

PERFORMANSI SISTEM PENDINGIN KENDARAAN DENGAN MENGGUNAKAN HFC-134a DAN HC-134a

Henry Nasution^{1,2}, Eldiva Rowendra¹, Sumeru^{1,3}, Azhar A. A.^{1,4}, Zulkarnain A. L.¹,
Mohd. Rozi M. P.⁴

¹ Jabatan Termobendalir, Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknologi Malaysia, Skudai 81310 Johor, Malaysia
e-mail: henry@fkm.utm.my, henrynasution@bunghatta.ac.id

² Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri
Universitas Bung Hatta, Indonesia

³ Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara
Politeknik Negeri Bandung, Indonesia

⁴ Automotive Development Centre
Universiti Teknologi Malaysia, Skudai 81310 Johor, Malaysia

Abstract:

An experimental investigation was carried out with a view of a coefficient of performance and energy saving in a vehicle air-conditioning (AC) system. The experimental set-up consists of original components from the air-conditioning system of a compact passenger vehicle. The compressor working with the fluids HFC-134a and HC-134a and has been tested varying the speed in the range 1000, 1500, 2000 and 2500 rpm. The measurements taken during the one hour experimental periods at 2-minutes interval times for temperature setpoint of 20°C with internal heat load 1000 W. The experimental results showed that the COP and energy saving of HC-134a higher than that of HFC-134a.

Keywords: HFC-134a, HC-134a, automotive air conditioning, COP, energy saving

PENDAHULUAN

Sejak diperkenalkannya sistem pengkondisian udara kendaraan (AAC) menggunakan refrigeran CFC (*chlorofluorocarbon*) oleh Perusahaan General Motors pada tahun 1930-an, teknologi AAC telah mengalami kemajuan yang luar biasa. Protokol Montreal pada tahun 1987 menyerukan tidak menggunakan lagi bahan kimia yang mengakibatkan menipisnya lapisan ozon, termasuk CFC12 (R12), refrigeran tersebut banyak digunakan pada sistem AAC. Sebagai hasil dari protokol ini, sistem AAC telah menggunakan R134a dari keluarga HFC (*hydrofluorocarbon*) sebagai pengganti R12 sejak tahun 1994 (Alkan dan Hosoz, 2010)

Secara umum penelitian tentang refrigeran yang ramah dan aman terhadap lingkungan sangat intensif dan pada waktu yang sama secara progresif membatasi penggunaan CFC dan HCFC (*hydrochlorofluorocarbon*) sebagai refrigeran di seluruh dunia. Mengakui pentingnya peningkatan masalah lingkungan global, hidrokarbon diusulkan sebagai pengganti refrigeran CFC dan HCFC. Digunakannya kembali hidrokarbon dimulai pada tahun 1989 yang diprakarsai oleh Dr Harry Rosin pada

Institute of Hygiene di Jerman. Hidrokarbon yang dihasilkan merupakan campuran propana dan isobutan. Sampai saat ini pemakaian hidrokarbon semakin populer seperti pada lemari es dan sistem pengkondisian udara.

Beberapa penelitian untuk meningkatkan performansi sistem AAC adalah sebagai berikut: Ghodbane (1999) melakukan simulasi performansi sistem AAC dalam hal ini COP (*coefficients of performance*), temperatur dan kapasitas kompresor dengan menggunakan beberapa refrigeran hidrokarbon, yaitu HC152a, HC270, HC290 dan HC600a. Hasil penelitian diperoleh bahwa refrigeran HC152a dan HC270 lebih baik jika dibandingkan dengan menggunakan refrigeran HFC134a yaitu sebesar 11% dan 15%, sementara HC290 hanya menunjukkan peningkatan yang tidak begitu signifikan sedangkan R600a menghasilkan COP lebih rendah dari HFC134a. Namun, karena mudah terbakar potensi penggunaan hidrokarbon dalam sistem AAC dianggap tidak aman kecuali melakukan desain baru untuk pencegahan. Beberapa karakteristik positif dari hidrokarbon yaitu potensi penipisan lapisan ozon sama dengan nol, efek pemanasan global yang rendah, non-toksitas dan sesuai digunakan dalam sistem pendingin. (Devota dan Gopichand, 1992; Richards dan Shankland, 1992;

Ritter, 1996; Mani dan Selladurai, 2008; Dalkilic dan Wongwises, 2010). Kiatsiriroat dan Euakit (1997) mempelajari sistem performansi AAC menggunakan campuran refrigeran R22/R124/R152a secara teoritis dan eksperimental. Jung *et al.* (1999) menentukan performansi sistem AAC menggunakan campuran refrigeran untuk mengganti R12. Lee dan Yoo (2000) meneliti performansi sistem AAC dengan mengembangkan model matematis untuk setiap komponen AAC. Ratts dan Brown (2000) mempelajari pengaruh dari *refrigerant charge* pada performansi sistem AAC. Al Rabghi dan Niyaz (2000) membandingkan COP dari R12 dan R134a dari sistem AAC. Jabardo *et al.* (2002) mengembangkan simulasi performansi sistem AAC dengan variasi kapasitas kompresor, dan menyelidiki akurasi model pada sistem secara eksperimental. Joudi *et al.* (2003) mengembangkan model simulasi sistem AAC untuk campuran refrigeran alternatif yang mengandung R12 dan beberapa hidrokarbon. Kaynakli dan Horuz (2003) meneliti performansi sistem AAC secara eksperimental menggunakan R134a dengan tujuan untuk menentukan kondisi optimal dari sistem. Hosoz dan Direk (2006) mempelajari performansi sistem AAC secara eksperimental untuk digunakan sebagai pompa panas dan sistem pendingin. Hosoz dan Ertunc (2006) memodelkan parameter performansi dari sistem AAC menggunakan jaringan syaraf tiruan dan mengamati bahwa model tersebut dapat memprediksi performansi sistem secara akurat. Hosoz (2005) melakukan analisis exergy sistem AAC secara eksperimental dan menentukan tingkat kerusakan exergy pada komponen sistem. Esen dan Hosoz (2006) meneliti performansi sistem AAC secara eksperimental menggunakan refrigeran R12 dan R134a. Tian dan Li (2005) mengembangkan suatu model matematis untuk sistem AAC menggunakan refrigeran HFC134a dengan memvariasikan kapasitas kompresor untuk mensimulasikan performansi sistem. Model dikembangkan untuk menentukan efek dari kecepatan kompresor, temperatur lingkungan dan kecepatan aliran udara pada evaporator, tekanan penguapan, tekanan kondensasi, kapasitas pendingin dan daya kompresor. Penelitian tersebut juga divalidasi secara eksperimental dan menemukan deviasi terhadap simulasi sebesar 11%.

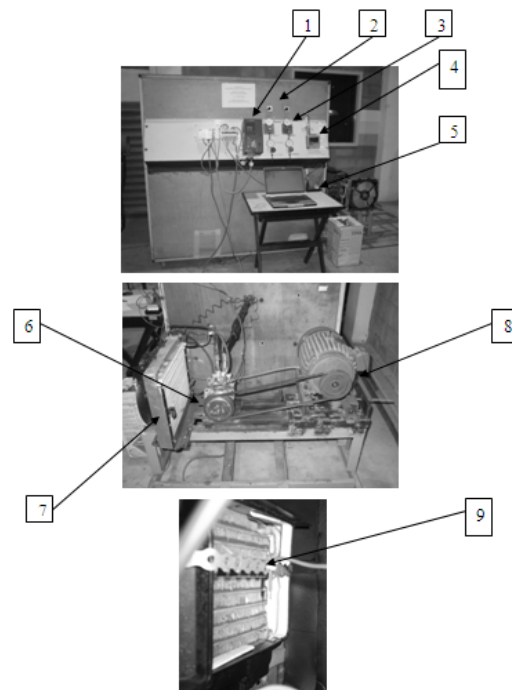
Hidrokarbon yang digunakan dalam percobaan ini adalah campuran propana (R290), butana (R600), dan isobutana (R600a), yang disebut dengan HC-134a. Penelitian ini akan mempresentasikan pengganti refrigeran HFC-134a (R134a) dengan campuran hidrokarbon (HC-134a) pada sistem pengkondisian udara kendaraan. Dalam penggunaan campuran hidrokarbon ini, komponen-komponen pada sistem pendingin udara kendaraan tidak mengalami perubahan.

METODE PENELITIAN

Gambar 1 menunjukkan skematik diagram mesin pendingin berdasarkan komponen-komponen asal sistem AC kendaraan.

Keterangan gambar :

1. *Inverter*.
2. *Switch On/Off : inverter, blower dan fan*.
3. *Pressure gauge*.
4. *Massflow rate*.
5. *Temperature transducer* dan PCI-1711/PCLD-8710.
6. Kompresor.
7. Kondensor.
8. Motor.
9. Evaporator.

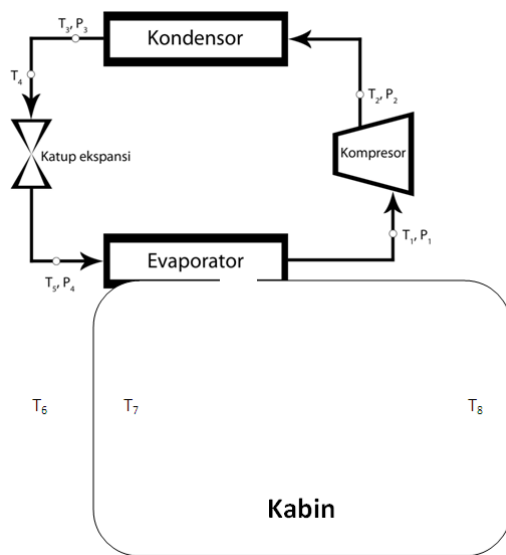


Gambar 1. Skematik diagram pengujian

Pengukuran temperatur dengan menggunakan termokopel tipe T dan terkoneksi pada *data logger* tipe TC-08 PicoLog Recorder. Sedangkan pengukuran tekanan menggunakan *pressure gauge* tipe bourdon dengan spesifikasi : *high pressure* = 0 – 30 bar dan *low pressure* = 0 – 10 bar. Tipe data akuisisi adalah PCI-1711/PCLD-8710, digunakan untuk mengirim, menerima dan menyimpan seluruh data-data pengukuran dari motor kompresor melalui *inverter*. Untuk mengendalikan kecepatan kompresor pada ruang (kabin) penumpang menggunakan termokopel, subrutin pengendali On/Off telah disiapkan atau diinstal pada komputer begitu juga dengan inverter dan motor listrik. Termokopel akan membaca atau mengukur temperatur kabin dan

mengirimkan signal secara proporsional dalam bentuk tegangan. Signal akan difilter sebelum diterima dan dikirim kembali dari sistem pengendali, yang tujuannya adalah untuk mengurangi gangguan (*noise*) sehingga tidak menyebabkan kesalahan data atau respon pada sistem kendali. Signal output dari pengendali merupakan fungsi dari selisih antara *setting* temperatur dan temperatur kabin yang dibaca (*error*). Output signal pengendali diterima oleh inverter yang mengatur frekuensi motor listrik secara linier proporsional. Inverter akan mengkonversikan tegangan dan frekuensi dari sumber kelistrikan tiga fasa kepada tegangan bolak-balik (DC) dan kemudian dikonversikan kembali tegangan DC kepada aliran listrik tiga fasa. Dengan proses tersebut motor listrik tiga fasa dapat divariasikan kecepatannya berdasarkan umpan balik (*feedback*) dari termokopel.

Pengujian pada penelitian ini dilakukan dengan tahapan 1000, 1500, 2000 dan 2500 rpm, kendali On/Off serta *setting* pengujian pada temperatur kabin 20°C dan beban pendingin internal 1000 W. Gambar 2 menunjukkan parameter pengukuran yang dilakukan.



Gambar 2. Parameter pengukuran

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan kinerja pendinginan dengan refrigeran yang berbeda, yaitu: COP, konsumsi energi oleh kompresor, dan kompresi rasio.

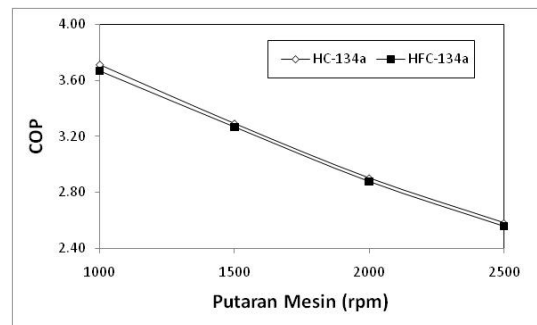
COP dari mesin pendingin adalah perbandingan antara energi yang dilepaskan dari evaporator (*refrigerating effect* - Q_e) dan energi yang diperlukan oleh kompresor (W_{com}). Ekspresi dari definisi diatas, dapat diperhatikan persamaan berikut :

$$COP = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} = \frac{Q_e}{W_{com}} \quad (1)$$

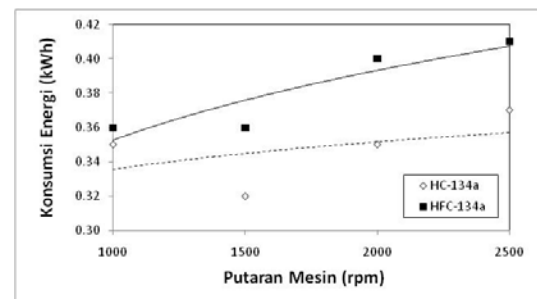
dimana h_1, h_2 (kJ/kg) : entalpi pada *inlet* dan *outlet* kompresor, h_4 (kJ/kg) : entalpi pada *inlet* evaporator. Konsumsi energi adalah hasil kali daya motor terhadap waktu (t). Sedangkan penghematan energi diekspresikan dalam unit persentase, diperoleh berdasarkan perbedaan antara pemakaian energi pada sistem dengan menggunakan refrigeran HFC-134a dan pemakaian energi pada sistem dengan menggunakan refrigeran HC-134a.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 menunjukkan perubahan COP terhadap variasi kecepatan kompresor: 1000, 1500, 2000 dan 2500 rpm dengan menggunakan HFC-134a dan HC-134a. Dari gambar dapat diperhatikan bahwa COP menggunakan refrigeran HC-134a lebih tinggi dan lebih baik jika dibandingkan dengan refrigeran HFC-134a berkisar 0.78-1.09%. Akan semakin besar nilai COP pada kondisi putaran kompresor semakin berkurang dan ini menyebabkan akan semakin kecil konsumsi energi yang diperlukan. Ketika konsumsi energi meningkat, nilai COP akan semakin kecil dengan meningkatnya putaran kompresor.



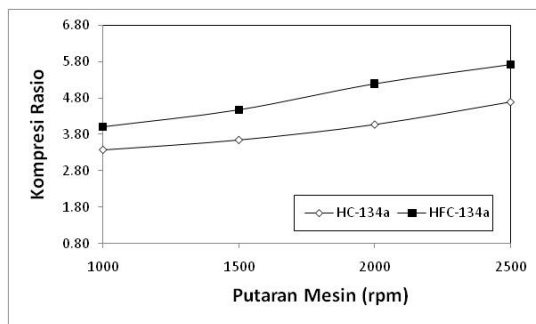
Gambar 3. COP dengan variasi putaran motor



Gambar 4. Konsumsi energi pada kompresor dengan variasi putaran motor

Konsumsi energi dihitung berdasarkan daya kompresor dikalikan dengan lama atau waktu kompresor dioperasikan. Gambar 4 menunjukkan pengaruh perubahan putaran kompresor terhadap

konsumsi energi dengan beban pendingin sebesar 1000 W pada kondisi *steady* selama satu jam periode pengujian. Meningkatnya putaran motor akan meningkatkan daya motor itu sendiri, dan konsekuensinya adalah energi yang diperlukan oleh motor juga semakin meningkat. Dari gambar dapat diperhatikan bahwa konsumsi energi menggunakan refrigeran HC-134a lebih rendah dan lebih baik jika dibandingkan dengan refrigeran HFC-134a berkisar 2.78-12.50%. Ketika putaran mesin meningkatkan kecepatan kompresor, daya kompresor, laju aliran massa refrigeran dan kompresi rasio (Gambar 5) juga meningkat. Dari gambar dapat diperhatikan bahwa kompresi rasio menggunakan refrigeran HC-134a lebih rendah dan lebih baik jika dibandingkan dengan refrigeran HFC-134a berkisar 0.15-0.21.



Gambar 5. Kompresi rasio dengan variasi putaran motor

KESIMPULAN

Studi tentang sistem pendingin udara kendaraan dengan campuran hidrokarbon telah diselidiki untuk menunjukkan unjuk kerja atau performansi sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran hidrokarbon dapat digunakan sebagai refrigeran alternatif pada sistem pengkondisian udara kendaraan. Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan:

1. COP, konsumsi energi dan kompresi rasio dengan menggunakan refrigeran HC-134a lebih baik dari HFC-134a.
2. COP menurun ketika meningkatnya kecepatan kompresor. Hal ini disebabkan kerja kompresor meningkat.
3. Konsumsi energi meningkat seiring dengan meningkatnya kerja kompresor.
4. Dengan meningkatnya putaran mesin akan meningkatkan kompresi rasio dan ini menyebabkan meningkatnya kerja kompresi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih atas pembiayaan penelitian melalui Universiti Teknologi Malaysia : GUP TIER 2 Fund No.00J25 dan Universitas Bung Hatta atas izin yang diberikan sehingga penulis dapat

melakukan kerja sama penelitian di Universiti Teknologi Malaysia.

DAFTAR PUSTAKA

- Alkan, A., Hosoz, M. 2010. Experimental Performance of an Automobile Air Conditioning System Using a Variable Capacity Compressor for Two Different Types of Expansion Devices, *Int. J. Vehicle Design*, **52**, 160-176.
- Al-Rabghi, O.M., Niyaz, A.A. 2000. Retrofitting R-12 Car Air Conditioner With R-134a Refrigerant, *Int. J. of Energy Research*, **24** (6), 467-474.
- Dalkilic, A.S., Wongwises, S. 2010. A Performance Comparison of Vapour-compression Refrigeration System Using Various Alternative Refrigerants, *Int. Comm. Heat and Mass Transfer*, **37**, 1340-1349.
- Devotta, S., Gopichand, S. 1992. Comparative Assessment of HFC 134a and Some Refrigerants as Alternatives to CFC 12, *Int. J. Refrig.*, **15**, 112-118.
- Esen, D.O., Hosoz, M. 2006. Experimental Performance Analysis of an Automobile Air Conditioning System Using Refrigerants R12 and R134a, *Journal of the Faculty of Eng. and Architecture of Gazi University*, **21** (4), 703-709.
- Ghodbane, M. 1999. An Investigation of R152a and Hydrocarbon Refrigerants in Mobile Air Conditioning, SAE Technical Papers, Paper No. 1999-01-0874. Society of Automotive Engineers.
- Hosoz, M. 2005. Exergy Analysis of Automobile Air Conditioning System Using R134a, *Proc. of the Second Int. Exergy, Energy and Environment Symposium*, Kos, Greece.
- Hosoz, M., Direk, M. 2006. Performance Evaluation of an Integrated Automotive Air Conditioning and Heat Pump System, *Energy Conv. and Man.*, **47** (5), 545-559.
- Hosoz, M., Ertunc, H.M. 2006. Artificial Neural Network Analysis of an Automotive Air Conditioning System, *Energy Conv. and Man.*, **47** (11-12), 1574-1587.
- Jabardo, J.M.S., Mamani, W.G., Lanella, M.R. 2002. Modelling and Experimental Evaluation of an Automotive Air Conditioning System With a Variable Capacity Compressor, *Int. J. of Refrig.*, **25** (8), 1157-1172.
- Joudi, K.A., Mohammed, A.S., Aljanabi, M.K. 2003. Experimental and Computer Performance Study of an Automotive Air Conditioning System With Alternative Refrigerants, *Energy Conv. and Man.*, **44** (18), 2959-2976.
- Jung, D., Park, B., Lee, H. 1999. Evaluation of Supplementary/Retrofit Refrigerants for Automobile Air Conditioners Charged With CFC12, *Int. J. of Refrig.*, **22** (7), 558-568.
- Kaynakli, O., Horuz, I. 2003. An Experimental Analysis of Automotive Air Conditioning

- System, *Int. Comm. in Heat and Mass Transfer*, **30** (2), 273–284.
- Kiatsiriroat, T., Euakit, T. 1997. Performance Analyses of an Automobile Air-Conditioning System With R22/R124/R152a Refrigerant, *Applied Thermal Engineering*, **17** (11), 1085–1097.
- Lee, G.H., Yoo, J.H. 2000. Performance Analysis and Simulation of Automobile Air Conditioning System, *Int. J. of Refrig.*, **23** (3), 243–254.
- Mani, K., Selladurai, V. 2008. Experimental Analysis of a New Refrigerant Mixture as Drop-in Replacement for CFC12 and HFC134a, *Int. J. of Thermal Sciences*, **47**, 1490–1495.
- Ratts, E.B., Brown, J.S. 2000. An Experimental Analysis of Cycling in an Automotive Air Conditioning System, *Applied Thermal Engineering*, **20** (11), 1039–1058.
- Richards, R.G., Shankland, I.R. 1992. Flammability of Alternative Refrigerants, *ASHRE J.*, **34**, 4.
- Ritter, T.J. 1996. Flammability-Hydrocarbon Refrigerants, in: *Proc. of the Institute of Refrigeration Conference, Safe and Reliable Refrigeration*, London.
- Tian, C., Li, X. 2005. Numerical Simulation on Performance Band of Automotive Air Conditioning System With Variable Displacement Compressor, *Energy Conv. Man.*, **46**, 2718–2738.