

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan dilakukan analisis dan pembahasan mengenai hasil penelitian dengan berbagai variasi yang telah dilakukan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai pengukuran koefisien perpindahan kalor evaporasi refrigerant R-134a di dalam saluran halus horizontal dengan variasi kapasitas beban pendinginan. Penelitian dilakukan dengan mengatur debit air menuju evaporator dalam satu frekuensi inverter, lalu mengamati perubahan tekanan dan *temperature* yang terjadi pada saat sistem berjalan pada kondisi tunak. Hasil pengamatan tekanan-tekanan dan *temperature* tersebut nantinya akan digunakan sebagai parameter untuk menentukan nilai  $h_{\text{evap}}$  dan juga  $Q_{\text{evap}}$ . Hasil perhitungan dengan berbagai variasi disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk selanjutnya dianalisa.

#### **4.1 Hasil Penelitian**

Berikut adalah data hasil penelitian dengan variasi beban pendinginan pada beberapa frekuensi inverter:

- a. Frekuensi Inverter 16 Hz dengan variasi beban pendinginan 1, 1,2, 1,4, 1,6, 1,8, 2 LPM.
- b. Frekuensi Inverter 18 Hz dengan variasi beban pendinginan 1, 1,2, 1,4, 1,6, 1,8, 2 LPM.
- c. Frekuensi Inverter 20 Hz dengan variasi beban pendinginan 1, 1,2, 1,4, 1,6, 1,8, 2 LPM.
- d. Frekuensi Inverter 22 Hz dengan variasi beban pendinginan 1, 1,2, 1,4, 1,6, 1,8, 2 LPM.
- e. Frekuensi Inverter 24 Hz dengan variasi beban pendinginan 1, 1,2, 1,4, 1,6, 1,8, 2 LPM.

Tabel 4.1 Hasil Pengamatan untuk mencari nilai *Cooling Load*

Frek. Inverter (Hz)	Debit Air Evap. (LPM)	$\dot{V}_{\text{air, eva}}$	$\dot{m}_{\text{air}}$	$\Delta T$	<i>Cooling Load</i>
		( $\text{m}^3/\text{s}$ )	( $\text{kg}/\text{s}$ )	( $^{\circ}\text{C}$ )	( $\text{J}/\text{s}$ ) (Watt)
16	1	$1,67 \times 10^{-5}$	0,016	5,86	412,57
	1,2	$2 \times 10^{-5}$	0,02	5,76	486,88
	1,4	$2,33 \times 10^{-5}$	0,023	5,76	568,02
	1,6	$2,67 \times 10^{-5}$	0,026	5,57	627,29
	1,8	$3 \times 10^{-5}$	0,03	5,18	656,46
	2	$3,33 \times 10^{-5}$	0,033	4,99	702,04
18	1	$1,67 \times 10^{-5}$	0,016	6,54	460,43
	1,2	$2 \times 10^{-5}$	0,02	6,83	577,13
	1,4	$2,33 \times 10^{-5}$	0,023	6,74	663,74
	1,6	$2,67 \times 10^{-5}$	0,026	6,54	736,67
	1,8	$3 \times 10^{-5}$	0,03	6,15	779,52
	2	$3,33 \times 10^{-5}$	0,033	6,06	852,45
20	1	$1,67 \times 10^{-5}$	0,016	7,61	535,63
	1,2	$2 \times 10^{-5}$	0,02	8,10	683,79
	1,4	$2,33 \times 10^{-5}$	0,023	7,71	759,46
	1,6	$2,67 \times 10^{-5}$	0,026	6,74	758,54
	1,8	$3 \times 10^{-5}$	0,03	6,83	865,66
	2	$3,33 \times 10^{-5}$	0,033	6,35	893,46
22	1	$1,67 \times 10^{-5}$	0,016	8,00	562,97
	1,2	$2 \times 10^{-5}$	0,02	8,49	716,60
	1,4	$2,33 \times 10^{-5}$	0,023	8,39	826,45
	1,6	$2,67 \times 10^{-5}$	0,026	7,90	889,81
	1,8	$3 \times 10^{-5}$	0,03	7,12	902,57
	2	$3,33 \times 10^{-5}$	0,033	6,93	975,49
24	1	$1,67 \times 10^{-5}$	0,016	8,39	590,32
	1,2	$2 \times 10^{-5}$	0,02	8,97	757,62
	1,4	$2,33 \times 10^{-5}$	0,023	8,78	864,74
	1,6	$2,67 \times 10^{-5}$	0,026	8,19	922,62
	1,8	$3 \times 10^{-5}$	0,03	7,80	988,71
	2	$3,33 \times 10^{-5}$	0,033	7,42	1043,86

Tabel 4.2 Hasil Pengamatan untuk mencari nilai  $h_{evap}$ 

Inverter (Hz)	Rotameter (LPM)		$T_1$	$T_5$	$T_6$	$T_9$	$T_{wi,1}$	$T_{wi,2}$	$T_{wi,3}$	$T_{wi}$	$Q_{evap}$ (Watt)	$h_{evap}$ ( $W/m^2.K$ )
	debit air, eva	debit air, kond										
16	1	5,6	14,48	23,74	34,41	14,83	15,02	15,08	15,14	15,08	27,49	940,83
16	1,2	5,8	15,17	23,94	34,80	15,52	15,70	15,66	15,72	15,69	27,99	1283,20
16	1,4	5,8	15,46	24,33	35,30	15,91	15,99	15,96	16,01	15,98	28,24	1515,91
16	1,6	5,5	15,66	24,83	36,08	16,11	16,18	16,15	16,20	16,18	29,00	1563,61
16	1,8	5,3	16,25	25,12	36,47	16,60	16,57	16,64	16,79	16,67	29,25	1914,74
16	2	5,2	16,74	25,42	36,87	17,08	17,06	17,12	17,17	17,12	29,50	2261,43
18	1	5,9	14,48	23,55	34,90	14,93	15,21	15,18	15,14	15,17	29,26	1003,02
18	1,2	5,8	14,68	23,84	35,30	15,13	15,21	15,27	15,33	15,27	29,51	1282,63
18	1,4	5,6	15,07	24,04	35,69	15,42	15,41	15,57	15,62	15,53	30,02	1686,62
18	1,6	5,5	15,37	24,33	36,18	15,62	15,70	15,66	15,91	15,76	30,52	1830,26
18	1,8	5,3	15,85	24,63	36,47	16,20	16,18	16,25	16,30	16,24	30,52	2275,14
18	2	5,1	16,15	25,02	36,97	16,69	16,57	16,64	16,69	16,63	30,77	2322,31
20	1	5,8	14,97	23,55	34,61	15,42	15,60	15,57	15,72	15,63	28,50	1058,02
20	1,2	5,8	15,07	23,84	35,00	15,62	15,60	15,66	15,72	15,66	28,75	1453,09
20	1,4	5,6	15,37	24,04	35,39	16,01	15,89	15,96	16,01	15,95	29,26	1762,18
20	1,6	5,4	16,15	24,24	35,98	16,11	16,28	16,34	16,40	16,34	30,27	2263,72
20	1,8	5,2	16,74	24,33	36,28	16,60	16,77	16,83	16,88	16,83	30,78	3045,96
20	2	5	16,93	25,02	37,26	17,48	17,25	17,32	17,47	17,35	31,53	3557,18
22	1	5,8	15,66	23,65	34,80	16,11	16,28	16,34	16,40	16,34	28,76	1002,71
22	1,2	5,8	15,95	23,84	35,10	16,40	16,48	16,54	16,59	16,54	29,01	1290,64
22	1,4	5,7	16,15	24,04	35,79	16,60	16,57	16,64	16,69	16,63	30,27	1855,92
22	1,6	5,5	16,54	24,53	36,57	16,99	16,96	17,02	16,98	16,99	31,03	2197,49
22	1,8	5,4	16,93	24,83	37,16	17,77	17,54	17,51	17,56	17,54	31,79	2683,45
22	2	5,2	17,52	25,02	37,46	17,96	17,74	17,90	17,95	17,86	32,04	4202,46
24	1	6	16,44	23,74	34,90	16,89	16,96	17,12	17,17	17,09	28,76	1092,47
24	1,2	5,8	16,64	24,04	35,30	17,28	17,25	17,22	17,27	17,25	29,01	1603,01
24	1,4	5,8	16,83	24,24	35,79	17,48	17,25	17,51	17,56	17,44	29,76	1652,82
24	1,6	5,6	17,32	24,63	36,47	18,06	17,74	18,00	18,05	17,93	30,52	2070,54
24	1,8	5,6	17,81	25,32	37,26	18,55	18,23	18,48	18,44	18,38	30,77	2459,70
24	2	5,3	18,11	25,81	37,85	19,14	18,61	18,78	18,83	18,74	31,02	4273,53

Berikut adalah rumus-rumus yang digunakan untuk mencari nilai  $Q_{evap,udara,su}$  dan

$h_{evap}$ :

$$\dot{m}_{air} = \text{debit}_{evap} \cdot \rho_{air} \dots \dots \dots (4.1)$$

$$\dot{m}_{refrigeran} = \rho_{R-134a} \cdot \dot{V}_{aktual} \dots \dots \dots (4.2)$$

$$\text{Cooling Load} = \dot{m}_{air} \cdot c_{p,air} \cdot \Delta T_{air} \dots \dots \dots (4.3)$$

$$Q_{evap,udara,su} = \rho_{udara} \cdot \frac{\pi}{4} D_i \cdot \text{anemo} \cdot V_{udara} \cdot c_{p,udara} \cdot \Delta T_{udara} \dots \dots \dots (4.4)$$

$$h_{evap} = \frac{Q_{evap,udara,su}}{A_i \cdot (T_{wi} - T_{sat})} \dots \dots \dots (4.5)$$

$$T_{wi} = T_{wo} - \frac{Q \cdot \ln(D_o/D_i)}{2\pi \cdot k \cdot L} \dots \dots \dots (4.6)$$

$$T_{wi} = \frac{T_{wi,1} + T_{wi,2} + T_{wi,3}}{3} \dots \dots \dots (4.7)$$

## 4.2 Perhitungan

Dari data-data yang sudah didapat dari pengujian yang telah dilakukan, maka diambil beberapa data yang nantinya digunakan untuk melakukan perhitungan. Yaitu untuk mencari nilai  $Q_{\text{evap}}$  dan juga  $h_{\text{evap}}$  yaitu dengan menggunakan persamaan 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 dan 4.5

### 4.2.1. Perhitungan Beban Pendinginan (*Cooling Load*)

Dalam perhitungan beban pendinginan yang diperoleh berdasarkan data-data hasil percobaan adalah sebagai berikut:

- Untuk frekuensi 16 Hz, diketahui:

$$\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$c_{p\text{air}} = 4,22 \text{ (KJ/kg.k)}$$

$$\dot{m}_{\text{air}} = 0,16 \text{ (kg/s)}$$

$$T_{15} = 26,12 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_{16} = 31,98 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$\Delta T_{\text{air}} = 5,86 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$\begin{aligned} \text{Cooling Load} &= \dot{m}_{\text{air}} \cdot \rho_{\text{air}} \cdot \Delta T_{\text{air}} \\ &= 0,16 \text{ (kg/s)} \cdot 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)} \cdot 5,86 \text{ (}^\circ\text{C)} \cdot 1000 \\ &= 412,57 \text{ Watt} \end{aligned}$$

### 4.2.2. Perhitungan Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi ( $h_{\text{evap}}$ )

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

- Untuk frekuensi 16 Hz, diketahui :

$$D_{i,\text{su}} = 16,60 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$D_{o,\text{su}} = 18,85 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$L_{\text{su}} = 1,2 \text{ m}$$

$$K_{\text{tembaga}} = 380 \text{ J/m.s.k}$$

$$T_1 = 14,28 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_9 = 14,83 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{10}=T_{\text{wo1}} = 15,02 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{11}=T_{\text{wo2}} = 15,08 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{12}=T_{wo3} = 15,14 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\rho_{udara} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$D_{i,anemo} = 2,75 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$V_{udara} = 3,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$c_{pudara} = 1005 \text{ J/kg.K}$$

$$\Delta T_{udara} = T_6 - T_5$$

$$T_5 = 23,75 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_6 = 34,81 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{evap,udara,su}} &= \rho_{udara} \cdot \frac{\pi}{4} (D_{i,anemo})^2 \cdot V_{udara} \cdot c_{pudara} \cdot \Delta T_{udara} \\ &= 1,2 \text{ (kg/m}^3) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (2,75 \times 10^{-3})^2 \cdot 3,6 \text{ (m}^3/\text{s}) \cdot 1005 \text{ J/kg.K} \cdot \\ &\quad (34,81 - 23,75) \text{ }^{\circ}\text{C} \\ &= 27,49 \text{ Watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{wi1} &= T_{wo1} - \frac{Q \cdot \ln(D_o/D_i)}{2\pi \cdot k \cdot L} \\ &= 15,02 \text{ }^{\circ}\text{C} - \frac{27,49 \text{ (J/s)(Watt)} \cdot \ln(0,016/0,018) \text{ (m)}}{2\pi \cdot 380 \text{ (J/m.s.k)} \cdot 1,2 \text{ (m)}} \\ &= 15,02 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{wi2} &= T_{wo2} - \frac{Q \cdot \ln(D_o/D_i)}{2\pi \cdot k \cdot L} \\ &= 15,08 \text{ }^{\circ}\text{C} - \frac{27,49 \text{ (J/s)(Watt)} \cdot \ln(0,016/0,018) \text{ (m)}}{2\pi \cdot 380 \text{ (J/m.s.k)} \cdot 1,2 \text{ (m)}} \\ &= 15,08 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

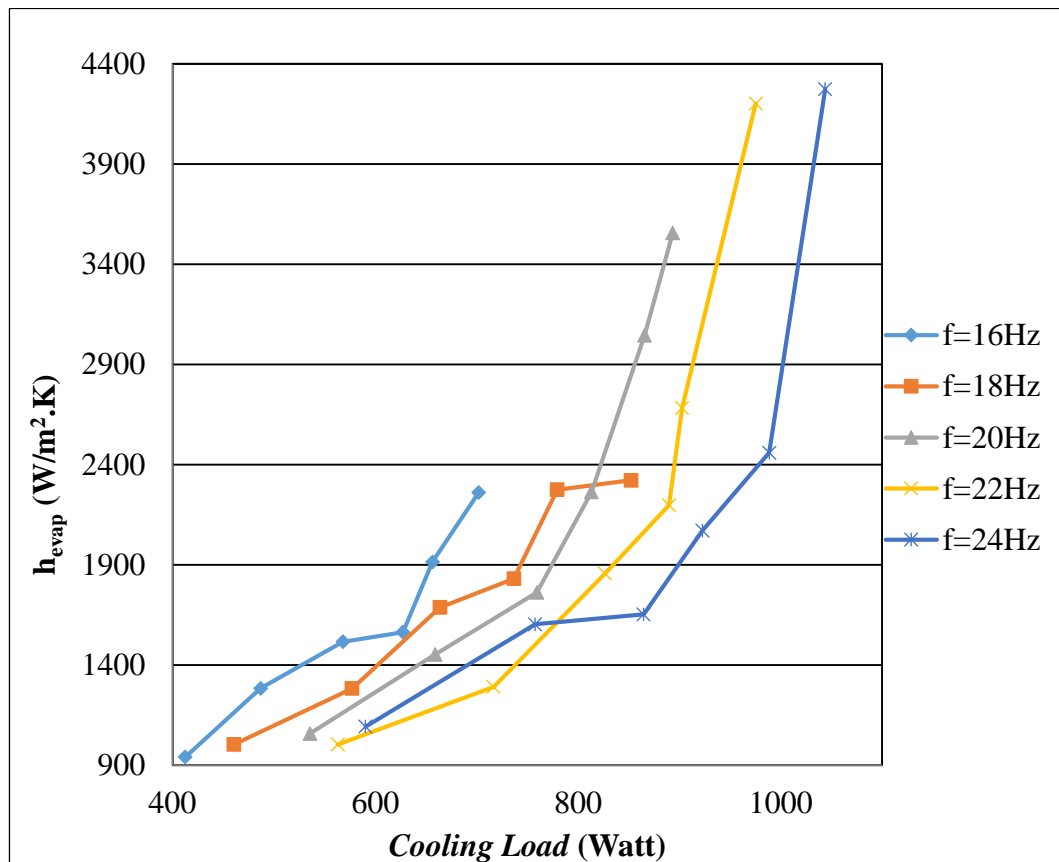
$$\begin{aligned} T_{wi3} &= T_{wo3} - \frac{Q \cdot \ln(D_o/D_i)}{2\pi \cdot k \cdot L} \\ &= 15,14 \text{ }^{\circ}\text{C} - \frac{27,494 \text{ (J/s)(Watt)} \cdot \ln(0,016/0,01885) \text{ (m)}}{2\pi \cdot 380 \text{ (J/m.s.k)} \cdot 1,2 \text{ (m)}} \\ &= 15,14 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{wi} &= \frac{T_{wi,1} + T_{wi,2} + T_{wi,3}}{3} \\
 &= \frac{15,02 + 15,08 + 15,14}{3} \\
 &= 15,08 \text{ } ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_{\text{evap}} &= \frac{Q_{\text{evap, udara, su}}}{A_i \cdot (T_{wi} - T_{\text{sat}})} \\
 &= \frac{27,49 \text{ (J/s.watt)}}{\pi \cdot 0,0166 \text{ (m)} \cdot 1,2 \text{ (m)} \cdot (15,08 - (\frac{14,48 + 14,83}{2}) ^\circ\text{C})} \\
 &= 1050,91 \text{ w/m}^2\cdot\text{k}
 \end{aligned}$$

### 4.3 Pembahasan

Dari perhitungan yang sudah terselesaikan dengan persamaan-persamaan 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, dan 4.5 untuk mendapatkan nilai-nilai *Cooling Load* dan  $h_{\text{evap}}$  dari tiap-tiap variasi percobaan, maka hasil penelitian disajikan dalam bentuk grafik.



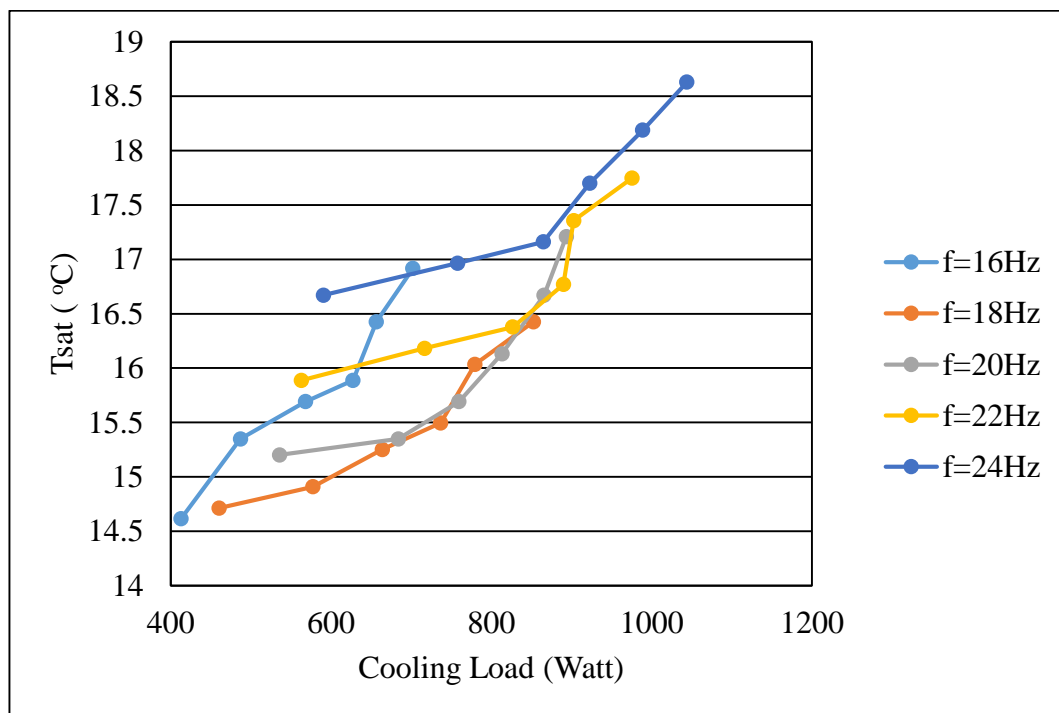
**Gambar 4.1** Grafik hubungan antara koefisien perpindahan kalor evaporasi dengan kapasitas beban pendinginan

Dari grafik hasil pengujian hubungan  $Q_{\text{evap}}$  dan  $h_{\text{evap}}$  tersebut menunjukkan dengan naiknya kapasitas beban pendinginan (*Cooling Load*) maka nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi ( $h_{\text{evap}}$ ) cenderung naik untuk tiap variasi frekuensi inverter (Hz) yang sama. Dari data yang diperoleh didapatkan nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi ( $h_{\text{evap}}$ ) tertinggi yaitu 4273,53 (w/m<sup>2</sup>.k) pada variasi frekuensi inverter 24 Hz. Sedangkan nilai kapasitas beban pendinginan (*Cooling Load*) tertinggi yaitu 1043,86 (watt) yaitu pada variasi frekuensi inverter 24 Hz. Dimana nilai-nilai tersebut sangat dipengaruhi oleh pencatatan suhu-suhu yang terdapat didalam sistem, terutama  $T_1$  (suhu dalam seksi uji atas masuk pipa),  $T_5$  (suhu udara sebelum seksi uji),  $T_6$  (suhu udara setelah seksi uji),  $T_9$  (suhu dalam seksi uji bawah masuk pipa),  $T_{10}$ ,  $T_{11}$ ,  $T_{12}$  (suhu dinding seksi uji) dan juga  $T_{15}$  (suhu air masuk evaporator),  $T_{16}$  (suhu air keluar evaporator). Sehingga bisa dianalisa bahwa apabila dengan semakin besar debit air yang masuk di dalam

evaporator, maka laju perpindahan panas yang diserap oleh refrigeran semakin besar dan menyebabkan laju perpindahan fasa yang terjadi (proses evaporasi) besar, dimana proses fasa yang terjadi yaitu dari fasa cair menjadi fasa uap terjadi secara cepat.

Cooling Load  $\nearrow$   $\longrightarrow$  kalor evaporasi  $\nearrow$   $\longrightarrow$  tekanan evaporasi naik  
 $\nearrow$   $\longrightarrow$   $h_{\text{evap}}$   $\nearrow$

Dari data atau grafik diatas terdapat juga grafik dan data pendukung yang mempengaruhi nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi dan juga kapasitas beban pendinginan. Berikut adalah gambar-gambar pendukung dari gambar utama 4.1:



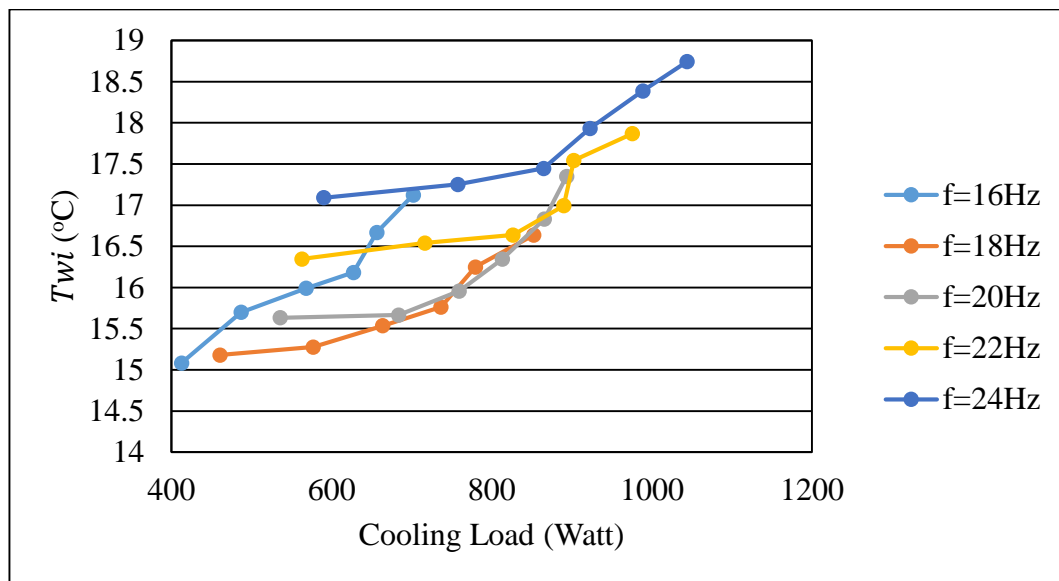
**Gambar 4.2** Grafik Hubungan Antara Beban Pendinginan (*Cooling Load*) dengan  $T_{\text{sat}}$

Dari grafik hubungan antar Beban Pendinginan (*Cooling Load*) dengan  $T_{\text{sat}}$  diatas maka apabila nilai dari *temperature* dalam seksi uji bagian atas (masuk pipa)  $T_1$  dan juga *temperature* dalam seksi uji bagian bawah (masuk pipa)  $T_9$  yang menjadi parameter dari nilai  $T_{\text{sat}}$  nilainya semakin naik, maka nilai dari beban pendinginan (*cooling load*) juga semakin besar. Sehingga dapat dianalisa apabila



*cooling load* naik hal tersebut menyebabkan kalor yang diserap evaporator menjadi besar, sehingga menyebabkan  $\dot{m}$  naik hal tersebut berpengaruh terhadap tekanan seksi uji yang nilainya ikut naik juga, maka dari itu suhu-suhu yang berpengaruh terhadap nilai  $T_{\text{sat}}$  naik, dan mengakibatkan nilai dari  $T_{\text{sat}}$  sendiri ikut naik.

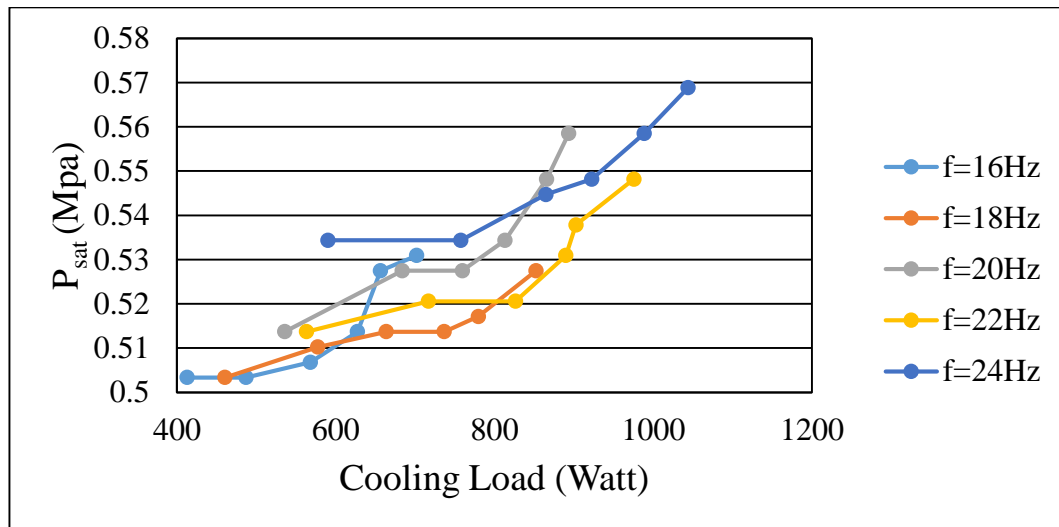
Cooling Load  $\nearrow$   $\longrightarrow$  kalor evaporasi  $\nearrow$   $\longrightarrow$   $\dot{m}_{\text{air}}$   $\nearrow$   $\longrightarrow$  tekanan evaporasi naik  $\nearrow$   $\longrightarrow$   $T_{\text{wi}}$   $\nearrow$



**Gambar 4.3** Grafik hubungan antara kapasitas beban pendinginan (*cooling load*) dengan  $T_{\text{wi}}$

Dari grafik hubungan antara kapasitas beban pendinginan (*cooling load*) dengan  $T_{\text{wi}}$  diatas didapatkan apabila nilai dari suhu-suhu  $T_5$  (suhu udara masuk seksi uji),  $T_6$  (suhu udara keluar seksi uji), dan juga  $T_{10}, T_{11}, T_{12}$  (suhu dinding dalam seksi uji) yang merupakan parameter suhu-suhu yang digunakan untuk mendapatkan nilai  $T_{\text{wi}}$  nilainya semakin naik maka nilai *cooling load*nya pun semakin naik. Sehingga dapat dianalisis apabila *cooling load* naik hal tersebut menyebabkan kalor yang di serap evaporator menjadi besar, sehingga menyebabkan  $\dot{m}$  naik hal tersebut berpengaruh terhadap tekanan seksi uji yang nilainya ikut naik juga, maka dari itu suhu-suhu yang berpengaruh terhadap nilai  $T_{\text{wi}}$  naik, dan mengakibatkan nilai dari  $T_{\text{wi}}$  sendiri ikut naik.

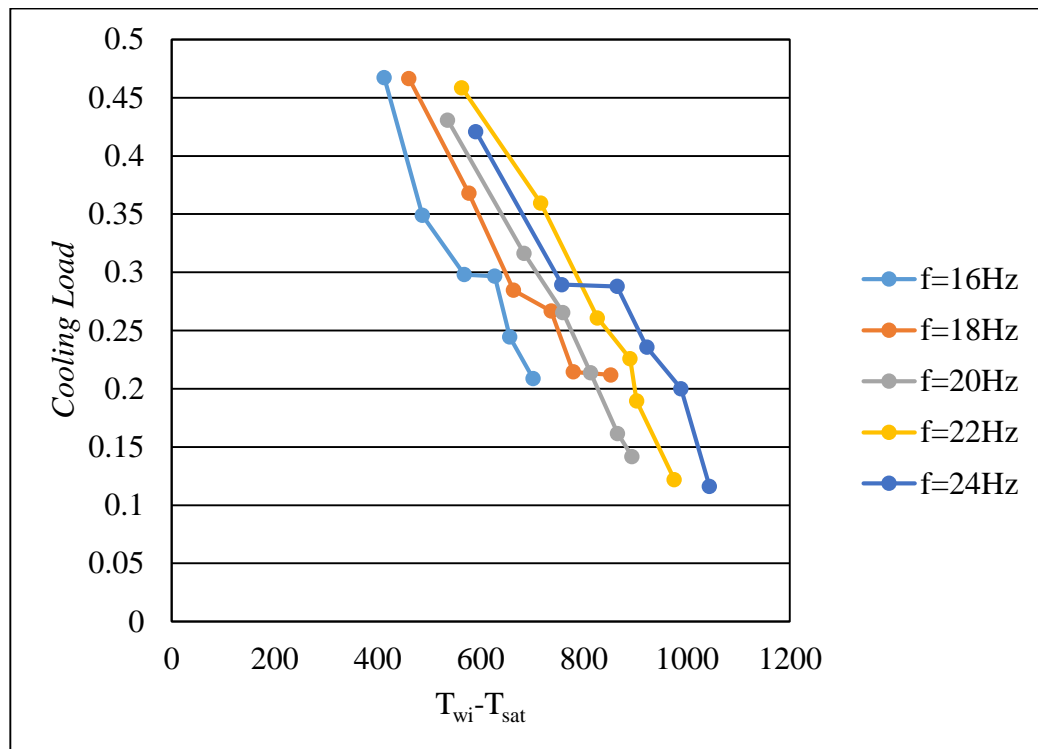
Cooling Load  $\nearrow$   $\longrightarrow$  kalor evaporasi  $\nearrow$   $\longrightarrow$   $\dot{m}_{\text{air}}$   $\nearrow$   $\longrightarrow$  tekanan  
 evaporasi naik  $\nearrow$   $\longrightarrow$   $T_{\text{wi}}$   $\nearrow$



**Gambar 4.4** Grafik hubungan antara kapasitas beban pendinginan (*cooling load*) dan  $P_{\text{sat}}$

Dari grafik hubungan antara kapasitas beban pendinginan (*cooling load*) dan  $P_{\text{sat}}$  didapatkan analisis sebagai berikut, dimana apabila nilai dari  $P_{\text{sat}}$  yang dipengaruhi oleh nilai-nilai  $P_4$  (tekanan masuk seksi uji) dan  $P_5$  (tekanan keluar seksi uji) nilainya naik, maka nilai dari *cooling load* juga naik. Sehingga dapat dianalisa apabila *cooling load* naik akan menyebabkan kalor yang di serap evaporator menjadi besar, sehingga menyebabkan  $\dot{m}_{\text{air}}$  naik hal tersebut berpengaruh terhadap tekanan seksi uji yang nilainya ikut naik juga, sehingga nilai dari  $P_{\text{sat}}$  akan ikut naik.

Cooling Load  $\nearrow$   $\longrightarrow$  kalor evaporasi  $\nearrow$   $\longrightarrow$   $\dot{m}_{\text{air}}$   $\nearrow$   $\longrightarrow$  tekanan  
 evaporasi naik  $\nearrow$



**Gambar 4.5** Grafik hubungan antara *Cooling Load* dan  $T_{wi} - T_{sat}$

Dari grafik hubungan antara kapasitas beban pendinginan (*cooling load*) dengan  $T_{wi} - T_{sat}$  diatas didapatkan apabila nilai dari *cooling load* semakin tinggi maka akan berbanding terbalik dengan nilai dari  $T_{wi} - T_{sat}$  yang nilainya cenderung mengalami penurunan. Sehingga dapat dianalisis apabila *cooling load* naik hal tersebut menyebabkan kalor yang di serap evaporator menjadi besar, sehingga menyebabkan  $\dot{m}$  naik hal tersebut berpengaruh terhadap tekanan seksi uji yang nilainya ikut naik juga, maka dari itu suhu-suhu yang berpengaruh terhadap nilai  $T_{wi}$  dan  $T_{sat}$  naik, sehingga hal tersebut menyebabkan nilai dari  $T_{wi} - T_{sat}$  mengalami penurunan.

