

# PENGARUH KATUP EKSPANSI TERMOSTATIK DAN PIPA KAPILER TERHADAP PERFORMANSI MESIN PENDINGIN SIKLUS KOMPRESI UAP MENGGUNAKAN REFRIGERAN HIDROKARBON

Izzuddin Ali Raja Siregar

Laboratorium Perawatan dan Perbaikan, Jurusan Teknik Meisn, Fakultas Teknik Universitas Riau

E-mail: [izzuddinaliraja.siregar@gmail.com](mailto:izzuddinaliraja.siregar@gmail.com)

## ABSTRAK

Alat ekspansi merupakan suatu bagian penting dari mesin pendingin siklus kompresi uap yang berfungsi untuk menurunkan tekanan refrigeran cair yang keluar dari kondensor dan mengatur aliran refrigeran tersebut masuk ke evaporator. Selain alat ekspansi, hal yang penting lainnya adalah penggunaan refrigeran. Refrigeran yang baik adalah refrigeran yang mempunyai kalor laten tinggi, hemat energi, dan juga ramah lingkungan. Maka penting untuk mengetahui performansi dari mesin pendingin dengan refrigeran hidrokarbon tersebut. Dari pengujian tersebut, didapat hasil COP pipa kapiler 1,25 m menggunakan HCR-134a sebesar 5,6, pipa kapiler 1,5 m sebesar 5,8, pipa kapiler 2,7 m sebesar 5,3, dan COP untuk KET sebesar 5,4. COP pipa kapiler 1,5 m bernilai paling besar dikarenakan tekanan evaporator dan kondensornya yang paling rendah. Penggunaan HCR-134a meningkatkan COP dari pipa kapiler 1,25 m dan 1,5 dibandingkan penggunaan R-134a, dengan penggunaan daya listrik yang lebih hemat. Namun pada pipa kapiler 2,7 m dan KET menyebabkan COP lebih rendah dan daya listrik yang lebih tinggi.

Kata kunci : alat ekspansi, refrigeran hidrokarbon, katup ekspansi.

## ABSTRACT

*Expansion device is an important part of vapor compression cycle refrigeration machine which functions to lower the pressure of the liquid refrigerant coming out of the condenser and regulates the flow of refrigerant into the evaporator flow into the evaporator. In addition to the expansion device, another important thing is the use of refrigerant. A good refrigerant is a refrigerant that has a high latent heat, energy efficient, and also environmentally friendly. So it is important to know the performance of a cooling machine with hydrocarbon refrigerant. From these tests, the COP results of capillary pipes of 1.25 m using HCR-134a of 5.6, 1.5 m capillary pipe of 5.8, 2.7 m capillary pipe of 5.6, and 2.7 m capillary pipe of 5.8, 2.7 m capillary pipe of 5.3, and COP for KET of 5.4. The COP of capillary pipe 1.5 m capillary pipe has the greatest value because the evaporator and condenser pressures are the lowest. The use of HCR-134a increases the COP of the 1.25 m and 1.5 m capillary pipes compared to the use of R-134a, with the use of more efficient electrical power.*

*However, the 2.7 m and KET capillary pipes caused lower COP and higher electrical power.*

*Keywords: expansion device, hydrocarbon refrigerant, expansion valve.*

## PENDAHULUAN

Elemen dasar dalam siklus kompresi uap setelah kompresor, kondensor dan evaporator adalah alat ekspansi. Alat ekspansi ini mempunyai dua kegunaan, yaitu mengekspansikan secara adiabatik cairan refrigeran yang bertekanan dan bertemperatur rendah, serta mengatur aliran

refrigeran ke evaporator. Secara umum ada dua jenis alat ekspansi yang biasa digunakan yaitu pipa kapiler dan katup ekspansi (*expansion valve*). Suryono dan Hoten, 2009 telah melakukan komparasi penggunaan pipa kapiler dan katup ekspansi terhadap performansi mesin pendingin siklus kompresi uap, dan mendapat hasil bahwa penggunaan katup ekspansi memberikan kinerja

yang lebih bagus daripada pipa kapiler [1]. Iskandar, 2010 meneliti karakteristik pipa kapiler dan katup ekspansi termostatik pada sistem pendingin *water chiller*, dan mendapatkan hasil bahwa katup ekspansi memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan pipa kapiler [2]. Aziz, 2013 telah melakukan penelitian tentang perbandingan katup ekspansi dengan pipa kapiler panjang 1,22 m terhadap temperatur dan tekanan mesin pendingin. Dari hasil penelitian tersebut, diperoleh hasil bahwa penggunaan katup ekspansi termostatik akan memberikan tekanan dan temperatur kerja yang lebih rendah dari pipa kapiler [3]. Aziz dan Hartanto, 2014 telah membandingkan penggunaan katup ekspansi dan pipa kapiler panjang 1,25 m, 1,5 m, dan 2,7 m menggunakan R-134a, dan menyatakan bahwa penggunaan katup ekspansi termostatik memberikan performansi yang lebih baik dibanding pipa kapiler [4].

Suatu sistem pendingin tidak lepas dari refrigeran sebagai fluida untuk melakukan proses pendinginan. Penemuan sistem pendingin terdahulu masih menggunakan suatu refrigeran yang masih berbasis *chloroflourocarbon* (CFC). Sejak adanya penemuan bahwa lapisan ozon di bumi telah menipis, Serikat Nation Environment memutuskan bahwa untuk tidak menggunakan refrigeran yang mengandung *chloroflourocarbon* (CFC) dan *hydrochloroflourocarbon* (HCFC) lagi, walaupun memiliki sifat stabil, tidak mudah terbakar, tidak beracun, dan kompatibel terhadap sebagian besar bahan komponen pada peralatan pendingin konvensional. Refrigeran jenis tersebut adalah Refrigeran yang mempunyai efek buruk terhadap lingkungan, dimana Refrigeran jenis ini mempunyai ODP (*Ozon Depleting Potential*) yang tinggi. Dengan adanya efek buruk dari penggunaan Refrigeran R-22, maka muncul inisiatif untuk mengganti refrigeran yang ada pada perangkat pendinginan udara tersebut dengan refrigeran yang lebih ramah lingkungan seperti Refrigeran R-134a. Sifat thermophysical antara R-22 dan R-134a sangat mirip. ODP yang dimiliki R-134a sangat rendah dibandingkan dengan R-22 tetapi GWP (*Global Warming Potential*) pada R-134a sangat tinggi (GWP = 1300) [5].

Masalah penipisan lapisan ozon dan meningkatnya pemanasan global tersebut membuat ilmuwan untuk meneliti refrigeran yang lebih ramah lingkungan dari CFC atau HFC untuk menjaga kelestarian lingkungan seperti hidrokarbon (HC).

Berdasarkan standar ASHRAE, refrigeran HC memiliki sifat mudah terbakar yang merupakan kekurangan dari refrigeran HC. Namun mempunyai kelebihan yakni nilai ODP = 0, GWP yang sangat rendah, tidak beracun, dan performansi lebih tinggi dari refrigeran lain, serta tetap sesuai dengan sistem refrigerasi yang telah ada. Refrigeran HC telah digunakan pada banyak aplikasi pendinginan. Perhatian dan penanganan keamanan dari kebocoran sistem untuk refrigeran HC sama seperti refrigeran lain yang telah digunakan selama ini [6].

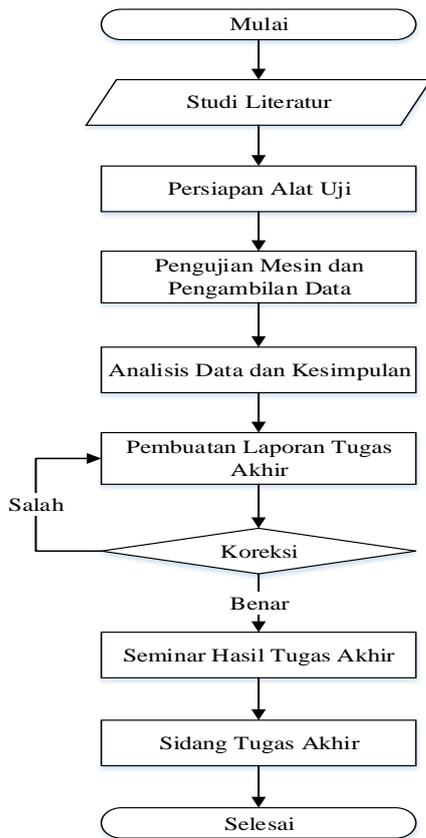
Dalkilic & Wongwises, 2010 melakukan penelitian perbandingan performansi sistem refrigerasi kompresi uap menggunakan refrigeran alternatif yaitu hidrokarbon HC290/HC600a dan HC290/1270, dan diperoleh hasil bahwa semua refrigeran campuran hidrokarbon tersebut memiliki COP yang lebih rendah dari refrigeran CFC12, CFC22, dan HFC134a [7]. Aziz dan Rosa, 2010 melakukan penelitian performansi sistem refrigerasi hibrida perangkat pengkondisian udara menggunakan refrigeran hidrokarbon substitusi R-22 dan mendapatkan hasil penggunaan massa refrigeran hidrokarbon HCR-22 pada mesin kompresi uap hibrida lebih hemat 57,78% dibanding penggunaan refrigeran R-22 serta COP 57,38% lebih baik [8]. Berdasarkan situs [www.jhr22.com](http://www.jhr22.com), penggunaan massa HCR-134a yang diperlukan yaitu 40-50% jumlah refrigeran R-134a [9]. Mohtar dan Aziz, 2015 melakukan penelitian analisis performansi dan penghematan energi pada kulkas dengan menggunakan massa HCR-134a 50% dari R-134a dan memperoleh hasil COP HCR-134a lebih baik daripada R-134a [10]. Saksono, 2014 melakukan penelitian pengaruh refrigeran hidrokarbon terhadap performansi *mobile air conditioning* dengan menggunakan massa HCR-134a 57% dari R-134a dan memperoleh hasil COP HCR-134a lebih tinggi dibanding R-134a [11].

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian Aziz dan Hartanto, 2014 sebelumnya. Pada penelitian ini akan dilakukan studi eksperimental pengaruh katup ekspansi pipa kapiler dan katup ekspansi termostatik terhadap performansi mesin pendingin siklus kompresi uap dengan menggunakan refrigeran hidrokarbon. Dengan melakukan penelitian ini maka akan diketahui bagaimana pengaruh jenis alat ekspansi terhadap performansi mesin pendingin siklus kompresi uap menggunakan refrigeran hidrokarbon, serta

perbandingan performansi mesin pendingin siklus kompresi uap menggunakan refrigeran hidrokarbon dengan menggunakan refrigeran R-134a.

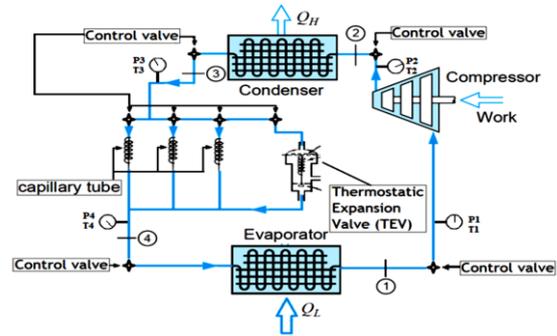
**METODE PENELITIAN**

Metode yang dilakukan pada penelitian kali ini adalah metode kaji eksperimental dengan menggunakan alat uji yang berada di Laboratorium Perawatan dan Perbaikan. Tahapan penelitian ini adalah seperti yang perlihatkan pada gambar 1.



**Gambar 1.** Flow Chart Penelitian

Pengujian dilakukan untuk masing-masing katup ekspansi dengan kondisi *cold box* evaporator dalam keadaan tertutup. Diagram skematik fasilitas pengujian mesin pendingin yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2 berikut



**Gambar 2.** Diagram Skematik Fasilitas Pengujian Mesin Pendingin [12]

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan metode eksperimental untuk menguji sebuah mesin pendingin yang menggunakan alat ekspansi termostatik dan pipa kapiler.

Pada pengujian pipa kapiler (*Capillary valve*) maka katup aliran refrigeran ke katup ekspansi termostatik (*Thermostatic Expansion Valve*) ditutup, sebaliknya jika pengujian menggunakan katup ekspansi termostatik (*Thermostatic Expansion Valve*) maka katup aliran refrigeran ke pipa kapiler (*Capillary valve*) ditutup. Pengambilan data dilakukan setiap 5 menit sekali selama 2 jam.

Data yang diperoleh dari pengujian melalui pengukuran adalah berupa temperatur, tekanan, dan arus listrik. Untuk mendapatkan performansi mesin, data yang didapat diolah terlebih dahulu.

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan prinsip-prinsip Termodinamika dan berbagai asumsi yang ada. Untuk mengetahui pengaruh alat ekspansi terhadap performansi mesin maka dihitung pula besarnya dampak refrigerasi ( $q_e$ ), kerja kompresi ( $w_k$ ), dan *coefficient of performance* (COP) [13]. Demikian juga untuk hasil perhitungan yang akan ditampilkan hanya hasil akhir dalam bentuk grafik.

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

$$q_e = \frac{Q_e}{m} = h_1 - h_4 \tag{1}$$

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

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

*Coefficient Of Peformance* (COP) adalah perbandingan dampak refrigerasi dengan kerja kompresor.

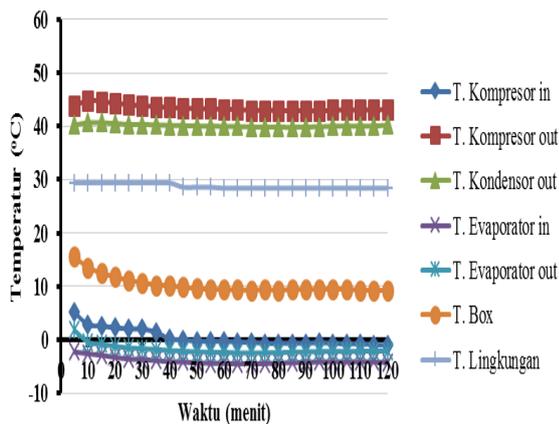
$$COP = \frac{q_c}{w_k} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \quad (3)$$

### HASIL DAN PEMBAHASAN

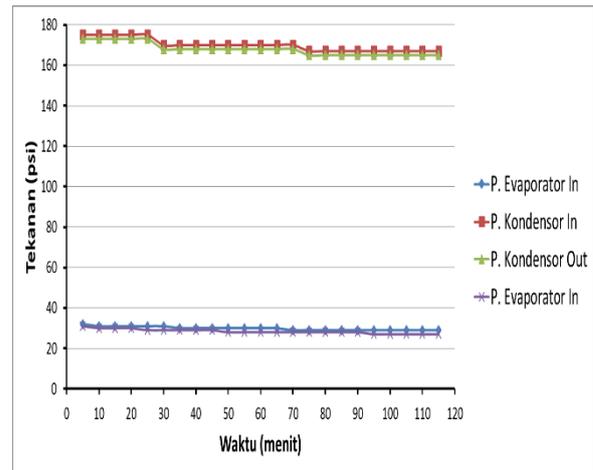
Dari pengujian yang telah dilakukan maka didapat hasil sebagai berikut:

#### Pipa Kapiler 1,25 m

Dari gambar 3 grafik temperatur hasil pengujian didapatkan temperatur rata-rata pada kompresor *in* dan *out* yaitu -0,28 °C dan 43,18 °C, pada kondensor *out* 40,03 °C, pada evaporator *in* dan *out* yaitu -4,22 °C dan -2,2 °C, dan temperatur rata-rata pada *box* hasil pengujian yaitu 9,58 °C. Sedangkan dari gambar 4 grafik tekanan hasil pengujian didapatkan bahwa tekanan rata-rata evaporator yaitu 28,79 psi dan tekanan pada kondensor yaitu 167,84 psi.

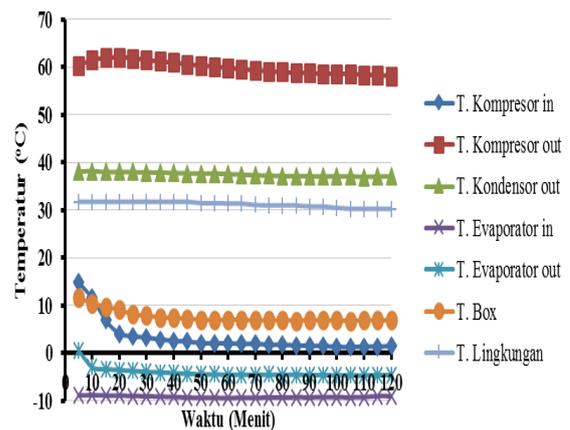


**Gambar 3.** Grafik Temperatur Hasil Pengujian Menggunakan Pipa Kapiler 1,25 m



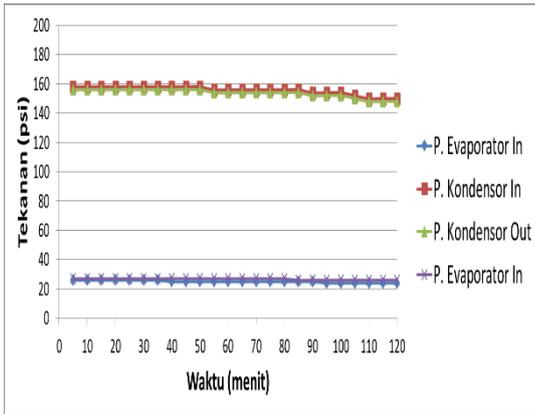
**Gambar 4.** Grafik Tekanan Hasil Pengujian Menggunakan Pipa Kapiler 1,25 m

#### Pipa Kapiler 1,5 m

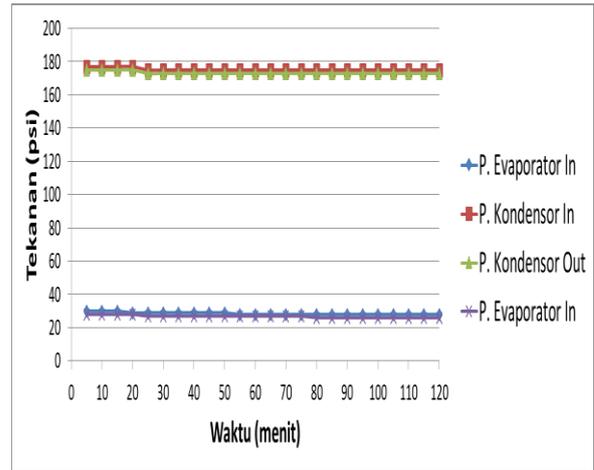


**Gambar 5.** Grafik Temperatur Hasil Pengujian Menggunakan Pipa Kapiler 1,5 m

Dari gambar 5 grafik temperatur hasil pengujian didapatkan temperatur rata-rata pada kompresor *in* dan *out* yaitu 1,91 °C dan 59,51 °C, pada kondensor *out* 37,39 °C, pada evaporator *in* dan *out* yaitu -9,26 °C dan -4,48 °C, dan temperatur rata-rata pada *box* hasil pengujian yaitu 7,02,09 °C. Sedangkan dari gambar 6 grafik tekanan hasil pengujian didapatkan bahwa tekanan rata-rata evaporator yaitu 25,68 psi dan tekanan pada kondensor yaitu 154,05 psi.



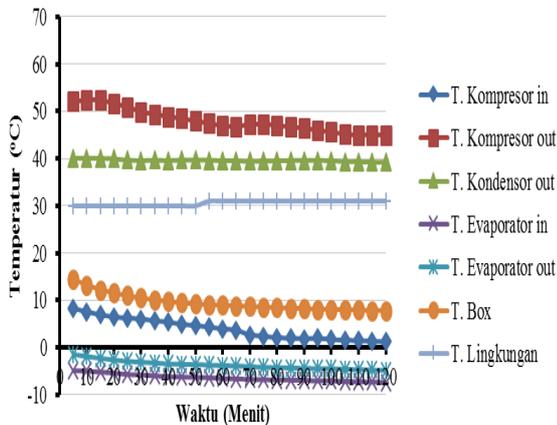
**Gambar 6.** Grafik Tekanan Hasil Pengujian Menggunakan Pipa Kapiler 1,5 m



**Gambar 8.** Grafik Tekanan Hasil Pengujian Menggunakan Pipa Kapiler 2,7 m

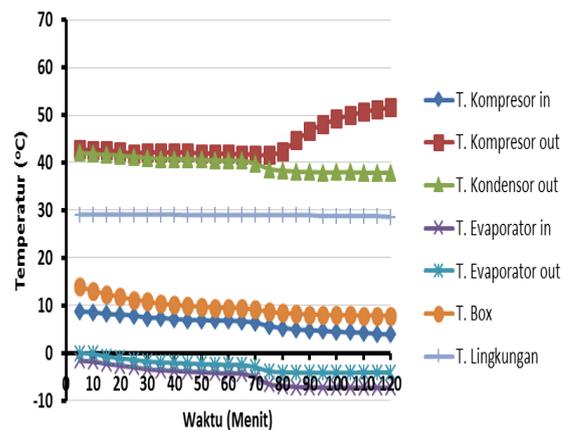
**Pipa Kapiler 2,7 m**

Dari gambar 7 grafik temperatur hasil pengujian didapatkan temperatur rata-rata pada kompresor *in* dan *out* yaitu 3,11 °C dan 46,98 °C, pada kondensor *out* 39,51 °C, pada evaporator *in* dan *out* yaitu -6,7 °C dan -4,06 °C, dan temperatur rata-rata pada *box* hasil pengujian yaitu 8,75 °C. Sedangkan dari gambar 8 grafik tekanan hasil pengujian didapatkan bahwa tekanan rata-rata evaporator yaitu 27,39 psi dan tekanan pada kondensor yaitu 174 psi.

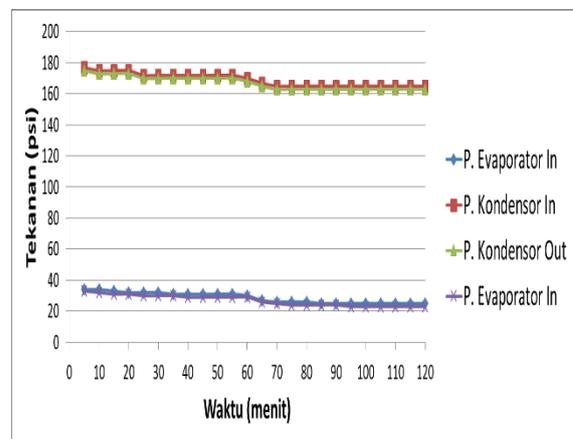


**Gambar 7.** Grafik Temperatur Hasil Pengujian Menggunakan Pipa Kapiler 2,7 m

**Katup Ekspansi Termostatik**



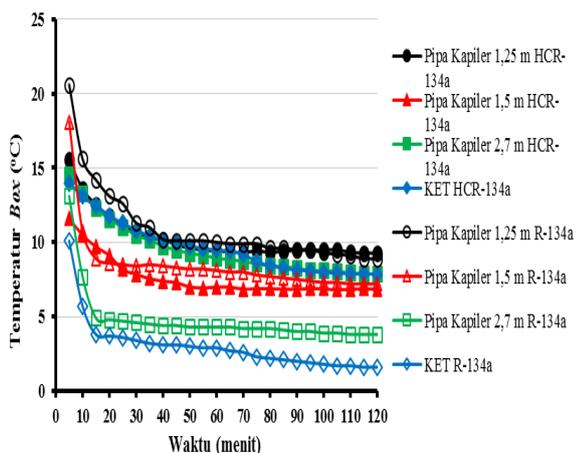
**Gambar 9.** Grafik Temperatur Hasil Pengujian Menggunakan KET



**Gambar 10.** Grafik Tekanan Hasil Pengujian Menggunakan KET

Dari gambar 9 grafik temperatur hasil pengujian didapatkan temperatur rata-rata pada kompresor *in* dan *out* yaitu 5,74 °C dan 44,95 °C, pada kondensor *out* 39,26 °C, pada evaporator *in* dan *out* yaitu -5,68 °C dan -3,22 °C, dan temperatur rata-rata pada *box* hasil pengujian yaitu 8,93 °C. Sedangkan dari gambar 10 grafik tekanan hasil pengujian didapatkan bahwa tekanan rata-rata evaporator yaitu 26,63 psi dan tekanan pada kondensor yaitu 166,58 psi.

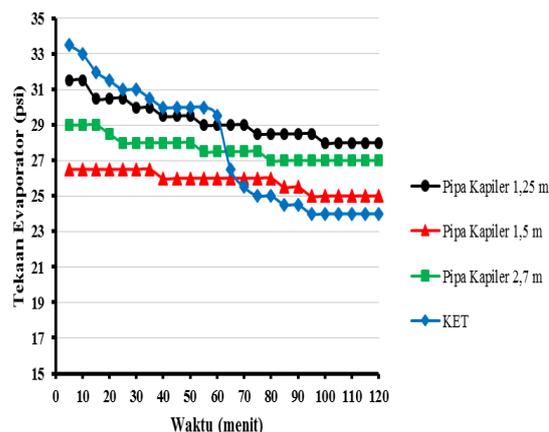
**Perbandingan Temperatur Box**



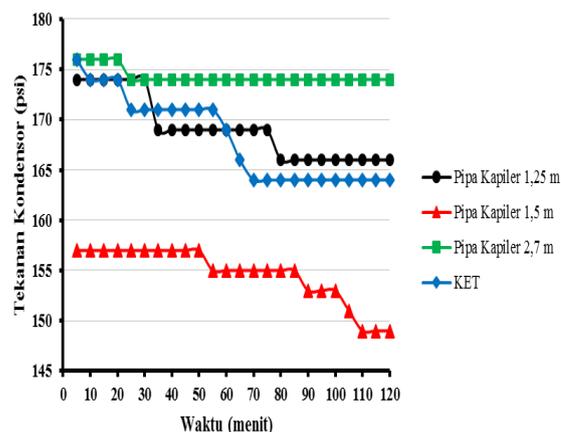
**Gambar 11.** Grafik Perbandingan Temperatur Box

Dari grafik temperatur *box* gambar 11 dapat dilihat bahwa temperatur *box* terendah dari pengujian menggunakan refrigeran HCR-134a didapat pada pipa kapiler 1,5 m. Hal ini dikarenakan temperatur evaporator *in* dari pipa kapiler 1,5 m memiliki temperatur terendah dibanding alat ekspansi lainnya, sehingga jumlah kalor yang diserap refrigeran menjadi lebih besar. Sedangkan temperatur *box* pengujian menggunakan KET lebih tinggi daripada pipa kapiler 1,5 m tapi lebih rendah dari pipa kapiler 1,25 m dan 2,7 m, hal ini karena temperatur evaporator *in* KET lebih tinggi daripada temperatur evaporator *in* pipa kapiler 1,5 m tapi lebih rendah daripada pipa kapiler 1,25 m dan 2,7 m.

**Perbandingan Tekanan**



**Gambar 122.** Grafik Perbandingan Tekanan Pada Evaporator



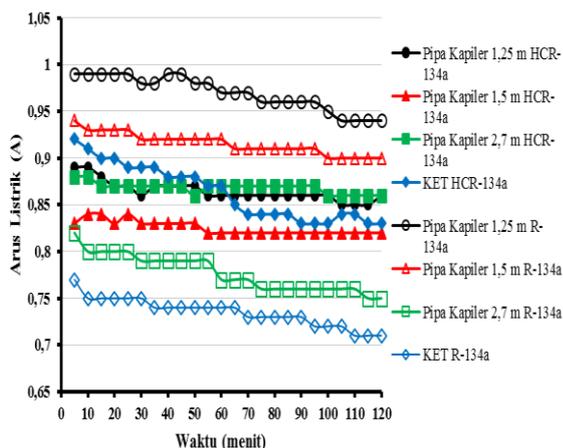
**Gambar 133.** Grafik Perbandingan Tekanan Pada Kondensor

Dari gambar 12 dapat dilihat bahwa hasil pengujian tekanan evaporator menggunakan katup ekspansi termostatik pada 60 menit pertama lebih tinggi daripada pipa kapiler namun untuk menit menit selanjutnya bernilai lebih rendah dibandingkan dengan pipa kapiler. Hal ini terjadi karena katup ekspansi membutuhkan waktu untuk menyesuaikan kondisi uap superlanjut pada ujung evaporator, setelah kondisi uap superlanjut yang dibutuhkan terpenuhi maka tekanan yang dihasilkan pada KET bisa disesuaikan dengan kondisi uap superlanjut yang berada di ujung pipa evaporator. Sedangkan pada pipa kapiler tekanan yang dihasilkan dipengaruhi oleh panjang pipa kapiler.

Sedangkan untuk tekanan kondensor seperti pada gambar 13 dapat dilihat bahwa tekanan

kondensor menggunakan pipa kapiler 1,5 m memiliki tekanan terendah dibanding pengujian yang lain dikarenakan temperatur evaporatornya adalah yang paling kecil dari pengujian yang lain. Pada pengujian ini tekanan kondensor KET lebih rendah daripada pipa kapiler 1,25 m dan 2,7 m namun lebih tinggi dari pipa kapiler 1,5 m.

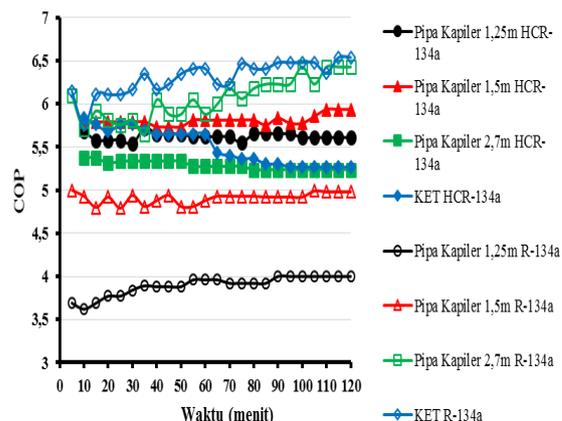
### Perbandingan Arus Listrik



Gambar 144. Grafik Perbandingan Arus Listrik

Dari gambar 14 dapat dilihat bahwa besarnya arus listrik yang digunakan identik dengan hasil pengujian tekanan untuk masing-masing alat ekspansi, karena besarnya arus listrik yang digunakan sebanding dengan tekanan yang terjadi pada kondensor. Pemakaian arus listrik pada saat pengujian menggunakan KET rata-rata sebesar 0,85 Ampere, pada saat menggunakan pipa kapiler 2,7 m sebesar 0,87 Ampere, pipa kapiler 1,5 m pemakaian arus listrik rata-rata sebesar 0,82 Ampere, dan pipa kapiler 1,25 m pemakaian arus listrik rata-rata sebesar 0,86 Ampere. Hasil pengujian penggunaan arus listrik menggunakan KET lebih kecil dibandingkan hasil pengujian menggunakan pipa kapiler 1,25 m dan 2,7 m, tapi lebih besar dibandingkan pipa kapiler 1,5 m. Hal ini disebabkan karena tekanan yang dihasilkan pada saat pengujian menggunakan KET lebih rendah dibandingkan tekanan yang dihasilkan pada saat pengujian menggunakan pipa kapiler 1,25 m dan 2,7 m, namun lebih besar dibandingkan pipa kapiler 1,5 m. Semakin rendah tekanan yang dihasilkan akan mengakibatkan kerja kompresor akan semakin kecil sehingga besarnya arus listrik yang digunakan akan semakin kecil.

### Perbandingan COP



Gambar 15. Grafik Perbandingan COP

Dari gambar 15 dapat dilihat grafik COP hasil pengujian untuk masing-masing alat ekspansi menggunakan HCR-134a. Dari grafik dapat dilihat bahwa COP pipa kapiler 1,5 m memiliki nilai paling besar dibanding pengujian yang lain, hal ini dikarenakan pipa kapiler 1,5 m mempunyai kerja kompresi yang paling kecil dan memiliki efek refrigerasi yang paling besar. COP KET pada pengujian ini memiliki nilai yang lebih kecil daripada pipa kapiler 1,25 m dan 1,5 m tapi lebih besar dari pada pipa kapiler 2,7 m. Hal ini dikarenakan nilai kerja kompresor KET lebih besar daripada pipa kapiler 1,25 m dan 1,5 m tapi lebih kecil daripada kapiler 2,7 m.

### KESIMPULAN

Dari hasil analisis penggunaan alat ekspansi jenis pipa kapiler dan jenis katup ekspansi termostatik (KET), dapat disimpulkan bahwa pengujian pipa kapiler 1,5 m dengan menggunakan refrigeran HCR-134a menghasilkan performansi yang paling baik dibanding alat ekspansi lainnya. Pipa kapiler 1,5 m memiliki COP tertinggi dibanding alat ekspansi lainnya yaitu sebesar 5,8 dan memiliki penggunaan arus listrik terendah dibanding alat ekspansi lainnya yaitu sebesar 0,82 A. Refrigeran hidrokarbon HCR-134a menunjukkan peningkatan performansi pada pipa kapiler 1,25 m dan 1,5 m. Dan penurunan performansi pada pipa kapiler 2,7 m dan KET. Refrigeran hidrokarbon HCR-134a tersebut dapat menjadi refrigeran alternatif untuk mengganti refrigeran R-134a yang ada saat ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Suryono, Ahmad Fauzan. dan Hoten, Hendri Van. 2009. "Kaji Eksperimental Perbandingan Performansi Mesin Pendingin Kompresi Uap dengan Menggunakan Pipa Kapiler dan Katup Ekspansi". *Jurnal Teknosia*. 11(6): 34-39.
- R, Iskandar. 2010. Kaji Eksperimental Karakteristik Pipa Kapiler dan Katup Ekspansi Termostatik pada Sistem Pendingin Water-Chiller. *Jurnal Teknika* 33(1) : 55-60.
- Aziz, Azridjal, 2013. Komparasi Katup Ekspansi Termostatik dan Pipa Kapiler terhadap Temperatur dan Tekanan Mesin Pendingin. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Teknologi Oleo Dan Petrokimia Indonesia (SNTK TOPI) 2013*. Pekanbaru. pp(2013): 389.
- Aziz, Azridjal & Hartanto, Bobby Hary, 2014. Pengaruh Penggunaan Katup Ekspansi Termostatik dan Pipa Kapiler terhadap Efisiensi Mesin Pendingin Siklus Kompresi Uap. *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII*. Depok. pp(2014): 558.
- Satriya, R. Zulfahmi Hadi. 2011. "Studi Eksperimental Perbandingan Refrigeran R-12 Dan Refrigeran Hidrokarbon Mc-12 Pada Industrial And Commercial Refrigeration Training Unit Dengan Inside Diameter Pipa Kapiler Yang Berbeda". Skripsi Sarjana, Program Studi S1 Teknik Mesin ITS.
- Dalkilic, A.S. & Wongwises, S. 2010. A Performance Comparison Of Vapour-Compression Refrigeration System Using Various Alternative Refrigerants. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 37(9) :1340-1349.
- Aziz, Azridjal & Rosa, Yazmendra. 2010. Performansi Sistem Refrigerasi Hibrida Perangkat Pengkondisian Udara Menggunakan Refrigeran Hidrokarbon Substitusi R-22. *Jurnal Teknik Mesin* 1(7): 11-16.
- Zhejiang ze China fluorine chemical Co., LTD HC-R134A (Automotive air conditioning refrigerant ) AS R441A. [http://www.jhr22.com/en/product\\_765.aspx](http://www.jhr22.com/en/product_765.aspx) (Diakses 13 Januari 2016).
- Mohtar ,M N, Nasution, H dan Aziz, A A. 2015. Performance and energy saving analysis of a refrigerator using hydrocarbon mixture (HC-R134a) as working fluid. *3rd International Conference of Mechanical Engineering Research*. Malaysia. pp (2015): 1-8.
- Saksono, Puji. 2014. Pengaruh Aplikasi Refrigeran Hidrokarbon Terhadap Performansi Mobile Air Conditioning. *Jurnal Teknologi Terpadu* 1(2) : 12-18.
- Sonntag, Richard E. & Borgnakke, Claus. 2009. *Fundamentals Of Thermodynamics, Seventh Edition*. Michigan: John Wiley & Sons, Inc.
- Moran, M.J. & Saphiro, H.N. 1995. *Fundamental of Engineering Thermodynamics*. New York: John Wiley & Sons.