



**KAJIEKSPERIMENTAL PENGARUH PERUBAHAN TEMPERATUR KELUAR EVAPORATOR  
TERHADAP UNJUK KERJA KOMPRESOR ROTARY (SANYO C1R55H4C)  
AIR COOLED CHILLER DENGAN REFRIGERAN R-22  
PADA TEMPERATUR KELUAR KONDENSOR 28°C**

Syaiful<sup>1)</sup>

**Abstract**

*The Technology of refrigeration and the air condition are one of technology that very required by human being. The air condition with the system indirectly is one of the solution to take care of the security of systems refrigeration from leakage refrigerant, where with this systems emitting a stream of in coresponding pipe in room is water, this systems we recognize with Air Cooled Chiller.*

*Air-Cooled Chiller is the systems of room refrigeration where water are the refrigerant sekunder which have been made cool in evaporator. At this evaporator is happened the heat transfer which have low temperature, where water made cool by refrigerant. After that, the water conducted with the pump into coil cooler, that referred as FCU ( fan of unit coil ) to make cool the room.*

*The study of eksperimental conducted at this systems Air Cooled Chiller use the refrigerant R-22 with the variation of temperature go out from evaporator and take care of constant of temperature go out from condensor at position 28°C. This matter is aim to know the performance of Air Cooled Chiller systems by using refrigerant R-22. Besides that the examination is aim to know the process of cycle compretion condense that happened at this systems. Result obtained from this examination is with the existence of burden refrigeration become greater, the go out of temperature from evaporator ( T<sub>1</sub>) will go up, so with the increase of T<sub>1</sub> the permormance or COP from this machine also being of increase.*

**NOMENKLATUR**

- COP = Koefisien Prestasi
- h = Entalpi (kJ/kg)
- $\dot{m}$  = Laju aliran massa (kg/s)
- P = Tekanan (Mpa)
- q<sub>c</sub> = Laju aliran kondensasi (w)
- q<sub>e</sub> = Laju aliran evaporasi (w)
- RE = Efek refrigerasi (kJ/kg)
- T = Temperatur (°C)

**LATARBELAKANG**

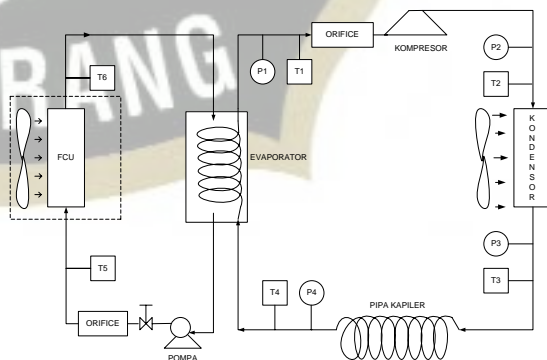
Teknologi refrigerasi dan pengkondisian udara merupakan salah satu teknologi yang sangat dibutuhkan manusia, yang sejak abad 20-an mengalami kemajuan yang sangat pesat, khususnya setelah *du Pont* memperkenalkan keluarga *chloro-fluoro-carbon*, yang disebut CFC dengan nama dagang Freon sebagai refrigeran.

Pengkondisian udara dengan sistem tidak langsung merupakan teknologi lama sebagai salah satu solusi untuk menjaga keamanan sistem refrigerasi. Pada sistem refrigerasi ini, refrigeran tidak langsung berhubungan dengan ruang yang akan dikondisikan. refrigeran digunakan untuk mendinginkan air (refrigeran sekunder) hingga mencapai temperatur tertentu, kemudian refrigeran sekunder dialirkan ke koil – koil pendingin yang berada didalam ruangan. Pada mesin pendingin ini proses pendinginan air terjadi pada evaporator, dimana kalor air yang diserap digunakan untuk penambahan kalor refrigeran pada

tekanan konstan sehingga penguapan refrigeran menuju ke fase uap jenuh. Hal ini bertujuan untuk mengetahui prinsip kerja ruangan pendingin *Air Cooled Chiller* dan juga untuk mengetahui perubahan temperatur keluar evaporator terhadap unjuk kerja kompresor *rotary* (Sanyo C1R55H4C) pada mesin ini dengan menggunakan Refrigeran R-22 pada Temperatur Keluar kondensor konstan 28°C.

**TINJAUAN PUSTAKA**

*Air Cooled Chiller* adalah sebuah sistim pendingin yang terdiri dari beberapa komponen utama, seperti halnya pada AC pada umumnya yaitu evaporator, kondensor, kompresor serta alat ekspansi. Dua diantaranya evaporator dan kondensor merupakan alat penukar kalor. Gambar dibawah memperlihatkan skema *Air Cooled Chiller* dengan air sebagai media pendingin ruangan.



Gb.1. Diagram alat uji

<sup>1)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

### Siklus Kompresi Uap Standar (Teoritis)

Siklus kompresi uap standar merupakan siklus teoritis, dimana pada siklus tersebut mengasumsikan beberapa proses sebagai berikut:

- 1–2 merupakan proses kompresi *adiabatic* dan *reversible*, dari uap jenuh menuju ke tekanan kondensor.
- 2–3 merupakan proses pelepasan kalor reversibel pada tekanan konstan, menyebabkan penurunan panas lanjut (*desuperheating*) dan pengembunan refrigerasi.
- 3–4 merupakan proses ekspansi *unreversibel* pada entalpi konstan, dari fase cair jenuh menuju tekanan evaporator.
- 4 – 1 merupakan proses penambahan kalor reversibel pada tekanan konstan yang menyebabkan terjadinya penguapan menuju uap jenuh.

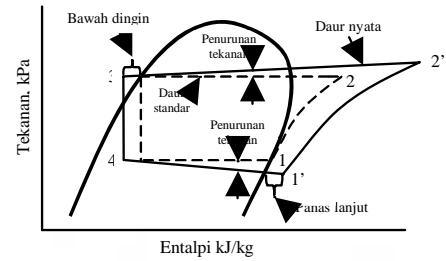


Gb.2.P-h diagram siklus kompresi uap standar.<sup>[10]</sup>

### Siklus Kompresi Uap Aktual

Siklus kompresi uap yang sebenarnya (aktual) berbeda dari siklus standar (teoritis). Perbedaan ini muncul karena asumsi – asumsi yang ditetapkan dalam siklus standar. Pada siklus aktual terjadi pemanasan lanjut uap refrigeran yang meninggalkan evaporator sebelum masuk ke kondensor. Pemanasan lanjut ini terjadi akibat tipe peralatan ekspansi yang digunakan atau dapat juga karena penyerapan panas dijalar masuk (*suction line*) antara evaporator dan kompresor. Begitu juga dengan refrigeran cair mengalami pendinginan lanjut atau bawah dingin sebelum masuk katup ekspansi atau pipa kapiler. Keadaan diatas adalah peristiwa yang normal dan melakukan fungsi yang diinginkan untuk menjamin bahwa seluruh refrigeran yang memasuki kompresor atau alat ekspansi dalam keadaan 100% uap atau cair.

Perbedaan yang penting antara daur nyata (aktual) dan standar terletak pada penurunan tekanan didalam kondensor dan evaporator. Daur standar dianggap tidak mengalami penurunan tekanan pada kondensor dan evaporator, tetapi pada daur nyata terjadi penurunan tekanan karena adanya gesekan antara refrigeran dengan dinding pipa. Akibat dari penurunan tekanan ini, kompresi pada titik 1 dan 2 memerlukan lebih banyak kerja dibandingkan dengan daur standar.



Gb.3. Perbandingan siklus aktual dan siklus standar<sup>[10]</sup>

### Karakteristik Unjuk Kerja Kompresor

Karakteristik prestasi masing – masing komponen yang membentuk sistem kompresi uap tidak bekerja sendiri, tetapi bergabung dalam suatu sistem, sehingga perilakunya saling bergantung satu sama lain. Prestasi keseluruhan sistem dapat diperkirakan, jika prestasi masing masing komponen penyusun sistim telah diketahui.

Hal tersebut akan berguna dalam menganalisis pengaruh keadaan – keadaan luar. Sebagai contoh pengaruh perubahan temperatur udara sekitar terhadap unjuk kerja sistim atau perubahan temperatur ruangan yang dikondisikan terhadap unjuk kerja sistim.

### Karakteristik Daya Kompresor

Daya yang dibutuhkan oleh suatu kompresor ideal merupakan hasil kali antara laju aliran massa dan kenaikan entalpi selama proses kompresi

$$P = \dot{m} \Delta h_1 \quad \text{dimana } \Delta h_1 = (h_2 - h_1)$$

### Kapasitas Refrigerasi (q<sub>c</sub>)

Merupakan hasil kali antara laju aliran massa dengan efek refrigerasi;

$$q_c = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4)$$

dimana dengan  $h_1$  dan  $h_4$  masing-masing adalah entalpi dalam kilojoule per kilogram refrigeran yang meninggalkan dan yang memasuki evaporator. Dampak refrigerasi; dalam kilojoule per kilogram adalah kalor yang dipindahkan pada proses 4-1 atau  $h_1 - h_4$ , akan naik sedikit dengan naiknya tekanan hisap, asalkan entalpi yang memasuki alat ekspansi tetap konstan. Kenaikan ini disebabkan oleh entalpi uap jenuh yang sedikit lebih tinggi pada temperatur evaporator yang lebih tinggi<sup>(10, 200-201)</sup>.

### Karakteristik Coefisien of Performance (COP)

Coefisien of performance (COP) dari siklus kompresi uap standar adalah dampak refrigerasi dibagi dengan kerja kompresi:

$$COP = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)}$$

Koefisien prestasi dapat diturunkan dari kapasitas refrigerasi dan daya. Daya untuk setiap kilowatt refrigerasi merupakan kebalikan dari koefisien prestasi, dan suatu sistem refrigerasi yang efisien akan memiliki nilai daya per-kilowatt refrigerasi yang rendah, tetapi mempunyai koefisien prestasi yang tinggi.<sup>[10]</sup>

## METODOLOGI PENELITIAN

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan penelitian ini adalah: Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi:

**Pengukuran temperatur.** Temperatur yang diukur dalam sistem ini ditunjukkan pada Gambar 1. Temperatur refrigeran dan air diukur dengan menggunakan termocouple tipe K. Sebelum penelitian dilakukan, termocouple terlebih dulu dikalibrasi.

**Pengukuran tekanan.** Tekanan aliran diukur menggunakan pressure gage yang sudah dikalibrasi sebelumnya.

**Pengukuran kecepatan aliran.** Kecepatan aliran diukur dengan menggunakan orifice yang sebelumnya dikalibrasi.

**Pengukuran arus dan faktor daya.** Arus diukur dengan menggunakan multimeter digital, begitu juga dengan faktor dayanya.

Data pengukuran yang didapatkan berupa temperatur, tekanan dan beda ketinggian dam pipa U untuk mengukur kecepatan aliran. Dari temperatur dan tekanan yang diketahui dapat diperoleh entalpi refrigeran. Dari entalpi yang diketahui ini dapat ditentukan COP sistem yang merupakan parameter unjuk kerja sistem.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam melakukan pengujian ini, untuk memperoleh data yang baik pada waktu pengambilan data, kondisi temperatur maupun tekanan sudah dalam keadaan stabil. Data yang diamati dan dicatat adalah Temperatur dan tekanan keluar evaporator ( $T_1$  &  $P_1$ ), Temperatur dan tekanan keluar kompresor ( $T_2$  &  $P_2$ ), Temperatur dan tekanan keluar kondensor ( $T_3$  &  $P_3$ ), Temperatur dan tekanan masuk evaporator ( $T_4$  &  $P_4$ ), Temperatur lingkungan, Volt dan arus listrik serta Cos  $\phi$ . Untuk temperatur keluar kondensor kita jaga dalam kondisi konstan. Untuk memudahkan dalam melihat kecenderungan pengaruh perubahan temperatur keluar evaporator ( $T_1$ ) terhadap berbagai parameter yang ada di instalasi peralatan uji maka data pengujianya dibuat dalam bentuk grafik sedangkan untuk data asli dalam bentuk tabel dapat dilihat pada lampiran.

Dalam penggambaran grafik data pengujian maupun grafik analisisnya, semua grafik tersebut, temperatur keluar evaporator ( $T_1$ ) sebagai sumbu axisnya.

## Perhitungan Data Pengujian

Dari data pengujian, diambil contoh, dari temperatur keluar evaporator ( $T_1$ )  $10^\circ\text{C}$ , didapatkan data-data sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_1 &= 0.493 \text{ Mpa} & T_1 &= 10^\circ\text{C} \\ P_2 &= 2.390 \text{ Mpa} & T_2 &= 93^\circ\text{C} \\ P_3 &= 2.305 \text{ Mpa} & T_3 &= 28^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Data tekanan diatas merupakan tekanan absolut, dengan menggunakan software *Refprop 6* yaitu dengan memasukan parameter temperatur dan tekanannya akan diketahui sifat-sifat termodinamikanya dan untuk perhitungan digunakan daur kompresi nyata atau aktual.

- Pada Titik 1 (keluar evaporator atau masuk kompresor) akan diketahui entalpinya ( $h_1$ ) sebesar  $412,5 \text{ kJ/kg}$  dengan kualitas *Superheat*.
- Pada Titik 2 (keluar kompresor atau masuk kondensor) akan diketahui entalpinya ( $h_2$ ) sebesar  $454,1 \text{ kJ/kg}$  dengan kualitas *Superheat*.
- Pada Titik 3 (keluar kondensor atau masuk evaporator) akan diketahui entalpinya ( $h_3$ ) sebesar  $234 \text{ kJ/kg}$  dengan kualitas *Subcooled*.
- Pada titik 4 (masuk evaporator) karena prosesnya diasumsikan adiabatik, isentalpic, maka  $h_4 = h_3 = 234 \text{ kJ/kg}$ .

### 1. Perhitungan Dampak Refrigerasi (RE)

$$\begin{aligned} &= (h_1 - h_4) \text{ kJ/kg} \\ &= (412,5 - 234) \text{ kJ/kg} \\ &= 178,5 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

### 2. Perhitungan Kerja Kompresi

$$\begin{aligned} &= (h_2 - h_1) \text{ kJ/kg} \\ &= (454,1 - 412,5) \text{ kJ/kg} \\ &= 41,6 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

### 3. Perhitungan Laju Aliran Massa Refrigeran ( $\dot{m}$ )

Perhitungan Laju aliran massa refrigeran seperti yang tertera pada lampiran. Untuk temperatur  $T_1$   $10^\circ\text{C}$  laju aliran massa refrigerannya sebesar  $0,00564 \text{ kg/s}$ .

### 4. Perhitungan Laju Pelepasan Kalor Kondensor ( $q_c$ )

$$\begin{aligned} &= \dot{m} \cdot (h_2 - h_3) \\ &= 0,00564 \cdot (454,1 - 234) \\ &= 1,241 \text{ kW} \end{aligned}$$

### 4. Perhitungan Kapasitas Refrigerasi ( $q_e$ )

$$\begin{aligned} &= \text{Laju Aliran Massa} \times \text{RE} \\ &= 0,00564 \text{ kg/s} \times 178,5 \text{ kJ/kg} \\ &= 1,0067 \text{ kW} \end{aligned}$$

### 5. Perhitungan Daya Kompresor ( $P_K$ )

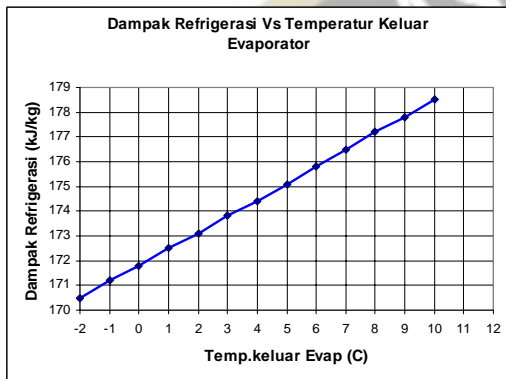
$$\begin{aligned} &= \text{Laju Aliran Massa} \times \text{Kerja Kompresi} \\ &= 0,00564 \text{ kg/s} \times 41,6 \text{ kJ/kg} \\ &= 0,235 \text{ kW} \end{aligned}$$

## 6. Perhitungan Coefisien of Performance

$$\begin{aligned}
 (\text{COP}) &= \frac{RE}{\text{Kerja.Kompresi}} \\
 &= \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} = \frac{178,5}{41,6} \frac{\text{kJ/kg}}{\text{kJ/kg}} \\
 &= 4,29
 \end{aligned}$$

### Analisa Grafik Perhitungan

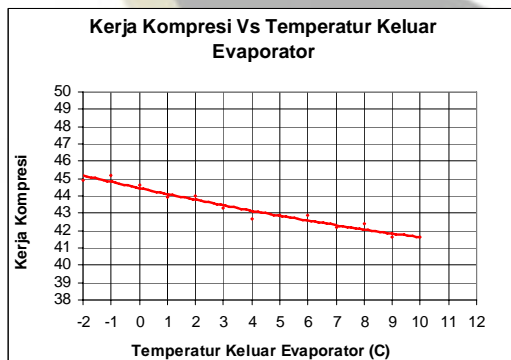
#### 1. Analisa Grafik Dampak Refrigerasi Terhadap Temperatur Keluar Evaporator ( $T_1$ )



Gb.4. Grafik  $T_1$  terhadap Dampak Refrigerasi

Gambar 4. memperlihatkan bahwa pada temperatur keluar evaporator ( $T_1$ )  $-2^\circ\text{C}$ , dampak refrigerasinya sebesar  $170,5 \text{ kJ/kg}$  dan pada temperatur keluar evaporator  $10^\circ\text{C}$  kondensor seiring dengan kenaikan temperatur  $T_1$ , dan kenaikannya sebesar  $20,6\%$  dampak refrigerasinya sebesar  $178,5 \text{ kJ/kg}$ , maka terjadi kenaikan dampak refrigerasi dengan bertambah besarnya temperatur keluar evaporator ( $T_1$ ) dimana kenaikan dampak refrigerasinya dari  $-2^\circ\text{C}$  menjadi  $10^\circ\text{C}$  sebesar  $4,69\%$ .

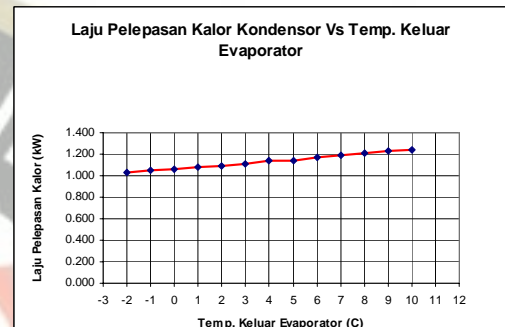
#### 2. Analisa Grafik Pengaruh Temperatur Keluar Evaporator ( $T_1$ ) Terhadap Kerja Kompresi



Gb.5. Grafik  $T_1$  terhadap Kerja Kompresi

Pada gambar Gambar 5 terlihat bahwa pada temperatur keluar evaporator ( $T_1$ )  $-2^\circ\text{C}$ , kerja kompresi sebesar  $44,9 \text{ kJ/kg}$  dan pada temperatur keluar evaporator  $10^\circ\text{C}$ , kerja kompresinya sebesar  $41,6 \text{ kJ/kg}$  maka terjadi penurunan kerja kompresi dengan bertambahnya temperatur keluar evaporator dimana penurunan kerja kompresi dari  $-2^\circ\text{C}$  menjadi  $10^\circ\text{C}$  sebesar  $7,35\%$ .

#### 3. Analisa Grafik Pengaruh Temperatur Keluar Evaporator ( $T_1$ ) Terhadap Laju Pelepasan Kalor Kondensor

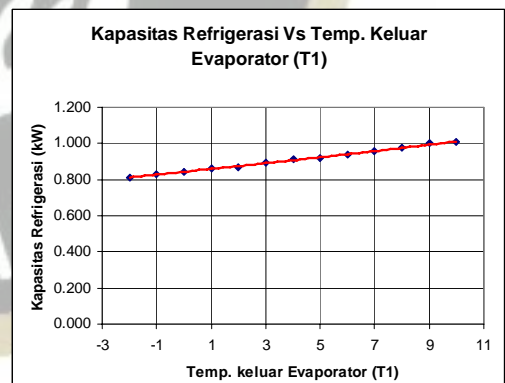


Gb.6. Grafik  $T_1$  terhadap Laju Pelepasan Kalor Kondensor

Pada Gambar 6 diatas terlihat bahwa dengan bertambahnya temperatur keluar evaporator maka laju pelepasan kalor juga meningkat / bertambah, terlihat bahwa pada temperatur keluar evaporator ( $T_1$ )  $-2^\circ\text{C}$  dan  $10^\circ\text{C}$ , masing-masing laju pelepasan kalor kondensornya sebesar  $1,028 \text{ kW}$  dan  $1,240 \text{ kW}$ .

Maka kenaikan laju pelepasan kalor Kondensor seiring dengan kenaikan temperatur  $T_1$  dengan kenaikannya sebesar  $20,6\%$

#### 4. Analisa Grafik Pengaruh Temperatur Keluar Evaporator ( $T_1$ ) Terhadap Kapasitas Refrigerasi



Gb.7. Grafik  $T_1$  terhadap Kapasitas Refrigerasi

Pada Gambar 7 diatas memperlihatkan bahwa pada temperatur keluar evaporator ( $T_1$ )  $-2^\circ\text{C}$  dan  $10^\circ\text{C}$ , kapasitas refrigerasinya masing-masing sebesar  $0,813 \text{ kW}$  dan  $1,006 \text{ kW}$ , dan kenaikan kapasitas refrigerasinya sebesar  $23,74\%$ .

## 5. Analisa Grafik Perubahan Temperatur Keluar Evaporator ( $T_1$ ) Terhadap COP

Dari Gambar 8 diatas terlihat bahwa koefisien prestasi (COP) terendah sebesar 3,80 pada temperatur keluar evaporator ( $T_1$ )  $-2^{\circ}\text{C}$  dan tertinggi sebesar 4,29 pada temperatur keluar evaporator  $10^{\circ}\text{C}$  sehingga mengalami kenaikan sebesar 12,89%. Nilai dari COP sebanding dengan dampak refrigerasi dan berbanding terbalik dengan kerja kompresinya.

## KESIMPULAN

Dari data pengujian maupun analisa pengolahan data pada temperatur keluar kondensor ( $T_3$ )  $28^{\circ}\text{C}$ , dengan memvariasikan temperatur keluar evaporator ( $T_1$ ), diketahui bahwa temperatur keluar evaporator ( $T_1$ ) mempengaruhi unjuk kerja dari sistem kompresi uap. Adapun pengaruh perubahan temperatur keluar evaporator dari  $-2^{\circ}\text{C}$  sampai  $10^{\circ}\text{C}$  menghasilkan berbagai hal sebagai berikut :

1. Laju aliran massa mengalami kenaikan 18,24% yaitu dari 0,00477 kg/s mencapai 0,00564 kg/s.
2. Dampak refrigerasi cenderung naik dari 170,5 kJ/kg sampai 178,5 kJ/kg dengan kenaikan sebesar 4,69 %, sedangkan kerja kompresi mengalami penurunan 7,35% yaitu dari 44,9 kJ/kg hingga 41,6 kJ/kg.
3. Kapasitas refrigerasi naik 23,74 % yaitu dari 0,813kW sampai dengan 1,006 kW,
4. *Coefisien of Performance* dari mesin pendingin *Air Cooled Chiller* dengan perubahan Temperatur keluar evaporator dari  $-2^{\circ}\text{C}$  sampai  $10^{\circ}\text{C}$  didapatkan COP 3,80 sampai dengan 4,29 sehingga mengalami kenaikan sebesar 12,89 %.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada para mahasiswa yang telah membantu penulisan jurnal ini dan atas segala fasilitas di Laboratorium Fenomena & Prestasi Mesin UNDIP Semarang yang sangat menunjang dalam berbagai penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

Referensi tugas sarjana ini diambil dari beberapa buku yang mendukung, antara lain:

1. *ASHRAE Handbook of Fundamental*, Millstar Electronic Publish Group, Inc. 1998.
2. Carrier Air Conditioning Company. *Handbook Of Air Conditioning Sistem Design*. McGraw-Hill, Inc. 1965.
3. Dossat, Roy J. *Principles of Refrigeration second edition*. John Wiley & Sons, New York, 1981.
4. Frank Kreith. *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas*, Penerbit Erlangga, Jakarta. 1991.
5. Handoko K. *Teknik Room Air conditioner*, Penerbit P.T. Ichtar Baru, Jalan Majapait No.6 – Jakarta 10160. 1979
6. Holman, J.P. Alih bahasa Jasjfi, E. Ir. MSc. *Perpindahan Kalo*. Penerbit Erlangga, Jakarta. 1988.
7. Holman, J.P. Alih bahasa Jasjfi, E. Ir. MSc. *Metode Pengukuran Teknik*. Penerbit Erlangga, Jakarta. 1985. Liptak, Bela C. *Instrument Engineers Handbook*. Chilton Book Company, Pennsylvania. 1982
8. Liptak, Bela C. *Instrument Engineers Handbook*. Chilton Book Company, Pennsylvania. 1982.
9. Reynolds, William C & Perkins, Henry C. *Termodinamika Teknik*. Penerbit Erlangga, Jakarta. 1991.
10. Stoecker, Wilbert F & Jones, Jerold W. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Penerbit Erlangga, Jakarta. 1992.
11. Sumanto, Drs, MA. *Dasar-Dasar Mesin Pendingin*, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta, 1982.
12. Syaiful, ST. *Pengembangan Perangkat Lunak Untuk Perancangan Chiller*, Tesis Magister, ITB, Bandung. 2003
13. Whitman, William C. & Johnson, William H. *Refrigeration & Air Conditioning Teknologi second edition*. Delmar Publishers Inc, New York. 1991.