

ANALISA KINERJA REFRIGERASI WATER CHILLER PADA PT GMF AEROASIA

Ali Nugroho

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana, Jakarta

E-mail: nugrohoali45@yahoo.com

Abstrak - Pengkondisian udara merupakan salah satu hal yang paling penting dalam suatu industri atau gedung, khususnya pada suatu gedung perkantoran. Karena dengan sistem pengkondisian udara yang baik akan menghasilkan udara segar yang akan memperoleh kenyamanan bagi manusia, mesin, maupun lingkungan yang berada disekitar. Karena dengan tingkat kenyamanan yang baik akan meningkatkan kinerja dari mesin yang digunakan. Ketidak sesuaian pola pengoperasian sistem refrigerai pada saat perancangan dengan keadaan aktual merupakan salah satu penyebab tingginya konsumsi energi listrik, oleh karena itu perlu dilakukan analisa performansi pada sistem refrigerasi di sana agar dapat diketahui apakah energi yang digunakan sudah efisien. Untuk menganalisa kinerja mesin water chiller ini dilakukan dengan pengamatan langsung terhadap panel control water chiller selama empat jam sekali secara continue selama lima hari. Dan dilakukan perhitungan dari data tersebut untuk mengetahui nilai effisiensinya yaitu: COP, laju aliran refrigerant, kalor yang diserap evaporator dan kondensor, kerja yang dilakukan kompresor, daya yang dibutuhkan kompresor, dan laju aliran volume air cooling water. Kinerja chiller yang baik mempunyai efisiensi yang dapat dipengaruhi antara lain oleh: temperatur air keluar evaporator, dan temperatur air masuk kondensor. Hasil penelitian hari sabtu diperoleh nilai COP = 8,04, P_{ref} = 0,44 kW/TR, TR = 112,961 TR, dan laju massa refrigerant evaporator = 2,415 kg/s, kerja yang dilakukan kompresor = 49,395kW, laju aliran volume cooling tower = 94,613 m³/jam, dan laju aliran volume make-up water = 0,567 m³/jam. Maka di simpulkan semakin rendah temperatur refrigerant di kondensor maka akan semakin bagus juga nilai COP yang dihasilkan (KW/TR semakin rendah), karena kerja kompresor yang dibutuhkan akan lebih rendah.

Kata kunci: beban pendinginan, unjuk kerja, COP, water chiller.

1. PENDAHULUAN

Efisiensi konsumsi Untuk menghemat penggunaan energy terutama pada sitem tata udara, perlu adanya penghitungan efisiensi energi pada sistem refrigerasi. "PT GMF AEROASIA" merupakan salah satu gedung yang menggunakan sebagian besar energi listrik untuk menjalankan sistem refrigerasi sehingga diperlukan suatu analisa energi untuk mengetahui tingkat efektifitas dan energinya. Dengan melakukan analisa energi pada "Water Chiller" yang digunakan dalam sistem refrigerasi pada gedung tersebut, dapat diketahui sumber pemborosan energi yang mungkin terjadi.

Efisiensi energi pada sistem refrigerasi, sebelumnya telah dibahas oleh beberapa peneliti. Menurut Retno Hamidah (2010), melakukan penelitian pada Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya dengan melakukan audit dan konservasi pada system tata udara dan sistem refrigerasi. Dari pembahasan Rianto (2007), dapat disimpulkan bahwa sistem refrigerasi pada bangunan besar memang membutuhkan efisiensi energi. Pengoprasian pengkondisian udara yang benar (sesuai dengan spesifikasinya), perawatan yang teratur, perhitungan yang benar pada cooling load dapat menentukan spesifikasi pengkondisian udara yang akan digunakan sehingga merupakan salah satu cara untuk

melakukan efisiensi energi. Pemakaian energi yang semakin efisien akan mendukung upaya pemerintah untuk melakukan penghematan energi. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk memperdalam dan mengetahui efisiensi Chiller tipe water cooler yang digunakan pada PT GMF AEROASIA agar dapat dilakukan penghematan energy secara efisien tanpa mengurangi kenyamanan. Permasalahan yang akan dibahas diantaranya:

1. Apakah efisiensi aktual mesin refrigerasi pada PT GMF AEROASIA sama dengan efisiensi desainya.
2. Bagaimanakah perbedaan COP chiller sebelum maupun sesudah dilakukannya maintenance.

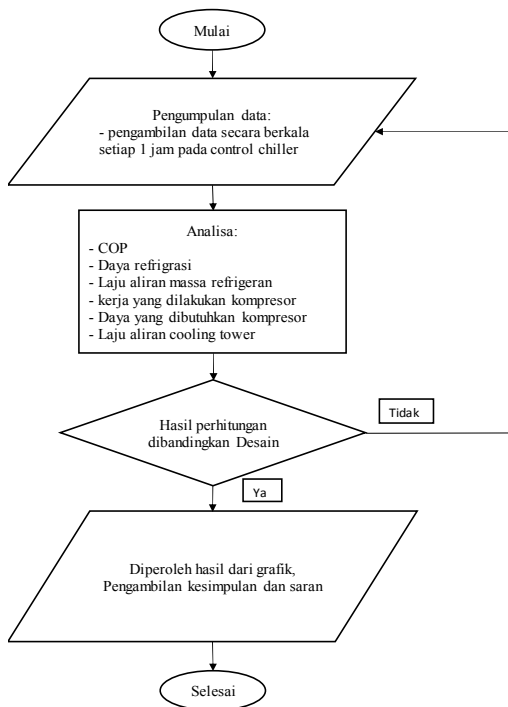
Efisiensi energi merupakan lingkup yang sangat luas untuk diteliti, beberapa batasan-batasan yang meliputi:

1. Pengukuran dan penganalisaan data yang dilakukan adalah pada Sistem Refrigerasi saja (mesin chiller, Pompa distribusi dan pompa sirkulasi).
2. Sistem Refrigerasi yang diukur dan dianalisa hanya pada *water chiller* yang berjenis *centrifugal chiller hitachi* type HC-FS20EC40M201G.

3. Pompa dianggap bekerja sesuai dengan rancangannya sehingga data yang diambil hanya data idealnya saja.
4. Data yang digunakan berdasarkan pengambilan data selama 5 hari untuk satu mesin chiller.

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah melakukan perhitungan pada kinerja mesin pada sistem refrigerasi *water chiller* yang berjenis *centrifugal chiller Hitachi* type HC-FS20EC40M201G pada PT GMF AEROASIA dan mengetahui perbedaan COP chiller sebelum sampai sesudah dilakukannya maintenance.

Berikut ini diagram alir yang menggambarkan kegiatan penelitian yang dilakukan untuk mengetahui performance chiller berpendingin air.



2. METODOLOGI PENELITIAN

Dari penelitian yang dilakukan, ada sumber-sumber data yang diperoleh dan dibawah ini adalah data yang diperoleh dari spesifikasi PT GMF AEROASIA, yaitu:

1. Data Gedung
 - Jenis bangunan : Perkantoran umum
 - Lokasi : PT GMF AEROASIA
 - Bahan dinding : Building Board
 - Jam operasi : 24 jam
 - Luas bangunan :

Tabel 1 luas dan beban gedung

Tabel 2 Schedule water cooled chiller

No.	Lokasi	Luas (M2)	Beban (TR)		Remark
			Office	Terpasang	
1	Hanggar 1	1110	55,5	100	
2	Hanggar 2	5450	272,5	320	
3	Hanggar 3	3300	165	270	
4	General Store	12960	648	595	
5	WS 2	11664	583,2	520	
6	WS 1	486	24,3	25	
7	GSE	1344	67,2	65	
8	Utility	1215	60,75	75	
Jumlah		37529	1876,45	1970	

Tabel 3 Schedule cooling tower

		CH1	CH2
Type		CounterFlow	CounterFlow
Teknikal Data	CW in (°CDB)	35	35
	CW out (°CDB)	30	30
	Ambient Wbtempa (°CDB)	28	28
	Flowrate (L/S)	45,5	45,5
	Max. Drift Loses (%)	0,0002	0,0002
Fan Motor	Motor	KW/Phase	
	Jumlah Fan	1	1
	Max. RPM	1440	1440
	Type	TEFC	TEFC
	Volt/Phase	380/3	380/3
Spesifikasi	Enclosure Rating	P56	P56
	Konstruksi	UPVC	UPVC
	Basin	FRP	FRP
Jumlah Cell	Fan Blade	Aluminium	Aluminium
		1	1

Hasil Pengamatan

Dari pengamatan yang dilakukan setiap pukul 10.00 s/d 13.00WIB dari tanggal 1 s/d 5 November 2014 pengamatan tersebut didapati data pada panel control chiller, sebagai berikut:

Tabel 4 Data pengukuran Tanggal 1 November 2014

NO	DESCRIPTION	UNIT	01/11/2014			
			10.00	11.00	12.00	13.00
EVAPORATOR SCREEN						
1	Leaving water temp.	°F	44.6	45	45.3	45.4
2	Return water temp.	°F	49.82	51.7	54.2	54.4
3	Small temp. diff.	°F	0.7	0.6	0.9	0.9
4	Pressure	Psig	38.4	37.9	38.1	37.6
5	Saturation	°F	43.7	43.3	43.4	42.9
6	Refrigerant temp.	°F	87.5	88.5	88.3	89.9
7	Water pressure in	kgf/cm ²	0.8	0.8	0.76	0.78
8	Water pressure out	kgf/cm ²	0.11	0.11	0.11	0.13
9	Delta P	kgf/cm ²	0.69	0.69	0.65	0.65
CONDENSER SCREEN						
10	Return water temp.	°F	84.2	84.5	85.1	86.5
11	Leaving water temp.	°F	91.4	94.2	94.9	96.0
12	Saturation	°F	96.3	96.5	96.8	98.7
13	Small temp. diff.	°F	2.9	2.4	2.6	2.4
14	Pressure	Psig	117.5	117.5	118.2	121.7
15	Water pressure in	kgf/cm ²	0.69	0.71	0.73	0.73
16	Water pressure out	kgf/cm ²	0.29	0.29	0.29	0.29
17	Delta P	kgf/cm ²	0.4	0.42	0.44	0.44
COMPRESSOR SCREEN						
18	Discharge temp.	°F	114.3	115.0	114.2	117.0
19	Discharge super heat	°F	17.3	18.2	18.2	18.0
20	Slide valve position	%	A	A	A	A
OIL SUMP SCREEN						
21	Oil pressure	Psig	119.0	116.8	119.4	121.7
22	Diff. oil pressure	Psid	81.7	78.4	81.9	84.0
23	Filter pressure					
24	Diff. filter pressure	Psid	3.4	3.4	4.0	3.9
25	Oil temperature	°F				
26	Delta P	Psid				
MOTOR SCREEN						
27	Full Load Ampere	%	88	86	95	97

3. ANALISIS DATA

Dari pengambilan data didapat data-data sebagai berikut: (Sabtu, 01/11/2014)

- Tekanan evaporator: $P_{\text{evap}} = 38,4 \text{ Psig} = 38,4 + 14,7 = 53,1 \text{ Psia}$
- Laju aliran evaporator desain : $Q_{\text{evap}} = 36 \text{ l/s} = 570,61 \text{ GPM}$
- Penurunan Tek. Evaporator desain : $P_{\text{desain}} = 80 \text{ kPa} = 26,76 \text{ ft}$
- Penurunan Tek. Evaporator aktual : $P_{\text{aktual}} = 0,69 \text{ kgf/cm}^2 = 22,63 \text{ ft}$
- Temperatur evaporator : $T_{\text{evap}} = 279,65 \text{ }^\circ\text{K}$
- Temperatur in. Evaporator : $T_{\text{in}} = 283,05 \text{ }^\circ\text{K}$
- Temperatur out. Evaporator : $T_{\text{out}} = 280,15 \text{ }^\circ\text{K}$
- Tekanan kondensor : $P_{\text{cond}} = 117,5 \text{ Psig} = 117,5 + 14,7 = 132,2 \text{ Psia}$
- Laju aliran kondensor desain : $Q_{\text{cond}} = 45,5 \text{ l/s} = 721,189 \text{ GPM}$
- Penurunan Tek. Kondensor desain : $P_{\text{desain}} = 75 \text{ kPa} = 25,091 \text{ ft}$
- Penurunan Tek. Kondensor aktual : $P_{\text{aktual}} = 0,4 \text{ kgf/cm}^2 = 13,12 \text{ ft}$
- Temperatur kondensor : $T_{\text{cond}} = 308,87 \text{ }^\circ\text{K}$
- Temperatur in. kondensor : $T_{\text{in}} = 306,15 \text{ }^\circ\text{K}$
- Temperatur out. Kondensor : $T_{\text{out}} = 302,15 \text{ }^\circ\text{K}$

Berdasarkan diagram tekanan-enthalpi (P-H Diagram) Refrigerant HFC-134a (R134a) diperoleh data sebagai berikut:

- Enthalpi uap jenuh $T_{\text{evap}} : h_1 = 412,05 \text{ kJ/kg}$
- Enthalpi uap jenuh $T_{\text{cond}} : h_2 = 432,503 \text{ kJ/kg}$
- Enthalpi cair jenuh $T_{\text{cond}} : h_3 = 247,574 \text{ kJ/kg}$

Maka dari data diatas didapat besarnya nilai:

1. Coefficient of performance (COP) atau koefisiensi prestasi siklus keseluruhan adalah:

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{\text{efek refrigrasi}}{\text{daya kompresor}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \\ &= \frac{(412,05 - 247,574) \text{ kJ/kg}}{(432,503 - 412,05) \text{ kJ/kg}} \\ &= \frac{164,476}{20,453} = 8,041 \end{aligned}$$

2. Daya refrigerasi siklusnya adalah:

$$P_{\text{ref}} = \frac{3,516}{\text{COP}} = \frac{3,516}{8,041} = 0,437 \text{ kW/TR}$$

3. Laju aliran massa refrigerant untuk setiap 1 ton refrigerasi adalah:

$$Q_{\text{desain}} = k \times \sqrt{PD_{\text{desain}}}$$

Dimana

$$Q_{\text{desain}} = \text{laju aliran desain (GPM)}$$

$$PD_{\text{desain}} = \text{penurunan tekanan (ft)}$$

k = konstanta

Untuk evaporator :

$$\begin{aligned} k &= \frac{Q_{\text{desain}}}{\sqrt{PD_{\text{desain}}}} = \frac{570,61}{\sqrt{26,764}} = 110,305 \\ Q_{\text{aktual}} &= k \times \sqrt{PD_{\text{aktual}}} \\ &= 47,45 \times \sqrt{22,63} \\ &= 523,37 \text{ GPM} \end{aligned}$$

Kalor yang dilepas air pada evaporator :

$$\begin{aligned} \text{GPM} &= \frac{\text{TR} \times 24}{\frac{\Delta T}{\text{GPM} \times \Delta T}} \\ \text{TR} &= \frac{523,37 \times 5,2}{24} = \frac{24}{49,095 \text{ TR}} \\ &= 49,095 \text{ TR} \times 3,516 \\ &= 112,96 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dengan mengasumsikan kalor yang dilepas air pada evaporator sama dengan kalor yang diberikan refrigerant maka laju aliran massa refrigerant adalah :

$$\begin{aligned} Q_{\text{evap,air}} &= Q_{\text{evap.}} \\ 397,27 &= m_r \times (h_1 - h_4) \\ m_r &= \frac{397,297 \text{ kJ/s}}{(412,05 - 247,574) \text{ kJ/kg}} \\ &= 2,415 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Untuk kondensor :

$$\begin{aligned} k &= \frac{Q_{\text{desain}}}{\sqrt{PD_{\text{desain}}}} = \frac{721,189}{\sqrt{25,0914}} = 143,97 \\ Q_{\text{aktual}} &= k \times \sqrt{PD_{\text{aktual}}} \\ &= 143,97 \times \sqrt{13,12} \\ &= 521,57 \text{ GPM} \end{aligned}$$

Kalor yang dilepas air pada kondensor:

$$\begin{aligned} \text{GPM} &= \frac{Q_{\text{cond}} \times 30}{\frac{\Delta T}{\text{GPM} \times \Delta T}} \\ Q_{\text{cond}} &= \frac{521,57 \times 7,2}{30} = \frac{30}{125,155 \text{ TR} \times 3,516} \\ &= 440,22 \text{ kW} \\ &\approx \text{kJ/s} \end{aligned}$$

Dengan mengasumsikan kalor yang dilepas pada kondensor sama dengan kalor yang diserap refrigerant maka laju aliran massa refrigerant adalah:

$$\begin{aligned} Q_{\text{cond,air}} &= Q_{\text{cond.}} \\ 440,22 &= m_r \times (h_2 - h_3) \\ m_r &= \frac{440,047 \text{ kJ/s}}{(432,503 - 247,574) \text{ kJ/kg}} \\ &= 2,385 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

4. Kerja yang dilakukan kompresor dengan proses kompresi isentropik:

$$\begin{aligned} W_{\text{komp.}} &= h_2 - h_1 \\ &= (432,503 - 412,05) \text{ kJ/kg} \\ &= 20,451 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

6. Daya yang dibutuhkan kompresor untuk siklus refrigerasi :

$$\begin{aligned}
 P_{komp.} &= m_r \times (h_2 - h_1) \\
 &= 2,385 \text{ kg/s} \times 20,451 \text{ kJ/kg} \\
 &= 48,77 \text{ kJ/s}
 \end{aligned}$$

7. Laju aliran volume air pengkondensasi (condensing/cooling water) :

$$\begin{aligned}
 V_{cooling \text{ water}} &= \frac{Q_{kond.}}{1(\text{kcal/l}^\circ\text{C}) \times \Delta T_{cooling \text{ tower}}} \\
 ; \text{dimana } 1\text{kW} &= 859,68\text{kcal/jam} \\
 &= \frac{440,22 \times 859,68\text{kcal/jam}}{1(\text{kcal/l}^\circ\text{C}) \times (33 - 29)^\circ\text{C}} \\
 &= 94612,082 \text{ liter/jam} ; \text{dimana } 1 \text{ liter} \\
 &= 10^{-3}\text{m}^3 \\
 &= 94,612 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

8. Laju aliran volume air penambah untuk cooling tower (make-up water).

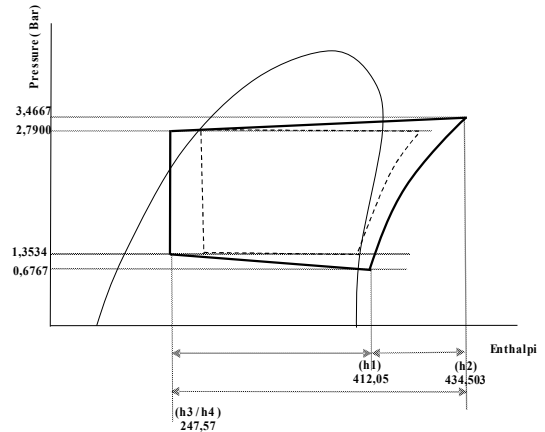
Jika di asumsikan pada sistem terjadi losses water pada sirkulasi air di unit cooling tower yang dikarenakan losses akibat penguapan (evaporation) sebesar 1%, arus lepas air (drift) sebesar 0,2% dan akibat kebocoran (bleed off) sebesar 0,3% untuk tiap selisih temperatur inlet dan outlet cooling water sebesar 10°C maka sistem membutuhkan air penambah untuk cooling tower (make up water). Jika diketahui $\Delta T_{cooling \text{ tower}} = (33 - 29)^\circ\text{C} = 4^\circ\text{C}$

dan apabila dianggap perbedaan temperatur tersebut nilainya sebanding dengan besarnya losses yang terjadi maka total losses water pada sistem adalah:

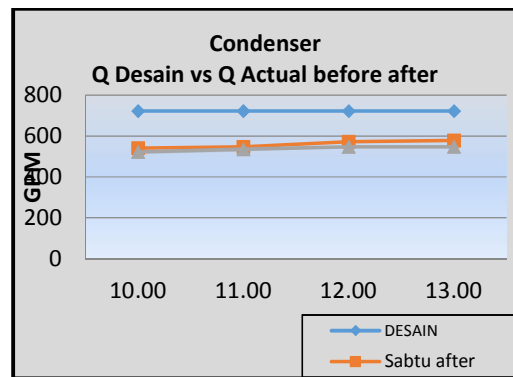
$$\begin{aligned}
 \text{loses}_{total} &= \frac{4^\circ\text{C}}{10^\circ\text{C}} \times (\text{losses}_{evaporator} \\
 &\quad + \text{losses}_{drift} \\
 &\quad + \text{losses}_{bleedoff}) \\
 &= 0,4 \times (1\% + 0,2\% + 0,3\%) \\
 &= 0,6\%
 \end{aligned}$$

Maka laju aliran penambah untuk cooling tower (make-up water) adalah:

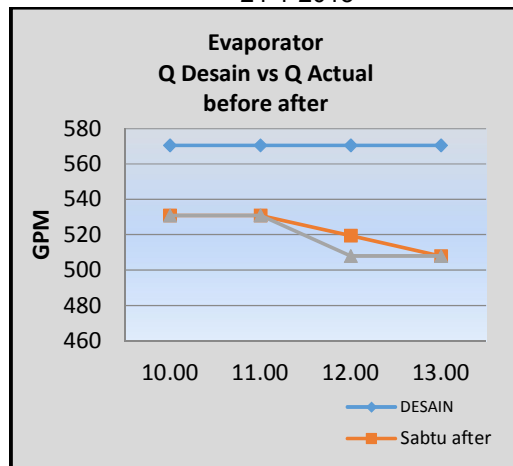
$$\begin{aligned}
 V_{makeup \text{ water}} &= \text{losses}_{total} \times V_{cooling \text{ water}} \\
 &= 0,006 \times 94,612 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 &= 0,5677 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$



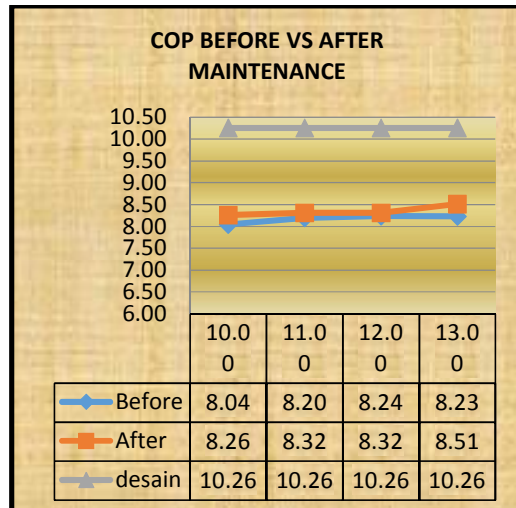
Gambar 1 Diagram p-h hari sabtu jam 10.00



Gambar 2. Grafik Condenser Q Desain vs Q Actual before after 24-1-2015



Gambar 3. Grafik Evaporator Q Desain vs Q Actual before after 24/1/2015



Gambar 4. Grafik COP
before after maintenance 24/1/2015

3. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisa dapat ditarik sejumlah kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin tinggi temperatur refrigerant di evaporator maka akan semakin bagus juga nilai COP yang dihasilkan, karena efek refrigerasi yang dihasilkan lebih besar, sementara kerja kompresor yang dibutuhkan lebih rendah.
2. Semakin rendah temperatur refrigerant di kondensor maka akan semakin bagus juga nilai COP yang dihasilkan, karena kerja kompresor yang dibutuhkan akan lebih rendah.
3. Apabila temperatur air masuk kondensor semakin rendah (temperatur air yang disuplai oleh cooling tower) maka efisiensi (COP) akan semakin tinggi (KW/TR semakin rendah). Hal ini disebabkan oleh condensing temperatur yang semakin rendah.

4. Jika temperatur air keluar evaporator lebih tinggi maka efisiensi (COP) akan semakin tinggi (KW/TR semakin rendah). Hal ini disebabkan oleh evaporating temperatur yang makin tinggi.
5. Apabila laju aliran air di kondensor semakin tinggi maka efisiensi (COP) akan semakin tinggi (KW/TR semakin rendah).
6. Perbandingan COP antara sebelum maupun sesudah maintenance dapat dilihat dari performance, hanya saja tidak signifikan perubahan yang didapatkan.

4. DAFTAR PUSTAKA

1. Agus, R. (2007). *Audit Energi dan Analisis Peluang Penghematan Konsumsi Energi pada Sistem Pengkondisian Udara di Hotel Santika Premiere Semarang*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
2. ASHRAE. (1997-2000). *Fundamentals Handbook*. ASHRAE Inc.
3. Effendy, Marwan. (2005). *Pengaruh Kecepatan Putar Poros Kompresor Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin AC*. Kartosuro: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
4. Hamidah, Retno (2010). *Efisiensi Energi pada Sistem Refrigerasi Studi Kasus Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
5. Margoyungan, Mahdi. (2008). *Perencanaan Unit Mesin Pendingin Untuk Kebutuhan Pengkondisian Udara Kantor ADPEL di Medan*. Medan: Universitas Sumatra Utara.
6. Moran, M.J and Shapiro, H.N. (1996). *Fundamental of Engineering Thermodynamics Third Edition*. New York: John Willey and Sons inc.
7. Stoecker, Wilbert. F. (1989). *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Jakarta: Erlangga.