



**UNJUK KERJA SISTEM AIR-COOLED CHILLER DAN KOMPRESOR TORAK HERMETIK  
DENGAN MENGGUNAKAN REFRIGERAN R-134a**

Sy a i f u l<sup>1)</sup>

**Abstrak**

*Pengondisian kebanyakan digunakan untuk kenyamanan yaitu untuk menciptakan kondisi udara yang nyaman bagi orang yang berada di dalam suatu ruangan. Chiller digunakan untuk beban pendinginan yang tinggi, sehingga tidak memerlukan refrigeran yang banyak dan mengganti dengan air untuk mendinginkan ruangan.*

*Pada penelitian ini digunakan refrigeran R-134a untuk mendinginkan air sebagai refrigeran sekunder pada evaporator. Setelah air menjadi dingin terus dipompa masuk pada koil – koil FCU ( Fan Coil Unit ) sehingga suhu ruangan menjadi dingin. Dengan memvariasikan temperatur keluar evaporator dan menjaga konstan temperatur keluar kondensor . Hal ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja kompresor dan koefisien prestasi (COP) pada sistem kompresi uap refrigeran pada alat uji air cooled chiller dengan menggunakan refrigeran R-134a.*

*Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa kapasitas refrigerasi tertinggi pada suhu pengembunan 27°C , daya kompresor tertinggi pada suhu pengembunan 31 °C, dan coefficient of performance tertinggi pada suhu pengembunan 27 °C. Dengan diketahui karakteristik sebuah kompresor hermetik akan lebih memudahkan seorang perancang untuk merancang sistem pengondisian udara.*

**Abstract**

*Air conditioning is the greater part used for its comfort, which is to generate comfortable air condition for people in an area. Chiller used for high cooling load, so that required not too much refrigerant and changing with water to cooled the room*

*In this research is used refrigerant R-134a as a secondary refrigerant on an evaporator to chill water. Being chilly, the water is then pumped into the coil - the Fan Coil Unit ( FCU ) coil – so as to cool down the temperature of an area. This work varies evaporator output temperature and maintains condenser temperature constant. These treatments aim at discovering a compressor's working signal and coefficient of performance (COP) of a refrigerant vapour compression system on an air-cooled chiller testing device by employing the refrigerant R-134a.*

*According to the research, it can be explained that the high capacity on temperature of condensation 27°C, the high capacity of compressor on condensation temperature 31°C and the high capacity of coefficient of performance on condensation temperature 27°C. Therefore, with knowing the characteristic of hermetic compressor, it can make easily the designer to design the air-conditioning system.*

**NOMENKLATUR**

Simbol	Definisi	Satuan
COP	Koefisien Prestasi	
h	Entalpi	kJ/kg
h <sub>1</sub>	entalpi refigeran pada titik 1	kJ/kg
h <sub>2</sub>	entalpi refigeran pada titik 2	kJ/kg
h <sub>3</sub>	entalpi refigeran pada titik 3	kJ/kg
h <sub>4</sub>	entalpi refigeran pada titik 4	kJ/kg
$\dot{m}$	laju aliran massa	kg/det
$\dot{m}_{ref}$	laju aliran massa refrigeran	kg/det
P <sub>1</sub>	tekanan keluar evaporator	Mpa
P <sub>2</sub>	tekanan masuk kondensor	Mpa
P <sub>3</sub>	tekanan keluar kondensor	Mpa
P <sub>4</sub>	tekanan masuk evaporator	Mpa
q	Laju aliran energi dalam bentuk kalor	J
q <sub>c</sub>	Laju aliran kondensasi	w
q <sub>e</sub>	Laju aliran evaporasi	w
RE	Efek refrigerasi	kJ/kg
T <sub>1</sub>	Temperatur keluar evaporator	°C
T <sub>2</sub>	Temperatur masuk kondensor	°C
T <sub>3</sub>	Temperatur keluar kondensor	°C
T <sub>4</sub>	Temperatur masuk evaporator	°C

**LATARBELAKANG**

Pengondisian udara digunakan untuk kenyamanan yaitu untuk menciptakan kondisi udara yang nyaman bagi orang yang berada di dalam suatu ruangan. Pada wilayah yang beriklim panas, sistem pendinginan menciptakan susana kerja yang lebih efektif dibandingkan dengan tidak menggunakannya. Chiller merupakan sistem pendinginan dimana refrigeran tidak langsung berhubungan dengan ruang yang akan dikondisikan.

Sistem refrigerasi, mempunyai empat macam komponen utama yaitu kompresor, kondensor, evaporator, dan alat ekspansi. Kompresor merupakan alat inti dalam sistem kompresi uap. Pada sebuah sistem pendingin, selama dalam proses kerja yang teratur, dengan beban refrigerasi yang berat, maka temperatur evaporator akan naik, sehingga dapat mempengaruhi karakteristik dari sistem kompresi uap misalnya pada kapasitas refrigerasi, daya kompresor, laju pelepasan kondensor, *coefisien of performance* dan yang lainnya.

Dua dari beberapa karakteristik unjuk kerja yang terpenting dari suatu kompresor adalah kapasitas refrigerasi dan kebutuhan daya kompresor. Kebutuhan daya kompresor sebuah kompresor ditentukan oleh tekanan isap dan tekanan buangnya. Tekanan

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

merupakan variabel yang dapat ditentukan dari temperatur refrigeran, dimana tekanan naik maka temperaturnya juga cenderung naik, sehingga dengan kenaikan temperatur evaporator akan menyebabkan kenaikan kapasitas refrigerasinya maupun kebutuhan daya kompresornya. Dengan diketahui karakteristik suatu kompresor akan lebih memudahkan seorang perancang untuk merancang sistem pengkondisian udara.

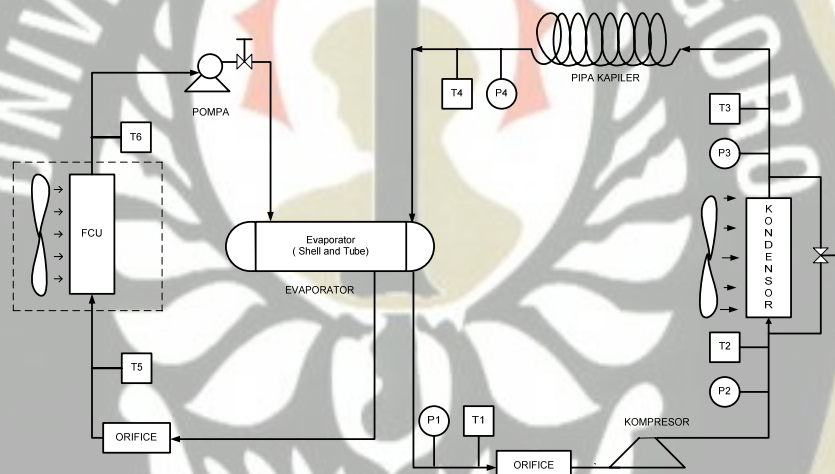
Pada penelitian ini juga dikaji, seberapa besar pengaruh perubahan temperatur keluar evaporator terhadap karakteristik unjuk kerja dari sistem kompresi uap refrigerasinya jika temperatur keluar kondensor dijaga konstan, dimana refrigeran R-134a digunakan sebagai refrigerannya.

### TINJAUAN PUSTAKA

*Air-Cooled Chiller* adalah sistem pendingin untuk mendinginkan udara ruang, dimana udara mendapatkan udara hawa dingin dari air yang didinginkan di dalam evaporator oleh refrigeran. Prinsip kerja *air-cooled chiller* sama halnya seperti

prinsip kerja sebuah mesin pendingin pada umumnya yaitu refrigeran dialirkan melalui pipa – pipa. Setelah refrigeran keluar pipa kapiler, refrigeran masuk ke dalam pipa evaporator. Di dalam evaporator refrigeran mulai menguap. Pada evaporator ini terjadi perpindahan kalor yang bersuhu rendah, dimana air didinginkan oleh refrigeran. Kemudian refrigeran dalam bentuk uap tersebut dialirkan ke kompresor. Di dalam kompresor refrigeran dikompresikan kemudian dialirkan ke kondensor. Refrigeran yang mengalir ke kondensor mempunyai tekanan dan temperatur tinggi. Di kondensor refrigeran diembunkan oleh udara luar yang melewati melintang kondensor sehingga refrigeran menjadi cair kembali. Siklus ini berlangsung terus menerus sehingga didapatkan temperatur yang diinginkan.

Air sebagai refrigeran sekunder yang telah didinginkan di dalam evaporator sampai temperatur tertentu kemudian dialirkan dengan pompa ke dalam koil - koil pendingin dalam ruangan. Karena air ini yang mendinginkan ruangan maka pengkondisian udara ini menggunakan sistem tidak langsung.

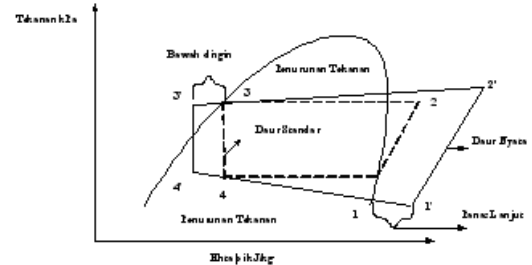


Gambar 1 Diagram alir peralatan uji *air cooled chiller*

Siklus kompresi uap yang sebenarnya (aktual) berbeda dari siklus standar (teoritis). Pada siklus aktual terjadi pemanasan lanjut uap refrigeran yang meninggalkan evaporator sebelum masuk ke kompresor. 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 di atas 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 di dalam 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.



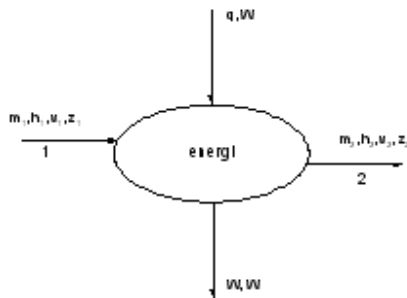
Gambar 2 Perbandingan siklus aktual dan siklus standar [9]



Penjelasan Gambar 2 adalah sebagai berikut :

Garis 4 – 1' menunjukkan penurunan tekanan yang terjadi pada refrigeran pada saat melewati *suction line* dari evaporator ke kompresor. Garis 1 – 1' menunjukkan terjadinya panas lanjut pada uap refrigeran yang ditunjukkan dengan garis yang melewati garis uap jenuh. Proses 1' – 2' adalah proses kompresi uap refrigeran di dalam kompresor. Pada siklus teoritis proses kompresi diasumsikan isentropic, yang berarti tidak ada perpindahan kalor dari/ke kompresor. Pada kenyataannya proses yang terjadi bukan isentropis akan tetapi politropik.<sup>[10]</sup> Garis 2' – 3 menunjukkan adanya penurunan tekanan yang terjadi pada pipa - pipa kondensor. Sedangkan pada garis 3 – 3' menunjukkan tekanan yang terjadi di jalur cair dingin.

Di dalam sistem refrigerasi, laju aliran massa dianggap tetap. Keseimbangan energi menyatakan bahwa besarnya energi yang masuk di titik 1 ditambah besarnya energi yang berupa kalor, dikurangi dengan energi yang keluar dalam bentuk kerja yang meninggalkan sistem pada titik 2 sama dengan perubahan energi di dalam volume kendali. Gambar di bawah ini menunjukkan keseimbangan energi di dalam volume kendali.



Gambar 3 Keseimbangan Energi Pada Suatu Volume Kendali

Persamaan matematisnya adalah sebagai berikut :<sup>[9]</sup>

$$\dot{m} \left( h_1 + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 \right) + q - \dot{m} \left( h_2 + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 \right) - W = \frac{dE}{d\theta} \quad (1)$$

Oleh karena aliran stedi maka tidak ada perubahan laju aliran massa pada sistem, maka laju aliran massa yang masuk pada titik 1 sama dengan laju aliran massa yang keluar pada titik 2. Demikian pula tidak ada perubahan harga energi sistem terhadap waktu sehingga  $dE/d\theta = 0$

Sehingga persamaan aliran energi menjadi :<sup>[9]</sup>

$$\dot{m} \left( h_1 + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 \right) + q = \dot{m} \left( h_2 + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 \right) + W \quad (2)$$

*Coefficient of Performance* ( COP ) dari daur kompresi uap standar adalah perbandingan besarnya panas yang diserap dari ruang pendingin ( efek refrigerasi ) dengan besarnya kerja yang dilakukan

kompresor. Koefisien prestasi dirumuskan sebagai berikut<sup>[9]</sup>

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (3)$$

Pada proses evaporasi dan kondensasi perubahan energi kinetik dan energi potensial diabaikan sehingga harga  $v^2/2$  dan  $gz$  pada titik 1 dan 2 dianggap nol. Karena pada evaporator dan kondensor tidak ada kerja yang dilakukan maka  $W = 0$ . Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :<sup>[9]</sup>

$$q_e = \dot{m} (h_1 - h_4) \quad (4)$$

Laju aliran kalor pada proses kondensasi dirumuskan sebagai berikut :<sup>[9]</sup>

$$q_c = \dot{m} (h_2 - h_3) \quad (5)$$

Daya yang dibutuhkan oleh suatu kompresor ideal adalah hasil kali antara laju aliran massa dan kenaikan entalpi selama proses kompresi. Dalam bentuk persamaan.<sup>[9]</sup>

$$P = \dot{m} \cdot \Delta h_i \quad (6)$$

## METODOLOGI PENELITIAN

### Desain Shell and Tube

Evaporator jenis shell and tube merupakan evaporator yang banyak digunakan dalam dunia industri. Oleh karenanya dalam pengujian ini digunakan evaporator jenis ini. Dalam pembuatan evaporator jenis *shell and tube* ini dipergunakan program “Perancangan Chiller” yang merupakan tesis magister Syaiful, ST, MT. Referensi penting yang dijadikan acuan dalam merancang *shell and tube* ini adalah TEMA ( Tube Exchanger Manufacturing Association ) *Handbook*.

Parameter yang dijadikan acuan dalam perancangan evaporator *shell and tube* ini dengan program “Perancangan Chiller” adalah :

1. Refrigeran yang digunakan.
2. Daya kompresor yang digunakan.
3. Diameter pipa yang digunakan dalam tube.
4. Susunan pipa dalam tube.

Dari awal rancangan ditetapkan digunakan refrigeran R-134a dengan daya kompresor ½ Hp dimana digunakan pipa tembaga ukuran ¼ inch dengan susunan selang-seling ( staggered ) dalam tube. Alasan penetapan diatas adalah :

1. Penelitian yang dilakukan merupakan analisis siklus kompresi uap.
2. Refrigeran yang digunakan adalah R-134a.
3. Daya kompresor yang diperlukan kecil.
4. Pipa ¼ inch mudah didapat dan biasa dipergunakan dalam instalasi pendingin berdaya kecil.

- Susunan selang-seling ( staggered ) supaya perpindahan panasnya lebih baik.

Data fisik yang merupakan keluaran dari program yang penting untuk perancangan *shell and tube*, yaitu :

- Diameter Shell : 83 mm
- Panjang Shell : 493 mm
- Jarak Baffle : 246 mm
- Jumlah Baffle : 1 buah
- Jumlah pipa dalam tube : 27 buah
- Jumlah laluan : 1 laluan

Dari data diatas, diketahui bahwa jumlah pipa dalam pipa sebanyak 27 buah dengan susunan pipa adalah selang-seling ( staggered ). Untuk itu harus diketahui berapa jarak antar pipa dalam *shell* ( tube pitch ). Dalam rancangan ini, besarnya jarak antar pipa dirumuskan sebagai berikut <sup>(7)</sup>:

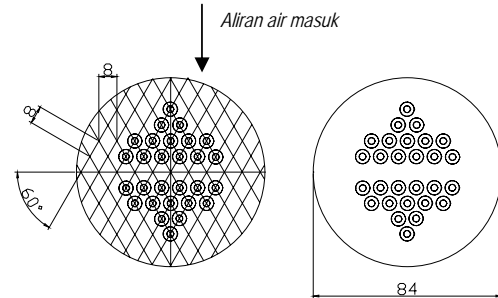
$$p = 1,25 \times D_p$$

dimana  $D_p$  adalah diameter pipa,  $\frac{1}{4}$  inch = 6,35 mm

$$p = 1,25 \times 6,35 \text{ mm}$$

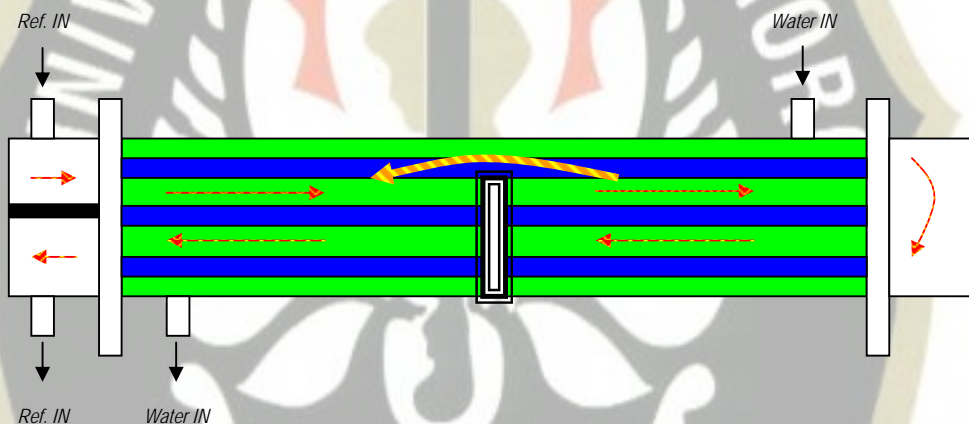
$$p = 7,94 \text{ mm} \approx 8 \text{ mm}$$

Dalam proses produksinya, ditentukan bahwa jumlah pipa sebanyak 28 buah untuk melengkapi susunan dan supaya perpindahan panasnya lebih besar. Untuk sudut penyusunan pipanya sendiri ditentukan sebesar  $30^\circ$  dari arah aliran fluida <sup>(7)</sup>.



Gambar 4. Susunan pipa dalam tube

Adapun sistem aliran 1 laluan merupakan sistem aliran fluida ( dalam hal ini refrigeran ) dalam sistem pipa. Sistem aliran ini dapat dilihat pada Gambar 5 ini :



Gambar 5 Skema Aliran Evaporator tipe Shell & Tube

- Keterangan :
- = arah aliran refrigeran sekunder (air)
  - = arah aliran refrigeran primer (HCR-134a)

## KALIBRASI

Untuk kalibrasi *termometer digital*, kalibrasi alat ukur dilakukan pada saat pembelian di PT. Panca Manunggal Semarang. Metode yang digunakan dalam pengkalibrasian *termometer digital* dengan perbandingan dengan *termometer sejenis* yang mempunyai tingkat ketelitian lebih tinggi. Pada kalibrasi ini digunakan Omron dengan ketelitian 0,1 % dan Siemens dengan ketelitian 0,1 % dibandingkan dengan Autonic sebagai *termometer digital* yang digunakan mempunyai ketelitian 0,3 %.

Langkah-langkah dalam kalibrasi *termometer digital* adalah sebagai berikut :

- Memberi tanda pada *termometer digital* yang akan dikalibrasi secara berurutan.

- Menentukan range suhu yang dijadikan suhu terukur dalam alat Heater Test sebagai alat penghasil panas.
- Meletakkan ketiga *termometer digital* tersebut pada Heater Test dengan jarak yang tidak begitu jauh ( $\pm 3$  cm).
- Mengatur suhu dalam Heater Test dari suhu  $25^\circ\text{C}$  s/d  $100^\circ\text{C}$  dan pada setiap kenaikan  $5^\circ\text{C}$  dicatat temperatur yang ditampilkan oleh display masing – masing *termometer digital*.

Untuk pembacaan suhu dari  $-10^\circ\text{C}$  s/d  $25^\circ\text{C}$  digunakan mesin pendingin (freezer) dengan pengaturan sama seperti langkah no 3 dan 4 pada alat Heater Test.

Untuk kalibrasi *pressure gauge*, yaitu dengan menggunakan satu pipa dengan ujung yang bercabang. Satu bagian untuk *pressure gauge* standar pengukuran dan satunya untuk *pressure gauge* yang akan dikalibrasi. Dengan menaikkan dan menurunkan *pressure gauge* berdasarkan pembacaan di *pressure gauge* standar, diketahui penyimpangan dari *pressure gauge* yang akan kita gunakan.

#### PENGAMBILAN DATA

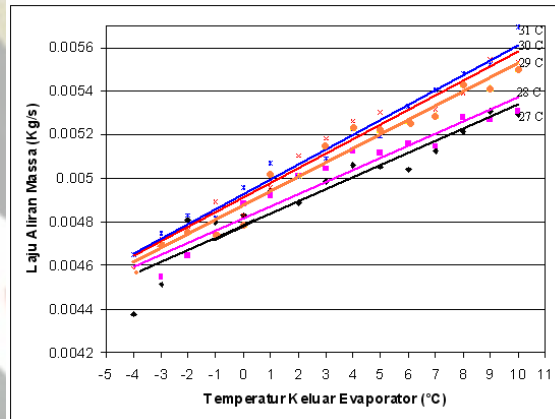
Pengambilan data dilakukan setelah dilakukan pemeriksaan peralatan dan kondisi peralatan maupun peralatan alat ukurnya dalam kondisi baik. Pada pengambilan data temperatur keluar kondensor dijaga konstan dan temperatur keluar evaporator ( $T_1$ ) divariasi, prosedur pengambilan data sebagai berikut : menghidupkan peralatan uji, menunggu sambil mengamati sampai tekanan dan temperatur di semua titik konstan begitu juga ampereanya. Untuk mendapatkan temperatur keluar kondensor konstan, kita atur kecepatan fan pada kondensor. Temperatur keluar evaporator diturunkan seminimum mungkin. Untuk mencapai kondisi tersebut, kipas *Fan Coil Unit* dimatikan dan debit air dicekikan, hal ini dilakukan supaya air menyerap kalor sekecil mungkin sehingga mempercepat proses penurunan temperatur refrigeran yang keluar evaporator. Setelah temperatur keluar kondensor konstan, temperatur keluar evaporator mencapai temperatur minimum, tekanan dan temperatur lainnya konstan, maka pengambilan data dapat dilakukan. Kemudian menurunkan temperatur keluar evaporator sampai temperatur keluar sebesar  $-4$  °C dengan mengatur debit aliran air, mengatur kecepatan kipas *Fan Coil Unit* dan memberikan beban pendinginan berupa lampu 500 W. Mencatat Ampere, volt,  $\cos \phi$ , temperatur dan tekanan pada titik 1, 2, 3 dan 4, juga parameter lainnya setiap penurunan temperatur keluar evaporator sebesar 1 °C, dimana temperatur keluar kondensor tetap dijaga konstan.

Untuk pengukuran temperatur  $T_1$  sampai  $T_4$  digunakan termometer digital dengan merek Autonics dan typenya T4YI. Termokopel menggunakan bahan K ( CA ) pada pengukuran temperatur masuk dan keluar kondensor. Termokopel dengan bahan Pt100Ω digunakan untuk mengukur temperatur masuk dan keluar evaporator. Untuk pengukuran temperatur  $T_5$  dan  $T_6$  digunakan termometer digital merk Proex pada sisi masuk dan keluar *fan coil unit*. Pengukuran tekanan pada masuk dan keluar evaporator kita gunakan *Low Pressure Gauge* merk Proex. Pada pengukuran tekanan masuk dan keluar kondensor digunakan *High Pressure Gauge* merk Proex dan P&M. Pengukuran laju aliran massa digunakan orifice konsentrik. Pada kaji eksperimental ini semua alat ukur sudah dikalibrasi.

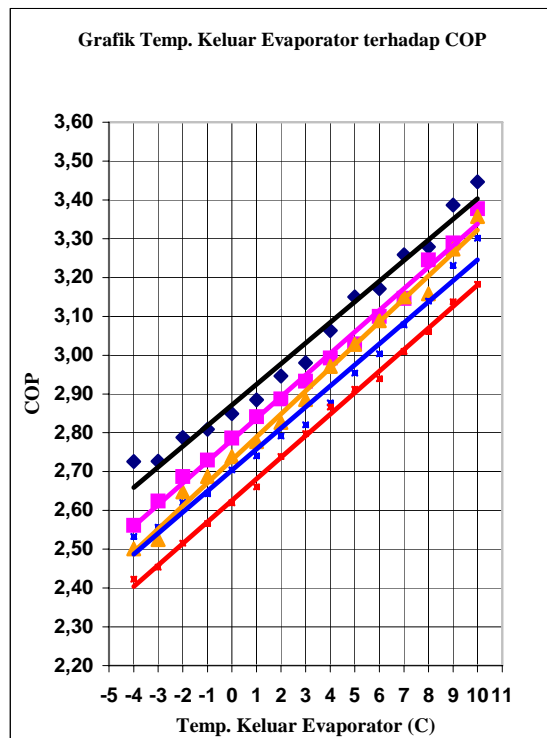
#### HASIL DAN ANALISA

Pada Gambar 6 dapat dilihat grafik gabungan pengaruh temperatur keluar evaporator ( $T_1$ ) terhadap

laju aliran massa pada sistem kompresi uap *air-cooled chiller* pada beberapa titik temperatur keluar kondensor ( $T_3$ ). Ditunjukkan bahwa laju aliran massa uap panas lanjut refrigeran pada temperatur keluar kondensor  $T_3 = 28$  °C lebih besar dibandingkan laju aliran massa uap panas lanjut pada  $T_3 = 27$  °C. Sedangkan pada  $T_3 = 29$  °C, laju aliran massanya lebih besar dibandingkan pada  $T_3 = 28$  °C dan seterusnya.



Gambar 6 Grafik gabungan pengaruh temperatur keluar evaporator ( $T_1$ ) terhadap laju aliran massa, Refrigeran R-134a



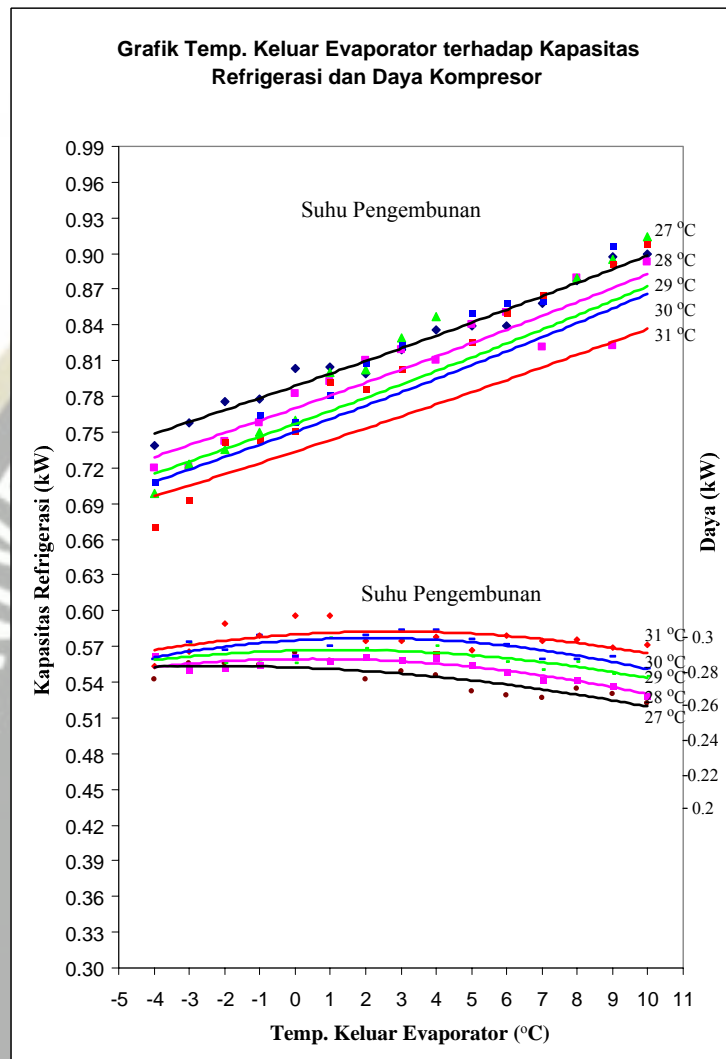
Gambar 7 : Grafik Gabungan Pengaruh Temperatur Keluar Evaporator ( $T_1$ ) Terhadap COP, Refrigeran R-134a pada temperatur keluar kondensor ( $T_3$ ) 30°C

Adapun pada Gambar 7 dapat dilihat grafik gabungan pengaruh temperatur keluar evaporator ( $T_1$ ) terhadap COP *air-cooled chiller* pada beberapa titik



temperatur keluar kondensor ( $T_3$ ). Ditunjukkan bahwa COP pada temperatur keluar kondensor  $T_3 = 27^\circ\text{C}$  lebih besar dibandingkan COP pada  $T_3 = 28^\circ\text{C}$ . Sedangkan pada  $T_3 = 28^\circ\text{C}$ , COPnya lebih besar

dibandingkan pada  $T_3 = 29^\circ\text{C}$  dan seterusnya. Hal ini berarti kenaikan COP seiring dengan penurunan temperatur keluar kondensor ( $T_3$ ).



Gambar 8 : Grafik Gabungan Kapasitas Refrigerasi dan Kebutuhan Daya dari Suatu Kompresor Torak Hermetik merk Tecumseh tipe AE 4430X dengan Refrigeran R-134a

Gambar 8 ini menunjukkan sebuah grafik gabungan pengaruh temperatur keluar evaporator ( $T_1$ ) terhadap kapasitas dan daya kompresor pada beberapa titik temperatur keluar kondensor ( $T_3$ ).

Dua dari beberapa karakteristik unjuk kerja yang terpenting dari suatu kompresor adalah kapasitas refrigerasi dan kebutuhan daya kompresor. Kapasitas refrigerasi dan kebutuhan daya kompresor sebuah kompresor ditentukan oleh tekanan isap dan tekanan buangnya. Tekanan merupakan fungsi dari temperatur, dimana tekanan naik maka temperaturnya juga cenderung naik, sehingga dengan kenaikan temperatur evaporator akan menyebabkan kenaikan kapasitas refrigerasinya maupun kebutuhan daya kompresornya.

Dengan diketahui karakteristik suatu kompresor akan lebih memudahkan seorang perancang untuk merancang sistem pengkondisian udara. Perancang melihat kapasitas refrigerasi dan daya kompresor sehingga dapat dihindari penggunaan kompresor dengan daya yang besar untuk beban pendinginan yang kecil yang dapat mengakibatkan boros listrik dan begitu pula sebaliknya.

Pada Gambar 8 pada suhu pengembunan  $27^\circ\text{C}$  mempunyai kapasitas refrigerasi yang lebih tinggi tetapi membutuhkan daya yang rendah. Hal ini menyebabkan koefisien prestasi pada suhu pengembunan  $27^\circ\text{C}$  lebih tinggi dibandingkan dengan suhu pengembunan yang lebih besar dari  $27^\circ\text{C}$ .

Sedangkan pada suhu pengembunan 31°C memiliki kapasitas refrigerasi yang rendah tetapi daya kompresornya tinggi. Hal ini disebabkan karena pada suhu pengembunan yang tinggi kompresor membutuhkan daya yang besar sehingga dapat menurunkan prestasi dari kompresor yang berdampak pada rendahnya kapasitas refrigerasi dibandingkan dengan suhu pengembunan lainnya yang lebih rendah.

#### KESIMPULAN

Laju aliran massa tertinggi terdapat pada suhu pengembunan 31 °C, hal ini menandakan bahwa laju aliran massa sebanding dengan kenaikan temperatur keluar kondensor.

Kapasitas refrigerasi tertinggi pada suhu pengembunan 27°C , daya kompresor tertinggi pada suhu pengembunan 31 °C, dan *coefficient of performance* tertinggi pada suhu pengembunan 27 °C.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak 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

1. ASHRAE Handbook of Fundamental, Millstar Electronic Publish Group, Inc. 1998.
2. Handbook Of Air Conditioning Sistem Design, Carrier Air Conditioning Company.. McGraw-Hill, Inc. 1965.
3. Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas, Frank Kreith, Penerbit Erlangga, Jakarta. 1991.
4. Perpindahan Kalor, H olman, J.P. Alih bahasa Jasjfi, E. Ir. MSc . Penerbit Erlangga, Jakarta. 1988.
5. Metode Pengukuran Teknik, Holman, J.P. Alih bahasa Jasjfi, E. Ir. MSc. Penerbit Erlangga, Jakarta. 1985.
6. Termodinamika Teknik, Reynolds, William C & Perkins, Henry C. Penerbit Erlangga, Jakarta. 1991.
7. Dasar-Dasar Mesin Pendingin, Sumanto, Drs, MA, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta, 1982.
8. Metode Pengukuran Teknik, Holman, J.P. Alih bahasa Jasjfi, E. Ir. MSc. Penerbit Erlangga, Jakarta. 1985.
9. Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, Stoecker, Wilbert F & Jones, Jerold W. Penerbit Erlangga, Jakarta. 1992.
10. Pengembangan Perangkat Lunak Untuk Perancangan Chiller, Syaiful, ST, Tesis Magister, ITB, Bandung. 2003.
11. Penyegaran Udara, Wiranto Arismunandar & Heizo Saito, PT Pradnya Pratama Jakarta.
12. HFC 134a Properties, Uses, Storage and handling, DuPont™ Suva® 134a refrigerant.
13. Performance Optimization of Industrial Refrigeration Systems, Manske. K.A M.S. Thesis, Mechanical Engineering, University of Wisconsin- Madison, 1999.
14. Process Heat Transfer Chapter 7, Donald Kern.



