

PERFORMANSI SISTEM PENDINGIN KENDARAAN DENGAN VARIASI PUTARAN KOMPRESOR MENGGUNAKAN KENDALI LOGIKA FUZZY

Henry Nasution^{1,2}

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

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

Abstract: An experimental investigation was carried out with a view to achieve 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 experiments were conducted with temperature settings of 22 and 23°C for the conditioned space and internal heat loads of 0, 1 and 2 kW. This study demonstrated the application of the thermostat (on/off) and fuzzy logic controllers (FLC) for the reduction of energy consumption. The space temperature and speed of the compressor were varied and an energy consumption analysis was carried out for the AC system. The experimental results showed that significant energy savings could be obtained through the use of the controllers for the two temperature settings and three internal heat loads. The results also indicated that the proposed FLC gave a better result in maintaining the cabin temperature at acceptable levels by varying the compressor speed resulting in significant energy saving.

Keywords: energy saving, vehicle air-conditioning, variable speed compressor, fuzzy logic control

PENDAHULUAN

Pengkondisian udara pada kendaraan memiliki arti penting oleh perusahaan untuk meningkatkan nilai jual. Sistem pengkondisian udara adalah salah satu dari beberapa perlengkapan yang penting untuk memberikan kenyamanan bagi penumpang. Persaingan antara perusahaan kendaraan membuktikan bahwa kenyamanan penumpang dalam kabin kendaraan adalah kebutuhan yang nyata dari pada opsi lainnya, dan ini menjadi salah satu kriteria utama dalam memilih kendaraan.

Secara umum, sistem pendingin kendaraan (VAC) berbeda dengan sistem pendingin (AC)

komersial atau sistem AC rumah tangga. Sistem VAC bergantung kepada beban pendingin seperti bukatutup 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 *et al.*, 2002). Pada sistem VAC, kompresor dihubungkan melalui sabuk dan diputar oleh enjin, putaran kompresor berbanding lurus atau proporsional dengan putaran enjin, oleh karena itu kapasitas pendingin akan bervariasi sebagai suatu fungsi putaran enjin (Hosoz and Ertunc, 2006)

Karena VAC kompetitif dan teknologinya berorientasi industri atau komersial, literatur yang tersedia jumlahnya terbatas dan lebih mengarah kepada percobaan sistem. Davis *et al.* (1972) memperkenalkan software simulasi untuk menganalisis unjuk kerja komponen-komponen dan sistem VAC. Kyle *et al.* (1993) melakukan simulasi unjuk kerja sistem VAC berdasarkan kepada model pompa kalor untuk aplikasi rumah tangga. Jung *et al.* (1999) menganalisis secara termodinamika unjuk kerja campuran (*mixture*) refrigeran R-12 pada sistem VAC yang diproduksi sebelum tahun 1995. Lee and Yoo (2000) melakukan analisis unjuk kerja komponen-komponen dari sistem VAC dan mengembangkan satu model yang terintegrasi untuk menirukan seluruh sistem. Ratts and Brown (2000) menganalisis pengaruh perubahan refrigeran terhadap unjuk kerja sistem VAC. Al-Rabghi and Niyaz (2000) mengganti refrigeran R-12 kepada R134a dan menganalisa unjuk kerja (COP) kedua-kedua refrigeran. Jabardo *et al.* (2002) mengembangkan *steady state* komputer simulasi untuk model sistem VAC dengan variasi kapasitas kompresor dan menyelediki validasinya secara eksperimen. Joudi *et al.* (2003) mengembangkan model komputer untuk mensimulasi unjuk kerja sistem VAC dengan menggunakan

beberapa refrigeran. Kaynakli and Horuz (2003) melakukan percobaan untuk menganalisis unjuk kerja sistem VAC menggunakan refrigeran R134a untuk menentukan kondisi operasi optimum. Hosoz dan Ertunc (2006) memprediksi variasi parameter-parameter unjuk kerja sistem VAC menggunakan model artifisial jaringan saraf tiruan (*neural network*). Razi *et al.* (2006) menyajikan sistem kendali *neuro-predictive* untuk mengendalikan temperatur pada sistem VAC dan model numerik untuk siklus refrigerasi *automotive*.

Secara umum, VAC banyak digunakan dengan menggunakan sistem kendali on/off (sistem konvensional). Pada sistem konvensional, motor hanya mengenal dua kondisi berdasarkan referensi temperatur. Apabila temperatur yang diinginkan lebih besar dari temperatur referensi maka kompresor akan beroperasi (On) dan sebaliknya akan Off, jika temperatur yang diinginkan lebih kecil dari temperatur referensi. Kelemahan sistem ini adalah kompresor tetap harus bekerja pada beban puncak (*full load*) walaupun pada saat AC tidak sedang menangani perubahan atau variasi beban pendinginan dan temperatur yang diinginkan tidak dapat dipertahankan. Sehingga pada sistem ini penghematan energi diperoleh pada selang waktu motor tidak beroperasi. Semakin sering terjadinya fluktuasi akibat beban pendinginan akan semakin kecil kemampuan untuk menghemat energi (Nasution dan Hassan, 2006).

Mengurangi pemakaian energi adalah signifikan terhadap perbaikan unjuk kerja kompresor atau *coefficient of performance* (COP) yang bergantung kepada kecepatan kompresor. Nilai COP akan besar pada kondisi putaran kompresor semakin rendah dan ini menyebabkan akan semakin kecil konsumsi energi yang diperlukan. Ketika konsumsi energi meningkat, nilai COP akan semakin kecil dengan meningkatnya putaran kompresor (Nasution, 2006). Dengan adanya teknologi inverter, putaran kompresor dapat divariasikan berdasarkan perubahan frekuensi, sedangkan tegangan dan arus motor kompresor tidak mengalami perubahan. Karena pada sistem inverter, frekuensi akan sebanding perubahannya terhadap putaran, tegangan, arus dan daya listrik.

Pada penelitian ini akan dilakukan inovasi sistem VAC untuk menutup kekurangan atau kelemahan sistem lama dengan mengusulkan sistem AC rangkaian ganda (MCACS). Sistem ini menggunakan lebih dari satu unit sistem, dimana setiap unit evaporator dan kondensator akan dibagi menjadi dua bagian. Keuntungan konsep MCACS adalah pemasangan dan pemeliharaan yang sederhana dan memiliki potensi untuk konservasi energi. Apabila salah satu kompresor tidak dapat berfungsi, unit yang lain masih dapat digunakan untuk mensuplai udara dingin kepada para penumpang sampai perbaikan dilakukan. Fokus dari pada penelitian ini adalah suatu upaya untuk penghematan energi dengan menggunakan kendali logika *fuzzy* (FLC). Gagasan

utama perencanaan sistem FLC adalah untuk memaksimalkan penghematan energi dan kenyamanan penumpang dengan memvariasikan putaran kompresor. Hasil dari sistem FLC akan dibandingkan dengan kendali konvensional (On/Off).

PERFORMANSI DAN ESTIMASI ENERGI

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 :

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

pada siklus Carnot :

$$COP_{carnot} = \frac{T_1}{T_2 - T_1} \quad (2)$$

dimana h_1, h_2 (kJ/kg) : entalpi pada *inlet* dan *outlet* kompresor, h_4 (kJ/kg) : entalpi pada *inlet* evaporator, T_1 dan T_2 (°C) : temperatur evaporasi dan kondensasi.

Konsumsi energi adalah hasil kali daya motor terhadap waktu (t), dengan persamaan :

$$Energi = \left[\frac{I \times V \times PF \times 1.73}{1000} \right] \times t \quad (3)$$

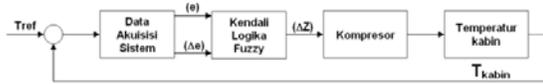
dimana I (Ampere) : arus, V (Volt) : tegangan, dan PF : faktor daya.

Penghematan energi diekspresikan dalam unit persentase, diperoleh berdasarkan perbedaan antara pemakaian energi pada sistem pengaturan On/Off dan pemakaian energi pada sistem pengaturan dengan logika *fuzzy*, yang didefinisikan dengan persamaan :

$$\text{Penghematan energi} = \frac{(\text{on/off energi}) - (\text{Fuzzy energi})}{(\text{on/off energi})} \times 100 \quad (4)$$

KENDALI LOGIKA FUZZY

Gambar 1 menunjukkan proses umpan balik atau pengendalian temperatur ruangan menggunakan sistem FLC dengan dua input dan satu output variabel. Variabel input adalah temperatur error - e (perbedaan antara *setting* dan pengukuran temperatur) dan tingkat perubahan temperatur error - Δe (perbedaan antara temperatur error saat ini dan sebelumnya), sedangkan variabel output (ΔZ) adalah sinyal tegangan yang akan diterima oleh kompresor.



Gambar 1. Algoritma FLC

FLC didasarkan atas tiga prinsip: *fuzzification*, *inference mechanism* dan *defuzzification*. Fuzzifikasi merupakan suatu proses transformasi bilangan riil ke dalam bilangan fuzzy yang memiliki atribut linguistik (penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan tertentu dengan menggunakan bahasa alami) dan atribut numerik (nilai yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel). Mekanisme inferensia suatu proses yang akan menentukan output fuzzy berdasarkan aturan logika fuzzy (*fuzzy rule base*). Sedangkan defuzzifikasi suatu proses transformasi output fuzzy ke dalam bilangan riil atau nilai yang ditetapkan. Proses defuzzifikasi tergantung pada output himpunan fuzzy yang dibentuk dari aturan-aturan fuzzy.

Tabel 1 menunjukkan aturan logika fuzzy yang dipergunakan sebagai variabel linguistik input dan output dengan label-label sebagai berikut: hot (H), normal (N), cool (C), negative (NE), normal (NO), positive (PO), slow (SL), normal (NM) dan fast (FT). Semua variabel input dan output akan menghasilkan tiga variable fuzzy, sehingga aturan logika fuzzy akan menjadi matrik 3 x 3 yang berisi 9 kaedah.

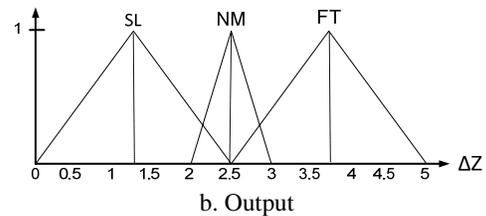
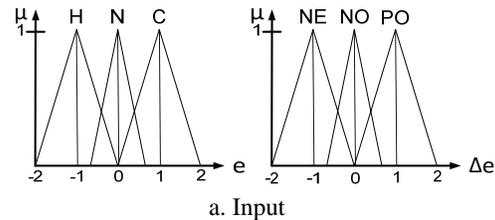
1. **If** e is H and Δe is NE **Then** ΔZ is SL
2. **If** e is N and Δe is NE **Then** ΔZ is SL
3. **If** e is C and Δe is NE **Then** ΔZ is SL
4. **If** e is H and Δe is NO **Then** ΔZ is SL
5. **If** e is N and Δe is NO **Then** ΔZ is SL
6. **If** e is C and Δe is NO **Then** ΔZ is SL
7. **If** e is H and Δe is PO **Then** ΔZ is FT
8. **If** e is N and Δe is PO **Then** ΔZ is NM
9. **If** e is C and Δe is PO **Then** ΔZ is SL

Tabel 1. Aturan logika fuzzy

ΔZ	e			
	H	N	C	
Δe	NE	SL	SL	SL
	NO	SL	SL	SL
	PO	FT	NM	SL

Fungsi keanggotaan yang dipergunakan adalah *triangular* (segitiga) dengan kriteria: sederhana, memberikan hasil perhitungan dan respon yang baik serta mudah digunakan (Eker dan Torun, 2006). Dengan nilai semesta pembicaraan (*universe of discourse*) yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel input dan output fuzzy: e dan Δe adalah -2°C sampai $+2^{\circ}\text{C}$ dan ΔZ adalah 0 sampai 5 V_{dc} seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Penegasan (*defuzzify*) output kendali fuzzy kedalam nilai *crisp* menggunakan metoda *centroid*. Metoda ini secara praktis akan memberikan hasil pada keadaan yang

stabil dan baik, pengolahan secara komputasi tidak kompleks dan metoda ini dapat digunakan pada setiap kondisi (Eker dan Torun, 2006).



Gambar 2. Fungsi keanggotaan segitiga

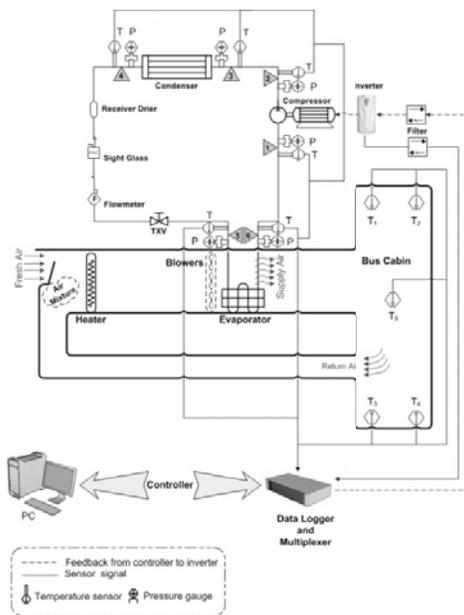
METODE PENELITIAN

Gambar 3 menunjukkan sistem VAC berdasarkan komponen-komponen asal sistem AC bus. Untuk mensimulasikan beban pendinginan yang ditimbulkan oleh penumpang dipergunakan alat pemanas udara (*air heater*) didalam saluran udara suplai menuju ke evaporator. Temperatur udara masuk ke evaporator divariasikan dengan mengatur daya (*power*) pemanas udara untuk mendapatkan beban pendinginan sensibel dimana beban pendinginan laten diperoleh dari pencampuran udara luar dengan udara dingin dari evaporator.

Saluran udara diisolasi menggunakan material *polyurethane* dengan ketebalan 5 cm. Pipa refrigeran dibuat dari tembaga dan diisolasi dengan menggunakan material *elastomeric*. Temperatur, tekanan dan laju aliran massa refrigeran diukur pada setiap lokasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. Temperatur refrigeran dan udara pada setiap lokasi pengukuran menggunakan termokopel tipe K. Termokopel untuk temperatur refrigeran dimasukkan kedalam pipa tembaga dengan menggunakan *thermo pocket thermocouple*. Sembilan lokasi pengukuran tekanan refrigeran menggunakan *pressure gauge* tipe bourdon (*high pressure* = 0–30 bar dan *low pressure* = 0–10 bar) seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. Sedangkan laju aliran massa refrigeran diukur dengan menggunakan *refrigeran flow meter* untuk R134a. Tipe data akuisisi adalah PCI-1711/PCLD-8710, digunakan untuk mengirim, menerima dan menyimpan seluruh data-data pengukuran dari kompresor melalui inverter.

Untuk mengendalikan kecepatan kompresor pada ruang (kabin) penumpang mempergunakan termokopel, subrutin pengendali On/Off dan FLC telah disiapkan atau diinstal disuatu 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.



Gambar 3. Skematik diagram pengujian

Pengujian pada penelitian ini dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

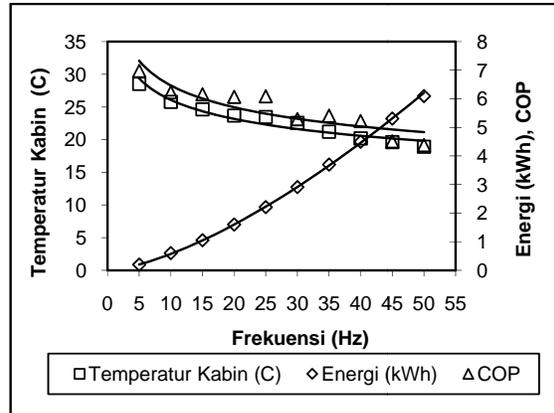
1. Variasi putaran kompresor.
2. Kendali On/Off.
3. Kendali logika fuzzy (FLC).
4. *Setting* pengujian :
 - a. Temperatur ruang = 22 dan 23°C.
 - b. Beban pendingin = 0, 1 dan 2 kW.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Variasi Kecepatan

Gambar 4 menunjukkan pengaruh perubahan putaran kompresor terhadap temperatur kabin,

konsumsi energi dan COP tanpa beban pendingin pada kondisi *steady* selama satu jam periode pengujian. Konsumsi energi dihitung berdasarkan daya (*power*) motor dikalikan dengan lama atau waktu kompresor dioperasikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsumsi energi sangat bergantung kepada frekuensi motor. Ketika frekuensi motor meningkat akan menyebabkan pemakaian energi juga meningkat dan kondisi ini akan menyebabkan temperatur kabin akan semakin rendah. Penurunan temperatur kabin pada kondisi *steady* untuk setiap perubahan kecepatan bervariasi, hasil yang diperoleh adalah 18.92-28.54°C.

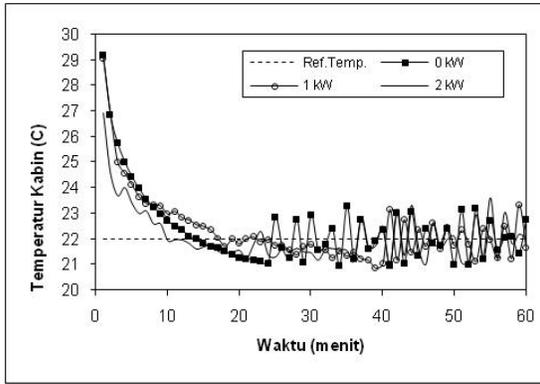


Gambar 4. Distribusi temperatur kabin, konsumsi energi dan COP dengan variasi putaran motor kompresor pada keadaan *steady*

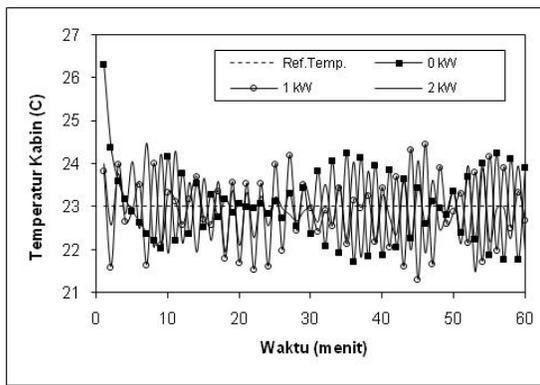
Analisa unjuk kerja mesin pendingin atau COP terhadap variasi putaran kompresor dihitung dengan menggunakan persamaan (1) dan (2). Akan semakin besar nilai COP pada kondisi putaran kompresor semakin berkurang dan ini menyebabkan akan semakin kecil konsumsi energi yang diperlukan. Ketika konsumsi energi meningkat, nilai COP akan semakin kecil dengan meningkatnya putaran kompresor.

2. Kendali On/Off

Gambar 5 dan 6 menunjukkan respon temperatur dengan variasi *setting* temperatur (Ref.Temp.) dan beban pendingin 0, 1 dan 2 kW. Sistem kendali akan memberikan respon terhadap kompresor untuk beroperasi (On) ketika temperatur kabin telah mendekati batas atas *setting* temperatur, begitupula sebaliknya akan menghentikan (Off) kompresor apabila temperatur kabin telah mendekati batas bawah *setting* temperatur. Semakin kecil *setting* temperatur dan beban pendinginan internal semakin besar maka waktu yang diperlukan untuk mencapai temperatur kabin yang diinginkan akan semakin lama. Setelah sistem kendali menghentikan kompresor dan beban pendinginan semakin meningkat, maka waktu yang diperlukan untuk kompresor beroperasi akan semakin cepat.

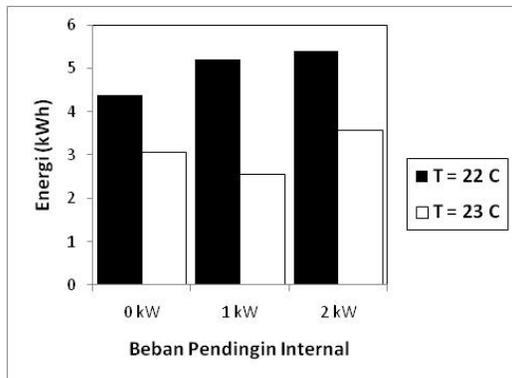


Gambar 5. Respon temperatur kabin dengan kendali on/off pada $T = 22^{\circ}\text{C}$



Gambar 6. Respon temperatur kabin dengan kendali on/off pada $T = 23^{\circ}\text{C}$

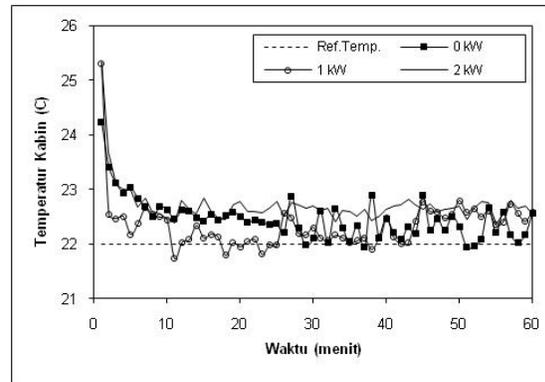
Konsumsi energi pada variasi *setting* temperatur dan beban pendingin internal dijelaskan seperti pada gambar 7. Waktu yang diperlukan untuk mencapai temperatur kabin yang diinginkan akan mempengaruhi konsumsi energi. Semakin lama kompresor beroperasi, semakin besar konsumsi energi yang disebabkan oleh rendahnya *setting* temperatur dan besarnya beban pendingin internal.



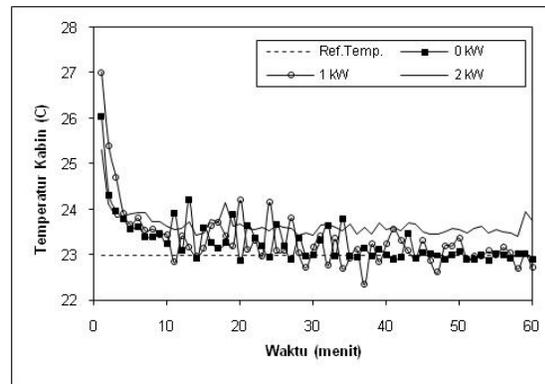
Gambar 7. Konsumsi energi pada temperatur *setting* dan beban pendingin internal bervariasi dengan kendali on/off

3. Kendali Fuzzy

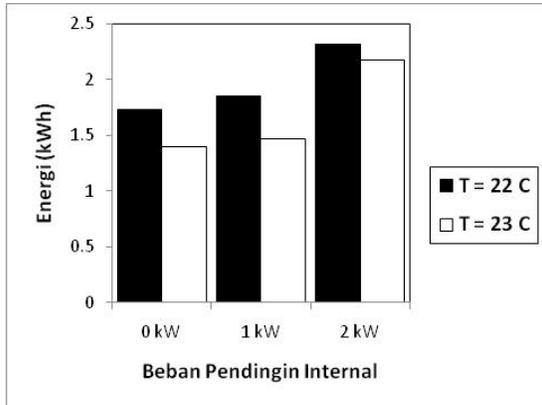
Pada sistem kendali fuzzy, awalnya kompresor bekerja pada putaran nominal atau frekuensi maksimum (50 Hz). Dengan semakin lama waktu kompresor beroperasi, maka akan semakin menurun temperatur ruangan. Mengacu kepada *setting* temperatur, kendali fuzzy akan memperkecil perbedaan antara temperatur ruang dan *setting* temperatur. Oleh karena itu, putaran kompresor akan berkurang apabila telah mendekati *setting* temperatur. Kondisi ini juga terjadi jika didalam ruangan ada atau tidaknya beban pendinginan. Beban pendingin internal berpengaruh terhadap putaran kompresor untuk mencapai *setting* temperatur sedekat mungkin. Semakin meningkat *setting* temperatur, semakin lama waktu yang diperlukan oleh kompresor untuk menurunkan temperatur, dan ini akan menyebabkan akan semakin banyak energi yang dikonsumsi oleh kompresor. Gambar 8 dan 9 menunjukkan respon temperatur serta Gambar 10 menunjukkan konsumsi energi dengan variasi *setting* temperatur (Ref.Temp.) dan beban pendingin 0, 1 dan 2 kW menggunakan kendali fuzzy.



Gambar 8. Respon temperatur kabin dengan kendali fuzzy pada $T = 22^{\circ}\text{C}$

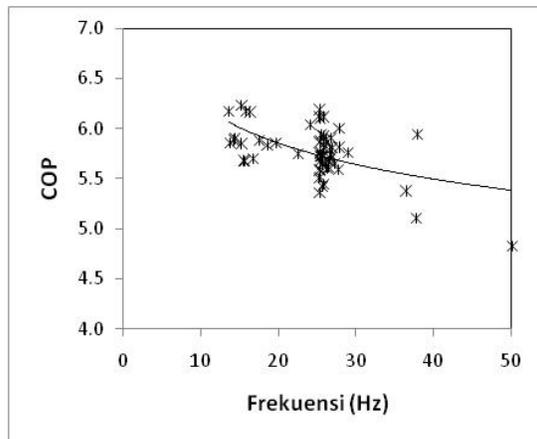


Gambar 9. Respon temperatur kabin dengan kendali fuzzy pada $T = 23^{\circ}\text{C}$



Gambar 10. Konsumsi energi pada temperatur *setting* dan beban pendingin internal bervariasi dengan kendali fuzzy

Gambar 11 menunjukkan unjuk kerja mesin pendingin atau COP dengan menggunakan kendali fuzzy. Semakin meningkat frekuensi akan semakin berkurang nilai COP. Nilai COP akan meningkat pada frekuensi yang lebih rendah, karena disebabkan berkurangnya pemakaian energi pada motor kompresor. Begitu juga sebaliknya nilai COP akan berkurang pada frekuensi yang lebih tinggi, karena disebabkan banyaknya pemakaian energi pada motor kompresor.

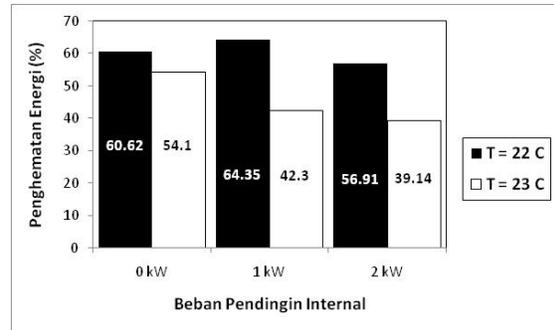


Gambar 11. COP dengan kendali fuzzy

4. Analisa Energi

Analisa energi diperoleh dengan menggunakan persamaan (3) dan (4). Gambar 12 menunjukkan penghematan energi FLC jika dibandingkan dengan sistem kendali konvensional (On/Off) pada kondisi *setting* temperatur kabin 22 dan 23°C dengan variasi beban pendingin internal 0, 1, dan 2 kW. Energi yang dikonsumsi dengan sistem konvensional lebih besar jika dibandingkan pada sistem FLC, sehingga menunjukkan bahwa FLC memiliki potensi lebih besar untuk penghematan

energi. Jika beban pendingin internal meningkat maka energi yang dikonsumsi akan semakin meningkat. Dengan meningkatnya konsumsi energi akan menghasilkan penghematan energi yang semakin kecil.



Gambar 12. Penghematan energi FLC dibandingkan dengan on/off

KESIMPULAN

Beberapa percobaan pada sistem pendingin kendaraan dengan kecepatan kompresor bervariasi menggunakan kendali fuzzy telah dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur ruangan dan konsumsi energi bergantung pada kecepatan kompresor. Temperatur kabin akan semakin rendah dengan meningkatnya kecepatan kompresor dan konsumsi energinya juga akan meningkat. Dengan semakin meningkatnya pemakaian energi akan semakin kecil energi yang dapat dihemat dan begitu pula sebaliknya. Ketika terjadi penambahan ataupun pengurangan beban pendingin dalam kabin, kendali fuzzy akan bertindak dengan cepat untuk mencapai kembali *setting* temperatur dengan menambah atau mengurangi putaran kompresor secara terus menerus. Fluktuasi putaran kompresor akan terus berlangsung selama *setting* temperatur tetap dipertahankan untuk mencapai kenyamanan pada kabin.

Sistem kendali logika *fuzzy* menunjukkan hasil yang lebih baik jika dibandingkan pada sistem konvensional (On/Off). Hasil utama dari studi ini menunjukkan bahwa dengan memvariasikan putaran kompresor adalah mampu untuk mengendalikan temperatur kabin dan menghasilkan penghematan energi yang signifikan.

UCAPAN TERIMAKASIH

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

- Al-Rabghi, O. M., Niyaz, A. A. 2000. Retrofitting R-12 Car Air Conditioning with R-134a Refrigerant. *Int. J. Energy Res.*, **24**, 467-474.
- Davis, G. L., Chianese, F., Scott, T. C. 1972. Computer Simulation of Automotive Air Conditioning Components, System, and Vehicle. SAE Congress Paper 720077.
- Eker I., Torun Y. 2006. Fuzzy Logic Control to be Conventional Method, *Energy Conversion & Management*, Vol.47, 377-394.
- Hosoz, M., Ertunc, H. M. 2006. Artificial Neural Network Analysis of an Automobile Air Conditioning System. *Energy Conv. Man.*, **47**, 1574-1587.
- Hosoz, M., Direk, M. 2006. Performance Evaluation of an Integrated Automotive Air Conditioning and Heat Pump System. *Energy Conv. Man.*, **47**, 545-559.
- Jabardo, J. M. S., Mamani, W. G., Ianella, M. R. 2002. Modeling and Experimental Evaluation of an Automotive Air Conditioning System With a Variable Capacity Compressor. *Int. J. Refrig.*, **25**, 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. Man.*, **44**, 2959-2976.
- Jung, D., Park, B., Lee, H. 1999. Evaluation of Supplementary/Retrofit Refrigerants for Automobile Air-Conditioners Charged with CFC12. *Int. J. Refrig.*, **22**, 558-568.
- Kyle, D. M., Mei, V. C., Chen, F. C. 1993. An Automobile Air Conditioning Design Model. SAE Congress Paper 931137.
- Kaynakli, O., Horuz, I. 2003. An Experimental Analysis of Automotive Air Conditioning System. *Int. Comm. Heat and Mass Transfer*, **30**, 273-284.
- Lee, G. H., Yoo, J. Y. 2000. Performance Analysis and Simulation of Automobile Air Conditioning System. *Int. J. Refrig.*, **23**, 243-254.
- Nasution, H. 2006. Energy Analysis of An Air Conditioning System Using PID and Fuzzy Logic Control, *PhD Thesis*, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia.
- Nasution, H., Hassan, M.N.M. 2006. Potential Electricity Savings by Variable Speed Control of Compressor for Air Conditioning Systems, *Journal Clean Technologies Environmental Policy*, Vol.8, No.2, 105-111.
- Ratts, E. B., Brown, J. S. 2000. An Experimental Analysis of the Effect of Refrigerant Charge Level on an Automotive Refrigeration System. *Int. J. Therm. Sci.*, **39**, 592-604.
- Razi, M., Farrokhi, M., Sacidi, M. H., Khorasani, A. R. F. 2006. Neuro-Predictive Control for Automotive Air Conditioning System. *Proc. of IEEE Int. Conference Engineering of Intelligent System*, 1-6.