

Pemanfaatan Energi Panas Terbuang pada Kondensor AC Sentral Jenis Water Chiller untuk Pemanas Air Hemat Energi

I Made Rasta

PS. Teknik Refrigerasi dan Tata Udara Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.

e-mail: rasta_imade1@yahoo.co.id

Abstrak

AC sentral jenis water chiller merupakan salah satu jenis mesin pendingin yang membuang panasnya ke lingkungan. Besarnya energi panas yang dibuang ke lingkungan tersebut berasal dari panas yang diserap di dalam ruangan yang didinginkan ditambah energi panas hasil kerja kompresi dari kompresor mesin pendingin tersebut. Bentuk terbaik dari pemanfaatan panas terbuang tersebut adalah teknologi *heat recovery water heater*, dimana sebelum panas dibuang ke lingkungan melalui kondensor, refrigeran dilewatkan dulu melalui *heat exchanger* untuk diambil panasnya untuk memanaskan air, sebelum masuk ke komponen sistem mesin pendingin yang lain seperti: katup ekspansi, evaporator, kompresor, dan kembali ke kondensor, begitu seterusnya terjadi secara berulang-ulang selama mesin pendingin beroperasi (siklus tertutup). Dari hasil pengujian dan analisa untuk kapasitas AC 2 Pk dan tangki penampung air 75 liter, dengan penambahan alat *heat recovery water heater* didapatkan ; (1) terjadi penurunan daya kompresor aktual, berupa penurunan konsumsi listrik dari 1,66 kW menjadi 1,59 kW. (2) kalor yang dibuang kondensor dan kalor yang diserap water heater dengan nilai perbandingan 4,683 kJ/detik dan 1,59 kJ/detik dengan efisiensi Water Heater sebesar 32,2 %. (3) temperatur air panas maksimum yang bisa dicapai adalah 34°C - 47,5°C dalam waktu 10 – 150 menit dengan laju aliran air 0,5 – 2,5 liter/menit.

Kata kunci : AC, Refrigeran, Kalor dan Water heater

Abstract

Wasted Heat Engine Utilization in Central AC Condenser Type Water Chiller for Economical Energy Water Heaters

Central AC type water chiller is a refrigeration machine that release heat to environment. Heat energy that released to environment comes from room heat load that absorbed by machine and heat from compressor. The best form in using this loss energy is *heat recovery water heater* technology, where this machine will take heat from condenser by a *heat exchanger* to heating water. Refrigerant will flow in the *heat exchanger* before entering condenser, after that refrigerant flow to other components such as, expansion valve, evaporator, compressor and than return again to condenser, this process will be cycling regularly (closed cycle). Based on experimental and analysis result especially for AC with capacity 2 Pk, and tank capacity 75 liter, with water heater recovery device obtained that: (1) Compressor power consumption decrease from 1.66 kW to 1.59kW. (2) Heat rejected from condenser and used by water heater has ratio 4.683 kJ/s and 1.59 kJ/s, with water heater efficiency is 32.2%. (3) Maximum water temperature can be reached are in range 34°C – 47.5°C in 10-150 minutes and flow rate is 0.5 – 2.5 liter /min

Keywords: AC, Refrigerant, Heat and Water heater

1. Pendahuluan

Mesin pendingin merupakan sebuah mekanisme berupa siklus yang mengambil energi (termal) dari daerah bertemperatur rendah dan dibuang ke daerah bertemperatur tinggi (lingkungan), maka diperlukan energi untuk menjalankan siklus refrigerasi (14). Bentuk terbaik pemanfaatan kembali panas terbuang (*heat recovery*) tersebut adalah untuk memanaskan air (12).

Refrigerant heat recovery water heater merupakan teknologi tepat guna dengan memanfaatkan

panas terbuang dari mesin refrigerasi untuk memanaskan air. Sebuah alat penukar panas (*heat exchanger*) ditambahkan ke mesin pendingin untuk mengambil panas ini .

Mengingat besarnya energi yang dapat dimanfaatkan secara gratis tersebut, diperlukan kajian-kajian yang lebih mendalam mengenai peralatan *refrigerant heat recovery* (13).

Presiden Susilo Bambang Yudhoyono mengingatkan masyarakat agar tetap berhemat dalam penggunaan air, dan jangan sampai lalai memelihara

ketersediaan air, agar tidak terjadi malapetaka. “Tidak ada satu pun mahluk hidup yang bisa bertahan hidup tanpa air”. (KeluargaSehat.com). Masyarakat diimbau hemat air (10). Tarif PDAM Badung naik 100 persen (7). Indikasi yang terlihat selama ini menunjukkan, masyarakat Indonesia masih boros dalam pemakaian energi (11).

Air hangat lebih efektif untuk melarutkan lemak dan sabun jika dibandingkan dengan menggunakan air dingin. Jadi untuk mencuci piring yang berlemak, maka dengan sejumlah sedikit air hangat saja, sudah mampu membersihkan piring tersebut dengan baik dibandingkan jika menggunakan air dingin. Air hangat juga dibutuhkan untuk mandi untuk menjaga kesehatan dan kenyamanan.

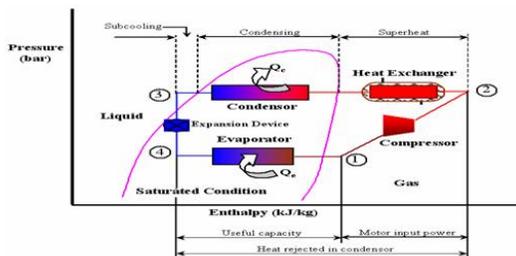
Tujuan penelitian adalah untuk mendapatkan air panas gratis dan juga untuk dapat meningkatkan unjuk kerja mesin pendingin karena dengan penambahan *refrigerant heat recovery*, akan terjadi pelepasan panas refrigeran yang lebih baik ke air dibandingkan dengan ke udara. Serta, dapat memberikan informasi kepada masyarakat tentang manfaat penggunaan peralatan *refrigerant heat recovery*, khususnya kepada masyarakat pelaku bisnis supermarket, hotel, rumah sakit, pabrik pengolahan makanan, serta usaha-usaha lainnya yang banyak memakai mesin pendingin dan banyak memerlukan air panas untuk usahanya.

Alat ini dirancang adalah sebagai alat simulator, sehingga dapat diperkenalkan kepada mahasiswa salah satu bentuk alat *saving energy*, yang nantinya diharapkan dapat diterapkan dilapangan.

2. Metode Penelitian

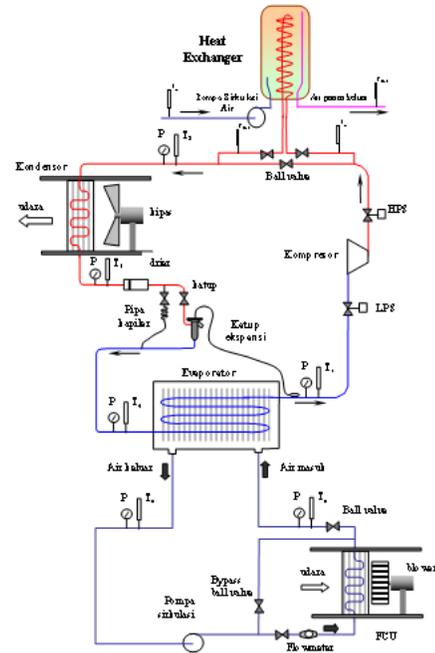
Metode pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah: metode studi literatur, dan metode eksperimen. Metode studi literatur digunakan untuk mendapatkan data sekunder (entalpi dari masing-masing titik pengukuran), sedangkan metode eksperimen digunakan untuk mengetahui kinerja dari sistem untuk mendapatkan data primer.

2.1. Siklus Refrigerasi Kompresi Uap



Gambar 1. Proses siklus kompresi uap dilengkapi *heat exchanger* pada diagram P-h.

Di dalam siklus refrgerasi mengalir fluida/bahan pendingin (*refrigerant*) yang dapat menyerap kalor pada temperatur rendah (5). Bahan pendingin ini mudah berubah wujud dari cair ke gas dan sebaliknya.



Gambar 2. Diagram sistematik AC Water Chiller dilengkapi dengan *Heat Exchanger*

2.2. Perhitungan Performansi Sistem Refrigerasi

Dasar – dasar perhitungan performansi siklus kompresi uap standar berlandaskan pada diagram hubungan temperatur (T) dengan entropi (s) dan tekanan (P) dengan entalphi (h) untuk siklus kompresi uap standar.

Efek Refrigerasi (ER)

Efek refrigerasi merupakan jumlah kalor yang diserap oleh refrigeran di dalam evaporator untuk setiap satu satuan massa refrigeran (6).

$$ER = h_1 - h_4 \quad (\text{kJ/kg}) \quad (1)$$

dimana : h_1 & h_4 = entalpi uap refrigeran yang keluar dan masuk evaporator (kJ/kg)

Kerja Kompresi (Wk)

Besarnya kerja kompresi (Wk) sama dengan selisih entalpi uap refrigeran yang keluar kompresor dengan entalpi uap refrigeran yang masuk ke kompresor (4).

$$Wk = h_2 - h_1 \quad (\text{kJ/kg}) \quad (2)$$

dimana : h_1 & h_2 = entalpi uap refrigeran pada sisi isap dan keluar kompresor (kJ/kg)

Daya Aktual Kompresor (Pk)

Daya aktual dibutuhkan oleh kompresor untuk melakukan kerja kompresi dapat dihitung dengan rumus (9):

$$P_{aktual} = V \cdot I \cdot \cos \theta \quad (3)$$

Kalor yang dibuang di Kondensor (qk)

Kalor yang dibuang oleh refrigeran di kondensor sama dengan kalor yang diserap oleh refrigeran di evaporator ditambah dengan kalor yang setara dengan kerja kompresi di kompresor. Secara sistematis, qk dinyatakan sebagai berikut (4) :

$$q_k = h_2 - h_3 \quad (\text{kJ/kg}) \quad (4)$$

dimana : h_2 & h_3 = entalphi refrigeran pada sisi isap dan keluar kondensor (kJ/kg)

Koefisien Prestasi (COP)

COP disebut dengan koefisien prestasi dipergunakan untuk menyatakan performansi dari siklus refrigerasi (14):

$$\text{COP} = \text{ER} / \text{WK} \quad (5)$$

Keseimbangan Kalor

a. Keseimbangan Kalor di kondensor

Di dalam kondensor, refrigeran akan melepaskan sejumlah kalor dan kalor tersebut akan diserap oleh udara (8) :

$$m_{ref} \cdot (h_2 - h_3) = m_{ud} \cdot C_{p_{ud}} \cdot (t_2 - t_1) \quad (6)$$

dimana :

m_{ref} : Laju aliran refrigeran (kg/menit)

h_2 & h_3 : Masing – masing entalpi uap dan cairan refrigeran masuk dan keluar kondensor (kJ/kg)

m_{ud} : Laju aliran massa udara (kg/menit)

$C_{p_{ud}}$: Kapasitas panas jenis udara pada tekanan tetap (kJ/kg K)

t_1 & t_2 : Masing-masing temperatur udara masuk dan keluar kondensor (°C).

b. Keseimbangan Kalor di Evaporator

Refrigeran akan menyerap kalor yang dilepaskan oleh air sehingga temperatur air keluar evaporator menjadi turun atau rendah. Keseimbangan kalor di evaporator dapat ditulis dengan rumus :

$$m_{air} \cdot C_{air} \cdot (t_1 - t_2) = m_{ref} \cdot (h_1 - h_4) \quad (7)$$

dimana :

m_{air} : Laju aliran massa air (kg/menit)

C_{air} : Kapasitas panas jenis air (kJ/kg °K)

t_1 & t_2 :Temperatur air masuk dan keluar evaporator (°C)

m_{ref} : Laju aliran massa refrigeran (kg/menit)

h_1 & h_4 :Entalpi refrigeran keluar dan masuk evaporator (kJ/kg)

2.3. Tempat Pengambilan Data

Pengujian dilakukan di Laboratorium Refrigerasi dan Tata Udara Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali, menggunakan simulator AC *Water Chiller*.

Spesifikasi Teknik Simulator AC Water Chiller

1. Refrigeran : R-22.
2. Kompresor :Rotari, jenis hermetik, 2 PK dengan HPS (*high pressure switch*), LPS (*low pressure switch*), *external overload protector*.
3. Alat ukur refrigeran :
 - 4 buah *pressure gauge* (dalam bar).
 - 4 buah *thermometer* (dalam °C).

Spesifikasi Teknis Water Heater

1. Diameter x tinggi tabung *heater* : 48 cm x 75 cm.
2. *Water Heater* :
 - Merk : *ETERNA*
 - Model : *AH 75 S*
 - Kapasitas Tangki : *75 Liter*
 - Tangki Dalam : *Stainless Steel* tebal 1,5 mm
3. Pompa yang digunakan :
 - Model : *PN-125BIT*.
 - *Power Source* : *220 V, 50 Hz, 1 Ø*.
 - *Output* : *125 Watt*.
 - *Capacity* : *Max 43 L/minute*.
 - *Total Head* : *Max 33 m*.
 - *Suction lift* : *Max 9 m, Rpm 2850*.
 - *Suction & Discharge pipe* : *25 mm (1”)*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian tanpa menggunakan *Water Heater* (table 1) dan data hasil pengujian dengan menggunakan *Water Heater* ditunjukkan (tabel 2)

Tabel 1. Data hasil pengujian AC water chiller tanpa menggunakan alat penukar kalor water-heater

No.	Q _{ref} kJ/menit	Refrigeran								Air		
		Kondensor				Evaporator				I	Air	
		P _{in}	T _{in}	P _{out}	T _{out}	P _{in}	T _{in}	P _{out}	T _{out}		T _{in}	T _{out}
L/min	bar	°C	bar	°C	bar	°C	bar	°C	A	°C	°C	
1	13.8	13.5	93	12	32	4.8	4	2.6	10	9	22	18
2	13.6	13.5	93	12	32	4.6	4.5	2.8	11	9	22	18
3	12.4	13.5	94	12	32	4.6	4.5	2.8	11	9	22	18
4	12	13.5	94	12	32	4.5	4	2.6	10.5	9	22	18
5	13.2	13	95	12	31	4.4	4	2.6	11	8.5	22	17
6	13	13	94	12	32	4.4	4	2.6	12	8.5	22	17
7	12.8	13	95	12	31	4.4	3	2.4	12	8.5	21	17
8	12.1	13	95	12	31	4.4	3	2.4	12	8.5	21	17
9	13.5	13	95	12	31	4.4	3	2.4	13	8.5	21	17

Tabel 2. Data hasil pengujian AC Water Chiller dengan menggunakan alat penukar kalor Water Heater

No.	Debit Air L/mn	Refrigeran								I A	Air		Water Heater	
		Kondensor				Evaporator					T _{in}	T _{out}	T _{in}	T _{out}
		P _{in}	T _{in}	P _{out}	T _{out}	P _{in}	T _{in}	P _{out}	T _{out}					
1	13,9	14	92	12	31	4,8	4	2,8	11	9	22	18	25	30
2	15,6	14	94	12	31	4,6	4	2,7	10	9	22	18	25	33
3	11,7	14	94	12	31	4,4	3	2,8	9	8,5	22	18	25	34
4	12	14	94	12	31	4,4	3	2,6	9	8,5	22	18	25	35
5	11,5	14	94	12	31	4,4	3	2,7	9	8,5	22	17	25	36
6	12,4	14	94	12	31	4,4	3	2,6	9	8	22	17	25	36
7	11	14	93	12	31	4,5	3	2,7	9	8	21	17	25	36
8	11,7	14	92	12	31	4,4	3	2,6	9	8	21	17	25	36,5
9	11,7	14	92	12	31	4,4	3	2,6	9	8	21	17	25	37

Pengolahan Data

Berdasarkan data hasil pengujian tanpa menggunakan Water Heater (Tabel 1) dan dengan menggunakan Water Heater (Tabel 2), maka dapat diambil sebuah data rata – rata hasil pengujian seperti dalam Tabel 3. dan pada Tabel 4.

Tabel 3. Data rata-rata hasil pengujian tanpa menggunakan water heater

No.	Debit Air L/mn	Refrigeran								I A	Air		Water Heater	
		Kondensor				Evaporator					T _{in}	T _{out}	T _{in}	T _{out}
		P _{in}	T _{in}	P _{out}	T _{out}	P _{in}	T _{in}	P _{out}	T _{out}					
Rata-rata	12,93	13,22	94,22	12	31,6	4,5	3,778	2,578	11,4	8,72	21,67	17,44		
Abs	14,22		13		5,5		3,578							

Tabel 4. Data rata-rata hasil pengujian dengan menggunakan water heater

No.	Debit Air L/mn	Refrigeran								I A	Air		Water Heater	
		Kondensor				Evaporator					T _{in}	T _{out}	T _{in}	T _{out}
		P _{in}	T _{in}	P _{out}	T _{out}	P _{in}	T _{in}	P _{out}	T _{out}					
Rata-rata	12,39	14	93,22	12	31	4,48	3,222	2,678	9,33	8,389	21,67	17,44	25	37
Abs	15		13		5,48		3,678							

Perhitungan Performansi Sistem Refrigerasi (COP)

Berdasarkan data-data yang didapat, maka dapat ditentukan Performansi Sistem Refrigerasi (COP) dan Daya Komsumsi sebelum dan sesudah menggunakan Water Heater.

1. Perhitungan COP sistem refrigerasi tanpa menggunakan water heater :

Dari P-h diagram didapat :

$h_1 = 419 \text{ kJ/kg}; h_2 = 461 \text{ kJ/kg}; h_3 = h_4 = 240 \text{ kJ/kg}$

- Efek Refrigerasi, (ER)

$ER = h_1 - h_4 = (419 - 240) \text{ kJ/kg} = 179 \text{ kJ/kg}$

- Kerja Kompresi, (Wk)

$WK = h_2 - h_1 = (461 - 419) \text{ kJ/kg} = 42 \text{ kJ/kg}$

- Daya aktual Kompresor, (PK)

$P_{aktual} = V \cdot I \cdot \cos \theta$

$= 237 \text{ Volt} \cdot 8,72 \text{ A} \cdot 0,8$

$= 1653,312 \text{ Watt} = 1,66 \text{ Kw}$

- Kalor yang dibuang di Kondensor, (Qk)

$Qk = h_2 - h_3 = (461 - 240) \text{ kJ/kg} = 221 \text{ kJ/kg}$

- Koefisien Prestasi, COP

$COP = \frac{ER}{Wk} = \frac{179 \text{ kJ/kg}}{42 \text{ kJ/kg}} = 4,17$

- Keseimbangan kalor di evaporator

$m_{air} \cdot C_{air} \cdot (t_1 - t_2) = m_{ref} \cdot (h_1 - h_4)$

Dari data hasil pengujian didapat :

$t_1 = 22 \text{ }^\circ\text{C} + 237 = 295 \text{ K}$

$t_2 = 17 \text{ }^\circ\text{C} + 237 = 290 \text{ K}$

$\rho_{air} = 1000 \text{ kg/m}^3$

$C_{air} = 4190 \text{ J/kg K}$ (dari tabel)

$v_{air} = 12,9 \text{ L/menit}$

$= 12,9 \text{ L/menit} \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{L} = 0,0129 \text{ m}^3/\text{menit}$

maka : $m_{air} = \rho_{air} \cdot v_{air}$

$= 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,0129 \text{ m}^3/\text{menit}$

$= 12,9 \text{ kg/menit}$

$m_{ref} = \frac{12,9 \times 4190 \times (295 - 290)}{(419 - 240)}$

$= 1,51 \text{ kg/men} = 0,025 \text{ kg/dt.}$

Jadi laju aliran massa refrigeran adalah 0,025 kg/detik.

- Daya yang dibuang di kondensor :

$P_{kond} = m_{ref} \cdot (h_2 - h_3)$

$= 0,025 \text{ kg/detik} \times (461 - 240) \text{ kJ/kg}$

$= 5,525 \text{ kJ/detik.}$

Jadi daya yang dibuang di kondensor adalah 5,525 kJ/detik

2. Perhitungan COP sistem refrigerasi dengan menggunakan water heater

Dari P-h diagram didapat :

$h_1 = 410 \text{ kJ/kg}; h_2 = 462 \text{ kJ/kg}; h_3 = h_4 = 239 \text{ kJ/kg}$

- Efek Refrigerasi, (ER)

$ER = h_1 - h_4 = (410 - 239) \text{ kJ/kg} = 171 \text{ kJ/kg}$

- Kerja Kompresi, (Wk)

$Wk = h_2 - h_1 = (462 - 410) \text{ kJ/kg} = 52 \text{ kJ/kg}$

- Daya aktual Kompresor, (PK)

$$P_{aktual} = V \cdot I \cdot \cos \theta = 237 \cdot 8,38 \cdot 0,8 = 1588,848 \text{ Watt} = 1,59 \text{ kW}$$

- Kalor yang dibuang di Kondensor, (Qk)

$$Q_k = h_2 - h_3 = (462 - 239) \text{ kJ/kg} = 223 \text{ kJ/kg}$$

- Koefisien Prestasi, COP

$$COP = \frac{ER}{Wk} = \frac{171 \text{ kJ/kg}}{52 \text{ kJ/kg}} = 3,29$$

- Keseimbangan kalor di evaporator

$$m_{air} \cdot C_{air} \cdot (t_1 - t_2) = m_{ref} \cdot (h_1 - h_4)$$

Dari data hasil pengujian dengan menggunakan *Water Heater* didapat:

$$t_1 = 21,6^\circ\text{C} + 237 = 294,6 \text{ K}$$

$$t_2 = 17,4^\circ\text{C} + 237 = 290,4 \text{ K}$$

$$\rho_{air} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{air} = 4190 \text{ J/kg K}$$

$$\dot{v}_{air} = 12,39 \text{ L/menit} = 12,39 \text{ L/menit} \times 10^{-3}$$

$$\text{m}^3/\text{L} = 0,01239 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$\text{maka : } \dot{m}_{air} = \rho_{air} \cdot \dot{v}_{air} = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot$$

$$0,01239 \text{ m}^3/\text{menit} = 12,39 \text{ kg/menit}$$

$$m_{ref} = \frac{\dot{m}_{air} \cdot C_{air} \cdot (t_1 - t_2)}{(h_1 - h_4)} = \frac{12,39 \times 4,190 \times (294,6 - 290,4)}{(410 - 239)} = 1,27 \text{ kg/mn} = 0,021 \text{ kg/dt}$$

Jadi laju aliran massa refrigeran adalah 0,021 kg/detik.

- Daya yang dibuang di kondensor :

$$P_{kond} = m_{ref} \cdot (h_2 - h_3) = 0,021 \text{ kg/detik} \times (462 - 239) \text{ kJ/kg} = 4,683 \text{ kJ/detik}$$

Jadi daya yang dibuang di kondensor adalah 4,683 kJ/detik.

- Kalor yang diserap *water heater* :

$$P_{awh} = (\dot{v}_{air} \cdot \rho_{air}) \cdot C_{air} \cdot \Delta t_{awh}$$

Dari data hasil pengujian dengan menggunakan *Water Heater*, table 4

$$t_1 = 25^\circ\text{C} + 237 = 262 \text{ K}$$

$$t_2 = 37^\circ\text{C} + 237 = 274 \text{ K}$$

$$\dot{v}_{air} = 1,8 \text{ L/menit}$$

$$= 0,0018 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$\Delta t_{awh} = (t_2 - t_1)_{awh}$$

$$= (274 - 262) \text{ K} = 12 \text{ K}$$

$$\rho_{air} = 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ (dari tabel)}$$

$$P_{wh} = (\dot{v}_{air} \cdot \rho_{air}) \cdot C_{air} \cdot \Delta t_{awh} = (0,0018 \text{ m}^3/\text{menit} \times 1000 \text{ kg/m}^3) \times 4190 \text{ J/kg K} \times 12 \text{ K} = 90504 \text{ J/menit} = 1,508 \text{ kJ/detik}$$

Jadi kalor yang dapat diserap di *Water Heater* adalah 1,508 kJ/detik.

- Efisiensi *water heater*

$$\eta_{wh} = \frac{P_{kond}}{P_{wh}} \cdot 100\% = \frac{1,508}{4,683} \times 100\% = 32,2\%$$

Temperatur Air Maksimum yang dapat dicapai

Adapun temperatur air maksimum yang dapat dicapai dan waktu yang diperlukan untuk pengujian pada masing-masing laju aliran air dapat dilihat pada tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Data laju aliran air, Temperatur n maksimum, dan Waktu

No	Laju Aliran Air (Liter/menit)	Temperatur (°C)	Waktu (Menit)
1	0,5	47,5	150
2	1	39	90
3	1,5	37	50
4	2	37	90
5	2,5	34	10

Suhu limbah panas pada kisaran suhu rendah dari berbagai sumber (Kondensor AC dan refrigerasi : 32⁰C – 43⁰C) (2).

Tabel 6. Data Hasil Perhitungan Performansi (COP) Sistem Refrigeran

No.	Perbandingan	Tanpa Water Heater	Dengan Water Heater
1	Efek Refrigerasi (ER)	179 kJ/kg	171 kJ/kg
2	Kerja Kompresi (Wk)	42 kJ/kg	52 kJ/kg
3	Kalor yang dibuang Kondensor	221 kJ/kg	223 kJ/kg
4	Daya yang dibuang Kondensor [m _{ref} · (h ₂ - h ₃)]	5,525 kJ/detik	4,683 kJ/detik
5	Kalor yang diserap <i>Water Heater</i>		1,508 kJ/detik
7	Daya Kompresor Empuis [m _{ref} · Wk]	1,05 kJ/detik	1,092 kJ/detik
8	Daya Kompresor Aktual (Pk)	1,66 kW	1,59 kW
9	Koefisien Prestasi (COP)	4,17	3,29

Analisa Data

Dari data hasil perhitungan performansi sistem refrigerasi sebelum dan sesudah menggunakan *water heater*, maka dapat diambil sebuah data perbandingan

dari hasil perhitungan sebelum dan sesudah menggunakan *water heater* seperti dalam tabel 6.

3.2, Pembahasan

Secara keseluruhan dari hasil pengujian dan perhitungan simulator AC sentral jenis water chiller, sebelum atau setelah pemasangan alat *heat recovery water heater* dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

AC sentral jenis water chiller, sebelum dengan setelah dilengkapi *water heater* mengalami penurunan efek refrigerasi dan kenaikan kerja kompresi. Hal ini disebabkan oleh dalam rancangan alat pengujian terjadi penambahan panjang pipa, banyaknya belokan dan banyaknya katup pengatur arah aliran refrigeran, untuk mengatur aliran refrigeran masuk melewati *water heater* ataupun tidak melewati *water heater*. Sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan daya kompresor dan secara otomatis akan menyebabkan penurunan COP (*Coefficient of Performance*). Dalam pelaksanaannya dilapangan, penurunan efek refrigerasi dan COP dapat dicegah dengan pengurangan panjang pipa dan belokan serta peniadaan pemasangan katup yang tidak diperlukan.

Kalor yang dibuang di kondensor 221 kJ/kg untuk AC yang tidak dilengkapi dengan *water heater* dan 223 kJ/kg untuk AC yang dilengkapi dengan *water heater*, sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa terjadi pelepasan panas yang lebih baik ke air dibandingkan dengan ke udara atau ke lingkungan, yang semestinya juga diikuti oleh kenaikan efek refrigerasi dan COP.

Daya yang dibuang di kondensor 5,525 kJ/detik untuk AC yang tidak dilengkapi dengan *water heater* dan 4,683 kJ/detik untuk AC yang dilengkapi dengan *water heater*. Kalor yang mampu diserap oleh AC yang dilengkapi dengan alat pemanas air adalah 1,508 kJ/detik. Dengan demikian efisiensi *Water Heater* sebesar 32,2 %.

Terjadi penurunan laju aliran massa refrigeran (m_{ref}), untuk AC yang tidak dilengkapi oleh *water heater* 0,025 kg/detik menjadi 0,021 kg/detik AC yang dilengkapi dengan *water heater*

Dengan adanya penambahan alat *water heater* terjadi penurunan daya kompresor aktual (P_k), yaitu berupa penurunan konsumsi listrik dari 8,72 ampere untuk sistem tanpa dilengkapi dengan *water heater* menjadi 8,38 ampere untuk sistem dilengkapi dengan *water heater*.

Temperatur air panas maksimum yang dapat dicapai untuk kapasitas tangki *water heater* 75 liter adalah 47,5 °C. Dengan demikian pemanfaatan energi panas buang kondensor AC, cukup efektif untuk memanaskan air. Sehingga mampu menghemat penggunaan air untuk keperluan rumah tangga, usaha, industri dan lain-lain yang menggunakan AC sebagai

penyejuk ruangan. Sehingga dapat menghemat energi dan terakhir hemat biaya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan diatas, untuk AC sentral jenis water chiller sebelum dan sesudah dilengkapi dengan alat *heat recovery water heater*, maka dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai energi berupa panas yang dapat dimanfaatkan dengan penambahan alat *heat recovery water heater* adalah sebesar 1,508 kJ/detik, dengan efisiensi *water heater* 32,2 %
2. Temperatur air panas maksimum yang dapat dicapai 47,5 °C
3. Penurunan COP dari 4,17 untuk AC tanpa dilengkapi dengan *water heater* menjadi 3,29 untuk AC dilengkapi dengan *water heater*, disebabkan penambahan panjang pipa, banyak pemakaian katup disertai banyaknya belokan karena untuk simulator.
4. Penurunan konsumsi daya listrik kompresor dari 1,66 kW untuk AC tanpa dilengkapi dengan *water heater* menjadi 1,59 kW untuk AC dilengkapi dengan *water heater*.

Daftar Pustaka

- [1] Anonim, 2006, Pemanfaatan Kembali Limbah Panas," *Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia*, (Online) (www.energyefficiencyasia.org).
- [2] Anonim, (2006). "Refrigerasi & Sistem Penyejuk AC," *Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia*, (Online) (www.energyefficiencyasia.org).
- [3] Anonim, *The Heat Recovery Water Heating System*.http://www.heatharvester.com/Heat_Recovery_System-2htm.
- [4] Arora, C. P. (2001). *Refrigeration and Air Conditioning*, Second edition, Tata McGraw-Hill, Inc., Singapore, 2001
- [5] ASHRAE HANDBOOK. (2005). *Fundamentals, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers*. SI Edition.
- [6] Astu Pudjawarsa, Djati Nursuhud. (2006). *Mesin Konversi Energi*. Andi, Yogyakarta.
- [7] Bali Post, (2007). "Tarif PDAM Badung naik 100 persen". 18 Februari 2007, hal.18.
- [8] Dincer, Ibrahim. (2003). *Refrigeration System and Applications*, England, ISBN 0-471-62351-2, 2003
- [9] Jorfri Boike Sinaga. 2006. "Buku Kerja Audit Energi untuk Hotel dan Motel dan Pemanfaatan Energi yang Dikeluarkan dari Kondensor untuk Pemanas Air". ITB Central Library.(/Member/suhendar@unix.lib.itb.ac.id/-ITB, diakses 11 Januari 2007).
- [10] Kompas. (2003). *Masyarakat Diimbau Hemat Air*. 13 Agustus 2003.

- <http://www.kompas.com/kompas-cetak/0308/13/jateng/488833.htm>
- [11] Republika, (2005). *Ayo Hemat Energi*. 7 Agustus 2005.
(http://www.republika.co.id/koran_detail.asp?d=208487&kat_id=253, diakses 9 Februari 2007).
- [12] Therma-stor LLC. 2006. *Heat Recovery Water Heater*, www.thermastor.com
- [13] Scott Sanford. 2003. *Energy Conservation on the Farm: Refrigeration Systems*, Cooperative Extension, University of Wisconsin Extension, University of Wisconsin.
- [14] Yuli Setyo Indartono. (2006). "Perkembangan Terkini Teknologi Refrigerasi (1)". *Berit@Iptek.com*. (www.beritaiptek.com).
http://www.keluargasehat.com/airisi.php?news_id=390