

PENGARUH KATUP EKSPANSI TERMOSTATIK DAN PIPA KAPILER TERHADAP TEMPERATUR DAN TEKANAN PADA MESIN PENDINGIN SIKLUS KOMPRESI UAP MENGGUNAKAN REFRIGERAN HCR-134A

Izzuddin Ali Raja Siregar¹, Azridjal Aziz², Rahmat Iman Mainil³

Laboratorium Rekayasa Termal, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km. 12,5 Simpangbaru, Pekanbaru 28293

¹izzuddinaliraja.siregar@gmail.com, ²azridjal.aziz@gmail.com, ³rahmat.iman@gmail.com

Abstract

The basic functions of the expansion device in a refrigeration system is to reduce pressure from condenser pressure to evaporator pressure and regulate the refrigerant flow from the high pressure liquid line into the evaporator at a rate equal to the evaporation rate in the evaporator. In this study, the capillary tube and thermostatic expansion valves will be compared to determine the performance of each other. The experiment was conducted with using a vapor compression cycle testing device with HCR-134a refrigerant. The result shows that the average temperature on the testing points using thermostatic expansion valve is lower than the 1,25 m capillary tube except the temperature of compressor in and compressor out. Also the average pressure in the evaporator and condenser using thermostatic expansion valve is lower than 1,25 m capillary tube.

Keywords : expansion device, temperature, pressure, HCR-134a

1. Pendahuluan

Mesin pendingin yang paling banyak digunakan saat ini adalah mesin pendingin siklus kompresi uap. Komponen-komponen utama dari mesin pendingin siklus kompresi uap tersebut ialah evaporator, kompresor, kondensor, alat ekspansi.

Salah satu cara untuk meningkatkan prestasi dari suatu sistem refrigerasi adalah dengan mengganti alat ekspansinya. Fungsi dasar alat ekspansi pada suatu sistem refrigerasi adalah menurunkan tekanan refrigeran dari kondensor menuju evaporator dan meregulasi aliran refrigeran dari bagian cairan bertekanan tinggi menuju evaporator pada laju aliran yang sesuai dengan laju evaporasi di evaporator [1].

Jenis alat ekspansi yang sering digunakan saat ini adalah jenis pipa kapiler dan katup ekspansi termostatik (KET). Banyaknya jenis alat ekspansi yang bisa digunakan membuat perlunya dilakukan penelitian perbandingan kinerja dari alat ekspansi tersebut.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meneliti perbandingan kinerja pipa kapiler dengan katup ekspansi. Suryono dan Hoten, 2009 [2], melakukan penelitian perbandingan performansi mesin pendingin kompresi uap dengan menggunakan pipa kapiler dan katup ekspansi dan mendapat hasil performansi dengan menggunakan katup ekspansi termostatik lebih baik dari pada pipa kapiler. Siswanto, 2010 [3], melakukan penelitian perbandingan kinerja refrigerator dengan refrigerant R-22 dan MC-22 menggunakan katup ekspansi termostatik dan pipa kapiler dan mendapatkan hasil bahwa penggunaan katup ekspansi termostatik lebih hemat daya listrik dan koefisien prestasi yang dihasilkannya relatif lebih baik daripada penggunaan pipa kapiler. Harianto dan Yawara, 2013 [4], melakukan penelitian efektivitas penggunaan

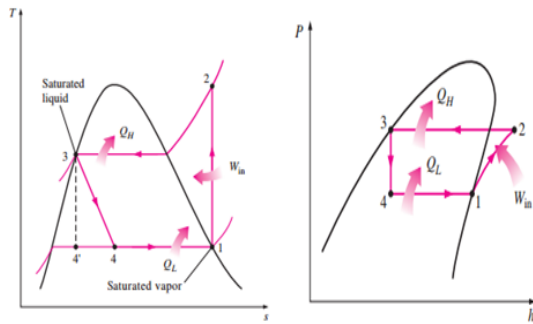
thermostatic expansion valve (TEV) pada refrigerasi AC split dan mendapat hasil performansi menggunakan TEV lebih baik dari pada pipa kapiler. Joshi dkk, 2016 [1], melakukan penelitian analisis penggunaan katup ekspansi termostatik, alat ekspansi konstan, dan pipa kapiler pada sistem refrigerasi kompresi uap dan mendapat hasil bahwa katup ekspansi termostatik memberi hasil performansi lebih baik dari pada alat ekspansi konstan dan pipa kapiler.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh katup ekspansi termostatik dan pipa kapiler pada mesin pendingin siklus kompresi uap menggunakan refrigeran HCR-134a terhadap perubahan temperatur dan tekanan yang bisa terjadi pada sistem pendingin.

2. Tinjauan Pustaka

Daur kompresi uap merupakan daur yang paling banyak digunakan dalam proses refrigerasi. Pada daur ini uap ditekan, dan kemudian diembunkan, lalu tekanannya diturunkan agar cairan tersebut dapat menguap kembali [5]. Komponen utama dari sebuah siklus kompresi uap adalah kompresor, evaporator, kondensor dan katup ekspansi.

Pada siklus kompresi uap, di evaporator refrigeran akan 'menghisap' panas dari dalam ruangan sehingga panas tersebut akan menguapkan refrigeran. Kemudian uap refrigeran akan dikompres oleh kompresor hingga mencapai tekanan kondensor, dalam kondensor uap refrigeran dikondensasikan dengan cara membuang panas dari uap refrigeran ke lingkungannya. Kemudian refrigeran akan kembali di teruskan ke dalam evaporator. Diagram T-s dan P-h dari siklus kompresi uap ideal dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1 Diagram T-s dan P - h Siklus Kompresi Uap [6]

Terdapat beberapa proses yang terjadi pada siklus kompresi uap, proses-proses tersebut seperti ditunjukkan Gambar 1 adalah sebagai berikut:

a. Proses kompresi (1-2)

Pada proses ini komponen yang bekerja adalah kompresor. Pada proses ini terjadi kompresi refrigeran dan berlangsung secara isentropik. Kondisi awal refrigeran saat masuk ke dalam kompresor merupakan uap jenuh bertekanan rendah, setelah mengalami kompresi refrigeran akan menjadi uap bertekanan tinggi. Karena proses ini berlangsung secara isentropik, maka temperatur ke luar kompresor pun meningkat.

b. Proses kondensasi (2-3)

Proses ini berlangsung didalam kondensor. Refrigeran yang berasal dari kompresor dan memiliki tekanan dan temperatur tinggi akan membuang kalornya sehingga fasanya berubah menjadi cair. Disini terjadi pertukaran kalor antara refrigeran dengan lingkungannya (udara), sehingga panas berpindah dari refrigeran ke udara pendingin yang menyebabkan uap refrigeran mengembun menjadi cair.

c. Proses ekspansi (3-4)

Proses ekspansi berlangsung secara *isoenthalpy*. Pada proses ini berarti tidak terjadi perubahan entalpi, namun terjadi *pressure drop* dan penurunan temperatur.

d. Proses evaporasi (4-1)

Proses ini berlangsung secara *isobar isothermal* (tekanan konstan, temperatur konstan) di dalam evaporator. Pada proses ini kalor dari dalam ruangan pendingin akan diserap oleh cairan refrigeran yang bertekanan rendah sehingga refrigeran berubah fasa menjadi uap bertekanan rendah.

Selanjutnya, refrigeran kembali masuk ke dalam kompresor dan bersirkulasi lagi. Begitu seterusnya sampai kondisi yang diinginkan tercapai.

Untuk menyatakan unjuk kerja dari suatu siklus kompresi uap yang diperhatikan adalah dampak refrigerasi, kerja kompresi, *Coefficient of Performance* (COP) [7].

Dampak Refrigerasi adalah besarnya panas yang dapat diserap oleh refrigeran persatuan massa. Besarnya dihitung dengan selisih entalpi refrigeran masuk dan keluar evaporator.

$$q_e = \frac{Q_e}{\dot{m}} = h_1 - h_4 \quad (1)$$

Kerja Kompresi adalah kerja yang diterima oleh refrigeran untuk tiap satuan massa refrigeran.

$$w_k = \frac{W_k}{\dot{m}} = h_2 - h_1 \quad (2)$$

Coefficient of Performance (COP) adalah perbandingan dampak refrigerasi dengan kerja kompresor.

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

Salah satu elemen dasar dalam siklus refrigerasi uap adalah alat ekspansi. Alat ekspansi ini mempunyai dua fungsi yaitu menurunkan tekanan refrigeran cair dan mengatur aliran refrigeran ke evaporator. Secara umum ada dua jenis alat ekspansi yang biasa digunakan yaitu pipa kapiler dan katup ekspansi (*expansion valve*).

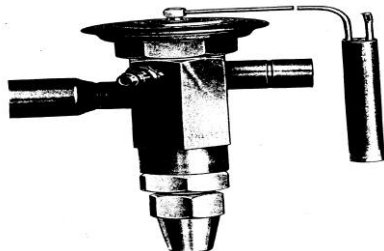
Pipa kapiler seperti pada Gambar 2 adalah pengatur bahan pendingin atau refrigeran pada sistem pendinginan yang ditempatkan pada antara sisi tekanan tinggi dan sisi tekanan rendah. Refrigeran cairan yang mengalir melalui pipa kapiler terjadi *pressure drop* yang berarti tekanan dan suhunya diturunkan sesuai dengan kebutuhan evaporator. Penggunaan pipa kapiler pada mesin pendingin akan mempermudah pada waktu *start*, karena dengan mempergunakan pipa kapiler pada saat sistem tidak bekerja tekanan pada kondensor dan evaporator selalu sama. Hal ini berarti meringankan tugas kompresor pada waktu *start*.



Gambar 2 Pipa Kapiler [8]

Katup Ekspansi Termostatik (*Thermostatic Expansion Valve*) seperti pada Gambar 3 merupakan alat pengatur refrigeran yang paling banyak dipakai untuk sistem pendinginan. Katup ekspansi tersebut dapat mengatur jumlah refrigeran yang mengalir dalam evaporator sesuai dengan beban evaporator yang maksimum pada setiap keadaan beban

evaporator yang berubah-ubah. Katup ekspansi termostatik dapat mempertahankan uap panas lanjut yang konstan. Katup ekspansi tersebut tidak mengatur tekanan dan temperatur dalam evaporator, tetapi mengontrol jumlah refrigeran yang mengalir masuk dalam evaporator. Refrigeran yang mengalir melalui katup ekspansi termostatik lalu pada evaporator, selain dikontrol oleh tekanan rendah dalam evaporator, juga oleh temperatur dan tekanan pada akhir evaporator.



Gambar 3 Katup Ekspansi Termostatik [5]

Kerusakan lapisan ozon dan pemanasan global akibat penggunaan CFC dan HFC harus segera dikurangi dengan cara mengganti dengan refrigeran yang ramah lingkungan. Refrigeran hidrokarbon merupakan salah satu refrigeran alternatif pengganti refrigeran halokarbon (CFC). Refrigeran hidrokarbon tidak berpotensi merusak ozon karena ODP = 0 dan GWP yang kecil. Refrigeran hidrokarbon juga tidak mengalami reaksi kimia dengan oli pelumas yang digunakan untuk refrigeran halokarbon [9]. Salah satu refrigeran hidrokarbon yang digunakan ialah HCR-134a. HCR-134a merupakan refrigeran campuran hidrokarbon yang ramah lingkungan yang ditunjukkan dengan nilai GWP dan ODP-nya yang hampir mendekati nol. Sifat-sifat HCR-134a dapat dilihat pada Tabel 1.

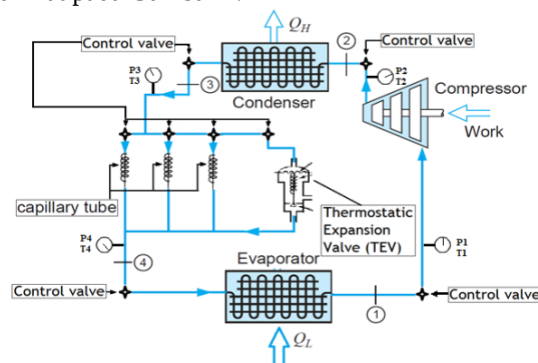
Tabel 1 Sifat-sifat HCR-134a [10]

Properties	HCR-134a
Molecular Mass	57.9
Boiling Temperature (°C)	-34.5
Heat of Vaporization at boiling pont (kJ/kg)	367.0
Thermal and Chemical Stabilities	Stable
Erosive	No
Flammability (LFL & UFL, %)	3.7~9.5
Autoignition Temperature (°C)	540
Toxicity	No
ODP	0
GWP	3
Lubricant	Mineral/ Ester

3. Metode

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode kaji ekperimental dengan menggunakan alat uji yang berada di Laboratorium Rekayasa Termal.

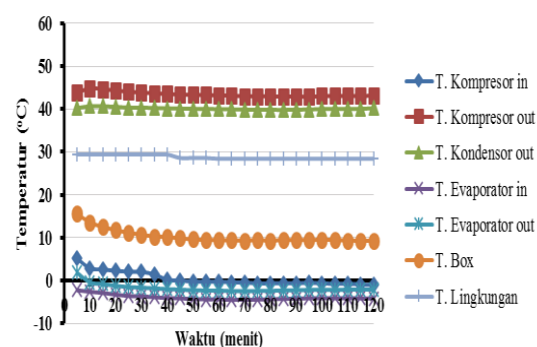
Pengujian dilakukan untuk masing-masing refrigeran dengan kondisi *cold box* evaporator dalam keadaan tertutup dan menggunakan refrigeran HCR-134a. Alat ekspansi yang digunakan adalah pipa kapiler 1,25 m dan katup ekspansi termostatik. Data-data yang didapat dari hasil pengujian berupa data tekanan, temperatur. Diagram skematik fasilitas pengujian mesin pendingin yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Gambar Diagram Skematik Fasilitas Pengujian Mesin Pendingin [11]

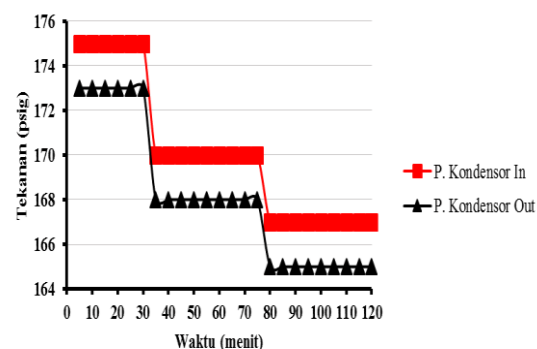
4. Hasil Dan Pembahasan

a) Pipa Kapiler 1,25 m - Temperatur

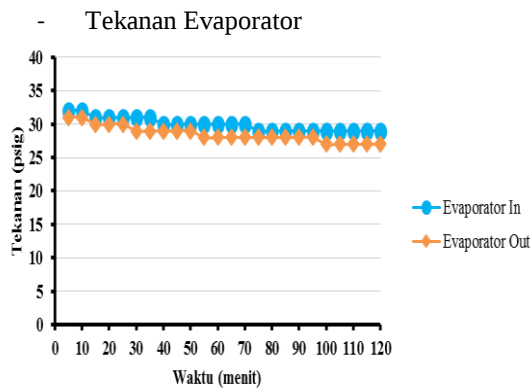


Gambar 5 Temperatur Pengujian Pipa Kapiler 1,25 m

- Tekanan Kondensor



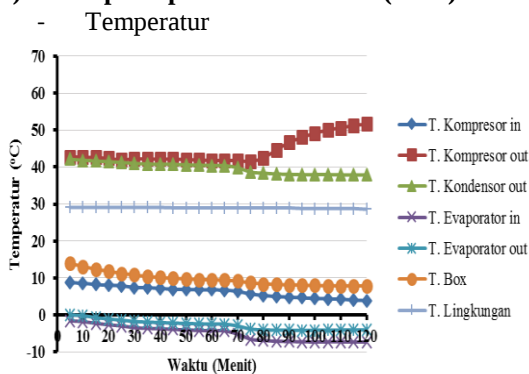
Gambar 6 Tekanan Kondensor Pipa Kapiler 1,25 m



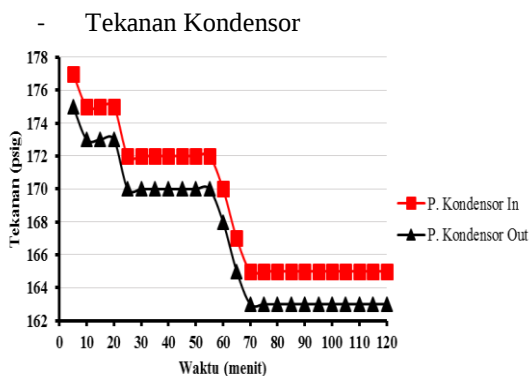
Gambar 7 Tekanan Evaporator Pipa Kapiler 1,25 m

Dari Gambar 5 grafik temperatur hasil pengujian didapatkan temperatur rata-rata pada kompresor *in* dan *out* yaitu $-0,28^{\circ}\text{C}$ dan $43,18^{\circ}\text{C}$, pada kondensor *out* $40,03^{\circ}\text{C}$, pada evaporator *in* dan *out* yaitu $-4,22^{\circ}\text{C}$ dan $-2,2^{\circ}\text{C}$, dan temperatur rata-rata pada *box* hasil pengujian yaitu $9,58^{\circ}\text{C}$. Sedangkan dari Gambar 6 dan 7 grafik tekanan hasil pengujian didapatkan bahwa tekanan rata-rata evaporator yaitu 28,79 psig dan tekanan pada kondensor yaitu 167,84 psig

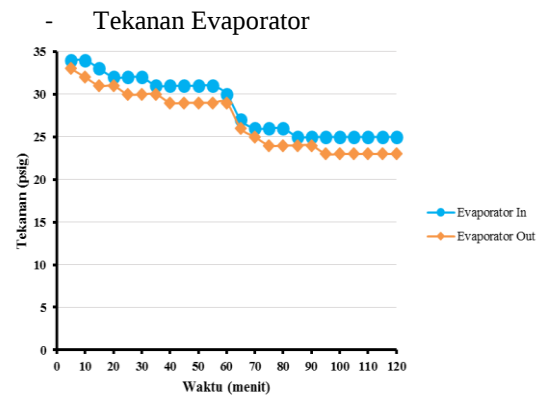
b) Katup Ekspansi Termostatik (KET)



Gambar 8 Temperatur Pengujian KET



Gambar 9 Tekanan Kondensor KET



Gambar 10 Tekanan Evaporator KET

Dari Gambar 8 grafik temperatur hasil pengujian didapatkan temperatur rata-rata pada kompresor *in* dan *out* yaitu $5,74^{\circ}\text{C}$ dan $44,95^{\circ}\text{C}$, pada kondensor *out* $39,26^{\circ}\text{C}$, pada evaporator *in* dan *out* yaitu $-5,68^{\circ}\text{C}$ dan $-3,22^{\circ}\text{C}$, dan temperatur rata-rata pada *box* hasil pengujian yaitu $8,93^{\circ}\text{C}$. Sedangkan dari Gambar 9 dan 10 grafik tekanan hasil pengujian didapatkan bahwa tekanan rata-rata evaporator yaitu 26,63 psig dan tekanan pada kondensor yaitu 166,58 psig.

5. Simpulan

Dari pengujian penggunaan KET dan pipa kapiler 1,25 m menggunakan HCR-134a, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Temperatur rata-rata hasil pengujian menggunakan KET pada titik kondensor *out*, evaporator *in*, evaporator *out*, dan *box* lebih rendah daripada menggunakan pipa kapiler 1,25 m. Sedangkan untuk temperatur kompresor *in* dan kompresor *out*, temperatur hasil pengujian menggunakan KET lebih tinggi dari pada pipa kapiler 1,25 m.
2. Tekanan rata-rata hasil pengujian menggunakan KET pada bagian kondensor dan evaporator lebih rendah daripada menggunakan pipa kapiler 1,25 m.
3. Tekanan evaporator dan kondensor KET pada saat awal pengujian lebih tinggi dari pada pipa kapiler 1,25 m, namun pada menit ke-60 menit terjadi penurunan drastis sehingga pada saat akhir tekanan evaporator dan kondensor KET lebih rendah dari pada pipa kapiler 1,25 m.

Daftar Pustaka

- [1] Joshi, Rohit dkk. 2016 Experimental Analysis of Thermostatic Expansion Valve, Constant Expansion Device & Cap Tube on Vapour Compression Refrigeration System. *International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS)* 2(6) : 356-360.
- [2] Suryono, Ahmad Fauzan dan Hoten, Hendri Van. 2009. Kaji Eksperimental Perbandingan

- Performansi Pendingin Menggunakan dan Katup Ekspansi. Mesin Kompresi Uap dengan Kapiler. *Jurnal TEKNOSIA* 2(6) : 34-39.
- [3] Siswanto, Ngundi. 2010. “Studi Perbandingan Kinerja Refrigerator dengan Refrigeran R-22 Dan Mc-22 Menggunakan Katup Ekspansi Termostatik dan Pipa Kapiler”. Skripsi Sarjana. Fakultas Teknik dan Sains Universitas Nasional.
- [4] Harianto dan Yawara, Eka. 2013. Efektivitas Penggunaan *Thermostatic Expantion Valve* Pada Refrigerasi *Ac Split*. *SEMINAR NASIONAL RETII KE-8*. pp(2013): 189-192.
- [5] Stoecker, Wilbert F. dan Jones, Jerold W. 1958. *Refrigeration and Air Conditioning* , *Second Edition*. New York: McGraw-Hill.
- [6] Cengel, A. Yunus dan Boles, A. Michael, 2002. *Thermodynamics An Engineering Approach, Fourth Edition*, McGraw-Hill, New York
- [7] Moran, M.J. dan Saphiro, H.N. 1995. *Fundamental of Engineering Thermodynamics*. New York: John Wiley & Sons.
- [8] Khemani, Haresh. 2009. *Capillary Tube for Refrigeration and Air Conditioning Systems*. <http://www.brightbubengineering.com/hvac/58420-capillary-tube-for-refrigeration-and-air-conditioning-systems> (diakses 25 Juli 2015)
- [9] Pasek, A.D. dan Tandian, N.P. 2000. Short Course on The Application of Hydrocarbon Refrigerants. *International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion 2000*. Bandung.
- [10] HANYOUNG TECHNOCHEM Co. Ltd. 2011. *Characteristic of Refrigerant*. <http://eng.technochem.co.kr/product-8.asp> (diakses tanggal 9 Maret 2015).
- [11] Sonntag, Richard E. dan Borgnakke, Claus. 2009. *Fundamentals Of Thermodynamics, Seventh Edition*. Michigan: John Wiley & Sons, Inc.