

## PERFORMANSI PEMAKAIAN ENERGI PADA SISTEM PENDINGIN BANGUNAN MENGUNAKAN KENDALI TERMOSTAT, ON/OFF DIGITAL DAN LOGIKA FUZZY

Henry Nasution

Fakultas Teknik Industri Universitas Bung Hatta  
Jl. Gajah Mada, Gunung Pangilun Padang

### Abstrak

Dalam studi ini, telah diusulkan dan diperkenalkan suatu alternatif penyelesaian untuk mengurangi konsumsi energi pada sistem pendingin bangunan. Sistem pengoperasian dan konsumsi energi sistem kendali yang diusulkan akan dibandingkan dengan sistem kendali tradisional on/off. Pengukuran dalam penelitian ini dilakukan dengan interval waktu setiap 1 menit untuk temperatur 22 dan 23°C. Analisa dilakukan pada temperatur ruangan, konsumsi energi dan penghematan energi. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menentukan jumlah penghematan energi yang diperoleh dengan menggunakan kendali *on/off* digital dan kendali fuzzy pada sistem pendingin. Hasil percobaan menunjukkan bahwa penghematan energi yang signifikan diperoleh berkisar 24 sampai 43% untuk *on/off* digital dan 48 sampai 73% untuk kendali fuzzy. Secara signifikan hasil penelitian juga menunjukkan bahwa *on/off* digital dan kendali fuzzy dapat menghemat energi dan meningkatkan kenyamanan dalam ruangan untuk sistem pendingin bangunan jika dibandingkan dengan teknik kendali termostat.

Kata kunci: termostat, *on/off* digital, logika fuzzy, sistem pengkondisian udara, penghematan energi

### Abstract

*In this study, an alternative solution to reduce energy consumption in building air-conditioning system is proposed and introduced. The operation and energy consumption of the system operated as either with the new control system or with the traditional on/off control were compared. Measurements were taken during the experimental period at a time interval of one minute for a set point temperature of 22 and 23°C. The room temperature, energy consumption and energy-saving were analyzed. The main objective is to determine the amount of energy saved when a digital on/off and fuzzy logic controller is applied to the air-conditioning system. The experimental results show that significant energy savings of approximately 24 to 43% for digital on/off and 48 to 73% for fuzzy logic control were obtained. The results also indicated that the digital on/off and fuzzy logic control can save energy and improve indoor comfort significantly for building AC system compared to the thermostat control technique.*

*Keywords: thermostat, digital on/off, fuzzy logic, air conditioning, energy saving*

### PENDAHULUAN

Sistem pengkondisian udara komersial dan domestik sebagian besar beroperasi berdasarkan sistem kendali konvensional

atau *on/off* yang berimplikasi pada pengendalian temperatur yang kurang baik dan dengan kondisi operasi yang terbatas. Kondisi seperti itu menyebabkan semakin

berkurangnya umur peralatan dan meningkatnya pemakaian energi. Perusahaan-perusahaan di seluruh dunia mengakui bahwa sistem pengkondisian udara ini bertanggung jawab untuk pemakaian energi sebesar 30% dari konsumsi energi total, oleh karena itu tidak diragukan lagi bahwa ini berdampak terhadap permintaan energi yang semakin besar (Buzelin *et al.*, 2005). Keuntungan dari sistem kendali *on/off* adalah: lebih sederhana dan lebih murah dari sistem kendali konvensional lainnya, pengaturan kendali sangat mudah, sistem kendali banyak digunakan di industri dan sektor komersial, serta sistem kendali ini mudah untuk stabil. Sedangkan kelemahan sistem kendali ini adalah: *cyclic*, *overshoot* dan *differential gap* (Gopal, 2002).

Dengan meningkatnya taraf hidup dan harapan untuk kenyamanan, sistem pengkondisian udara (AC) telah menjadi suatu keperluan sehari-hari. Konsekuensinya adalah semakin meningkat pemakaian AC dan akan menyebabkan semakin meningkat penggunaan energi listrik. Perencanaan standar untuk AC secara fundamental berdasarkan prinsip bagaimana mempertahankan tingkat kenyamanan penghuni didalam ruangan. Bagaimanapun, kenyataan yang terjadi adalah karena AC pada perencanaan awal selalu melebihi kapasitas sebesar 10-15% berdasarkan atas pertimbangan untuk

pengembangan dimasa mendatang dan atas permintaan pemilik bangunan. Artinya, selain pemborosan energi juga terjadi pemborosan investasi karena AC dirancang melebihi kapasitas dari kebutuhan bangunan tersebut (Yu, 2001).

Secara umum, AC banyak digunakan dengan putaran motor kompresor konstan dan 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 motor akan beroperasi (On) dan sebaliknya akan Off, jika temperatur yang diinginkan lebih kecil dari temperatur referensi. Kelemahan sistem ini adalah motor 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).

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mengembangkan kekurangan kendali konvensional pada sistem pengkondisian udara dengan aplikasi berbeda.

Pemakaian energi yang rasional merupakan keprihatinan peneliti untuk mengurangi pemborosan energi. Upaya-upaya yang dilakukan tidak hanya optimalisasi sistem tetapi juga bagaimana mengurangi pemakaian energi pada sistem pengkondisian udara. Selain itu, tujuan utama yang harus dipenuhi adalah tidak mengurangi tingkat kenyamanan dan tanpa mempengaruhi efisiensi dan kualitas instalasi sistem pengkondisian udara (Engdahl dan Svensson, 2003; Ozawa, 2003; Pan, 2003; Georges, 2004; Brodrick *et al.*, 2004; Li, 2004; Shao, 2004; Alcalá, 2005; Chen dan Deng, 2006; Jin *et al.*, 2006; Nasution, 2006; Zhen *et al.*, 2006; Zhou, 2006; Rajagopalan *et al.*, 2008).

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.

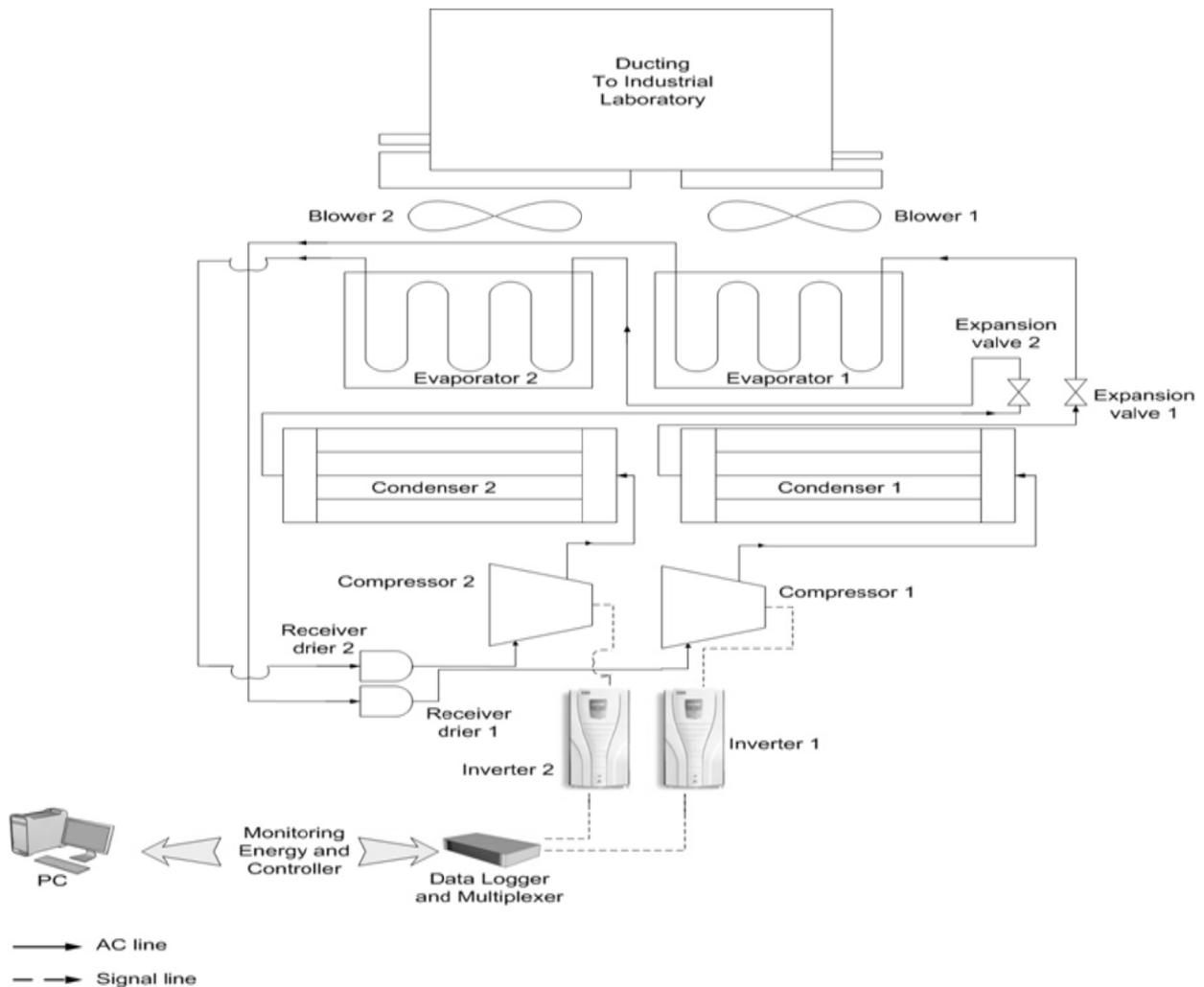
Penelitian ini bertujuan untuk melakukan penghematan energi pada sistem AC dengan modifikasi sistem kendali termostat didalam ruangan *air handling unit* (AHU) kepada kendali *on/off* digital yang diletakkan diruangan yang dikondisikan serta mengaplikasikan sistem kendali fuzzy. Pada sistem kendali fuzzy, AC akan beroperasi sesuai dengan perubahan aktifitas, karena akan dipengaruhi oleh perubahan temperatur ruangan. Kendali fuzzy adalah model yang dipilih dan akan dibandingkan dengan sistem kendali konvensional (termostat dan *on/off* digital). Dasar pemilihan sistem kendali fuzzy adalah: perencanaan sistem kendali fuzzy tidak memerlukan persamaan matematika yang rumit, kendali fuzzy hanya memerlukan aturan (*rule*) dalam bentuk tabel keputusan, proses *tuning* mudah dan cepat jika dibandingkan dengan sistem konvensional dan respon yang cepat untuk mencapai temperatur *setting*.

## METODE PENELITIAN

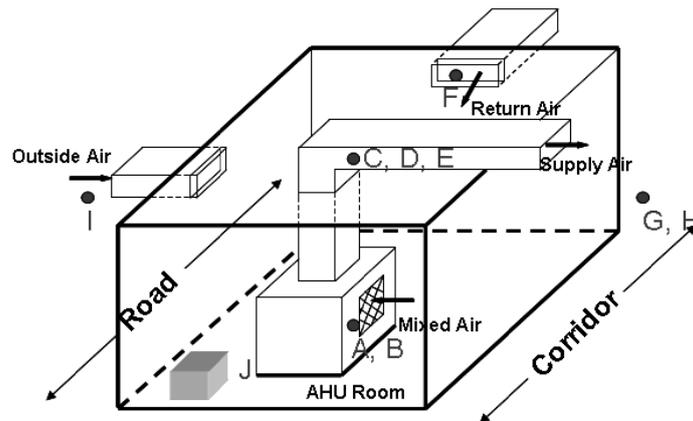
Studi difokuskan pada sistem pendingin tipe terpusat (sentral unit) pada bangunan Laboratorium Industri FKM-UTM. Pada bangunan tersebut terdiri dari dua kompresor dengan daya yang berbeda (Kompresor 1 = 7 kW dan Kompresor 2 = 5

kW). Salah satu dari kompresor tersebut beroperasi secara terus menerus (Kompresor 1) dan kompresor yang lain (Kompresor 2) akan beroperasi tergantung pada beban pendinginan dengan menggunakan sistem kendali termostat. Pengukuran dimulai pada jam 8.00 pagi sampai jam 17.00 dengan interval pengukuran setiap 1 menit. Sistem pengaturan untuk putaran kompresor

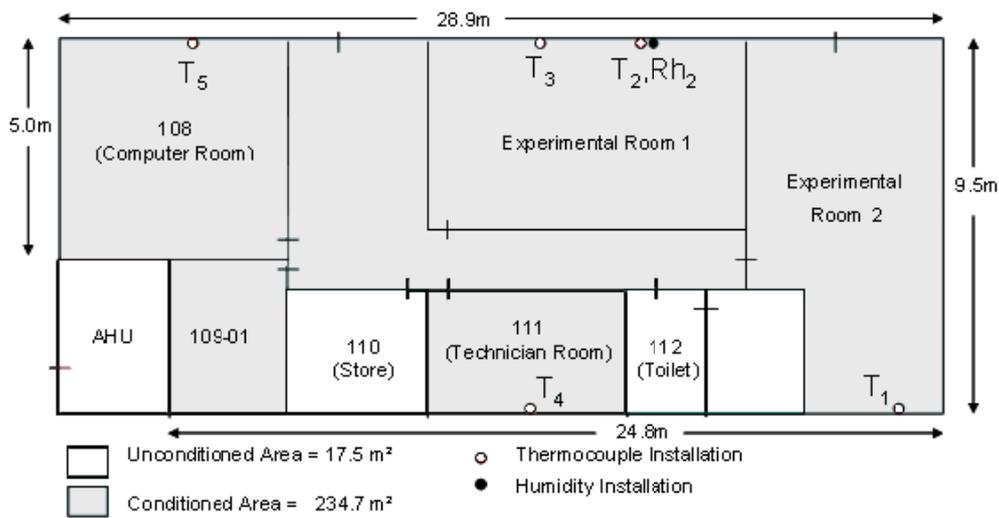
berdasarkan signal yang diperoleh dari termokopel yang terletak di dalam ruangan laboratorium industri, suatu *subroutine* kendali fuzzy telah diinstall pada personal komputer untuk merespon seluruh data dan memberikan umpan balik kepada kompresor melalui inverter. Gambar 1 menunjukkan sistem AC yang telah di modifikasi dengan menggunakan inverter.



Gambar 1. Instalasi Pengujian



Gambar 2. Instalasi Sensor dalam Ruang AHU



Gambar 3. Instalasi Sensor dalam Laboratorium

Gambar 2 dan 3 menunjukkan penempatan lima sensor termokopel tipe T (titik : A, C, F, G, dan I), sensor kelembaban (titik : B, H, dan D), sensor kecepatan aliran udara (titik : E), dan *transduser* alat ukur daya (titik : J). Lima sensor termokopel tipe T (titik : T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, dan T<sub>5</sub>) dan sensor kelembaban (Rh<sub>2</sub>) ditempatkan pada dinding di dalam ruangan laboratorium industri FKM UTM.

Pengukuran temperatur menggunakan termokopel tipe T dan terkoneksi pada *data logger* tipe TC-08 PicoLog Recorder. Pengukuran kelembaban udara dengan Transduser kelembaban dengan model E+E Elektronik tipe EE23 dan Rotronik tipe Roline L12S/L13S dengan ketelitian ±1.0%. TSI 8455 dengan ketelitian ±2.0% digunakan sebagai transduser untuk mengukur kecepatan aliran udara dengan *range* 0.1 m/s sampai

50.0 m/s. Respon transduser 0.2 detik untuk pengukuran kecepatan aliran udara. Elkor ET3 adalah transduser daya, untuk aplikasi pada aliran listrik tiga fase dan penerapan pada automasi bangunan dan manajemen energi. Transduser dipergunakan untuk mengukur tegangan dan arus untuk perhitungan parameter-parameter kelistrikan. Transduser menghitung konsumsi energi (*Watthours*), dengan fasilitas empat signal analog *output*. Tipe data akuisisi adalah *Advantech* USB-4716, digunakan untuk mengirim, menerima dan menyimpan seluruh data-data pengukuran.

Pengujian pada penelitian ini dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Sistem pengaturan: termostat, *on/off* digital dan logika fuzzy.
2. *Setting* pengujian:
  - a. Temperatur ruang = 22 dan 23°C.
  - b. Beban pendingin = aktivitas laboratorium dan proses perpindahan panas yang terjadi dalam ruangan selama penelitian.

Sasaran atau objektif dari penelitian ini adalah, untuk menentukan:

1. Distribusi temperatur ruang.
2. Pemakaian energi dengan sistem kendali termostat, *on/off* digital dan kendali fuzzy.

Proses kendali termostat dan *on/off* digital beroperasi dengan pernyataan ke-

putusan jika-maka (*If-Then*). Sistem kendali *on/off* digital memiliki dua pernyataan keputusan:

1. If temperatur ruangan  $\leq$  temperatur acuan Then kompresor Off
2. If temperatur ruangan  $\geq$  temperatur acuan Then kompresor On

Pernyataan keputusan 1 dan 2 diatas didefinisikan sebagai pengaturan batas atas dan batas bawah masing-masing temperatur, sebagai berikut:

1. Batas bawah temperatur  $\leq$  temperatur acuan
2. Batas atas temperatur  $\geq$  temperatur acuan + 1°C

Dimana 1°C adalah karakteristik diferensial temperatur pada *on/off* digital. Sistem kendali akan mengoperasikan kompresor pada saat temperatur ruangan mencapai batas atas temperatur, dan menghentikan pengoperasian kompresor pada batas bawah temperatur.

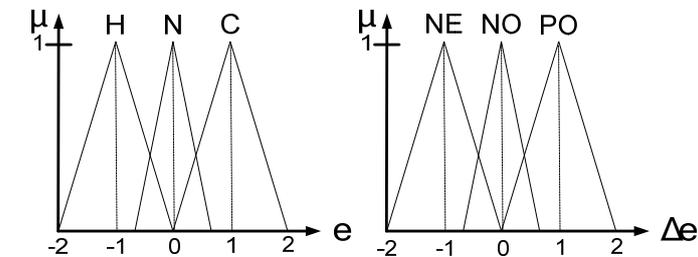
Tabel 1 menunjukkan aturan logika fuzzy yang dipergunakan sebagai variabel linguistik *input* dan *output* dengan label-label sebagai berikut: hot (H), normal (N), cool (C), negative (NE), normal (NO), positive (PO), slow (SL), normal (NM) dan fast (FT). Semua variabel *input* dan *output* akan menghasilkan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

1. If  $e$  is H and  $\Delta e$  is NE Then  $\Delta Z$  is SL
2. If  $e$  is N and  $\Delta e$  is NE Then  $\Delta Z$  is SL
3. If  $e$  is C and  $\Delta e$  is NE Then  $\Delta Z$  is SL
4. If  $e$  is H and  $\Delta e$  is NO Then  $\Delta Z$  is SL
5. If  $e$  is N and  $\Delta e$  is NO Then  $\Delta Z$  is SL
6. If  $e$  is C and  $\Delta e$  is NO Then  $\Delta Z$  is SL
7. If  $e$  is H and  $\Delta e$  is PO Then  $\Delta Z$  is FT
8. If  $e$  is N and  $\Delta e$  is PO Then  $\Delta Z$  is NM
9. If  $e$  is C and  $\Delta e$  is PO Then  $\Delta Z$  is SL

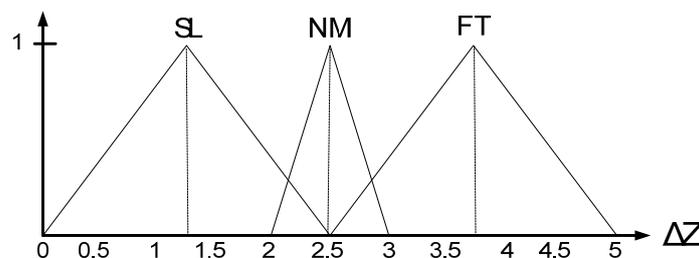
Tabel 1. Aturan Logika Fuzzy

$\Delta Z$	$e$			
	H	N	C	
$\Delta e$	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  $\Delta e$  adalah  $-2^{\circ}\text{C}$  sampai  $+2^{\circ}\text{C}$  dan  $\Delta Z$  adalah 0 sampai  $5 \text{ V}_{\text{dc}}$  seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Penegasan (*defuzzify*) *output* kendali fuzzy kedalam nilai *crisp* menggunakan metoda *centroid*. Metoda ini secara praktis akan memberikan hasil pada keadaan yang stabil dan baik,



(a) Input



(b) output

Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Segitiga

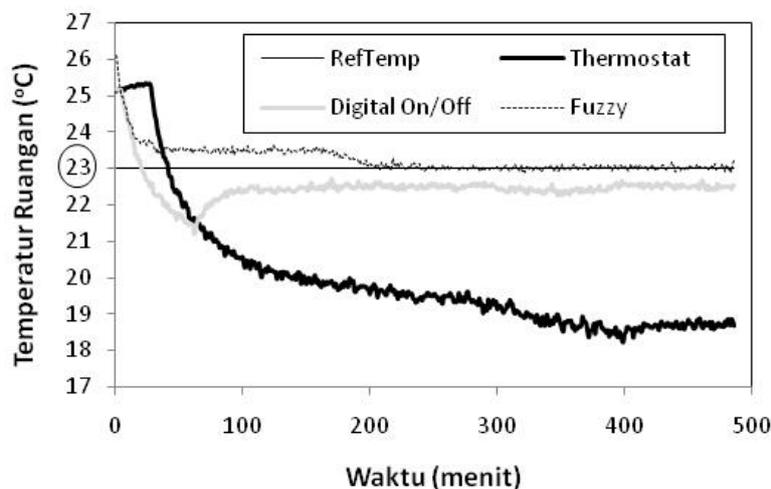
pengolahan secara komputasi tidak kompleks dan metoda ini dapat digunakan pada setiap kondisi (Eker dan Torun, 2006).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

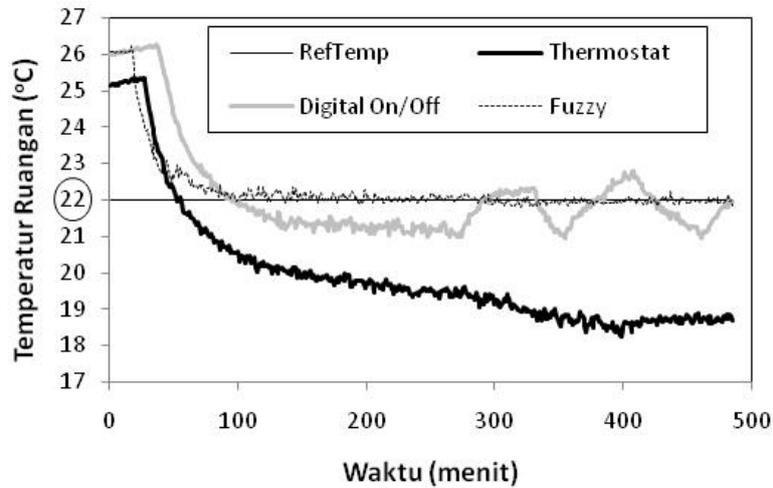
Gambar 5 dan 6 menunjukkan respon temperatur dengan variasi *setting* temperatur (RefTemp) dan beban pendingin adalah aktivitas laboratorium dan proses perpindahan panas yang terjadi dalam ruangan selama penelitian. Sistem kendali akan memberikan respon terhadap kompresor untuk beroperasi (On) ketika 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 semakin meningkat, maka waktu yang diperlukan untuk kompresor beroperasi akan semakin cepat.

Berdasarkan pengukuran temperatur terlihat bahwa dengan menggunakan termostat kecendrungan yang terjadi adalah temperatur ruang tidak dapat dikendalikan oleh termostat dan temperatur semakin menurun dengan kisaran 19 sampai 18°C. Ketidakmampuan termostat untuk mengendalikan *setting* temperatur yang diharapkan adalah disebabkan letak sistem kendali tersebut di ruangan AHU. Pada ruangan AHU (Gambar 2) terjadi pencampuran udara dari luar ruangan (*outside air*) dan ruangan yang dikondisikan (*return air*) sehingga yang dikondisikan (*return air*) sehingga temperatur pada ruangan tersebut semakin meningkat. Dengan kondisi tersebut, *setting*



Gambar 5. Distribusi Temperatur ( $T = 23^{\circ}\text{C}$ )

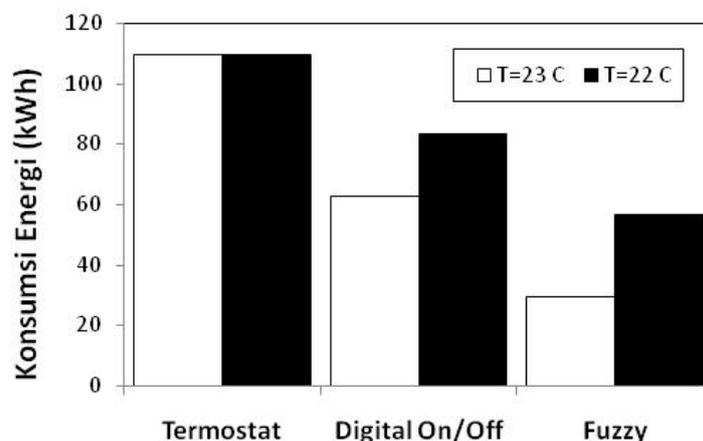


Gambar 6. Distribusi Temperatur ( $T = 22^{\circ}\text{C}$ )

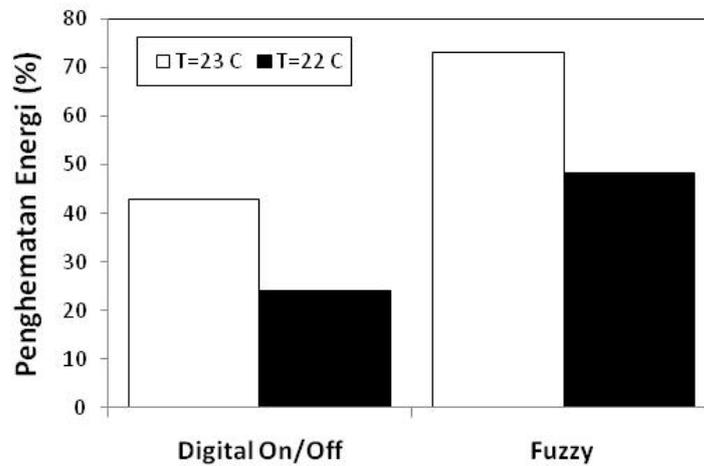
temperatur pada termostat tidak akan pernah tercapai karena temperatur pada ruang AHU tidak sama dengan temperatur ruang yang dikondisikan (Laboratorium Industri FKM-UTM). Sedangkan dengan menggunakan *on/off* digital dan kendali fuzzy, temperatur yang dihasilkan akan lebih baik dibandingkan dengan termostat.

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



Gambar 7. Perbandingan Konsumsi Energi



Gambar 8. Penghematan Energi *On/Off* Digital dan Kendali Fuzzy Dibandingkan dengan Termostat

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 7 dan 8 menunjukkan perbandingan pemakaian dan penghematan energi menggunakan *on/off* digital dan kendali fuzzy jika dibandingkan dengan sistem konvensional (termostat) pada kondisi *setting* temperatur ruangan 22 dan 23°C. Waktu yang diperlukan untuk mencapai temperatur ruangan 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. Energi yang

dikonsumsi dengan kendali termostat lebih besar jika dibandingkan pada sistem kendali *on/off* digital dan kendali fuzzy, sehingga menunjukkan bahwa kendali *on/off* digital dan kendali fuzzy memiliki potensi lebih besar untuk menghemat energi.

Sistem kendali *on/off* digital menunjukkan hasil yang lebih baik jika dibandingkan pada sistem konvensional (termostat). Hasil utama dari studi ini menunjukkan bahwa dengan merubah letak sistem kendali dari ruangan AHU ke ruangan yang akan dikondisikan adalah mampu untuk menghasilkan penghematan energi yang signifikan.

## KESIMPULAN

*On/off* digital dikembangkan agar mampu mengendalikan kompresor sehingga temperatur ruang tetap terjaga dan men-

*On/off* digital dikembangkan agar mampu mengendalikan kompresor sehingga temperatur ruang tetap terjaga dan mendekati *setting* temperatur. Sistem kendali *on/off* digital akan memperkecil selisih antara *setting* temperatur dan temperatur ruangan. Ketika terjadi penambahan ataupun pengurangan beban pendingin dalam ruangan, sistem kendali akan bertindak dengan cepat untuk mencapai kembali *setting* temperatur dengan atau tidak mengoperasikan kompresor secara terus menerus. Fluktuasi pengoperasian kompresor akan terus berlangsung selama *setting* temperatur tetap dipertahankan untuk mencapai kenyamanan pada ruangan yang dikondisikan.

Beberapa percobaan pada sistem pendingin bangunan dengan kecepatan kompresor bervariasi menggunakan kendali fuzzy telah dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur ruangan dan konsumsi energi bergantung pada kecepatan kompresor. Temperatur ruangan akan semakin rendah dengan meningkatnya kecepatan kompresor dan konsumsinya juga akan meningkat. Dengan semakin meningkatnya pemakaian energi akan semakin kecil energi yang dapat dihemat dan begitu pula sebaliknya. Teknologi inverter dan aplikasi kendali fuzzy memungkinkan untuk mengendalikan temperatur berdasarkan kecepatan kompresor. Ketika terjadi

penambahan ataupun pengurangan beban pendingin dalam ruangan, 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 ruangan yang dikondisikan.

Analisa energi menunjukkan bahwa sistem kendali *on/off* digital dan kendali fuzzy memberikan penghematan energi yang lebih besar jika dibandingkan terhadap sistem kendali termostat. Hasil utama dari penelitian ini menunjukkan bahwa dengan memvariasikan putaran motor kompresor dan pemilihan sistem kendali yang tepat, dimungkinkan untuk mengendalikan temperatur ruang untuk memperoleh penghematan energi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alcala, R. (2005). "A genetic rule weighting and selection process for fuzzy control of heating, ventilation and air conditioning systems". *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 18, No. 3, 279-296.
- Brodrick, J., Roth, K.W., Goetzler, W. (2004). "Variable flow and volume refrigerant system". *ASHRAE Journal*, Vol. 46, No. 1, S164-S165.
- Buzelin, L.O.S., Amico, S.C., Vargas, J.V.C., Parise J.A.R. (2005). "Experimental development of an intelligent

- refrigeration system”, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 28, 165-175.
- Chen, W., Deng, S. (2006). “Development of a dynamic model for a DX VAV air conditioning system”. *Energy Conversion and Management*, Vol. 47, No. 18-19, 2900-2924.
- Engdahl, F., Svensson, A. (2003). “Pressure controlled variable air volume system”. *Energy and Buildings*, Vol. 35, No. 11, 1161-1172.
- Georges, B. (2004). “Experimental analysis of the performances of variable refrigerant flow systems”. *Building Service Engineering Research Technology*, Vol. 25, No. 1, 17-23.
- Gopal, M. (2002). *Control systems principles and design*. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Jin, X., Ren, H., Xiao, X. (2005). “Prediction-based online optimal control of outdoor air of multi-zone VAV air-conditioning systems”. *Energy and Buildings*, Vol. 37, No. 9, 939-944.
- Li, X. (2004). “A new method for controlling refrigerant flow in automobile air conditioning”. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 24, No. 7, 1073-1085.
- Nasution, H. (2006). “Energy analysis of an air conditioning system using PID and fuzzy logic control. *PhD Thesis*, Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia.
- \_\_\_\_\_, dan 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.
- Ozawa, K. (2003). “A tuning method for PID controller using optimization subject to constraints on control input”. *ASHRAE Transactions*, Vol. 109, No. 2, 4638-4648.
- Pan, Y. (2003). “Measurement and simulation of indoor air quality and energy consumption in two shanghai office buildings with variable air volume systems”. *Energy and Buildings*, Vol. 35, No. 9, 877-891.
- Rajagopalan, P., Rajasekaran, K., Alagarsamy, S., Iniyan, S., Lal, D.M. (2008). “Experimental analysis of fuzzy controlled energy efficient demand controlled ventilation economizer cycle variable air volume air conditioning system”. *Thermal Science*, Vol. 12, No. 3, 15-32.
- Shao S. (2004). “Performance representation of variable-speed compressor for inverter air conditioners based on experimental data”. *International Journal of Refrigeration*, Vol. 27, No. 8, 805-815.
- Yu, P.C.H. (2001). “A study of energy use for ventilation and air-conditioning system in Hong Kong”. *PhD Thesis*. Hongkong: The Hong Kong Polytechnic University.
- Zhen W., Huang, Zaheeruddin M., Cho S. H. (2006). “Dynamic simulation of energy management control functions for HVAC systems in buildings. *Energy Conversion and Management*, Vol. 47, No. 7-8, 926-943.
- Zhou Y.P. (2006). “Energy simulation in the variable refrigerant flow air-conditioning system under cooling conditions”. *Energy and Buildings*, Vol. 39, No. 2, 212-220.