

ANALISIS EKSPERIMEN LAJU ALIRAN VOLUME AIR TERHADAP TEMPERATUR AIR PANAS PADA *HEAT RECOVERY* SISTEM AC JENIS WATER CHILLER

I Made Rasta

Program Studi Teknik Pendingin dan Tata Udara Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali
Bukit Jimbaran, P.o.Box 1064 Tuban Badung –Bali, E-mail : rasta_imade1@yahoo.co.id

Abstract

Refrigerant in refrigeration machines will absorb heat from a room space and released the heat to the environment. The heat balancing in the system is heat released from condenser equal with heat absorbed from room space added by the heat equivalent from compressor work. Based on this heat cycle, the writer try to conduct research on using this heat rejection from condenser to heating tap water, focusing on water flow rate increased from 0.5 liter/min to 2.5 liter/min. From experiment and analysis result obtained that the maximum heat water temperature which can be reached is 47.5°C in 0.5 liter/min, with the equipment specifications are 2 HP- split air conditioning and the tank volume is 75 liters. The additional result is heating water temperature is fallen when the water flow rate is increased.

Keywords: *Refrigerant, water flow rate, heat water temperature.*

Pendahuluan

Refrigeran memegang peranan yang sangat penting dalam suatu sistem pendingin sebagai fluida yang dapat menyerap panas dan mendinginkan media yang ada disekitarnya (Arora, 2001:135; ASHRAE, 2005; Dincer, 2003:68; Indartono, 2006). Dari hasil penyerapan panas ruangan oleh refrigeran dan penyerapan kalor yang setara dengan kerja kompresor, maka temperatur dan tekanan refrigeran akan naik. Untuk menurunkan temperatur ini maka diperlukan suatu alat yang berfungsi untuk membuang panas refrigeran ke luar ruangan. Alat ini disebut dengan kondensor. Panas ini dibuang begitu saja ke lingkungan tanpa dimanfaatkan. Maka dari itu perlu adanya pemanfaatan panas yang terbuang itu sebagai pemanas air sehingga nantinya energi itu tidak terbuang sia-sia (Therma-stor, 2006; Jamigan, -).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perubahan laju aliran volume air terhadap temperatur air panas maksimum yang bisa dicapai dari pemanfaatan kalor yang terbuang tersebut. Nantinya diharapkan hasil dari penelitian ini dapat diterapkan pada mesin pengkondisian udara yang lain dilapangan karena pada prinsipnya cara kerja mesin pengkondisian udara adalah sama.

Metodologi

Pada saat AC jenis *water chiller* dihidupkan, maka refrigeran akan bersirkulasi

di dalam sistem. Refrigeran yang keluar dari kompresor akan dialirkan ke tangki *heater*

yang didalamnya berisi air sebelum masuk ke kondensor, sehingga terjadi penyerapan panas oleh air dari refrigeran panas sehingga temperatur air akan meningkat sesuai dengan temperatur refrigeran. Demikian seterusnya *water heater* bekerja selama AC masih tetap hidup.

Prosedur Pengujian

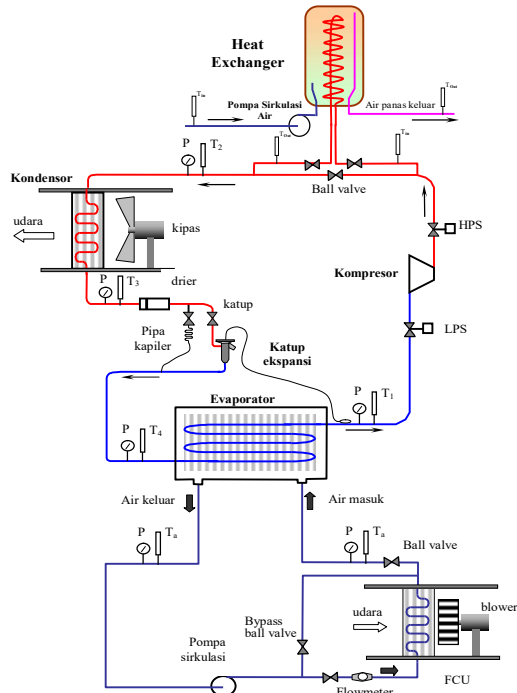
Persiapan Pengujian

Adapun persiapan yang perlu dilakukan sebelum pengujian berlangsung adalah sebagai berikut :

- Siapkan semua peralatan dan alat-alat ukur yang dipergunakan.
- Tempatkan peralatan sesuai dengan posisinya.
- Hidupkan MCB pada panel listrik.

Langkah Pengujian

Pengujian yang dilakukan pada simulator AC jenis *water chiller* yang dilengkapi dengan sistem *water heater* dilakukan lima kali, yaitu dengan debit air 0,5 liter/menit, 1 liter/menit, 1,5 liter/menit, 2 liter/menit, dan 2,5 liter/menit. Kemudian mencatat data temperatur air yang masuk dan keluar *heat exchanger*. Alat ekspansi yang digunakan adalah dengan katup ekspansi.



Gambar 1
Diagram Sistematis AC Water Chiller dilengkapi dengan Heat Exchanger.

Hasil Dan Pembahasan

Data Hasil Pengujian

Tabel 1
Data Laju Aliran Air 0,5 liter/menit

No	Laju Air (L/Menit)	T in (°C)	T out (°C)	Waktu (Menit)
1	0.5	26	26	0
2	0.5	26	32	10
3	0.5	26	34.5	20
4	0.5	26	37	30
5	0.5	26	38	40
6	0.5	26	40	50
7	0.5	26	41	60
8	0.5	26	42	70
9	0.5	26	43	80
10	0.5	26	44	90
11	0.5	26	45	100
12	0.5	26	45.5	110
13	0.5	26	46	120
14	0.5	26	46.5	130
15	0.5	26	47	140
16	0.5	26	47.5	150

Tabel 2
Data Laju Aliran Air 1 liter/menit

No	Laju Air (L/Menit)	T in (°C)	T out (°C)	Waktu (Menit)
1	1	26	26	0
2	1	26	32.5	10
3	1	26	34	20
4	1	26	35	30
5	1	26	36	40
6	1	26	37	50
7	1	26	37.5	60
8	1	26	38	70
9	1	26	38.5	80
10	1	26	39	90

Tabel 3
Data Laju Aliran Air 1,5 liter/menit

No	Laju Air (L/Menit)	T in (°C)	T out (°C)	Waktu (Menit)
1	1.5	26	26	0
2	1.5	26	32	10
3	1.5	26	34	20
4	1.5	26	35	30
5	1.5	26	36	40
6	1.5	26	37	50
7	1.5	26	37	60
8	1.5	26	37	70
9	1.5	26	37	80
10	1.5	26	37	90

Tabel 4
Data Laju Aliran Air 2 liter/menit

No	Laju Air (L/Menit)	T in (°C)	T out (°C)	Waktu (Menit)
1	2	26	26	0
2	2	26	30	10
3	2	26	33	20
4	2	26	34	30
5	2	26	35	40
6	2	26	36	50
7	2	26	36	60
8	2	26	36	70
9	2	26	36.5	80
10	2	26	37	90

Tabel 5
Data Laju Aliran Air 2,5 liter/menit

No	Laju Air (L/Menit)	T in (°C)	T out (°C)	Waktu (Menit)
1	2.5	26	26	0
2	2.5	26	34	10
3	2.5	26	34	20
4	2.5	26	34	30
5	2.5	26	34	40
6	2.5	26	34	50
7	2.5	26	34	60
8	2.5	26	34	70
9	2.5	26	34	80
10	2.5	26	34	90

Perhitungan

Temperatur Maksimum Air yang Dicapai

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

Tabel 6
Data laju Aliran Air, Temperatur 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

Kalor yang Diperlukan untuk Memanaskan Air

Kalor total yang diperlukan untuk memanaskan air sampai mencapai temperatur maksimum pada masing-masing laju aliran volume air adalah sebagai berikut (Arora, 2001:18; Pita, 1981:37; Kurmi dan Gupta, 2006:661)

Contoh : Untuk laju aliran air 0,5 ltr/mnt

Diketahui :

- $m_{air} = 0,5 \text{ liter/menit} = 0,5 \text{ Kg/menit}$
- $C_p = 4.200 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$
- $t_{in} = 26^\circ\text{C}$
- $t_{out} = 47,5^\circ\text{C}$
- $\Delta t = 21,5^\circ\text{C}$

maka :

$$Q = m_{air} \cdot C_p \cdot \Delta t \quad (1)$$

$$= 0,5 \text{ Kg/menit} \cdot 4.200 \text{ J/Kg}^\circ\text{C} \cdot 21,5^\circ\text{C}$$

$$= 45.150 \text{ J/menit}$$

Dengan cara yang sama seperti diatas maka didapat kalor yang dibutuhkan pada setiap peningkatan temperatur seperti tabel di bawah ini ($T_{in} = 26^\circ\text{C}$).

Tabel 7
Hasil Pengolahan Data Laju 0,5 liter/menit.

No	Laju Air (L/Menit)	T out (°C)	ΔT (°C)	Q (J/menit)	Waktu (Menit)
1	0.5	26	0	0	0
2	0.5	32	6	12600	10
3	0.5	34.5	2.5	5250	20
4	0.5	37	2.5	5250	30
5	0.5	38	1	2100	40
6	0.5	40	2	4200	50
7	0.5	41	1	2100	60
8	0.5	42	1	2100	70
9	0.5	43	1	2100	80
10	0.5	44	1	2100	90
11	0.5	45	1	2100	100
12	0.5	45.5	0.5	1050	110
13	0.5	46	0.5	1050	120
14	0.5	46.5	0.5	1050	130
15	0.5	47	0.5	1050	140
16	0.5	47.5	0.5	1050	150

Tabel 8
Hasil Pengolahan Data Laju 1 liter/menit

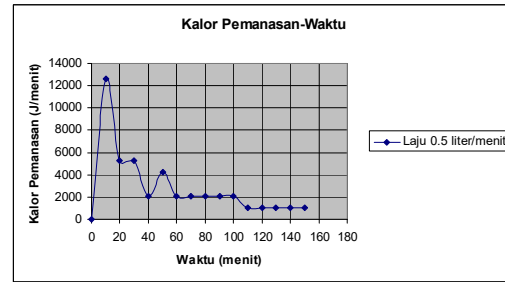
No	Laju Air (L/Menit)	T out (°C)	ΔT (°C)	Q (J/menit)	Waktu (Menit)
1	1	26	0	0	0
2	1	32.5	6.5	27300	10
3	1	34	1.5	6300	20
4	1	35	1	4200	30
5	1	36	1	4200	40
6	1	37	1	4200	50
7	1	37.5	0.5	2100	60
8	1	38	0.5	2100	70
9	1	38.5	0.5	2100	80
10	1	39	0.5	2100	90

Tabel 9

Hasil Pengolahan Data Laju 1,5 liter/menit.

No	Laju Air (L/Menit)	T _{out} (°C)	ΔT °C	Q J/menit	Waktu (Menit)
1	1.5	26	0	0	0
2	1.5	32	6	37800	10
3	1.5	34	2	12600	20
4	1.5	35	1	6300	30
5	1.5	36	1	6300	40
6	1.5	37	1	6300	50
7	1.5	37	0	0	60
8	1.5	37	0	0	70
9	1.5	37	0	0	80
10	1.5	37	0	0	90

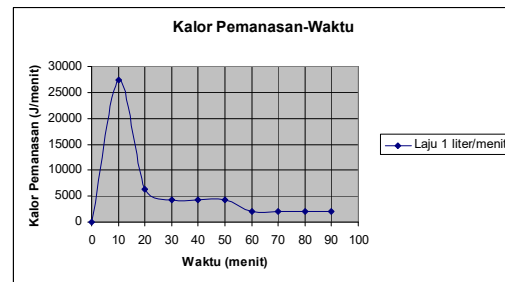
Adapun gambar untuk masing-masing laju aliran air adalah sebagai berikut :



Gambar 2
Hubungan Kalor Pemanasan dengan Waktu Untuk Laju Air 0,5 liter/menit.

Tabel 10
Hasil Pengolahan Data Laju 2 liter/menit.

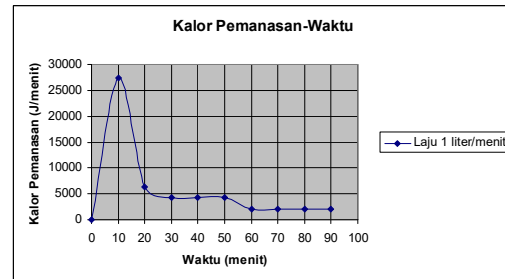
No	Laju Air (L/Menit)	T _{out} (°C)	ΔT °C	Q J/menit	Waktu (Menit)
1	2	26	0	0	0
2	2	30	4	33600	10
3	2	33	3	25200	20
4	2	34	1	8400	30
5	2	35	1	8400	40
6	2	36	1	8400	50
7	2	36	0	0	60
8	2	36	0	0	70
9	2	36.5	0.5	4200	80
10	2	37	0.5	4200	90



Gambar 3
Hubungan Kalor Pemanasan dengan Waktu Untuk Laju Air 1 liter/menit.

Tabel 11
Hasil Pengolahan Data Laju 2,5 ltr/menit.

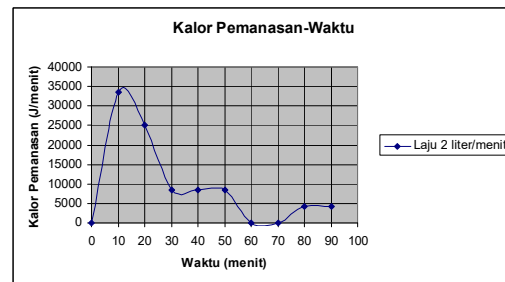
No	Laju Air (L/Menit)	T _{out} (°C)	ΔT °C	Q J/menit	Waktu (Menit)
1	2.5	26	0	0	0
2	2.5	34	8	84000	10
3	2.5	34	0	0	20
4	2.5	34	0	0	30
5	2.5	34	0	0	40
6	2.5	34	0	0	50
7	2.5	34	0	0	60
8	2.5	34	0	0	70
9	2.5	34	0	0	80
10	2.5	34	0	0	90



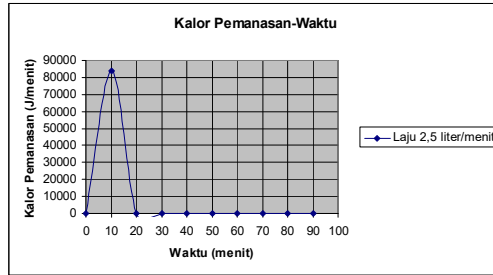
Gambar 4
Hubungan Kalor Pemanasan dengan Waktu Untuk Laju Air 1,5 liter/menit.

Gambar Grafik Hasil Perhitungan

Dari tabel di atas dapat dibuat gambar grafik hubungan antara kalor pemanasan dengan waktu, laju aliran air dengan waktu pencapaian temperatur maksimum, dan laju aliran air dengan kalor pemanasan total.



Gambar 5
Hubungan Kalor Pemanasan dengan Waktu, Untuk Laju Air 2 liter/menit.



Gambar 6
Hubungan Kalor Pemanasan dengan Waktu Untuk Laju Air 2,5 liter/menit.

Dari gambar-gambar di atas dapat ditentukan nilai koefisien kolerasinya dengan bantuan program *Microsoft Excel 2003*. Adapun rumusnya adalah sebagai berikut :

$$r = \text{correl} (K_1 \vee X_{1..X_n}, K_2 \vee Y_{1..Y_n})$$

dimana :

- K_1 = Kolom pertama.
- $\vee X_{1..X_n}$ = Variabel X pertama sampai variabel X ke-n.
- K_2 = Kolom kedua.
- $\vee Y_{1..Y_n}$ = Variabel Y pertama sampai variabel Y ke-n.

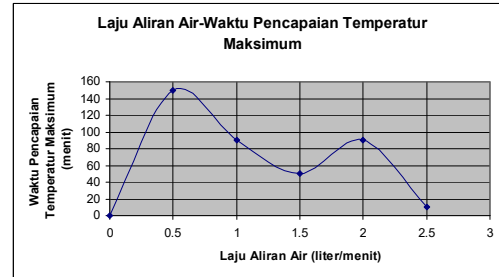
- Untuk laju aliran air 0,5 ltr/mnt, $r = -0,55$
- Untuk laju aliran air 1 ltr/mnt, $r = -0,43$
- Untuk laju aliran air 1,5 ltr/mnt, $r = -0,54$
- Untuk laju aliran air 2 ltr/mnt, $r = -0,52$
- Untuk laju aliran air 2,5 ltr/mnt, $r = -0,41$

Dari data di atas dapat dilihat bahwa nilai koefisien kolerasinya berkisar antara -0,41 sampai dengan -0,55. Karena koefisien korelasinya negatif, maka antara kalor pemanasan dengan waktu memiliki hubungan yang berlawanan, maksudnya kebutuhan kalor pemanasan tidak sebanding dengan pertambahan waktu. Makin lama waktunya, maka kalor pemanasan yang dibutuhkan cenderung semakin rendah. Karena nilainya dibawah -1, maka hubungannya bersifat lemah.

Dari gambar-gambar di atas juga dapat disimpulkan bahwa pada saat 10 menit pertama kebutuhan kalor untuk memanaskan air sangat tinggi kemudian untuk 10 menit berikutnya cenderung menurun. Itu disebabkan karena pada saat awal pemanasan kalor terlebih dahulu dimanfaatkan untuk memanaskan dinding-dinding koil pemanas sehingga kalor yang diperlukan menjadi lebih besar. Setelah dinding koil pemanas panas, baru kemudian

kalor tersebut digunakan untuk memanaskan air di dalam tangki *heater*.

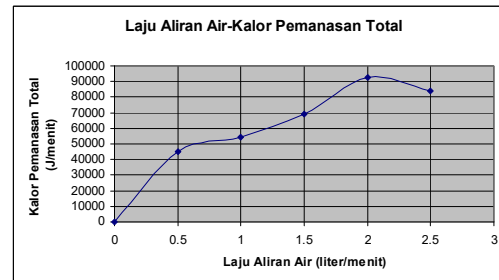
Laju aliran air dan waktu pencapaian temperatur maksimum:



Gambar 7
Hubungan Laju Aliran Air dengan Waktu Pencapaian Temperatur Maksimum.

Tabel 12
Data Laju Aliran Air dan Kalor Pemanasan Total

No	Laju Aliran Air (Ltr/Menit)	Kalor Pemanasan Total (J/menit)
1	0	0
2	0.5	45.150
3	1	54.600
4	1.5	69.300
5	2	92.400
6	2.5	84.000



Gambar 8
Hubungan Laju Aliran Air dengan Kalor Pemanasan Total.

Dari gambar di atas, bahwa semakin besar laju aliran air maka kalor pemanasan total yang diperlukan cenderung akan meningkat. Kecuali pada laju aliran air 2,5 liter/menit kalor total pemanasan menurun. Itu disebabkan karena pada laju tersebut kalor dari refrigeran sudah tidak mampu lagi mengimbangi kebutuhan kalor untuk memanaskan air, sehingga kalor pemanasan menjadi menurun

Kalor Terbuang yang dapat Dimanfaatkan

a) Kalor total yang dibuang di kondensor

Diketahui :

Cooling capacity alat uji $Q_e = 18000 \text{ BTU/h}$
 $= 316.500 \text{ J/menit}$

Data refrigeran pada saat pengambilan data :

- Kondensor :	- Evaporator :
$P_{in} = 14 \text{ Bar}$	$P_{in} = 4,48 \text{ Bar}$
$T_{in} = 93,22 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{in} = 3,22 \text{ }^\circ\text{C}$
$P_{out} = 12 \text{ Bar}$	$P_{out} = 2,68 \text{ Bar}$
$T_{out} = 31 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{out} = 9,33 \text{ }^\circ\text{C}$

Dari diagram p-h R-22 , didapat :

$h_1 = 412 \text{ kJ/kg} = 412.000 \text{ J/kg}$
 $h_2 = 462 \text{ kJ/kg} = 462.000 \text{ J/kg}$
 $h_3 = h_4 = 240 \text{ kJ/kg} = 240.000 \text{ J/kg}$

Maka, dapat ditentukan laju aliran massa refrigeran sebagai berikut (Arora, 2001:18; Stoecker, 1998:613) :

$$Q_e = \dot{m}_{ref} \cdot (h_1 - h_4) \quad (2)$$

$$316.500 \text{ J/menit} = \dot{m}_{ref} \cdot (412.000 \text{ J/kg} - 240.000 \text{ J/kg})$$

$$316.500 \text{ J/menit} = \dot{m}_{ref} \cdot 172.000 \text{ J/kg}$$

$$\dot{m}_{ref} = \frac{316.500 \text{ J/menit}}{172.000 \text{ J/kg}} = 1,84 \text{ kg/menit}$$

Dengan mengetahui laju aliran massa refrigeran, maka dapat ditentukan kalor total yang terbuang di kondensor sebagai berikut :

$$Q_c = \dot{m}_{ref} \cdot (h_2 - h_3) \quad (3)$$

$$Q_c = 1,84 \text{ kg/mnt} \cdot (462.000 \text{ J/kg} - 240.000 \text{ J/kg}) = 1,84 \text{ kg/menit} \cdot (222.000 \text{ J/kg}) = 408.480 \text{ J/menit}$$

Jadi kalor yang terbuang di kondensor adalah sebesar 408.480 J/menit.

b) Prosentase kalor yang dapat dimanfaatkan.

Dengan mengetahui kalor yang terbuang di kondensor dan kalor total yang diperlukan/digunakan untuk memanaskan air, maka dapat ditentukan prosentase kalor terbuang yang dapat dimanfaatkan sebagai berikut :

- Contoh; Untuk laju aliran air 0,5 ltr/mnt.

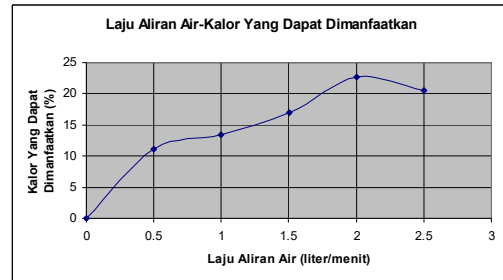
Diketahui :

Kalor yang digunakan, $Q_{0,5} = 45.150 \text{ J/mnt}$
 Kalor total yang terbuang, $Q_c = 408480 \text{ J/mnt}$
 maka :

Prosentase kalor yang dapat dimanfaatkan =

$$\frac{Q_{0,5}}{Q_c} \times 100 \% = \frac{45.150 \text{ J/menit}}{408.480 \text{ J/menit}} \times 100 \% = 11,05 \%$$

Dengan cara yang sama, maka untuk masing-masing laju aliran air hasilnya dapat ditabelkan seperti berikut ;



Gambar 9

Hubungan Laju Aliran Air dengan Kalor yang dapat Dimanfaatkan.

Dari gambar diatas, bahwa semakin besar laju aliran air maka prosentase kalor yang bisa dimanfaatkan cenderung akan semakin besar karena kebutuhan kalor untuk pemanasan juga besar dan semakin kecil laju aliran air maka prosentase kalor yang bisa dimanfaatkan cenderung akan menurun karena kebutuhan kalor untuk pemanasan juga kecil. Kecuali pada laju aliran air 2,5 liter/menit prosentase kalornya menurun, itu disebabkan karena kalor dari refrigeran sudah tidak bisa mengimbangi kebutuhan kalor untuk pemanasan pada laju tersebut

Kesimpulan

Dari pembahasan di atas, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Temperatur air maksimum yang dapat dicapai 47,5 °C pada laju aliran air 0,5 liter/menit, 39°C pada laju aliran air 1 liter/menit, 37°C pada laju aliran air 1,5 dan 2 liter/menit, dan 34 °C pada laju aliran air 2,5 liter/menit.
- Kalor yang diperlukan untuk mencapai temperatur tersebut adalah ; untuk laju aliran air 0,5 ltr/menit = 45.150 J/mnt, 1 ltr/mnt = 54.600 J/mnt, 1,5 ltr/mnt = 69.300 J/mnt, 2 ltr/mnt = 92.400 J/mnt.- 2,5 lte/mnt = 84.000 J/mnt.
- Kalor yang terbuang di kondensor adalah sebesar 408.480 J/menit dan kalor yang dapat dimanfaatkan untuk laju aliran air 0,5 liter/menit adalah 45.150 J/menit (11,05 %), laju aliran air 1 liter/menit adalah 54.600 J/menit (13,37 %), laju aliran air 1,5 liter/menit adalah 69.300 J/menit (16,97 %),

- laju aliran air 2 liter/menit adalah 92.400 J/menit (22,62 %), dan laju aliran air 2,5 liter/menit adalah 84.000 J/menit (20,56 %)
- d. Pencapaian temperatur maksimum air dipengaruhi oleh besar kecilnya laju aliran air. semakin besar laju aliran air maka temperatur maksimum yang bisa dicapai juga semakin rendah dan sebaliknya semakin kecil laju aliran air maka temperatur maksimum air yang dicapai juga semakin tinggi.
- e. Dari prosentase kalor yang dapat dimanfaatkan bahwa semakin besar laju aliran air maka prosentase kalor yang dapat dimanfaatkan semakin besar. Itu di sebabkan karena kebutuhan kalor pemanasan juga semakin besar dan semakin kecil laju aliran air maka prosentase kalor yang dapat dimanfaatkan juga semakin kecil karena kebutuhan kalor untuk pemanasan juga kecil. Kecuali pada laju aliran air 2,5 liter/menit prosentasenya menurun. Itu disebabkan karena kalor dari refrigeran sudah tidak mampu lagi mengimbangi kebutuhan kalor untuk memanaskan air sehingga kalor yang diperlukan terlihat menurun, akibatnya prosentase kalor yang dapat dimanfaatkan juga akan menurun

- Stoecker, W.F., 1998, *Industrial Refrigeration Handbook*, McGraw-Hill Companies, Inc. United States of America.
- Therma-stor LLC, 2006, *Heat Recovery Water Heater*, www.thermastor.com
- Indartono, Y.S., 2006, *Perkembangan Terkini Teknologi Refrigerasi (2) Pengkondisian Udara (AC)*, www.beritaipetek.com

Daftar Pustaka

- Dincer, I., 2003, *Refrigeration System and Applications*, Departement of Mechanical Engineering, KFUPM, Saudi Arabia.
- Arora, C. P., 2001, *Refrigeration and Air Conditioning*, Second edition, McGraw-Hill International Editions, Singapore.
- ASHRAE, 2005, *Handbook of Refrigeration*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA.
- Jamigan, R.E., *Heat Recovery from Air Conditioning Units*, Florida Cooperative Extension Service Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
- Kurmi, R.S., dan Gupta, J.K., 2006, *A Textbook of Refrigeration and Air Conditioning*. First Multicolour Revised & Updated Edition, Eurasia Publishing House (P) Ltd. Ram Nagar, New Delhi – 110055.
- Pita, E. G., 1981, *Air Conditioning Principles and System: an Energy Approach*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Stoecker, W.F., dan Jones, J.W., 1989, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta.