

# Penggunaan *Encapsulated Ice* pada *Thermal Energy Storage* Sistem *Chilled Water* dengan Laju Aliran Udara Bervariasi

Vicky Yandra<sup>1</sup>, Azridjal Aziz<sup>2</sup>, Rahmat Iman Mainil<sup>3</sup>

Laboratorium Rekayasa Termal, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau

<sup>1</sup>vickyandra@gmail.com, <sup>2</sup>azridjal@yahoo.com, <sup>3</sup>rahmat.iman@gmail.com

## Abstract

*Air flow rate of Fan Coil Units (FCU) can affect cut off pump time in an air conditioning system, with controlling air flow distribution to realization thermal comfort conditions in a residential building. With using secondary cycle of chiller system, a pump working for circulating chilled water through a FCU, for cooling system by Encapsulated Ice and water in Thermal Energy Storage (TES). A half of valve be opened for circulating volume flow rate of chilled water as normal condition. The thermostat use to controlling room temperature at 26°C manually. The objective of this current study is to observ cut off pump power consumption. The Experiment is running in 8 hours with variations air flow rate 1.234 m/s and 2.432 m/s. The overall results show that power consumption of pump can reduce around 15.11 % and 31.25%.*

*Keywords: Encapsulated Ice, TES, Chiller.*

## 1. Pendahuluan

Dalam kehidupan manusia yang beraktifitas dalam suatu ruangan, menginginkan suatu keadaan dimana temperatur ruangan terasa nyaman. Sistem pengkondisian udara atau refrigerasi merupakan proses untuk mendapatkan kenyamanan termal, pengkondisian udara terjadi dengan adanya pelepasan kalor dari suatu substansi dengan cara penurunan temperatur dan pemindahan panas ke substansi lainnya.

Masalah yang timbul dari pengkondisian udara adalah besarnya konsumsi energi listrik untuk *cooling system* dalam bangunan gedung dan berdasarkan lokasi akibat pengaruh letak geografi. Konsumsi energi bangunan gedung tinggi di Indonesia untuk mendapatkan kenyamanan termal relatif lebih besar dari pada kebutuhan lain. 35% dari total energy dimanfaatkan untuk AC *package*, 13% untuk AC *unitary* dan 6% digunakan untuk *cooling tower*, kebutuhan lain seperti elevator 12%, *lighting* 9%, pompa air bersih 2%, peralatan kantor seperti komputer, fotokopi dan lain-lain 21%, serta *water heater*, *refrigerator* dan televisi 2% (Sujatmiko, 2008).

Sistem AC untuk wilayah di seluruh dunia, terutama di negara-negara yang panas dan lembab dekat *equator*, konsumsi listrik meningkat antara 16-50% (Saidur et al, 2007).

Data statistik Malaysia menunjukkan bahwa sistem AC adalah salah satu konsumen listrik utama di sebagian besar bangunan, sistem AC mengkonsumsi sekitar 57% dari listrik di gedung kantor (Saidur, 2009).

Pengkondisian udara suatu gedung menggunakan AC *central*, dengan sistem penanganan fluida pendingin *chiller*, kemudian didistribusikan kesemua lokasi. Sistem *chiller* menggunakan *thermal energy storage* dilakukan sebagai upaya penghematan energi listrik. Tabel 1 menunjukkan kualitas *thermal energy storage* yang memiliki prospek yang bermanfaat untuk digunakan sebagai sistem pendinginan,

Tabel 1. *Energy Capacity, Power, Efficiency and Storage Time of Thermal Energy Storage System.* (Roth et al, 2006)

TES technology	Capacity (MWh)	Power (kW)	Efficiency (%)	Storage time	Cost (USD/1MWh)
Hot water tank	20-80	1-10 000	50-90	day-year	0.14-0.18
Chilled water tank	10-20	1-2 000	70-90	hour-week	0.14-0.18
ATES low temp.	5-10	500-10 000	50-90	day-year	Varies
BTES low temp.	5-30	100-5 000	50-90	day-year	Varies
PCM-general	50-150	1-1 000	75-90	hour-week	10-65
Ice storage tank	100	100-1 000	80-90	hour-week	6-20
Thermal-chemical	120-150	10-1 000	75-100	hour-day	10-52

Penggunaan *encapsulated ice* pada *thermal energy storage* modifikasi refrigeran, dengan penggantian refrigeran untuk mempertimbangkan perlindungan lingkungan dan manfaat yang sama untuk penghematan energi listrik. Penggunaan sistem *Encapsulated Ice Thermal Energy* pada *residential air conditioning* yang menggunakan refrigeran hidrokarbon substitusi R-22 pada mesin refrigerasi siklus kompresi uap dapat menghemat penggunaan energi listrik 20%-40%. (Aziz dan Mainil, 2010)

Dalam hal pengkondisian udara telah banyak dilakukan teknik modifikasi untuk meningkatkan efektifitas pendinginan, dengan konsumsi energi yang rendah, tetapi efisiensi meningkat dan penerapan serta kelangsungan berjalannya proses dapat digunakan dalam waktu jangka panjang. Penghematan energi dalam memodifikasi pengkondisian udara dapat dilakukan dengan menganalisa sistem distribusi udara, pengendalian operasi, pemeliharaan dan pengelolaan alat pendingin. Penghematan energi pada suatu sistem pengkondisian udara dapat dilakukan melalui penghematan energi pada mesin pendingin, dan penghematan energi pada sistem distribusi udara (Sinaga, 1984).

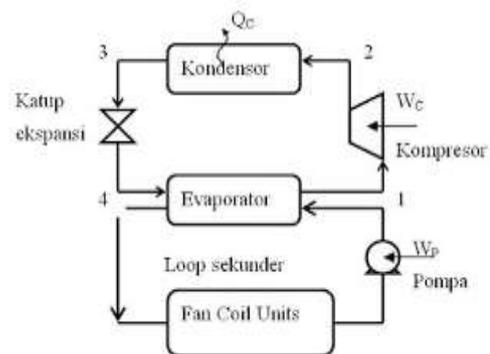
Penghematan energi pada sistem tata udara bangunan jadi (*Existing Building*), dapat dilakukan dengan beberapa metoda antara lain: metoda pengendalian operasi, metoda pemeliharaan dan pengelolaan, serta metoda dengan modifikasi. Dua metoda pertama lebih banyak diterapkan, karena tidak membutuhkan banyak perubahan pada peralatan yang ada (Nugroho, 1990).

Sistem *chiller* merupakan sistem pengkondisian udara yang menggunakan fluida cair sebagai media pendinginan, siklus diawali dengan evaporator mendinginkan fluida cair tersebut untuk digunakan pada siklus sekunder dan selanjutnya mendinginkan ruangan melalui AHU (*Air Handling Unit*). Fluida cair yang berada pada penampungan (*storage*) yang akan didinginkan sebagai *charging* atau penurunan temperatur fluida dan disirkulasikan oleh pompa menuju AHU, kemudian di unit ini akan terjadi proses pertukaran kalor antara udara dengan fluida cair yang temperaturnya telah turun hingga temperatur tertentu dan udara dingin yang keluar dari unit ini akan disirkulasikan oleh *fan* menuju ruangan yang dikondisikan melalui saluran *duct*.

Refrigeran sekunder yang berfungsi untuk mengambil kalor dari suatu ruangan yang sedang didinginkan melalui evaporator dan akan mengalami perubahan temperatur yang disebut dengan *chilled water* atau *brine*. Prinsip kerja air pendingin atau *chilled water* sama seperti sistem refrigerasi pengkondisian udara lainnya, yang terdiri dari beberapa komponen utama yaitu evaporator, kondensor, kompresor dan alat ekspansi.

Pada (Gambar 1) memperlihatkan skema *chiller* dimana air dingin yang dihasilkan digunakan untuk mendinginkan ruangan dengan media aliran angin dari sebuah *fan*. Secara umum prinsip kerjanya adalah Refrigeran didalam kompresor dikompresikan kemudian dialirkan ke kondensor, refrigeran yang mengalir ke kondensor mempunyai tekanan dan temperatur yang tinggi, di kondensor refrigeran didinginkan oleh udara luar disekitar kondensor sehingga terjadi perubahan fase

dari uap menjadi cair. Kemudian refrigeran mengalir menuju pipa kapiler dan terjadi penurunan tekanan. Setelah keluar dari pipa kapiler, refrigeran masuk ke dalam evaporator. Di dalam evaporator refrigeran mulai menguap, hal ini disebabkan karena terjadi penurunan tekanan yang mengakibatkan titik didih refrigeran menjadi lebih rendah sehingga refrigeran menguap. Dalam evaporator sistem *chiller* terjadi perubahan fase refrigeran dari cair menjadi uap, pada evaporator ini terjadi perpindahan kalor yang bertemperatur rendah, dimana air didinginkan oleh refrigeran, kemudian refrigeran dalam bentuk uap tersebut dialirkan ke kompresor kembali, di dalam evaporator, air sebagai bahan pendingin sekunder yang telah didinginkan sampai temperatur tertentu kemudian dialirkan oleh sebuah pompa menuju koil-koil pendingin dalam ruangan, air ini akan bersirkulasi terus menerus selama sistem pendingin bekerja (Arora, 2001).



Gambar 1. Skema Sistem Chiller (Agus, 1999)

Penggunaan *thermal energy storage* pada sistem *chiller* membantu penghematan listrik untuk keperluan AC rumah. *Brine* (cairan pendingin sekunder) mengalir kesistem *chiller*, kemudian akan didinginkan menuju AHU dan *thermal energy storage*. Pada *thermal energy storage* terjadi pertukaran kalor antara *brine* dengan air atau cairan dalam kemasan plastik (*encapsulated ice*), cairan didalam kemasan plastik (*encapsulated ice*) didalam *storage* berubah fasa menjadi es (*Charging*). Siklus sirikulasi berubah dari *thermal energy storage* menuju unit pengolah udara sedangkan *chiller* dalam kondisi mati, pemakaian listrik pada saat itu hanya untuk menghidupkan pompa saja (*Discharging*), (Tjitro dan sunandar, 1999).

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan performansi pendinginan dengan *encapsulated ice* pada *thermal energy storage* dalam penggunaannya pada suatu bangunan selama 8 jam dengan pengaruh variasi laju aliran pendingin pada *Fan coil units* (FCU's), dengan mengoptimalkan efek pendinginan dari siklus sekunder sistem *chiller* dan mengurangi waktu

kerja pompa pensirkulasi *chilled water* untuk mengidentifikasi pengurangan konsumsi daya.

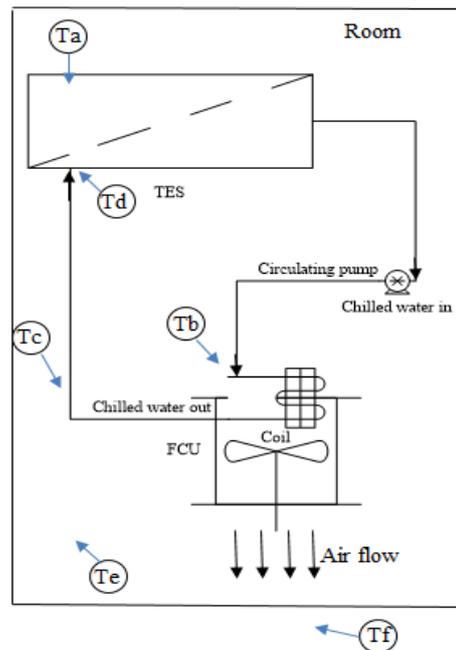
## 2. Metode

Pengujian dilakukan untuk mengetahui hubungan antara temperatur dan waktu terhadap pendinginan ruangan pengaruh penyerapan kalor oleh *encapsulated ice* dengan *chilled water* pada *thermal energy storage*, ruangan uji berukuran 2,26 x 1,75 x 2 (m) (panjang x lebar x tinggi). Pengujian mesin pengkondisian udara ini akan dilakukan pada kondisi tanpa beban pendinginan untuk setiap variasi pengujian dan ketahanan pendingin pada *thermal energy storage*. Setiap pengujian dilakukan selama 480 menit, dimana sebelumnya *encapsulated ice* didiamkan *storage* selama 5-10 menit sebelum disirkulasikan untuk pendinginan *chilled water*. Temperatur lingkungan rata-rata 30°C dan temperatur ruangan dijaga pada 26°C.

Adapun langkah-langkah pengujian ini yaitu :

1. Dilakukan perhitungan volume *storage* untuk kapasitas pendinginan pada pengujian.
2. Pembekuan *encapsulated ice*.
3. Peletakkan, pompa, air pendingin dan *encapsulated ice* pada *thermal energy storage*.
4. Pengaturan temperatur ruangan menggunakan *thermostat* pada 26°C.
5. Pemasangan sensor temperatur (termokopel TC-08) pada alat uji, yang dipasang pada saluran masuk koil, saluran keluar koil, sisi dalam *storage*, saluran masuk *storage*, didalam ruangan uji dan bagian luar ruangan uji.
6. Pengaturan bukaan kran dan laju aliran udara *fan* berdasarkan variabel pengujian yaitu bukaan katup setengah (45°) kemudian variasi laju aliran udara *high speed* dan *low speed*,
7. Pengambilan data aliran volume *chilled water*.
8. Pengambilan data laju aliran *fan* dengan anemometer.
9. Pengambilan data pengujian selama 480 menit dan *monitoring* data untuk kedua variasi.

Selanjutnya dengan menggunakan *microsoft excel* didapatkan grafik yang dapat memberikan informasi-informasi mengenai pengaruh laju aliran udara dan temperatur terhadap waktu pada sistem pendingin.



Gambar 2. Skema Alat uji

Pada (Gambar 2) menunjukkan skema dan peletakkan sensor dengan keterangan sebagai berikut :

- Ta: Posisi sensor temperatur dalam *storage*
- Tb: Posisi sensor temperatur air masuk koil
- Tc: Posisi sensor temperatur air keluar koil
- Td: Posisi sensor temperatur aliran menuju *storage*
- Te: Posisi sensor temperatur didalam ruangan
- Tf: Posisi sensor temperatur diluar ruangan.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Data Laju Aliran *Chilled Water* Berdasarkan Bukaan Kran

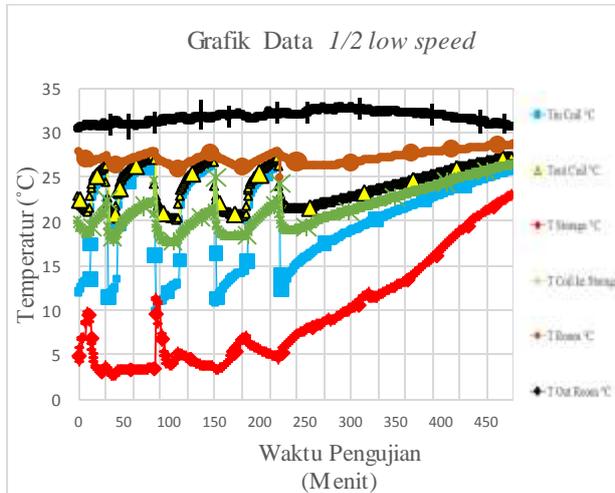
Pengambilan data laju aliran *chilled water* berdasarkan variasi bukaan kran pada pengujian, kemudian air yang mengalir ditampung selama 10 detik untuk setiap variasi. Didapatkan data berupa laju aliran rata-rata bukaan kran setengah (1/2) sebesar 10,775 mL/s = 0,010775 L/s.

### 3.2 Data Kecepatan Aliran Udara *Fan*

Data kecepatan udara diambil berdasarkan pada 5 titik penempatan *anemometer* dengan jarak 10 cm dari *fan*. Didapatkan bahwa kecepatan udara rata-rata untuk *low speed* adalah 1,234 m/s dan untuk *high speed* 2,432 m/s.

### 3.3 Data Pengujian Variasi Laju Aliran Udara Fan

Hasil pengujian berdasarkan setiap variasi pada keadaan kondisi 1 diantaranya yaitu :



Gambar 3. Grafik Pengujian Buka-an Katup 1/2 Low Speed Fan

Pada (Gambar 3) dapat dilihat bahwa dari awal pengujian temperatur ruangan tercapai pada 26°C dalam waktu 13 menit. Pada *line* (warna coklat) grafik untuk temperatur dalam ruangan tersebut memperlihatkan terjadinya 5 kali penurunan temperatur dan ketahanan rata-rata selama 11 menit yang ditunjukkan naiknya temperatur (*line go up*). Pada pengujian ini pendinginan dapat tercapai selama 8 jam dengan temperatur akhir pada *storage* 22,93°C dan temperatur lingkungan (*out room*) 30,86°C, dengan selisihnya sebesar 7,93°C. Selama pengujian temperatur ruangan rata-rata yang dihasilkan yaitu 27,23°C. Selanjutnya menghitung efisiensi yang didapat dari kondisi ini adalah:

$$W_{\text{pump}} = P \times t$$

Dimana : P = daya pompa (25 Watt, spesifikasi pompa)

t = waktu (hr)

$$\text{maka, } W_{\text{pump, full}} = 25 \text{ Watt} \times 8 \text{ hr} \\ = 200 \text{ Watt.hr}$$

Kerja pompa tanpa adanya pengaturan temperatur pada *thermostat* adalah 200 Watt.hr dengan keadaan pompa bekerja selama 8 jam penuh.

Dengan 5 kali terjadinya penurunan temperatur pada ruangan, menunjukkan bahwa pompa dalam keadaan mati (*off*) oleh *thermostat* dan melihat waktu kenaikan temperatur ruangan (*line go up*) pada graffik, merupakan waktu pompa tidak bekerja,

sehinga waktu kerja pompa berkurang selama,

$$(5 \times 11) \text{ (menit)} = 55 \text{ menit} = 0,92 \text{ hr}$$

$$t_{\text{pump, off}} = 0,92 \text{ hr}$$

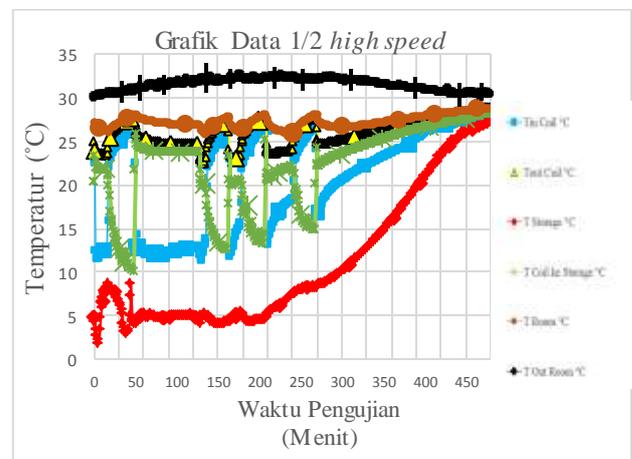
$$W_{\text{pump, off}} = 25 \text{ Watt} \times 0,92 \text{ hr} \\ = 23 \text{ Watt.hr}$$

$$\eta = \frac{W_{\text{pump, off}}}{W_{\text{pump, full}}} \times 100\%$$

$$= \frac{23 \text{ Watt.hr}}{200 \text{ Watt.hr}} \times 100\%$$

$$= 11,15 \%$$

Jadi pemakaian pompa berkurang sebesar 11,15% .



Gambar 5. Grafik Pengujian Buka-an Katup 1/2 High Speed Fan

Pada (Gambar 3) dapat dilihat bahwa dari awal pengujian temperatur ruangan tercapai 26°C dalam waktu 17 menit, terjadi 6 kali proses pendinginan atau penurunan temperature dan bertahan rata-rata selama 25 menit. Pendinginan ruangan dapat tercapai selama 8 jam dengan temperatur akhir *storage* 27,22°C dan temperatur lingkungan 30,40°C, dengan selisihnya sebesar 3,18°C. Selama pengujian temperatur ruangan rata-rata yang dihasilkan yaitu 27,37°C. Selanjutnya menghitung efisiensi yang didapat dari variasi ini yaitu :

$$W_{\text{pump}} = P \times t$$

Dimana : P = daya pompa (25 Watt, spesifikasi pompa)

t = waktu (hr)

$$\text{maka, } W_{\text{pump, full}} = 25 \text{ Watt} \times 8 \text{ hr} \\ = 200 \text{ Watt.hr}$$

Dengan adanya *thermostat*, waktu kerja pompa berkurang selama,

$(6 \times 25)$  (menit) = 150 menit = 2,5 hr

$$\begin{aligned} t_{\text{pump,off}} &= 2,5 \text{ hr} \\ W_{\text{pump,off}} &= 25 \text{ Watt} \times 2,5 \text{ hr} \\ &= 62,5 \text{ Watt.hr} \\ \eta &= \frac{W_{\text{pump,off}}}{W_{\text{pump,full}}} \times 100\% \\ &= \frac{62,5 \text{ Watt.hr}}{200 \text{ Watt.hr}} \times 100\% \\ &= \mathbf{31,25\%} \end{aligned}$$

Jadi pemakaian pompa berkurang sebesar 31,25%.

Berdasarkan bentuk grafik yang dihasilkan, laju aliran volume air pendingin berpengaruh terhadap temperatur masuk air pendingin pada koil (FCU) dan temperatur keluaran koil, serta semakin besar laju udara pada *fan* maka akan mempengaruhi temperatur udara yang dipindahkan ruangan, dengan siklus atau tidaknya pembuangan kalor dengan keefektifan dari air pendingin. Laju air pendingin saat melintasi koil, laju udara dari *fan* dan jumlah refrigerasi yang tersimpan didalam *storage* akan berpengaruh terhadap pendinginan ruangan, karena pada saat air pendingin berada pada FCU, kalor yang dimiliki akan diambil untuk menyerap kalor dari ruangan, sehingga dengan kata lain, kalor ruangan akan berkurang dengan adanya pendinginan. Selama air berada pada koil dengan kecepatan *fan* yang berbeda, akan menimbulkan perbedaan pendinginan yang dipindahkan, artinya penyerapan kalor pada ruangan yang dikondisikan akan sebanding dengan penyerapan panas pada air pendingin saat itu, dengan demikian pendinginan yang dilakukan *encapsulated ice* terhadap air akan terus menurun akibat kalor ruangan yang dibawa oleh air pendingin masuk ke *storage*.

#### 4. Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian maka dapat disimpulkan hasil penelitian ini adalah,

1. Pendinginan ruangan selama 8 jam telah berhasil dilakukan dengan keadaan tanpa beban, untuk seluruh variasi bukaan kran dan variasi laju aliran udara, dimana temperatur ruangan masih berada dibawah temperatur lingkungan dan temperatur dalam *storage* masih rendah dibandingkan temperatur ruangan serta temperatur lingkungan
2. Konsumsi daya pompa berkurang berdasarkan waktu *cut off* dengan keadaan laju aliran udara *fan* 1,234 m/s adalah

15,11% dan kecepatan laju aliran *fan* 2,432 m/s adalah 31,25%.

#### 5. Daftar Pustaka

- Agus, S.P. 1999. Analisa Retrofit CWS pada Hotel M dengan Memanfaatkan Tarif Listrik Murah. Teknik Mesin. Universitas Indonesia.
- Aurora, C.P. 2001. *Refrigeration and Air Conditioning*, Mc. Graw-Hill International Edition.
- Nugroho, W. 1990. Studi Sistem Tata Udara Ruang Bersih Dalam kaitannya Dengan Pemakaian Energi, Teknik Fisika ITB, Bandung.
- Roth, K. Zogg, R. and Brodrick, J. 2006. Cool Thermal Energy Storage, ASHRAE Journal, no. 48, pps. 94–96.
- Saidur, R. Masjuk, H.H. Jamaluddin M.Y. 2007. *An application of energy and exergy analysis in residential sector of Malaysia. J Energy Policy*; 35:1050-63.
- Saidur, R. 2009. *Energy consumption, energy savings, and emission analysis in Malaysian office buildings. J Energy Policy*; 37:4104-13.
- Sinaga, N. 1994. Beberapa Peluang Penghematan Energi pada Gedung Berlantai Banyak, hal 42-45, Jurnal Teknik FT. Undip, Semarang.
- Sujatmiko, Wahyu. (2008). Penyempurnaan Standar Audit Energi pada Bangunan Gedung. Jurnal Ilmiah Prosiding PPIIS, Bandung.
- Tjitro, Soejono. Sunandar, Herry. 1999. Pemakaian Thermal Storage pada Sistem Pengkondisian Udara, Jurnal Teknik Mesin, Vol 1, no. 1. UK Petra, Surabaya, hal 19-23.