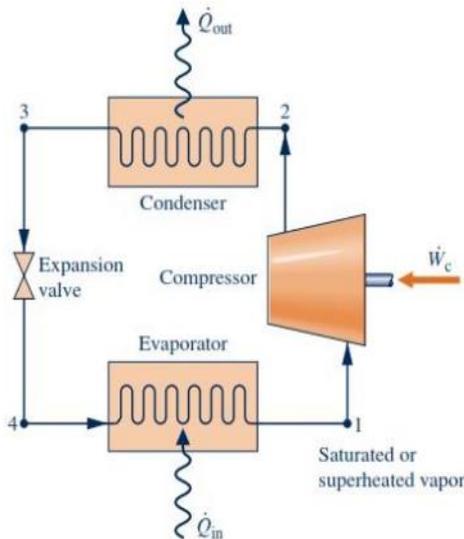


kompresi uap standar pada sistem pendinginan udara standar bisa digambarkan sebagai berikut:

B. Sistem Refrigerasi



Gambar 2. Siklus refrigerasi standar [1].

Proses-proses yang membentuk daur kompresi uap standar adalah sebagai berikut:

- Proses 1-2: Refrigeran berfasa uap-jenu ditekan oleh kompresi hingga menjadi uap bertekanan tinggi dan berubah fasa menjadi *superheated*. Hal tersebut diikuti dengan kenaikan temperatur pada refrigeran dan proses ini terjadi secara isentropik (entropi konstan)
- Proses 2-3: Uap referigeran dalam kondisi fasa *superheated* tersebut akan masuk melewati kondensor dan mengalami pendinginan yang mengakibatkan terjadinya perubahan fasa pada referigeran menjadi fasa cair-jenuh. Proses pendinginan tersebut terjadi secara isobarik (tekanan konstan). Proses pendinginan terjadi karena adanya pertukaran panas dari dalam kondensor dengan udara luar atau air pendingin.
- Proses 3-4: Referigeran berfasa cair-jenuh tersebut masuk ke dalam katup ekspansi. Ekspansi terjadi melalui *throttle* secara isoenthalpi (entalpi konstan). Ekspansi mengakibatkan penurunan tekanan juga temperatur dan membuat referigeran berubah fasa menjadi campuran uap-cair.
- Proses 4-1: Referigeran berfasa campuran uap-cair akan menguap karena perpindahan panas. Pada umumnya udara dari ruang yang akan dikondisikan dihembuskan menggunakan fan melewati koil pendingin yang berisi referigeran. Panas dari uda udara tersebut dipindahkan dari udara ke koil yang mengakibatkan referigeran berfasa campuran uap-cair berubah fasa menjadi uap jenuh. Sementara udara yang keluar dari evaporator bertemperatur lebih rendah dari sebelumnya karena perpindahan panas.

Referigeran berfasa uap jenuh tersebut kemudian dihisap oleh kompresor dan begitu seterusnya hingga terjadi keseimbangan termal pada ruangan.

1. Kompresor

Kompresor berfungsi untuk menghisap uap refrigeran bertekanan rendah dari evaporator dan mengkompresinya menjadi uap bertekanan tinggi sehingga uap akan tersirkulasi.

$$\dot{W} = \dot{m}(h_2 - h_1) \tag{1}$$

2. Kondensor

Kondensor menkondensasikan uap refrigeran yang mengalir dari kompresor. Dalam kondesor, refrigeran yang masuk dalam fasa *superheated* berubah menjadi berfasa cair-jenuh pada tekanan konstan. Dalam proses kondensasi terjadi pelepasan kalor dari dalam sistem menuju lingkungan.

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}(h_2 - h_3) \tag{2}$$

3. Evaporator menguapkan refrigeran yang masuk dalam fasa uap-cair berubah menjadi fasa uap jenuh. Dalam prose evaporasi terjadi perpindahan kalor dari lingkungan masuk ke dalam sistem.

$$\dot{Q}_e = \dot{m}(h_1 - h_4) \tag{3}$$

4. Alat ekspansi berfungsi untuk mengekspansikan atau menurunkan tekanan refrigeran yang keluar dari kondenser dan berfasa cair-jenuh menjadi berfasa uap-cair. Proses ideal ekspansi berlangsung secara isoentalpi.

$$h_3 = h_4 \tag{4}$$

C. Heat Rejection Ratio (HRR)

Heat Rejection Ratio (HRR) atau rasio pelepasan panas didapat dari perbandingan kapasitas kondensor dengan kapasitas evaporator.

$$HRR = \frac{\dot{Q}_{cond}}{\dot{Q}_e} = \frac{\dot{m}(h_2-h_3)}{\dot{m}(h_1-h_4)} \tag{5}$$

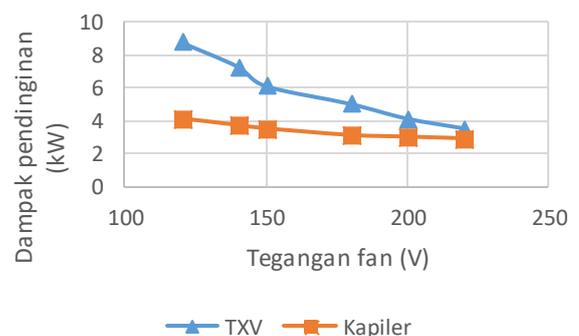
D. Koefisien Unjuk Kerja (COP)

Koefisien unjuk kerja (COP) adalah unjuk kerja secara teoritis yang didapatkan dari perbandingan kalor yang diserap oleh evaporator dengan kerja yang dibutuhkan kompresor.

$$COP = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}} = \frac{\dot{m}(h_1-h_4)}{\dot{m}(h_2-h_1)} \tag{6}$$

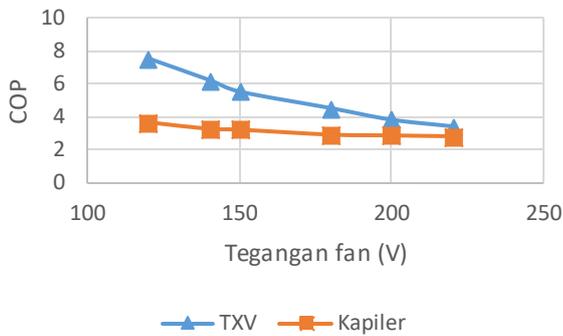
E. Penelitian Terdahulu

Pada tahun 2009, Suryono dan Hendri melakukan penelitian dengan judul “Kaji Eksperimental Perbandingan Performansi Mesin Pendingin Kompresi Uap Dengan Menggunakan Pipa Kapiler dan Katup Ekspansi”. Eksperimen dilakukan menggunakan *air conditioner trainer* yang terdiri dari kompresor *reciprocating* hermetik, kondensor dan evaporator jenis *finned-tube heat exchanger* berbahan dasar tembaga, serta TXV dan pipa kapiler.



Gambar 3. Grafik dampak pendinginan fungsi tegangan fan [2].

Perbandingan performa sistem dengan penggunaan pipa kapiler dan katup ekspansi diamati dengan variasi tegangan fan 120, 140, 150, 180, 200 dan 220 volt. Hasil eksperimen pada Gambar 3 menunjukkan energi yang diserap dengan penggunaan katup ekspansi dapat mencapai kapasitas yang lebih tinggi daripada pipa kapiler. Dimana dengan penggunaan pipa kapiler nilai yang dicapai berkisar antara 3,03-4,1 kW, sedangkan dengan katup ekspansi nilai dampak pendinginannya antara 3,74-8,74 kW.

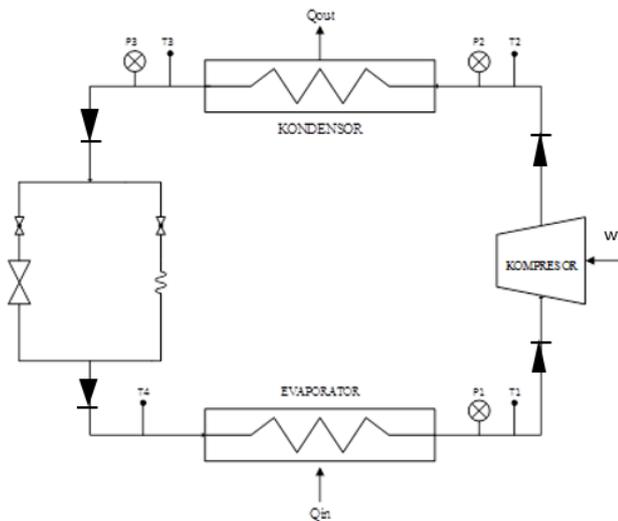


Gambar 4. Grafik COP fungsi tegangan fan [2].

Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa COP yang dicapai dengan penggunaan katup ekspansi lebih tinggi dibandingkan dengan pipa kapiler. Dimana nilai COP dengan penggunaan katup ekspansi mencapai nilai antara 3,41-7,53, sedangkan dengan pipa kapiler mencapai nilai 2,82-3,6. Dari grafik hasil penelitian terlihat bahwa nilai COP semakin menurun dan berbanding terbalik dengan kenaikan tegangan fan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Skema Modifikasi Sistem Pengkondisi udara



Gambar 5. Skema modifikasi sistem pengkondisi udara

Gambar 5 adalah sistem pengkondisi udara yang telah dimodifikasi yang memiliki terdapat komponen-komponen, yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi TXV dan pipa kapiler serta evaporator.

B. Alat Ukur

Berikut ini adalah alat ukur yang digunakan pada eksperimen:

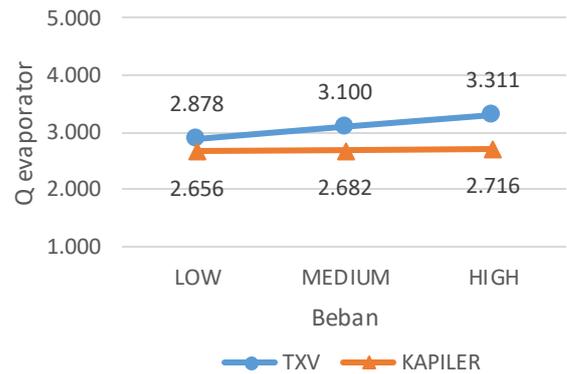
1. Termokopel tipe-K: 4 titik pengukuran temperatur
2. Pressure gauge: 2 high pressure dan 2 low pressure
3. Flowmeter
4. Amperemeter
5. Data akuisisi.

C. Prinsip Pengujian

Pengujian pada sisten refrigerasi single state ini menggunakan refrigeran R-22 dan memvariasikan alat ekspansi menggunakan Automatic Expansion Valve (AXV) serta pipa kapiler dengan variasi beban evaporator. Pengambilan data dilakukan setelah sistem dalam kondisi tunak atau stabil. Untuk mengetahui nilai-nilai terbaik dari data yang diambil, maka setelah sistem dalam keadaan stabil dilakukan pengambilan data tigabelas kali setiap lima menit.

IV. HASIL DAN ANALISA

A. Grafik Kapasitas Evaporator Fungsi Beban Evaporator

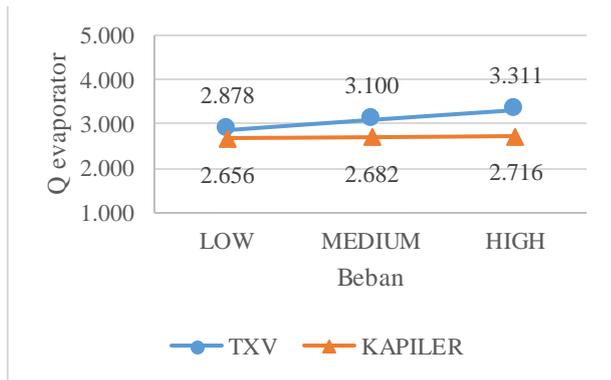


Gambar 6. Grafik kapasitas evaporator fungsi beban evaporator

Gambar 6 menunjukkan tren yang mengalami kenaikan dari Q evaporator, dimana pembebanan semakin besar maka semakin besar pula nilai kapasitas evaporator yang didapat. Dari grafik di atas terlihat perbedaan antara kapasitas evaporator dengan penggunaan Thermostatic Expansion Valve (TXV) dan dengan pipa kapiler dimana kapasitas evaporator dengan TXV lebih tinggi dibandingkan dengan pipa kapiler. Kapasitas evaporator dengan TXV dan pipa kapiler terendah yaitu 2,878 kW dan 2,656 kW, sedangkan kapasitas evaporator dengan TXV dan pipa kapiler tertinggi yaitu 3,311 dan 2,716.

Tren kenaikan grafik di atas sesuai akibat semakin tinggi kecepatan fan evaporator semakin tinggi pula kapasitas evaporator. Peningkatan kecepatan fan evaporator secara langsung meningkatkan koefisien konveksi dimana semakin besar koefisien konveksi maka semakin besar kalor yang berpindah dari lingkungan ke refrigerant dimana nilai entalpi akan semakin meningkat. Kenaikan tren grafik di atas sesuai dengan persamaan 3.

B. Grafik Kerja Kompresor Fungsi Beban Evaporator

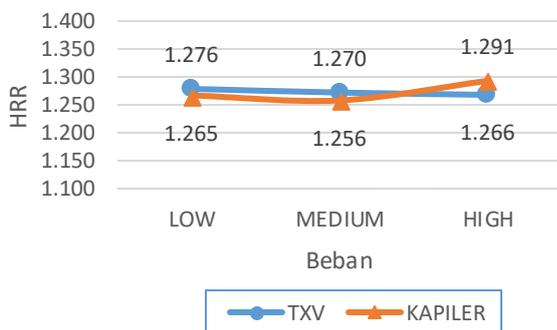


Gambar 7. Grafik kapasitas evaporator terhadap beban

Gambar 7 menunjukkan tren yang mengalami kenaikan dari Q evaporator, dimana pembebanan semakin besar maka semakin besar pula nilai kapasitas evaporator yang didapat. Dari grafik di atas terlihat perbedaan antara kapasitas evaporator dengan penggunaan *Thermostatic Expansion Valve (TXV)* dan dengan pipa kapiler dimana kapasitas evaporator dengan TXV lebih tinggi dibandingkan dengan pipa kapiler. Kapasitas evaporator dengan TXV dan pipa kapiler terendah yaitu 2,878 kW dan 2,656 kW, sedangkan kapasitas evaporator dengan TXV dan pipa kapiler tertinggi yaitu 3,311 dan 2,716.

Tren kenaikan grafik di atas sesuai akibat semakin tinggi kecepatan *fan* evaporator semakin tinggi pula kapasitas evaporator. Peningkatan kecepatan *fan* evaporator secara langsung meningkatkan koefisien konveksi dimana semakin besar koefisien konveksi maka semakin besar kalor yang berpindah dari lingkungan ke *refrigerant* dimana nilai entalpi akan semakin meningkat. Kenaikan tren grafik di atas sesuai dengan persamaan 2.6.

C. Grafik HRR Fungsi Beban Evaporator



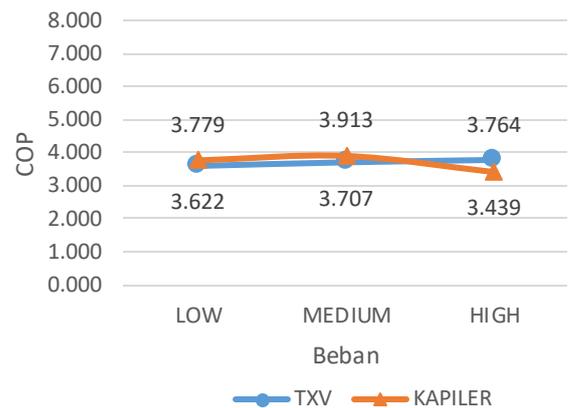
Gambar 8. Grafik HRR fungsi beban evaporator

Gambar menunjukkan tren HRR yang cenderung stabil untuk masing-masing *expansion device*. Dimana dengan penggunaan *Thermostatic Expansion Valve (TXV)* trennya adalah selalu menurun dari pembebanan rendah, menengah hingga pembebanan tinggi. Sedangkan dengan penggunaan pipa kapiler mengalami penurunan rasio dari pembebanan rendah ke medium dan meningkat saat

pembebanan tinggi. Untuk rasio terendah dengan penggunaan TXV terjadi pada pembebanan tinggi dan pipa kapiler pada pembebanan menengah dengan besar masing-masing yaitu 1,266 dan 1,256. Sedangkan untuk rasio tertinggi dengan penggunaan TXV terjadi pada pembebanan rendah dan pipa kapiler pada pembebanan tinggi dengan nilai masing-masing yaitu 1,276 dan 1,291.

Dari grafik di atas tren yang dibentuk oleh ekspansi TXV dan pipa kapiler cenderung stabil. Ini disebabkan oleh peningkatan kapasitas evaporator dan kapasitas kondensor yang sebanding seiring peningkatan beban. Tren grafik sudah sesuai dengan persamaan 5.

D. Grafik COP Fungsi Beban Evaporator



Gambar 9. Grafik COP fungsi beban evaporator

Gambar 9 menunjukkan tren COP yang konstan untuk *expansion device* dengan penggunaan *Thermostatic Expansion Valve (TXV)* dan pipa kapiler dari pembebanan rendah, menengah dan pembebanan tinggi. Dengan penggunaan TXV dengan pembebanan rendah, menengah dan tinggi masing-masing nilai yang dicapai adalah 3,622, 3,707 dan 3,764, kemudian dengan penggunaan pipa kapiler masing-masing nilai yang dicapai adalah 3,779, 3,913, dan 3,439.

Tren kenaikan nilai COP dengan penggunaan TXV dan pipa kapiler sudah sesuai karena tingkat kenaikan kapasitas evaporator sebanding dengan besar peningkatan kapasitas kompresor sesuai dengan persamaan 6.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil studi eksperimen dengan variasi alat ekspansi pada sistem refrigerasi adalah sebagai berikut:

1. Sistem dengan penggunaan alat ekspansi TXV dapat menyerap kalor lebih besar dibandingkan dengan pipa kapiler, dimana nilai besar kalor yang diserap oleh sistem dengan penggunaan TXV adalah sebesar 3,311 kW dan pipa kapiler sebesar 2,716 kW dengan nilai COP relatif sama ($COP_{TXV} = 3,764$; $COP_{kapiler} = 3,439$).
2. Dengan variasi beban *low*, *medium* dan *high*, nilai COP dan HRR yang dicapai oleh sistem dengan penggunaan TXV relatif stabil.
 - COP (*low* = 3,622; *medium* = 3,707; *high* = 3,764)

- HRR (*low* = 1,276; *medium* = 1,270; *high* = 1,291)
- 1. Dengan variasi beban *low*, *medium* dan *high*, nilai COP dan HRR yang dicapai oleh sistem dengan penggunaan pipa kapiler relatif stabil.
- COP (*low* = 3,779; *medium* = 3,913; *high* = 3,439)
- HRR (*low* = 1,265; *medium* = 1,256; *high* = 1,266)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. N. Moran, Michael J. Shapiro, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 8th*. United State of America: John Wiley & Sons Inc, 2006.
- [2] A. F. Suryono and H. Van Hoten, "Kaji Eksperimental Perbandingan Performansi Mesin Pendingin Kompresi Uap dengan Menggunakan Pipa Kapiler dan Katup Ekspansi," *J. TEKNOSIA*, vol. 2, no. 6, pp. 34–39, 2009.