

KAJI EKSPERIMEN PERFORMANSI MESIN PENDINGIN DENGAN PENUKAR KALOR TIPE *SHELL AND TUBE*

Suryadimal, Mulyanef, Julfan Haryadi

Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri
Universitas Bung Hatta

ABSTRAK

Di era perkembangan teknologi pada saat sekarang ini banyak industri yang menggunakan sistem pembangkit tenaga yang jenis dan penggunaannya berbeda-beda, Misalnya sistem pembangkit bertenaga uap. Dimana pada salah satu komponen sistem ini menggunakan penukar kalor (*Heat exchanger*). Mesin ini bekerja menurunkan temperatur fluida yang bertemperatur tinggi didalam *Shell* dan refrigeran yang bertemperatur rendah mengalir didalam *Tube* yang melewati siklus kompresi uap. Eksperimen sistem pendingin dengan menggunakan evaporator tipe *shell & tubes*, dilatar belakangi oleh efisiensi perpindahan panas yang besar dari tipe *heat exchanger*. Fluida yang digunakan yaitu refrigeran-22 yang di sirkulasikan oleh daur kompresi uap, serta air panas yang disirkulasikan oleh pompa dari reservoir. Diharapkan dari eksperimen adalah untuk mendapatkan performansi penukar kalor seperti pengaruh perubahan temperatur air panas pada *heat exchanger* tipe *shell and tube* (evaporator) terhadap laju perpindahan panas yang terjadi dan terhadap prestasi dari daur kompresi uap atau *COP* (*Coefficient of Performance*).

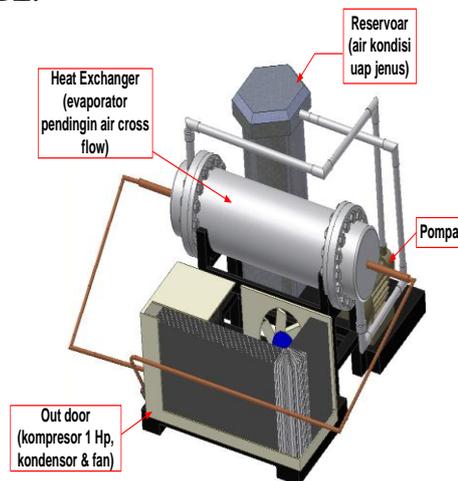
1. LATAR BELAKANG

Dalam dunia Industri sering kita temui berbagai sistem pembangkit tenaga yang jenis dan penggunaannya berbeda misalnya dalam sistem pendingin suatu fluida yang digunakan untuk menghasilkan tekanan tinggi dari temperatur fluida yang meningkat, yang dapat kita lihat dalam siklus turbin gas. Pada siklus ini salah satu siklus aliran fluidanya melewati mesin yang dikenal dengan penukar kalor.

Prinsipnya penukar kalor adalah suatu mesin yang berfungsi untuk memindahkan panas dari suatu fluida ke fluida lain yang mengalir didalamnya. Kedua fluida tersebut mengalir terpisah oleh bagian-bagian penukar kalor sesuai dengan konstruksinya (tanpa terjadi pencampuran satu dengan lainnya).

Tipe dari penukar kalor ini bermacam-macam sesuai dengan fungsi dan jenis fluidanya. Pada pengkajian eksperimental yang penulis lakukan pada siklus kompresi uap tipe *Shell & Tube*. Fluida yang digunakan adalah air dengan refrigeran.

2. MESIN PENDINGIN DENGAN PENUKAR KALOR TIPE *SHELL and TUBE*.



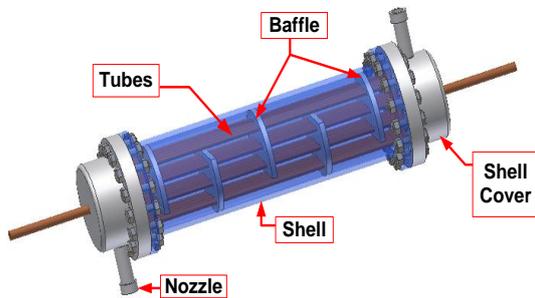
Gambar 2.1. Instalasi Ekperimen Sistem Pendingin Air Siklus Kompresi Uap Dengan Evaporator (*Heat Exchanger*) Tipe *Shell & Tubes*

2.1. Pengenalan *Heat Exchanger*

Heat Exchanger adalah alat-alat yang digunakan untuk mengubah temperatur fluida atau mengubah fasa fluida dengan cara mempertukarkan kalornya dengan fluida lain.

Arti dari mempertukarkan disini adalah memberikan atau mengambil kalor. Penukar kalor umumnya merupakan peralatan dimana dua jenis fluida yang berbeda temperaturnya dialirkan ke dalamnya dan saling bertukar kalor melalui bidang-bidang perpindahan panas atau dengan cara kontak langsung (bercampur). Bidang perpindahan panas ini umumnya berupa dinding pipa-pipa atau sirip-sirip yang dipasangkan pada pipa.

Kalor yang dipindahkan di antara kedua fluida tersebut, besarnya sangat bergantung pada kecepatan aliran fluida, arah aliran, sifat-sifat fisik fluida, kondisi permukaan dan luas bidang perpindahan panas serta beda temperatur kedua fluida. Fluida yang mengalir didalam penukar kalor kadang-kadang mengandung zat-zat yang dapat mengendap atau bergerak pada permukaan pipa bahkan bereaksi yang menyebabkan korosi dan kerusakan lainnya, sehingga performa penukar kalor menjadi turun. Karena bermacam-macam tipe dari *Heat exchanger* yang penggunaannya yang berbeda-beda pula, maka dipilih salah satu jenis *Heat Exchanger* Tipe *Shell and Tube*.



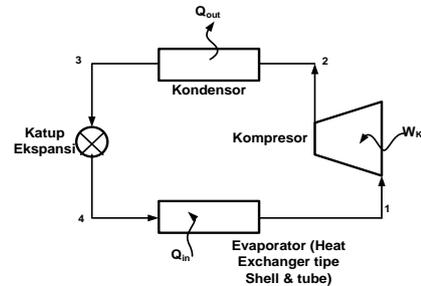
Gambar 2.2. *Heat Exchanger* Tipe *Shell & Tubes*

2.2. Siklus Pendingin Daur Kompresi Uap

Siklus pendingin daur kompresi uap merupakan siklus yang digunakan untuk mensirkulasikan refrigerant fluida pendingin. Dalam pengkondisian standar operasi siklus kompresi uap ini terdiri dari kompresor, kondensor, alat ekspansi dan evaporator. Evaporator merupakan suatu bagian yang berfungsi sebagai tempat penyerapan panas oleh refrigerant. Konstruksi evaporator yang digunakan biasanya berupa tipe *plate dank oil* bersirip.

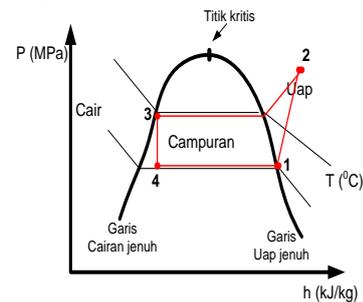
Pada eksperimen ini bagian evaporator di modifikasi dalam bentuk *heat exchanger* yang berfungsi mengalirkan fluida panas yaitu

air dengan variasi temperatur dan laju massa tertentu, agar temperatur air tersebut turun. Tipe evaporator ini dipilih karena luas area perpindahan panas lebih besar dan kapasitas volume pendinginan juga lebih besar dibandingkan dengan tipe evaporator lain.



Gambar 2.3. Siklus Pendingin Kompresi Uap

Gambar 2.3, memperlihatkan siklus kompresi uap yang digunakan pada eksperimen ini. Dari gambar tersebut dapat dibuat siklus pendingin dalam diagram P- h yang memperlihatkan perubahan fasa dan tingkat keadaan energi dari refrigeran pada setiap proses yang dilaluinya.



Gambar 2.4. Diagram P-h Siklus Kompresi Uap

Analisa Tingkat Keadaan Siklus Kompresi Uap

Proses 1-2

Kompresi *adiabatik* dan *reversibel*, dari uap jenuh menuju tekanan konstan.

Proses 2-3

Pelepasan kalor *reversibel* pada tekanan konstan,

Proses 3-4

Proses ekspansi pada entalpi konstan.

Proses 4-1

Penambahan kalor *reversibel* pada tekanan tetap.

Berdasarkan empat proses yang terjadi pada siklus kompresi uap dapat digunakan persamaan-persamaan *Arora C. P* yaitu :

Proses 1-2 (Kompresi Isentropik)

Kerja bersih : $W = - \int v \, dP$

$$W = - \int dh = - (h_1 - h_2)$$

$$W = (h_2 - h_1) ; \text{kJ/ kg}$$

Proses 2-3 (Pelepasan Kalor)

$$q_k = (h_2 - h_3) ; \text{kJ/ kg}$$

Proses 3-4 (Ekspansi Isenthalpic)

$$h_3 = h_4 ; \text{kJ/ kg}$$

$$h_3 = h_4 = h_{f4} + x_4 (h_1 - h_{f4}) ; \text{kJ/ kg}$$

(2.7)

Dari persamaan diatas dapat dihitung kualitas x (persentase yang menunjukkan jumlah fasa uap dalam campuran) :

$$x = \frac{h_3 - h_{f4}}{h_1 - h_{f4}}$$

Proses 4-1 (Penyerapan Panas)

Efek refrigerasi :

$$q_0 = (h_1 - h_4) ; \text{kJ/ kg}$$

- Coefisien of Performance (COP)

Prestasi kerja dari siklus kompresi uap atau yang dikenal dengan COP (*Coeficient of Performance*), merupakan suatu angka yang menunjukkan kinerja kompresor terhadap efek refrigerasi yang dihasilkan. Prestasi kerja yang baik dari siklus kompresi uap, di tentukan oleh tingginya nilai COP yang dihasilkan. Persamaan COP dapat dinyatakan (**Arora C.P**) sebagai berikut :

$$\text{COP} = \frac{\text{efek refrigerasi}}{\text{daya aktual kompresor}}$$

Secara garis besar menurut **Arora C.P** efek refrigerasi dapat di artikan sebagai kerja bermanfaat yaitu proses penyerapan panas di evaporator terhadap daya aktual kompresor $\text{COP}_{\text{Evaporator}}$ dan kerja bermanfaat yang dilakukan kondensor dalam pelepasan panas terhadap kerja kompresor $\text{COP}_{\text{Kondensor}}$.

$$\text{COP}_{\text{Evaporator}} =$$

$$\frac{q_0}{W} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)}$$

$$\text{COP}_{\text{Kondensor}} = \frac{q_k}{W} = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_2 - h_1)}$$

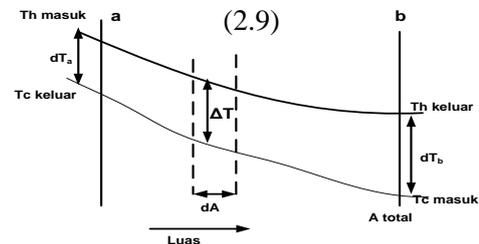
- Analisa yang digunakan Pada Heat Exchanger

Pada pengujian eksperimental yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh volume aliran dan perubahan temperatur pada fluida panas (air), pada evaporator/ penukar kalor tipe *shell & tubes* digunakan metoda analisa perbedaan temperatur logaritmik. Metoda ini

juga dikenal dengan sebutan metoda LMTD (*Log Mean Temperature Difference*).

Metoda ini digunakan karena pada pengambilan data hasil pengukuran, temperatur masuk dan keluar kedua fluida diketahui. Oleh sebab itu, kita dapat dengan mudah menghitung besarnya laju perpindahan panas yang terjadi pada penukar kalor.

LMTD merupakan parameter yang dapat diketahui dari pengukuran temperatur masuk dan keluar dari kedua fluida yang mengalir didalam penukar kalor. Pada Gambar 2.21 diperlihatkan profil distribusi temperatur pada penukar kalor dengan aliran berlawanan arah. (**J.P Holman**)



Gambar 2.5. Profil Temperatur Pada Aliran Berlawanan Arah

Persamaan LMTD untuk profil temperatur diatas dapat di tulis :

$$\text{LMTD} = \frac{(T_{h1} - T_{c2}) - (T_{h2} - T_{c1})}{\ln \left[\frac{T_{h1} - T_{c2}}{T_{h2} - T_{c1}} \right]} ; ^\circ\text{C}$$

Persamaan LMTD dapat digunakan untuk menentukan laju perpindahan panas yang terjadi pada penukar kalor, antara kedua fluida. Berikut adalah persamaan laju perpindahan panas yang mengacu pada spesifik panas suatu zat, yang ditunjukkan persamaan.

$$q = \dot{m} C_p \Delta T ; \text{Watt}$$

Atau

$$q = \dot{m} C_p \text{LMTD} ; \text{Watt}$$

Dimana $\dot{m}_a = \rho_a \cdot Q_a ; \text{kg/ sec}$

2.3. Parameter Pengolahan Data

a). *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$\text{LMTD} = \frac{(T_{h1} - T_{c2}) - (T_{h2} - T_{c1})}{\ln \left[\frac{T_{h1} - T_{c2}}{T_{h2} - T_{c1}} \right]} ; ^\circ\text{C}$$

Dimana : T_{h1} = Temperatur air panas

masuk *heat exchanger*, °C
 T_{h2} = Temperatur air keluar
heat exchanger, °C
 T_{C1} = T_4 , temperatur refrigeran
 masuk *heat exchanger*, °C
 T_{C2} = T_1 , temperatur refrigeran
 keluar *heat exchanger*, °C

b). Laju Aliran Massa Air Panas Masuk *Heat Exchanger* (\dot{m})

$$\dot{m}_a = \rho_a \cdot Q_a ; \text{kg/ det}$$

Dimana : ρ_a = Massa jenis air panas
 masuk *heat exchanger*, kg/ m³

$$Q_a = \frac{V}{t} ; \text{m}^3/\text{det} ; \text{Debit aliran air}$$

panas,

t (waktu, det)

V = Volume aliran, m³

c). Laju Pendinginan Air (\dot{q})

$$\dot{q} = \dot{m} C_p \text{LMTD} ; \text{Watt}$$

Dimana : C_p = Panas spesifik air
 pada tekanan konstan,
 kJ/ kg °C

$$C_p = \left[\frac{\Delta h_a}{\Delta T_a} \right] ; \text{kJ/ kg. } ^\circ\text{C}$$

d). Kerja Kompresor Aktual (W)

$$W = (h_2 - h_1) ; \text{kJ/ kg}$$

Dimana : h_2 = Enthalpy refrigeran
 keluar kompresor, kJ/ kg

h_1 = Enthalpy refrigeran
 masuk kompresor, kJ/ kg

e). Penyerapan Kalor dari Air (q_0)

$$q_0 = (h_1 - h_4) ; \text{kJ/ kg}$$

Dimana : h_4 = Enthalpy refrigeran masuk
heat exchanger, kJ/ kg

f). *Coefficient of Performance* (COP)

$$\text{COP}_{\text{Eva}} = \frac{q_0}{W} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)}$$

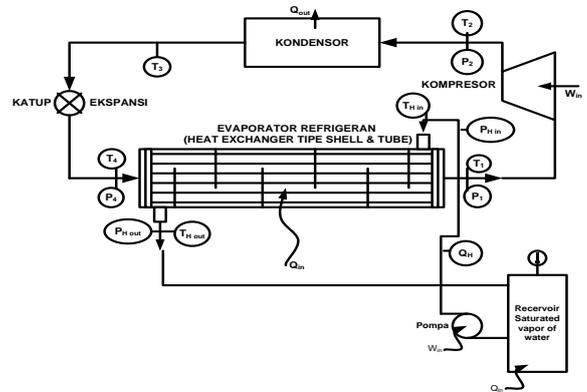
$$\text{COP}_{\text{Kond}} = \frac{q_K}{W} = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_2 - h_1)}$$

Dimana : h_3 = Enthalpy refrigeran keluar
 kondensor, kJ/Kg.

Untuk mencari h_3 diperoleh dari T_3 (data yang terukur).

3. PERCOBAAN

3.1. Sketsa Pengambilan Data



Gambar 3.1. Sketsa Pengambilan Data Pada Pengujian

3.2. Bahan dan Peralatan yang digunakan

Bahan :

- Refrigeran-22 dengan massa 660 gr
- Air dengan volume 50 liter

3.3. Alat Ukur yang digunakan

Alat-alat ukur yang digunakan dalam eksperimen ini adalah :

1. *Pressure Gauge (Asian First)* untuk mengukur tekanan refrigeran.
 - o Tekanan tinggi, spesifikasi : *Scale* (0 – 35 kg/cm² atau 0 – 500 Psi), *operating for* R-22, R-12, R-502, R-134a (-50 s/d 380 °C).
 - o Tekanan rendah, Spesifikasi : *Scale* (0 – 8.5 kg/cm² atau 0 – 120Psi), *operating for* R-22, R-12, R-134a (-40 s/d 35 °C). Tekanan vakum sampai – 76 Psi.
2. Termometer digital (APPA) dan termokopel, untuk mengukur temperatur refrigeran.
 - a. Spesifikasi termometer digital, temperatur dalam °C dan °F ($T_1, T_2, T_1 - T_2$) ketelitian 0.1, minimum temperatur -200 °C & maksimum temperatur 1370 °C, *power requirements (standard 9V battery, NADA 1604 JIS 006P, IEC6F22 size), battery life (Alkaline 90 Hours)*.
 - b. Spesifikasi termokopel, tipe K dengan tegangan keluaran 10 mV/ °C.
3. Kubik meter, ketelitian 0.001 m³.
4. Termometer jarum

- a. Temperatur rendah, skala dari $-20 - 100^{\circ}\text{C}$.
 - b. Temperatur tinggi, skala dari $0 - 200^{\circ}\text{C}$.
5. Pressure gauge untuk mengukur tekanan air.

3.4. Prosedur Pengujian

Prosedur yang harus dilakukan sebelum pengujian :

- a) Hidupkan mesin kompresi uap beberapa menit untuk mengecek hal-hal, antara lain :
 - Kebocoran pada instalasi siklus kompresi uap yang dapat di rasakan dengan adanya bau refrigeran, tekanan yang terbaca pada pressure gauge P_2 (tekanan keluar kompresor) yang tidak beranjak naik dari nilai 10 Psi dan adanya bunyi kebocoran.
 - Dinginnya saluran masuk pipa ekspansi evaporator (*heat exchanger*) yang terlihat oleh butiran uap air yang membeku.
- b) Pasang alat ukur termometer digital pada posisi 1,2,3 dan 4 pada siklus kompresi uap.

Prosedur yang dilakukan waktu pengujian :

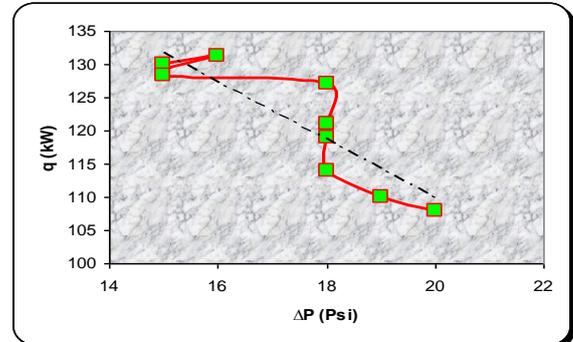
- a) Setelah air di reservoir di panaskan dengan elemen pemanas air, kondisikan temperatur air sesuai dengan variasi pengujian yang dilakukan dengan bantuan termokopel.
- b) Hidupkan pompa untuk mengalirkan air panas ke dalam *heat exchanger* dengan mengatur bukaan katup bola dengan empat variasi bukaan untuk memvariasikan debit aliran air.
- c) Setelah variasi waktu yang ditentukan, catat data-data yang terukur pada alat ukur.
- d) Lakukan pengujian untuk variasi bukaan katup bola (1/4,1/2,3/4,4/4), variasi Temperatur (60,65,70,75-100), dan variasi waktu operasi (5,10,15,20-100).

4. ANALISA DATA

4.1. Pengaruh Perubahan Temperatur Air Panas Masuk dan Penurunan Tekanan Air Panas Pada *Heat Exchanger* Terhadap Laju Perpindahan Panas

Pada dasarnya tekanan yang terukur untuk air merupakan aliran yang diakibatkan bantuan dari daya pompa. Namun, terjadinya kenaikan dan penurunan tekanan pada dasarnya dapat mempengaruhi tekanan aliran

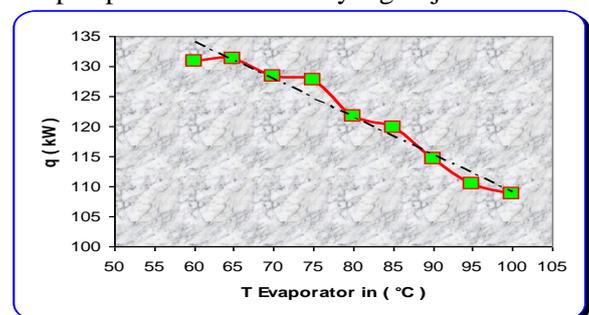
air tersebut yang terjadi pada saluran tertutup. Berikut adalah grafik hubungan antara penurunan tekanan air masuk dan keluar dari penukar kalor (ΔP), terhadap laju perpindahan panas yang terjadi (\dot{q}).



Gambar 4.1. Grafik Hubungan Antara Penurunan Tekanan (δp) Yang Dipengaruhi Perubahan Temperatur Air Terhadap Laju Pendinginan Air (\dot{q}).

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan semakin rendah laju perpindahan panas, Begitu pula sebaliknya semakin rendah tekanan semakin tinggi laju perpindahan panas. Perbedaan tekanan yang terkecil adalah 15 Psi dan laju perpindahan panas yang terendah adalah 108,72 kW sedangkan tekanan yang tinggi adalah 20 Psi dan laju perpindahan panas yang tinggi adalah 128,34 kW.

Dalam perhitungan tingkat keadaan suatu sistem selalu ada kaitan tekanan (P) dan temperatur (T), terhadap proses perpindahan energi yang terjadi pada sistem tersebut. Pada desain penukar kalor selalu dikemukakan bahwa untuk mendapatkan laju perpindahan panas yang diinginkan selalu direncanakan dampak penurunan tekanan yang terjadi.



Gambar 4.2. Grafik Pengaruh Perubahan Temperatur Air Panas (T) Masuk Pada *Heat Exchanger* Terhadap Laju Pendinginan Yang Berlangsung (\dot{q}).

Gambar 4.2 diatas menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur air masuk evaporator semakin rendah laju perpindahan panas, atau sebaliknya semakin rendah temperatur air masuk evaporator semakin tinggi laju perpindahan panas. Laju perpindahan panas tertinggi diperoleh 130,89 kW yaitu pada temperatur air masuk evaporator 60 °C, laju perpindahan panas terendah diperoleh 108,72 kW pada temperatur air masuk evaporator 100 °C.

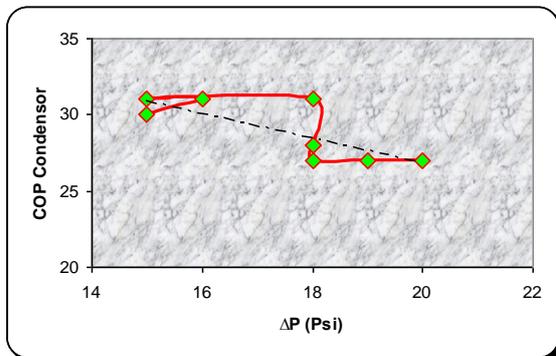
Nilai temperatur air masuk penukar kalor yang besar tidak mempengaruhi laju Perpan yang besar pula. Hal ini disebabkan oleh pengaruh *Buffle* yang ada didalam evaporator yang mempengaruhi tekanan sehingga temperatur menjadi rendah dan laju perpindahan panas yang terjadi semakin tinggi.

4.2. Pengaruh Penurunan Tekanan dan Perubahan Temperatur Air Panas Masuk Pada Heat Exchanger Tipe Shell and Tube (Evaporator) Terhadap Nilai COP Daur Kompresi Uap

Nilai COP merupakan hal yang penting bagi siklus kompresi uap, karena prestasi kerja yang baik dari siklus ini dilihat dari semakin besarnya nilai COP. Pada eksperimen ini, siklus kompresi uap tidak digunakan katup ekspansi termostat sehingga laju aliran massa refrigeran konstan. Sehingga persamaan terhadap laju aliran massa refrigeran (*Arora C.P*) adalah :

$$\dot{m} = \frac{N_k \eta_s}{(h_2 - h_1)} ; \text{kg/sec}$$

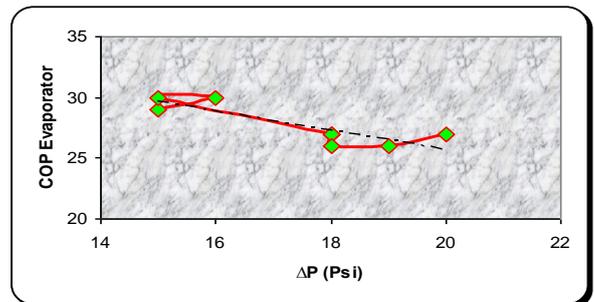
Dimana N_K adalah daya kompresor (1HP) dan η_s adalah efisiensi isentropik kompresor (0,7 – 0,8).



Gambar 4.3. Grafik Hubungan Penurunan Tekanan ΔP (Psi) Terhadap

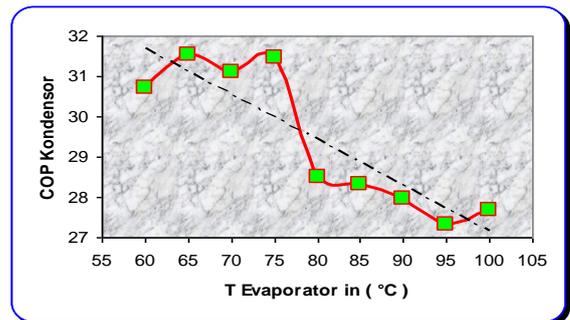
COP_{kondensor} Kondensor.

Gambar 4.3. menunjukkan bahwa COP_{kondensor} semakin turun apa bila tekanan semakin besar. Nilai tekanan terendah adalah 15 Psi dan COP_{kondensor} terendah adalah 28,33, sedangkan nilai tekanan tertinggi adalah 20 Psi dan COP_{kondensor} adalah 30,70.

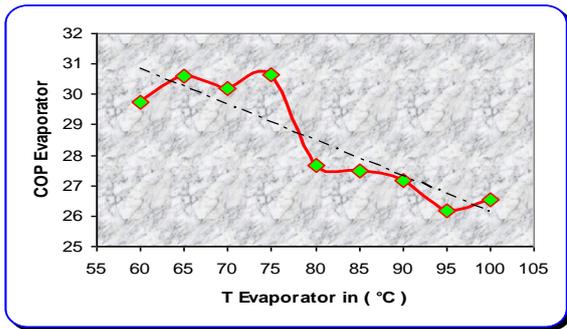


Gambar 4.4. Grafik Hubungan Penurunan Tekanan ΔP (Psi) Terhadap COP_{Evaporator} (Heat Exchanger Tipe Shell & Tubes).

Pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa penurunan tekanan pada aliran air dalam penukar kalor semakin tinggi membuat harga COP_{Evaporator} semakin menurun. COP_{Evaporator} tertinggi diperoleh 30,58 yaitu pada tekanan 16 Psi sedangkan COP_{Evaporator} terendah diperoleh 25,52 pada tekanan 20 Psi. Penurunan tekanan dalam shell (ruang tertutup) dapat mengakibatkan laju perpindahan panas dari air ke refrigerant yang mengalir dalam tubes menjadi lambat.

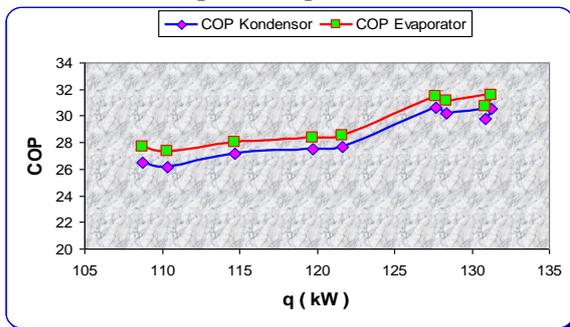


Gambar 4.5. Grafik Hubungan Temperatur Air Masuk Heat Exchanger T_{Eva in}



Gambar 4.6. Grafik Hubungan Temperatur Air Masuk *Heat Exchanger* $T_{Eva\ in}$ ($^{\circ}C$) Terhadap COP_{Eva} Pada Evaporator/ *Heat Exchanger*.

Pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 memperlihatkan nilai kenaikan temperatur selain tidak mengakibatkan laju pendinginan didalam penukar kalor, juga tidak membuat nilai $COP_{kondensor}$ dan $COP_{Evaporator}$ menjadi naik, nilai $COP_{kondensor}$ dan $COP_{Evaporator}$ tertinggi adalah 31,52 dan 30,65 pada temperatur $65^{\circ}C$ dan $75^{\circ}C$ sedangkan nilai $COP_{kondensor}$ dan $COP_{Evaporator}$ terendah adalah 27,33 dan 26,52 pada temperature $95^{\circ}C$.



Gambar 4.7. Grafik Hubungan Laju Perpindahan Panas q (kWatt) Terhadap

Laju pelepasan panas atau laju pendinginan air dalam penukar kalor yang besar akan mengakibatkan harga $COP_{kondensor}$ dan $COP_{Evaporator}$ siklus kompresi uap akan semakin tinggi. Energi panas yang dilepaskan oleh air pada penukar kalor merupakan energi maksimum panas yang diserap oleh refrigeran di penukar kalor. Dimana laju perpindahan panas tertinggi 131,26 kW, harga $COP_{kondensor}$ tertinggi 30,65 dan harga $COP_{Evaporator}$ tertinggi 31,52 begitu pula sebaliknya.

5. KESIMPULAN

Eksperimen yang dilakukan pada sistem pendingin air siklus kompresi uap dengan evaporator/ *heat exchanger* tipe *shell & tubes*, dapat ditarik kesimpulan bahwa :

- 1) Semakin besar nilai temperatur air masuk penukar kalor, tidak mengakibatkan laju pendinginan atau penyerapan panas yang besar oleh refrigeran. Dimana nilai tertinggi temperatur air masuk evaporator $100^{\circ}C$ menyebabkan laju perpindahan panas 108,7189 kW, sedangkan nilai terendah temp air masuk evaporator $60^{\circ}C$ menyebabkan laju perpindahan dahan panas 130,8907 kW.
- 2) Penurunan tekanan yang terlalu besar dari aliran volume air pada saat melewati penukar kalor akan mengakibatkan laju pendinginan atau penyerapan panas oleh refrigeran dari air menjadi lambat. Dimana ΔP terendah 15 Psi menyebabkan laju perpindahan panas 130,8907 kW, sedangkan ΔP tertinggi 20 Psi menyebabkan laju perpindahan panas 108,7189 kW.
- 3) Tinggi atau rendahnya nilai $COP_{Kondensor}/COP_{Evaporator}$ dari siklus kompresi uap ditentukan oleh laju energi panas yang diserap pada evaporator (*heat exchanger* tipe *shell & tubes*). Nilai tertinggi COP kondensor 30,65 pada laju perpindahan panas tertinggi 131,26 kW, begitu juga pada COP evaporator tertinggi 31,52. Sedangkan nilai COP kondensor terendah 27,33 pada laju perpindahan panas 107,7189 kW dan COP evaporator terendah 27,55 pada laju perpindahan panas 108,7189.
- 4) Semakin besar nilai temperatur air masuk penukar kalor, tidak mengakibatkan laju pendinginan atau penyerapan panas yang besar oleh refrigeran. Dimana nilai tertinggi temperatur air masuk evaporator $100^{\circ}C$ menyebabkan laju perpindahan panas 108,7189 kW, sedangkan nilai terendah temp air masuk evaporator $60^{\circ}C$ menyebabkan laju perpindahan dahan panas 130,8907 kW.
- 5) Penurunan tekanan yang terlalu besar dari aliran volume air pada saat melewati penukar kalor akan mengakibatkan laju pendinginan atau penyerapan panas oleh refrigeran dari air menjadi lambat. Dimana

ΔP terendah 15 Psi menyebabkan laju perpindahan panas 130,8907 kW, sedangkan ΔP tertinggi 20 Psi menyebabkan laju perpindahan panas 108,7189 kW.

- 6) Tinggi atau rendahnya nilai COP_{Kondensor}/COP_{Evaporator} dari siklus kompresi uap ditentukan oleh laju energi panas yang diserap pada evaporator (*heat exchanger tipe shell & tubes*). Nilai tertinggi COP kondensor 30,65 pada laju perpindahan panas tertinggi 131,26 kW, begitu juga pada COP evaporator tertinggi 31,52. Sedangkan nilai COP kondensor terendah 27,33 pada laju perpindahan panas 107,7189 kW dan COP evaporator terendah 27,55 pada laju perpindahan panas 108,7189.

Udara. Edisi kedua, Jakarta : Erlangga.
Widharto Sri. 2004. *Inspeksi Teknik Pada Heat Exchanger dan Perpipaan*.
Buku 4, Cetakan Pertama. Jakarta : Pradnya Paramita.

DAFTAR PUSTAKA

Arora C.P. 2001. *Refrigeration and Air Conditioning*. Second Edition. McGraw-Hill inc.

ASHRAE. 1997. *ASHRAE Fundamentals Handbook (SI)*. United State of America.

Bluestein Maurice and Irving Granet . 2001. *Thermodynamics and Heat Power*. Sixth Edition. Prentice Hall.

Cengel Yunus A and Robert H. Turner. 2001. *Fundamentals of Thermal Fluid Sciences*. Nevada : McGraw Hill.

Holman J.P, 1992 . "Heat Transfer Seventh Edition", Metrik Edition.

Holman J.P dan Ejasfji, 1991. "Perpindahan Kalor", Erlangga Jakarta.

Mills A.F. 1999. *Basic Heat & Mass Transfer*. Second Edition, New Jersey : Pretice Hall

Reynolds William C. 1994. *Termodinamika Teknik*. Jakarta : Erlangga.

Stoecker Wilbert F dan Jerold W. Jones. 1989. *Refrigerasi dan Pengkondisian*