

PEMAKAIAN REFRIGERAN ALTERNATIF HIDROKARBON YANG RAMAH LINGKUNGAN SEBAGAI PENGGANTI R-22 PADA MESIN PENDINGIN KAPASITAS 1 PK

Marsudi

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UPN "Veteran" Jakarta
Jl. R.S. Fatmawati, Pondok Labu, Jakarta Selatan – 12450
Telp./HP. 021-7656971 Ext. 195

Abstract

This study examines the cooling machines inside the AC used in most hotels and office buildings which consume about 60% to 70% electric energy. This research uses hydrocarbon as the alternative refrigerant which is environment friendly to replace R-22 inside 1 PK Split AC (brand name: LG, type: LS.B0966 CN, cooling capacity: 8000 BTU/hr) used in a room with the volume of 19.7 m³. The results are as follows: 1). the value of COP is higher on the AC uses hydrocarbon as the alternative refrigerant, 2). the value of relative humidity (RH) is higher on the AC uses carbon alternative refrigerant, 3). the electric current is higher on the AC uses R-22, 4). the cost per he month of the electricity consumption is cheaper by using AC hydrocarbon alternative refrigerant, It means that we can save 36.6% by using AC hydrocarbon alternative refrigerant.

Key Words: air conditioner, R-22, hydrocarbon, refrigerant

PENDAHULUAN

Mesin Pendingin (AC) yang digunakan sebagai penyejuk udara digerakkan oleh tenaga listrik sebagai sumber energi. Pada hotel-hotel dan gedung perkantoran di Indonesia sekitar 60% sampai dengan 70% pemakaian tenaga listrik digunakan untuk menggerakkan mesin pendingin. Dengan pemakaian tenaga listrik yang lebih besar, maka pembayaran tarif listrik PLN akan semakin mahal. Untuk mengatasi keadaan-keadaan tersebut perlu dilakukan untuk menggerakkan mesin pendingin. Mesin Pendingin memerlukan energi listrik dalam melakukan kerjanya, dan memerlukan suatu media pendingin yang disebut refrigeran, refrigeran sebagai media pendingin yang mengalir dalam sistem mesin pendingin menghasilkan udara dingin/segar. Pemakaian jenis refrigeran yang berbeda dalam sistem mesin pendingin akan mempengaruhi kin-

erja dan performance dari sistem mesin pendingin itu sendiri dan juga berpengaruh terhadap pemakaian energi listrik yang digunakan. Saat ini jenis refrigeran sintetik R-22 sebagai media pendingin pada mesin pendingin Split masih digunakan di Indonesia, akan tetapi bahan refrigeran syntetik R-22 merupakan media pendingin yang tidak dapat menghemat pemakaian listrik. Merujuk pada penolakan terhadap penggunaan bahan refrigeran jenis sintetik (*fluorocarbon*) yang telah tertuang dalam Konvensi Wina Protokol Montreal 1987, dengan keharusan penghentian kegiatan produksi dan penggunaan bahan refrigeran jenis sintetik (*fluorocarbon*). Ratifikasi terhadap konvensi tersebut telah dilakukan oleh pemerintah Indonesia melalui: (1) Keputusan Presiden RI No. 23 Tahun 1992 tentang larangan memproduksi dan memperdagangkan barang baru yang merusak lapisan ozon, dan (2) SK Menperindag RI No. 110/MPR/Kep/I/1998 tentang

batas akhir perdagangan dan pemakaian bahan ODS dihitung mulai tanggal 1 Januari 2005 (SK tersebut telah ditinjau kembali sehingga pemerintah menetapkan jadwal penghapusan penggunaan CFC secara total tahun 2007) dan diikuti dengan Intruksi Presiden RI No. 10 Tahun 2005 tentang penghematan energi.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji dan membuktikan kinerja dan performance mesin pendingin (AC) seperti: (1) COP; daya compresor; dan efisiensi mesin pendingin yang menggunakan refrigeran hidrokarbon MC-22, dan (2) Menghitung dan membuktikan penghematan energi listrik yang dihasilkan oleh AC yang menggunakan refrigeran hidrokarbon yang ramah lingkungan. Manfaat dan kegunaan penelitian ini adalah dimana gedung-gedung yang menggunakan mesin pendingin (AC) dengan menggunakan refrigeran hidrokarbon yang ramah lingkungan dapat menghemat pemakaian energi listrik. Penggunaan mesin pendingin dapat bermanfaat terhadap lingkungan sekitarnya, karena refrigeran alternatif hidrokarbon ramah terhadap lingkungan. Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah untuk menganalisa biaya penghematan daya listrik terhadap penggunaan listrik perbulan, dengan penggunaan bahan pendingin refrigeran alternatif hidrokarbon yang ramah lingkungan.

Refrigeran

Refrigeran adalah media yang digunakan sebagai bahan pendingin pada mesin pendingin jenis kompresi uap. Refrigeran dapat berbentuk cairan atau gas yang dipergunakan untuk memindahkan panas dari tempat yang bertemperatur rendah ke tempat yang bertemperatur tinggi dengan bantuan siklus terbalik (*reserved cycle*), seperti misalnya Reserved Carnot. Dalam suatu sistem uap bertekanan, refrigeran akan mengalami perubahan fasa dimana fasa cair berubah menjadi fasa uap ketika terjadi penyerapan panas dan kembali menjadi cair ketika panas tersebut dilepas. (Arora 1990).

Persyaratan Refrigeran

Refrigeran dari mesin pendingin banyak digunakan untuk daerah temperatur yang luas untuk keperluan pendingin udara sampai dengan refrigerasi. Untuk unit refrigerasi tersebut diatas, hendaknya dipilih jenis refrigeran yang paling sesuai dengan jenis kompresor yang dipakai, dan karakteristik termodinamika yang antara lain meliputi temperatur penguapan dan tekanan penguapan serta temperatur pengembunan dan tekanan pengembunan. Persyaratan refrigeran untuk unit refrigeran dari mesin pendingin adalah sebagai berikut: (1)

Tekanan penguapannya harus cukup tinggi, (2) Tekanan pengembunan yang tidak terlampaui tinggi, (3) Kalor laten penguapan harus tinggi, (4) Volume spesifik (terutama dalam fasa gas) cukup kecil, (5) Koefisien prestasi harus tinggi, (6) Konduktivitas termal yang tinggi, (7) Viskositas yang rendah dalam fasa cair maupun gas, (8) Konstanta dielektrika dari refrigeran yang kecil, tahan listrik yang besar, serta tidak menyebabkan korosi pada material isolator listrik. Sifat-sifat tersebut dibawah ini sangat penting, terutama untuk refrigeran yang akan dipergunakan pada kompresor hermetik, (9) Refrigeran hendaknya stabil dan tidak bereaksi dengan material yang dipakai, jadi juga tidak menyebabkan korosi, (10) Refrigeran tidak boleh beracun dan berbau merangsang, (11) Refrigeran harus mudah dideteksi, jika terjadi kebocoran, dan (12) Harganya tidak mahal dan mudah diperoleh.

Uap Air dalam Refrigeran

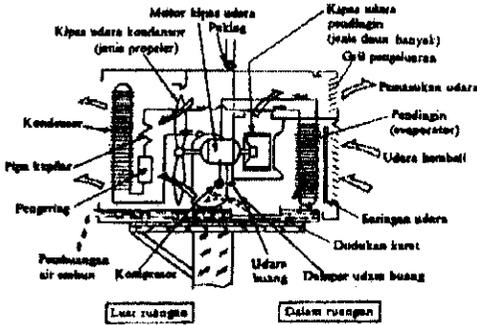
Apabila uap air masuk ke dalam system refrigeran dari suatu unit refrigerasi, maka air mungkin beraksi dengan refrigeran sehingga menyebabkan berbagai macam gangguan terhadap operasi unit refrigerasi tersebut. Gangguan yang terjadi itu dapat berbeda-beda, tergantung pada jenis refrigeran dan jumlah uap air yang masuk, adanya udara dan kotoran, dan sebagainya. Namun, gangguan tersebut dapat dibagi menjadi dua golongan utama yaitu: (1) Pembekuan pada katup ekspansi dan sebagainya, karena adanya air yang ikut bersirkulasi dalam refrigerant, (2) Korosi pada system refrigeran dan rusaknya minyak pelumas, karena adanya reaksi kimia antara air dengan refrigeran dan bagian-bagian logam.

Mesin Pendingin (AC) Split

Mesin Pendingin (AC) Split adalah penye- gar udara paket berukuran kecil dengan kapasitas pendinginan antara $\frac{1}{4}$ PK sampai 2,5 PK : tersedia dalam jenis lantai, langit-langit, jenis dinding, dan jenis jendela. Kondensor yang digunakan pada mesin pendingin split adalah kondensor dengan pendinginan udara yang biasanya diletakkan diluar kamar, terpisah dari unit mesin pendingin yang berada didalam kamar/gedung.

Gambar 1 menunjukkan konstruksi penye- gar udara jenis jendela dengan kompresor torak atau kompresor putar. Kipas udara daun banyak dipasang didalam kamar (dibagian evaporator) sedangkan kipas udara propeler dipasang dibagian luar (dibagian kondensor) : motor listrik menggerakkan kedua kipas udara tersebut. Koil udara pendingin (evaporator) dan kondensor terdiri dari pipa-pipa bersirip plat aluminium. Pengaturan temperatur kamar dapat

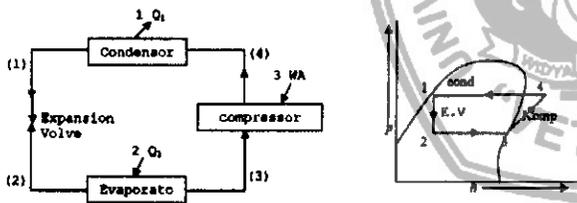
dilakukan dengan menjalankan dan menghentikan kerja kompresor, berdasarkan pengukuran temperatur masuk. Penyegar udara ruangan yang biasanya berukuran kecil, mudah dipasang dan dijalankan, disamping itu kapasitas pendinginnya cukup besar. Jenis penyegar udara ini banyak digunakan di rumah maupun di dalam gedung.



Gambar 1. Pendingin Udara Jenis Split

Penentuan Besar COP (Coeficien of Performance)

COP (Coeficien of Performance) adalah perbandingan antara panas yang dihasilkan evaporator dengan kerja yang dihasilkan oleh kompresor. Untuk menentukan besar COP (Coeficien of Performance) dapat menggunakan teori siklus uap dengan diagram skematik P.h, sebagai berikut:



Gambar 2. Siklus Kompresi Ulang Mesin Pendingin

Dari gambar 2 dapat diketahui bahwa :

$$2 Q_3 = h_3 - h_2$$

$$3 W_4 = h_4 - h_3$$

$$4 Q_1 = h_4 - h_1$$

Besar nilai COP dapat ditentukan dari rumus :

$$COP = Q_c/W$$

$$COP = h_3 - h_2 / W = h_3 - h_2 / h_4 - h_3$$

- Qc = beban panas yang dihasilkan evaporator (kJ/kg)
- W = kerja yang dihasilkan kompresor (kJ/kg)

- Dimana :
- h₁ = entalphy pada temperatur keluar kondensor (kJ/kg)
- h₂ = entalphy pada temperaur masuk evaporator (kJ/kg)
- h₃ = entalphy pada temperatur keluar evaporator (kJ/kg)
- h₄ = entalphy pada temperatur keluar kondensor (kJ/kg)

Penentuan Besar Daya Pemakaian Listrik

Untuk menentukan besar daya pemakaian listrik yang digunakan pada mesin pendingin dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$P = V.A.cos \rho. (Watt)$$

- Dimana : P = daya listrik (Watt)
- V = tegangan listrik/voltase (Volt)
- A = arus listrik (Ampere)
- Cos ρ = factor koreksi (0,8 – 0,95)

Dengan asumsi bahwa berat refrigeran AH yang bersirkulasi pada proses mesin pendingin akan berkurang sebesar 30% sampai dengan 35% dibandingkan dengan berat refrigeran R-22, maka arus listrik (A) yang diperlukan untuk menggerakkan sistem mesin pendingin akan mengalami penurunan daya listrik (P) yang diperlukan untuk menggerakkan mesin pendingin akan mengalami penurunan. Dengan adanya penurunan daya listrik (P) yang digunakan untuk menggerakkan mesin pendingin, maka secara otomatis akan mengurangi pemakaian daya listrik atau dengan kata lain, dapat mengurangi biaya daya listrik PLN setiap bulannya yang artinya hemat listrik.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan untuk penelitian mesin pendingin (AC) split terdiri dari 1 (satu) unit mesin pendingin split dengan kapasitas 1 PK, Merk ; LG-Type LS B0966CN, 1 (satu) unit buah tabung refrigeran yang berisi 3 kg refrigeran R-22, 1 (satu) unit buah tabung refrigeran yang berisi 3 kg refrigeran alternatif hidrokarbon, dan 2 (dua) buah isolatif. Sumber energi listrik dari PLN dengan kapasitas maximum 900 Watt.

Alat yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah charging manifold, vacuum pump, machine 3-R (Recovery, Recycle, dan Recharging), digital thermometer, serta peralatan bantu lainnya.

Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. PERTAMINA (Persero) dibagian Research and Laboratory Services Jl. Raya Bekasi km 20 Pulo Gadung. Waktu pelaksanaan penelitian selama 2 (dua) hari, yaitu pada bulan Nopember 2008. Secara keseluruhan terbagi menjadi 4 (empat) tahap yaitu : (1) Penentuan temperature pendinginan pada mesin pendingin split kapasitas 1 PK, (2) Penentuan parameter yang diukur dan diinstrumentasikan pada mesin pendingin

ngin yang menggunakan bahan refrigeran R-22 dan refrigeran alternatif hidrokarbon (R-AH), (3) Penentuan nilai kelembaban relative ruangan (RH) pada mesin pendingin yang menggunakan bahan refrigeran R-22 dan refrigeran alternatif hidrokarbon, dan (4) Penentuan karakteristik mesin pendingin serta penentuan COP dan konsumsi daya listrik. Sedangkan metode penelitian yang dilakukan meliputi : model 1, operasi mesin pendingin split yang menggunakan bahan refrigeran R-22, dimana dalam operasinya dilakukan selama 2 (dua) hari pada tahun 2008, setiap operasi dimulai pada jam 9.00 pagi dan selesai jam 15.00 siang (6 jam kerja), dan model 2, operasi mesin pendingin split 1 Pk yang menggunakan bahan refrigeran alternatif hidrokarbon (R-AH), dimana dalam operasinya dilakukan selama 2 (dua) hari pada tahun 2008 setiap operasi dimulai jam 9.00 pagi dan selesai jam 15.00 siang (6 jam kerja).

Tabel 1.
Data-data dan parameter yang diukur pada mesin yang menggunakan bahan refrigeran R-22

No Titik Pengukuran	Penelitian Model I Operasi mesin Pendingin split yang menggunakan bahan refrigeran R – 22		
1.	Berat refrigeran R – 22	: WRF	(kg)
2.	Temperatur pendingin pada AC	: Tp1	(°C)
3.	Temperatur masuk kondensor	: T4	(°C)
4.	Temperatur keluar kondensor	: T1	(°C)
5.	Temperatur masuk evaporator	: T2	(°C)
6.	Temperatur keluar evaporator	: T3	(°C)
7.	Tekanan isap/Suction pressure	: pi	(psi)
8.	Tekanan keluar/Discharge pressure	: pk	(psi)
9.	Besar ampere pada tang ampere meter	: IR	(Amp)
10.	Temperatur bola kering	: Tb ₁	(°C)
11.	Temperatur bola basah	: Tb ₂	(°C)

Tabel 2.
Data-data parameter yang diukur pada mesin pendingin yang menggunakan alternatif hidrokarbon (R – H)

No Titik Pengukuran	Penelitian Model II Operasi mesin Pendingin split yang menggunakan bahan refrigeran MC – 22		
1.	Berat refrigeran R – 22	: WMC	(kg)
2.	Temperatur pendingin pada AC	: Tp2	(°C)
3.	Temperatur masuk kondensor	: T4	(°C)
4.	Temperatur keluar kondensor	: T1	(°C)
5.	Temperatur masuk evaporator	: T2	(°C)
6.	Temperatur keluar evaporator	: T3	(°C)
7.	Tekanan isap/Suction pressure	: pi	(psi)
8.	Tekanan keluar/Discharge pressure	: pk	(psi)
9.	Besar ampere pada tang ampere meter	: IM	(Amp)
10.	Temperatur bola kering	: Tb ₁	(°C)
11.	Temperatur bola basah	: Tb ₂	(°C)

Prosedur Pengambilan Data

Dalam hal pengambilan data diperlukan suatu persiapan yang terencana baik secara peralatan maupun langkah-langkah pengambilan data yang akan dilakukan. Setelah semua alat ukur terpasang pada titik-titik pengukuran yang telah ditentukan dan sistem unit AC siap untuk diuji maka proses pengambilan data pun dapat dilakukan langkah-langkah pengambilan data pengujian sistem unit AC yang dilakukan adalah sebagai berikut : (1) menimbang berat bahan R – 22 dan R-AH sebelum digunakan dan sesudah digunakan ke sistem unit mesin pendingin (AC), (2) mencatat data-data awal sebelum sistem unit pendingin (AC) dijalankan dan dimasukkan data-data tersebut pada tabel data pengamatan dimulai dari menit ke nol, (3) jalankan sistem unit mesin pendingin (AC) dan 10 menit kemudian dilakukan pengukuran data-data tersebut ke tabel data pengamatan pada menit ke 10, (4) lakukan pengukuran seperti pada langkah 3 setiap selang waktu 10 menit hingga 5 kali pengukuran, (5) matikan sistem unit mesin pendingin (AC) kemudian divakum untuk diretrofitting dengan refrigeran alternatif hidrokarbon (R-AH), dan (6) sebelum sistem unit mesin pendingin (AC) diisi oleh refrigeran AH maka pengambilan data dapat dilakukan kembali dengan langkah-langkah yang sama seperti pada pengambilan data-data refrigeran R-22.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Pengamatan

Pengambilan data dengan menggunakan unit mesin pendingin (AC) dengan spesifikasi sebagai berikut :

Model mesin pendingin AC : Split

Kapasitas mesin pendingin	: 1 PK
Merk mesin pendingin	: LG
Type mesin pendingin	: LS. B. 0966 CN
Kapasitas pendinginan	: 8000 BTU/hr

Data pengamatan penelitian model 1 pada saat sistem mesin pendingin (AC) menggunakan refrigeran R – 22. menggunakan ruangan dengan ukuran sebagai berikut Panjang = 3,5 m; Lebar = 2,5 m; Tinggi = 2,25 m; Volume = 19,7 m³; yang dilakukan pada hari/tanggal Senin / 6 Nopember 2008, pukul 10.00 s/d 12.00 WIB, diperlihatkan pada tabel 3.

Tabel 3.
Hasil pengujian pada sistem pendingin dengan menggunakan refrigeran R-22

No.	Titik Pengukuran	Satuan	0	15	30	45	60	Rata-rata
1	Berat Refrigeran R-22 (WRT)	kg	0,932	0,932	0,932	0,932	0,932	0,932
2	Temperatur Pendingin (Tp1)	°C	29	30,1	31,8	31,5	31,8	30,7
3	Temperatur Pendingin (Tp2)	°C	27	24	22	21	23,5	24,4
4	Temp. Masuk Kondensator (T4)	°C	47,5	47,8	47,9	48,5	48,5	48,1
5	Temp. Keluar Kondensator (T1)	°C	18,2	18,9	19,3	19,7	20,3	19,3
6	Temp. Masuk Evaporator (T2)	°C	15,4	15,3	14,5	14,2	13,1	14,5
7	Temp. Keluar Evaporator (T3)	°C	21,2	21,5	22,4	20,4	22,6	22
8	Tekanan Isap (P _i)	psi	80,2	80,1	80	80	80	80,6
9	Tekanan Keluar (P _e)	psi	230,5	231,8	232,5	233,6	234,5	232,6
10	Arus Listrik	Amp	4,8	4,8	4,9	4,9	4,9	4,86

Ket : Cut Off = 60 menit On = 2 menit Temperatur = 14,5 °C
Setting Temperatur = 20 °C

Data pengamatan penelitian model 2 pada saat sistem mesin pendingin (AC) menggunakan refrigeran alternatif hidrokarbon; yang dilakukan pada hari/tanggal Selasa / 7 Nopember 2008, pukul 10.00 s/d 12.00 WIB, diperlihatkan pada tabel 4.

Tabel 4.
Hasil pengujian pada sistem pendingin dengan menggunakan refrigeran alternatif hidrokarbon

No.	Titik Pengukuran	Satuan	0	15	30	45	60	Rata-rata
1	Berat Refrigeran R-22 (WRT)	kg	0,317	0,317	0,317	0,317	0,317	0,317
2	Temperatur Pendingin (Tp1)	°C	29,2	32	32,4	32,8	33,8	31,9
3	Temperatur Pendingin (Tp2)	°C	27	25	24	22	21	23,8
4	Temp. Masuk Kondensator (T4)	°C	45,2	46,5	47,3	47,7	47,9	46,92
5	Temp. Keluar Kondensator (T1)	°C	19,5	19,4	20,6	20,5	20	20
6	Temp. Masuk Evaporator (T2)	°C	10,8	10,6	10,5	10,3	10,1	10,5
7	Temp. Keluar Evaporator (T3)	°C	20,2	20,4	20,7	20,8	20,9	20,6
8	Tekanan Isap (P _i)	psi	60	60	59	58	58	59
9	Tekanan Keluar (P _e)	psi	210,3	210,8	211,5	212,6	214,4	211,9
10	Arus Listrik	Amp	3,0	3,1	3,1	3,1	3,1	3,08

Ket : Cut Off = 60 menit On = 2 menit Temperatur = 14,5 °C
Setting Temperatur = 20 °C

Analisa Coefisien of Performance / COP

Besar harga COP dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$COP = \frac{\text{Efektif Refrigeran}}{\text{Kerja Kompresi}} = \frac{QC}{W}$$

$$COP = \frac{h3 - h2}{W} = \frac{h3 - h2}{h4 - h3}$$

Dimana : h2 = enthalpy pada temperatur masuk evaporator (kJ/kg)

h3 = enthalpy pada temperatur keluar evaporator (kJ/kg)

h4 = enthalpy pada temperatur keluar kondensator (kJ/kg)

Besar harga h2; h3; dan h4 dapat ditentukan dari tabel Enthalpy.

Perhitungan COP untuk mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R-22 :

$$\begin{aligned} T2 &= 14,4 \text{ °C} & h2 &= 217,328 \text{ kJ/kg} \\ T3 &= 21,0 \text{ °C} & h3 &= 412,202 \text{ kJ/kg} \\ T4 &= 48,1 \text{ °C} & h4 &= 417,665 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Dari tabel 4, h2 didapat dengan metode interpolasi: Temperatur masuk evaporator (T2) = 14,5 dimana h2 = hf

$$\begin{aligned} hf(14,5) &= 216,719 + \frac{217,937 - 216,719}{15 - 14} \times (14,5 - 14) = 216,719 + (1,218 \times 0,5) \\ &= 216,719 + 0,069 \\ h2 &= 217,328 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Temperatur keluar evaporator (T3) = 22 °C didapat h3 hf = 226,568 kJ/kg
Temperatur masuk kondensator (T4) = 48,1 °C dimana h4 = hg, maka :

$$\begin{aligned} hg(48,1 \text{ °C}) &= 417,655 + \frac{417,752 - 417,655}{(49 - 48)} \times (48,1 - 48) \\ &= 417,655 + (0,0097 \times 0,1) \\ &= 417,655 + (0,0097) \\ h4 &= 417,665 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Efek refrigeran (QC)} &= h3 - h2 \\ &= 412,202 - 217,328 \\ &= 194,874 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kerja kompresi (W)} &= h4 - h3 \\ &= 417,665 - 226,568 \\ &= 191,097 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$COP = \frac{194,874}{191,097} = 1,02$$

Jadi hasil perhitungan COP untuk mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R-22 = 1,02

Daya kompresor (N)

$$\begin{aligned} \text{Daya kompresor untuk R - 22 dimana} &= 22,03 \text{ kg/jam} \\ &= 0,2 \text{ kg/menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya kompresor (N)} &= \frac{m \times (h4 - h3)}{60} \text{ (kW)} \\ &= \frac{0,2 \text{ kg / men} (191,097)}{60} = 0,64 \text{ kW} \end{aligned}$$

Laju Aliran Refrigeran (LAR)

Untuk mengetahui laju aliran refrigeran dalam system menggunakan rumus sebagai berikut :

$$m = \frac{Q}{QC} \text{ (kg / jam)}$$

Dimana : m = Laju aliran refrigeran
Q = Kapasitas pendingin
QC = Efek refrigerasi (kJ/kg)

Diketahui dari data mesin pendingin, kapasitas pendingin (Q) = 8000 BTU/jam

$$1 \text{ KWh} = 3,413 \text{ BTU} ; \text{QC} = 194,874 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi : } Q &= \frac{8000 \text{ BTU} / \text{jam}}{3,413 \text{ BTU} / \text{jam}} \\ &= 2343,98 \text{ KW/jam} \end{aligned}$$

$$m = \frac{2343,998 \text{ KW} / \text{jam}}{194,874 \text{ kJ} / \text{kg}} = 12,03 \text{ kg} / \text{jam}$$

Perhitungan COP untuk mesin pendingin yang menggunakan refrigeran alternatif hidrokarbon (R - AH).

T2 = 10,5 °C kJ/kg	h2 = 2268,1
T3 = 20,6 °C kJ/kg	h3 = 5975,2
T4 = 46,9 °C kJ/kg	h4 = 6199,68

Dari tabel enthalpy, h2 ; h3 ; dan h4 didapat dengan metode interpolasi

Temperatur masuk evaporator (T2) = 15,5 °C dimana h2 = hf.

$$\begin{aligned} h_f(10,5) &= 2255 + \frac{(2386 - 2255)}{15 - 10} \times (10,5 - 10) \\ &= 2255 + (26,2 \times 0,5) \\ &= 2255 + 13,1 \\ h_3 &= 2268,1 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Temperatur keluar evaporator (T3) = 20,6 °C dimana h3 = hg

$$\begin{aligned} h_f(20,6^\circ\text{C}) &= 5959 + \frac{6009 - 5959}{(25 - 29)} \times (20,6 - 20) \\ &= 5959 + (27 \times 0,6) \\ &= 5959 + 16,2 \\ h_3 &= 5975,2 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Temperatur masuk kondensor (T4) = 46,9 °C dimana h4 = hg

$$\begin{aligned} h_g &= (46,9) = 6186 + \frac{(6222 - 6186)}{50 - 45} \times (46,9 - 45) \\ &= 6186 + (7,2 \times 1,9) = 6186 + 13,68 \\ h_4 &= 6199,68 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Efek refrigeran (QC)} &= h_3 - h_2 \\ &= 2536,2 - 2268,1 \\ &= 268,1 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kerja Kompresi} &= h_4 - h_3 \\ &= 6199,68 - 5975,2 \\ &= 224,5 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\text{COP} = \frac{268,1}{224,5} = 1,2$$

Jadi hasil perhitungan COP untuk mesin pendingin yang menggunakan refrigeran alternatif hidrokarbon adalah 1,2.

Daya kompresor untuk R - AH dimana mref = 8,7 kgt/jam = 0.145 kg/menit

$$\begin{aligned} \text{Daya kompresor (N)} &= m_{ref} \frac{h_2 - h_3}{60} (\text{kW}) \\ &= \frac{0,145 \text{ kg} / \text{men} (224,5) \text{ kJ} / \text{kg}}{60} \\ &= 0,54 \text{ kW.} \end{aligned}$$

Jumlah kalor yang dibuang oleh kondensor (Q1 = Q out)

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_{out} \\ &= h_4 - h_1 \end{aligned}$$

$$\text{Dimana : } h_4 = h_g(46,9^\circ\text{C}) = 6199,68 \text{ kJ/kg}$$

$$h_1 = h_f(20^\circ\text{C}) = 5959,0 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi } Q_1 = Q_{out} &= 6199,68 - 5959,0 \\ &= 240,60 \text{ kJ/kg.} \end{aligned}$$

Laju Aliran Refrigeran (LAR)

Untuk mengetahui laju aliran refrigeran dalam system dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$m = \frac{QC}{QC} (\text{Kg/jam})$$

Dimana : m = Laju aliran refrigeran (kg/Jam)
Q = Kapasitas pendingin (kW/Jam)
QC = Efek refrigeran (kJ/kg)

Diketahui data mesin pendingin, kapasitas pendingin (Q) = 8000 BTU/jam.

$$1 \text{ kW} = 3,413 \text{ BTU} ; \text{QC} = 268,1 \text{ kJ/kg.}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi } Q &= \frac{8000 \text{ BTU} / \text{jam}}{3,413 \text{ BTU} / \text{jam}} \times \text{kW} / \text{jam} \\ &= 2343,98 \text{ kW/jam.} \end{aligned}$$

$$m = \frac{2343,98 \text{ kW} / \text{jam}}{268,1 / \text{kg}} = 8,7 \text{ kg} / \text{jam}$$

Analisa perhitungan pemakaian daya listrik pada mesin pendingin refrigeran R-22

Daya listrik (P) : V. A cos p (watt)
Besarnya cos p diambil : 0,85 (faktor koreksi)
P = 220 x 4,86 x 0,05
= 908,82 watt.

Pemakaian listrik perbulan = 908,82 watt x 8 jam x 30 hari
= 218,116 watt jam
= 218,12 kwh

Blaya pemakaian listrik perbulan = 218,12 kwh x Rp. 529 = Rp. 115,48,-

Dengan menggunakan data-data spesifikasi mesin pendingin pada (AC) yang sama dengan mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R – 22, maka biaya pemakaian listrik seperti dibawah ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Daya listrik (P)} &= V \cos \rho \text{ (watt)} \\
 \text{Arus listrik (A)} &= 3,08 \text{ Ampere} \\
 \text{Besarnya } \cos \rho \text{ diambil} &= 0,85 \text{ watt} \\
 &= 575,96 \text{ watt.} \\
 P &= 220 \times 3,08 \times 0,85 \text{ watt} \\
 &= 575,96 \text{ watt} \\
 \text{Pemakaian listrik perbulan} &= 575,96 \text{ watt} \times 8 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} \\
 &= 138.230,4 \text{ watt jam} \\
 &= 138,23 \text{ kwh.} \\
 \text{Biaya pemakaian listrik perbulan} &= 138,23 \text{ kwh} \times \text{Rp. } 529 \\
 &= \text{Rp } 73.123,76,-
 \end{aligned}$$

Biaya penghematan listrik perbulan mesin pendingin (AC) yang menggunakan refrigeran R – 22 dengan mesin pendingin (AC) yang menggunakan R – AH adalah sebagai berikut: biaya pemakaian listrik perbulan pada AC dengan R–22 dikurang dengan biaya listrik perbulan pada AC dengan = Rp. 115.385,48 – Rp. 73,123,67 = Rp. 42.261,81,-, sehingga efisiensi (η) =

$$\frac{42.261,81}{115.385,48} \times 100\% = 36,6\%$$

Pada umumnya temperatur pendinginan untuk perumahan maupun perkantoran yang paling nyaman untuk manusia adalah pada temperature 15 °C s/d 25 °C dan kelembaban Relatif adalah 50 s/d 60%.

Besar nilai Kelembaban Relati (RH) pada mesin pendingin (AC) dengan menggunakan refrigeran R–22 dapat ditentukan dengan menggunakan grafik psychrometrik dengan menarik garis temperatur bola kering dan temperatur bola basah sehingga didapat RH rata-rata mesin pendingin yaitu : pada setting temperatur 20 °C didapat harga RH = 51,6 %, maka dengan kondisi seperti itu mesin pendingin masuk dalam kategori nyaman untuk dipakai karena sesuai dengan standard yang telah ditentukan.

Besar nilai Kelembaban Relatif (RH) pada mesin pendingin (AC) dengan menggunakan refrigeran AH dapat ditentukan dengan menggunakan grafik psychrometrik dengan menarik garis temperatur bola kering dan temperatur bola basah sehingga didapat RH rata-rata mesin pendingin yaitu : pada setting temperatur 20 °C didapat harga RH = 60 %, maka dengan kondisi seperti itu mesin pendingin masuk dalam kategori nyaman untuk dipakai karena sesuai dengan standard yang telah ditentukan.

Tabel 5.

Perbandingan hasil analisa dan perhitungan mesin pendingin menggunakan R-22 dengan Refrigeran alternatif hidrokarbon

No	Pengujian	Refrigeran R–22	Refrigeran alternatif hidrokarbon
1.	Efek Refrigeran (QC)	194,874 kJ/kg	268,1 kJ/kg
2.	Kerja kompresi (W)	191,097 kJ/kg	224,5 kJ/kg
3.	Daya Kompresor	0,64 kW	0,54 kW
4.	Kalor yang dibuang oleh kondensor	194,628 kJ/kg	240,68 kJ/kg
5.	Laju Aliran Refrigeran	12,03 kg/jam	8,7 kg/jam
6.	COP	1,02	1,2
7.	Arus Listrik	4,86 Ampere	3,08 Ampere
8.	Pemakaian Listrik Perbulan	218,12 kW	138,23 kW
9.	Biaya Pemakaian Listrik perbulan	Rp. 115.385,48	Rp. 73.123,67,-
10.	η biaya pemakaian listrik		36,6%
11.	Kelembaban Relatif (RH)	51,6 %	60,0%

SIMPULAN

Besar nilai COP pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R–AH adalah 1,8 dan mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R–22 adalah 1,02. Kerja kompresi dari kompresor pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R–AH adalah sebesar 224,5 kJ/kg. Sedangkan pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R–22 adalah sebesar 191,097 kJ/kg. Besar Nilai Kelembaban Relatif (RH) pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R–AH adalah sebesar 60%. Sedangkan pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R–22 adalah sebesar 51,6%. Besar Arus Listrik yang digunakan pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R–AH adalah 3,08 ampere, sedangkan mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R–22 adalah sebesar 4,86 ampere.

Pemakaian listrik perbulan pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R–AH adalah sebesar 138,32 kw, sedangkan pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R–22 adalah sebesar 218,12 kW. Biaya pemakaian listrik perbulan pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R–AH adalah sebesar Rp. 73.123,67,-. Sedangkan pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R–22 adalah sebesar Rp. 115.385,48.

DAFTAR PUSTAKA

Kardiyono, 2003, *Perbandingan Unjuk Kerja System Air Conditioning mempergunakan R–22 dengan R–290*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin, Institut Sain dan Teknologi AL – Kamal, Jakarta.

Martana Budhi, 2004, *Perawatan Pada Mesin Pendingin yang Menggunakan Refrigeran CFC ke Hidrokarbon*, Jurnal ilmiah BINA TEKNIKA Fakultas Teknologi Industri UPN "Veteran" Jakarta, ISSN : 1693 – 8550 Volume 1 no 1 Mei – Agustus 2004, Penerbit FTI – UPN "Veteran" Jakarta..

Marsudi, Juli 1999. *Model Mesin Pendingin Sistem Foto Voltanic dengan Energi Surya untuk Mendinginkan Benih HTI UNTAR*, POROS, No. ISSN 1410 – 6841, Volume 2 nomor 2, Juli 1999, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Tarumanegara. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin dan Teknologi Manufaktur.

PT. Pertamina (Persero), 2002; *Aspek Teknik Refrigeran Hidrokarbon Musicool (MC) yang Hemat Energi dan Ramah Lingkungan*; Research and laboratory Service; Jl. Raya Bekasi Km 20 pulo Gadung.

Sujirin, Januari 2000, *Heat Exchanger (APK) Bersirip Pada Proses Pemanasan dan Pendinginan Udara*, POROS, No. ISSN 1410 – 6841, Volume 3 nomor 1, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin, Universitas Tarumanegara, Jurnal ilmiah Teknik Mesin dan Teknologi manufaktur.

Sukarna I Wayan dan Bison, Juli 1999, *Perhitungan Beban Pendingin (cooling load) Ruang Kuliah J 508 FT Untar*, POROS, No I ISSN 1410 – 6841, Volume nomor 2, Juli 1999, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Tarumanegar. Jurnal ilmiah Teknik Mesin dan Teknologi Manufaktur.

Widodo, 2004, *Tata Cara Retrofitting pada AC split Panasonic Kapasitas 2 PK*. Tekno Sain, Volume, No 1, Februari 2004, Jurnal Sekolah Tinggi Teknologi Bina Tunggal, Bekasi, ISSN : 1693 8089.