

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil pengujian

Pengujian dalam penelitian ini menggunakan unit Air Conditioner (AC) tipe split berkapasitas 1/2 PK yang menggunakan refrigeran R32. Parameter yang diamati dan diukur meliputi tekanan (P) dan temperatur (T) pada empat titik utama dalam siklus kompresi uap, serta parameter kelistrikan kompresor yang terdiri atas tegangan (V) dan arus (I).

Proses pengambilan data dilakukan pada kondisi beban ruangan normal tanpa adanya penambahan beban kalor buatan. Pengujian dilaksanakan dalam dua kondisi, yaitu kondisi standar tanpa modifikasi dan kondisi yang telah dimodifikasi dengan menerapkan sistem perendaman pipa *liquid line* pada bak air kondensat. Selain itu, evaluasi kinerja sistem dilakukan dengan memvariasikan pengaturan suhu pada remote AC, yaitu sebesar 18°C, 20°C, dan 22°C.

Tabel 4. 1 Data pengujian Ac kondisi standar (3 kali pengulangan)

No	Temperatur setting (°C)	Tekanan (Bar)				Temperatur (°C)				Tegangan (V)	Arus (A)
		P_1	P_2	P_3	P_4	T_1	T_2	T_3	T_4		
1	18	25,4	25,2	25	8,5	74,8	41,9	41,4	8,9	220	2,24
	20	24,9	24,7	24,5	8,9	72,8	40,9	40,4	10,9	220	2,14
	22	24,4	24,2	24	9,2	69,8	39,9	39,4	12,9	220	2,04

2	18	25,6	25,4	25,2	8,7	75,2	42,1	41,6	9,1	220	2,26
	20	25,1	24,9	24,7	9,1	73,2	41,1	40,6	11,1	220	2,16
	22	24,6	24,4	24,2	9,4	70,2	40,1	39,6	13,1	220	2,06
3	18	25,5	25,3	25,1	8,6	75	42	41,5	9	220	2,25
	20	25	24,8	24,6	9	73	41	40,5	11	220	2,15
	22	24,5	24,3	24,1	9,3	70	40	39,5	13	220	2,05

Tabel 4. 2 Nilai rata-rata pengujian ac kondisi standar

Temperatur setting (°C)	Tekanan (Bar)				Temperatur (°C)				Tegangan (V)	Arus (A)
	P_1	P_2	P_3	P_4	T_1	T_2	T_3	T_4		
18	25,5	25,3	25,1	8,6	75	42	41,5	9	220	2,25
20	25	24,8	24,6	9	73	41	40,5	11	220	2,15
22	24,5	24,3	24,1	9,3	70	40	39,5	13	220	2,05

Tabel 4. 3 Data pengujian Ac kondisi modifikasi (3 kali pengulangan)

No	Temperatur setting (°C)	Tekanan (Bar)				Temperatur (°C)				Tegangan (V)	Arus (A)
		P_1	P_2	P_3	P_4	T_1	T_2	T_3	T_4		
1	18	24,9	24,7	24,5	8,3	71,8	40,9	28,8	7,9	220	2,14
	20	24,5	24,3	24,1	8,7	69,8	39,9	27,8	9,9	220	2,4
	22	23,9	23,7	23,5	9	66,8	38,9	26,8	11,9	220	1,94
2	18	25,1	24,9	24,7	8,5	72	41,0	29,0	8,0	220	2,16
	20	24,7	24,5	24,3	8,9	70,2	40,1	28,2	10,1	220	2,6
	22	24,1	23,9	23,7	9,2	67,2	39,1	27,2	12,1	220	1,96

3	18	25	24,8	24,6	8,4	72	41,0	29,0	8,0	220	2,15
	20	24,6	24,4	24,2	8,8	70	40,0	28,0	10,0	220	2,5
	22	24	23,8	23,6	9,1	67	39,0	27,0	12,0	220	1,95

Tabel 4. 4 Nilai rata-rata pengujian ac kondisi modifikasi

Temperatur setting (°C)	Tekanan (Bar)				Temperatur (°C)				Tegangan (V)	Arus (A)
	P_1	P_2	P_3	P_4	T_1	T_2	T_3	T_4		
18	25	24,8	24,6	8,4	72	41	29	8	220	2,15
20	24,6	24,4	24,2	8,8	70	40	28	10	220	2,05
22	24	23,8	23,6	9,1	67	39	27	12	220	1,95

Keterangan:

P_1, T_1 : Pipa *discharge* (saluran keluaran kompresor menuju kondensor).

P_2, T_2 : Pipa *liquid* (saluran keluaran kondensor yang masuk ke sistem perendaman).

P_3, T_3 : Saluran keluar sistem perendaman yang terhubung ke katup ekspansi.

P_4, T_4 : Pipa *suction* (saluran masuk kompresor dari evaporator).

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan, terlihat bahwa sistem beroperasi secara konsisten dengan perbedaan data yang relatif kecil. Nilai rata-rata hasil pengukuran menunjukkan bahwa temperatur pada titik T_3 , yaitu sebelum refrigeran memasuki katup ekspansi, mengalami penurunan yang cukup signifikan pada kondisi yang telah dimodifikasi untuk seluruh variasi *setting* temperatur. Sebagai contoh, pada pengaturan suhu 20°C, nilai rata-rata temperatur T_3 menurun dari 40,5°C pada kondisi standar menjadi 28°C

setelah diterapkan sistem perendaman pipa *liquid line* menggunakan air kondensat. Penurunan temperatur tersebut mengindikasikan terjadinya perpindahan kalor tambahan dari refrigeran ke air kondensat, sehingga refrigeran mengalami pendinginan (*subcooling*) sebelum memasuki katup ekspansi.

4.2 Pengolahan Data Termodinamika dan Parameter Derajat *Subcooling*

1. Kondisi ac standar (18 °C, 20 °C, 22 °C)

a. Keluaran Kompresor

- Perhitungan entalpi kondisi 18°C

P_2 : 25,5 bar dan T_2 : 75 °C

Dari tabel Superheated

P (bar)	h (kJ/kg)
24,783	614,784
27,948	618,676

dilakukan interpolasi:

$$h_2 = 614,784 + \frac{25,5-24,783}{27,948-24,783} (618,676-614,784)$$

$$h_2 = 615,67 \text{ kJ/kg}$$

- Perhitungan entalpi kondisi 20°C

P_2 : 25 bar dan T_2 : 73 °C

Pada tabel superheated, $T = 73^\circ\text{C}$ tidak tersedia, sehingga

dilakukan dua tahap interpolasi:

Langkah 1. Interpolasi temperatur Pada tekanan 24,783 bar:

Temperatur	h (kJ/kg)
70°C	608,905
75°C	614,784

$$h_{24,783} = 608,905 + \frac{73 - 70}{75 - 70} (614,784 - 608,905)$$

$$= 612,43 \text{ kJ/kg}$$

Pada tekanan 27,948 bar:

Temperatur	h (kJ/kg)
70°C	610,858
75°C	618,676

$$h_{27,948} = 615,55 \text{ kJ/kg}$$

Interpolasi tekanan 25 bar

$$h_1 = 612,43 + \frac{25,0 - 24,783}{27,948 - 24,783} (615,55 - 612,43)$$

$$= 612,64 \text{ kJ/kg}$$

- Perhitungan entalpi kondisi 22°C

P₂ : 24,5 bar dan T₂ : 70°C

P (bar)	h (kJ/kg) 70°C
21,898	606,815
24,783	608,905

Interpolasi:

$$h = 606,815 + \frac{24,5 - 21,898}{24,783 - 21,898} (608,905 - 606,815)$$

$$= 606,815 + 0,902(2,090)$$

$$= 606,815 + 1,885$$

$$h_2 = 608,70 \text{ kJ/kg}$$

b. Keluaran Kondensor

- Perhitungan entalpi kondisi 18°C

P_3 : 25,3 bar dan T_3 : 42 °C

Dari tabel saturated

P (bar)	h (kJ/kg)
24,783	275,611
27,948	286,308

dilakukan interpolasi:

$$h_3 = 275,611 + \frac{25,3-24,783}{27,948-24,783} (286,308-275,611)$$

$$h_3 = 277,36 \text{ kJ/kg}$$

- Perhitungan entalpi kondisi 20°C

P_3 : 24,8 bar dan T_3 : 41 °C

Dari tabel saturated

P (bar)	h (kJ/kg)
24,783	275,611
27,948	286,308

dilakukan interpolasi:

$$h_3 = 275,611 + \frac{24,8-24,783}{27,948-24,783} (286,308-275,611)$$

$$h_3 = 275,67 \text{ kJ/kg}$$

- Perhitungan entalpi kondisi 22°C

P_3 : 24,3 bar dan T_3 : 40 °C

Dari tabel saturated

P (bar)	h (kJ/kg)
24,783	275,611
27,948	286,308

dilakukan interpolasi:

$$h_3 = 265,303 + \frac{24,3 - 21,898}{24,873 - 21,898} (275,611 - 265,303)$$

$$h_2 = 273,89 \text{ kJ/kg}$$

c. Sesudah katup ekspansi

Katup ekspansi adalah proses isentalpik

- Perhitungan entalpi kondisi 18°C

$$h_4 = h_3$$

$$H_4 = 277,36 \text{ kJ/kg}$$

Perhitungan entalpi kondisi 20°C

$$h_4 = h_3$$

$$h_4 = 275,67 \text{ kJ/kg}$$

- Perhitungan entalpi kondisi 22°C

$$h_4 = h_3$$

$$h_4 = 273,89 \text{ kJ/kg}$$

d. Keluaran evaporator

- Perhitungan entalpi kondisi 18°C

$$P_1 : 8,6 \text{ bar dan } T_1 : 9^\circ \text{C}$$

Dari tabel saturated

P (bar)	h (kJ/kg)
8,131	515,299
9,514	516,106

dilakukan interpolasi:

$$h_1 = 515,299 + \frac{8,6 - 8,131}{9,514 - 8,131} (516,106 - 515,299)$$

$$h_4 = 515,57 \text{ kJ/kg}$$

- Perhitungan entalpi kondisi 20°C

$P_1 : 9 \text{ bar}$ dan $T_1 : 11 \text{ }^\circ\text{C}$

Dari tabel saturated

P (bar)	h (kJ/kg)
8,131	515,299
9,514	516,106

dilakukan interpolasi:

$$h_1 = 515,299 + \frac{9-8,131}{9,514-8,131} (516,106-515,299)$$

$$h_1 = 515,81 \text{ kJ/kg}$$

- Perhitungan entalpi kondisi 22°C

$P_1 : 9,3 \text{ bar}$ dan $T_1 : 13 \text{ }^\circ\text{C}$

Dari tabel saturated:

P (bar)	h (kJ/kg)
8,131	515,299
9,514	516,106

dilakukan interpolasi:

$$h_1 = 515,299 + \frac{9,3-8,131}{9,514-8,131} (516,106-515,299)$$

$$h_1 = 515,98 \text{ kJ/kg}$$

2. Kondisi ac modifikasi ($18 \text{ }^\circ\text{C}$, $20 \text{ }^\circ\text{C}$, $22 \text{ }^\circ\text{C}$)

a. Keluaran kompresor

- Perhitungan entalpi kondisi 18°C

$P_2 : 25 \text{ bar}$ dan $T_2 : 72 \text{ }^\circ\text{C}$

Dari tabel Superheated

P (bar)	h (kJ/kg) 70°C	h (kJ/kg) 75°C
24,783	515,299	614,784
27,948	516,106	618,676

dilakukan interpolasi:

Langkah 1. Interpolasi temperatur

Pada 24,783 bar

$$h_{24,783} = 608,905 + \frac{72-70}{75-70} (618,676 - 610,858)$$

$$h_{24,783} = 611,257 \text{ kJ/kg}$$

Pada 27,948 bar

$$h_{27,948} = 610,858 + \frac{72-70}{75-70} (614,784 - 608,905)$$

$$h_{27,948} = 613,985 \text{ kJ/kg}$$

Langkah 2. Interpolasi tekanan

$$h_2 = 611,257 + \frac{25,0-24,783}{27,948-24,783} (613,985 - 611,257)$$

$$h_2 = 611,47 \text{ kJ/kg}$$

- Perhitungan entalpi kondisi 20°C

P_2 : 24,6 bar dan T_2 : 70°C

Dari tabel Superheated pada 70°C

P (bar)	h (kJ/kg)
21,898	606,815
24,783	608,905

dilakukan interpolasi:

$$h_2 = 606,815 + \frac{24,6-21,898}{24,783-21,898} (608,905 - 606,815)$$

$$h_2 = 608,77 \text{ kJ/kg}$$

- Perhitungan entalpi kondisi 22°C

P_2 : 24 bar dan T_2 : 67°C

dilakukan interpolasi:

Langkah 1. Interpolasi temperatur pada 21,898 bar

Temperatur °C	h (kJ/kg)
65	601,775
70	606,815

$$h = 601,775 + \frac{67-65}{70-65} (606,815 - 601,775)$$

$$h = 603,791 \text{ kJ/kg}$$

Pada 24,783 bar

Temperatur °C	h (kJ/kg)
65	603,624
70	608,905

$$h = 603,624 + \frac{67-65}{70-65} (608,905 - 603,624)$$

$$h = 605,736 \text{ kJ/kg}$$

Langkah 2. Interpolasi Tekanan

$$h_2 = 603,624 + \frac{24-21,898}{24,783 - 21,898} (605,736 - 603,624)$$

$$h_2 = 605,21 \text{ kJ/kg}$$

b. Keluaran kodensor

- Perhitungan entalpi kondisi 18°C
P₃ : 24,8 bar dan T₃ : 41 °C

Dari tabel saturated

P (bar)	h (kJ/kg)
24,783	275,611
27,948	286,308

dilakukan interpolasi:

$$h_3 = 275,611 + \frac{24,8-24,78}{27,94-24,783} (286,308 - 275,611)$$

$$h_3 = 275,67 \text{ kJ/kg}$$

- Perhitungan entalpi kondisi 20°C
 $P_3 : 24,4 \text{ bar}$ dan $T_3 : 40 \text{ °C}$

Dari tabel saturated

P (bar)	h (kJ/kg)
21,898	265,303
24,783	275,611

dilakukan interpolasi:

$$h_2 = 265,303 + \frac{24,4-21,898}{24,783-21,898} (275,611 - 265,303)$$

$$h_3 = 274,24 \text{ kJ/kg}$$

- Perhitungan entalpi kondisi 22°C
 $P_3 : 23,8 \text{ bar}$ dan $T_3 : 39 \text{ °C}$

Dari tabel saturated

P (bar)	h (kJ/kg)
21,898	265,303
24,783	275,611

$$h_3 = 265,303 + \frac{23,8-21,898}{24,783-21,898} (275,611 - 265,303)$$

$$h_3 = 272,10 \text{ kJ/kg}$$

c. Sesudah katup ekspansi

Katup ekspansi adalah proses isentalpik

- Perhitungan entalpi kondisi 18°C
 $h_4 = h_3$

$$h_4 = 275,67 \text{ kJ/kg}$$

- Perhitungan entalpi kondisi 20°C
 $h_4 = h_3$

$$h_4 = 274,24 \text{ kJ/kg}$$

- Perhitungan entalpi kondisi 22°C
 $h_4 = h_3$

$$h_4 = 272,10 \text{ kJ/kg}$$

d. Keluaran evaporator

- Perhitungan entalpi kondisi 18°C
 $P_1 : 8,4 \text{ bar}$ dan $T_4 : 8 \text{ °C}$

Dari tabel saturated

P (bar)	h (kJ/kg)
8,131	515,299
9,514	516,106

dilakukan interpolasi:

$$h_1 = 515,299 + \frac{8,4-8,131}{9,514-8,131} (516,106 - 515,299)$$

$$h_1 = 515,46 \text{ kJ/kg}$$

- Perhitungan entalpi kondisi 20°C
 $P_1 : 8,8 \text{ bar}$ dan $T_1 : 10 \text{ °C}$

Dari tabel saturated

P (bar)	h (kJ/kg)
8,131	515,299
9,514	516,106

dilakukan interpolasi:

$$h_1 = 515,299 + \frac{8,8-8,131}{9,514-8,131} (516,106 - 515,299)$$

$$h_1 = 515,69 \text{ kJ/kg}$$

- Perhitungan entalpi kondisi 22°C
 $P_1 : 9,1 \text{ bar}$ dan $T_1 : 12 \text{ °C}$

Dari tabel saturated

P (bar)	h (kJ/kg)
8,131	515,299
9,514	516,106

dilakukan interpolasi:

$$h_1 = 515,299 + \frac{9,1-8,131}{9,514-8,131} (516,106 - 515,299)$$

$$h_1 = 515,87 \text{ kJ/kg}$$

4.3 Perhitungan dan Analisis Parameter Kinerja Sistem

4.3.1 Analisis Kerja Sistem Ac Kondisi Standar

1. Kerja Kompresor

- Temperatur 18°C

$$\begin{aligned} \frac{\dot{W}_c}{\dot{m}} &= h_2 - h_1 \\ &= 615,67 \text{ kJ/kg} - 515,57 \text{ kJ/kg} \\ &= 100,10 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

- Temperatur 20°C

$$\begin{aligned} \frac{\dot{W}_c}{\dot{m}} &= h_2 - h_1 \\ &= 612,64 \text{ kJ/kg} - 515,81 \text{ kJ/kg} \\ &= 96,83 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

- Temperatur 22°C

$$\begin{aligned} \frac{\dot{W}_c}{\dot{m}} &= h_2 - h_1 \\ &= 6080,56 \text{ kJ/kg} - 515,98 \text{ kJ/kg} \\ &= 92,58 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

2. Kerja Kodensor

- Temperatur 18°C

$$\begin{aligned} \frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{m}} &= h_2 - h_3 \\ &= 615,67 \text{ kJ/kg} - 277,36 \text{ kJ/kg} \\ &= 338,31 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

- Temperatur 20°C

$$\begin{aligned} \frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{m}} &= h_2 - h_3 \\ &= 612,64 \text{ kJ/kg} - 275,67 \text{ kJ/kg} \\ &= 336,97 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

- Temperatur 22°C

$$\begin{aligned}\frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{m}} &= h_2 - h_3 \\ 608,56 \text{ kJ/kg} - 273,98 \text{ kJ/kg} \\ &= 334,58 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

3. Kerja Katup Ekspansi

- Temperatur 18°C

$$h_4 = h_3$$

$$h_4 = 277,36 \text{ kJ/kg}$$

- Temperatur 20°C

$$h_4 = h_3$$

$$h_4 = 275,67 \text{ kJ/kg}$$

- Temperatur 22°C

$$h_4 = h_3$$

$$h_4 = 273,98 \text{ kJ/kg}$$

4. Kerja Evaporator

- Temperatur 18°C

$$\begin{aligned}\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}} &= h_1 - h_4 \\ &= 515,57 \text{ kJ/kg} - 277,36 \text{ kJ/kg} \\ &= 238,21 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

- Temperatur 20°C

$$\begin{aligned}\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}} &= h_1 - h_4 \\ &= 515,81 \text{ kJ/kg} - 275,67 \text{ kJ/kg} \\ &= 240, \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

- Temperatur 22°C

$$\begin{aligned}\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}} &= h_1 - h_4 \\ &= 515,98 \text{ kJ/kg} - 273,98 \text{ kJ/kg} \\ &= 242 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

4.3.2 Analisis Kerja Sistem Ac Kondisi Modifikasi

1. Kerja Kompresor

- Temperatur 18°C

$$\begin{aligned}\frac{\dot{W}_c}{\dot{m}} &= h_2 - h_1 \\ &= 611,47 \text{ kJ/kg} - 515,46 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

$$= 96,01 \text{ kJ/kg}$$

- Temperatur 20°C

$$\frac{w_c}{\dot{m}} = h_2 - h_1$$

$$= 608,79 \text{ kJ/kg} - 515,69 \text{ kJ/kg}$$

$$= 93,10 \text{ kJ/kg}$$

- Temperatur 22°C

$$\frac{w_c}{\dot{m}} = h_2 - h_1$$

$$= 605,17 \text{ kJ/kg} - 515,87 \text{ kJ/kg}$$

$$= 92,58 \text{ kJ/kg}$$

2. Kerja Kodensor

- Temperatur 18°C

$$\frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{m}} = h_2 - h_3$$

$$= 611,47 \text{ kJ/kg} - 275,67 \text{ kJ/kg}$$

$$= 335,80 \text{ kJ/kg}$$

- Temperatur 20°C

$$\frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{m}} = h_2 - h_3$$

$$= 608,79 \text{ kJ/kg} - 274,32 \text{ kJ/kg}$$

$$= 336,97 \text{ kJ/kg}$$

- Temperatur 22°C

$$\frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{m}} = h_2 - h_3$$

$$= 605,17 \text{ kJ/kg} - 272,29 \text{ kJ/kg}$$

$$= 332,88 \text{ kJ/kg}$$

3. Kerja Katup Ekspansi

- Temperatur 18°C

$$h_4 = h_3$$

$$h_4 = 275,67 \text{ kJ/kg}$$

- Temperatur 20°C

$$h_4 = h_3$$

$$h_4 = 274,32 \text{ kJ/kg}$$

- Temperatur 22°C

$$h_4 = h_3$$

$$h_4 = 272,29 \text{ kJ/kg}$$

4. Kerja Evaporator

- Temperatur 18°C

$$\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}} = h_1 - h_4$$

$$= 515,46 \text{ kJ/kg} - 275,67 \text{ kJ/kg}$$

$$= 239,79 \text{ kJ/kg}$$

- Temperatur 20°C

$$\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}} = h_1 - h_4$$

$$= 515,69 \text{ kJ/kg} - 274,32 \text{ kJ/kg}$$

$$= 241,37 \text{ kJ/kg}$$

- Temperatur 22°C

$$\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}} = h_1 - h_4$$

$$= 515,98 \text{ kJ/kg} - 273,98 \text{ kJ/kg}$$

$$= 243,58 \text{ kJ/kg}$$

4.4 Analisis Daya Listrik

4.4.1 Daya Listrik Ac Kondisi Standar

- Temperatur 18°C

$$P = V \times I$$

$$P = 220 \text{ Volt} \times 2,25 \text{ Ampere}$$

$$P = 495 \text{ Watt}$$

- Temperatur 20°C

$$P = V \times I$$

$$P = 220 \text{ Volt} \times 2,15 \text{ Ampere}$$

$$P = 473 \text{ Watt}$$

- Temperatur 22°C

$$P = V \times I$$

$$P = 220 \text{ Volt} \times 2,05 \text{ Ampere}$$

$$P = 451 \text{ Watt}$$

4.4.2 Daya Listrik Ac Kondisi Modifikasi

- Temperatur 18°C

$$P = V \times I$$

$$P = 220 \text{ Volt} \times 2,15 \text{ Ampere}$$

$$P = 473 \text{ Watt}$$

- Temperatur 20°C

$$P = V \times I$$

$$P = 220 \text{ Volt} \times 2,05 \text{ Ampere}$$

$$P = 451 \text{ Watt}$$

- Temperatur 22°C

$$P = V \times I$$

$$P = 220 \text{ Volt} \times 1,95 \text{ Ampere}$$

$$P = 429 \text{ Watt}$$

4.5 Analisis Coefficient of Performance (COP)

4.5.1 COP Aktual

1. AC Kondisi Standar

$$COP_{aktual} = \frac{\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}}}{\frac{\dot{W}_c}{\dot{m}}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

- Temperatur 18°C

$$COP_{aktual} = \frac{238,21 \text{ kJ/kg}}{100,10 \text{ kJ/kg}}$$

$$COP_{aktual} = 2,38$$

- Temperatur 20°C

$$COP_{aktual} = \frac{240,14 \text{ kJ/kg}}{96,83 \text{ kJ/kg}}$$

$$COP_{aktual} = 2,48$$

- Temperatur 18°C

$$COP_{aktual} = \frac{242 \text{ kJ/kg}}{92,58 \text{ kJ/kg}}$$

$$COP_{aktual} = 2,61$$

2. AC Kondisi Modifikasi

$$COP_{aktual} = \frac{\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}}}{\frac{\dot{W}_c}{\dot{m}}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

- Temperatur 18°C
 $COP_{aktual} = \frac{239,79 \text{ kJ/kg}}{96,01 \text{ kJ/kg}}$
 $COP_{aktual} = 2,50$
- Temperatur 20°C
 $COP_{aktual} = \frac{241,37 \text{ kJ/kg}}{93,10 \text{ kJ/kg}}$
 $COP_{aktual} = 2,59$
- Temperatur 18°C
 $COP_{aktual} = \frac{243,58 \text{ kJ/kg}}{89,30 \text{ kJ/kg}}$
 $COP_{aktual} = 2,73$

4.5.2 COP Ideal

1. AC Kondisi Standar

$$COP_{ideal} = \frac{T_{eva}}{T_{kond} - T_{eva}}$$

- Temperatur 18°C

Konversi Temperature Celcius ke Kelvin:

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15$$

$$T_{eva} = 2 + 273,15 = 275,15 \text{ K}$$

$$T_{kond} = 41 + 273,15 = 314,15 \text{ K}$$

$$COP_{ideal} = \frac{275,15 \text{ K}}{314,15 \text{ K} - 275,15} = 7,06$$

- Temperatur 20°C

Konversi Temperature Celcius ke Kelvin:

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15$$

$$T_{eva} = 4 + 273,15 = 277,15 \text{ K}$$

$$T_{kond} = 40 + 273,15 = 313,15 \text{ K}$$

$$COP_{ideal} = \frac{277,15 \text{ K}}{313,15 \text{ K} - 277,15} = 7,70$$

- Temperatur 22°C

Konversi Temperature Celcius ke Kelvin:

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15$$

$$T_{\text{eva}} = 6 + 273,15 = 279,15 \text{ K}$$

$$T_{\text{kond}} = 39 + 273,15 = 312,15 \text{ K}$$

$$COP_{\text{ideal}} = \frac{279,15 \text{ K}}{312,15 \text{ K} - 279,15} = 8,46$$

2. AC Kondisi Modifikasi

$$COP_{\text{ideal}} = \frac{T_{\text{eva}}}{T_{\text{kond}} - T_{\text{eva}}}$$

- Temperatur 18°C

Konversi Temperature Celcius ke Kelvin:

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15$$

$$T_{\text{eva}} = 2 + 273,15 = 275,15 \text{ K}$$

$$T_{\text{kond}} = 41 + 273,15 = 314,15 \text{ K}$$

$$COP_{\text{ideal}} = \frac{275,15 \text{ K}}{314,15 \text{ K} - 275,15} = 7,06$$

- Temperatur 20°C

Konversi Temperature Celcius ke Kelvin:

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15$$

$$T_{\text{eva}} = 4 + 273,15 = 277,15 \text{ K}$$

$$T_{\text{kond}} = 40 + 273,15 = 313,15 \text{ K}$$

$$COP_{\text{ideal}} = \frac{277,15 \text{ K}}{313,15 \text{ K} - 277,15} = 7,70$$

- Temperatur 22°C

Konversi Temperature Celcius ke Kelvin:

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15$$

$$T_{\text{eva}} = 6 + 273,15 = 279,15 \text{ K}$$

$$T_{\text{kond}} = 39 + 273,15 = 312,15 \text{ K}$$

$$COP_{\text{ideal}} = \frac{279,15 \text{ K}}{312,15 \text{ K} - 279,15} = 8,46$$

4.6 Derajat Subcooling

4.6.1 AC Kondisi Standar

- Temperatur 18°C
 $\Delta T_{sub} = T_{sat,kond} - T_3$
 $\Delta T_{sub} = 41 - 41,5$
 $\Delta T_{sub} = -0,5^\circ\text{C}$
- Temperatur 20°C
 $\Delta T_{sub} = T_{sat,kond} - T_3$
 $\Delta T_{sub} = 40 - 40,5$
 $\Delta T_{sub} = -0,5^\circ\text{C}$
- Temperatur 22°C
 $\Delta T_{sub} = T_{sat,kond} - T_3$
 $\Delta T_{sub} = 39 - 39,5$
 $\Delta T_{sub} = -0,5^\circ\text{C}$

4.6.2 AC Kondisi Modifikasi

- Temperatur 18°C
 $\Delta T_{sub} = T_{sat,kond} - T_3$
 $\Delta T_{sub} = 40 - 29$
 $\Delta T_{sub} = 11^\circ\text{C}$
- Temperatur 20°C
 $\Delta T_{sub} = T_{sat,kond} - T_3$
 $\Delta T_{sub} = 39 - 28$
 $\Delta T_{sub} = 11^\circ\text{C}$
- Temperatur 22°C
 $\Delta T_{sub} = T_{sat,kond} - T_3$
 $\Delta T_{sub} = 38 - 27$
 $\Delta T_{sub} = 11^\circ\text{C}$

4.7 Pembahasan Hasil

4.7.1 Pengaruh Penerapan Sistem Perendaman Pipa (Immersion) terhadap Derajat Subcooling

Berdasarkan hasil pengujian, penerapan sistem perendaman pipa (*immersion*) menggunakan air kondensat pada saluran keluar

kondensor (*liquid line*) memberikan pengaruh terhadap derajat *subcooling* refrigeran. Air kondensat yang memiliki temperatur lebih rendah dibandingkan dengan refrigeran cair mampu menyerap kalor dari refrigeran, sehingga temperatur refrigeran sebelum memasuki katup ekspansi menjadi lebih rendah. Semakin rendah temperatur refrigeran cair setelah kondensor, semakin besar derajat *subcooling* yang dihasilkan.

Peningkatan *subcooling* pada penelitian ini ditunjukkan oleh penurunan nilai entalpi refrigeran cair (h_3). Pada kondisi standar, nilai (h_3) berturut-turut sebesar 277,36 kJ/kg, 275,67 kJ/kg, dan 273,98 kJ/kg, sedangkan pada kondisi modifikasi menurun menjadi 275,67 kJ/kg, 274,32 kJ/kg, dan 272,29 kJ/kg untuk setting temperatur 18°C, 20°C, dan 22°C. Penurunan entalpi tersebut menunjukkan bahwa refrigeran mengalami pendinginan tambahan sebelum memasuki katup ekspansi.

Peningkatan *subcooling* juga berdampak pada meningkatnya kemampuan evaporator dalam menyerap kalor. Hal ini ditunjukkan oleh efek refrigerasi yang meningkat dari 238,21–242,00 kJ/kg pada kondisi standar menjadi 239,79–243,58 kJ/kg pada kondisi modifikasi. Di sisi lain, kerja kompresor menurun dari 100,10–92,58 kJ/kg menjadi 96,01–89,30 kJ/kg, sehingga energi yang dibutuhkan kompresor menjadi lebih kecil.

Pengaruh tersebut juga terlihat pada konsumsi daya listrik. Daya listrik kompresor pada kondisi standar sebesar 495 W, 473 W, dan 451 W, sedangkan pada kondisi modifikasi turun menjadi 473 W, 451 W, dan 429 W. Penurunan daya listrik ini menunjukkan bahwa sistem bekerja lebih efisien setelah diterapkan metode *subcooling* menggunakan air kondensat.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa penerapan sistem perendaman pipa (*immersion*) menggunakan air kondensat berhasil meningkatkan derajat *subcooling* refrigeran. Peningkatan ini ditandai dengan penurunan entalpi refrigeran setelah kondensor, peningkatan efek refrigerasi, penurunan kerja kompresor, serta penurunan konsumsi daya listrik. Dengan demikian, pemanfaatan air kondensat sebagai media pendingin tambahan terbukti mampu meningkatkan performa dan efisiensi sistem AC Split.

4.7.2 Peningkatan Nilai Coefficient of Performance (COP) AC Split

Salah satu parameter untuk menilai kinerja sistem refrigerasi adalah Coefficient of Performance (COP), yaitu perbandingan antara efek refrigerasi dan kerja kompresor. Semakin tinggi nilai COP, semakin efisien kinerja sistem pendingin. Pada penelitian ini, COP aktual dihitung menggunakan persamaan:

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa COP pada kondisi standar berturut-turut sebesar 2,38, 2,59, dan 2,61 untuk setting temperatur 18°C, 20°C, dan 22°C. Setelah diterapkan metode *subcooling* menggunakan air kondensat, nilai COP meningkat menjadi 2,50, 2,59, dan 2,73.

Peningkatan COP terbesar terjadi pada setting 18°C, yaitu dari 2,38 menjadi 2,50 atau meningkat sebesar 5,04%. Pada setting 20°C tidak terjadi perubahan yang signifikan, sedangkan pada setting 22°C COP meningkat dari 2,61 menjadi 2,73 atau sebesar 4,60%. Secara keseluruhan, rata-rata COP meningkat dari 2,53 pada kondisi standar menjadi 2,61 pada kondisi modifikasi, atau mengalami peningkatan sebesar 3,16%.

Peningkatan COP terjadi karena metode *subcooling* mampu meningkatkan efek refrigerasi dan menurunkan kerja kompresor. Hal ini terlihat dari efek refrigerasi yang meningkat dari 238,21–242,00 kJ/kg menjadi 239,79–243,58 kJ/kg, sedangkan kerja kompresor menurun dari 100,10–92,58 kJ/kg menjadi 96,01–89,30 kJ/kg. Selain itu, konsumsi daya listrik kompresor juga turun sebesar 22 W pada setiap setting temperatur dibandingkan dengan kondisi standar.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa penerapan metode *subcooling* menggunakan air kondensat mampu meningkatkan efisiensi kerja AC Split. Peningkatan rata-rata COP sebesar 3,16% menunjukkan bahwa pemanfaatan air kondensat

sebagai media pendingin tambahan efektif dalam meningkatkan performa sistem sekaligus mengurangi konsumsi energi listrik.