

## 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 koefisien perpindahan kalor evaporasi refrigeran R-134a di dalam saluran halus horisontal dengan variasi kualitas uap. Dalam penelitian ini debit air menuju evaporator dan frekuensi *inverter* tidak divariasikan dalam setiap pengambilan variasi kualitas yang dilakukan, kemudian mengamati perubahan tekanan, temperatur yang terjadi pada saat sistem berjalan 10 menit setiap variasi kualitas yang dilakukan. Dalam penelitian ini setiap variasi kualitas pada menit ke-10 diasumsikan sudah dalam kondisi *steady*. Hasil tekanan dan temperatur tersebut nantinya akan digunakan sebagai parameter untuk menentukan nilai koefisien evaporasi dan nilai kualitas uap refrigeran ( $x$ ) setelah ada variasi masukan daya oleh *heater*. Hasil perhitungan dengan variasi disajikan dalam bentuk tabel dan grafik yang selanjutnya akan dilakukan analisa.

### 4.1 Hasil Penelitian

#### 4.1.1 Hasil Kalibrasi Termokopel

Berikut adalah hasil kalibrasi termokopel yang digunakan dengan termometer standar sehingga diperoleh persamaan dari *regresi linier* yang dihasilkan. Temperatur hasil kalibrasi ini nantinya yang digunakan dalam proses perhitungan. Berikut hasil kalibrasi termokopel yang ditunjukkan pada tabel 4.1.

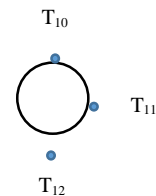
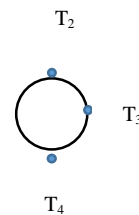
Tabel 4.1 Kalibrasi termokopel

No	Temperatur Terukur (°C)	Temperatur Terkalibrasi (°C)
1	T <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> = 0,9787 × T <sub>1</sub> terukur + 0,3965
2	T <sub>2</sub>	T <sub>2</sub> = 0,9733 × T <sub>2</sub> terukur + 0,5087
3	T <sub>3</sub>	T <sub>3</sub> = 0,9718 × T <sub>3</sub> terukur + 0,5279
4	T <sub>4</sub>	T <sub>4</sub> = 0,9717 × T <sub>4</sub> terukur + 0,4745
5	T <sub>5</sub>	T <sub>5</sub> = 0,9848 × T <sub>5</sub> terukur - 0,3787
6	T <sub>6</sub>	T <sub>6</sub> = 0,9824 × T <sub>6</sub> terukur - 0,3608
7	T <sub>7</sub>	T <sub>7</sub> = 0,9976 × T <sub>7</sub> terukur - 0,6447

Tabel 4.1 (Lanjutan)

No	Temperatur Terukur (°C)	Temperatur Terkalibrasi (°C)
8	T <sub>8</sub>	T <sub>8</sub> = 0,9843 × T <sub>8</sub> terukur - 0,4043
9	T <sub>9</sub>	T <sub>9</sub> = 0,9783 × T <sub>9</sub> terukur + 0,6538
10	T <sub>10</sub>	T <sub>10</sub> = 0,9722 × T <sub>10</sub> terukur + 0,8294
11	T <sub>11</sub>	T <sub>11</sub> = 0,9726 × T <sub>11</sub> terukur + 0,7888
12	T <sub>12</sub>	T <sub>12</sub> = 0,9709 × T <sub>12</sub> terukur + 0,773
13	T <sub>13</sub>	T <sub>13</sub> = 0,9804 × T <sub>13</sub> terukur + 0,7632
14	T <sub>14</sub>	T <sub>14</sub> = 0,9756 × T <sub>14</sub> terukur + 0,9866
15	T <sub>15</sub>	T <sub>15</sub> = 0,9732 × T <sub>15</sub> terukur + 0,9362
16	T <sub>16</sub>	T <sub>16</sub> = 0,9722 × T <sub>16</sub> terukur + 0,8744
17	T <sub>17</sub>	T <sub>17</sub> = 0,9797 × T <sub>17</sub> terukur - 0,0533
18	T <sub>18</sub>	T <sub>18</sub> = 0,9754 × T <sub>18</sub> terukur + 0,0219
19	T <sub>19</sub>	T <sub>19</sub> = 0,9755 × T <sub>19</sub> terukur - 0,0445
20	T <sub>20</sub>	T <sub>20</sub> = 0,9748 × T <sub>20</sub> terukur - 0,0637
21	T <sub>21</sub>	T <sub>21</sub> = 0,9755 × T <sub>21</sub> terukur - 0,0445
22	T <sub>22</sub>	T <sub>22</sub> = 0,9748 × T <sub>22</sub> terukur - 0,0637
23	T <sub>23</sub>	T <sub>23</sub> = 0,9718 × T <sub>23</sub> terukur + 0,5279
24	T <sub>24</sub>	T <sub>24</sub> = 0,9717 × T <sub>24</sub> terukur + 0,4745
25	T <sub>25</sub>	T <sub>25</sub> = 0,9787 × T <sub>25</sub> terukur + 0,3965
26	T <sub>26</sub>	T <sub>26</sub> = 0,9733 × T <sub>26</sub> terukur + 0,5087

Keterangan:

T<sub>1</sub> = T<sub>sat</sub> seksi uji *in*T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> = Temperatur luar dinding seksi uji (*in*)T<sub>5</sub> = Temperatur udara keluar seksi ujiT<sub>6</sub> = Temperatur udara masuk seksi ujiT<sub>7</sub> = Temperatur *suction* kompresorT<sub>8</sub> = Temperatur *discharge* kompresorT<sub>9</sub> = Temperatur seksi uji outT<sub>10</sub>, T<sub>11</sub>, T<sub>12</sub> = Temperatur luar dinding seksi uji (*out*)T<sub>13</sub> = Temperatur sebelum katup ekspansiT<sub>14</sub> = Temperatur setelah katup ekspansiT<sub>15</sub> = Temperatur air keluar evaporatorT<sub>16</sub> = Temperatur air masuk evaporator

- T<sub>17</sub> = Temperatur air keluar kondensor  
T<sub>18</sub> = Temperatur air keluar evaporator  
T<sub>19</sub> = Temperatur pada tangki campur  
T<sub>20</sub> = Temperatur pada tangki utama  
T<sub>21</sub> = Temperatur *Surface isolator heater* pada titik 1  
T<sub>22</sub> = Temperatur lingkungan sekitar *heater* pada titik 1  
T<sub>23</sub> = Temperatur *Surface isolator heater* pada titik 2  
T<sub>24</sub> = Temperatur lingkungan sekitar *heater* pada titik 2  
T<sub>25</sub> = Temperatur *Surface isolator heater* pada titik 3  
T<sub>26</sub> = Temperatur lingkungan sekitar *heater* pada titik 3

#### 4.2 Data Hasil Penelitian

Berikut adalah data hasil penelitian koefisien perpindahan kalor evaporasi dengan variasi kualitas uap refrigeran ( $x$ ) pada beberapa frekuensi *inverter* 14, 16, 18, 20, dan 22 Hz dengan debit air menuju evaporator 1,4 LPM:

Hasil penelitian ini dimuat dalam tabel 4.2 yang menyajikan nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi dengan memvariasikan kualitas uap refrigeran pada setiap frekuensi 14, 16, 18, 20, dan 22 Hz. Variasi kualitas uap divariasikan dengan memvariasikan daya masukan oleh *heater* yang nantiya laju perpindahan kalornya akan diserap refrigeran untuk mengubah dari kualitas satu ke kualitas yang lain.

Tabel 4.2 Hasil Penelitian

No	Inverter	ṁR	Daya Heater	BACA GRAFIK DIAGRAM P-h				Total $\dot{Q}$ loss	$\dot{Q}$ diserap refrigeran	$x$	$h_{\text{evap}}$
				hf R-134a	hfg R-134a	hg R-134a	$\rho$ R-134a				
	(Hz)	(kg/s)	(Watt)	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kg/m <sup>3</sup> ]				
1	14	0,00970	0,0	228,00	186,00	414,00	1170,00	0,00	0,00	0,13	1019,41
2			232,1	227,00	186,70	413,70	1171,00	0,26	231,84	0,29	969,66
3			479,0	232,00	185,00	417,00	1169,00	3,57	475,39	0,41	1059,46
4			747,0	236,00	181,50	417,50	1166,00	8,13	738,84	0,52	1337,62
5			996,3	240,00	179,00	419,00	1162,00	12,90	983,38	0,61	1690,63
6			1243,7	245,00	175,00	420,00	1157,00	18,01	1225,65	0,69	2240,92
7	16	0,01009	0,0	227,50	188,50	416,00	1169,56	0,00	0,00	0,14	1120,79
8			227,2	219,00	192,67	411,67	1175,00	1,67	225,53	0,30	1188,53
9			484,2	223,30	190,00	413,30	1171,59	6,04	478,14	0,41	1223,47
10			688,4	227,50	188,50	416,00	1168,47	10,10	678,27	0,49	1353,51
11			992,1	230,83	185,00	415,83	1165,22	16,76	975,37	0,62	1472,42
12			1246,5	234,17	183,33	417,50	1159,79	22,81	1223,74	0,72	2396,74
13	18	0,01043	0,0	226,67	188,00	414,67	1160,87	0,00	0,00	0,16	1109,62
14			229,8	222,50	190,83	413,33	1161,96	1,76	228,05	0,31	1223,58
15			469,2	225,83	188,17	414,00	1158,69	7,09	462,10	0,42	1467,31
16			727,4	227,50	187,50	415,00	1156,22	13,96	713,39	0,53	1540,67
17			988,4	232,08	184,17	416,25	1152,17	21,71	966,70	0,62	1834,48
18			1256,0	237,50	180,42	417,92	1144,12	30,29	1225,74	0,71	2394,80
19	20	0,01062	0,0	227,50	187,50	415,00	1158,69	0,00	0,00	0,16	1233,52
20			260,0	219,17	192,50	411,67	1171,74	1,99	258,02	0,32	1042,01
21			533,4	222,08	190,84	412,92	1167,39	6,18	527,26	0,45	1177,30
22			801,8	225,83	188,34	414,17	1165,22	10,95	790,81	0,56	1292,15
23			1076,7	228,33	186,84	415,17	1160,87	16,33	1060,35	0,65	1346,90
24			1393,0	232,08	183,75	415,83	1158,69	22,99	1370,04	0,75	2110,41
25	22	0,01072	0,0	230,00	185,83	415,83	1154,35	0,00	0,00	0,16	1217,77
26			256,3	210,83	197,92	408,75	1180,43	1,37	254,91	0,33	1134,76
27			543,4	216,67	194,16	410,83	1176,09	5,42	537,95	0,46	1204,35
28			850,7	221,67	190,83	412,50	1172,83	10,58	840,09	0,58	1307,90
29			1132,1	225,83	188,34	414,17	1167,39	15,82	1116,31	0,68	1421,93
30			1402,6	230,00	185,83	415,83	1160,87	21,21	1381,36	0,74	2104,52

### 4.3 Pengolahan Data

#### 4.3.1 Perhitungan Laju Aliran Massa Refrigeran ( $\dot{m}_{R-134a}$ )

Laju aliran massa refrigeran ( $\dot{m}_{R-134a}$ ) secara tidak langsung diukur dengan menggunakan *orifice* dan manometer U dengan memanfaatkan beda tekan yang ditunjukkan dengan perbedaan level ketinggian air raksa pada manometer U, adanya kenaikan laju aliran massa yang terjadi diindikasikan dengan  $\Delta h$  air raksa yang semakin besar. Pada perhitungan ini penulis hanya mengambil sampel pada frekuensi 22 Hz dengan memberi daya masukan ke *heater* sebesar 1403 watt untuk mengubah kualitas dari  $x_0$  -  $x_5$ , dan debit aliran air menuju evaporator sebesar 1,4 LPM. Untuk data frekuensi dan hasil perhitungan laju aliran massa refrigeran yang lain yang lain dapat dilihat pada LAMPIRAN 4.

Diketahui:

$$\begin{aligned}\Delta h = h_1 - h_2 &= 7,1 \text{ cm} \\ \rho_{\text{Hg}} &= 13.600 \text{ kg/m}^3 \\ g &= 9,81 \text{ m}^2/\text{s}\end{aligned}$$

Ditanya:

$$\dot{m}_{R-134a} = \quad ?$$

Jawab:

- i. Menghitung beda tekanan dengan persamaan (3.1)

$$\begin{aligned}P_1 - P_2 &= \rho_{\text{Hg}} \cdot g \cdot (h_1 - h_2) \\ &= 13.600 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m}^2/\text{s} \cdot (0,071 \text{ m}) \\ &= \mathbf{9472,53 \text{ Pa}}\end{aligned}$$

- ii. Setelah  $\Delta P$  didapat, maka nilai bilangan *Reynolds* dapat dihitung dengan mensubstitusikan  $\Delta P$  ke dalam persamaan yang diperoleh dari *regresi linier* pada gambar 3.28.

$$\begin{aligned}y &= 8,1867 x - 50558 \\ \Delta P &= 8,1867 \cdot \text{Re} - 50558 \\ \text{Re} &= \frac{9472,536 + 50558}{8,1867} \\ &= \mathbf{7332,69}\end{aligned}$$

- iii. Setelah  $Re$  didapat, maka nilai koefisien curah ( $C$ ) dapat dihitung dengan mensubstitusikan bilangan *Reynolds* ke dalam persamaan *regresi linier* pada gambar 3.29.

$$\begin{aligned} y &= 2,557 x^{-0,126} \\ C &= 2,557 \cdot Re^{-0,126} \\ C &= 2,557 \cdot 7332,69^{-0,126} \\ C &= \mathbf{0,8398} \end{aligned}$$

- iv. Untuk menghitung laju aliran volume refrigeran aktual menggunakan persamaan (3.13) dengan mengganti *densitas* air dengan *densitas* refrigeran. Maka harus mengetahui Luas penampang pipa *orifice* ( $A_1$ ), luas penampang lubang *orifice* ( $A_2$ ),  $P_{in, ekspansi}$  dan  $T_{13} = T_{in, ekspansi}$  untuk mencari nilai massa jenis refrigeran.

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \cdot (0,0127 \text{ m})^2 \\ &= \mathbf{0,0001267 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_2 &= \frac{\pi}{4} \cdot D_2^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \cdot (0,002 \text{ m})^2 \\ &= \mathbf{3,14159E-06 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$P_{in, ekspansi} = 1,34 \text{ MPa (abs)}$$

$$T_{13} = T_{in, ekspansi} = 34,8 \text{ }^\circ\text{C (terkalibrasi)}$$

Sehingga untuk mendapatkan nilai  $\rho_{refrigeran}$  @  $P_{in, ekspansi}$  dan @  $T_{13} = T_{in, ekspansi}$  dari pembacaan Diagram P – h Refrigeran R-134a.

$$\rho_{refrigeran} \text{ R-134a @ } P_{in, ekspansi} = 1,3411 \text{ MPa (abs)}$$

$$\text{@ } T_{13} = T_{in, ekspansi} = 34,8 \text{ }^\circ\text{C (terkalibrasi)}$$

$\rho_{refrigeran}$  R-134a Adalah **1160,87(kg/m<sup>3</sup>)** →(diperoleh dengan membaca diagram P –h refrigeran R-134a pada LAMPIRAN 1).

Laju aliran volume refrigeran aktual ( $\dot{V}_{\text{aktual}}$ )

$$\begin{aligned}\dot{V}_{\text{aktual}} &= \frac{C \cdot A_2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_{\text{refrigeran}}}} \cdot \sqrt{(P_1 - P_2)}}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \\ &= \frac{0,839766687 \cdot 3,14159\text{E}-06 \text{ m}^2 \cdot \sqrt{\frac{2}{1160,87(\text{kg}/\text{m}^3)}} \cdot \sqrt{(9472,536 \text{ Pa})}}{\sqrt{1 - \left(\frac{3,14159\text{E}-06 \text{ m}^2}{0,000126677 \text{ m}^2}\right)^2}} \\ &= \mathbf{1,0661\text{E}-05 \text{ m}^3/\text{det}}\end{aligned}$$

v. Laju aliran massa refrigeran dapat dihitung.

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{refrigeran}} &= \rho_{\text{R-134a}} \cdot \dot{V}_{\text{R,aktual}} \\ &= 1160,87(\text{kg}/\text{m}^3) \cdot 1,0661\text{E}-05 \text{ m}^3/\text{det} \\ &= \mathbf{0,01238 \text{ kg}/\text{det}}\end{aligned}$$

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

Perpindahan kalor yang terjadi di seksi uji digunakan dalam menentukan nilai dari koefisien perpindahan kalor evaporasi ( $h_{\text{evap}}$ ). Pada perhitungan ini penulis hanya mengambil sampel pada frekuensi 22 Hz dengan memberi daya masukan ke *heater* sebesar 1403 watt untuk mengubah kualitas dari  $x_0 - x_5$ , dan debit aliran air menuju evaporator sebesar 1,4 LPM. Untuk nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi terhadap variasi kualitas yang lain dapat dilihat pada LAMPIRAN 4.

Diketahui:

$D_{\text{in, seksi uji}}$	= 0.0166 m	$T_{\text{sat, in}} = T_1$	= 18,31°C
$L_{\text{seksi uji}}$	= 1,25 m	$T_{\text{sat, out}} = T_9$	= 19,44°C
$C_{p \text{ udara}}$	= 1005 J/kg.°C	$T_{\text{w, out } 2} = T_2$	= 18,32°C
$T_{\text{udara, in}} = T_6$	= 34,22°C	$T_{\text{w, out } 3} = T_3$	= 18,51°C
$T_{\text{udara, out}} = T_5$	= 26,01°C	$T_{\text{w, out } 4} = T_4$	= 18,35°C
$D_{\text{anamometer}} = D_{\text{ane}}$	= 0,0275 m	$T_{\text{w, out } 10} = T_{10}$	= 19,79°C
$\bar{v}_{\text{udara}}$	= 3,5 m/s	$T_{\text{w, out } 11} = T_{11}$	= 19,56°C

$$\begin{aligned}
 k_{\text{tembaga}} &= 401 \text{ W/m}\cdot\text{°C} & T_{w, \text{out } 12} = T_{12} &= 19,61\text{°C} \\
 r_1 &= 8,3 \text{ mm} \\
 r_2 &= 9,3 \text{ mm} \\
 \rho_{\text{udara}} &= 1,2 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

\*\*\*T hasil kalibrasi sebelumnya ditunjukkan pada LAMPIRAN 4.

Ditanya:

$$h_{\text{evap}} = ?$$

Jawab:

$$h_{\text{evap}} = \frac{\dot{Q}_{\text{eva}}}{A_i \cdot (\bar{T}_{w,i} - \bar{T}_{\text{sat}})}$$

i. Menghitung  $\dot{Q}_{\text{eva}}$

$$\begin{aligned}
 \dot{Q}_{\text{evap}} &= \dot{Q}_{\text{suplai udara}} \\
 &= \dot{m}_{\text{udara}} \cdot c_{p\text{udara}} \cdot (T_{\text{udara, in}} - T_{\text{udara, out}}) \\
 &= \rho_{\text{udara}} \cdot \dot{V}_{\text{udara}} \cdot c_{p\text{udara}} \cdot (T_{\text{udara, in}} - T_{\text{udara, out}}) \\
 &= \rho_{\text{udara}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{ane}}^2 \cdot \bar{v}_{\text{udara}} \cdot c_{p\text{udara}} \cdot (T_{\text{udara, in}} - T_{\text{udara, out}}) \\
 &= 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (0,0275\text{m})^2 \cdot 3,5 \text{ m/s} \cdot 1005 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot \text{°C} \cdot (34,22\text{°C} - 26,01\text{°C})
 \end{aligned}$$

$$\dot{Q}_{\text{evap}} = 20,57 \text{ Watt}$$

ii. Menghitung  $\bar{T}_{\text{sat}}$

$$\begin{aligned}
 \bar{T}_{\text{sat}} &= \frac{1}{2} \cdot (\bar{T}_{\text{sat, in}} - \bar{T}_{\text{sat, out}}) \\
 &= \frac{1}{2} \cdot (18,31\text{°C} - 19,44\text{°C}) \\
 \bar{T}_{\text{sat}} &= 18,87 \text{ °C}
 \end{aligned}$$

iii. Menghitung  $T_{w,i}$  dengan parameter  $T_{w,o}$  menggunakan persamaan konduksi.

$$T_{w,i} = T_{w,o} - \frac{\dot{Q}_{\text{konduksi}} \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L}$$

Dengan asumsi:  $\dot{Q}_{\text{konduksi}} = \dot{Q}_{\text{suplai udara}}$



- $$T_{w,i,in,2} = T_{w,out,2} - \frac{\dot{Q}_{konduksi} \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L}$$

$$= 18,32^\circ\text{C} - \frac{20,57256169 \text{ Watt} \cdot \ln\left(\frac{9,3}{8,3}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 401 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 1,2 \text{ m}}$$

$$= 18,32^\circ\text{C}$$
- $$T_{w,i,in,3} = T_{w,out,3} - \frac{\dot{Q}_{konduksi} \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L}$$

$$= 18,51^\circ\text{C} - \frac{20,57256169 \text{ Watt} \cdot \ln\left(\frac{9,3}{8,3}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 401 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 1,2 \text{ m}}$$

$$= 18,51^\circ\text{C}$$
- $$T_{w,i,in,4} = T_{w,out,4} - \frac{\dot{Q}_{konduksi} \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L}$$

$$= 18,35^\circ\text{C} - \frac{20,57256169 \text{ Watt} \cdot \ln\left(\frac{9,3}{8,3}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 401 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 1,2 \text{ m}}$$

$$= 18,35^\circ\text{C}$$
- $$T_{w,i,out,10} = T_{w,out,10} - \frac{\dot{Q}_{konduksi} \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L}$$

$$= 19,79^\circ\text{C} - \frac{20,57256169 \text{ Watt} \cdot \ln\left(\frac{9,3}{8,3}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 401 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 1,2 \text{ m}}$$

$$= 19,79^\circ\text{C}$$
- $$T_{w,i,out,11} = T_{w,out,12} - \frac{\dot{Q}_{konduksi} \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L}$$

$$= 19,56^\circ\text{C} - \frac{20,57256169 \text{ Watt} \cdot \ln\left(\frac{9,3}{8,3}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 401 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 1,2 \text{ m}}$$

$$= 19,56^\circ\text{C}$$
- $$T_{w,i,out,12} = T_{w,out,12} - \frac{\dot{Q}_{konduksi} \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L}$$

$$= 19,61^\circ\text{C} - \frac{20,57256169 \text{ Watt} \cdot \ln\left(\frac{9,3}{8,3}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 401 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 1,2 \text{ m}}$$

$$= 19,61^\circ\text{C}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} \bullet \quad T_{w,i,in} &= \frac{1}{3} \cdot (T_{w,i,in,2} + T_{w,i,in,3} + T_{w,i,in,4}) \\ &= \frac{1}{3} \cdot (18,3193 \text{ }^\circ\text{C} + 18,5055^\circ\text{C} + 18,353^\circ\text{C}) \\ &= 18,39 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad T_{w,i,out} &= \frac{1}{3} \cdot (T_{w,i,out,10} + T_{w,i,out,11} + T_{w,i,out,12}) \\ &= \frac{1}{3} \cdot (19,7866^\circ\text{C} + 19,5592^\circ\text{C} + 19,6077^\circ\text{C}) \\ &= 19,65 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

iv. Menghitung  $\bar{T}_{w,i}$

$$\begin{aligned} \bar{T}_{w,i} &= \frac{1}{2} \cdot (T_{w,i,in} + T_{w,i,out}) \\ &= \frac{1}{2} \cdot (18,3926^\circ\text{C} + 19,6512^\circ\text{C}) \\ \bar{T}_{w,i} &= \mathbf{19,02^\circ\text{C}} \end{aligned}$$

v. Menghitung luas permukaan seksi uji yang bersentuhan dengan aliran refrigeran ( $A_i$ )

$$\begin{aligned} A_i &= \pi \cdot D_{i,SU} \cdot L \\ &= \pi \cdot 0,0166 \text{ m} \cdot 1,25 \text{ m} \\ &= 0,0652 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

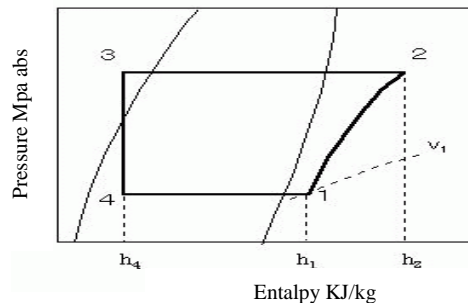
Sehingga nilai  $h_{\text{evap}}$  didapat:

$$\begin{aligned} h_{\text{evap}} &= \frac{\dot{Q}_{\text{eva}}}{A_i \cdot (\bar{T}_{w,i} - \bar{T}_{\text{sat}})} \\ &= \frac{20,57256169 \text{ Watt}}{0,065188048 \text{ m}^2 \cdot (19,02^\circ\text{C} - 18,87^\circ\text{C})} \\ h_{\text{evap}} &= \mathbf{2104,52 \text{ Watt/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \end{aligned}$$

#### 4.3.3 Perhitungan Menentukan Kualitas 0 Pada Titik 4 ( $x_0$ )

Perhitungan untuk menentukan kualitas pada titik 4 ini nantinya digunakan sebagai titik acuan untuk variasi kualitas yang ingin direncanakan, untuk dapat mengetahui kualitas 0 ( $x$  pada titik 4) maka harus dilakukan pengambilan data awal

sebelum dilakukan pengambilan data khususnya variasi kualitas. Pada perhitungan ini penulis hanya mengambil sampel untuk menentukan kualitas 0 (pada titik 4) dengan variasi frekuensi *inverter* 14 Hz dan debit air menuju evaporator 1,4 LPM.



Gambar 4.1 Diagram P-h Siklus Refrigrasi (Yoshihiro, 2013)

- Untuk menentukan  $x_0$  atau  $x_4$  maka kita harus mengetahui kondisi pada titik 3 dan kondisi pada titik 4.
- Kondisi titik 3  
Kondisi 3 ini menunjukkan titik sebelum katup ekspansi.

Diketahui:

$$P_3 = P_{\text{in katup ekspansi}} = 155 \text{ psi (terukur)}$$

$$T_{13} = T_{\text{sebelum katup ekspansi}} = 32,2 \text{ }^\circ\text{C (terukur)}$$

Ditanya:

$$h_3 = \quad ?$$

Jawab:

- Titik 3 menurut gambar 3.33 berada pada fasa campuran terkompresi, karena tabel refrigeran fasa campuran terkompresi tidak ada, maka untuk memperoleh nilai  $h_3$  kita harus membaca diagram P-h refrigeran R-134a secara manual. Diagram P-h refrigeran R-134a dapat dilihat pada LAMPIRAN 1.
- Sebelum digunakan untuk membaca diagram P-h maka nilai tekanan harus dikonversi ke dalam satuan MPa (abs).

➤ Sebelum digunakan untuk membaca diagram P-h maka nilai temperatur yang terbaca saat pengambilan data harus dikalibrasi terlebih dahulu ke persamaan *regresi linier* pada saat kalibrasi *thermocople* pada titik tersebut.

$$\begin{aligned} \text{➤ } P_3 &= P_{\text{in katup ekspansi}} = 155 \text{ psi (terukur)} \\ &= 1068,69 \text{ KPa (terukur)} \end{aligned}$$

$$P_3 = P_{\text{in katup ekspansi}} = \mathbf{1,17 \text{ MPa (abs)}}$$

$$\text{➤ } T_{13} = T_{\text{sebelum katup ekspansi}} = 32,2 \text{ }^\circ\text{C (terukur)}$$

$$T_{13} = T_{\text{sebelum katup ekspansi}} = \mathbf{32,33 \text{ }^\circ\text{C (terkalibrasi)}}$$

Sehingga nilai  $h_3$  didapat dengan membaca diagram P-h refrigeran R-134a

@  $P_3 = P_{\text{in katup ekspansi}} = 1,1687 \text{ MPa (abs)}$  dan @  $T_{13} = T_{\text{sebelum katup ekspansi}} = 32,33 \text{ }^\circ\text{C (terkalibrasi)}$

$$h_3 = \mathbf{253 \text{ kJ/kg}}$$

\*\*\*asumsi  $h_3 = h_4$

• Kondisi titik 4

Diketahui:

$$\begin{aligned} P_4 &= P_{\text{out ekspansi}} = 64 \text{ psi (terukur)} \\ &= 441,26 \text{ KPa (terukur)} \end{aligned}$$

$$P_4 = P_{\text{out ekspansi}} = \mathbf{0,54 \text{ MPa (abs)}}$$

Dari nilai tekanan  $P_4$  maka dapat diperoleh nilai  $h_f$ ,  $h_g$ , dan  $h_{fg}$  pada kondisi tersebut dengan cara membaca diagram P – h refrigeran R-134a pada LAMPIRAN 1.

$$h_f = \mathbf{228 \text{ kJ/kg}}$$

$$h_g = \mathbf{414 \text{ kJ/kg}}$$

$$h_{fg} = \mathbf{186 \text{ kJ/kg}}$$

Sehingga nilai kualitas 0 (pada titik 4) dapat dihitung dari persamaan berikut:

$$h_4 = h_f + x_4 \cdot h_{fg}$$

$$x_4 = \frac{h_4 - h_f}{h_{fg}} = \frac{253 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 228 \text{ kJ/kg}}{186 \text{ kJ/kg}}$$

$$\boxed{x_4 = 0,13} \quad \leftarrow x_0$$

#### 4.3.4 Perhitungan Kalor Yang Hilang ( $\dot{Q}_{loss}$ ) Secara Konveksi

Perhitungan untuk menentukan kalor yang hilang di *heater* perlu dilakukan guna menghitung daya yang terserap oleh refrigeran untuk mengubah kualitas uap yang diinginkan. Pada perhitungan ini penulis hanya mengambil sampel untuk mendapatkan  $\dot{Q}_{loss}$  yaitu pada data frekuensi *inverter* 22 Hz dan debit air menuju evaporator 1,4 LPM, dengan daya yang diberikan *heater* 1403 Watt. Untuk perhitungan  $\dot{Q}_{loss}$  konveksi yang lain ditunjukkan pada LAMPIRAN 4.

Diketahui:

$$T_{surface} (T_s) = 313,98 \text{ K}$$

$$T_{lingkungan} (T_\infty) = 302,46 \text{ K}$$

$$\text{Luas Selimut isolasi } heater = 0,4298 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang isolasi } heater (L) = 1,1 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Ditanya:

$$\dot{Q}_{loss} = \quad ?$$

$$\text{Jawab: } \dot{Q}_{konveksi} = h A_s (T_s - T_\infty)$$

Asumsi:  $T_{surface}$  seragam

Tidak ada gerakan udara

Gas ideal

Sifat konstan

Sifat udara: LAMPIRAN 6 tabel A.4

$$T_f = 308,22 \text{ K}$$

$$k = 26,908 \times 10^{-3} \text{ W/m K}$$

$$\nu = 16,717 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\alpha = 23,717 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Pr} = 0,706$$

$$\beta = 1/T_f = 0,0032 \text{ K}^{-1}$$

Hasil interpolasi

Lihat LAMPIRAN 5

Untuk menentukan nilai  $h$  maka nilai angka *Rayleigh* harus diperoleh.

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\alpha\nu}$$

$$= \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \times 0,00324 \text{ K}^{-1} \times (313,98 \text{ K} - 302,46 \text{ K}) \times (1,1 \text{ m})^3}{23,717 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \times 16,717 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$= 1230774856$$

Selanjutnya harus menentukan angka *nuselt*,

$$Nu_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$= \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \times 1230774856^{1/6}}{[1 + (0,492/0,706)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$= 130,889$$

Sehingga,

$$h = \frac{Nu_L \cdot k}{L} = \frac{130,889 \times 26,908 \times 10^{-3} \text{ W/m K}}{1,1 \text{ m}} = 3,202 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

dan nilai  $\dot{Q}$  konveksi didapat,

$$\dot{Q}_{\text{konveksi}} = 3,202 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,4298 \text{ m}^2 \cdot (313,98 \text{ K} - 302,46 \text{ K})$$

$$\dot{Q}_{\text{konveksi}} = \mathbf{15,85 \text{ W}}$$

#### 4.3.5 Perhitungan Kalor Yang Hilang ( $\dot{Q}_{\text{loss}}$ ) Secara Radiasi

Perhitungan untuk menentukan kalor yang hilang di *heater* perlu dilakukan untuk menghitung daya yang diserap refrigeran untuk memvariasikan kualitas uap yang diinginkan. Pada perhitungan ini penulis hanya mengambil sampel untuk mendapatkan  $\dot{Q}_{\text{loss}}$  yaitu pada variasi frekuensi *inverter* 22 Hz dan debit air menuju evaporator 1,4 LPM, dengan daya yang diberikan *heater* 1403 Watt. Untuk perhitungan  $\dot{Q}_{\text{loss}}$  radiasi yang lain ditunjukkan pada LAMPIRAN 4.

Diketahui:

$$\text{Emisitifitas aluminium foil} = \varepsilon = 0,07$$

$$\text{Stefan Boltzmann Constant} = \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$T_s = 313,98 \text{ K}$$

$$T_\infty = 302,46 \text{ K}$$

Ditanya:

$$\dot{Q}_{\text{loss radiasi}} = \quad ?$$

Jawab:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{loss radiasi}} &= \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_\infty^4) \\ &= 0,07 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} (313,98 \text{ K}^4 - 302,46 \text{ K}^4) \\ &= \mathbf{5,36 \text{ W}}\end{aligned}$$

#### 4.3.6 Perhitungan $\dot{Q}_{\text{Heater}}$ Yang Diserap Refrigeran

Perhitungan untuk menentukan  $\dot{Q}_{\text{heater}}$  yang diserap refrigeran dilakukan karena nantinya akan menentukan nilai kualitas uap riil. Pada perhitungan ini penulis hanya mengambil sampel untuk nilai  $\dot{Q}_{\text{heater}}$  yang diserap refrigeran pada variasi frekuensi *inverter* 22 Hz dan debit menuju evaporator 1,4 LPM dengan daya masukan heater 1403 Watt. Untuk perhitungan  $\dot{Q}_{\text{heater}}$  yang diserap refrigeran yang lain ditunjukkan pada LAMPIRAN 4.

Diketahui:

$$\begin{aligned}\text{Daya masukan heater} &= \dot{Q}_{\text{heater}} = 1403 \text{ W} \\ \dot{Q}_{\text{loss, konveksi}} &= 15,85 \text{ W} \\ \dot{Q}_{\text{loss, radiasi}} &= 5,36 \text{ W}\end{aligned}$$

Ditanya:

$$\dot{Q}_{\text{diserap refrigeran}} = \quad ?$$

Jawab:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{diserap refrigeran}} &= \dot{Q}_{\text{heater}} - \dot{Q}_{\text{loss, konveksi}} - \dot{Q}_{\text{loss radiasi}} \\ &= 1403 \text{ W} - 15,85 \text{ W} - 5,36 \text{ W} \\ &= \mathbf{1381,36 \text{ W}}\end{aligned}$$

#### 4.3.7 Perhitungan Nilai Kualitas Uap ( $x$ ) Jika Ada Daya Masukan Oleh *Heater*

Dengan memberikan masukan daya oleh *heater* maka akan mempengaruhi nilai Kualitas uap ( $x$ ) dari refrigeran yang disirkulasikan. Karena tujuan dari penelitian ini tentang hubungan koefisien evaporasi terhadap kualitas uap maka harus dilakukan perhitungan nilai kualitas sesungguhnya, dari variasi daya yang sudah direncanakan sebelumnya. Pada perhitungan ini penulis hanya mengambil sampel kualitas sesungguhnya dengan daya masukan *heater* 1403 W pada variasi frekuensi 22 Hz dan debit menuju evaporator 1,4 LPM. Untuk perhitungan nilai kualitas uap yang lain ditunjukkan pada LAMPIRAN 4.

Diketahui:

$$\dot{m}_{\text{refrigeran}} = 0,01238 \text{ kg/det}$$

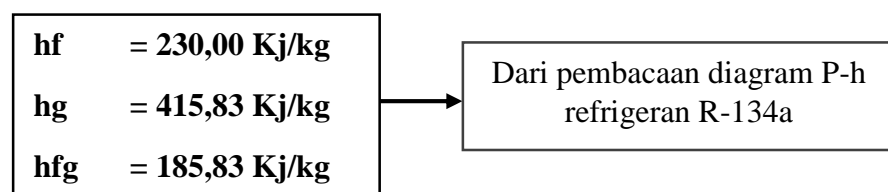
$$\text{Daya yang diserap refrigeran} = 1381,36 \text{ W} = 1,38136 \text{ kW}$$

$$\text{(kondisi 3) } @P_3 = 1,34 \text{ MPa (abs)}$$

$$@T_{13} = 34,78 \text{ }^\circ\text{C}$$

Sehingga nilai  $h$  (kondisi 3) = **256,25** KJ/kg =  $h$  (kondisi 4) (diperoleh dari pembacaan diagram P-h refrigeran R-134a pada LAMPIRAN 1).

$$\text{(kondisi 4) } @P_4 = 0,54 \text{ MPa (abs)}$$



\*Keterangan kondisi 3 dan kondisi 4 dapat dilihat pada gambar 4.1

Ditanya:

Kualitas uap refrigeran ( $x$ ) jika ada masukan daya sebesar 1403 W, pada laju aliran massa refrigeran 0,012376049 kg/det = ?



Jawab:

$$\dot{Q}_{\text{diserap refrigeran}} = (h_4' - h_4) \cdot \dot{m}_{\text{refrigeran}}$$

$$h_4' = \frac{\dot{Q}_{\text{diserap refrigeran}}}{\dot{m}_{\text{refrigeran}}} + h_4$$

$$\begin{aligned} h_4' &= \frac{1,38136 \text{ KW}}{0,01238 \text{ kg/det}} + 256,25 \text{ Kj/kg} \\ &= 367,86 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

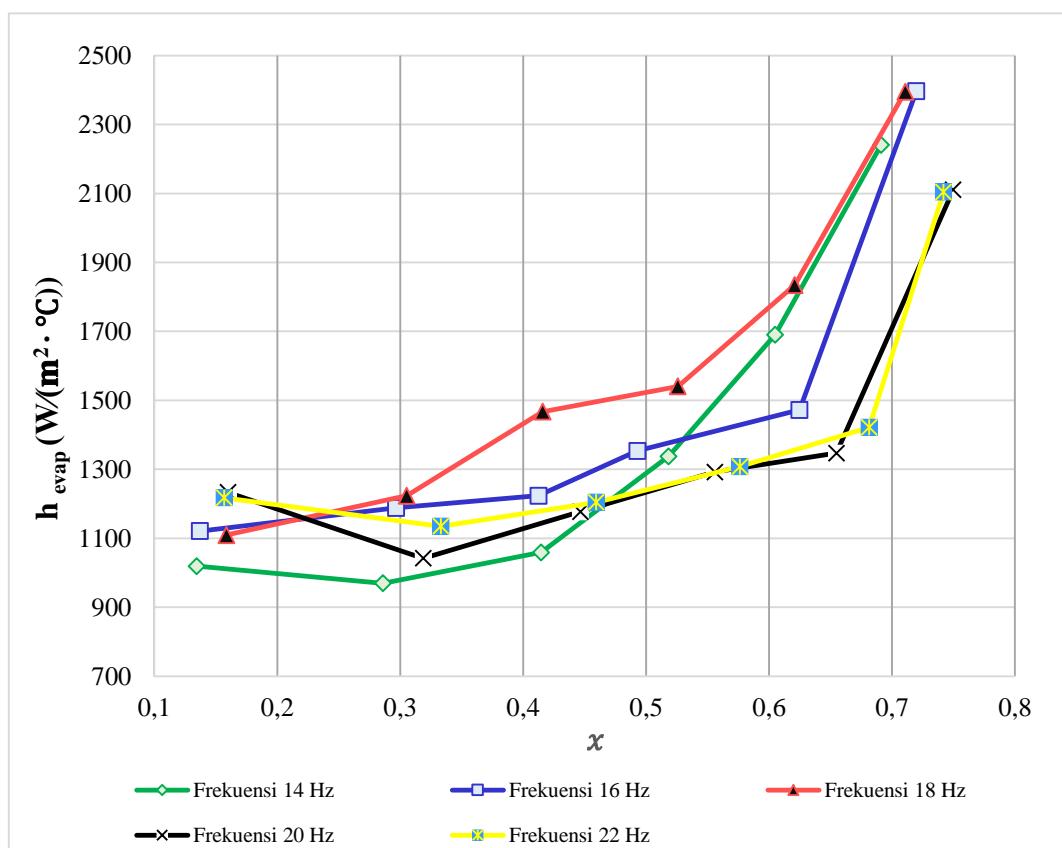
$$h_{4'} = hf + x_{4'} \cdot hfg$$

$$x_{4'} = \frac{h_{4'} - hf}{hfg} = \frac{367,86 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 230 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{185,83 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$x_{4'} = \mathbf{0,74}$$

#### 4.4 Pembahasan

Dari hasil data penelitian yang sudah diolah dengan menggunakan Ms. Excel, sehingga didapatkan grafik hubungan kualitas uap refrigeran ( $x$ ) terhadap nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi yang ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara kualitas uap refrigeran ( $x$ ) terhadap koefisien perpindahan kalor evaporasi ( $h_{evap}$ ) di dalam saluran halus horisontal

Dari hasil penelitian tentang pengukuran koefisien perpindahan kalor evaporasi terhadap variasi kualitas uap di dalam saluran halus horisontal. Bahwa nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi ( $h_{evap}$ ) dengan nilai kualitas uap ( $x$ ) sebanding. Artinya jika variasi kualitas uap refrigeran dinaikkan maka nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi juga akan mengalami kenaikan pula, hal ini menunjukkan ada kesesuaian hasil penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Prasetya (2011) dan Dalkilic (2016). Dari hasil penelitian didapatkan nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi dengan nilai tertinggi yaitu 2396,73 Watt/ $m^2 \cdot ^\circ C$  pada kualitas 0,72 dengan variasi frekuensi *inverter* 16 Hz.

Semakin besar kualitas uap maka kalor yang diterima oleh refrigeran juga akan semakin besar sehingga terjadi proses didih alir di dalam saluran. Semakin besar kualitas uap berarti semakin besar pula prosentase fasa campuran yang dapat diubah menjadi fasa uap (evaporasi). Dengan adanya perubahan fasa yang terjadi maka akan timbul pola aliran yang tidak seragam di dalam saluran. Dengan terbentuknya pola aliran yang tidak seragam menyebabkan tingkat turbulensi aliran meningkat dan nilai laju perpindahan kalornya juga meningkat. Secara tidak langsung dengan laju perpindahan kalor bertambah besar maka nilai koefisien perpindahan kalor juga meningkat.

Dari hasil penelitian yang saya lakukan ada perbedaan dengan hasil penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan. Santosa (2003) melakukan penelitian pengukuran koefisien perpindahan kalor evaporasi refrigeran Petrozon Rossy 12 di dalam saluran halus horisontal dengan variasi kualitas uap. Di dalam penelitiannya diperoleh hasil bahwa semakin besar nilai kualitas uap yang divariasikan maka nilai koefisien evaporasi akan cenderung turun pada laju aliran massa yang sama. Perbedaan hasil penelitian ini disebabkan salah satunya faktor refrigeran yang digunakan di dalam penelitian berbeda. Tentunya sifat dan karakteristik dari refrigeran tersebut berbeda pula sehingga menyebabkan hasil penelitian yang berbeda.