

UJI PRESTASI MESIN PENDINGIN MENGGUNAKAN REFRIGERAN LPG

Soengeng Witjahjo

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl.Srijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139

Telp: 0711-353414, Fax: 0711-453211

RINGKASAN

Mesin pendingin mempunyai peranan penting dalam kehidupan manusia sehari-hari, baik untuk keperluan rumah tangga maupun dunia industri. Mesin pendingin dapat diaktifkan sebagai mesin pengawet (almari pendingin) maupun mesin pengkondisi udara (AC). Salah satu komponen dari mesin pendingin jenis kompresi uap adalah fluida kerja (*refrigeran*) yang berfungsi sebagai penyerap dan pembuang kalor. Berkaitan dengan isu pemanasan global dan perusakan ozon yang salah satu penyebabnya adalah pemakaian zat jenis CFC (*Chlorofluoride Carbonate*) dimana zat ini terkandung pada refrigeran jenis R-12, maka pada penelitian ini akan dicoba pemakaian salah satu zat hidrokarbon yang biasanya dipakai sebagai bahan bakar, zat tersebut adalah LPG (*Liquified Petroleum Gas*), dengan alasan bahwa zat tersebut memiliki sifat termodinamika yang 'mendekat' sifat termodinamika R-12. Pengujian prestasi mesin pendingin ditunjukkan oleh harga COP (*Coeficient of Perfomance*) yang dihasilkan dengan variasi beban pendinginan dan tekanan operasi refrigeran. Hasil pengujian yang telah dilaksanakan memberikan indikasi bahwa LPG dapat dipakai sebagai refrigeran pengganti R-12 terutama untuk beban pendinginan yang sedang. Komponen-komponen yang terlibat pada pengujian tidak mengalami kerusakan. Minyak pelumas yang dipakai untuk refrigeran R-12 dapat dipakai pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran LPG.

Kata Kunci : Refrigerant, LPG, COP, Non CFC

I. PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

CFC ditemukan sekitar tahun 1930-an dan merupakan bahan yang sangat ideal untuk refrigeran karena zat ini memiliki sifat fisik dan termal yang sangat baik untuk dioperasikan pada mesin pendingin. Selain itu juga memiliki keunggulan lain seperti tidak beracun, tidak mudah terbakar, sangat stabil dan murah harganya. Pada tahun 1974 Rowland dan Molina dalam paparannya pada seminar internasional mengemukakan bahwa CFC yang terkandung pada refrigeran jenis R-12 adalah bersifat ODS (*Ozone Depleting Substance*) yaitu zat yang dapat merusak lapisan Ozon di Stratosfir. Sejak saat itu banyak diselenggarakan pertemuan internasional yang membuahkan berbagai

rekomendasi untuk mengurangi mekanisme ODS. Hasilnya adalah Konvensi Wina (1985), Konvensi Geneva (1986) dan Protokol Montreal (1987) yang diikuti amandemen London (1990). Indonesia telah meratifikasi melalui KEPRES RI No.23/1992 yang intinya menghapuskan pengadaan ODS termasuk CFC pada akhir tahun 1997.

Sesuai dengan jadwal penghapusan refrigeran CFC yang telah disepakati, penggantian R-12 adalah yang paling mendesak, karena refrigeran CFC didominasi oleh R-12. Refrigeran yang berpotensi sebagai pengganti R-12 yang diusulkan oleh dunia industri sudah banyak, baik berupa Refrigeran sintetik (R-134a[®], Suva[®], Klea[®] dll), maupun

refrigeran alam (amonia, Karbon dioksida, Nitrogen dll) dimana masing masing memiliki keunggulan sendiri-sendiri. Dari berbagai merek dagang yang ada di Indonesia yang memperoleh rekomendasi resmi hanyalah R-134[®] yang nota bene masih memiliki angka GWP (*Global Warming Potencial*) yang tinggi serta harganya yang mahal.

Hidrokarbon, yaitu suatu zat yang memiliki unsur utama Hidrogen dan Karbon adalah zat-zat yang tidak asing bagi kehidupan kita sehari hari dan LPG (*Liqufied Petroleum Gas*) adalah salah satunya. LPG, berupa gas alam cair, adalah salah satu produk dari pengolahan minyak bumi yang dipakai oleh masyarakat sebagai bahan bakar untuk memasak. Dari pengujian di laboratorium, atas dasar mol, LPG memiliki komposisi 8% s/d 12 % Propana (C₃H₈). 42 % s/d 47% Normal Butana (C₄H₁₀) serta 45% s/d 54% Iso Butana.

Jika berdiri sendiri maka diantara ketiga zat yang terkandung dalam LPG memiliki sifat termodinamika yang tidak jauh berbeda dengan apa yang dimiliki oleh refrigeran R-12. Sifat termodinamika tersebut adalah temperatur dan tekanan jenuh pada daerah operasi mesin pendingin.

Dari kedua alasan di atas yaitu bahwa R-12 harus segera dihapuskan serta LPG mempunyai sifat termodinamika yang mendekati R-12, maka penulis mencoba untuk melakukan kegiatan penelitian yang berkaitan dengan prospek pemakaian LPG sebagai refrigeran pada mesin pendingin jenis Kompresi Uap.

I.2. Tujuan Penelitian

Didasarkan pada karakteristik termodinamika LPG yang dapat dikatakan mendekati sifat termodinamika refrigeran R-12 Penelitian ini memiliki dua tujuan, yaitu:

1. Rancang bangun mesin pendingin kompresi uap dilengkapi dengan sistem pengendali, instrumen pengukuran serta

sistem keamanan, dengan tujuan agar mesin pendingin dapat dipakai sebagai alat uji refrigeran.

2. Melakukan pengujian mesin baik menggunakan refrigeran standar R-12 maupun refrigeran yang diusulkan yaitu LPG.

Outcomes dari penelitian ini adalah prestasi mesin pendingin kompresi uap yang dioperasikan menggunakan LPG. Penelitian adalah bersifat aplikatif yang dapat dikembangkan lebih lanjut pada obyek penelitian lain yang terkait.

II. PERUMUSAN MASALAH

Permasalahan utama serta merupakan obyek yang akan diteliti adalah mencari data prestasi mesin yang ditunjukkan oleh harga COP (*Coeficient of Perfomance*) dari mesin pendingin pada berbagai rasio tekanan refrigeran dan beban pendinginan yang ditanggung oleh koil evaporator. Pembuangan kalor melalui kondensor tidak dibahas karena dilakukan menggunakan udara bebas.

Ratio tekanan antara kondensor dan evaporator (P_c/P_e) diperoleh dengan cara mengalirkan refrigeran ke salah satu diantara lima pipa kapiler yang berbeda panjangnya serta merupakan katup ekspansi. Pipa kapiler dari bahan tembaga dengan diameter 0,2 mm yang berjumlah 5 buah memiliki panjang masing-masing :

- kapiler 1 dengan panjang 30 cm
- kapiler 2 dengan panjang 45 cm
- kapiler 3 dengan panjang 62,5 cm (pipa kapiler standar untuk refrigeran R-12)
- kapiler 4 dengan panjang 75 cm
- kapiler 5 dengan panjang 90 cm

Sedangkan beban pendinginan disimulasikan menggunakan udara yang dialirkan melalui koil evaporator. Kedua jenis variasi akan diperlakukan baik pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R-12 maupun dengan LPG. Untuk setiap pelakuan, data COP yang diperoleh akan dibandingkan. Dari sini (secara statistik) akan dapat disimpulkan berkaitan bisa atau tidaknya LPG mengganti peran R-12 (*Retrofitting*) sebagai refrigeran

mesin pendingin Jika bisa dimana daerah kerja terbaik dari mesin pendingin tersebut.

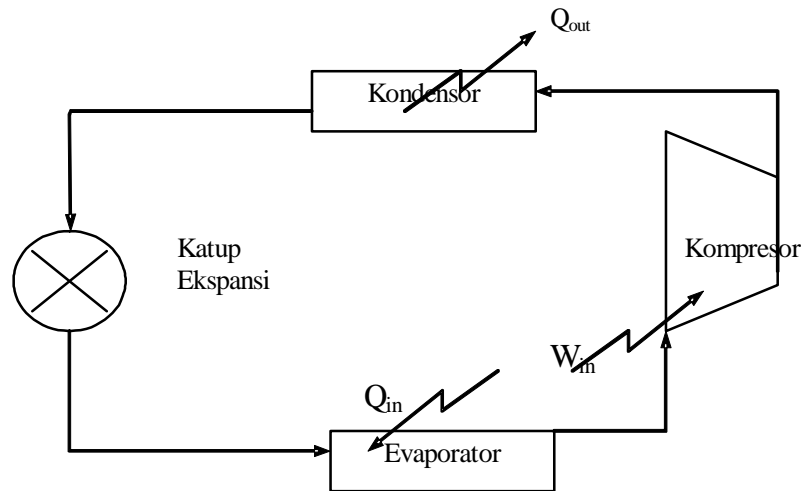
III. TINJAUAN PUSTAKA

Mesin pendingin kompresi uap bekerja atas dasar Siklus Carnot terbalik, dengan fluida kerja yang bersirkulasi membentuk siklus tertutup. Tingkat keadaan refrigeran baik pada kondensor maupun evaporator senantiasa berada pada tingkat keadaan campuran cair-uap, hal ini berkaitan dengan sifat laten zat sehingga refrigeran dapat menyerap dan membuang kalor sebanyak mungkin.

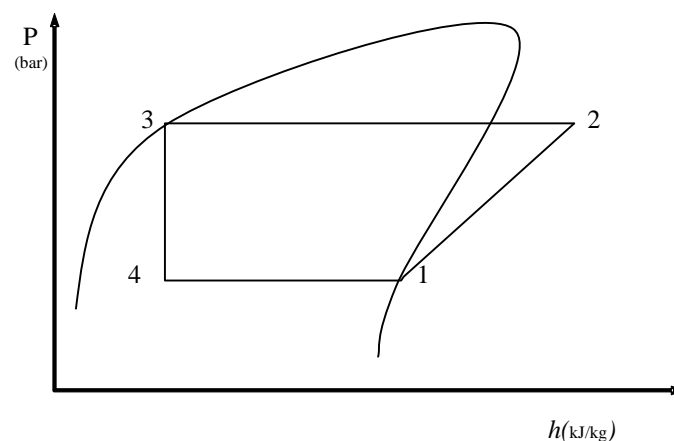
Didalam operasinya, refrigeran refrigeran selalu bercampur dengan minyak pelumas, hal ini bertujuan untuk mengurangi efek erosi pada instalasi yang akan dilalui refrigeran. Refrigeran yang baik memiliki sifat-sifat antara lain:

1. Tidak berbau maupun beracun
2. Tidak korosif
3. Memiliki angka *Joule-Thomson* yang besar.

Siklus termodinamika pada mesin pendingin dapat dilihat pada diagram berikut.



Gambar 1. Instalasi Mesin Pendingin Kompresi Uap Standar



Gambar 2. Diagram Tekanan vs Entalpi Mesin Pendingin Kompresi Uap

Keterangan

- Proses 1→2 : Kompresi isentropik oleh kompresor, tujuannya untuk menaikkan tekanan refrigeran yang diikuti oleh kenaikan temperatur refrigeran.
- Proses 2→3 : Pendinginan kondensor dengan tujuan untuk menurunkan kandungan kalor refrigeran
- Proses 3→4 : Penurunan tekanan refrigeran oleh katup ekspansi dengan tujuan untuk menurunkan temperatur refrigeran
- Proses 4→1 : Penyerapan kalor bagi benda yang akan didinginkan oleh evaporator.

Energi mekanik dibutuhkan oleh kompresor untuk mensirkulasikan refrigeran, pembuangan kalor dilakukan pada kondensor dan pengambilan kalor (tempat benda akan didinginkan) terjadi di evaporator.

Untuk mendapatkan kinerja evaporator yang baik refrigeran pada kondensor

$$COP = \frac{\text{Daya ideal kompresor}}{\text{Energi kalor pada evaporator}} = \frac{\dot{m}(h_2 - h_1)}{\dot{m}(h_1 - h_4)} = \frac{(h_2 - h_1)}{(h_1 - h_4)} \quad (1)$$

Dimana m = laju aliran massa refrigeran. Didalam pengujian data-data mengenai laju aliran massa dan entalpi sangat sulit untuk diukur sehingga perhitungan COP dilakukan dengan:

1. Untuk daya ideal kompresor dihitung dari pemakaian daya listrik pada kompresor. Jika V (Volt) adalah tegangan listrik dan I (Ampere) adalah intensitas arus, maka daya listrik yang dipakai oleh kompresor adalah:

$$P = V \cdot I \text{ (Watt)} \quad (2)$$

2. Untuk Energi kalor yang mampu diserap oleh evaporator dihitung atas dasar penurunan kandungan kalor pada udara (Lit 2 hal 41). Pada pengujian ini beban pendinginan adalah udara yang dialirkan pada koil evaporator. Dan energi kalor yang diserap oleh udara adalah sebesar:

$$Q_u = \dot{m}_u \cdot C_p \cdot \Delta T_u \quad (3)$$

$$\dot{m}_u = \rho \cdot A \cdot V$$

$$\rho = \frac{P}{RT}$$

dimana:

m_u = Laju aliran massa udara (kg/det)

C_p = Panas jenis uadar pada tekanan konstan = 0,2403 (kJ/kg.K)

ΔT = Perubahan temperatur udara yang mengalir pada eveporator (K)

ρ = massa jenis udara (kg/m³)

diturunkan tekanannya oleh sebuah katup ekspansi. Disini terjadi tawar menawar antara rendahnya tekanan refrigeran yang diikuti dengan rendahnya temperatur dengan laju aliran massa refrigeran bersirkulasi. COP mesin pendingin dihitung dengan formulasi (Lit 1 hal 78)

A = Luas penampang aliran udara (m², dapat diukur)

V = Kecepatan aliran udara (m/det, dapat diukur)

P = Tekanan mutlak udara(N/m², dapat diukur)

R = Konstanta gas ideal udara
= 2,4061 kJ/kg.K

Data yang dihasilkan dari pengujian diperkirakan akan diperoleh harga COP untuk refrigeran LPG yang mendekati COP untuk R-12, bahkan bisa jadi lebih baik. Akan tetapi yang lebih penting adalah temperatur refrigeran pada evaporator harus dapat serendah mungkin karena di sini beban pendinginan akan ditempatkan.

Harga rata-rata dari data pengujian dihitung menggunakan formulasi

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (4)$$

Penyimpangan data dari kedua jenis refrigeran dihitung menggunakan formulasi:

$$X_p = \frac{\bar{M}_{LPG} - \bar{M}_{R-12}}{\bar{M}_{R-12}} \times 100\% \quad (5)$$

IV. METODOLOGI

IV.1. Persiapan Pengujian

Perangkat utama pada pengujian ini adalah sebuah mesin refrigerasi kompresi uap yang dirancang khusus untuk melakukan pengujian refrigeran. yang dilengkapi

dengan instrumen pengujian serta sistem keamanan yang memadai.

Untuk mendapatkan hasil yang optimal, didukung oleh pengalaman penulis pada kegiatan penelitian sebelumnya, maka beberapa hal yang penting sebelum melakukan pengujian mesin antara lain:

- a. Semua komponen mesin yang akan dipakai diuji kehandalannya dengan cara memberikan beban kerja (sekitar 10%) diatas beban rata-rata komponen tersebut dioperasikan menggunakan R-12.
- b. Semua alat ukur yang akan dipakai pada pengujian (*Manometer, Ampermeter, Anemometer, dan termokopel*) dikalibrasi untuk menjamin ketepatan pembacaan data.
- c. Sebelum mesin dioperasikan maka semua instalasi harus bebas dari kotoran serta udara agar tidak menghambat laju aliran refrigeran. Kegiatan ini dilakukan dengan pembilasan menggunakan gas Nitrogen (N₂) serta melakukan beberapa kali pemvakuman.
- d. Pengisian refrigeran (baik R-12 maupun LPG) serta minyak pelumas dilakukan sesuai dengan prosedur standar yang direkomendasikan oleh pabrik pembuat kompresor.
- e. Jangan menghidupkan mesin yang masih panas (perbedaan tekanan kondensor dan evaporator masih besar), karena hal ini dapat merusak kompresor.
- f. Mesin uji dilengkapi dengan sistem keamanan tekanan lebih, pendeteksi kebocoran dan temperatur lebih, mengingat pada pengujian LPG temperatur adalah hal yang relatif sensitif.
- g. Instrumen Pengukuran dikalibrasi untuk menjamin ketepatan pembacaan daya ketika dilakukan pengujian.

IV.2. Prosedur Pengujian

Setelah mesin dianggap aman dengan mengoperasikan pada daerah kerja standar R-12 selanjutnya akan dilakukan pengujian baik untuk refrigeran R-12 maupun

refrigeran hidrokarbon, LPG. Adapun prosedur pengujian yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut:

1. Instalasi mesin pendingin diisi dengan refrigeran R-12 serta minyak pelumas 'secukupnya' dengan indikator tingkat keadaan refrigeran yang terlihat dari *Eyehole*.
2. Mesin dihidupkan dengan cara menyambung kabel listrik ke kompresor diikuti oleh *fan* pada kondensor maupun pada evaporator. Pada kegiatan ini katup yang berhubungan dengan pipa kapiler dalam keadaan terbuka.
3. Setelah mesin bekerja dengan baik proses ekspansi refrigeran dilakukan oleh salah satu diantara ke 5 katup, dimulai dari katup tependek.
4. Setelah mencapai keadaan *Steady state* dilakukan pembacaan secara serentak terhadap: Tekanan kondensor, tekanan evaporator, temperatur udara masuk dan keluar serta kecepatan udara yang mengalir pada evaporator.
5. Kegiatan pengujian dilakukan seperti proses ke-5 untuk ke empat katup pipa kapiler lainnya.
6. Langkah-langkah pengujian 1 hingga 5 dilakukan untuk dua jenis refrigeran selanjutnya data yang dihasilkan dibandingkan menggunakan formulasi statistik yang sudah ditetapkan.
7. Bagi pembaca yang akan mengoperasikan mesin refrigerasi harus memperhatikan prosedur *Startup* yang sudah dicantumkan pada *mainboard* yang tersedia.

IV.3. Analisis Data Hasil Pengujian

Setiap perlakuan diambil datanya sebanyak 5 kali, selanjutnya data-data yang sejenis diperiksa secara statistik menggunakan Uji *C-Student* dengan *Confidence Limit* 5 %. Jika ada salah satu data yang menyimpang, maka akan dilakukan pengujian ulang dengan terlebih dahulu memeriksa keakuratan pembacaan alat ukur. Jika data sejenis telah memenuhi syarat secara statistik, maka diambil nilai rata-ratanya.

Perbedaan data antara refrigeran R-12 dan LPG diperiksa menggunakan persamaan (4).

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

V.1. Hasil Pengujian

Pengujian kedua jenis refrigeran telah dilaksanakan di Laboratorium Mekanik

Politeknik Negeri Sriwijaya pada tanggal 15 September 2002. Kegiatan ini melibatkan semua anggota tim penelitian. Kegiatan mengacu pada prosedur yang sudah ditetapkan dan bejalan sebagaimana yang diharapkan. Setelah diuji secara statistik serta diambil nilai rata-ratanya maka diperoleh hasil sebagai berikut.

1. Pada beban pendinginan rendah

<i>Refrigeran</i>	<i>Rasio tekanan (Pc/Pe)</i>	<i>COP(maks)</i>
<i>R-12</i>	8,42	4,78
<i>LPG</i>	9,03	4,51
<i>Perbedaan (%)</i>	7,24	5,65

2. Pada beban pendinginan sedang

<i>Refrigeran</i>	<i>Rasio tekanan (Pc/Pe)</i>	<i>COP(maks)</i>
<i>R-12</i>	9,23	4,81
<i>LPG</i>	9,47	4,59
<i>Perbedaan (%)</i>	2,60	4,57

3. Pada beban pendinginan tinggi

<i>Refrigeran</i>	<i>Rasio tekanan (Pc/Pe)</i>	<i>COP(maks)</i>
<i>R-12</i>	9,33	4,27
<i>LPG</i>	10,10	4,16
<i>Perbedaan (%)</i>	8,25	2,57

V.2. Pembahasan

Data numerik yang diperoleh dari pengujian yang dilanjutkan dengan analisis statistik mengindikasikan adanya kemampuan termodinamika bagi LPG untuk menggantikan peranan R-12 sebagai refrigeran mesin Pendingin. Di sisi yang lain Mesin pendingin Kompresi uap yang dirancang sebagai alat uji refrigeran dapat dimanfaatkan bagi mahasiswa sebagai sarana prakek pada mata kuliah Mesin Konversi Energi.

VI. KESIMPULAN

Dari kurva kecenderungan (*trendline*) serta nilai COP maksimum yang diperoleh untuk masing-masing beban di kedua jenis refrigeran dapat disimpulkan:

1. Refrigeran LPG, secara ermodinamik dapat menggantikan R-12 terutama untuk beban pendinginan yang rendah serta ratio tekanan medium. Hal ini ditunjukkan dari perbedaan yang lebih kecil dari 10%.

2. Penggunaan minyak pelumas yang biasanya dipakai untuk refrigeran R-12 sesuai untuk dioperasikan pada mesin pendingin yang menggunakan LPG
3. Komponen-komponen mesin pendingin tidak mengalami kerusakan jika dioperasikan menggunakan refrigeran LPG untuk jangka waktu yang lama.

VII. DAFTAR PUSTAKA

- Charles, N in ASHRAE Journal of Refrigeration 243 Series., "TRANSCIENT IN REFRIGERATION"., Paris, 1998
- Holman, J.P., alih bahasa Suprpto 'PERPINDAHAN PANAS'., Pradnya Paramita, edisi 4, Jakarta 1990
- Reynolds and Perkins, alih bahasa Philino harahap dan Pantur S, "TERMIDINAMIKA TEKNIK", Pradnya Paramita, Edisi 4, Jakarta, 1992
- Stocker, W. Bapeda Sum-Sel "SUMSTERA SELATAN DALAM ANGKA", edisi-2, 1995
- Walker & Marry "HYDROCARBON, MIXING & HANDLING"., Pradt & Whitney book Co, 3rd, Singapore, 1988