

Studi Eksperimental Pengaruh Temperatur Evaporasi Terhadap Unjuk Kerja Mesin Pendingin Dengan Refrigerant R134a dan MC134

Hendri^{1, a*}, Prayudi^{2,b} dan Roswati Nurhasanah^{2,b}

^{1,2,3}Sekolah Tinggi Teknik - PLN (STT-PLN) Menara PLN Jl Lingkar Luar Barat Duri Kosambi Cengkareng Jakarta Barat Indonesia, 11750

Email: ^ahendri.dumas@yahoo.co.id, ^bprayudi.sttpln@yahoo.com, ^croswatinurhasanah@gmail.com

Abstrak

Metode penggantian langsung refrigeran pada mesin pendingin berjenis HFC R134a dengan hidrokarbon mulai banyak dikembangkan. Retrofit refrigeran pada mesin pendingin belum diketahui dengan pasti tekanan pada kompresor yang optimal, yang berdampak pada temperatur evaporasi dan unjuk kinerja mesin pendingin ruangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur evaporasi 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 kompressor, temperatur kondensor, temperatur evaporator, beban pendinginan terhadap kinerja mesin pendingin. Penelitian eksperimental dilakukan masih dalam skala laboratorium. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa tekanan pengisian refrigeran optimal untuk refrigerant R134a terjadi pada tekanan 20 bar-g, dan untuk refrigerant MC134 pada tekanan 25 bar-g. Pada temperatur evaporasi antara 22,3°C-25,3°C, efek refrigerasi lebih besar 106,43%, kerja kompresor naik 70,22%, kalor yang diserap evaporator naik 5,99%, kalor yang dibuang kondensor naik 2,78 %, daya kompresor turun 12,64 %, daya listrik turun 14,69 %, COP naik 21,37 % setelah menggunakan refrigerant hidrokarbon MC 134.

Kata kunci : Refrigeran, COP, R134a, Hidrokarbon MC 134

LATAR BELAKANG

Pemanasan global akibat pemakaian refrigeran yang tidak ramah lingkungan pada sistem pengkondisian udara, mendorong peneliti untuk melakukan penelitian untuk mencari alternatif pengganti refrigeran jenis *chloro fluoro carbons* CFC dan *Hydro Chloro Fluoro Carbons* (HFCs). Retrofit penggantian refrigeran secara langsung tanpa mengganti komponen mesin pendingin ruangan mulai dilakukan untuk menghemat biaya instalasi mesin pendingin ruangan. Beberapa penelitian telah dilakukan oleh peneliti terdahulu antara lain Awal Syahrini [4], Arijanto [2], Santoso dkk [10], Mainil [8], Sunaryo [12] yang berfokus pada penggunaan refrigerant hidrokarbon pada mesin pendinginan ruangan, untuk menggantikan refrigerant jenis R12, R22 dan R134a, dan mesin pendingin yang digunakan antara lain AC-Split, Lemari Es. Pada penelitian ini menggunakan refrigerant R134a dan MC 134, dengan memvariasikan berbagai tekanan untuk mendapatkan tekanan optimal, dan beban pendingin yang akan menentukan besarnya temperatur evaporasi. Pada tekanan pengisian refrigeran optimal selanjutnya, dilakukan analisis komparasi unjuk kerja mesin pendingin dengan dua

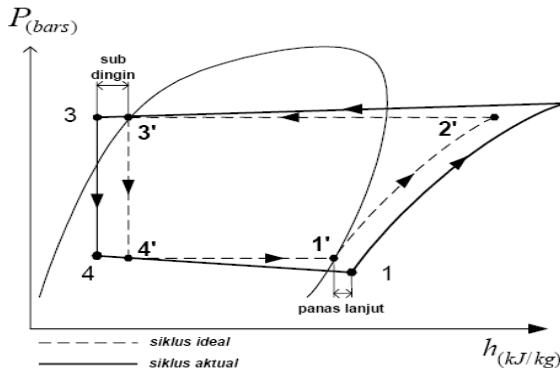
jenis refrigeran. MC-134 merupakan campuran propane dan i-butane dengan

kandungan butane serendah mungkin agar tidak mengganggu proses kondensasi pada sistem pendingin.

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Refrigerasi adalah 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 [3]. Secara umum sistem refrigerasi menggunakan siklus kompresi uap, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Siklus Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Pada Gambar 1, proses kompresi ini terjadi di kompresor, pada proses 1-2. Proses ini terjadi secara isentropik, besarnya kerja kompresi per satuan massa refrigeran yang diperlukan adalah :

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

dan

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

dimana P (kW) adalah daya kompresor, V (volt) adalah tegangan masuk kompresor, I (ampere) arus masuk kompresor, $\cos \varphi = 0.8$, \dot{m}_{ref} (kg/s) adalah massa refrigeran, dan h_1 (kJ/kg) adalah entalpi *suction* yang masuk kompresor, dan h_2 (kJ/kg) adalah entalpi *discharge* yang keluar kompresor.

Proses kondensasi terjadi di kondensor, terjadi pada proses 2-3. Kesetimbangan panas pada proses kondensasi yang terjadi di kondensor diberikan oleh kesamaan,

$$Q_C = Q_{Ud} \quad (3)$$

dengan,

$$Q_C = \dot{m}_{\text{ref}} (h_2 - h_3) \quad (4)$$

dan,

$$Q_{Ud} = \dot{m}_{Ud} \cdot C_p_{Ud} \cdot \Delta t_{k_{Ud}} \quad (5)$$

dimana Q_C (kJ/s) adalah panas atau kalor yang dilepas kondensor, dan Q_{Ud} (kJ/s) adalah kalor yang diterima udara, C_p (kJ/kg.°C) adalah panas jenis udara, dan Δt_k (°C) adalah perbedaan temperatur, dan Δh (kJ/kg) adalah perbedaan entalpi.

Refrigeran pada fase cair dari kondensor yang akan diuapkan di evaporator dikontrol oleh alat ekspansi. Dari Gambar 1, proses ekspansi terjadi pada proses 3-4. Proses evaporasi terjadi di evaporator, terjadi pada proses 4-1. Kesetimbangan pada proses 4-1 diberikan oleh kesamaan,

$$Q_E = Q_{Ud} \quad (6)$$

dengan,

$$Q_E = \dot{m}_{\text{ref}} (h_1 - h_4) \quad (7)$$

dan,

$$Q_{Ud} = \dot{m}_{Ud} \cdot C_p_{Ud} \cdot \Delta t_{k_{Ud}} \quad (8)$$

dimana Q (kJ/s) adalah panas atau kalor yang dilepas evaporator atau yang kalor yang diterima udara, C_p (kJ/kg.°C) adalah panas jenis udara, dan Δt_k (°C) adalah perbedaan temperatur, dan Δh (kJ/kg) adalah perbedaan entalpi.

Secara teoritis unjuk kerja mesin refrigerasi dapat dilihat nilai koefisien kinerjanya (COP). COP didefinisikan sebagai efektivitas pendinginan (efek refrigerasi) dibagi dengan pasokan energi yang dibutuhkan/kerja kompresor [13]. Indeks kinerja COP untuk mesin refrigerasi kompresi uap yang didefinisikan oleh :

$$COP = \frac{\text{Efek refrijerasi}}{\text{Kerja kompesor}} = \frac{\dot{Q} / \dot{m}}{\dot{W} / \dot{m}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (9)$$

Refrigerant

Refrigeran merupakan fluida kerja pada sistem refrigerasi atau pompa kalor. Refrigeran ini berfungsi menyerap kalor dari suatu lingkungan yang dikondisikan dan membuangnya ke lingkungan yang lain, melalui proses evaporasi (penguapan) dan kondensasi (pengembunan) [3].

Hidrokarbon merupakan refrigeran alami adalah refrigeran yang dapat ditemui di alam, Menurut Cook (2007) sebagai refrigeran hidrokarbon memiliki beberapa kinerja yang sangat baik. Kinerja yang sangat baik dari hidrokarbon merupakan gabungan dari parameter-parameter 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 temperatur operasi, 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. Kerapatan (*density*) hidrokarbon yang lebih kecil dari kerapatan refrigeran sintetik, mengakibatkan jumlah pemakaian hidrokarbon lebih sedikit, sekitar 30% dari berat penggunaan refrigeran sintetik untuk volume yang sama. Viskositas yang lebih kecil dari refrigeran sintetik, rugi-rugi tekanan sepanjang sistem refrigerasi yang meringankan beban

kompresor dan mengawetkan sistem refrigerasi. Beberapa jenis refrigerant hidrokarbon sebagai pengganti R12, R22, dan R134a antara lain adalah refrigerant hidrokarbon propane (R-290), isobutana (R-600a), dan n-butana (R-600), serta sampaun lain yang sering digunakan adalah R290/R600a, R290/R600, dan R290/R600/R600a, serta MC12, MC22 dan MC134.

MC-12 dan MC-134 sebagai pengganti refrigerant R-12 dan R-134a. MC-12 dan MC-134 merupakan campuran propane dan i-butane dengan kandungan butane serendah mungkin agar tidak mengganggu proses kondensasi pada sistem pendingin. MC-22 sebagai pengganti refrigerant R-22 MC-22. Refrigerant ini memerlukan kandungan propane yang sangat tinggi yaitu 99,7 % wt dengan impuritas butane dan olefin yang serendah mungkin atau mendekati nol agar kinerja sistem pendingin berjalan optimal.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode coba-coba. Kompresor torak, Main in France, R22/R502 LRA 15,3, tegangan 220-240 V frekuensi 50Hz FLA123, kondensor jenis Embapast M4Q045-EA-01-A4/C0. Evaporator Model JG2, refrigerant R134a dan MC134 tekanan maksimum 40 bar. Alat uji yang digunakan pada penelitian ini digambarkan sebagai berikut.



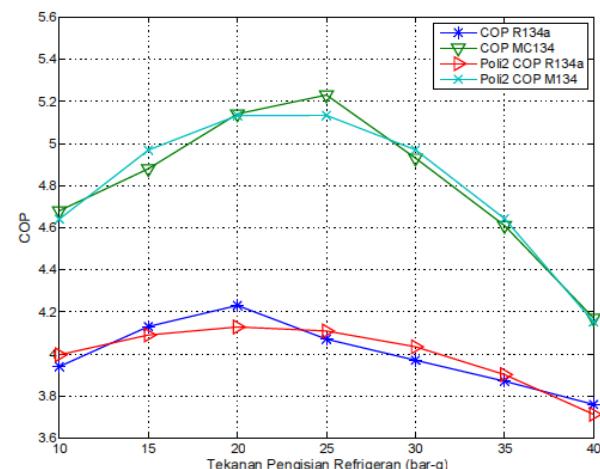
Gambar 2. Alat Ukur Penelitian

Kondisi lingkungan dilakukan pada kondisi yang sama. Penelitian ini dimulai dengan menentukan tekanan pengisian refrigeran optimum dan rasio kompresi minimum yang menghasilkan COP maksimum. Pada tekanan pengisian optimum, dilakukan penelitian lanjutan dengan melakukan variasi beban pendinginan untuk mendapatkan data temperatur evaporasi, tekanan kompresor, arus listrik. Setelah itu dilakukan pengolahan data dan analisis efek refrigerasi, kerja kompresor, COP, massa udara, kalor yang diserap oleh evaporator, laju massa refrigeran dihitung dari kesetimbangan panas, kalor yang dilepaskan oleh kondensor, daya kompresor, daya listrik mesin pendingin dan komsumsi energi listrik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Tekanan Pengisian terhadap COP

Untuk mengetahui pengaruh tekanan pengisian optimum terhadap COP perhatikanlah gambar berikut ini.

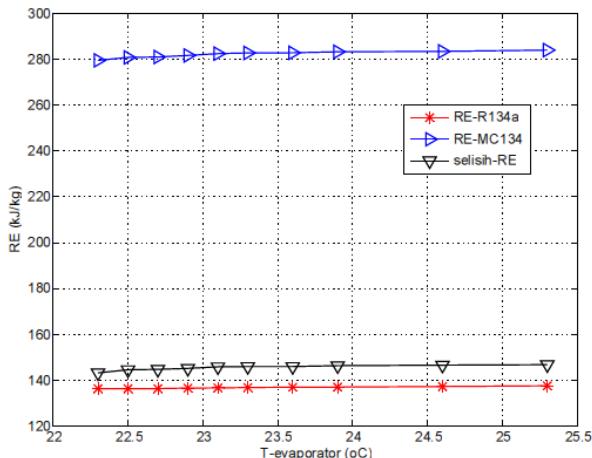


Gambar 3. Pengaruh Tekanan Pengisian Refrijeran dan COP

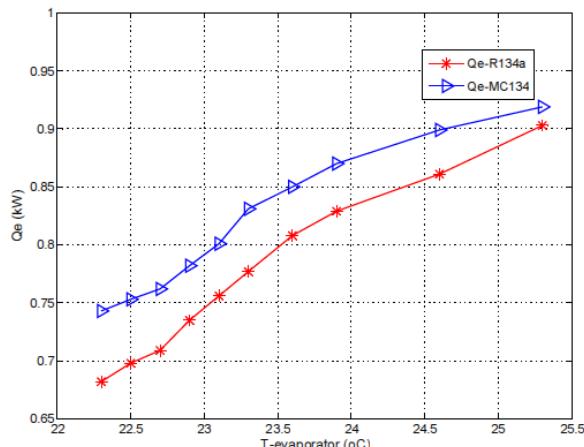
Dari Gambar 3, mesin pendingin dengan refrigeran R134a, COP maksimum 4,23 terjadi pada tekanan pengisian 20 bar-g, dengan rasio kompresi minimum sebesar 6,8. Selanjutnya untuk mesin pendingin dengan refrigeran MC 134, diperoleh COP maksimum sebesar 5,23 terjadi pada tekanan pengisian 25 bar-g dengan rasio kompresi minimum sebesar 4,14. Tekanan 20 bar-g dan 25 bar-g ini digunakan untuk penelitian berikutnya.

Pengaruh T-Evap terhadap Efek Refrigerasi dan Kalor Diserap Evaporator

Unjuk kerja mesin pendingin ruangan, pertama ditinjau pengaruh temperatur evaporasi terhadap efek refrigerasi (RE) dan kalor yang diserap oleh evaporator (Qe)



Gambar 4. Pengaruh T-Evaporator Terhadap Efek Refrigerasi



Gambar 5. Pengaruh T-evaporasi terhadap Qe

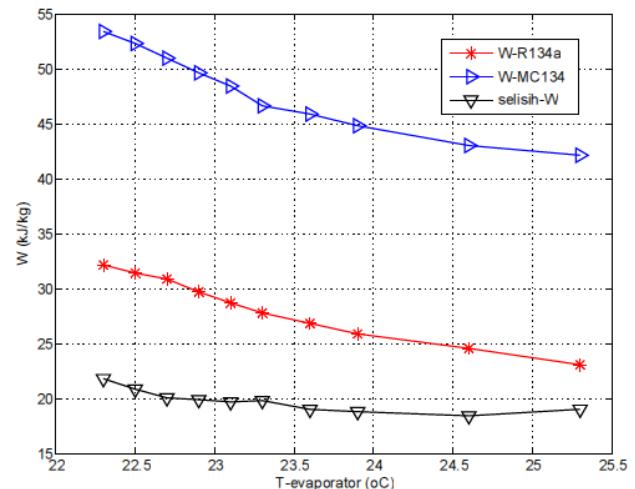
Dari Gambar 4, terlihat bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara efek refrigerasi mesin pendingin ruangan dengan refrigeran R134a dengan MC 134, dimana efek refrigerasi MC 134 lebih besar dari R134a. Rata-rata perbedaan antara 143,18 kJ/kg sampai 145,45 kJ/kg. Secara umum rata-rata kenaikan efek refrigerasi bila menggunakan refrigeran hidrokarbon MC 134 mencapai 106,43 %.

Dari Gambar 5, bahwa kalor yang diserap oleh evaporator cenderung meningkat sejalan dengan peningkatan temperatur evaporator. Besarnya kalor yang diserap dengan refrigeran halocarbon R134a antara 0,682 kW-0,905 kW dimana rata-rata kalor yang diserap evaporator adalah 0,766

kW. Jika dengan refrigeran hidrokarbon MC 134, jumlah kalor yang diserap oleh evaporator berkisar antara 0,743 kW-0,919 kW, dimana rata-ratanya adalah 0,821 kW. Dari kedua analisis diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa mesin pendingin ruangan menggunakan refrigeran hidrokarbon MC 134 menghasilkan efek refrigerasi dan kalor yang diserap oleh evaporator lebih besar dari pada menggunakan refrigeran R134a.

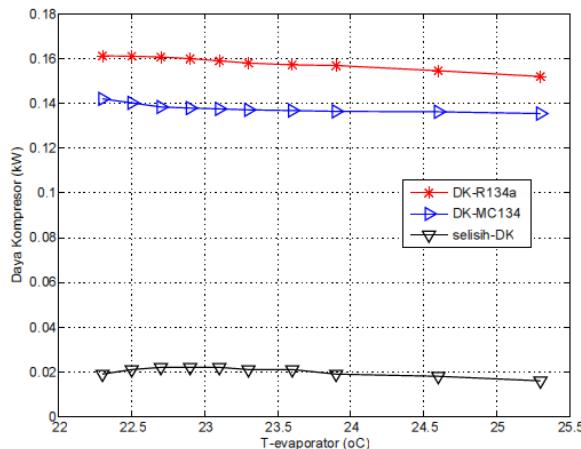
Pengaruh E-Evaporasi terhadap Kerja Kompresor dan Daya Kompresor

Dari Gambar 6, terdapat perbedaan yang cukup signifikan jumlah kerja kompresor yang untuk menghasilkan temperatur evaporasi yang sama, perbedaannya berkisar antara 19,02 kJ/kg - 21,24 kJ/kg dimana rata-rata selisihnya adalah 19,62 kJ/kg. Dari selisih ini seolah-olah menggunakan refrigeran MC134 diperlukan kerja kompresor yang lebih besar dari pada menggunakan refrigeran R134a, akan tetapi jika dilihat dari rasio kompresinya, bahwa penggunaan refrigeran R134a memerlukan rasio kompresi yang lebih tinggi dari pada menggunakan refrigeran hidrokarbon MC 134.



Gambar 6. Pengaruh T-evaporator terhadap Kerja Kompresor

Dari Gambar 6, jika temperatur evaporasi meningkat jumlah kerja kompresor yang dibutuhkan semakin menurun. Hal ini mengindikasikan bahwa untuk kerja kompresor yang dibutuhkan semakin menurun bilamana temperatur evaporasi meningkat. Dengan kata lain untuk menghasilkan temperatur evaporasi yang tinggi rasio kompresi yang dibutuhkan cukup rendah.

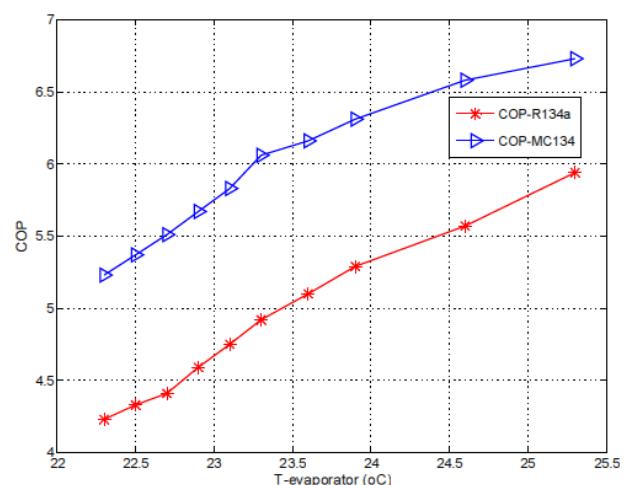


Gambar 7. Pengaruh T-evaporator terhadap Daya Kompresor

Dari Gambar 7, daya kompresor menurun dan rasio kompresi yang dibutuhkan juga semakin kecil. Penggunaan refrigeran hidrokarbon MC 134 pada mesin pendingin ruangan memerlukan kerja kompresor dan daya kompresor yang lebih rendah dibandingkan menggunakan refrigeran R134a, perbedaanya berkisar antara $-21,24 \text{ kJ/kg} - (-19,05) \text{ kJ/kg}$ $- 21,24 \text{ kJ/kg}$ untuk kerja kompresor, dan $0,016 \text{ kW} - 0,019 \text{ kW}$ untuk daya kompresor. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan refrigeran MC 134 untuk mesin pendingin ruangan akan lebih menghemat biaya konsumsi energi listrik. Pada saat temperatur evaporasi meningkat daya kompresor justru menurun, dan daya kompresor mesin pendingin dengan refrigeran R134a lebih besar dari pada menggunakan refrigeran hidrokarbon MC-134. Hal mengindikasikan bahwa pemakaian refrigeran hidrokarbon akan menghemat pemakaian energi listrik.

Pengaruh T-Evaporasi Terhadap COP

Nilai COP pada satu sistem refrigerasi kita dapat mengetahui kerja dari sistem tersebut, apakah sistem bekerja sebagaimana mestinya.

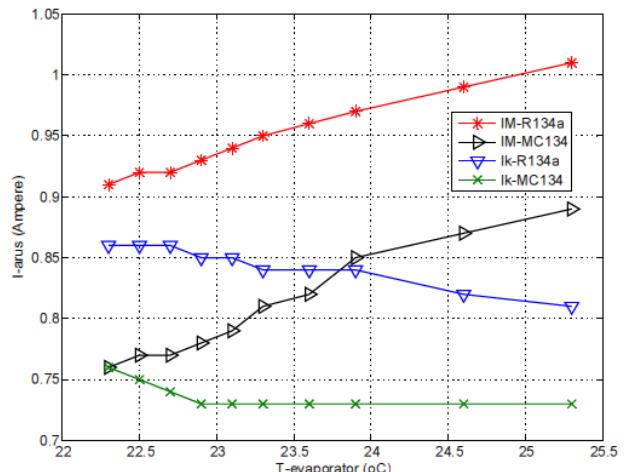


Gambar 8 Pengaruh T-evap terhadap COP

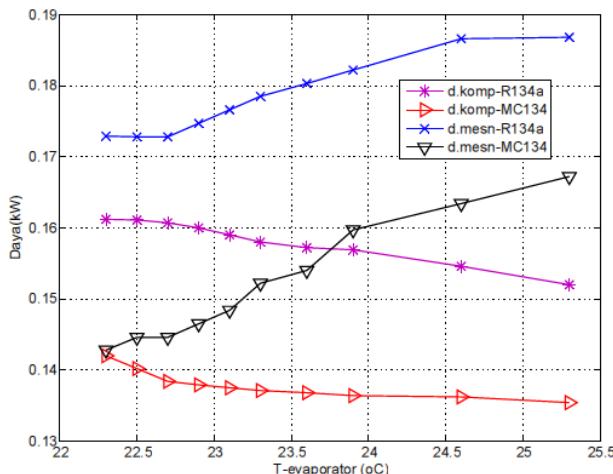
Secara umum terlihat bahwa, jika temperatur evaporasi meningkat, nilai COP juga meningkat. Secara garis besar terlihat pula bahwa nilai COP mesin pendingin ruangan dengan refrigeran R134a berkisar antara 4.23-5.94, sedangkan COP dengan refrigeran hidrokarbon MC 134 berkisar antara 5,51-6,73, dimana selisihnya terendah adalah 0,80 dan terbesar adalah 1,14.

Pengaruh T-evaporasi Terhadap Arus dan Daya Listrik

Unjuk kerja mesin pendingin ruangan khususnya pengaruh temperatur evaporator terhadap daya kompresor dan konsumsi listrik, sekurang-kurangnya dapat dilihat dari indikator arus listrik yang mengalir dalam sistem, perbedaan antara daya listrik dan daya kompresor, serta penghematan biaya listrik bilamana dilakukan retrofit refrigeran.



Gambar 9. Pengaruh T-evaporasi terhadap Arus Listrik



Gambar 10. Pengaruh T-evaporasi terhadap Daya Kompresor dan Mesin

Dari Gambar 9, terdapat perbedaan yang signifikan antara arus yang mengalir dalam sistem mesin pendingin ruangan dan arus dalam kompresor, serta memperlihatkan pengaruh temperatur evaporasi terhadap arus listrik yang mengalir pada kompresor dan arus listrik yang mengalir pada mesin pendingin ruangan. Dari gambar 9, bahwa temperatur evaporasi meningkat arus listrik yang masuk dalam sistem juga meningkat, sedangkan arus yang mengalir dalam kompresor menurun dan cenderung relative konstan. Ditinjau dari sudut refrigeran yang digunakan, dari Gambar 10, bahwa pada saat temperatur evaporasi meningkat terdapat perbedaan yang cukup signifikan arus listrik, baik yang masuk dalam sistem maupun dalam kompresor. Secara umum bahwa penggunaan refrigeran MC 134 membutuhkan arus yang lebih sedikit dibandingkan menggunakan refrigeran R134a. Pada saat menggunakan refrigeran R134a, untuk arus yang masuk dalam mesin pendingin ruangan lebih besar antara 0,12 A-0,15 A dengan rata-ratanya 0,14A, sedangkan arus yang mengalir pada kompresor terdapat perbedaan antara 0,083A-0,119 A dengan rata-ratanya adalah 0,107 A.

Ditinjau dari sudut penggunaan refrigeran, antara refrigeran R134a dan MC 134, dari Gambar 109 terdapat perbedaan yang cukup signifikan penggunaan daya listrik dalam sistem pendingin ruangan. Pada temperatur evaporasi 22,3°C-25,3°C, daya listrik yang dibutuhkan jika menggunakan refrigeran R134a berkisar antara 0,1709 kW-0,1897 kW, dan jika menggunakan refrigeran MC 134 berkisar antara 0,1428 kW-1672 kW sehingga terdapat perbedaan daya listrik untuk mesin pendingin ruangan berkisar antara

0,02254 kW-0,02818 kW dimana rata-rata perbedaannya adalah 0,0261 kW.

KESIMPULAN

Berdasarkan parameter-parameter efek refrigerasi meningkat 106,43%, kerja kompresor naik 70,22%, daya kompresor menurun 12,64%, konsumsi energi listrik menurun 14,69%, dan COP naik 21,37%, dapat disimpulkan bahwa retrofit refrigeran R134a dengan refrigeran hidrokarbon MC 134 layak dipertimbangkan dan dilakukan dengan tetap memperhatikan sifat mudah terbakar dari hidrokarbon pada temperatur tertentu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini mendapatkan dana hibah dari DIKTI melalui skim Desentralisasi Penelitian Dosen Muda Pemula untuk tahun anggaran 2014. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Ir. Supriadi Legino, selaku Ketua STT-PLN dan Dr. Ir. Mohammad Hafidz, M.Eng. Sc, selaku Ketua Lembaga Penelitian STT-PLN atas perhatian sehingga penulis mendapatkan dana hibah penelitian dosen pemula.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahamed, J.U; Saidur, R; Masjuki, M.H; Mehjabin, 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 Split sebagai Pengganti Freon R22, Rotasi, Volume 2, April 2007, hal 42-46
- [3] ASHRAE Handbook, 2006, Refrigeration System and Applicationns (SI), American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Enggineer, Atlanta, Georgia, USA
- [4] Awal Syahrini, 2006, Analisa Kerja Kompressor Terhadap Penggunaan Refrijeran R12 dan Hidrokarbon Jenis PIB, Majalah Ilmiah Mektek, Tahun VIII, No. 2 Mei 2006.
- [5] Baskaran, A; Matheews, P. Cosby, 2012, A Performance Comprarasian 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 pada tanggal 13 November 2013
- [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] 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
- [8] 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.
- [9] Prayogi, Urip, 2012, Penggunaan Refrijeran R-22 pada Freezer dengan Memodifikasi Double Expansion Valve, Saintek Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik dan Rekayasa, Volume 9, Nomor 2, Desember 2012, ISSN :1693-8917, Airlangga University Press, hal 72-76.
- [10] 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 pada tanggal 23 Oktober 2013
- [11] 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.
- [12] 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
- [13] Stoecker, Wilbert F; Jones, Jerold W, dan Supratman Hara, Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, Edisi Kedua, Erlangga, 1989