



# PENGUKURAN KOEFISIEN PERPINDAHAN KALOR EVAPORASI DENGAN VARIASI LAJU ALIRAN MASSA REFRIGERAN R-134a PADA SALURAN HALUS HORIZONTAL

Erjati Pitaloka<sup>1</sup>, Tito Hadji Agung Santosa<sup>2</sup>, Thoharuddin<sup>3</sup>

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Teknik Mesin, Yogyakarta 55183, Indonesia

[Okaerjati@gmail.com](mailto:Okaerjati@gmail.com)

## INTISARI

Penelitian pengaruh laju aliran massa refrigeran R-134a terhadap koefisien perpindahan kalor evaporasi di dalam saluran halus horizontal ini sangat penting dilakukan, karena mengingat banyak sekali mesin refrigerasi yang diproduksi pabrik dan memiliki kemampuan pendinginan yang berbeda-beda. Dengan kemampuan yang berbeda, mesin-mesin tersebut tentunya memiliki kapasitas penyerapan kalor yang berbeda pula. Dimana penyerapan kalor pada komponen penyerap kalor (evaporator) dipengaruhi oleh koefisien perpindahan kalor evaporasi, sehingga perlu diteliti.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental dengan memvariasikan laju aliran massa refrigeran dengan cara mengatur frekuensi Inverter pada 16, 18, 20, 22 dan 24 Hz. Dimana inverter tersebut bekerja untuk mengatur arus yang masuk pada motor listrik yang sudah dicouple dengan kompresor. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji berupa sistem kompresi uap sederhana yang dimodifikasi dengan menambahkan *heater*, *seksi uji*, dan *orifice*. Dimana pada titik yang sudah ditentukan diletakkan *pressure gauge* dan termokopel untuk pengambilan data tekanan dan temperturnya. Refrigeran yang digunakan adalah R-134a.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi naik dengan naiknya nilai laju aliran massa yang diberikan dengan cara menaikkan frekuensi inverter dari 16 sampai dengan 24 Hz, dengan ditambahkan laju aliran massa refrigeran maka didapatkan nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi ( $h_{\text{evap}}$ ) tertinggi yaitu 3238,65 W/m<sup>2</sup>K pada variasi frekuensi inverter 24 Hz. Sedangkan nilai laju aliran massa refrigeran ( $\dot{m}$ ) tertinggi yaitu 0,01269 kg/dt yaitu pada variasi frekuensi inverter 24 Hz. Sedangkan nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi ( $h_{\text{evap}}$ ) terendah yaitu 1869,429 W/m<sup>2</sup>K yaitu pada frekuensi 16 Hz, nilai laju aliran massa refrigeran ( $\dot{m}$ ) terendah yaitu 0,009921 kg/dt yaitu pada frekuensi 16 Hz.

**Kata Kunci :** Koefisien perpindahan kalor, evaporasi, R-134a, laju aliran massa, saluran halus horizontal

## 1. PENDAHULUAN

Saat ini penggunaan mesin pengkondisian udara bukan hanya terdapat pada suatu industri saja, akan tetapi sudah banyak digunakan pula oleh masyarakat luas. Bahkan, sekarang mesin pengkondisian udara telah menjadi kebutuhan primer bagi masyarakat dalam keberlangsungan hidupnya sehari-hari. Hal tersebut adalah salah satu faktor yang paling berpengaruh pada meningkatnya permintaan konsumen akan mesin pengkondisian udara.

Pengkondisian udara merupakan suatu proses pengaturan suhu kerja udara sesuai dengan temperatur atau kelembaban yang telah ditentukan. Di dalam sistem tersebut diatur sedemikian rupa sehingga kelembaban, temperatur, serta distribusi udaranya sesuai dengan apa yang disyaratkan oleh alat tersebut.

Mesin pengkondisian udara atau biasa disebut mesin refrigerasi yang paling banyak digunakan saat ini adalah jenis mesin kompresi uap. Jenis ini dipilih karena lebih fleksibel dibandingkan dengan mesin jenis lainnya. Sehingga lebih hemat ruang dalam penempatan beberapa komponennya.

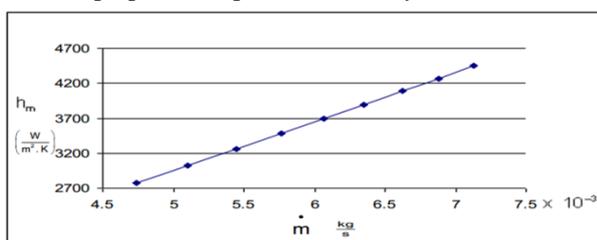
Dalam mesin refrigerasi kompresi uap terdapat beberapa komponen utama yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Saat perancangan sistem tersebut, perlu diperhatikan fluida kerja yang berperan menyerap panas melalui proses ekspansi atau biasa kita sebut sebagai refrigeran. Dalam sistem refrigerasi siklus kompresi uap, refrigeran mengalami beberapa proses perubahan fasa. Fasa cair menjadi fasa uap pada bagian evaporator dan dari fasa uap menjadi fasa cair pada bagian

kondensor. Oleh karena itu desain komponen-komponen pada sistem evaporasi sangatlah diperlukan dalam suatu rangkaian sistem, terutama pada bagian kondensor dan evaporator. Hal tersebut dikarenakan dua komponen tersebut sangatlah berpengaruh terhadap jalannya sistem.

Dengan latar belakang tersebut, penulis melakukan penelitian, yaitu koefisien perpindahan kalor evaporasi dengan variasi laju aliran massa dalam saluran halus horizontal. Refrigeran yang digunakan adalah R-134a.

## 2. Tinjauan Pustaka

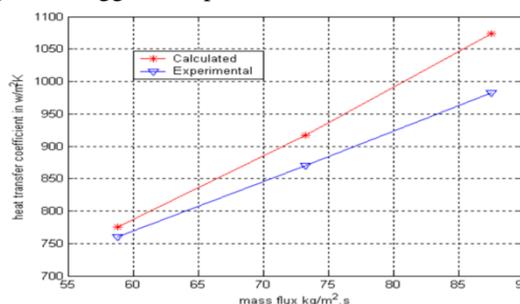
Basri (2011) melakukan penelitian mengenai analisis pengaruh laju aliran massa terhadap koefisien perpindahan panas rata-rata pada pipa kapiler mesin refrigerasi Focus 808. Komponen yang diteliti meliputi laju aliran massa refrigeran serta koefisien perpindahan panas rata-rata. Metode pengambilan data yang dilakukan adalah dengan metode eksperimental dengan memberikan variasi laju aliran massa 0,0047 kg/s sampai dengan 0,0071 kg/s caranya dengan mengatur bukaan katup. Instrumen yang digunakan adalah manometer tekanan stagnasi, thermometer, *preassure gauge*, dan *clampmeter* digital untuk mengukur tegangan dan kuat arus listrik. *Heater* di pasang pada pipa kapiler mesin refrigerasi Focus 808 kemudian di isolasi. Metode penelitian dilakukan dengan cara memasang alat-alat pengukur kemudian melakukan variasi laju aliran yang ada dan di tunggu selama 5 menit hingga *steady*. Setelahnya didapatkan data yang diperlukan serta dilakukan perhitungan kemudian dibuatlah grafik agar lebih mudah dalam menganalisa, dari gambar grafik yang dibuat dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar laju aliran massa refrigeran maka makin besar pula koefisien perpindahan panas rata-ratanya.



**Gambar 1** Grafik Hubungan Nilai laju aliran massa terhadap koefisien perpindahan kalor evaporasi. (Basri, 2011)

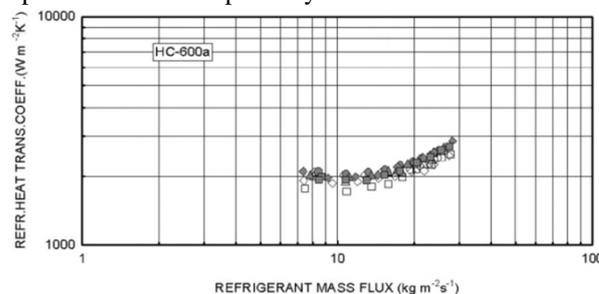
Penelitian serupa juga dilakukan Hussain (2011) melakukan penelitian penguapan refrigeran R-134a dan

R12 dalam saluran refrigerasi berkondensor horisontal. Komponen penelitian meliputi laju aliran massa refrigeran, udara masuk dan keluar pada kondensor, kecepatan udara, arus, voltase, dan konsumsi listrik yang dipakai. Suhu ruangan divariasikan 32°, 27.5°, dan 19.5° pada setiap masing-masing refrigeran. Alat-alat pengujian yang digunakan hampir sama dengan dengan penelitian Basri, (2011) akan tetapi pada penelitian ini menggunakan *data logger*, sehingga lebih praktis.



**Gambar 2** Grafik Hubungan Nilai laju aliran massa terhadap koefisien perpindahan kalor evaporasi. (Hussain, 2011)..

Tidak jauh berbeda dengan kedua penelitian yang sebelumnya Longo (2011) juga melakukan penelitian yang sama, yaitu mengenai efek penguapan pada refrigeran hidrokarbon dalam plat penukar panas berpendingin air. Refrigeran yang digunakan adalah 600a (*Isobutene*), 290 (*Propane*), 1270 (*Propylene*). Laju aliran massa refrigeran divariasikan 15-18 kg m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> pada setiap refrigerannya. Mesin yang digunakan juga tidak terlalu berbeda dengan penelitian yang ada sebelumnya, hanya refrigeran yang di gunakan lebih variatif. Dari ketiga penelitian tersebut, didapatkan hasil yang serupa, dimana semakin besar nilai laju aliran massa maka semakin besar pula nilai koefisien perpindahan kalor evaporasinya.



**Gambar 3** Grafik Hubungan Nilai laju aliran massa terhadap koefisien perpindahan kalor evaporasi. (Longo, 2011)

### 3. Metode Penelitian

#### 3.1 Bahan

Bahan atau fluida yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

- Refrigeran R-134a produk KLEA dengan jumlah  $\pm 4$  kaleng (390 gram/kaleng) yang dimasukkan dalam alat uji untuk pengujian evaporasi.
- Oli AC juga dimasukkan untuk pelumasan kompresor pada alat uji ini sebanyak 100 ml.

Refrigeran R-134a merupakan refrigeran HFC (*Hydro Fluoro Carbon*). Refrigeran ini buatan PT Polarin Xinindo dengan merek KLEA dengan memiliki beberapa sifat-sifat ditunjukkan pada tabel 1 (PT. Polarin Xinindo, 2017).

Tabel 1. Sifat-sifat dari refrigeran R-134a

Freon KLEA	Spesifikasi
R-134a	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Komposisi: HFC134a (100%)</li> <li>- Berat molekul: 102</li> <li>- Titik didih pada tekanan 1 atm: <math>-26,2^{\circ}\text{C}</math></li> <li>- Tekanan uap (MPa(gauge)@<math>25^{\circ}\text{C}</math>): 0,565</li> <li>- Berat jenis uap (<math>\text{kg/m}^3</math>@nBpt): 5,23</li> <li>- ODP (Ozone Depleting Potential): 0</li> <li>- GWP (Global Warming Potentisl): 1430</li> </ul>

Sumber: PT. Polarin Xinindo, 2017  
"Produk Freon merk KLEA"

#### 3.2 Pengisian Refrigeran

Setelah sudah pasti alat tidak bocor, maka alat uji divakumkan dengan menggunakan pompa vakum hingga 0 psi (absolut) untuk menghilangkan udara dalam saluran refrigeran. Katup manometer ditutup penuh untuk mencegah air raksa dalam manometer terhisap keluar dan masuk ke saluran sistem refrigeran. Selanjutnya air di dalam tangki utama dialirkan menuju ke kondensor dan evaporator menggunakan pompa air. Debit air menuju evaporator ditetapkan 1,4 LPM, sedangkan debit kondensor menyesuaikan dengan posisi katup menuju kondensor terbuka penuh. Blower dinyalakan penuh untuk mengaliri udara pada seksi uji, katup menuju seksi uji dan kipas blower dibuka penuh.

Setelah air bersirkulasi dengan baik, nyalakan motor listrik sehingga kompresor mulai bekerja. Refrigeran dimasukkan ke kompresor pada sisi *suction* sambil mengamati perubahan tekanan pada *pressure gauge* sisi tekan kompresor, sesekali mengamati *sight glass*. Pengisian refrigeran bisa dikatakan sudah penuh apabila pada *sight glass* sudah penuh terisi cairan refrigeran dan tidak terdapat gelembung udara yang menandakan bahwa fasa uap telah seluruhnya menjadi fasa cair setelah keluar kondensor. Refrigeran sebelum masuk *orifice* harus berfasa cair untuk pengukuran laju aliran massanya. Buka katup manometer pelan-pelan sehingga terlihat beda ketinggian raksa pada

manometer. Biarkan sistem beroperasi sampai kondisi *steady*.

#### 3.2 Prosedur Pelaksanaan Pengukuran

Prosedur yang dilakukan dalam pengambilan data pengukuran koefisien perpindahan kalor evaporasi dengan variasi laju aliran massa refrigeran R-134a adalah sebagai berikut :

##### 3.3.2 Tahapan Pengujian

Tahapan yang dilakukan saat memulai pengujian pengambilan data variasi laju aliran massa yaitu:

- Memastikan variabel yang akan digunakan dalam pengujian, dan menyiapkan tabel pengamatan.
- Heater* dalam posisi mati, blower meniupkan udara pada kecepatan konstan, katup ekspansi pada posisi konstan.
- Variabel yang digunakan adalah frekuensi inverter adalah 16, 18, 20, 22, dan 24 Hz.
- Menyalakan inverter lalu mengaturnya sesuai variabel yang diperlukan, lalu diamkan selama lima menit agar suhu kerja mendekati *steady*.
- Setelah *steady*  $\pm 10$  menit, catat pada Excel sebelum kemudian dimasukkan di lanjutkan dengan menaikkan frekuensi menuju ke fariabel berikutnya.
- Menaikkan frekuensi inverter lalu hingga variabel terakhir.

##### 3.3.3 Persamaan yang Dipakai

$$h_{eva} = \frac{Q_{eva}}{A_i(T_{w,i} - T_{sat})}$$

Dengan:

$T_{w,i}$  = Temperatur *Wall in* ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{sat}$  = Suhu jenuh pada seksi uji ( $^{\circ}\text{C}$ )

A = L area seksi uji ( $\text{m}^2$ )

$Q_{eva}$  = Q suplai udara (J/s.watt)

Sedangkan  $T_{sat}$  dengan  $Q_{eva}$  diperoleh dari :

$$T_{sat} = \frac{1}{2} (T_{in} - T_{out})$$

Dengan:

$T_{in}$  = Suhu masuk seksi uji ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{out}$  = Suhu keluar seksi uji ( $^{\circ}\text{C}$ )

$$Q_{eva} = \dot{m}_{udara} \cdot c_{p_{udara}} \cdot (T_{udara\ in} - T_{udara\ out})$$

Dengan :

$\dot{m}_{udara}$  = laju aliran massa udara ( m/s )

$c_{p_{udara}}$  = nilai kalor udara ( kJ/kg.K )

$T_{udara\ in}$  = Suhu masuk seksi uji ( °C )

$T_{udara\ out}$  = Suhu keluar seksi uji ( °C )

Berikutnya adalah menentukan nilai laju aliran massa refrigeran (  $\dot{m}$  ), dengan cara sebagai berikut :

$$\dot{m}_{R-134a} = \rho_{R-134a} \cdot V_{R-134a,aktual}$$

Dengan :

$\rho_{R-134a}$  = Massa jenis/ densitas R-134a ( kg/m<sup>3</sup> )

$V_{R-134a,aktual}$  = Debit refrigeran aktual ( m<sup>3</sup>/s )

Sedangkan  $V_{R-134a,aktual}$  diperoleh dari :

$$\dot{V}_{aktual} = \frac{C \cdot A_2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_{ref}}{\rho}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{P_1 - P_2}$$

Dengan :

C = koefisien curah

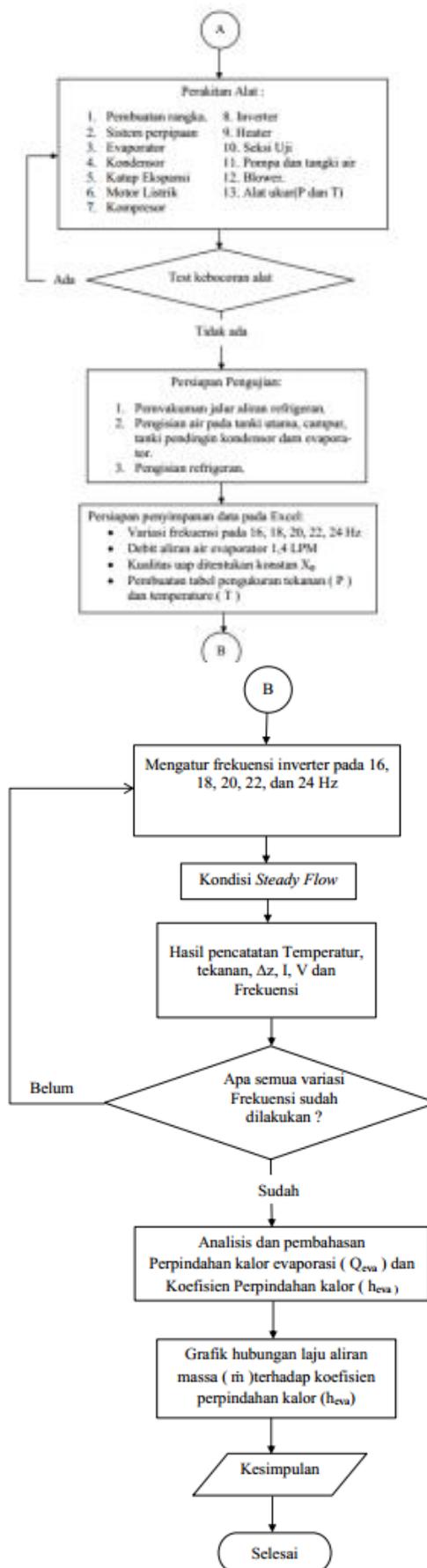
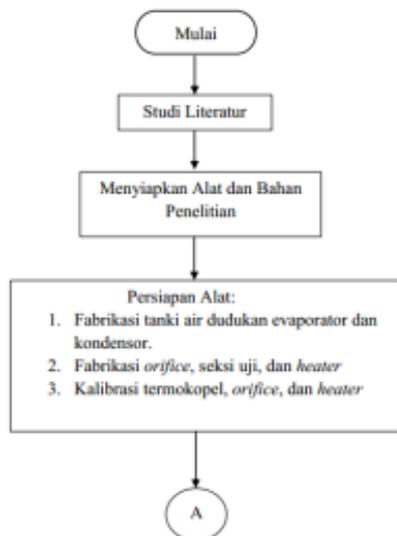
$A_1$  = Diameter orifice ( cm )

$p_{ref}$  = Massa jenis refrigeran R-134a ( kg/m<sup>3</sup> )

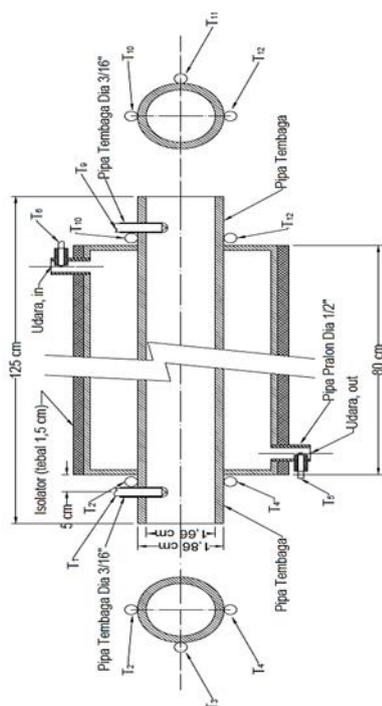
$P_1$  = Tekanan sisi masuk katup orifice ( N/m<sup>2</sup> )

$P_2$  = Tekanan sisi keluar katup orifice ( N/m<sup>2</sup> )

### 3.4 Diagram Alir Pengujian



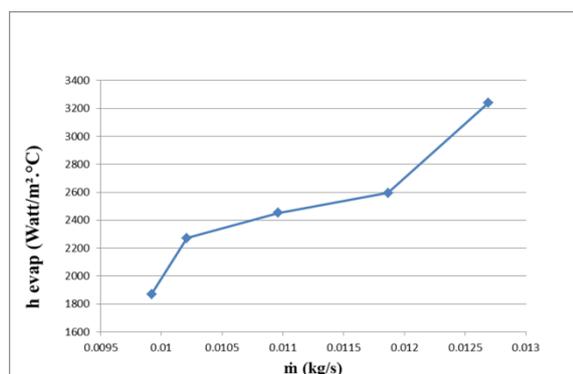
Gambar 4 Diagram Alir



Gambar 5. Skema seksi uji

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mendapatkan data yang variatif serta akurat, dilakukan 5 variasi frekuensi inverter yaitu ; 16, 18, 20, 22, 24 Hz. Pada saat penelitian tidak diberikan kalor dengan heater atau heater dalam kondisi mati, sehingga mengabaikan nilai kualitas dan laju aliran air pada evaporator divariasasi 14 LPM serta laju aliran air menuju kondensor menyesuaikan. Dari perhitungan yang sudah dapat terselesaikan dengan persamaan-persamaan 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 dan 4.7 untuk mendapatkan nilai-nilai  $\dot{m}$  dan  $h_{evap}$  dari tiap-tiap variasi percobaan, maka hasil penelitian disajikan dalam bentuk grafik.



Gambar 6 Grafik Hubungan Nilai laju aliran massa terhadap koefisien perpindahan kalor evaporasi.

#### 4.2 Pembahasan

Dari grafik hasil penelitian tentang pengukuran koefisien perpindahan kalor evaporasi dengan variasi laju aliran massa refrigeran R-134a di dalam saluran halus horisontal. Bahwa dengan dengan divariasikan laju aliran massa refrigeran yang semakin besar, maka nilai koefisien perpindahan kalor juga akan semakin besar. Hal ini menunjukkan adanya kesesuaian dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Basri (2011), Longo (2011) dan Hussain (2011). Dari hasil penelitian didapatkan nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi ( $h_{evap}$ ) tertinggi yaitu 3238,65 W/m<sup>2</sup>K yaitu pada variasi frekuensi inverter 24 Hz. Sedangkan nilai laju aliran massa refrigeran ( $\dot{m}$ ) tertinggi yaitu 0,01268 kg/s yaitu pada variasi frekuensi inverter 24 Hz.

Dengan memvariasikan frekuensi inverter semakin besar, maka akan membuat Rpm kompresor semakin tinggi. Dengan Rpm yang semakin tinggi, maka laju aliran massa refrigeran yang bersirkulasi dalam sistem refrigerasi akan semakin besar. Nilai laju aliran massa yang besar maka kecepatan aliran didalam sistem juga semakin besar pula, sehingga akan menaikkan angka Reynold. Dengan semakin tingginya angka Reynold maka tingkat turbulensi didalam aliran semakin besar, hal tersebut menjadikan refrigeran didalam evaporator menjadi cepat atau mudah sekali menguap, sehingga akan memperbanyak jumlah refrigeran yang diupkan dan memperbesar nilai perpindahan kalor evaporasi. Apabila nilai perpindahan kalor evaporasi semakin naik, maka akan mengakibatkan nilai koefisien perpindahan kalornya juga semakin naik. Dengan uraian diatas, dapat dikatakan bahwa semakin tinggi nilai laju aliran massa refrigeran yang mengalir dalam sistem, maka akan semakin besar pula nilai perpindahan kalor evaporasinya.

#### 4.2 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dari pengujian nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi dengan variasi laju aliran massa refrigeran dalam saluran halus horisontal yang merupakan hasil perhitungan serta pengaplikasian dalam bentuk grafik dengan menggunakan program MS. Excel maka dapat diambil suatu kesimpulan yaitu sebagai berikut :



1. Hubungan antara laju aliran massa refrigeran dengan koefisien perpindahan kalor evaporasi yaitu semakin besar nilai laju aliran massa refrigeran ( $\dot{m}$ ) maka nilai koefisien perpindahan kalor evaporasinya ( $h_{\text{evap}}$ ) pun semakin besar.
2. Nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi ( $h_{\text{evap}}$ ) tertinggi yaitu 3238,65 W/m<sup>2</sup>K yaitu pada variasi frekuensi inverter 24 Hz. Sedangkan nilai laju aliran massa refrigeran ( $\dot{m}$ ) tertinggi yaitu 0,01268 kg/s yaitu pada variasi frekuensi inverter 24 Hz.
3. Nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi ( $h_{\text{evap}}$ ) terendah yaitu 1869,429 W/m<sup>2</sup>K yaitu pada frekuensi 16 Hz, dan nilai laju aliran massa refrigeran ( $\dot{m}$ ) terendah yaitu 0,009921 kg/s yaitu pada frekuensi 16 Hz.

## 6. Daftar Pustaka

- Abdi, Bayu. K. 2002 “analisis termal unjuk kerja *heat exchanger*11-e-7 di kilang *fuel oil complex* I Pt Pertamina UP IV Cilacap” Yogyakarta. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Ajiwiguna, Ayodha. 2010 “Siklus Refrigerasi Dalam Diagram P/h” Diakses pada tanggal 7 Juni 2017, pukul 10.16 WIB.  
<http://catatan-teknik.blogspot.co.id/2010/09/siklus-refrigerasi-dalam-diagram-p-h.html>
- Anonim. 2017 “Hvac ac SIGHT GLASS ”  
<https://www.amazon.com/SIGHT-GLASSMOISTURE-INDICATOR-BRASS/dp/B00KDQJIWC>
- Basri. 2011. “Analisis Pengaruh Laju Aliran Massa Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Rata-Rata Pada Pipa Kapiler di Mesin Refrigerasi Focus 808”. Palu: Universitas Tadulako.
- Cengel, Yunus A. 2003. “Heat Transfer a Practical Approach”. Nevada. University of Nevada.
- Hussain, Suhayla Younis. “Experimental Investigation of Condensation of refrigerant R-134a and R 12 in Air Cooled Condenser”. Iraq : Technical College Mosul.
- Incropera, Frank P. and Dewitt, David P., 1990, “*Fundamental and Mass Transfer*” Third Edition, John Wiley, Sons, Inc, New York.
- Longo, Giovanni A. “Experimental Thermal and Fluid Science”. Italy. University of Padova.
- Ngendhi, Eko. 2010”Evaporator Dan Katup Ekspansi” Diakses pada tanggal 6 Juni 2017, pukul 23.40 WIB  
<http://sekawan-servis-pendingin.blogspot.co.id/2011/04/evaporator-katup-ekspansi.html>
- Raharja, Ekawan. 2016”AC Mobil Bau Tak Sedap? Cek Evaporator”Diakses pada tanggal 6 Juni 2017, pukul 23.42 WIB  
<http://otomotif.metrotvnews.com/tips/8koRv6Ob-ac-mobil-bau-tak-sedap-cek-evaporator>
- Santosa, Tito Hadji. 2003. “Pengukuran Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi Refrigeran Petrozon Rossy 12 di Dalam Saluran Halus Horisontal”. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Sejahtera, Bersama. 2014 “Kudus AC Mobil” Diakses pada tanggal 6 Juni 2017, pukul 23.37 WIB  
<https://kudusacmobil.wordpress.com/category/daf-tar-harga-spare-part-ac-mobil/>
- Setiawan, Daniel. 2013 “ Isi Freon R-134a Kaleng ” Diakses pada tanggal 26 Juli 2017 pukul 17.06 WIB.  
<http://otodiy.blogspot.co.id/2013/12/diy-isi-freon-r134a-kaleng-daniel.html>
- Wahyuadi, Tri. 2012 “Pengaruh Tekanan Refrigeran Pada Heat Pipe R134-a dan R22 Terhadap Pengkodisian Udara” Depok: Universitas Indonesia.
- Xinindo, Polarin. 2017 “Distributor Sparepart AC, Kompresor AC, Pipa AC” Diakses pada tanggal 28 Juli 2017, pukul 22.35 WIB  
<http://polarin.co.id/klea/>
- Yulianto, Dimas. 2009. “Perkembangan Teknologi Refrigerasi” Diakses pada tanggal 6 Juni 2017, pukul 23.32 WIB  
[http://dheimaz.blogspot.co.id/2009/07/01\\_archive.html](http://dheimaz.blogspot.co.id/2009/07/01_archive.html)