

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan analisis serta pembahasan mengenai hasil penelitian dengan beberapa variasi yang telah dilakukan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi refrigeran R134a di dalam saluran harus horisontal dengan variasi laju aliran massa refrigeran. Variasi penelitian ini dilakukan dengan cara memvariasi debit laju alir refrigeran yang bersirkulasi di dalam sistem dengan cara mengatur frekuensi pada inverter yang mempengaruhi putaran kompresor, kemudian diamati perubahan tekanan dan suhu kerja pada sistem yang sedang berjalan pada kondisi tunak. Hasil pengamatan beberapa tekanan dan temperatur kemudian nantinya akan digunakan sebagai parameter untuk menentukan nilai koefisien perpindahan kalor ( $h_{\text{evap}}$ ) dan laju aliran massa refrigeran ( $\dot{m}$ ). Hasil perhitungan dengan berbagai variasi disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk selanjutnya dianalisa.

### 4.1 Hasil Penelitian

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 saja.

Tabel 4.1 Hasil Pengamatan untuk mencari nilai  $\dot{m}$

Inverter Frekuensi Hz	TEMPERATUR KALIBRASI °C									
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
16	15.47	16.57	16.37	16.41	24.34	35.30	14.32	46.15	15.92	16.00
18	14.98	15.50	15.40	15.54	24.04	35.69	13.32	49.30	15.33	15.70
20	15.37	16.57	16.08	16.02	24.04	35.40	13.32	52.85	16.01	15.90
22	16.15	17.15	17.05	16.99	24.04	35.79	13.32	56.19	16.50	16.58
24	17.23	17.54	17.44	17.38	24.24	35.79	13.32	59.93	17.09	17.75

Inverter	TEMPERATUR KALIBRASI °C									
Frekuensi	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20
Hz										
16	14.38	15.82	32.43	16.50	27.19	32.96	33.26	32.60	32.15	32.20
18	14.19	15.82	34.29	16.11	28.16	34.90	36.20	35.23	35.07	34.64
20	14.38	16.31	36.06	16.69	29.13	36.85	39.13	37.67	38.00	36.98
22	14.97	16.31	37.72	17.57	31.08	38.79	40.11	39.14	38.98	38.34
24	16.04	17.67	39.39	18.84	32.05	40.73	43.05	41.87	41.90	40.88

Inverter	V Udara	Durasi	Air Raksa		$\Delta h$ Raksa	$\Delta z$ Raksa	$\Delta P$ Orifice	Diagram P-h $\rho$ refrigerant
			h1	h2				
Frekuensi	m/s	menit			cm	m	[Pa]	kg/m3
Hz								
16	3.6	10	77.8	73.3	4.5	0.045	6003.72	1159.565
18	3.6	10	78.1	73.3	4.8	0.048	6403.97	1153.47
20	3.6	10	78.4	72.9	5.5	0.055	7337.88	1165.217
22	3.6	10	79	72.5	6.5	0.065	8672.04	1161.478
24	3.6	10	79.5	72	7.5	0.075	10006.2	1157.847

Inverter	Perhitungan $\dot{m}$ Refrigerant					
	Re	C	$\dot{V}$ ideal		Hasil $\dot{V}$ Aktual	$\dot{m}$ ref
$C \cdot A_2 \cdot ((2/\rho_{Ref}) \cdot (A_2/A_1))$						
Frekuensi						
Hz						
16	6908.98	0.84609	8.55349E-06	0.9997	8.55612E-06	0.00992
18	6957.87	0.84534	8.84945E-06	0.9997	8.85217E-06	0.01021
20	7071.94	0.84361	9.4056E-06	0.9997	9.4085E-06	0.01096
22	7234.91	0.84119	1.02121E-05	0.9997	1.02152E-05	0.01186
24	7397.88	0.83883	1.09559E-05	0.9997	1.09593E-05	0.01269

Tabel 4.2 Hasil Pengamatan untuk mencari nilai hevap

Inverter	Perhitunga h Evap				
	Twin 3	Twin 4	Twin Rata-rata	Tw out 10	Tw out 11
Frekuensi					
Hz					
16	16.3672	16.4094	16.44790242	15.995	14.38353909
18	15.3954	15.5348	15.4755183	15.703	14.18895497
20	16.0756	16.0206	16.22112575	15.897	14.38350242
22	17.0474	16.9923	17.06358248	16.578	14.96702582
24	17.4361	17.381	17.4525075	17.745	16.03690416

Inverter	Perhitunga h Evap				
Frekuensi Hz	Tw out 12	wout rata-rat	Twi	Tsat	h evap
16	15.820929	15.399722	15.923812	15.69188	1869.423
18	15.820865	15.237598	15.356558	15.153715	2271.7621
20	16.306342	15.529096	15.875111	15.69186	2451.0301
22	16.306306	15.950426	16.507004	16.327915	2594.7854
24	17.665584	17.149031	17.300769	17.15969	3238.6535

## 4.2 Perhitungan

Dari data-data yang percobaan yang diperoleh dapat dilakukan perhitungan hevap dan  $\dot{m}$ . Dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan diatas.

### 4.2.1. Perhitungan Laju Aliran Massa Refrigeran ( $\dot{m}$ )

Dalam perhitungan laju aliran massa refrigeran R-134a yang diperoleh berdasarkan data-data hasil percobaan adalah sebagai berikut :

- Untuk frekuensi 16 Hz, diketahui :

$$\begin{aligned}
 h_1 &= 77,8 && \text{cm} \\
 h_2 &= 73 && \text{cm} \\
 \rho_{air\ raksa} &= 13,600 && \text{kg/m}^2 \\
 g &= 9,81 && \text{m/s}^2 \\
 A_1 &= 0,000127 && \text{m}^2 \\
 A_2 &= 0,000314 && \text{m}^2 \\
 \rho_{Ref} &= 1159,565 && \text{kg/m}^3 \\
 \Delta p &= 8,1867Re - 50558 \\
 C &= 2,5774Re^{-0,126}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta h &= h_1 - h_2 \\
 &= 77,8 \text{ cm} - 73 \text{ cm} \\
 &= 4,5 \text{ cm} = 0,045 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= \rho \cdot g \Delta h \\ &= 13.600 \text{ kg/m}^2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,045 \text{ m} \\ &= 6003,72 \text{ kg/s}^2 = (\text{Pa})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 8,1867Re - 50558 \\ 6003,72 \text{ Pa} &= 8,1867Re - 50558 \\ Re &= \frac{6003,72 + 50558}{8,1867} \\ Re &= 6908,98 \text{ (Pa)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C &= 2,5774Re^{-0,126} \\ C &= 2,5774 \cdot (6908,98)^{-0,126} \\ C &= 0,846\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{V}_{\text{aktual}} &= \frac{c \cdot A_2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_{ref}}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \cdot \sqrt{\Delta P} \\ &= \frac{0,486 \cdot 0,000314 \cdot \sqrt{\frac{2}{1159,565}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,000314}{0,000127}\right)^2}} \cdot \sqrt{6003,72} \\ &= 0,000008556\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{refrigeran}} &= V_{\text{aktual}} \cdot \rho_{R-134a} \\ &= 0,000662623 \cdot 1159,565 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0,009921 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

#### 4.2.2 Perhitungan Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi (hevap)

Dalam perhitungan koefisien perpindahan kalor evaporasi yang diperoleh berdasarkan data-data hasil percobaan adalah sebagai berikut :

- Untuk frekuensi 16 Hz, diketahui :

$$\begin{aligned}
 D_{i,su} &= 16,60 \times 10^{-3} \text{ (m)} \\
 D_{o,su} &= 18,85 \times 10^{-3} \text{ (m)} \\
 L_{su} &= 1,25 \text{ (m)} \\
 K_{tembaga} &= 401 \text{ (Watt/m.}^\circ\text{C)} \\
 T_1 &= 15,47^\circ\text{C} \\
 T_9 &= 15,92^\circ\text{C} \\
 T_{10}=T_{wo1} &= 15,9947^\circ\text{C} \\
 T_{11}=T_{wo2} &= 14,383539^\circ\text{C} \\
 T_{12}=T_{wo3} &= 15,820929^\circ\text{C} \\
 \rho_{udara} &= 1,2 \text{ (kg/m}^3\text{)} \\
 D_{i,anemo} &= 2,75 \times 10^{-3} \text{ (m)} \\
 V_{udara} &= 3,6 \text{ (m}^3\text{/s)} \\
 C_{p,udara} &= 1005 \text{ (J/kg.}^\circ\text{C)} \\
 \Delta T_{udara} &= T_6 - T_5 \\
 T_5 &= 24,34^\circ\text{C} \\
 T_6 &= 35,30^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{evap,udara,su} &= \rho_{udara} \cdot \frac{\pi}{4} (D_{i,anemo})^2 \cdot V_{udara} \cdot C_{p,udara} \cdot \Delta T_{udara} \\
 &= 1,2 \text{ (kg/m}^3\text{)} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (2,75 \times 10^{-3})^2 \cdot 3,6 \text{ (m}^3\text{/s)} \cdot 1005 \text{ J/kg.}^\circ\text{C} \cdot \\
 &\quad (35,30 - 24,34)^\circ\text{C} \\
 &= 28,24 \text{ (Watt)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{wi2} &= T_{wo2} - \frac{Q \cdot \ln(D_o/D_i)}{2\pi \cdot k \cdot L} \\
 &= 16,57^\circ\text{C} - \frac{28.249 \text{ (J/s)}(\text{watt}) \cdot \ln(0,0166/0,01885)(\text{m})}{2\pi \cdot 401 \text{ (J/m.}^\circ\text{C)} \cdot 1,25 \text{ (m)}} \\
 &= 16,56^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{wi3} &= T_{wo3} - \frac{Q \cdot \ln(D_o/D_i)}{2\pi \cdot k \cdot L} \\
 &= 16,57^\circ\text{C} - \frac{28.249 \text{ (J/s)}(\text{watt}) \cdot \ln(0,0166/0,01885)(\text{m})}{2\pi \cdot 401 \text{ (J/m.}^\circ\text{C)} \cdot 1,25 \text{ (m)}}
 \end{aligned}$$

$$= 16,36^{\circ}\text{C}$$

$$T_{wi4} = T_{wo4} - \frac{Q \cdot \ln(D_o/D_i)}{2\pi \cdot k \cdot L}$$

$$= 16,41^{\circ}\text{C} - \frac{28.249 \text{ (J/s)(watt)} \cdot \ln(0,0166/0,01885)(m)}{2\pi \cdot 401 \text{ (J/m} \cdot ^{\circ}\text{C)} \cdot 1,25 \text{ (m)}}$$

$$= 16,40^{\circ}\text{C}$$

$$T_{wi \text{ in}} = \frac{T_{wi,2} + T_{wi,1} + T_{wi,4}}{3}$$

$$= \frac{16,567 + 16,367 + 16,409}{3}$$

$$= 16,44^{\circ}\text{C}$$

$$T_{wi10} = T_{wo10} - \frac{Q \cdot \ln(D_o/D_i)}{2\pi \cdot k \cdot L}$$

$$= 16,00^{\circ}\text{C} - \frac{28.24989281 \text{ (J/s)(watt)} \cdot \ln(0,0166/0,01885)(m)}{2\pi \cdot 401 \text{ (J/m} \cdot ^{\circ}\text{C)} \cdot 1,25 \text{ (m)}}$$

$$= 15,99^{\circ}\text{C}$$

$$T_{wi11} = T_{wo11} - \frac{Q \cdot \ln(D_o/D_i)}{2\pi \cdot k \cdot L}$$

$$= 14,38^{\circ}\text{C} - \frac{28.249 \text{ (J/s)(watt)} \cdot \ln(0,0166/0,01885)(m)}{2\pi \cdot 401 \text{ (J/m} \cdot ^{\circ}\text{C)} \cdot 1,25 \text{ (m)}}$$

$$= 14,38^{\circ}\text{C}$$

$$T_{wi12} = T_{wo12} - \frac{Q \cdot \ln(D_o/D_i)}{2\pi \cdot k \cdot L}$$

$$= 15,82^{\circ}\text{C} - \frac{28.249 \text{ (J/s)(watt)} \cdot \ln(0,0166/0,01885)(m)}{2\pi \cdot 401 \text{ (J/m} \cdot ^{\circ}\text{C)} \cdot 1,25 \text{ (m)}}$$

$$= 15,821^{\circ}\text{C}$$

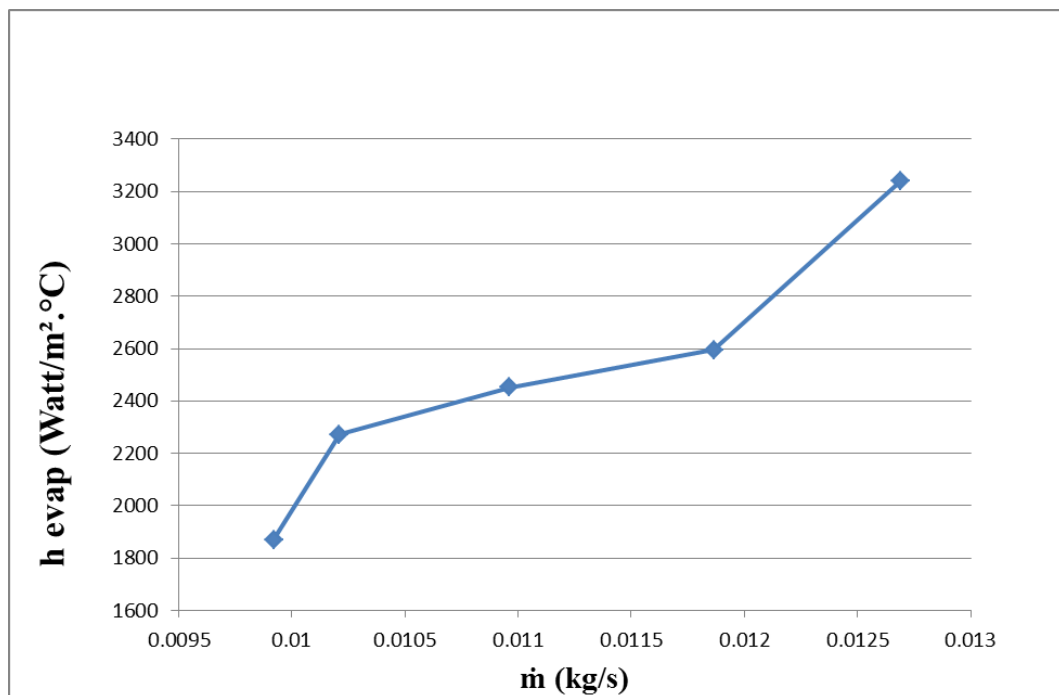
$$\begin{aligned}\bar{T}_{wi \text{ out rata-rata}} &= \frac{T_{wi,10} + T_{wi,11} + T_{wi,12}}{3} \\ &= \frac{15,99 + 14,38 + 15,82}{3} \\ &= 15,39^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}_{wi} &= \frac{\bar{T}_{wi \text{ in}} + \bar{T}_{wi \text{ out}}}{2} \\ &= \frac{16,44 + 15,39}{2} \\ &= 15,92^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h_{\text{evap}} &= \frac{Q_{\text{evap}}}{A_i \cdot (\bar{T}_{wi} - T_{\text{sat}})} \\ &= \frac{27,494 \text{ (J/s.watt)}}{\pi \cdot 0,0166 \text{ (m)} \cdot 1,2 \text{ (m)} \cdot (15,924 - (\frac{15,47 + 15,92}{2}))^{\circ}\text{C}} \\ &= 1869,42 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

### 4.3 Pembahasan

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  $h_{\text{evap}}$  dari tiap-tiap variasi percobaan, maka hasil penelitian disajikan dalam bentuk grafik.



**Gambar 4.1** Grafik Perbandingan antara laju aliran massa refrigeran ( $\dot{m}$ ) terhadap Koefisien Perpindahan kalor evaporasi ( $h_{\text{evap}}$ )

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 ( $h_{\text{evap}}$ ) 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.



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 diuapkan 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.