

Performansi Sistem Pendingin Kendaraan Dengan Variasi Putaran, Temperatur *Setting* dan Beban Pendingin

Henry Nasution^{1,2}, Khoirul Amri Nasution¹, Afiq Aiman Dahlan², Mulyanef¹

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri
Universitas Bung Hatta, Indonesia

² Jabatan Termobendalir, Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknologi Malaysia, Skudai 81310 Johor, Malaysia
E-mail: henrynasution@bunghatta.ac.id, henry@fkm.utm.my

Abstract

An experimental study to investigate the performance of a vehicle air-conditioning system (VAC) is presented. For this aim, an experimental system consisting of original components from an HFC134a VAC system such as compressor, condenser, evaporator, fan blower, radiator, alternator, electric motor, which acts as a vehicle's engine has been set up and instrumented over experimental rig which simulated the actual car as a passenger compartment. The speed will be varied in the range 1000, 1500, 2000, 2500 and 3000 rpm. The measurements will take during the one-hour periods within a one-minute time interval for temperature set-point of 21 and 22 °C with internal heat loads 0 and 1000 Watts. The results indicated that the higher the internal heat load, the smaller is the value of COP. A high COP at a lower internal heat load is mostly due to the small compressor power consumption compared with that at a higher internal heat load. The lower the temperature setpoint the higher is the energy consumption. When the compressor power consumption increases, the COP decreases with the increase of the internal heat load.

Kata kunci: performansi, sistem pendingin, kendaraan, penghematan energy

1. PENDAHULUAN

Lingkungan termal dalam kompartemen kendaraan penumpang diciptakan sesuai dengan kinerja sistem pengkondisian udara kendaraan (VAC). Dibandingkan dengan sistem pendingin udara lainnya, sistem VAC memiliki beberapa fitur tertentu dan secara signifikan berbeda dengan sistem pengkondisian untuk bangunan. Sebagai contoh, panel AC akan mengatur arah aliran udara, volume dan kecepatan udara, dan temperatur diatur dengan berbagai kondisi iklim oleh pengemudi. Sistem VAC bergantung kepada beban pendingin seperti buka-tutup pintu, sinar matahari melalui jendela kaca dari sisi depan, samping dan belakang, jumlah penumpang didalam kabin dan harus memenuhi kriteria kenyamanan, kemas (*compact*) dan efisien. Hal ini memerlukan perencanaan dan pemilihan yang tepat pada sistem VAC (Jabardo dkk, 2002). Pada sistem VAC, kompresor dihubungkan melalui sabuk dan diputar oleh mesin, putaran kompresor berbanding lurus atau proporsional dengan putaran mesin, oleh karena itu kapasitas pendingin akan bervariasi

sebagai suatu fungsi putaran mesin (Hosoz & Ertunc, 2006).

Perpindahan panas yang masuk melalui jendela kaca depan dan sisi kendaraan jauh lebih besar daripada perpindahan panas yang terjadi pada bangunan gedung. Sistem VAC harus mampu mendinginkan kendaraan dengan cepat dan mempertahankan temperatur. Kondisi ini membuat analisis sistem VAC lebih rumit di mana sistem ini harus mampu mengatasi perubahan iklim dengan kecepatan putaran mesin, seperti yang dijelaskan oleh Bhatti (1999a, 1999b) dan Kargilis (2003).

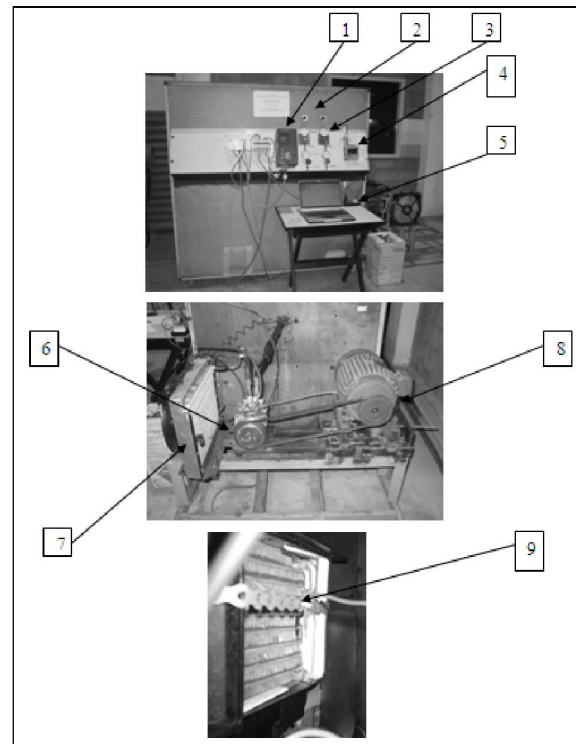
Beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui performansi sistem VAC seperti dilaporkan oleh Davis dkk (1972) memperkenalkan software simulasi untuk menganalisis unjuk kerja komponen-komponen dan sistem VAC. Kyle dkk (1993) melakukan simulasi unjuk kerja sistem VAC berdasarkan kepada model pompa kalor untuk aplikasi rumah tangga. Jung dkk (1999) menganalisis secara termodinamika unjuk kerja campuran (*mixture*) refrigeran R-12 pada sistem VAC yang diproduksi sebelum tahun 1995. Lee & Yoo (2000) melakukan analisis unjuk kerja komponen-komponen dari sistem VAC dan mengembangkan satu model yang

terintegrasi untuk menirukan seluruh sistem. Ratts & Brown (2000) menganalisis pengaruh perubahan refrigeran terhadap unjuk kerja sistem VAC. Al-Rabghi & Niyaz (2000) mengganti refrigeran R-12 kepada R134a dan menganalisa unjuk kerja (COP) kedua-kedua refrigeran. Jabardo dkk (2002) mengembangkan *steady state* komputer simulasi untuk model sistem VAC dengan variasi kapasitas kompresor dan menyelidiki validasinya secara eksperimen. Joudi dkk (2003) mengembangkan model komputer untuk mensimulasi unjuk kerja sistem VAC dengan menggunakan beberapa refrigeran. Kaynakli & Horuz (2003) melakukan percobaan untuk menganalisis unjuk kerja sistem VAC menggunakan refrigeran R134a untuk menentukan kondisi operasi optimum. Brown dkk (2002) mengevaluasi kinerja sistem VAC menggunakan CO₂ dan sistem R134a dengan menggunakan model siklus semi-teoritis.

Penelitian ini difokuskan pada distribusi temperatur ruangan, COP dan pemakaian energi pada variasi beban pendingin internal dan putaran motor. Percobaan dilakukan dengan menggunakan refrigeran R134a.

2. METODE PENELITIAN

Gambar 1 menunjukkan skematik diagram mesin pendingin berdasarkan komponen-komponen asal sistem VAC. 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. Untuk mengendalikan sistem VAC mempergunakan termokopel dan pengendali On/Off digital. Termokopel akan membaca atau mengukur temperatur kabin dan mengirimkan signal secara proporsional dalam bentuk tegangan. 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 menjadi tegangan DC kepada aliran listrik tiga fasa. Dengan proses tersebut, motor listrik tiga fasa dapat dioperasikan berdasarkan umpan balik (*feedback*) dari termokopel.



Gambar 1. Skematik diagram pengujian

Keterangan gambar :

1. Inverter.
2. Switch On/Off : inverter, blower dan fan.
3. Pressure gauge.
4. Mass flow rate.
5. Thermocouple dan PicoLog Temperature Data Logger (TC-08)
6. Kompresor.
7. Kondensor.
8. Motor.
9. Evaporator.

Pengujian pada penelitian ini dilakukan dengan tahapan: putaran 1000, 1500, 2000, 2500 dan 3000 rpm, kendali On/Off digital, *setting* pengujian pada temperatur kabin 21 dan 22°C, dan beban pendingin internal 0 dan 1000 W. Gambar 2 menunjukkan parameter pengukuran yang dilakukan dalam penelitian.

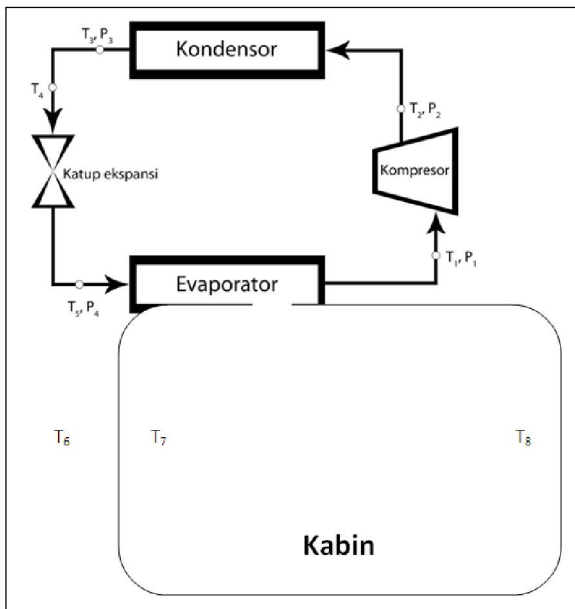
3. UNJUK KERJA SISTEM

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 tersebut, 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*

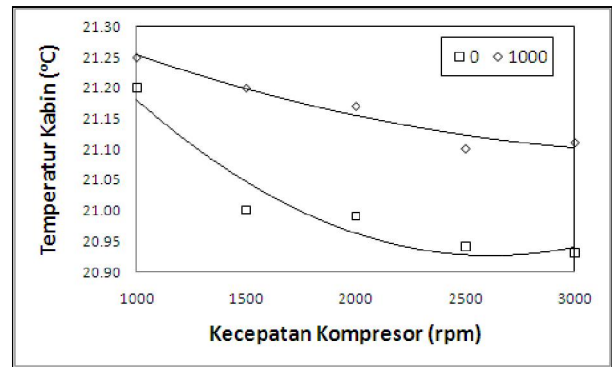
kompresor, h_4 (kJ/kg) : entalpi pada inlet evaporator.



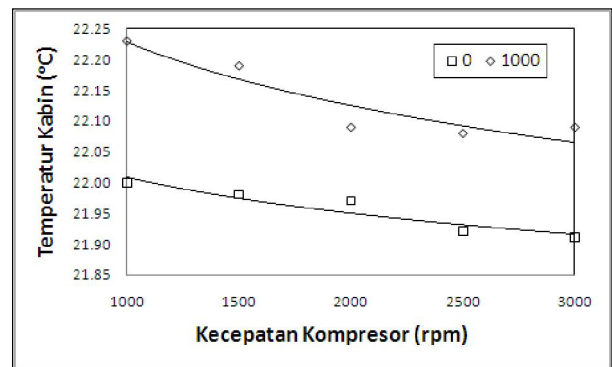
Gambar 2. Parameter pengukuran

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

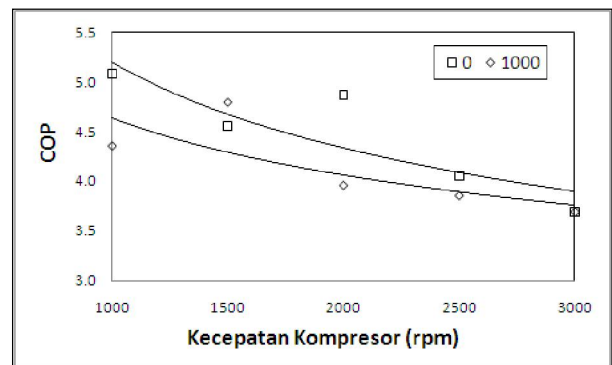
Gambar 3 dan 4 menunjukkan respon temperatur pada variasi *setting* temperatur 21 dan 22°C, beban pendingin internal 0 dan 1000 W, dan variasi putaran kompresor: 1000, 1500, 2000, 2500 dan 3000 rpm dengan menggunakan kendali On/Off digital. Sistem kendali akan memberikan respon terhadap kompresor untuk beroperasi (On) ketika temperatur ruangan telah mendekati batas atas *setting* temperatur, begitupula sebaliknya akan menghentikan (Off) kompresor apabila temperatur ruangan telah mendekati batas bawah *setting* temperatur. Semakin kecil *setting* temperatur dan beban pendinginan internal semakin besar maka waktu yang diperlukan untuk mencapai temperatur ruangan yang diinginkan akan semakin lama. Setelah sistem kendali menghentikan kompresor dan beban pendinginan internal semakin meningkat, maka waktu yang diperlukan untuk kompresor beroperasi akan semakin cepat. Hasil tersebut menunjukkan bahwa temperatur kabin sangat bergantung kepada putaran kompresor. Ketika putaran kompresor meningkat maka temperatur kabin akan semakin rendah.



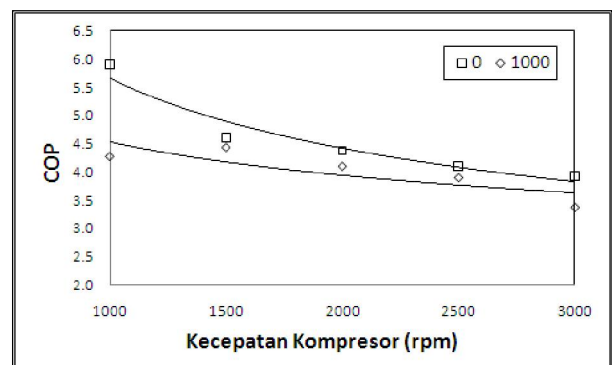
Gambar 3. Respon temperatur kabin pada temperatur *setting* 21°C



Gambar 4. Respon temperatur kabin pada temperatur *setting* 22°C



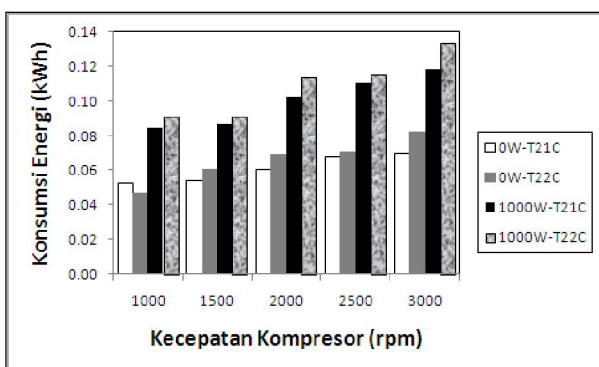
Gambar 5. COP pada temperatur *setting* 21°C



Gambar 6. COP pada temperatur *setting* 22°C

Analisa unjuk kerja mesin pendingin atau COP terhadap variasi putaran kompresor, beban pendingin internal dan temperatur *setting* dapat diperhatikan seperti pada Gambar 5 dan 6. Akan semakin bertambah nilai COP pada kondisi putaran kompresor semakin kecil dan ini menyebabkan akan semakin rendah konsumsi energi. Begitu pula sebaliknya, nilai COP akan berkurang dengan meningkatnya beban pendingin internal dan temperatur *setting*, ini disebabkan oleh putaran kompresor. Seperti dijelaskan pada distribusi temperatur kabin, semakin kecil *setting* temperatur dan beban pendinginan internal semakin besar maka waktu yang diperlukan untuk mencapai temperatur ruangan yang diinginkan akan semakin lama. Ketika konsumsi energi meningkat, nilai COP akan semakin kecil dengan meningkatnya putaran kompresor.

Gambar 7 menunjukkan pengaruh perubahan putaran kompresor terhadap konsumsi energi pada kondisi *steady* selama satu jam periode pengujian. Meningkatnya putaran kompresor akan meningkatkan daya kompresor itu sendiri, dan konsekuensinya adalah energi yang diperlukan oleh kompresor juga akan semakin meningkat.



Gambar 7. Konsumsi energi pada variasi putaran kompresor, beban pendingin internal dan temperatur *setting*

5. KESIMPULAN

Setelah melakukan percobaan pada sistem VAC, dapat disimpulkan bahwa: distribusi temperatur kabin, COP dan konsumsi energi pada kompresor bergantung kepada putaran kompresor. Temperatur kabin akan semakin rendah dengan meningkatnya putaran kompresor, begitu pula sebaliknya. Konsumsi energi akan berubah seiring dengan perubahan putaran kompresor. Ketika putaran kompresor meningkat, temperatur ruang menurun dan COP meningkat maka konsumsi energinya juga akan meningkat.

6. 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.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. Al-Rabghi OM. & Niyaz AA. 2000. Retrofitting R-12 Car Air Conditioning with R-134a Refrigerant, International Journal of Energy Research, (24): 467-474.
2. Bhatti MS. 1999a. Riding in Comfort, Part II: Evolution of Automotive Air Conditioning, ASHRAE Journal, 41 (9): 44-52.
3. Bhatti MS. 1999b. Enhancement of R134a automotive air conditioning system, SAE International Congress and Exposition, Paper No. 1999-01-0870.
4. Brown JS., Motta SFY., Domanski PA. 2002. Comparative Analysis of an Automotive Air Conditioning Systems Operating with CO₂ and R134a, International Journal of Refrigeration, 25: 19-32.
5. Davis GL., Chianese F., Scott TC. 1972. Computer Simulation of Automotive Air Conditioning Components, System, and Vehicle, SAE Congress Paper 720077.
6. Hosoz M., Ertunc HM. 2006. Artificial Neural Network Analysis of an Automobile Air Conditioning System, Energy Conversion & Management, 47: 1574-1587.
7. Jabardo JMS., Mamani WG., Ianella MR. 2002. Modeling and Experimental Evaluation of an Automotive Air Conditioning System With a Variable Capacity Compressor, International Journal of Refrigeration, 25: 1157-1172.
8. Joudi KA., Mohammed AS., Aljanabi MK. 2003. Experimental and Computer Performance Study of an Automotive Air Conditioning System with Alternative Refrigerants, Energy Conversion & Management, (44): 2959-2976.
9. Jung D., Park B., Lee H. 1999. Evaluation of Supplementary/Retrofit Refrigerants for Automobile Air-Conditioners Charged with CFC12. International Journal of Refrigeration, 22: 558-568.

10. Kargilis A. 2003, Design and Development of Automotive Air Conditioning Systems, ALKAR Engineering Company: 1-3.
11. Kaynakli O. & Horuz I. 2003. An Experimental Analysis of Automotive Air Conditioning System. International Communication Heat and Mass Transfer, (30): 273–284.
12. DM., Mei VC., Chen FC. 1993. An Automobile Air Conditioning Design Model, SAE Congress Paper 931137.
13. Lee GH. & Yoo JY. 2000. Performance Analysis and Simulation of Automobile Air Conditioning System, International Journal of Refrigeration, (23): 243-254.
14. Ratts EB., Brown JS. 2000. An Experimental Analysis of the Effect of Refrigerant Charge Level on an Automotive Refrigeration System, International Journal of Thermal Science, (39): 592-604.