

PENGUJIAN *PERFORMANCE* DAN ANALISA *PRESSURE DROP* SISTEM *WATER-COOLED CHILLER* MENGGUNAKAN REFRIGERAN R-22 DAN HCR-22

Muchammad¹⁾

Abstrak

Efek pemanasan Global (*GWP*) merupakan salah satu permasalahan yang disebabkan oleh penggunaan unsur fluor dalam refrigeran pendingin, yang mana unsur ini menyebabkan reaksi berantai yang dapat merusak lapisan ozon. Maka dikembangkan refrigeran Non-CFC sebagai pengganti refrigeran CFC, penggantian refrigeran CFC dengan Non-CFC tanpa mengganti komponen dalam sistem pendingin akan memberikan perubahan karakteristik salah satu komponen utama yaitu, kompresor. Karakteristik itu berupa beban pendinginan dan daya yang dibutuhkan kompresor dengan adanya perubahan temperatur kondensasi dan temperatur evaporasi.

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan data kurva karakteristik kompresor jenis rotari hermetik 0,5 PK terhadap kebutuhan konsumsi listrik untuk sistem pendingin *water-cooled chiller* dengan menggunakan refrigeran HCR-22. Dengan diketahuinya kurva karakteristik tersebut dimaksudkan untuk memberikan informasi dalam pengembangan desain dan pensimulasian sistem pendingin. Selain itu juga membandingkan unjuk kerja antara sistem yang menggunakan refrigeran HCR-22 dengan sistem yang menggunakan refrigeran R-22.

Sebagai hasilnya, daya listrik yang dibutuhkan oleh kompresor dengan refrigeran R-22 lebih tinggi dari pada HCR-22 pada temperatur keluar kondensor yang sama dan COP dari sistem *water-cooled chiller* yang menggunakan refrigeran HCR-22 lebih tinggi dibanding yang menggunakan refrigeran R-22.

Kata kunci : Daya Listrik, COP, refrigeran HCR-22 dan R-22

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Teknologi bidang refrigerasi semakin berkembang dan penggunaannya pun semakin meluas seiring dengan meningkatnya jumlah manusia. Di instansi pemerintah, perusahaan, perkantoran bahkan di perumahan sudah banyak memanfaatkan teknologi bidang refrigerasi. Namun dengan banyaknya pemakaian refrigeran pendingin, membawa dampak yang kurang baik yaitu adanya efek pemanasan global yang salah satu diantaranya disebabkan oleh unsur fluor yang terdapat dalam refrigeran pendingin, yang mana unsur ini dapat merusak lapisan ozon. Salah satu masalah yang timbul dari rusaknya lapisan ozon adalah timbulnya kanker kulit akibat sinar matahari secara langsung.

Setelah ditemukannya refrigeran pengganti CFC yang dapat mengurangi ODP (*Ozon Depleting Potential*) sampai nol, maka efek pemanasan global dapat diturunkan. Refrigeran yang dikembangkan ini merupakan refrigeran substitut sehingga tidak perlu mengganti alat sistem pendingin diantara refrigeran CFC dengan refrigeran Non-CFC.

Penggantian refrigeran CFC dengan Non-CFC tanpa mengganti komponen dalam sistem pendingin akan memberikan perubahan karakteristik salah satu komponen utama, yaitu kompresor. Salah satu karakteristik yang menarik dalam kaitannya dengan topik penelitian ini adalah konsumsi daya listrik kompresor.

Penelitian ini juga mengkaji, seberapa besar pengaruhnya perubahan temperatur keluar evaporator terhadap karakteristik kompresi uap refrigerasinya jika temperatur keluar kondensor dijaga konstan sekitar 32°C s.d. 33°C pada refrigeran R-22 dan HCR-22. Oleh sebab itu dalam penelitian ini penulis mencoba membahas perbandingan unjuk kerja mesin pendingin sistem *water-cooled chiller* dengan refrigeran R-22 dan HCR-22, serta analisa *Pressure Drop* yang terjadi pada *Fan Coil Unit*

1.2. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mendapatkan data kurva karakteristik kompresor jenis rotari hermetik 0,5 PK terhadap kebutuhan konsumsi listrik untuk sistem pendingin *water-cooled chiller* yang menggunakan refrigeran HCR-22. Dengan diketahuinya kurva karakteristik tersebut dimaksudkan untuk memberikan informasi dalam pengembangan desain dan pensimulasian sistem pendingin. Selain itu juga membandingkan unjuk kerja antara sistem yang menggunakan refrigeran HCR-22 dengan sistem yang menggunakan refrigeran R-22 antara lain kapasitas refrigerasi, laju pelepasan kalor kondensor, dan COP.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah yang diterapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Refrigeran yang digunakan adalah R-22 dan HCR-22 dengan sifat-sifat termodinamikannya yang diketahui dengan menggunakan program *Refprop 6*.

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

- Karakteristik unjuk kerja yang dikaji adalah karakteristik unjuk kerja dari sistem kompresi uap refrigerasi pada peralatan uji *water-cooled chiller*.
- Pembahasan mengenai persiapan alat untuk pengujian yang menyangkut pada segi kekuatan material dan konstruksi tidak dilakukan..
- Temperatur keluar kondensor dijaga konstan pada 32°C dan 33°C.
- Kerugian energi kinetik dan energi potensial didalam setiap komponen diabaikan.
- Proses pada pipa kapiler diasumsikan adiabatik, isentalpik.
- Komposisi HCR-22 yang dipakai adalah Propana 0,9738, Butana 0,0151 dan Isobutana 0,0111.
- Hanya memperhitungkan *Pressure Drop* sepanjang pipa pada saluran FCU (*Fan Coil Unit*)
- Analisa perpindahan panas tidak dibahas dalam penelitian ini. Perpindahan panas hanya disinggung sebatas untuk menerangkan metodologi pengambilan datanya.

2. DASAR TEORI

Deskripsi Umum Tentang *Water-Cooled Chiller*

Water-cooled chiller adalah sebuah sistem pendingin yang terdiri dari beberapa komponen utama yaitu evaporator, kondensor, kompresor serta alat ekspansi.

Prinsip kerja *water-cooled chiller* sama halnya seperti prinsip kerja sebuah mesin pendingin pada umumnya, pada *water-cooled chiller* refrigeran dialirkan dalam suatu pendinginan melalui pipa-pipa. Pipa-pipa ini terbuat dari tembaga, karena tembaga mempunyai sifat logam yang kuat, liat, lunak, sehingga mudah dibentuk, tidak berkarat dan penghantar panas yang baik.

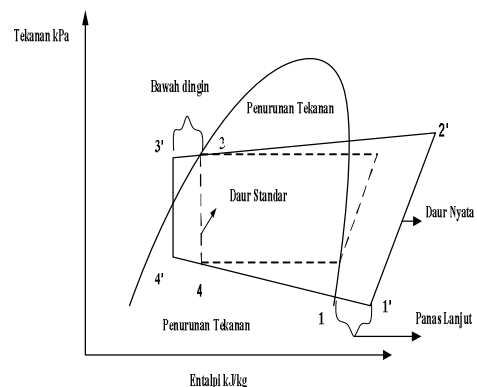
Unjuk kerja yang baik dari sistem pendingin *water-cooled chiller* dapat ditunjukkan oleh prestasi sistem yang disebut *Coefficient of performance (COP)*. Besaran ini dapat diperoleh dari perbandingan besarnya beban ruang yang didinginkan dengan kerja yang diberikan oleh kompresor, kerja kompresor ini diperoleh dari sumber energi listrik.

$$COP = \frac{Q_{Coolingload}}{W_{compressor}}$$

Adapun $Q_{Cooling load}$ adalah beban ruangan yang didinginkan, dan $W_{compressor}$ adalah kerja yang diperlukan oleh kompresor untuk menekan fluida ke tekanan kondensor. Secara teoritis unjuk kerja sistem pendingin ini dapat ditentukan melalui persamaan berikut :

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

dimana h_1, h_2, h_4 adalah entalpi refrigeran yang merupakan fungsi temperatur dan tekanan pada titik yang bersesuaian dalam gambar 2.



Gambar 2.1 Kurva siklus aktual dan siklus teoritis dari sistem kompresi uap (Ref. 10, hal :191)

Konsumsi daya listrik kompresor adalah

$$W_c = V.I.\cos \Phi$$

dimana V adalah tegangan listrik, I arus listrik dan $\cos \Phi$ adalah faktor daya kompresor.

Jika dilihat gambar 2.1, perubahan terhadap titik 1', 2', dan 3' akan mempengaruhi prestasi sistem dan kebutuhan daya listrik kompresor, sehingga secara teoritis daya spesifik yang dibutuhkan oleh kompresor adalah $W_c = h_2' - h_1'$.

3. METODOLOGI PENELITIAN

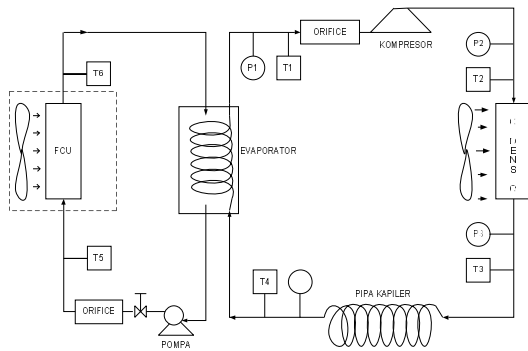
3.1. Pendahuluan

Pada penelitian ini dibuat suatu perencanaan dan tahapan kerja yang sistematis sehingga diharapkan hasil dari penelitian berjalan dengan lancar dan optimal. Tahapan dan perencanaan kerja pelaksanaan meliputi : Tahap instalasi alat, tahap kalibrasi alat ukur, tahap pengujian, tahap pengambilan data

3.2. Tahap Instalasi Alat

Instalasi peralatan uji dirangkai sedemikian rupa agar identik dengan instalasi sistem refrigerasi *chiller* pada umumnya, akan tetapi memiliki kapasitas yang jauh lebih kecil dari ukuran yang sebenarnya. Perbedaannya terletak pada penambahan alat ukur yang dipakai untuk menentukan kondisi pada saat pengujian.

Instalasi peralatan uji tetap terdiri dari komponen utama sistem refrigerasi yaitu berupa evaporator, kondensor, *fan coil unit*, pipa kapiler, dan kompresor rotari 0,5 PK. Alat ukur yang dipakai antara lain termometer digital, termometer air raksa, *pressure gauge*, *orifice*, manometer pipa U, dan anemometer. Berikut ini adalah gambar instalasi peralatan uji :



Gambar 3.1 Diagram Alir alat uji *Water-Cooled Chiller*

3.3. Tahap Kalibrasi Alat Ukur

Kalibrasi adalah cara untuk menentukan sifat-sifat metrologi suatu alat ukur dengan membandingkannya terhadap standar alat ukur yang diketahui. Proses kalibrasi sangat penting dalam suatu pengukuran untuk menjamin validitas data pengujian, karena ketelitian alat ukur bisa berubah setelah pemakaian yang lama, sehingga hasil yang ditunjukkan belum tentu menunjukkan data yang sebenarnya.

3.4. Tahap Pengujian Pemvakuman Sistem

3.4.1. Pemeriksaan Peralatan Sebelum Pengujian

Pemeriksaan seluruh peralatan uji dan perlengkapannya merupakan langkah pertama yang harus dilakukan untuk menjaga keamanan dan keselamatan pengujian dan peralatan uji.

3.4.2. Pemvakuman Sistem

Sebelum kompresor diisi dengan refrigeran, perlu dilakukan proses pemvakuman terlebih dahulu. Hal ini penting untuk memastikan bahwa tidak ada kotoran-kotoran, uap air dan udara di dalam kompresor dan pipa-pipa refrigeran yang dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan di pipa kapiler.

3.4.3. Pengisian Refrigeran

Pengisian refrigeran R-22 dapat dilakukan dengan dua metode yaitu: pengisian berdasarkan jumlah berat refrigeran yang diijinkan kedalam kompresor dan pengisian refrigeran berdasarkan tekanan maksimum di dalam kompresor. Metode yang akan digunakan kali ini adalah metode pengisian refrigeran berdasarkan berat refrigeran di dalam kompresor.

3.5. Tahap Pengambilan Data

Prosedur pengambilan data dilakukan dengan urutan sebagai berikut :

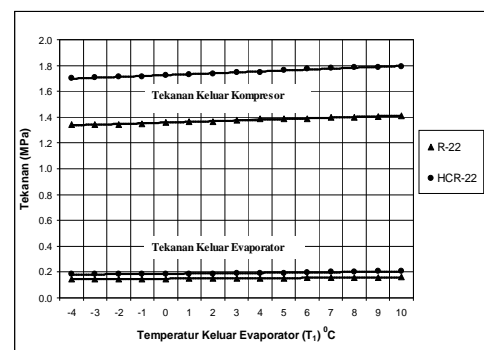
1. Menghidupkan peralatan uji, menunggu sambil mengamati sampai tekanan dan temperatur disemua titik konstan begitu juga ampereanya.
2. Kemudian Mengatur kecepatan fan dikondensor untuk mendapatkan temperatur keluar kondensor sekitar 28°C

3. Menurunkan temperatur evaporator keluar evaporator seminimum mungkin yang dapat dicapai peralatan uji. Untuk mencapai kondisi tersebut, kipas *fan coil unit* dimatikan dan debit air dikecilkan, hal ini dilakukan supaya air menyerap kalor sekecil mungkin sehingga mempercepat proses penurunan temperatur refrigeran yang keluar evaporator.
4. Setelah temperatur keluar evaporator mencapai temperatur minimum, temperatur keluar kondensor sekitar 28°C dan tekanan dan temperatur lainnya konstan, maka pengambilan data dapat dilakukan.
5. Kemudian menaikkan temperatur keluar evaporator sampai temperatur keluar kondensor sebesar 10°C dengan mengatur debit aliran air, mengatur kecepatan kipas *fan coil unit* dan memberikan beban pendinginan berupa lampu 500 W.
6. Mencatat Ampere, volt, $\cos \phi$, temperatur dan tekanan pada titik 1,2,3 dan 4, juga parameter lainnya setiap kenaikan temperatur keluar evaporator sebesar 1°C, dimana temperatur keluar kondensor tetap dijaga sekitar 28°C.
7. Setelah temperatur keluar evaporatornya mencapai temperatur 10°C mengulangi langkah ketiga sampai dengan langkah ke 6 sampai mendapatkan beberapa data pengujian.
8. Langkah 1 sampai dengan langkah 6 juga dilakukan untuk mengambil data pada percobaan dengan temperatur keluar kondensor 29°C, 30°C, 31°C, 32°C dan 33°C
9. Langkah tersebut berlaku untuk kedua refrigeran uji (R-22 dan HCR-22).
10. Setelah pengambilan data selesai, selanjutnya mematikan kelistrikan peralatan uji yaitu dengan mematikan power kompresor dan pompa diikuti dengan dimer fan kondensor dan juga FCU.

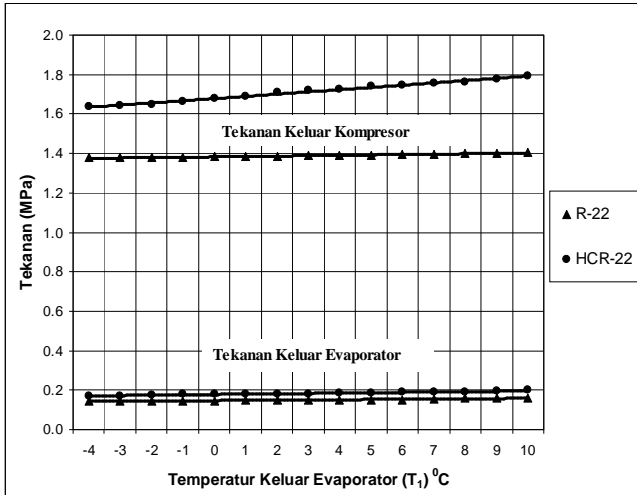
4. ANALISA DAN PEMBAHASAN DATA PENGUJIAN

4.1. Data Pengujian

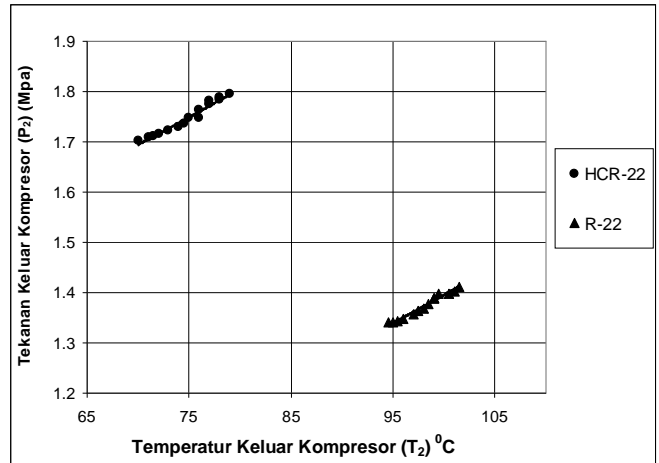
Pada pengujian ini, kami menggunakan dua refrigeran yaitu HCR-22 dan R-22 yang akan dibandingkan unjuk kerjanya.



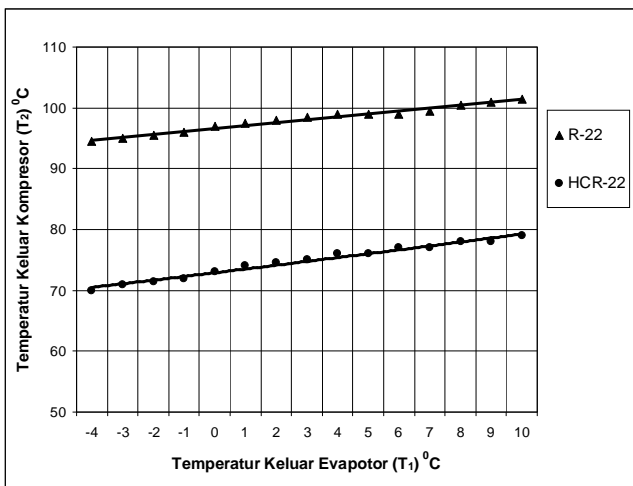
Gambar 4.1 Grafik pengaruh temperatur keluar evaporator (T₁) terhadap tekanan keluar evaporator (P₁) dan tekanan keluar kompresor (P₂), temperatur keluar kondensor (T₃) 32°C



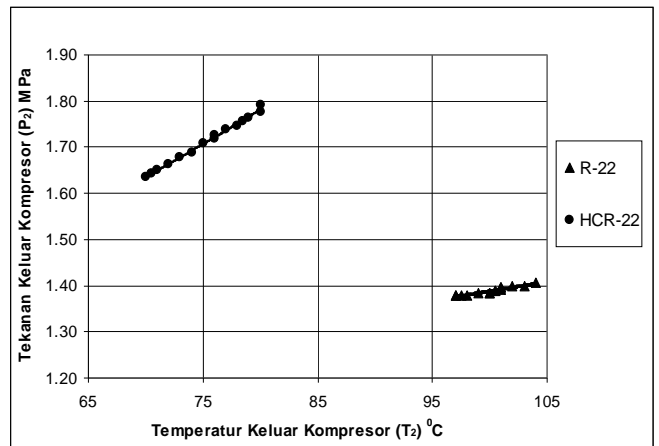
Gambar 4.2 Grafik pengaruh temperatur keluar evaporator (T_1) terhadap tekanan keluar evaporator (P_1) dan tekanan keluar kompresor (P_2), pada temperatur keluar kondensor (T_3) 33°C



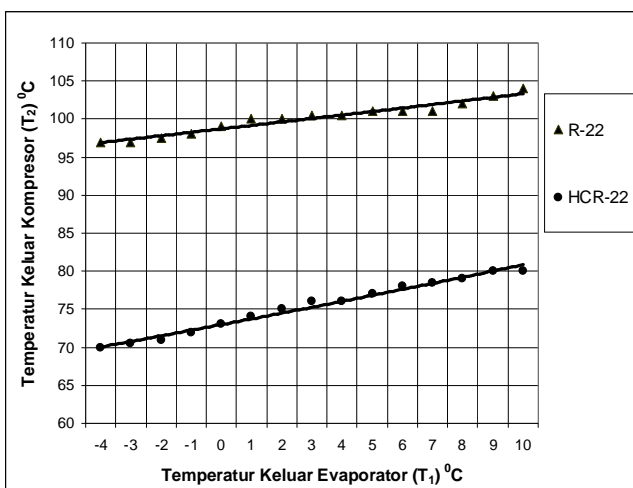
Gambar 4.5. Pengaruh perubahan temperatur keluar kompresor (T_2) terhadap tekanan keluar kompresor (P_2), pada temperatur keluar kondensor (T_3) 32°C



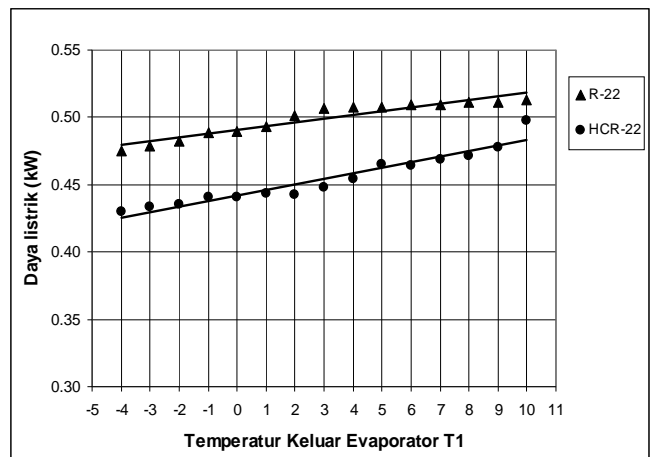
Gambar 4.3 Grafik pengaruh temperatur keluar evaporator (T_1) terhadap temperatur keluar kompresor (T_2), temperatur keluar kondensor (T_3) 32 °C.



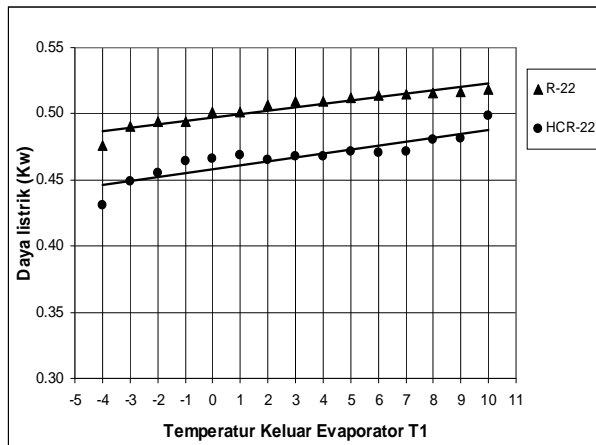
Gambar 4.6. Pengaruh perubahan temperatur keluar kompresor (T_2) terhadap tekanan keluar kompresor (P_2), pada temperatur keluar kondensor (T_3) 33°C



Gambar 4.4 Grafik pengaruh temperatur keluar evaporator (T_1) terhadap temperatur keluar kompresor (T_2), pada temperatur keluar kondensor (T_3) 33°C.



Gambar 4.7 Grafik pengaruh temperatur keluar evaporator (T_1) terhadap daya listrik pada temperatur keluar kondensor (T_3) 32°C



Gambar 4.8 Grafik pengaruh temperatur keluar evaporator (T_1) terhadap daya listrik pada temperatur keluar kondensor (T_3) 33°C.

Pada beberapa grafik data pengujian di atas, terlihat bahwa kebutuhan daya listrik pada refrigeran R-22 maupun HCR-22 cenderung naik seiring dengan kenaikan temperatur keluar evaporatornya (T_1). Dimana daya listrik dibutuhkan untuk menggerakkan kompresor. Dapat dilihat juga bahwa kebutuhan daya listrik pada R-22 lebih tinggi daripada pada HCR-22.

Kenaikan daya listrik ini diakibatkan oleh kenaikan laju aliran massa refrigerannya yang diikuti dengan kenaikan densitas refrigerannya, sehingga untuk menjaga kompresor tetap bekerja dengan baik, maka membutuhkan daya listrik yang lebih besar pula untuk mengatasi kenaikan laju aliran massa maupun densitasnya.

Daya listrik pada penggunaan refrigeran R-22 lebih tinggi daripada HCR-22 disebabkan karena laju aliran massa dan densitas yang lebih tinggi daripada HCR-22. Hal ini juga terjadi pada temperatur kondensor yang dijaga konstan 29°C sampai dengan 33°C seperti terlihat pada gambar 4.2 s.d. gambar 4.6.

4.2. PENGOLAHAN DATA PENGUJIAN

Dari data pengujian, untuk contoh perhitungan maka pada temperatur keluar evaporator (T_1) sebesar 10°C, Refrigeran R-22, temperatur keluar kondensor 32°C didapatkan data-data sebagai berikut :

| | | | |
|------------|--------------|------------|------------|
| P_1 | = 0,1602 Mpa | T_1 | = 10 °C |
| P_2 | = 1,4125 Mpa | T_2 | = 101.5 °C |
| P_3 | = 1,3746 Mpa | T_3 | = 32 °C |
| Volt | = 258,5 V | Arus | = 2 A |
| Cos ϕ | = 0,992 | ΔH | = 10,25 mm |

Data tekanan di atas sudah dikonversikan menjadi tekanan absolut, dan dengan menggunakan program *Refprop 6* akan diketahui sifat-sifat termodinamikanya dan untuk dasar perhitungannya kami menggunakan *daur kompresi uap nyata* atau aktual.

- Pada Titik 1 diketahui *entalpinya* (h_1) sebesar 418,5 kJ/kg dengan kualitas refrigeran *Superheat*.

- Pada Titik 2 diketahui *entalpinya* (h_2) sebesar 471,4 kJ/kg dengan kualitas refrigeran *Superheat*.
- Pada Titik 3 diketahui *entalpinya* (h_3) sebesar 239,2 kJ/kg. dengan kualitas refrigeran *Subcooled*.
- Pada titik 4 (masuk evaporator) karena prosesnya diasumsikan adiabatik, isentalpic, maka $h_4 = h_3 = 239,2$ kJ/kg.

4.2.1. Perhitungan Daya Listrik Kompresor (P_{LK})

$$\text{Daya Listrik} = \text{Volt} \times \text{Ampere} \times \text{Cos } \phi \times \frac{1}{1000} \text{ kW}$$

4.2.2. Perhitungan Laju Aliran Massa Refrigeran (\dot{m})

Untuk temperatur T_1 10 °C. laju aliran massa aktual refrigeran sebesar 0,00183 kg/s.

4.2.3. Perhitungan Laju Pelepasan Kalor Kondensor (q_c)

$$\text{Laju pelepasan kalor } (q_c) = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3)$$

4.2.4. Perhitungan Kapasitas Refrigerasi (q_e)

Dampak Refrigerasi (RE) = $(h_1 - h_4)$ kJ/kg
 Kapasitas Refrigerasi (q_e) = Laju Aliran Massa x Dampak Refrigerasi

4.2.5. Perhitungan Coefficient of Performance (COP)

$$\text{Coefficient of Performance} =$$

$$\frac{\text{Dampak.refrigerasi}}{\text{Kerja.Kompresi}}$$

4.2.6. Perhitungan Penurunan tekanan aliran air di dalam pipa FCU

$$\Delta p = f \frac{L V^2}{D 2} \rho$$

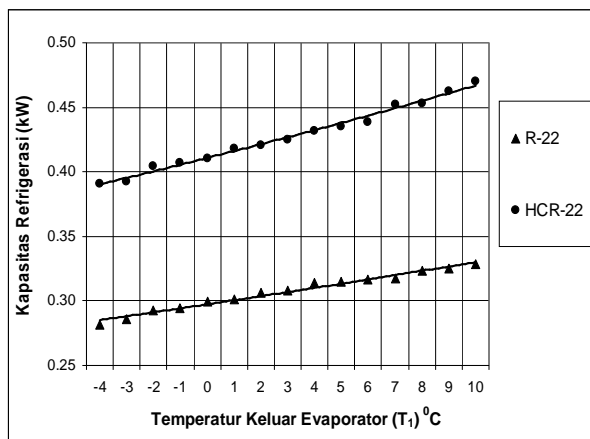
4.3. ANALISA GRAFIK PERHITUNGAN

Pada pembahasan-pembahasan di bawah ini akan dibahas perbandingan unjuk kerja dari sistem *water-cooled chiller* menggunakan refrigeran R-22 dan HCR-22, dimana pembahasannya banyak terkait dengan pengaruh perubahan temperatur keluar evaporator (T_1) terhadap karakteristik unjuk kerja sebuah kompresor dari sistem kompresi uap pada peralatan uji *water-cooled chiller*.

4.3.1. Analisa Karakteristik Kapasitas Refrigerasi

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa dengan kenaikan temperatur keluar evaporator (T_1) maka kapasitas refrigerasinya akan mengalami kenaikan. Adapun dari Gambar 4.9 dan 4.10 dibawah ini

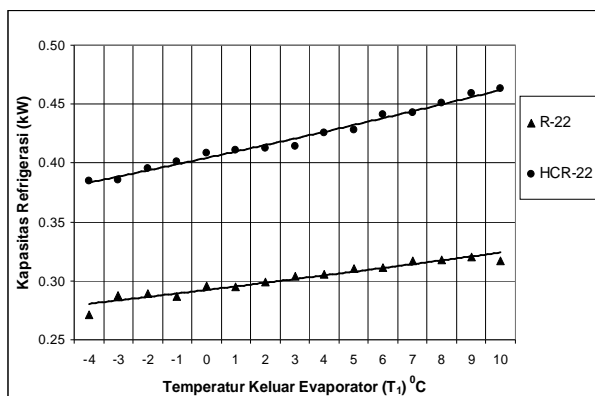
diperlihatkan grafik kapasitas refrigerasi fungsi dari temperatur keluar evaporator.



Gambar 4.9 Grafik Pengaruh Temperatur Keluar Evaporator (T_1) Terhadap Kapasitas Refrigerasi, temperatur keluar kondensor (T_3) 32°C

Dari grafik perhitungan kapasitas refrigerasi yang diperlihatkan pada Gambar 4.9 di atas menunjukkan bahwa kapasitas refrigerasinya cenderung naik diikuti dengan kenaikan temperatur keluar evaporatornya (T_1) pada temperatur keluar kondensornya (T_3) dijaga sekitar 32°C. Demikian juga pada grafik 4.10, dimana temperatur keluar kondensor dijaga sekitar 33°C.

Untuk nilai dari kapasitas refrigerasi sebanding dengan laju aliran massa refrigeran (kg/s) dan sebanding dengan dampak refrigerasinya (kJ/kg) mengakibatkan karakteristik kapasitas refrigerasi sangat dipengaruhi oleh karakteristik dampak refrigerasi dan karakteristik laju aliran massa refrigeran. Pada refrigeran R-22, temperatur keluar evaporator (T_1) -4°C dan 10°C, temperatur keluar kondensor 32°C, kenaikan kapasitas refrigerasinya sebesar 16,47 %. Sedangkan pada HCR-22 kenaikannya dari 0.3910 kW sampai dengan 0.4701 kW, dengan prosentase kenaikan 20,23 %.



Gambar 4.10 Grafik pengaruh temperatur keluar evaporator (T_1) terhadap kapasitas refrigerasi, temperatur keluar kondensor (T_3) 33°C

Pada refrigeran R-22, dengan menjaga konstan temperatur keluar kondensor 33°C, kapasitas

refrigerasinya naik sebesar 16,78 %. Sedangkan pada HCR-22 kenaikannya dari 0.3850 kW sampai dengan 0.4636 kW, dengan prosentase kenaikan 20,4 %.

Jadi untuk karakteristik kapasitas refrigerasi sangat dipengaruhi oleh karakteristik dampak refrigerasi dan karakteristik laju aliran massa refrigeran. Untuk karakteristik laju aliran massa refrigeran mengalami kenaikan dengan kenaikan temperatur keluar evaporator (T_1). Sedangkan untuk dampak refrigerasinya akan dibahas dibawah ini :

❖ Dampak Refrigerasi mempengaruhi Karakteristik Kapasitas Refrigerasi

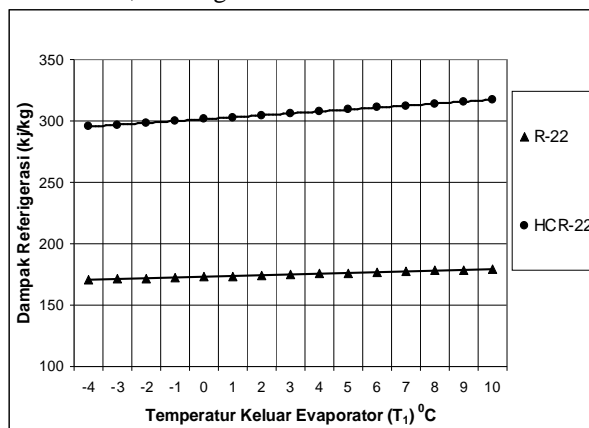
Dampak refrigerasi merupakan selisih dari entalpi masuk kompresor dengan entalpi masuk evaporator ($RE = h_1 - h_4$).

Dengan bertambah besarnya temperatur T_1 dimana temperatur keluar kondensor sekitar 32°C, dari propertis refrigeran R-22 diketahui :

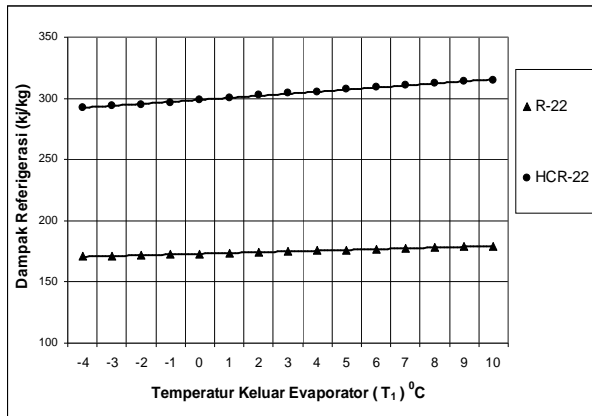
1. Entalpi masuk evaporator (h_4) cenderung konstan, yaitu 239.2 kJ/kg.K .
2. Entalpi keluar evaporator (h_1), bertambah naik, dari 403,6 kJ/kg.K pada temperatur T_1 -4°C menjadi 412,6 kJ/kg.K pada temperatur T_1 10°C dan kenaikan entalpi h_1 sebesar 3,28 %. Entalpi h_1 ini, cenderung bertambah besar seiring dengan kenaikan temperatur T_1 . Demikian pula pada HCR-22 dan R-22 pada temperatur kondensor yang dijaga sekitar 32°C dan 33°C.

Dari grafik karakteristik dampak refrigerasi dibawah ini diperlihatkan bahwa pada refrigeran R-22, temperatur keluar kondensor 32°C, harga dampak refrigerasinya sekitar 174,9 kJ/kg dengan kenaikan sebesar 5,04 %, sedangkan pada HCR-22 rata-rata harga dampak refrigerasinya sekitar 306,2 kJ/kg dengan kenaikannya sebesar 7,42 %.

Dari Gambar 4.12 di bawah ini, diperlihatkan bahwa pada refrigeran R-22, temperatur keluar kondensor 33°C, dampak refrigerasinya naik sebesar 5,13 %, nilai rata-rata dampak refrigerasinya 174,9 kJ/kg, sedangkan pada HCR-22 kenaikannya sebesar 7,48 % dengan nilai rata-rata dampak refrigerasinya sebesar 303,06 kJ/kg.



Gambar 4.11 Grafik pengaruh temperatur keluar evaporator (T_1) terhadap dampak refrigerasi, temperatur keluar kondensor (T_3) 32°C



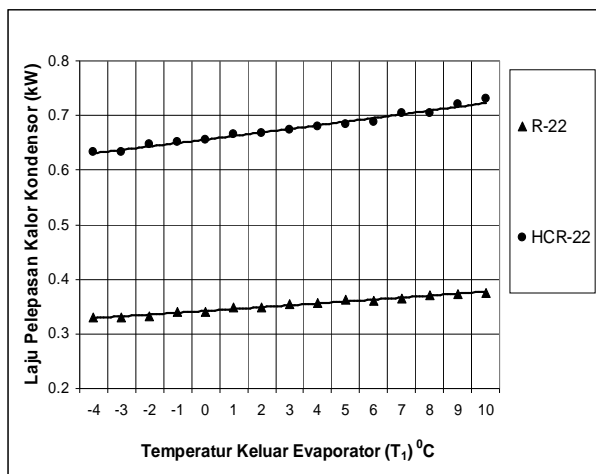
Gambar 4.12 Grafik pengaruh temperatur keluar evaporator (T_1) terhadap dampak refrigerasi, temperatur keluar kondensor (T_3) 33°C

Sehingga dampak refrigerasinya cenderung naik seiring dengan kenaikan temperatur keluar evaporator (T_1) baik pada refrigeran HCR-22 maupun pada refrigeran R-22. Namun dampak refrigerasi pada HCR-22 lebih besar daripada pada refrigeran R-22.

4.3.2. Analisa Karakteristik Laju Pelepasan Kalor Kondensor

Laju pelepasan kalor kondensor sebanding dengan laju aliran massa refrigeran (kg/s) dan sebanding dengan selisih entalpi masuk kondensor dengan entalpi keluar kondensor ($h_2 - h_3$). Sehingga karakteristik dari laju pelepasan kalor kondensor dipengaruhi oleh beda entalpi di kondensor ($h_2 - h_3$) dan karakteristik laju aliran massa refrigeran

Dari Gambar 4.13 dan 4.14 diperlihatkan grafik beda entalpi di kondensor pada saat temperatur keluar evaporator mengalami perubahan. Beda entalpi di kondensor cenderung naik walaupun kenaikannya relatif kecil.



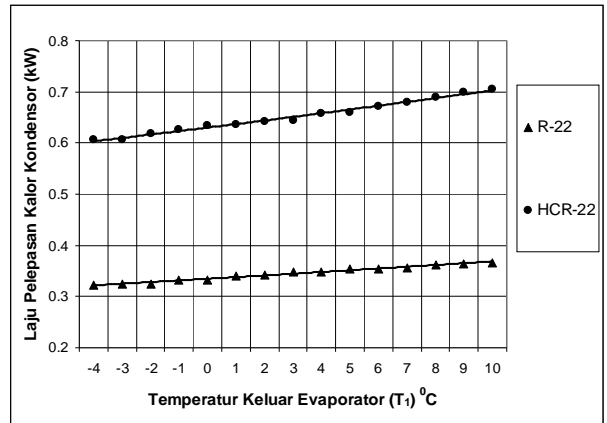
Gambar 4.13 Grafik pengaruh temperatur keluar evaporator (T_1) terhadap laju pelepasan kalor kondensor, temperatur keluar kondensor (T_3) 32°C.

Pada sistem *water-cooled chiller* yang menggunakan refrigeran R-22 dengan temperatur keluar kondensor dijaga sekitar 32°C, kenaikan laju pelepasan kalor kondensornya sebesar 13,34 %, dengan harga rata-rata 0,353 kW. Sedangkan pada

HCR-22 kenaikannya sebesar 16,96 % dengan harga rata-rata 0,676 kW.

Pada refrigeran R-22 dengan temperatur keluar kondensor dijaga sekitar 33°C kenaikannya sebesar 13,59 % nilai rata-ratanya 0,345 kW, sedangkan pada HCR-22 kenaikan laju pelepasan kalor kondensornya sebesar 17,58 % dengan nilai rata-ratanya sebesar 0,652 kW.

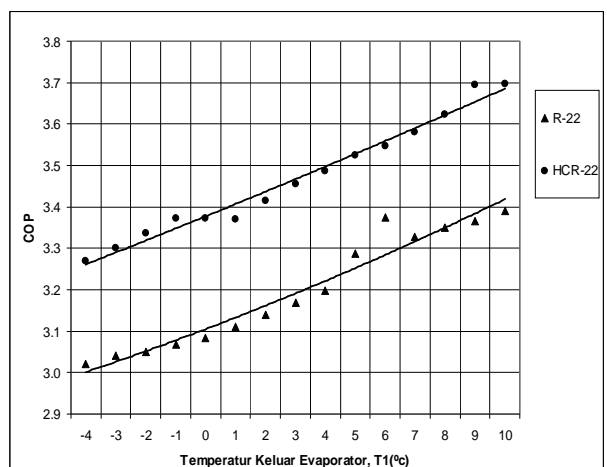
Pada Gambar 4.13 dan 4.14 terlihat jelas bahwa laju pelepasan kalor kondensor mengalami kenaikan karena naiknya temperatur keluar evaporator (T_1) dengan temperatur keluar kondensor di jaga konstan sekitar 32°C dan 33°C.



Gambar 4.14 Grafik pengaruh temperatur keluar evaporator (T_1) terhadap laju pelepasan kalor kondensor, temperatur keluar kondensor (T_3) 33°C

4.3.3. Analisa Karakteristik Coefficient Of Performance (COP)

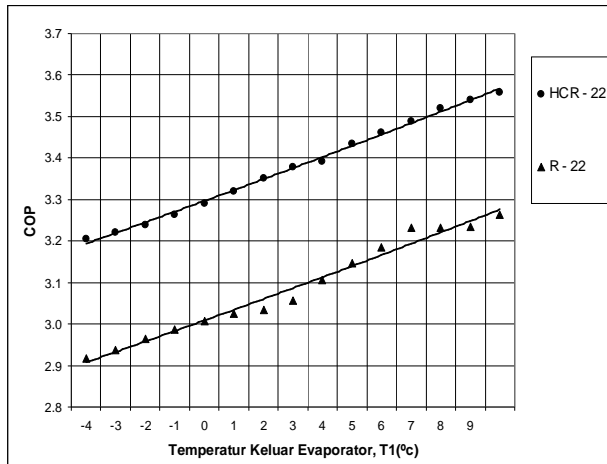
Coefficient of Performance (COP) dari siklus kompresi uap refrigerasi dapat diturunkan dari dampak refrigerasi dan kerja kompresi. Telah dibahas bahwa dengan kenaikan temperature keluar evaporator (T_1) maka dampak refrigerasi cenderung naik sedangkan kerja kompresinya cenderung turun. Karena faktor pembagi (kerja kompresi) cenderung turun sedangkan Pembilangnya (dampak refrigerasi) cenderung naik maka dengan kenaikan temperatur T_1 , maka COP-nya akan naik.



Gambar 4.15 Grafik pengaruh temperatur keluar evaporator (T_1) terhadap COP, temperatur keluar kondensor (T_3) 32°C.

Hasil perhitungan COP ditunjukkan dalam gambar 4.15 dan 4.16, yang memperlihatkan kenaikan COP tersebut karena naiknya temperatur evaporator. Hal ini dapat diperlihatkan dari gambar 4.15, terlihat pada refrigeran R-22 dengan temperatur keluar kondensor dijaga konstan sekitar 32°C, kenaikan COP-nya sebesar 12,19 %, sedangkan pada HCR-22 kenaikan COP-nya 13,05 %.

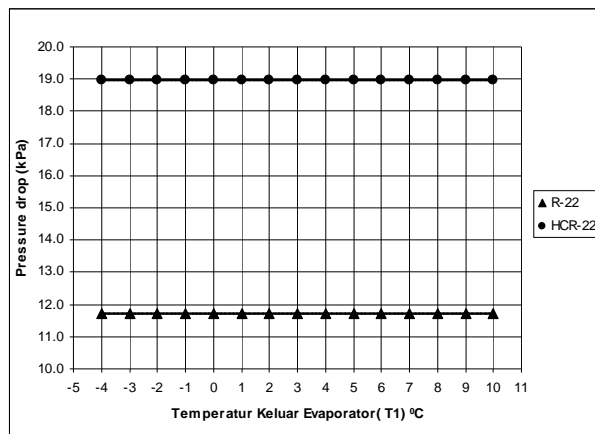
Pada Gambar 4.16 terlihat pada refrigeran R-22 dengan temperatur keluar kondensor dijaga konstan sekitar 33°C, kenaikan COP-nya sebesar 11,87 %. Sedangkan pada HCR-22 kenaikan COP-nya 11,01 %.



Gambar 4.16. Grafik pengaruh temperatur keluar evaporator (T_1) terhadap COP, temperatur keluar kondensor (T_3) 33°C.

4.4 Analisa Penurunan Tekanan Aliran Air pada pipa Fan Coil Unit (FCU)

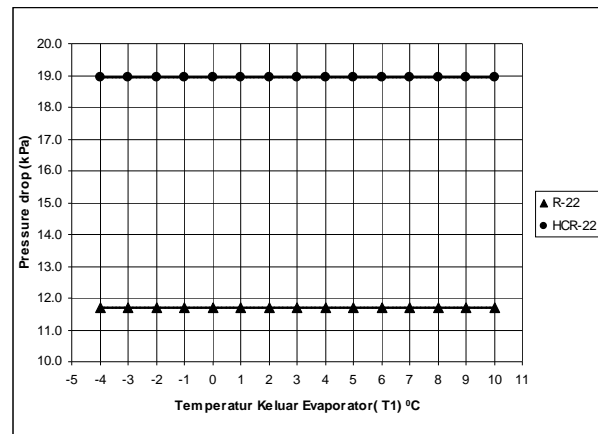
Dari grafik penurunan tekanan aliran air pada FCU yang diperlihatkan pada Gambar 4.17 dan 4.18 di bawah ini terlihat bahwa penurunan tekanan aliran air pada saat sistem *water-cooled chiller* menggunakan refrigeran R-22 dan HCR-22 relatif konstan. Namun nilainya lebih tinggi pada saat menggunakan refrigeran HCR-22.



Gambar 4.17. Grafik pressure drop teoritis pada saat temperatur keluar kondensor 32°C,

Penurunan tekanan aliran air pada FCU ketika menggunakan refrigeran HCR-22 lebih besar. Hal ini dikarenakan temperatur air yang mengalir pada pipa FCU lebih tinggi dibanding saat menggunakan refrigeran R-22. Temperatur ini dipengaruhi oleh temperatur refrigeran pada saat masuk ke evaporator. Dari tabel data pengujian dapat kita lihat, temperatur masuk evaporator ketika menggunakan refrigeran HCR-22 lebih besar. Sehingga temperatur air dalam evaporator pun menjadi lebih tinggi

Hal tersebut menyebabkan kecepatan aliran air pada saat menggunakan HCR-22 lebih besar dan penurunan tekanannya pun lebih besar.



Gambar 4.18. Grafik pressure drop teoritis pada saat temperatur keluar kondensor 33°C,

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

- Perbandingan HCR-22 dengan R-22 pada *Water-Cooled Chiller*
 - HCR-22 memiliki Laju Perpindahan Kalor Kondensor lebih besar dari R-22
 - HCR 22 memiliki COP yang lebih Besar dibandingkan R-22
 - HCR-22 memiliki Kapasitas Refrigerasi yang lebih besar dari R22
 - HCR-22 memiliki kebutuhan Daya Listrik yang lebih rendah dibandingkan R-22
- Perbandingan Unjuk Kerja untuk Kenaikan Temperatur Keluar Evaporator -4°C s/d 10°C
 - Kapasitas Refrigerasi Naik
 - Dampak Refrigerasi Naik
 - Laju Alir Massa Naik
 - Laju Perpindahan Kalor Kondensor Naik
 - Daya Listrik Naik
 - COP Naik
- Perbandingan Unjuk Kerja untuk Kenaikan Temperatur Keluar Kondensor 32°C s/d 33°C
 - Kapasitas Refrigerasi Turun
 - Dampak Refrigerasi Turun
 - Laju Perpindahan Kalor Kondensor Turun
 - Kebutuhan Daya Listrik Meningkat
 - COP Turun

4. Penurunan tekanan air pada pipa FCU pada sistem *water-cooled chiller* yang menggunakan refrigeran R-22 sebesar 11,706 kPa, sedangkan pada sistem yang menggunakan refrigeran HCR-22 penurunan tekanan airnya sebesar 18,95 kPa

5.2 Saran

1. Sebelum diadakan pengambilan data, penting sekali untuk menstabilkan temperatur keluar kondensor (T_3) sampai tidak terjadi perubahan.
2. Untuk mengetahui *pressure drop* aktual pada pipa FCU perlu di ambil data tekanan sebelum masuk pipa dan tekanan keluar pipa FCU, sehingga bisa dibandingkan dengan *pressure drop* teoritis.
3. Pengisian refrigeran pada kompresor, massa refrigeran yang dimasukkan kurang lebih 0,73 kg, sebab sangat berpengaruh terhadap tekanan

DAFTAR PUSTAKA

1. ASHRAE *handbook of fundamental*, Millstar Electronic Publish Group, Inc. 1998
2. Cengel, Yunus A & Boles Michael A, *Thermodynamics : an engineering approach*, McGraw-Hill, Inc, USA.1994
3. Dossat, Roy J. *Principle of Refrigeration second edition*, John Willey & Sons, New York.1981
4. Handoko K. *Teknik Room Air Conditioner*, Penerbit PT. ICHTIAR BARU Jl.Majapahit no. 6, Jakarta 10160, 1979
5. Holman, JP. Alih bahasa Jasjfi, E.Ir. MSc. *Perpindahan kalor*, Penerbit Erlangga, Jakarta. 1988
6. Holman, JP. Alih bahasa Jasjfi, E.Ir.MSc. *Metode Pengukuran Teknik*, Penerbit Erlangga, Jakarta. 1985
7. Reynolds, William C & Perkins, Henry C. *Termodinamika Teknik*, Penerbit Erlangga, Jakarta. 1991
8. Stoecker, Wilbert F & Jones, Jerold W. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Penerbit Erlangga, Jakarta. 1992
9. Sumanto, Drs. MA. *Dasar-dasar Mesin Pendingin*, Penerbit ANDI offset, Yogyakarta. 1982
10. Syaiful, ST. *Pengembangan Perangkat Lunak Untuk Perancangan Chiller*, Tesis, ITB, Bandung. 2003
11. Whitman, William C & Johnson, William H. *Refrigeration & Air Conditioning Technology second edition*, Delmar Publishers, Inc, New York. 1991