JURNAL

POWERPLANT

Arief Suardi Nur Chairat Vendy Antono	Rancang Bangun Metode Pembelajaran Praktikum CAD/CAM Dengan Menggunakan Perangkat Lunak Gratis
Hendri Suhengki Panji Ramadhan	Analisa Efisiensi Boiler Dengan Metode Heat Loss Sebelum dan Sesudah Overhoul PT. Indonesia Power UBP PLTU Lontar Unit 3
Eko Sulistyo Fadel Muhammad	Analisis Kekuatan Pipa Glass-Fiber Reinforced Epoxy Terhadap Beban Impak, Beban Tekuk, dan Bebabn Tekan di JOB Pertamina-PetroChina East Java
Roswati Nurhasanah	Pengaruh Penggunaan LSHX terhadap Performance Mesin Pendingin Dengan Laju Aliran Massa yang Sama Pada Kondisi Transient
Utami Wahyuningsih Kartiko Eko Putranto Edy Supriyadi	Srategi Pengembangan dan Pelayanan Industri Optik Untuk Meningkatkan Minat Pelanggan Agar Kembali (Studi Optik XYZ Bekasi)
Suhengki Prayudi	Pengaruh Beban Pendingin terhadap Kinerja Mesin Pendingin Dengan refrigerant R134a dan MC134
Prayudi Hendri Dimas Indra Wijaya	Analisis Performa Kondensor Sebelum dan Sesudah Overhoul di PT. Indonesia Power UJP PLTU Lontar Banten Unit 3

SEKOLAH TINGGI TEKNIK-PLN

JURNAL POWERPLANT	Vol. 4	No. 4	Halaman 211-287	Mei 2017	ISSN 2356-1513

PENGARUH BEBAN PENDINGIN TERHADAP KINERJA MESIN PENDINGIN DENGAN REFRIGERANT R134a DAN MC134

Suhengki[1,a], dan Prayudi [2,b]
[1,2,3] Jurusan Teknik Mesin STT PLN Jakarta
[a]suhengki@yahoo.co.id, [b]prayudi@sttpln.ac.id

ABSTRACT

Metode penggantian langsung refrigerant pada mesin pendingin berjenis HFC R134a dengan hidro karbon mulai banyak dikembangkan. Retrofit refrigerant pada mesin pendingin belum diketahui dengan pasti tekanan pada kompresor yang optimal, yang berdampak pada temperature evaporasi dan unjuk kinerja mesin pendingin ruangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh beban pendingin terhadap unjuk kerja mesin pendingin ruangan dengan menggunakan refrigeran R134a dan MC 134 pada tekanan pengisian refrigeran yang optimal. Parameter-parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah pengaruh tekanan optimal pada kompessor, temperature kondensor, temperatur evaporator, beban pendinginan terhadap kinerja mesin pendingin. Penelitian eksperimental dilakukan masih dalam skala laboratorium. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa Jika beban pendingin meningkat akan berpengaruh pada peningkatkan jumlah kalor yang diserap evaporator, kalor yang dibuang evaporator, penurunan kerja kompresor, massa refrigerant dalam sistem dan COP yang menurun. Pemakaian refrigerant hidrokarbon MC 134 berdampak pada kenaikan kalor yang diserap evaporator, kenaikan kalor yang dibuang konsendor, COP sistem, massa refrigerant yang bersikulasi dalam sistem berkurang dan kerja kompresor akan menurun. Retrofit refrigerant R134a dengan refrigerant hidrokarbon MC 134 layak dipertimbangkan untuk sistem refrigerasi kompresi uap.

Keywords: *Refrigerant R134a, hidrokarbon MC 134, efek refrigerasi, kerja kompressor, COP*

ABSTRACT

Direct replacement method refrigerant in the engine manifold coolant HFC R134a with hydrocarbon widely developed. Retrofit refrigerant in cooling machine is not known with certainty the optimal pressure on the compressor, resulting in evaporation temperature and shows the performance of air conditioner. This study aims to determine the effect on the performance of the cooling load of air conditioner using refrigerant R134a and MC 134 on the filling pressure of the refrigerant which is optimal. The parameters were observed in this study was the effect of optimal pressure on kompessor, temperature condenser, evaporator temperature, the cooling load on the performance of refrigeration. Experimental research is still done on a laboratory scale. The result showed that if the cooling load increases will take effect on increasing the amount of heat absorbed by the evaporator, the evaporator heat discharged, reduced compressor work, the mass of refrigerant in the system and COP decreased. The use of hydrocarbon refrigerant MC 134 positive impact of heat absorbed the increase in the evaporator, the heat rise in dumped konsendor, COP system, the mass of refrigerant circulating in the system is reduced and the compressor work will decrease. Retrofit refrigerant hydrocarbon refrigerant R134a with MC 134 is worth considering for a vapor compression refrigeration system.

Keywords: *Refrigerant R134a, hidrokarbon MC 134, efek refrigerasi, kerja kompressor, COP*

I. PENDAHULUAN

Sistem pendingin memegang peranan penting dalam kehidupan manusia baik yang skala besar untuk industri maupun skala kecil untuk rumah tangga. Saat ini kebanyakan sistem pendingin dengan ukuran dan penggunaan yang bervariasi, hampir semuanya bekerja dengan refrigeran sintetik dibandingkan bahan pendingin alam.

Refrigeran yang saat ini masih digunakan dalam sistem pendingin ruangan berjenis CFC. Isu dampak lingkungan mengenai *Ozone Depleting Subtance* (ODS) dan *Global Warning*

Potensial (GWP, yang merupakan dampak kerusakan lingkungan yang diakibatkan salah satunya oleh penggunaan refrigeran.CFC (Chloro-Fluoro-Carbon), HCFCs (*Hydro Chloro Fluoro Carbons*), dan HFCs (*Hydro Fluoro Carbons*). Dewasa ini terdapat tiga hal yang mempengaruhi perkembangan mesin refrigerasi siklus kompresi uap saat ini yakni : (1) penghematan enegi, (2) tuntutan *refrigeran non* ODS (*Ozon Depleting Substabce*), dan (3) tuntutan rendahnya refrigeran yang terlepas ke atmosfer yang disebabkan kebocoran mesin refrigerasi atau penggantian oleh *reclining* refrigeran. (Yuli, 2006)

Retrofit refigeran adalah proses penggantian refrigeran secara langsung tanpa mengganti komponen-komponen utama pada mesin pendingin ruangan. Hidrokarbon digunakan sebagai retrofit refrigeran jenis CFC dan HFC. Terdapat tiga jenis refrigeran hidrokarbon yang dapat digunakan dalam retrofit refrigeran yakni Propana (C3H8), Butana (C4H10) dan Isobutana (C4H10).

Sunaryo dkk (2012) pada penelitian menggunakan refrigeran propan-isobutana sebagai pengganti Freon untuk sistem pendingin pada mobil, menyimpulkan bahwa berat refrigeran untuk pengisian AC dengan refrigeran hidrokarbon (Propan Isobutan) lebih efisien, sebesar 58% dibandingkan penggunaan refrigeran Freon (R-12). Tingkat kecepatan pendinginan untuk pengisian AC dengan refrigeran hidrokarbon (Propan Isobutan) lebih cepat, sebesar 34,8% dibandingkan penggunaan refrigeran Freon. (Sunaryo,2012).

Hidrokarbon HCR-12 (MC-12) merupakan salah satu refrigeran alternatif pengganti refrigeran halocarbon R12 dan R-22. Hasil penelitian Mainil (2012) menyimpukan bahwa prestasi mesin pendingin kompresi uap COP (*Coefficient of Performance Refrigeration*) dan COP HP (*Coefficient of Performance Heat Pump*) dengan menggunakan refrigeran hidrokarbon (MC-12) lebih tinggi dibandingkan menggunakan R12 (Mainil, 2012). Retrofit refrigeran CFC R-12 dengan HC R134a, untuk pemakaian refrigeran jenis HC yang lebih sedikit menghasilkan COP yang lebih besar (Helmi, 2012).

Penelitian Syahrini (2006), retrofit refrigerant jenis CFC R-12 dengan hidrokarbon jenis PIB (*Propanne isobutene*) atau R 600a menghasilkan temperatur hasil pendinginan dengan menggunakan refrigeran hidrokarbon jenis PIB hampir sama dengan yang menggunakan R-12. Pada penggantian jenis refrigeran dari R-12 ke hidrokarbon tidak ada komponen-komponen dari sistem yang diganti atau dirubah. Refrigeran dari hidrokarbon jenis PIB sangat bagus digunakan dalam satu sistem refrigerasi. (Syahrini, 2006).

Penelitian lain yang dilakukan oleh Wongwises dkk. (2005), menggunakan campuran refrigeran propane, butane dan isobutana sebagai pengganti refrigeran HFC-134a untuk mesin pendingin ruamah tangga, salah salah hasilnya disajikan pada gambar 2.7. Dari penelitian tersebut, disimpulkan bahwa propane murni, dan campran propane, butane dan isobutana dapat digunakan sebagai pengganti refrigeran HFC-134a untuk mesin pendingin rumah tangga (*freezer*). Hubungan Antara tekanan saturasi dan temperatur masing-masing refrigerant dapat dibandingkan dengan HFC-134a seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.6. Campuran yang cukup dekat dengan sifat dari refrigeran HFC-134a dapat digunakan sebagai pengganti refrigeran tersebut.

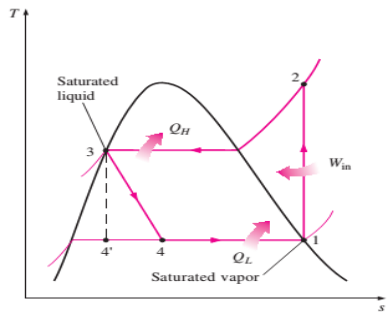
Retrofit refrigeran R-22 dengan MC-22 table pada AC-Split menghasilkan COP=8,6 dan EER=10,9 dengan refrigeran MC-22, sedangkan menggunakan R-22 COP=4,9 dan EER=6,5, dan konsumsi energi listrik lebih rendah (Santoso, 2011). Retrofit refrigeran R-22 dengan HCR-22 pada AC-Splite, menghasilkan efek refrigerasi R-22 lebih kecil 41,91%, COP R-22 lebih besar, daya listrik (P) daya yang lebih rendah (Arijanto, 2007). Menggunakan refrigeran ramah lingkungan jenis HFC R134a, R152a, RE170, R32, dan jenis HCs R290, R600a dan R1270, bahwa refrigeran R290, R600a dan RE170 merupakan alternatif yang baik pengganti refrigeran R134a (Baskaran, 2012).

Berdasarkan uraian diatas, bahwa retrofit refrigeran R-12 dan R-134a dengan refrigeran R290, R600, R600a maupun campuranya telah menghasikan kinerja yang cukup baik baik untuk mesin refrigerasi rumah tangga (*frezzer*), maupun AC-Splite. Pada penelitian ini akan diteliti alternatif penggunaan hidrokarbon MC-134 sebagai pengganti refrigeran jenis R134a dalam sistem pendingin ruangan AC jenis Splite. Unjuk kerja mesin pendingin ditinjau dari pengaruh beban pendingin terhadap efek refrigerasi, kerja kompresor, COP, kalor yang diserap evaporator, kalor yang dibuang kondensor, daya kompresor, dan konsumsi energi listrik.

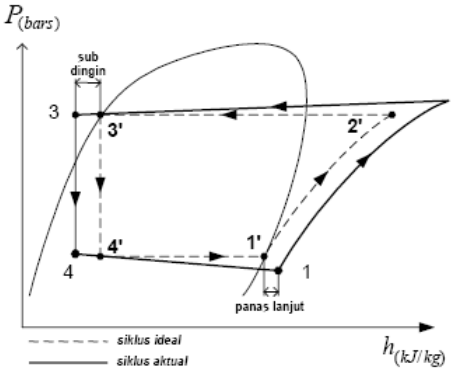
II. STUDI PUSTAKA

Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Refrigerasi merupakan proses memindahkan energi panas dari daerah bertemperatur rendah ke daerah yang bertemperatur lebih tinggi. Biasanya daerah pembuangan (*heat sink*) tertemperatur tinggi adalah lingkungan, atau air pendingin yang memiliki temperatur sama dengan temperatur lingkungan (ASHRAE, 2006). Pada sistem refrigerasi membutuhkan kemampuan perpindahan kalor (panas) dari suatu fluida tertentu untuk proses pendinginan. Fluida yang digunakan dalam siklus refrigerasi sebagai penukar kalor adalah refrigeran. *Refrigerant* berguna untuk menyerap panas pada temperature rendah. Untuk menurunkan dan menjadi temperatur, system refrigerasi harus mampu secara terus menerus menyerap panas dan membuang atau memindahkan panas dari sistem. Sistem refrigerasi adalah kombinasi komponen, peralatan, perpipaan, yang dihubungkan dalam urutan tertentu untuk menghasilkan efek pendinginan. Sistem refrigerasi kompresi uap pada diagram T-s dan P-h disajikan pada gmbar 1 dan 2 berikut ini.



Gambar 1. Diagram T-s Sistem Refrigerasi (Cangel)



Gambar 2. Diagram P-h Sistem Refrigerasi (Mainil, 2012)

Pada umumnya sistem refrigerasi yang digunakan pada sistem pendinginan udara dalam rumah tangga adalah sistem kompresi uap (*Vapor compression systems*). Sistem yang menggunakan siklus kompresi uap sangat umum digunakan dalam sistem refrigerasi. Sistem pendingin udara biasanya adalah system refrigerasi kompresi uap yang terdiri atas komponen kompresor, kondensor, katub ekspansi, evaporator, yang secara skematik ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Proses kompresi ini terjadi di kompresor. Fungsi utama kompresor adalah menaikan tekanan dan temperatur dari refrigeran, dari tekanan dan temperatur rendah menjadi temperatur dan tekanan tinggi, refrigeran pada fase uap dikompresi di kompesor. Refrigeran bertekanan dan temperatur tinggi ini akan melalui saluran *discharge* dan keluar dari kompresor. Proses ini terjadi secara isentropik, yaitu proses dilakukan pada entropi yang konstan dan berdasarkan diagram *mollier* diatas besarnya kerja kompresi per satuan massa refrigeran yang diperlukan adalah

$$P = \dot{m}_{\text{ref}}(h_2 - h_1) \quad (1)$$

dan

$$P = V \,.\, I \,.\, \cos\varphi \quad (2)$$

dimana P (kW) adalah daya kompesor, V (volt) adalah tegangan masuk kompesor, I (ampere) arus masuk kompresor, cos φ =0.8, m (kg/s) adalah massa refrigeran, dan h1 dan h2 (kJ/kg) adalah entalpi.

Proses kondensasi terjadi di kondensor. Kondensor adalah penukar kalor dimana refrigeran melepas atau membuang kalor ke media pendingin seperti udara atau air. Refrigeran dalam kondensor pada kondisi uap panas lanjut, melepas kalor sehingga berubah menjadi fase cair. Untuk membuang kalor yang terkandung dalam refrigeran diperlukan media pendingin (*cooling medium*). Proses kondensasi ini akan terjadi dalam keadaan tekanan konstan (isobarik), dan besarnya kalor persatuan massa refrigeran yang dilepaskan di kondensor.

Jumlah panas yang dibuang oleh kondensor dihitung dengan rumus ()

$$Q_C = \dot{m}_{\text{ref}}(h_2 - h_3) \quad (3)$$

dimana QC (kJ/s) adalah panas atau kalor yang dilepas kondensor, Δh (kJ/kg) adalah perbedaan entalpi.

Refrigeran pada fase cari dari kondensor yang akan diuapkan di evaporator dikontrol oleh

alat ekspansi. Fungsi utama dari katub ekspnasi ini adalah untuk menakar refrigeran dari saluran liquid line ke evaporator pada jumlah yang tepat sesuai kapasitas evaporator, dan menjaga perbedaan tekanan antara tekanan kondensasi dan tekanan evaporasi tetap konstan, agar supaya refrigeran cair yang diuapkan di evaporator berada pada tekanan rendah, serta menjaga temperature tinggi di sisi kondensor. Terdapat enam jenis alat ekspansi yaitu *manual ekspansion valve, capillary tubes, automatic ecpansion valve, thermostatic expansion valve, float type expansion valve,* dan *electronic expansion valve.*

Dari Gambar 2.1., proses ekspansi terjadi pada proses 3-4. Pada proses ekspansi, refrigeran yang telah mengalami kondensasi akan berfasa cair dan selanjutnya akan masuk ke alat ekspansi yang berbentuk pipa kapiler. Refrigeran dalam bentuk liquid diekspansi yang menyebabkan fasenya berubah menjadi campuran cari jenuh dan uap, dam tekanannya turun. Ketika terjadi penurunan tekanan, temperaturnya juga turun. Dalam alat ekspansi ini akan berlangsung proses secara *isenthalpy* yang berarti pada proses ini tidak terjadi perubahan *enthalpy* (h3= h4) tetapi terjadi penurunan tekanan dan temperatur.

Proses ini terjadi di evaporator, dimana dari Gambar 2.1 proses evaporasi terjadi pada proses 4-1. Pada proses evaporasi, refrigeran akan menyerap kalor dari lingkungan atau media yang akan didinginkan. Hal ini terjadi karena refrigeran pada saat akan menguap membutuhkan kalor sehingga refrigeran yang berada di *evaporator* akan menyerap kalor dari lingkungan atau media yang akan didinginkan Dengan adanya penyerapan kalor tersebut maka refrigeran akan berubah fasa dari fasa cair menjadi fasa uap jenuh. Besarnya kalor per satuan massa refrigeran yang diserap di *evaporator*. Didalam *evaporator* terjadi penukaran kalor dari media panas yaitu dari udara yang dialirkan oleh fan kepada cairan refrigeran yang sedang mengalami proses penguapan.

Panas yang diserap oleh *evaporator* (QE) dihitung dengan rumus,

$$Q_E = \dot{m}_{\text{ref}}(h_1 - h_4) \qquad (4)$$

Unjuk Kerja Mesin Pendingin

Untuk mengetahui unjuk kerja mesin refrigerasi dapat digunakan beberapa indikator, antara lain efek refrigerasi, daya listrik, koefisien prestasi, kerja kompresor. Secara umum sebagian besar penelitian untuk mengetahui kinerja system refrigerasi menggunakan indikator koefisien prestasi (COP). *Coefisien Of Performance* (COP) merupakan salah satu indikator pada suatu sistem refrigerasi yang sangat menentukan kerja dari sistem itu sendiri. Karena kerja kompresor dalam sistem refrigerasi sangat tergantung dari nilai COP tersebut, sedang kompresor dalam sistem refrigerasi merupakan jantung dari sistem tersebut, jika nilai COP dari suatu sistem refrigerasi sangat tinggi maka sistem tersebut tidak bekerja dengan baik atau tidak sesuai dengan kerja ideal, namun apabila nilai COP yang kecil berarti kompresor bekerja pada kondisi yang ideal (Syahrini, 2006). Sedangkan efek refrigerasi sangar tergantung pada massa refrigeran dan kemampuan refrigeran akan menyerap kalor dari lingkungan atau media yang akan didinginkan.

Untuk melihat unjuk kerja dari unit pendingin, secara teoritis dapat dilihat nilai koefisien kinerjanya (COP). Indeks prestasi ini tidak sama dengan efisiensi. ***Indeks performance*** ini disebut dengan koefisien peformansi atau COP (*coefficient of performance*). COP didefinisikan sebagai efektivitas pendinginan (efek refrojerasi) dibagi dengan pasokan energi yang dibutuhkan/kerja kompresor (Stoecker,1989). Indeks kinerja COP untruk mesin refrigerasi kompresi uap yang didefinisikan oleh :

$$COP = \frac{\text{Efek refrijeras i}}{\text{Kerja kompesor}} = \frac{\dot{Q}/\dot{m}}{\dot{W}/\dot{m}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \qquad (5)$$

dimana *h* adalah entalpi yang diperoleh dengan menggunakan p-h diagram seperti pada Gambar 2.

Seleksi Refrigerant

Refrigeran dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu refrigeran sintetik dan refrigeran alami. Refrigeran sintetik dikenal dengan sebutan CFC (*chloro fluoro carbon*), HCFC (*hydro chloro-fluoro carbon*), dan HFC (*hydro fluoro carbon*). Refrigeran ini terdiri dari unsur *Chloro* (Cl), *Fluoro* (F) dan *Carbon* (C). Karena tidak mengandung hidrogen adalah senyawa yang sangat stabil dan tidak mudah bereaksi dengan zat lain meskipun terlepas ke atmosfir. Dan karena mengandung chloro CFC merusak ozon di atmosfer (*stratosfer*) jauh di atas muka bumi. Zat ini memiliki nilai potensi merusak ozon yang tinggi (*Ozon Depletion Potensial*

ODP = 1). Refrigeran HCFC (*Hydro-Chloro-Fluoro-Carbon*), meskipun mengandung khlor (Cl), yang merusak lapisan ozon, zat ini juga mengandung hydrogen (H), yang membuat zat ini menjadi kurang stabil jika berada di atmosfer, sehingga sebagian besar akan terurai pada lapisan atmosfer bawah dan hanya sedikit yang mencapai lapisan ozon. Oleh sebab itu HFC memiliki ODP yang rendah.

Namun setelah bertahun-tahun digunakan diketemukanlah hipotesa bahwa refrigeran CFC dianggap sebagai salah satu contributor terbesar dalam perusakan lapisan ozon. Salah satu kandidat pengganti refrigeran jenis CFC salah satunya adalah R134a, yang termasuk jenis HFC. Refrigeran HFC (*Hydro-Fluoro-Carbon*). Refrigeran ini tidak memiliki unsur chlor, oleh sebab itu refrigeran ini tidak merusak lapisan ozon dan nilai ODP nya sama dengan nol, tetapi nilai GWP (*Global Warming Potential*) masih sangat tinggi.

Kandidat lain refrigeran pengganti refrigeran jenis CFC dan HFC adalah refrigeran hidrokarbon. Hidrokarbon merupakan refrigeran alami adalah refrigeran yang dapat ditemui di alam, namun demikian masih diperlukan pabrik untuk penambangan dan pemurniannya. Sejatinya refrigeran hidrokarbon bukanlah hal baru dalam dunia refrigerasi. Jenis refrigeran ini sudah mulai dikenal sejak tahun 1920-an, sejak awal teknologi refrigerasi dikembangkan bersama fluida kerja natural lainnya. Menurut Cook (2007) sebagai refrigeran hidrokarbon memiliki beberpa kinerja yang sangat baik. Kinerja yang sangat baik dari hidrokarbon merupakan gabungan dari parameter-parameter:

a) Rasio kompresi (perbandingan tekanan dorong dengan tekanan hisap kompresor) yang lebih kecil dari rasio tekanan refrigeran sintetik yang rendah atau dalam kaitan dengan tekanan pengisian (*suction*) tinggi dan rendahnya tekanan discharge pada temperature operasi;
b) Kalor laten dan efek refrigerasi yang lebih besar dari refrigeran sintetik, karakteristik ini mengakibatkan kapasitas pendinginan dan *cooling rate* yang lebih besar dari kapasitas pendinginan dan *cooling rate* dengan refrigeran sintetik;
c) Kerapatan (*density*) hidrokarbon yang lebih kecil dari kerapatan refrigeran sintetik. Hal ini mengakibatkan jumlah pemakaian hidrokarbon lebih sedikit, sekitar 30% dari berat penggunaan refrigeran sintetik untuk volume yang sama.
d) Viskositas yang lebih kecil dari refrigeran sintetik. Hal ini mengakibatkan kecilnya rugi-rugi tekanan sepanjang sistem refrigerasi yang meringankan beban kompresor dan mengawetkan sistem refrigerasi.

Refrigeran alami yang sering digunakan adalah HC (hidrokarbon), CO2 (karbondioksida), air (H2O), udara dan ammonia (NH3). Jenis refrigeran ini tidak mengandung *chlor* oleh sebab itu refrigeran ini tidak merusak lapisan ozon (ODP/ *Ozone Depleting Potential*=0). Jenis refrigeran hidrokarbon yang banyak dipakai adalah propane (R-290), isobutana (R-600a), dan n-butana (R-600), serta sampuran lain yang sering digunakan adalah R290/R600a, R290/R600, dan R290/R600/R600a. Musicool adalah refrigeran dengan bahan dasar berupa hidrokarbon yang dihasilkan dari Kilang Migas sebagai pengganti refrigeran sintetik kelompok Halokarbon yang masih memiliki potensi merusak lingkungan dalam hal penipisan lapisan ozon dan pemanasan global seperti: *Cholo Fluoro Carbo*n (CFC): R12, *Hydro Chloro Fluoro Carbon* (HCFC): R-22 dan *Hydro Fluoro Carbon* (HFC): R-134a.

Salah satu jenis hidrokarbon yang telah dipasarkan secara komersial adalah Musicool yang telah memenuhi persyaratan teknis sebagai refrigeran, meliputi sifat físika dan thermodinamika serta uji kinerja pada siklus refrigerasi. Sifat fisika refrigeran hidrokarbon Musicool berdasarkan pengujian laboratorium Pertamina ditampilkan pada Tabel 1, yang menunjukkan bahwa hidrokarbon *Musicool* (MC) mampu menggantikan refrigeran sintetik (CFC-HFC) secara langsung tanpa penggantian komponen sistem refrigerasi. Sifat fisika dan termodinamik hidrokarbon MC memberikan kinerja sistem refrigerasi yang lebih baik, keawetan umur kompresor, dan hemat energi. Refrigeran MC antara lain adalah.:

1. MC-12, kompatibel dengan mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R-12 seperti AC mobil, kulkas, *freezer*, dan sejenisnya.
2. MC-22, kompatibel dengan mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R-22 seperti AC window, AC split, dan sejenisnya.
3. MC-134, kompatibel dengan mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R-134a seperti AC mobil, kulkas, *freezer*, dan sejenisnya.

4. MC-600, sebagai pengganti refrigeran R-600a, dengan karakteristik tekanan rendah.

Pengujian untuk mengetahui kinerja mesin pendingin dengan menggunakan refrigeran *Musicool* terhadap refrigeran sintetis pada sistem refrigerasi dengan beban 1 TR pada suhu kondensasi 100^{o}F dan suhu *evaporator* 40 oF. ditunjukkan pada Tabel 2.3. berikut ini.

Tabel 1. Perbandingan Kinerja R134a dan MC134

Parameter	R-134a	MC-134
Rasio Tekanan Kompresi	3.4	3.1
Efek Refrigerasi, Kj/Kg	159	314
Aliran gas, Cfm/Ton	6.49	3.28
Koefisien Performance, COP	3.31	3.38
Temperatur glide, K	-	7.7

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Pendingin STT PLN. Penelitian ini dimulai dengan menentukan tekanan pengisian refrigeran dan rasio kompresi minimum yang menghasilkan COP maksimum, selanjutnya dilakukan analisis perbandingan kenerja pada beban pada evaporator. Refrigerant yang digunakan adalah R134a dan MC134. Peralatan sistem refrigerasi yang akan digunakan adalah kompesor yang digunakan jenis torak, Main in France, R22/R502 LRA 15,3, tegangan 220-240 V frekuensi 50Hz FLA123, kondensor jenis Embapast M4Q045-EA-01-A4/C0, tegangan 230V-50Hz 0,62A 90/25W 1300 min-1, 230V-60Hz 0,55A 80/26W 1550 min-1, evaporator yang digunakan adalah Model JG2, refrigeran medium (*Group*) HCFC dan HFC (2), tekanan maksimum 21 Bar, Coil volume 0,53 liter, serialnumber 333781, date code FN, net weight : 5 kg, made in the E.C.

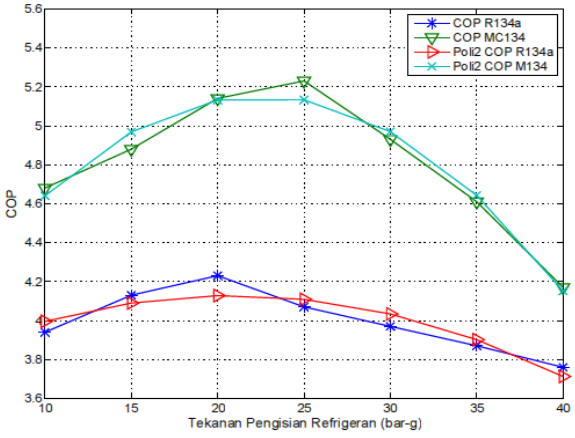
Lampu pijar digunakan untuk beban pendinginan, lampu yang digunakan adalah lampu 15 W, 25 W, 40W, 60 W, 75 W, dan 100 W. Data-data yang diperlukan pada penelitian ini adalah.a) temperatur udara masuk evaporator, b) temperatur udara keluar evaporator, c) Tekanan masuk refrigeran di kompresor, d) Tekanan keluar refrigeran di kompresor, e) Kecepatan udara yang masuk dan keluar evaporator, f) Kecepatan udara yang masuk dan keluar kondensor dan g) arus listrik pada sistem kelistrikan

Pengambilan data dengan beban lampu dan disesuaikan temperatur evaporator pada kondisi stabil setelah 15 (lima belas) menit setelah lampu dipasang. Analisis data penelitian dilakukan dengan menggunakan analisis perbandingan antara hasil perhitungan performa mesin pendingin berbahan refrigeran HFC R-134a dan refrigeran hidrokarbon MC-134. Unjuk kerja mesin pendingin dilihat dari pengaruh temperatur evaporasi terhadap efek refrigerasi (RE), kerja kompresor (W), COP (Coefisien Of Performance), kalor yang diserap melalui evaporator (Qe), kalor yang dibuang melalui kondensor (Qc), daya kompresor (Pk), rasio kompresi. Perhitungan dilakukan berdasarkan data yang telah didapat dari hasil percobaan yang telah dilakukan.

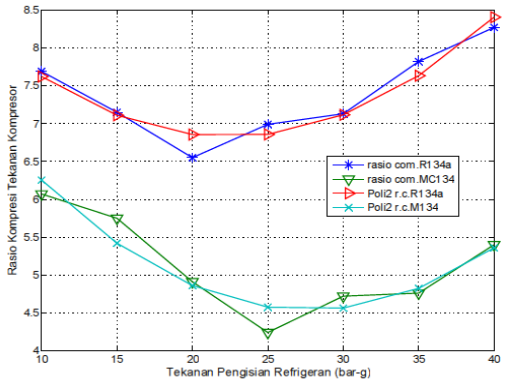
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Tekanan Optimal

Sesuai metode penelitian, pada penelitian ini diawali dengan penelitian pendahuluan untuk menentukan tekanan pengisian refrigeran yang optimal yang didasarkan pada nilai COP optimum dan rasio kompresi yang minimum. Data awal yang diperlukan untuk menentukan tekanan pengisian refrigeran yang optimum adalah tekanan masuk kompressor, tekanan keluar kompressor. Pada penelitian ini dicoba untuk tekanan dari 10 bar-g, 15 bar, 20 bar, 25 bar, 35 bar dan 40 bar.



Gambar 3. Pengaruh Tekanan Pengisian pada COP

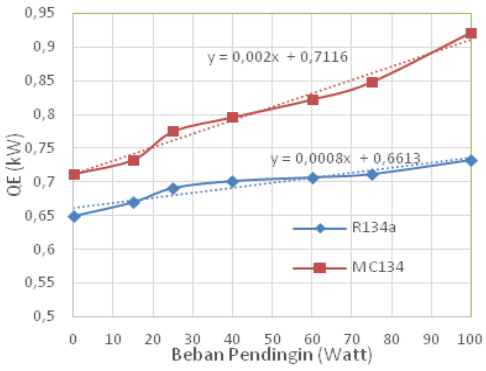


Gambar 4. Pengaruh Tekanan Pengisian pada Rasio Kompresi

Gambar 3 dan Gambar 4, diperoleh hasil bahwa mesin pendingin ruangan dengan refrigran R134a, COP maksimum sebesar 4,23 terjadi pada tekanan pengisian 20 bar-g, dengan rasio kompresi minimum sebesar 6,8. Selanjutnya dengan refrigeran MC 134, diperoleh COP maksimum 5,23 terjadi pada tekanan pengisian 25 bar-g dengan rasio kompresi minimum 4,14. Hasil ini relevan dengan data pada Tabel 1. Untuk penelitian berikutnya dengan pembebanan, tekanan pengisian refrigeran yang digunakan adalah 20 bar-g untuk refrigerant R134a dan 25 bar-g untuk MC-134.

Pengaruh Beban Pendingin Pada QE

Efek refrigerasi QE dihitung dengan rumus (3). Dengan beban pendingin lampu 15, 25, 40, 60, 75 dan 100 watt, pengaruh terhadap kalor yang diserap *evaporator* diberikan oleh Gambar 5 berikut ini.



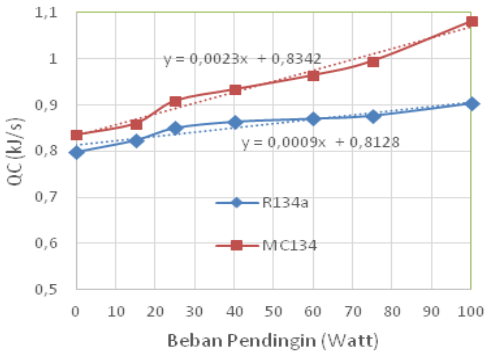
Gambar 5. Pengaruh Beban Pendingin pada QE

Dari Gambar 5, terlihat pula bahwa setiap bila beban pendingin meningkat maka jumlah kalor yang diserap oleh *evaporator* juga meningkat baik untuk refrigeran R134a dan MC 134 juga meningkat, akan tetapi peningkatannya relatif kecil. Setiap kenaikan 1 watt beban pendingin, jumlah kalor yang diserap oleh evaporator untuk R134a adalah 0.0008kW, dan R134 adalah 0.002 kW, artinya bahwa penggunaan refrigerant MC134 akan menyerap panas lebih baik dari pada menggunakan R134a. Rata-rata kalor yang diserap oleh *evaporator* dengan *refrigerant* R134a adalah 0,695 kW, untuk MC134 0.801 kW.

Dari Gambar 5, terlihat bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara besaran kalor yang diserap oleh *evaporator* dengan refrigeran R134a dengan MC 134. Hasil ini memperlihatkan bahwa penggunaan MC134 berdampak pada efektivitas penyerapan kalor oleh *evaporator*, dimana kalor yang diserap oleh mesin pendingin dengan refrigeran MC 134 lebih besar dari R134a. Kenaikan efek refrigerasi ini relevan dengan penelitian yang dilakukan oleh Arijanto (2007) dan Baskaran (2010), bahwa jumlah kalor yang diserap *evaporator* akan meningkat bilamana temperatur *evaporator* meningkat atau beban pendingin meningkat, hasil penelitian ini juga menjelaskan hasil yang sama. Dari analisis diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa refrigeran hidrokarbon MC 134 menghasilkan efek refrigerasi atau kalor yang diserap oleh *evaporator* lebih besar dari pada refrigran R134a.

Pengaruh Beban Pendingin Pada QC

Jumlah panas yang dibuang oleh kondesnor dihitung dengan rumus (4). Semakin banyak yang dapat dibuang oleh kondensor merupakan salah satu parameter bahwa mesin pendingin ruangan berfungsi dengan baik. Besarnya panas yang dibuang oleh kondensor sebagai fungsi dari beban pendingin pada boks evaporator untuk dengan *refrigerant* R134a dan MC134 diberikan oleh gambar berikut ini.

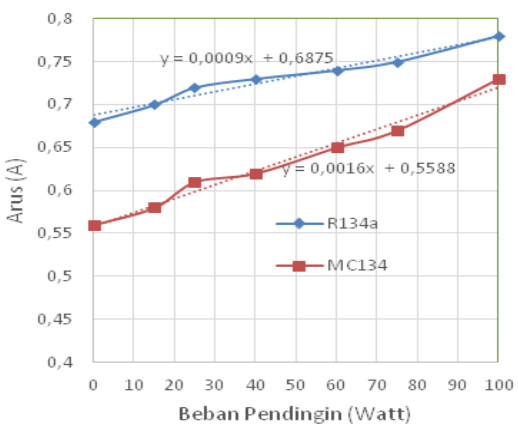


Gambar 6. Pengaruh Beban Pendingin pada QC

Dari Gambar 6, terlihat bahwa jka beban pendingin meningkat, jumlah panas atau kalor yang dibuang oleh kondensor ke lingkungan baik menggunakan refrigeran R134a atau refrigeran hidrokarbon MC-134 juga meningkat. Dengan pendekatan regresi linier, kemiringan untuk R134a adalah 0.0009 dan MC 134 adalah 0.0023, artinya bahwa setiap kenaikan 1 watt beban pendingin pada boks evaporator, jumlah panas yang dibuah oleh kondensor dengan R134a adalah 0.0009 kW, dan dengan MC134 adalah 0,0023 kW. Sedangkan rata-rata jumlah panas yang dibuang kondensor dengan R134a adalah 0.855 kW, dan dengan MC134 adalah 0.940 kW, dimana selisihnya 0.085 kW. Artinya, jika mesin pendingin menggunakan menggunakan refrigeran hidrokarbon MC-134, kemampuan kondensor membuang panas ke lingkungannya lebih besar dibandingkan menggunakan refrigeran R134a. Sehingga penggunaan refrigeran hidrokarbon sudah tepat untuk mesin pendingin ruangan, dan MC 134 dapat digunakan sebagai substitusi dari R134a.

Pengaruh Beban Pendingin pada Arus Listrik

Salah satu parameter lain selain daya kompresor yang dapat digunakan untuk mengetahui apakah *refrigerant* dapat digunakan *refrigerant* alternatif adalah konsumsi energi listrik adalah melihat perbedaan arus listrik dan daya listrik yang dibutuhkan. Untuk melihat unjuk kerja mesin pendingin ruangan khususnya pengaruh beban pendingin terhadap daya kompresor dan konsumsi listrik, sekurang-kurangnya dapat dilihat dari indikator arus listrik yang mengalir dalam sistem, perbedaaan antara daya listik dan daya kompresor, serta penghematan biaya lisrik bilamana dilakukan retrofit refrigeran.

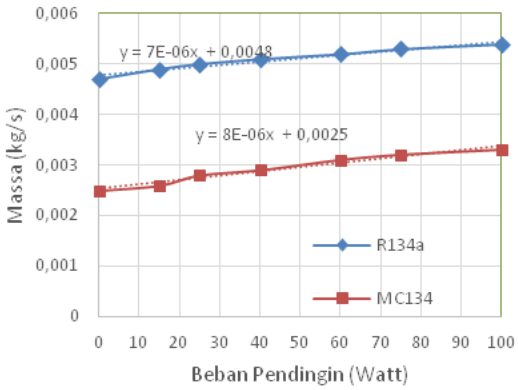


Gambar 7. Pengaruh Beban Pendingin pada Arus

Dari Gambar 7, terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara arus yang mengalir dalam sistem mesin pendingin ruangan dan arus dalam kompressor. Gambar 7, terlihat bahwa bilamana beban pendingin meningkat maka meningkat arus listrik yang masuk dalam system juga meningkat. Dengan pendekatan metode regresi linier, bahwa setiap kenaikan 1 watt beban pendingin jumlah arus yang dibutuhkan jika menggunakan R134a adalah 0.0009 A, dan jika menggunakan *refrigerant* hidrokarbon MC134 jumlah arus yang dibutuhkan untuk setiap kenaikan 1 watt beban pendingin adalah 0.0016A. Rata-rata arus listrik yang mengalir dalam sistem dengan *refrigerant* R134a adalah 0.729 A, dan dengan *refrigerant* MC134 adalah 0.631 A, artinya bahwa penggunaan *refrigerant* hidrokarbon MC134 pemakaian energi listrik untuk sistem refrigerasi akan lebih hemat.

Pengaruh Beban Pendingin pada Massa Refrigerant

Pada dasarnya jumlah refrigeran yang bersirkulasi dalam suatu siklus mesin pendingin akan berpengaruh pada unjuk kerja mesin pendingin. Pada analisis unjuk kerja kali ini, akan dilihat berapa jumlah refrigeran yang dibutuhkan oleh mesin pendingin jika ditinjau sebagai fungsi dari beban pendingin. Massa *refrigerant* dihitung dari kesetimbangan masa yang ada pada sisi kompressor menggunakan rumus (1) dan (2). Massa *refrigerant* yang mengalir dalam sistem, fungsi dari beban pendingin diberikan oleh gambar berikut ini.



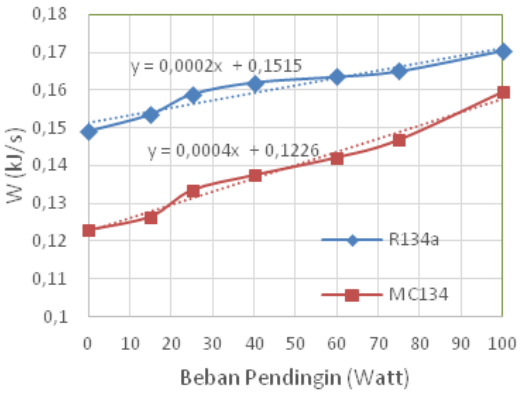
Gambar 8. Pengaruh Beban Pendingin pada Massa *Refrigerant*

Dari Gambar 8, terlihat pula bahwa jika beban pendingin meningkat maka jumlah massa refrigeran yang dibutuhkan juga meningkat baik menggunakan *refrigerant* R134a maupun hidrokarbon MC134. Rata-rata jumlah

refrigerant yang dibutuhkan dalam sistem, dengan R134a adalah 0.0051 kg/s dan untu hidrokarbon MC134 adalah 0.0029 kg/s, artinya dengan beban yang sama jumlah refrigerant yang dibutuhkan sistem dengan hidrokarbon MC134 lebih rendah dibandingkan dengan R134a. Dengan pendekatan regresi linier, setiap kenaikan 1 watt beban pendingin maka jumlah massa *refrigerant* yang dibutuhkan dalam sistem untuk R134a adalah $7x10^{-6}$ kg/s, dan untuk hidrokarbon MC134 sebesar $8x10^{-6}$ kg/s. Dengan demikian secara umum dapat ditarik kesimpulan bahwa untuk beban pendingin yang sama, mesin pendingin ruangan membutuhkan massa refrigeran hidrokarbon MC 134 jumlahnya lebih sedikit jika dibandingkan menggunakan refrigeran R134a. Dengan massa refrigeran yang lebih rendah, berarti biaya untuk pengadaan refrigeran untuk mesin pendingin dengan kapasitas yang sama dapat lebih dihemat. Sehingga penggunaan refrigeran MC 134 akan berdampak pada biaya operasional mesin pendingin ruangan.

Pengaruh Beban Pendingin pada Kerja Kompresor

Pada analisis ini, penghitungan daya *compressor* menggunakan pendekatan massa refrigeran di kalikan dengan perbedaan *entalphy*, bukan menggunakan pendekatan jumlah arus dikalikan dengan tegangan. Daya kerja kompressor dihitung dengan rumus (1), dan hasilnya diberikan pada gambar berikut ini.

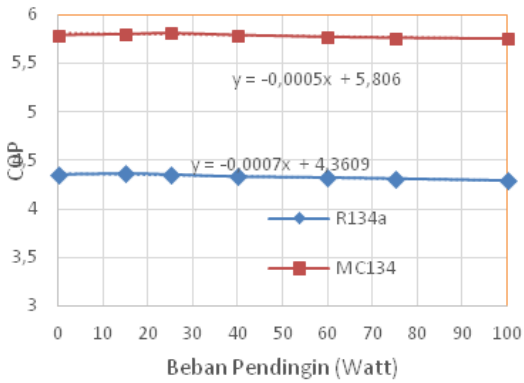


Gambar 9. Pengaruh Beban Pendingin pada Kerja Kompressor

Dari Gambar 9, terlihat daya meningkat bila beban pendingin meningkat, dimana rata-rata kerja kompressornya jika menggunakan *refrigerant* R134a adalah 0.161 kW dan jika menggunakan *refrigerant* hidrokarbon MC134 adalah 0.113 kW dimana selisihnya adalah 0.048 kW. Artinya penggunaan refrigeran hidrokarbon MC 134 pada memerlukan kerja kompresor dan daya kompresor yang lebih rendah dibandingkan bila menggunakan refrigeran R134a. Dengan pendekatan analisis regresi linier, setiap kenaikan 1 watt beban pendingin maka daya kompresor akan meningkat sebesar 0.0002 kW jika menggunakan refrigerant R134a, dan jika menggunakan MC134 akan meningkat sebesar 0.0004 kW. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan refrigeran MC 134 untuk mesin pendingin ruangan akan lebih menghemat biaya konsumsi energi listrik. Selisih daya sebesar 0.048 kW juga merupakan salah satu parameter penting penggunaan energi listrik.

Pengaruh Beban Pendingin pada COP

Coefisien of performance (COP) merupakan salah satu indikator utama yang digunakan untuk melakukan analisis terhadap unjuk kerja mesin pendingin. Nilai COP ini menunjukkan kemampuan kompresor mengahasilkan efek refrigerasi per satu satuan kerja compressor. Dengan melihat nilai dari COP pada satu sistem refrigerasi kita dapat mengetahui kerja dari sistem tersebut, apakah sistem bekerja sebagaimana mestinya atau tidak. Nilai COP dihitung dengan menggunakan rumus (5) dan hasilnya disajikan pada gambar berikut ini.



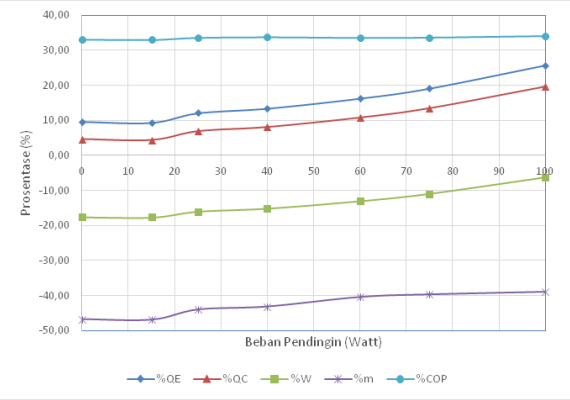
Gambar 10. Pengaruh Beban Pendingin pada COP

Secara umum, dari Gambar 10 terlihat jika beban pendingin meningkat, nilai COP dengan refrigeran R134a maupun refrigeran hidrokarbon MC 134 relatif konstan dan cenderung menurun. Dengan pendekatan analisis regresi linier, bilmana beban pendingin meningkat sebesar 1 watt maka COP sistem dengan *refrigerant* R134a menurun sebesar 0.0007, dan bilamana dengan *refrigerant* hidrokarbon MC 134 menurun sebesar 0.0005.

Bilamana dibandingkan dengan hasil penelitian Baskaran (2010), hasil penelitian ini relevan dengan hasil penelitian tersebut seperti yang terlihat pada Gambar 10. Dari gambar rata-rata dengan menggunakan refrigerant R134a COP-nya 4.33 dan jika dengan hidrokarbon MC 134 rata-rata COP meningkat menjadi 5.78 atau meningkat 1.45. Kenaikan nilai COP ini juga revelan dengan penelitian yang dilakukan oleh Santoso (2011), Baskaran (2010), Helmi dan Reza (2011). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penggunaan refrigeran hidrokarbon MC 134 menghasilkan COP yang lebih besar dari pada menggunakan refrigeran R134a

Pengaruh Beban Pendingin Terhadap Unjuk Kerja

Analisis keseluruhan pengaruh unjuk kerja ditinjau dari kenaikan dan atau penurunan parameter-parameter unjuk kerja mesin pendingin yaitu prosentase kenaikan efek refrigerasi, prosentase kenaikan kerja kompresor, prosentase kalor yang diserap evaporator, prosentase kalor yang dibuang kondensor, prosentase perubahan COP dan prosentas daya kompresor. Prosentase kanaikan disini diukur dari instrumen kinerja R134a dibandingkan dengan parameter kinerja MC 134. Berdasarkan parameter-parameter diatas, disajikan pada gambar berikut ini.



Gambar 11. Pengaruh Beban Pendingin pada Unjuk Kerja

Dari Gambar 11 diperoleh hasil bahwa jika beban pendingin meningkat maka pemakaian refrigerant hidrokarbon MC 134 akan mengakibatkan kenaikan kalor yang diserap evaporator, kenaikan kalor yang dibuang konsendor, COP sistem, massa refrigerant yang bersikulasi dalam sistem berkurang dan kerja kompresor akan menurun. Berdasarkan gambar 11 diperoleh hasill bahwa rata-rata kenaikan jumlah panas yang diserap evaporator sebesar 15.10%, rata-rata penurunan kerja kompressor 13.81%, rata-rata kenaikan kalor yang dibuang ke lingkungan oleh konsendor sebesar 9.68 %, rata-rata penurunan jumlah massa refrigeran dalam sistem sebesar 43.82%, daya kompresor sebesar 12,64 % yakni turun dari 0,1582 kW menjadi 0,1382 kW, rata-rata penurunan daya listrik mesin pendingin ruangan sebesar 13,48 %, rata-rata kenaikan COP sebesar 33.52 %. Berdasarkan parameter-parameter tersebut, dapat disimpulkan bahwa retrofit refrigeran R134a dengan refrigeran hidrokarbon MC 134 layak dipertimbangkan.

KESIMPULAN

Dari analisis dapat ditarik kesimpulan bahwa

a. Jika beban pendingin meningkat akan berpengaruh pada peningkatkan jumlah kalor yang diserap *evaporator*, kalor yang dibuang *evaporator*,
b. Jika beban pendingin meningkat akan berpengaruh pada penurunan kerja kompresor, massa *refrigerant* dalam sistem dan COP yang menurun.
c. Pemakaian refrigerant hidrokarbon MC 134 akan mengakibatkan berdampak positip pada kenaikan kalor yang diserap *evaporator*, kenaikan kalor yang dibuang konsendor, COP sistem, massa *refrigerant* yang bersikulasi dalam sistem berkurang dan kerja kompresor akan menurun.
d. *Retrofit refrigerant* R134a dengan *refrigerant* hidrokarbon MC 134 layak dipertimbangkan dan dilakukan dengan tetap memperhatikan sifat mudah terbakar dari hidrokarbon pada temperatur tertentu

REFERENSI

(1) Ahamed, J,U; Saidur, R; Masjuki, M.H; Mehjahin, 2011, Prospect of Hydrocarbon Uses on Based Exergy Analysis in The Vapor Compression Refrigeration System, International Journal of Renewable Energy Research, 67-70
(2) Arijanto dan Ojo Kurdi, 2007, Pengujian Refrijeran Hycool HCR R22 pada AC Splite sebagai Pengganti Freon R22, Rotasi, Volume 2, April 2007, hal 42-46

(3) ASHRAE Handbook, 2006, Refrigeraion System and Aplicationns (SI), Amarican Sosiety of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Enggineer, Atlanta, Georgia, USA
(4) Awal Syahrini, 2006, Analisa Kerja Kompresor Terhadap Penggunaan Refrijeran R12 dan Hidrokarbon Jenis PIB (Propane Iso Butane), Majalah Ilmiah Mektek, Tahun VIII, No. 2 Mei 2006.
(5) Baskaran, A; Matheews, P. Kosby, 2012, A Performance Comprarasion of Vapour Compression Refrigeration System Using Eco Frendly Refrigerants of Low Global Warming Potential, International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 2, Issue 9, September 012, ISSN 2250-3153, www.ijsrp.org diakses pata tanggal 13 November 2013 pukul 13.00 wib
(6) Hendro, Pranoto, A.Rianto, S; G. Harjanto, 2005, The New Generation of The Hydrocarbon Refrijeran, Jurnal Mesin dan Indsutri, Volume 2. Nomor 1, Edisi Januari 2005, ISSN 1693-704X, hal 11-15
(7) Indratono, Yuli Setyo, Perkembangan Terkini Teknologi Refrigerasi (1), Artikel Iptek, http://www.beritaiptek.com, 7 Mei 2015
(8) Kim, Man-Hoe; Lim, Byung-Han and Euy-Sung Chu, 1998, The Performance Analysis of a Hidrocarbon Refrigerant R-600a in a Household Refrigerant/Freezer, KSME International Journal, Vol 12 No. 4, pp 752-760.
(9) Maclaine-cross, I.L and Leonardi, E., 1996, Comparative Performance of Hydrocarbon Refrijerant, I.I.F-I.I.R-Commision E2,E1,B1,B2, Melbourne Australia.
(10) Maclaine-cross, I.L and Leonardi, E., 1997, Why Hydrocarbon save energy, AIRAH Journal, Volume 51, No. 6, pp 33-37, June, 1997
(11) Mainil, Afdal Kurniawan, 2012, Kaji Eksperimental Performansi Mesin Pendingin Kompresi Uap dengan Menggunakan Refrijeran Hidrokarbon (HC12) sebagai Alternatif Refrijeran Pengganti R12 dengan Sistem Penggantian Langsung (Drop in Substitute), Jurnal Mechanical, Volume 3, Nomor 1, Maret 2012.
(12) Santoso, Suharto Joni, 2011, Analisa Perbandingan Konsumsi Listrik Pada AC Split Berbahan Pendingin R-22 dengan AC Split Berbahan Pendingin MC-22, http://eprints.undip.ac.id/25553/ diakses tanggal 23 Oktober 2013, jam 13.30 wib
(13) Sattar, M.A.; Saidur, R and Msjuki, H.M, 2007, Performance Investigation of Domestic Refrigerator Using Pure Hydrocarbons and Blends of Hydrocarbon as Refrigerants, Word Academy of Science Engineering and Technology, Vol 5 pp. 223-228.
(14) Sunaryo dan Aji Pranoto, 2012, Komparasi Kinerja Sistem Air Conditioning (AC) dengan Refrijeran Propan Isobutan dan Freon R12 pada Mobil, Proseding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi (SNASTI), Periode III, 3 November 2012, Yogyakarta, ISSN:1979-911X, hal A388-A393
(15) Stoecker, Wilbert F; Jones, Jerold W, dan Supratman Hara, Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, Edisi Kedua, Erlangga, 1989
(16) Wongwises, Somshai; Chimres, Nares, 2005, Experimental study of Hydrocarbon mixture to replace HFC-134a in a domestic refrigerator, Energy Conversion and Management, Vol 46 pp. 85-100
(17) --------, Karakteristik Bahan dan Aspek Lingkungan Refrigeran Hidrokarbon, - Menuju Indonesia Bebas ODS, http://indonesiasejahtera.wordpress.com/2007/11/01/ karakristikbahan, diakses paha hari Senin, 11 Nopember 2015 jam 14.00 wib.