran ditentukan oleh perubahan entalpi pada proses 1-2 dan dapat dinyatakan sebagai: (Stocker, 1996)

$$W = \frac{W}{m} = h_2 - h_1 \quad (1)$$

Dimana:

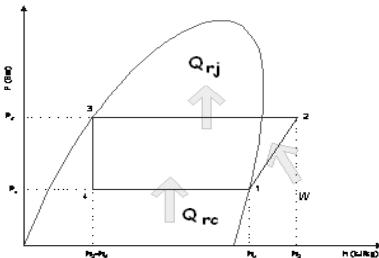
$$W = \text{Daya kompresor}[kW]$$

1) Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Balikpapan (UNIBA) Kalimantan Timur

w = kerja kompresi [KJ/kg]

m = laju aliran refrigeran[kg/det]

Hubungan tersebut diturunkan dari persamaan energi dalam keadaan tunak, pada proses kompresi adiabatik reversibel dengan perubahan energi kinetik dan energi potensial diabaikan. Perbedaan entalpinya merupakan besaran negatif yang menunjukkan bahwa kerja diberikan kepada sistem.



Gambar 2. Siklus refrigerasi kompresi uap ideal pada diagram tekanan-entalpi (P-h).

Sumber: Herlianika, 2005.

Kalor yang dibuang melalui kondensor dari refrigeran ke lingkungan yang lebih rendah temperaturnya terjadi pada proses 2-3, yaitu:

$$q_{rj} = \frac{Q_{rj}}{m} = h_2 - h_3 \quad (2)$$

Dimana:

Q_{rj} = Kapasitas kondensor/pemanasan [kW]

q_{rj} = kalor yang dibuang melalui kondensor[KJ/kg]

m = laju aliran refrigeran[kg/det]

Besaran ini bernilai negatif, karena kalor dipindahkan dari sistem refrigerasi ke lingkungan.

Pada proses 3-4 merupakan proses ekspansi refrigeran menuju tekanan evaporator. Proses ini biasanya dimodelkan dengan proses cekik tanpa adanya perpindahan kalor (adiabatik) dan proses berlangsung tak-reversibel, sehingga diperoleh hubungan: $h_3 = h_4$

Efek refrigerasi (q_{rc}) adalah kalor yang diterima oleh sistem dari lingkungan melalui evaporator per satuan laju massa refrigeran. Efek refrigerasi merupakan parameter penting, karena merupakan efek yang berguna dan diinginkan dari suatu sistem refrigerasi.

$$q_{rc} = \frac{Q_{rc}}{m} = h_1 - h_4 \quad (3)$$

Sedangkan kapasitas refrigerasi (Q_{rc}) merupakan perkalian antara laju massa refrigeran dengan efek refrigerasi.

Dimana:

Q_{rc} = Kapasitas refrigerasi [kW]

q_{rc} = efek refrigerasi[KJ/kg]

m = laju aliran refrigeran[kg/det]

Koefisien performansi (COP), adalah besarnya energi yang berguna, yaitu efek refrigerasi, dibagi dengan kerja yang diperlukan sistem, yaitu kerja kompresi.

Koefisien Performansi

$$(COP) = \frac{\text{efek refrigerasi}}{\text{kerja kompresi}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (4)$$

Laju Heat Transfer pada Kondensor

$$Q_c = v \cdot A \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{out} - T_0) \quad (5)$$

(J.P. Holman, 1994)

Dimana:

Q_c = Laju heat transfer[kW]

v = Kecepatan udara keluar kondensor[m/s]

A = Luas penampang saluran udara keluar[m²]

ρ = Massa jenis udara[kg/m³]

C_p = Specific heat udara[kJ/kg. °C]

T_{out} = Temperatur lingkungan[°C]

T_0 = Temperatur udara keluar kondensor[°C]

Gangguan Heat Transfer pada Kondensor

Gangguan heat transfer kondensor adalah persentase selisih laju heat transfer pada kecepatan aliran udara penuh dengan laju heat transfer pada kecepatan aliran udara saat pengujian, atau dapat dituliskan sebagai berikut:

Gangguan Heat Transfer

$$\% = \frac{Q_c \text{ penuh} - Q_c \text{ pengujian}}{Q_c \text{ penuh}} \quad (6)$$

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian dilakukan di laboratorium Mesin Pendingin Program studi Teknik Mesin Universitas Balikpapan (UNIBA). Sedangkan waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Januari s/d Maret 2010.

Bahan dan Alat

Adapun perlengkapan dan alat penelitian yang digunakan adalah:

1. Satu unit uji sistem refrigerasi (berupa seperangkat AC window yang sudah dimodifikasi sedemikian rupa dengan menambahkan beberapa perangkat monitor berupa pressure gauge, pengontrol putaran kipas kondensor, dan port untuk titik pengukuran temperatur)
2. Pompa vakum
3. Gauge manifold
4. Termometer (Digital)
5. Timbangan refrigeran (Digital)
6. Refrigeran R-22, merk Dupont
7. Leak detector (Alat uji kebocoran refrigeran)

8. Anemometer (Alat ukur kecepatan udara keluaran kipas kondensor)
9. Multimeter (Digital)
10. Clamp Meter (Alat ukur arus listrik, *Ampere*)
11. Peralatan workshop

Langkah-langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian adalah sebagai berikut:

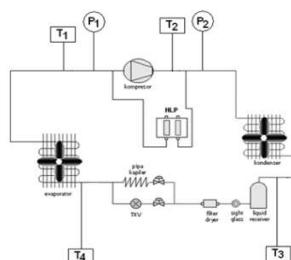
1. Menyiapkan peralatan uji sistem refrigerasi dan perlengkapan lainnya
2. Sistem divakum terlebih dahulu dengan menggunakan pompa vakum
3. Melakukan pengisian refrigeran R-22 sesuai dengan variasi pengisian muatan pada alat uji
4. Menghidupkan alat uji sampai dengan kondisi konstan
5. Memvariasikan kecepatan putaran kipas kondensor yang diatur oleh sebuah pengontrol putaran
6. Mencatat hasil pengukuran T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , P_1 , P_2
7. Mengulang semua langkah untuk mendapatkan data hasil pengujian sebanyak empat kali per variasi muatan dan putaran kipas kondensor
8. Mengolah data yang diperoleh dengan penjabaran secara analisa ilmiah



Gambar 3. Alat uji sistem refrigerasi
Sumber: Lab. Mesin Pendingin UNIBA

Spesifikasi unit uji sistem refrigerasi:

- Type : AC WINDOW
- Dayan kompresor : 1,0 HP
- Jenis kompresor : *Hermatic*
(Hitachi, SG433EB1)
- Refrigeran : R-22



Gambar 4. Skema unit alat uji sistem refrigerasi
Sumber: Lab. Mesin Pendingin UNIBA.

Keterangan gambar:

- P_1 = Tekanan masuk kompresor (tekanan evaporasi)
 P_2 = Tekanan keluar kompresor (tekanan kondensasi)
 T_1 = Temperatur keluar evaporator
 T_2 = Temperatur masuk kondensor
 T_3 = Temperatur keluar kondensor
 T_4 = Temperatur masuk evaporator

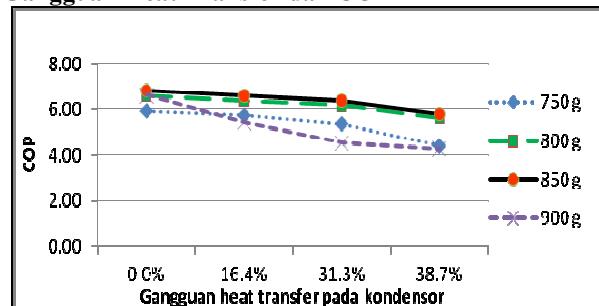
Variabel Penelitian

Variabel-variabel dalam penelitian:

1. Variabel bebas, yang meliputi:
 - Variasi kecepatan kipas kondensor
 - Gangguan *heat transfer* kondensor
2. Variabel terikat, yang meliputi:
 - Efek refrigerasi
 - Kerja Kompresor
 - Kapasitas refrigerasi
 - Kapasitas kondensasi
 - Laju *heat transfer* pada kondensor
 - COP (*coefficient of performance*)
3. Variabel Kontrol, yang meliputi penggunaan:
 - Temperatur ruang uji $27 - 28^{\circ}\text{C}$.
 - Kelembaban ruang uji $85 \pm 1^{\circ}\text{C}$. (relatif)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Putaran Fan Kondensor terhadap Gangguan Heat Transfer dan COP

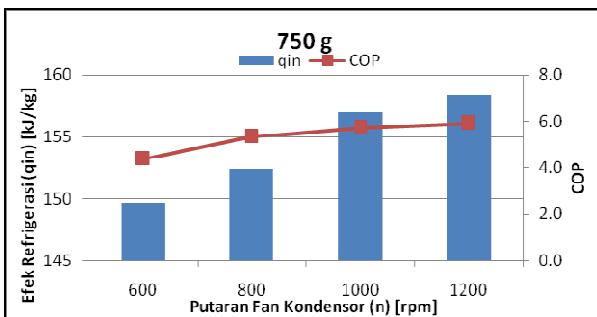


Gambar 5. Grafik perbandingan pengaruh gangguan *heat transfer* terhadap COP pada beberapa massa isian dengan refrigeran R-22

Hasil penelitian menunjukkan perbandingan gangguan *heat transfer* terhadap COP untuk semua kuantitas isian, dengan ini menunjukkan bahwa peningkatan kuantitas sampai dengan jumlah yang optimal akan berpengaruh pada peningkatan nilai COP.

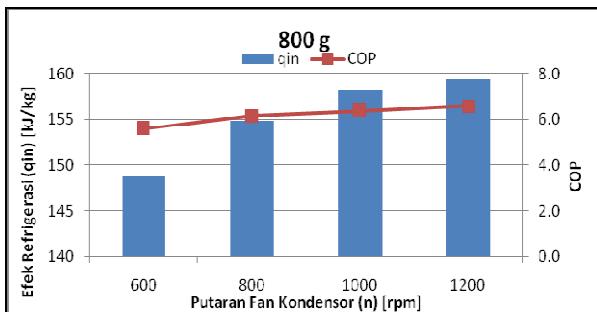
Kondisi optimal ditandai dengan jumlah isian refrigeran yang penuh dan nilai COP-nya tinggi. Jumlah isian penuh terlihat dari aliran refrigeran pada *sight glass* jernih dan tidak bergelembung. Dari data grafik di atas dapat diketahui pada isian refrigeran 850 g dan pada putaran 1200 rpm adalah kondisi optimal dengan nilai COP tertinggi yaitu 6.83 dan kondisi yang paling rendah adalah pada isian 900 g pada putaran 600 rpm dengan nilai COP adalah 4.24.

Pengaruh Putaran Fan Kondensor Terhadap Efek Refrigerasi dan COP



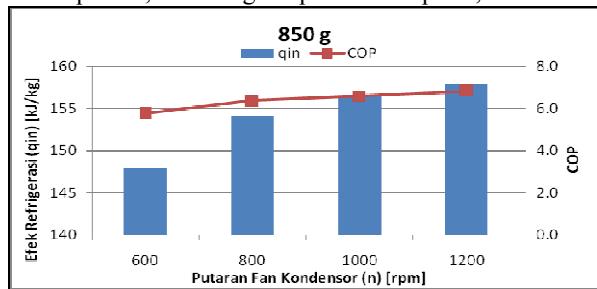
Gambar 6. Grafik hubungan putaran fan terhadap efek refrigerasi dan COP pada massa isian 750 g

Dari grafik di atas memperlihatkan bahwa pada massa isian 750 g dan pada putaran 600 rpm Efek refrigerasi sebesar 149,71 kJ/kg dan pada putaran 1200 rpm adalah 158,34 kJ/kg, dalam hal ini terjadi kenaikan efek refrigerasi sebesar 5,5%. Nilai COP juga mengalami kenaikan 14,2%, dimana pada putaran 600 rpm nilai COP berada pada 4,07 sedangkan pada 1200 rpm 5,59.



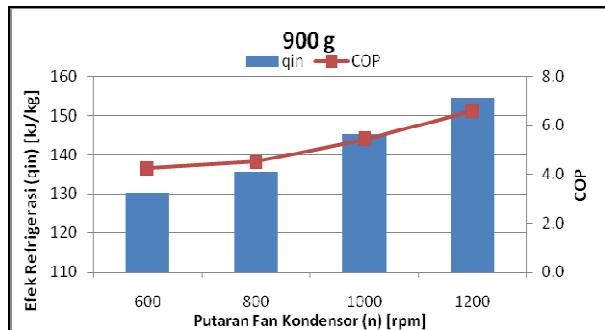
Gambar 7. Grafik hubungan putaran fan terhadap efek refrigerasi dan COP pada massa isian 800 g

Dari grafik di atas memperlihatkan bahwa pada massa isian 800 g dan pada putaran 600 rpm Efek refrigerasi sebesar 148,73 kJ/kg dan pada putaran 1200 rpm adalah 159,42 kJ/kg, dalam hal ini terjadi kenaikan efek refrigerasi sebesar 6,7%. Nilai COP juga mengalami kenaikan 14,9%, dimana pada putaran 600 rpm nilai COP berada pada 4,59 sedangkan pada 1200 rpm 6,17.



Gambar 8. Grafik hubungan putaran fan terhadap efek refrigerasi dan COP pada massa isian 850 g

Dari grafik di atas memperlihatkan bahwa pada massa isian 850 g dan pada putaran 600 rpm Efek refrigerasi sebesar 148,03 kJ/kg dan pada putaran 1200 rpm adalah 157,82 kJ/kg, dalam hal ini terjadi kenaikan efek refrigerasi sebesar 6,2%. Nilai COP juga mengalami kenaikan 15,4%, dimana pada putaran 600 rpm nilai COP berada pada 5,78 sedangkan pada 1200 rpm 6,30.



Gambar 9. Grafik hubungan putaran fan terhadap efek refrigerasi dan COP pada massa isian 900 g

Dari grafik di atas memperlihatkan bahwa pada massa isian 900 g dan pada putaran 600 rpm Efek refrigerasi sebesar 130,42 kJ/kg dan pada putaran 1200 rpm adalah 154,5 kJ/kg, dalam hal ini terjadi kenaikan efek refrigerasi sebesar 15,6%. Nilai COP juga mengalami kenaikan 35,9%, dimana pada putaran 600 rpm nilai COP berada pada 4,24 sedangkan pada 1200 rpm 6,61.

Beban di dalam ruangan akan memberikan kalornya kepada refrigeran pada evaporator. Refrigeran akan mengalami proses penguapan yang akan mengakibatkan perubahan entalpi dari sebelum masuk evaporator dan setelah keluar. Perubahan entalpi ini merepresentasikan efek refrigerasi. Efek refrigerasi ada kecenderungan naik dengan adanya kenaikan putaran fan kondensor. Gambar di atas juga menunjukkan pengaruh putaran fan kondensor terhadap COP, dimana pada grafik tersebut terlihat bahwa kenaikan COP seiring dengan putaran fan kondensor. Besarnya COP dipengaruhi oleh efek refrigerasi dan kerja kompresi. Kenaikan putaran fan kondensor menyebabkan efek refrigerasi meningkat.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh setelah melakukan pembahasan terhadap hasil penelitian adalah sebagai berikut:

1. Kuantitas isian refrigeran mempunyai titik optimum terhadap nilai COP. Peningkatan terhadap nilai COP akan naik seiring dengan jumlah refrigeran yang dimasukkan dalam sistem, tetapi pada titik jumlah isian tertentu COP akan mengalami penurunan. Titik jumlah isian refrigeran sebelum saat nilai COP menurun itu disebut dengan isian refrigeran yang optimal. Isian optimal dalam penelitian ini adalah

- pada 850 g dan putaran fan kondensor pada 1200 rpm dengan nilai COP adalah 6.83.
2. Gangguan *heat transfer* pada kondensor berpengaruh pada nilai COP. Semakin besar gangguan yang terjadi pada kondensor maka COP akan semakin kecil.
 3. Kenaikan putaran fan kondensor menyebabkan kenaikan efek refrigerasi. Nilai *Coefficient of performance* (COP) akan meningkat dengan adanya kenaikan putaran fan kondensor karena besarnya COP dipengaruhi oleh efek refrigerasi dan kerja kompresi.

DAFTAR PUSTAKA

Arismunandar, W dan Saito, H, 2002, *Penyegaran Udara*, Cetakan ke-6, PT. Pradnya, Paramita, Jakarta.

Dincer, I., 2003, Refrigeration System and Application, Wiley, England.

Holman, J.P. Alih bahasa Jasjfy, E. Ir. Msc, 1988, *Perpindahan Kalor*. Penerbit Erlangga, Jakarta.

Herlianika, H, 2005, *Eksperimen Dengan Alat Peraga Refrigerasi Dasar*, Butterworth-Heinemann, Oxford.

Moran J. Michael & Shapiro, N, Howard, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. John Wiley & Son Ltd. England, 5th Edition.

Pasek, A.D., 2007, Retrofit Sistim Refrigerasi Dan Pengkondisian Udara Ramah Lingkungan, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta.

Stocker, W.F., 1996, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Erlangga, Jakarta.