

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Data

4.1.1 Data Hasil Penelitian

Pada saat pengambilan data, dilakukan pada tekanan 97,325 kPa dan kelembaban 92 % dengan suhu ruangan 31 °C. Data diambil setiap sepuluh menit selama tiga puluh menit setelah air kondensat menetes, dengan variasi penggunaan *thermoelectric cooler* dan tidak menggunakan *thermoelectric cooler*.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Siklus Teoritis

Perlakuan	Waktu [menit]	P1 [kPa]	T1 [°C]	P3 [kPa]	T3 [°C]
Tidak menggunakan <i>Thermoelectric</i>	10	425	5.5	1400	36
	20	425	5	1400	36
	30	425	4.5	1400	36
	40	425	5.5	1400	36
	50	425	5.5	1400	36
Menggunakan <i>Thermoelectric</i>	10	425	4	1400	36
	20	425	3	1400	36
	30	425	2.5	1400	36
	40	425	2.5	1400	36
	50	425	3	1400	36

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Temperatur Siklus Aktual 1

Perlakuan	Waktu [menit]	T _{WA1} [°C]	T _{DA1} [°C]	T _{WA2} [°C]	T _{DA2} [°C]	T _{WB1} [°C]	T _{DB1} [°C]	T _{WB2} [°C]	T _{DB2} [°C]	T _{WC} [°C]	T _{DC} [°C]
Tidak menggunakan <i>Thermoelectric</i>	10	28	31	29	31	28	31	29	31	7	10
	20	27	31	27	31	27	31	28	31	6,5	9,5
	30	27	31	28	31	27	31	28	31	6,5	9,5
	40	27	31	29	31	27	31	28	31	6	9
	50	28	31	29	31	28	31	28	31	6	9
Menggunakan <i>Thermoelectric</i>	10	28	31	29	31	24	27	25	27	5,5	9
	20	29	32	30	32	24	27	25	27	5	8,5
	30	29	32	30	33	24	27,5	25	27	5	8,5
	40	29	32	30	33	24	27,5	25	27	4,5	8
	50	29	32	30	33	24	27,5	25	27	4,5	8

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Siklus Aktual 2

Perlakuan	Waktu [menit]	v [m/s]	Arus [A]	Tegangan [Volt]	Q [ml/10menit]	TCon [°C]
Tidak menggunakan <i>Thermoelectric</i>	10	3,4	5,5	220	60	25
	20	3,5	5,5	220	60	25
	30	3,5	5,5	220	70	25
	40	3,5	5,7	220	80	25
	50	3,5	6	220	90	25
Menggunakan <i>Thermoelectric</i>	10	3,4	5,5	220	90	25
	20	3,5	5,5	220	90	25
	30	3,5	5,5	220	90	25
	40	3,6	5,7	220	100	25
	50	3,6	5,7	220	110	25

Keterangan:

Menit = waktu yang diperlukan saat pengambilan data

T₁ = temperatur refrigeran setelah evaporator [°C]

T₂ = temperatur refrigeran setelah kompresor [°C]

T₃ = temperatur refrigeran setelah kondensor [°C]

T_4	= temperatur refrigeran setelah katup ekspansi	[°C]
P_1	= tekanan refrigeran setelah evaporator	[kPa]
P_3	= tekanan refrigeran setelah kondensor	[kPa]
T_{WA1}, T_{WA2}	= temperatur udara basah masuk <i>thermoelectric</i>	[°C]
T_{DA1}, T_{DA2}	= temperatur udara kering masuk <i>thermoelectric</i>	[°C]
T_{WB1}, T_{WB2}	= temperatur udara basah masuk evaporator	[°C]
T_{DB1}, T_{DB2}	= temperatur udara kering masuk evaporator	[°C]
T_{WC}	= temperatur udara basah keluar evaporator	[°C]
T_{DC}	= temperatur udara kering keluar evaporator	[°C]
T_{con}	= temperature air kondensasi	[°C]
Q	= debit air kondensasi	[ml/10 menit]
v	= kecepatan udara	[m.s ⁻¹]
Arus	= arus listrik yang digunakan kompresor	[A]
Tegangan	= tegangan listrik yang digunakan kompresor	[Volt]

4.1.2 Perhitungan Data

Perhitungan data dilakukan untuk mendapatkan nilai yang diperlukan dalam menentukan unjuk kerja dari mesin pendingin. Berikut adalah contoh perhitungan dari hasil pengujian dengan kecepatan *blower* dan tekanan refrigeran yang dijaga konstan tanpa penggunaan *thermoelectric cooler* pada menit ke sepuluh.

- Tekanan atmosfer lingkungan pada saat pengujian, $p_0 = 730$ mmHg
- Temperatur udara kering sebelum evaporator, $T_{DB} = 31$ °C
- Temperatur udara basah sebelum evaporator, $T_{WB} = 28,5$ °C
- Temperatur udara kering keluar evaporator, $T_{DC} = 10$ °C
- Temperatur udara kering keluar preheater, $T_{WC} = 7$ °C
- Temperatur refrigeran keluar evaporator, $T_1 = 5,5$ °C
- Temperatur refrigeran keluar kondensor setelah *subcooling*, $T_3 = 36$ °C
- Tekanan refrigeran keluar evaporator, $p_1 = 425$ kPa
- Tekanan refrigeran keluar kondensor, $p_2 = 1400$ kPa
- Laju masa alir refrigeran, $\dot{m} = 0,01662$ [kg.s⁻¹]
- Kapasitas pendinginan, $Q_{ref} = 1,4499$ [kJ.kg⁻¹]
- Entalpi refrigeran pada penampang *duct* B, $h_B = 94,7594$ [kJ.kg⁻¹]

- m. Laju masa alir refrigeran penampang *duct* B, $\dot{m}_b = 0,0204$ [kg.s⁻¹]
- n. Entalpi refrigeran pada penampang *duct* C, $h_c = 23,2891$ [kJ.kg⁻¹]
- o. Laju masa alir refrigeran penampang *duct* C, $\dot{m}_c = 0,0203$ [kg.s⁻¹]
- p. Entalpi refrigeran pada air kondensat, $h_{con} = 104,83$ [kJ.kg⁻¹]
- q. Laju masa alir refrigeran pada air kondensat, $\dot{m}_{con} = 0,0001$ [kg.s⁻¹]

Proses Perhitungan:

1. Menentukan tekanan absolut refrigeran

$$p_0 = \frac{730}{760} \cdot 101,325$$

$$p_0 = 97,325$$

$$\begin{aligned} p_{1,abs} &= p_1 + p_0 \\ &= 425 + 97,325 \\ &= 522,325 \text{ [kN. m}^{-2}\text{]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_{2,abs} &= p_3 + p_0 \\ &= 1400 + 97,325 \\ &= 1497,325 \text{ [kN. m}^{-2}\text{]} \end{aligned}$$

Keterangan:

p_0	= Tekanan atmosfer	[kN. m ⁻²]
p_1	= Tekanan refrigeran keluar evaporator	[kN. m ⁻²]
p_2	= Tekanan refrigeran keluar kompresor	[kN. m ⁻²]
$p_{1,abs}$	= Tekanan absolut refrigeran keluar evaporator	[kN. m ⁻²]
$p_{3,abs}$	= Tekanan absolut refrigeran keluar kompresor	[kN. m ⁻²]

2. Menentukan nilai entalpi udara pada setiap penampang *duct* sebelum evaporator dan sesudah evaporator.

Dari diagram psikrometri, setiap data temperatur bola kering (T_D) dan temperatur bola basah (T_W) pada setiap penampang *duct* kita dapat mengetahui nilai entalpi udara, yaitu:

$$T_{DB} = 31^\circ \text{ C}; T_{WB} = 28,5^\circ \text{ C}; h_B = 94,75 \text{ [kJ.kg}^{-1}\text{]}$$

$$T_{DC} = 10^\circ \text{ C}; T_{WC} = 7^\circ \text{ C}; h_C = 23,28 \text{ [kJ.kg}^{-1}\text{]}$$

3. Menentukan entalpi refrigeran teoritis.

Dari diagram *mollier* p-h MC-22 kita dapat menentukan nilai entalpi refrigeran dari tekanan refrigeran keluar evaporator dan tekanan refrigeran keluar kondensor sehingga didapat:

$$h_1 = \text{entalpi refrigeran keluar evaporator} = 580 \text{ [kJ.kg}^{-1}\text{]}$$

$$h_2 = \text{entalpi refrigeran keluar kompresor} = 625 \text{ [kJ.kg}^{-1}\text{]}$$

$$h_3 = \text{entalpi refrigeran masuk evaporator} = 290 \text{ [kJ.kg}^{-1}\text{]}$$

4. Perhitungan laju massa alir refrigeran

$$\dot{m}_{\text{ref}} = \frac{P_{\text{com}}}{w}$$

Keterangan:

P_{com} = Daya kompresor [kW]

w = Kerja kompresi actual [kJ.kg⁻¹]

$$\dot{m}_{\text{ref}} = \frac{1.21}{72.7856}$$

$$\dot{m}_{\text{ref}} = 0.0166 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]}$$

5. Perhitungan kerja kompresi

Kerja kompresi adalah banyaknya refrigeran yang dikompresikan kompresor setiap satuan massa refrigeran [kJ.kg⁻¹].

Kerja kompresi ideal didapatkan dengan rumus:

$$w = h_2 - h_1$$

Dimana:

h_1 = entalpi refrigeran keluar evaporator

h_2 = entalpi refrigeran keluar kompresor

Sehingga:

$$w = 625 \text{ [kJ.kg}^{-1}\text{]} - 580 \text{ [kJ.kg}^{-1}\text{]}$$

$$w = 45 \text{ [kJ.kg}^{-1}\text{]}$$

Sedangkan kerja kompresi actual didapatkan dengan rumus:

$$w = \frac{k}{k-1} \cdot R \cdot T_1 \cdot [(P_2/P_1)^{k-1/k} - 1] \text{ [kJ.s}^{-1}\text{]}$$

Keterangan:

K = konstanta adiabatik = 1,33

T_1 = temperatur refrigeran keluar evaporator [°C]

P_2 = tekanan refrigeran keluar kompresor [kPa]

P_1 = tekanan refrigeran masuk kompresor [kPa]

R = konstanta gas universal [kJ.kmol⁻¹.K]

Berat molekul refrigerant MC-22 = 44,11

Konstanta gas refrigerant, $R = 0,1884$ [kJ.kg⁻¹.K]

$$w = \frac{1,33}{1,33-1} \cdot R \cdot T_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{1,33-1/1,33} - 1 \right]$$

$$w = \frac{1,33}{1,33-1} \cdot 0,1884 \cdot 278,5 \cdot \left[\left(\frac{1400}{425} \right)^{1,33-1/1,33} - 1 \right]$$

$$w = 72,78 \text{ [kJ.kg}^{-1}\text{]}$$

6. Perhitungan kapasitas pendinginan

$$Q_{\text{ref}} = (h_B \cdot \dot{m}_B) - (h_C \cdot \dot{m}_C) - (h_{\text{con}} \cdot \dot{m}_{\text{con}})$$

Keterangan:

h_B = Entalpi refrigeran pada penampang *duct* B

\dot{m}_B = Laju masa alir refrigeran penampang *duct* B

h_C = Entalpi refrigeran pada penampang *duct* C

\dot{m}_C = Laju masa alir refrigeran penampang *duct* C

h_{con} = Entalpi refrigeran pada air kondensat

\dot{m}_{con} = Laju masa alir refrigeran pada air kondensat

Sehingga:

$$Q_{\text{ref}} = (94,7594 \cdot 0,0204) - (23,2891 \cdot 0,0203) - (104,83 \cdot 0,0001)$$

$$Q_{\text{ref}} = 1,4499 \text{ [kJ.kg}^{-1}\text{]}$$

7. Perhitungan efek refrigerasi

Efek refrigerasi adalah banyaknya kalor yang diserap oleh evaporator setiap satuan massa refrigeran untuk menghasilkan efek pendinginan.

Efek refrigerasi ideal didapatkan dengan rumus:

$$q_e = h_1 - h_4$$

Keterangan:

h_1 = entalpi refrigeran keluar evaporator [kJ.kg⁻¹]

h_4 = entalpi refrigeran masuk evaporator [kJ.kg⁻¹]

Sehingga:

$$q_e = 580 \text{ [kJ.kg}^{-1}\text{]} - 290 \text{ [kJ.kg}^{-1}\text{]}$$

$$q_e = 290 \text{ [kJ.kg}^{-1}\text{]}$$

Sedangkan efek refrigerasi aktual didapatkan dengan rumus:

$$q_e = \frac{Q_{\text{ref}}}{\dot{m}_{\text{ref}}}$$

$$= \frac{1.4499}{0.0166}$$

$$q = 87.2170 \text{ [kJ.kg}^{-1}\text{]}$$

8. Perhitungan COP

COP ideal didapatkan dengan rumus:

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

Keterangan:

h_1 = entalpi refrigeran keluar evaporator

h_2 = entalpi refrigeran keluar kompresor

h_4 = entalpi refrigeran masuk evaporator

Sehingga:

$$COP = \frac{580 - 290}{625 - 580}$$

$$COP = 6,4444$$

Sedangkan COP actual didapatkan dengan rumus:

$$COP = \frac{q_e \text{ aktual}}{W_{\text{aktual}}}$$

$$COP = \frac{87.2170}{72.78563073}$$

$$COP = 1.1982$$

4.1.3 Data Hasil Perhitungan

Data hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel data hasil perhitungan dilampiran 1.

4.1.4 Analisis Statistik

Berdasarkan data data yang diperoleh dari hasil pengujian dilakukan analisis varian dua arah untuk mengetahui pengaruh variasi waktu (factor α) dan variasi perlakuan pemasangan TEC (factor β) serta pengaruh interaksi keduanya (factor $\alpha\beta$) terhadap unjuk kerja mesin pendingin.

Adapun hipotesis dari penulisan ini adalah sebagai berikut :

- $H_0^1: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i$ (tidak ada pengaruh waktu percobaan terhadap unjuk kerja mesin pendingin)
 H_1^1 : paling sedikit satu $\alpha_1 \neq 0$ (ada pengaruh waktu percobaan terhadap unjuk kerja mesin pendingin)
- $H_0^2: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j$ (tidak ada pengaruh pemasangan TEC terhadap unjuk kerja mesin pendingin)
 H_1^2 : paling sedikit satu $\beta_j \neq 0$ (ada pengaruh pemasangan TEC terhadap unjuk kerja mesin pendingin)

Tabel 4.4 Data Keragaman Kelembaban

Waktu [menit]	Kelembaban Relatif		Jumlah Baris
	Tanpa TEC	Dengan TEC	
10	0.6626	0.5956	1.2581
20	0.6567	0.5883	1.2449
30	0.6567	0.5883	1.2449
40	0.6506	0.5883	1.2388
50	0.6506	0.5883	1.2388
Jumlah Kolom	3.2771	2.9485	6.2257

Dari tabel 4.4 dapat dihitung untuk analisis varian kelembaban sebagai berikut :

- Penghitungan jumlah kuadrat antar-kolom (JK_k) :

$$JK_k = \sum_{i=0}^k \frac{T_k^2}{n_k} - \frac{T^2}{N}$$

$$JK_k = \left(\frac{3,2771^2}{5} + \frac{2,9485^2}{5} \right) - \left(\frac{6,2257^2}{10} \right)$$

$$JK_k = 0,010791869$$

- Penghitungan jumlah kuadrat antar-baris (*between rows sum of squares*) (JK_b)

$$JK_b = \sum_{j=0}^b \frac{T_b^2}{n_b} - \frac{T^2}{N}$$

$$JK_b = \left(\frac{1,2581^2}{2} + \frac{1,2449^2}{2} + \frac{1,2449^2}{2} + \frac{1,2388^2}{2} + \frac{1,2388^2}{2} \right) - \left(\frac{6,2257^2}{10} \right)$$

$$JK_b = 0,000123644$$

- Penghitungan jumlah kuadrat keseluruhan (JK_t)

$$JK_t = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^b X_{bk}^2 - \frac{T^2}{N}$$

$$JK_t = (0,6626^2 + 0,5956^2 + 0,06567^2 + 0,5883^2 + 0,6567^2 + 0,5883^2 + 0,6506^2 + 0,5883^2 + 0,6506^2 + 0,5883^2) - \left(\frac{6,2257^2}{10} \right)$$

$$JK_t = 0,01167013$$

- Penghitungan jumlah kuadrat kesalahan (galat atau *error*)

$$JK_e = JK_t - (JK_k + JK_b)$$

$$JK_e = 0,01167013 - (0,010791869 + 0,000123644) = 0,00075462$$

- Penghitungan derajat bebas (*db*)

- a. Derajat bebas kolom (db_k)

$$db_k = k - 1$$

di mana: k adalah jumlah kolom.

$$\text{Jadi, } db_k = 2 - 1 = 1$$

- b. Derajat bebas baris (db_b)

$$db_b = b - 1$$

di mana: b adalah jumlah baris.

$$\text{Jadi, } db_b = 5 - 1 = 4$$

- c. Derajat bebas galat/error (db_e)

$$Db_e = (b - 1)(k - 1)$$

$$\text{Jadi, } db_e = 4 - 1 = 4$$

- d. Derajat bebas keseluruhan (db_t)

$$Db_t = N - 1$$

di mana: N adalah jumlah semua data

$$\text{Jadi, } db_t = 10 - 1 = 9$$

- Penghitungan kuadrat rata-rata (*mean of squares*)

- a. Kuadrat rata-rata kolom (KR_k)

$$KR_k = \frac{JK_k}{db_k}$$

$$KR_k = \frac{0,010791869}{1}$$

$$KR_k = 0,010791869$$

- b. Kuadrat rata-rata baris (KR_b)

$$KR_b = \frac{JK_b}{db_b}$$

$$KR_b = \frac{0,000123644}{4}$$

$$KR_b = 0.0000309$$

- c. Kuadrat rata-rata galat(error) (KR_e)

$$KR_e = \frac{JK_e}{db_e}$$

$$KR_e = \frac{0,0000195}{4}$$

$$KR_e = 0.0001887$$

Penghitungan Rasio F atau F-hitung

- a. F-hitung kolom ($F-h_k$)

$$F - hk = \frac{KR_k}{KR_e}$$

$$F - hk = \frac{0,010791869}{0.0001887}$$

$$= 57.20447859$$

- b. F-hitung baris ($F-h_b$)

$$F - hb = \frac{KR_b}{KR_e}$$

$$F - hb = \frac{0.0000309}{0.0001887}$$

$$= 0.163849999$$

- Penentuan Ratio F kritik atau F-tabel

- a. F- tabel untuk kolom ($F-t_k$)

$F-t_k$ pada $db_k = 2$ dan $db_e = 4$ dan pada tingkat signifikansi (α) 0,05 adalah (dari tabel distribusi F) = 6.94

- b. F- tabel untuk kolom ($F-t_b$)

$F-t_b$ pada $db_b = 4$ dan $db_e = 4$ dan pada tingkat signifikansi (α) 0,05 adalah (dari tabel distribusi F) = 6.39

4.1.4.1 Analisis Varian untuk Kelembaban

Dari perhitungan statistik didapatkan tabel analisis varian sebagai berikut:

Tabel 4.5 Analisis Varian Kelembaban

Sumber Varian	JK _k	db	KR _k	F _{hitung}	F _{α,5%}
Waktu Percobaan	0.010791869	1	0.010791869	57.20447859	6.94
Pemasangan TEC	0.000123644	4	0.0000309	16.3849999	6.39
error	0.00075462	4	0.0001887		
Total	0.01167013	9			

Dari tabel anova diatas terlihat bahwa masing masing nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hal ini berarti bahwa H_0^1 dan H_0^2 ditolak dan H_1^1 dan H_1^2 diterima. Artinya bahwa waktu lama percobaan dan variasi pemasangan TEC mempunyai pengaruh yang nyata pada kelembaban dengan tingkat keyakinan 95%.

4.1.4.2 Analisis Varian untuk Temperatur

Dari perhitungan statistik didapatkan tabel analisis varian sebagai berikut :

Tabel 4.6 Analisis Varian temperatur

Sumber Varian	JK _k	db	KR _k	F _{hitung}	F _{α,5%}
Waktu Percobaan	1.6	1	1.6	42.66666667	6.94
Pemasangan TEC	0.75	4	0.1875000	15.6666667	6.39
error	0.15	4	0.0375		
Total	2.5	9			

Dari tabel anova diatas terlihat bahwa masing masing nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hal ini berarti bahwa H_0^1 dan H_0^2 ditolak dan H_1^1 dan H_1^2 diterima. Artinya bahwa waktu lama percobaan dan variasi pemasangan TEC mempunyai pengaruh yang nyata pada temperatur dengan tingkat keyakinan 95%.

4.1.4.3 Analisis Varian untuk COP Aktual

Dari perhitungan statistik didapatkan tabel analisis varian sebagai berikut :

Tabel 4.7 Analisis Varian COP Aktual

Sumber Varian	JK _k	db	KR _k	F _{hitung}	F _{α,5%}
Waktu Percobaan	0.080891867	1	0.080891867	80.18823398	6.94
Pemasangan TEC	0.000536035	4	0.0001340	13.2843102	6.39
error	0.00403510	4	0.0010088		
Total	0.08546300	9			

Dari tabel anova diatas terlihat bahwa masing masing nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hal ini berarti bahwa H_0^1 dan H_0^2 ditolak dan H_1^1 dan H_1^2 diterima. Artinya bahwa waktu lama percobaan dan variasi pemasangan TEC mempunyai pengaruh yang nyata pada COP Aktual dengan tingkat keyakinan 95%.

4.1.4.4 Analisis Varian untuk COP Ideal

Dari perhitungan statistik didapatkan tabel analisis varian sebagai berikut :

Tabel 4.8 Analisis Varian COP Ideal

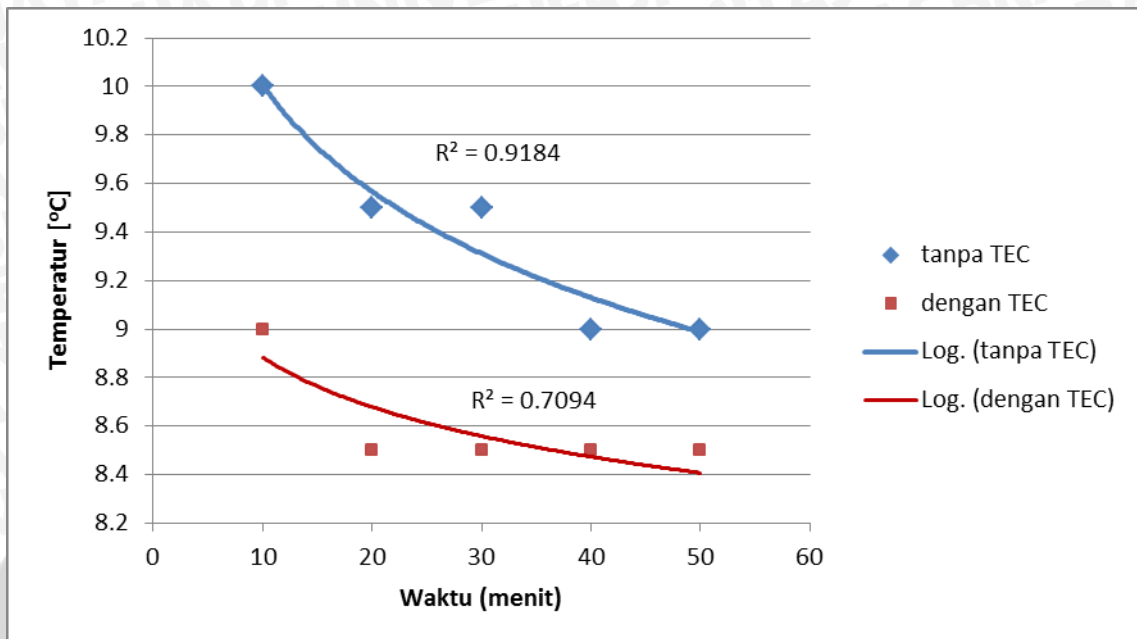
Sumber Varian	JK _k	db	KR _k	F _{hitung}	F _{α,5%}
Waktu Percobaan	0.016	1	0.016	80.99999871	6.94
Pemasangan TEC	0.00217284	4	0.0005432	27.50000003	6.39
error	0.00079012	4	0.0001975		
Total	0.01896296	9			

Dari tabel anova diatas terlihat bahwa masing masing nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hal ini berarti bahwa H_0^1 dan H_0^2 ditolak dan H_1^1 dan H_1^2 diterima. Artinya bahwa waktu lama percobaan dan variasi pemasangan TEC mempunyai pengaruh yang nyata pada COP Ideal dengan tingkat keyakinan 95%.

4.2 Hasil dan Pembahasan

4.2.1 Pengaruh Waktu Terhadap Temperatur Dengan Variasi Penggunaan

Thermoelectric Cooler



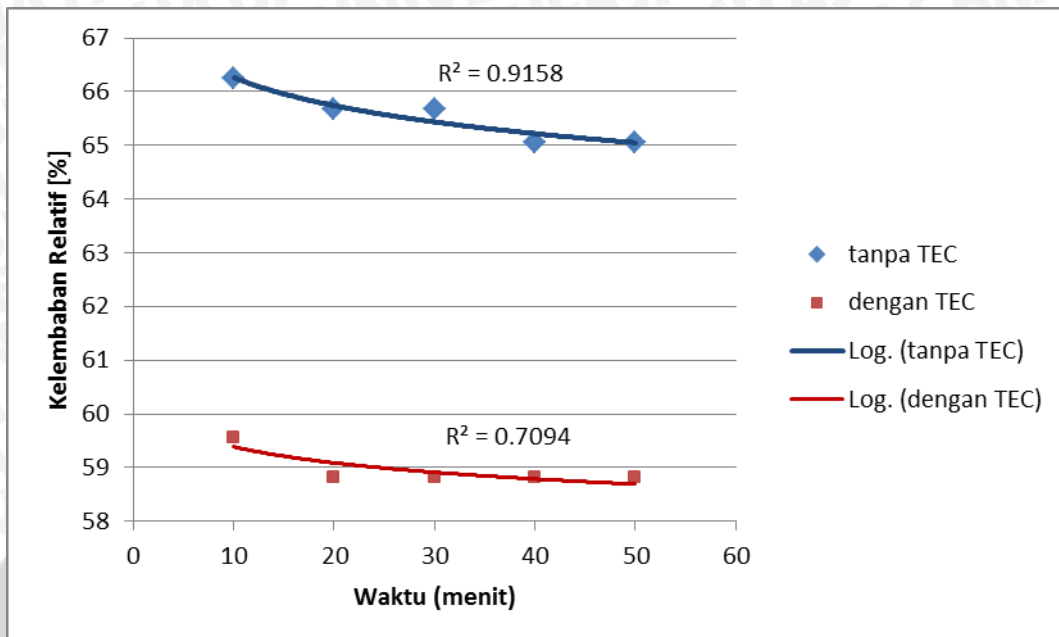
Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Waktu Terhadap Temperatur Dengan Variasi Penggunaan *Thermoelectric Cooler*

Pada gambar 4.1 menunjukkan terdapat pengaruh waktu terhadap temperatur keluaran evaporator. Perubahan yang terjadi saat tidak menggunakan *thermoelectric cooler* cenderung mengalami penurunan suhu dari 10 °C pada menit sepuluh ke suhu 9,5 °C menit ke dua puluh dan konstan sampai menit ke tiga puluh lalu turun lagi ke suhu 9 °C pada menit empat puluh dan berada pada suhu tersebut sampai menit ke lima puluh. Penurunan grafik disebabkan karena suhu keluaran evaporator semakin rendah dalam lima puluh menit pengambilan data.

Sementara pada grafik yang menggunakan *thermoelectric cooler* grafik juga cenderung mengalami penurunan dimana pada menit ke sepuluh bernilai 9 °C menurun ke temperature 8,5 °C pada menit dua puluh, lalu konstan sampai menit ke lima puluh

Pada grafik tersebut juga menunjukkan bahwa penggunaan *thermoelectric cooler* mampu menurunkan suhu keluaran evaporator sehingga suhu keluaran evaporator menjadi lebih rendah dibandingkan dengan tidak menggunakan *thermoelectric cooler*. Sehingga penggunaan *thermoelectric cooler* menjadi alternatif cara menurunkan temperatur keluaran evaporator dan juga dapat mempercepat proses penurunan suhu.

4.2.2 Pengaruh Waktu Terhadap Kelembaban Relatif Dengan Variasi Penggunaan *Thermoelectric Cooler*



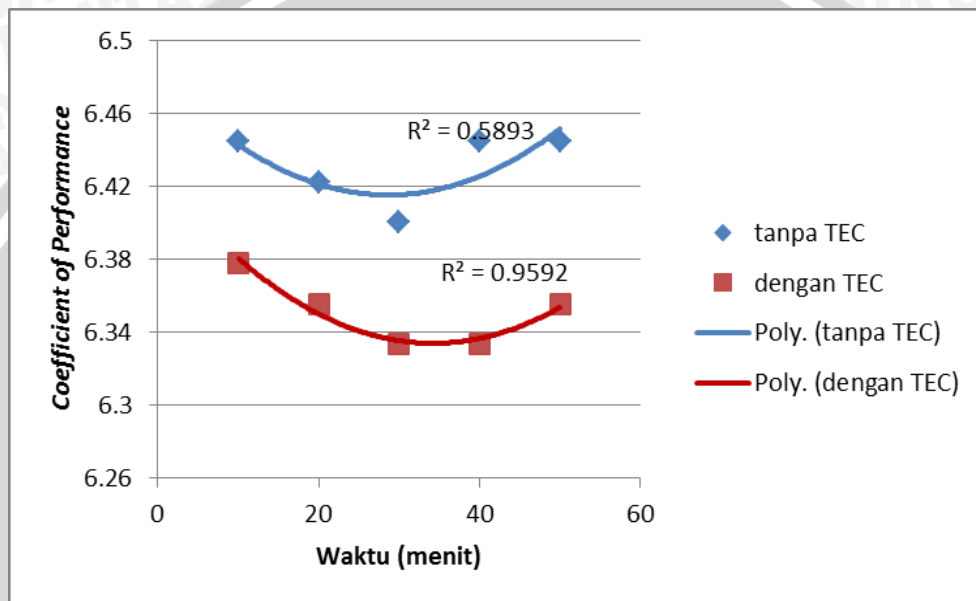
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Waktu Terhadap Kelembaban Relatif Dengan Variasi Penggunaan *Thermoelectric Cooler*

Pada grafik 4.2 terdapat pengaruh waktu terhadap kelembaban dengan variasi penggunaan *thermoelectric cooler*. Dimana pada grafik yang tidak menggunakan *thermoelectric* terlihat memiliki kecenderungan mengalami penurunan. Penurunan tersebut terjadi pada kelembaban relatif dari 66,25 % pada menit sepuluh menjadi 65,67 % pada menit dua puluh sampai tiga puluh lalu menurun lagi ke 65,06 % pada menit empat puluh sampai lima puluh. Penurunan grafik tersebut dipengaruhi oleh suhu bola kering keluaran evaporator yang ditunjukkan pada grafik 4.1 yang berarti semakin rendah suhu bola kering akan semakin membuat kelembaban relatif menjadi semakin rendah.

Grafik yang menggunakan *thermoelectric cooler* juga cenderung mengalami penurunan. Penurunan kelembaban terjadi pada menit ke sepuluh pada kelembaban relatif 59,55 % menuju 58,82 % pada menit dua puluh sampai lima puluh. Grafik kelembaban yang menggunakan TEC terlihat identik dengan grafik 4.1 yang menggunakan TEC, hal tersebut membuktikan bahwa kelembaban relatif cenderung dipengaruhi oleh suhu bola kering dan bola basah sebagai pembanding.

Dari kedua grafik tersebut terlihat bahwa penggunaan TEC mampu menurunkan kelembaban relatif dibandingkan dengan grafik yang tidak menggunakan TEC. Sehingga penggunaan TEC dapat menjadi salah satu cara menurunkan kelembaban relatif pada keluaran evaporator.

4.2.3 Pengaruh Waktu Terhadap COP Teoritis Dengan Variasi Penggunaan *Thermoelectric Cooler*



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Waktu Terhadap Kelembaban Relatif Dengan Variasi Penggunaan *Thermoelectric Cooler*

Pada grafik 4.2 terlihat pengaruh waktu terhadap COP untuk penggunaan thermoelectric dan yang tidak menggunakan thermoelectric. Grafik yang tidak menggunakan *thermoelectric* terlihat bahwa grafik membentuk parabola dimana terdapat kecenderungan turun kemudian naik. Pada menit ke sepuluh, COP teoritis tanpa menggunakan TEC memiliki nilai 6,44 dan terus turun menjadi 6,42 pada menit dua puluh sampai 6,40 pada menit ke tiga puluh kemudian terjadi kenaikan pada menit ke empat puluh dan lima puluh dengan nilai 6,44. Bentuk grafik tersebut dipengaruhi oleh temperatur keluar evaporator (T_1) yang juga mengalami penurunan dan kenaikan sehingga mempengaruhi nilai entalpi pada titik 1 (h_1) dan 2 (h_2) sesuai dengan rumus:

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

Keterangan:

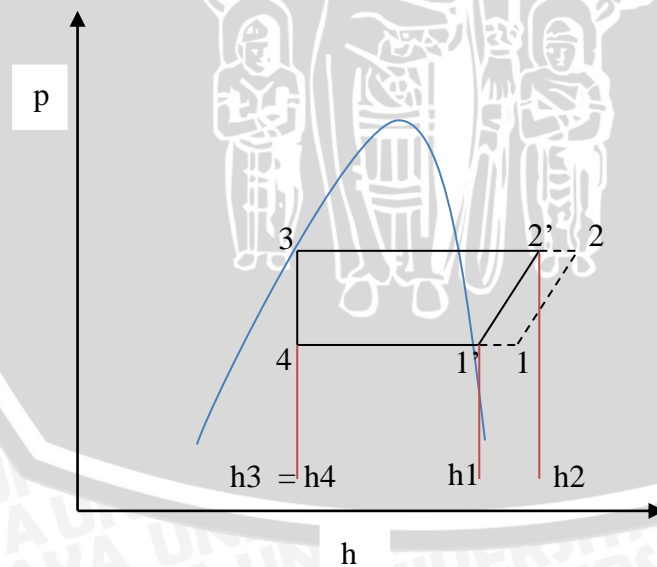
h_1 = entalpi refrigeran keluar evaporator [kJ/kg]

h_2 = entalpi refrigeran keluar kompresor [kJ/kg]

h_4 = entalpi refrigeran masuk evaporator [kJ/kg]

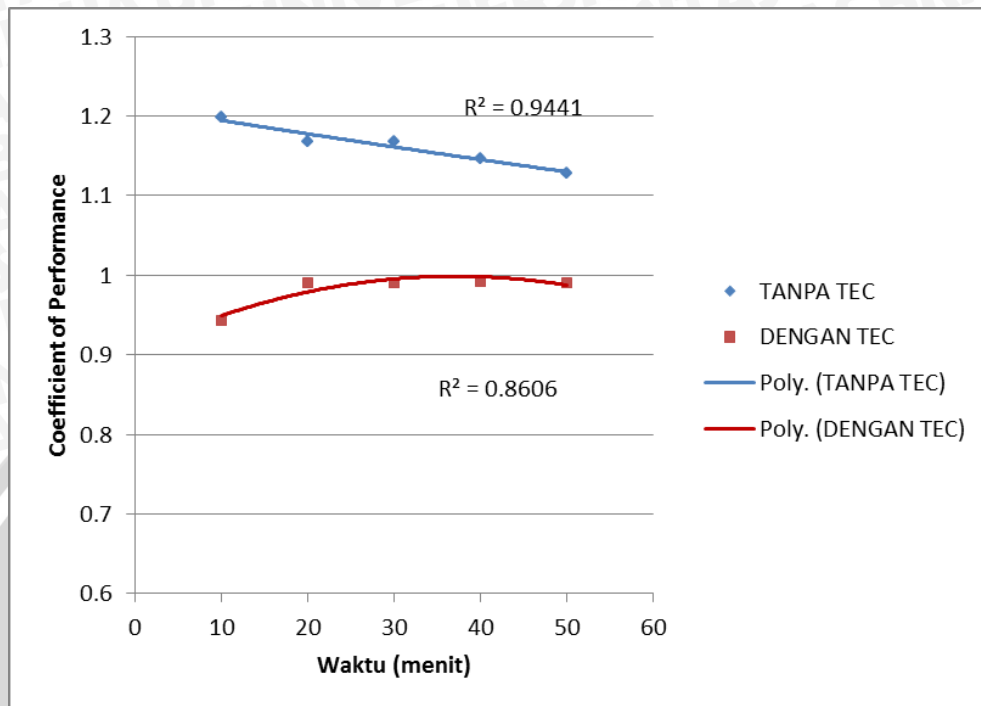
Grafik yang menggunakan TEC memiliki bentuk yang serupa dengan yang tidak menggunakan TEC yaitu membentuk parabola dan memiliki kecenderungan penurunan dan naik. Nilai COP teoritis pada menit sepuluh dengan penggunaan TEC adalah 6,37 kemudian mengalami penurunan berturut-turut ke nilai 6,35 dan 6,33 pada menit dua puluh dan tiga puluh lalu mengalami kenaikan pada menit empat puluh dan lima puluh dengan nilai 6,33 dan 6,35.

Dari kedua grafik tersebut terlihat bahwa grafik yang paling rendah adalah grafik yang menggunakan TEC, hal tersebut dikarenakan suhu refrigerant keluaran evaporator (T_1) bernilai lebih rendah dibandingkan yang tidak menggunakan TEC sehingga nilai entalpi (h_1) dan (h_2) menjadi lebih rendah. Sesuai dengan rumus COP teoritis, bila nilai h_1 dan h_2 mengalami pergeseran kesebelah kiri seperti pada gambar akan semakin memperkecil nilai kapasitas pendinginan (h_1-h_4) sehingga nilai COP semakin kecil



Gambar 4.4 Penurunan COP akibat TEC

4.2.4 Grafik Pengaruh Waktu Terhadap COP Aktual Dengan Variasi Penggunaan *Thermoelectric Cooler*



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Waktu Terhadap COP Aktual Dengan Variasi Penggunaan *Thermoelectric Cooler*

Pada gambar 4.5 terlihat pengaruh waktu terhadap COP. Pada grafik yang tidak menggunakan TEC terdapat kecenderungan penurunan COP. Pada menit ke sepuluh untuk COP aktual tanpa menggunakan TEC berada pada nilai 1,19 lalu terus mengalami penurunan pada menit ke dua puluh yaitu 1,1678, dimenit ke tiga puluh dengan nilai 1,676, menit ke empat puluh dengan nilai 1,14 dan menit ke lima puluh dengan nilai 1,12. Kecenderungan penurunan COP tersebut diakibatkan semakin lama waktu kompresor bekerja, maka arus listrik yang diperlukan kompresor mengalami peningkatan. Peningkatan konsumsi arus listrik tersebut diikuti dengan kenaikan massa alir refrigerant sesuai dengan rumus:

$$\dot{m}_{\text{ref}} = \frac{P_{\text{com}}}{w}$$

Sumber: Stoecker, W. F. & Jones, J. W. (1996)

Keterangan:

\dot{m}_{ref} = Massa alir refrigeran [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$]

P_{com} = Daya kompresor [kW]

w = Kerja kompresi aktual [$\text{kJ}\cdot\text{s}^{-1}$]

Kenaikan massa alir refrigeran tersebut menyebabkan efek refrigerasi semakin menurun, sesuai dengan rumus:

$$q_e = \frac{Q_{\text{ref}}}{\dot{m}_{\text{ref}}}$$

Sumber: Stoecker, W. F. & Jones, J. W. (1996)

Keterangan:

Q_{ref} = Kapasitas pendinginan [kW]

\dot{m}_{ref} = Massa alir refrigeran [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$]

Dari penurunan nilai efek refrigerasi sesuai rumus diatas akan menyebabkan nilai COP aktual juga mengalami penurunan sesuai dengan rumus:

$$COP = \frac{q_e \text{ aktual}}{w_{\text{aktual}}}$$

Sumber: Stoecker, W. F. & Jones, J. W. (1996)

Untuk grafik COP aktual yang menggunakan TEC terlihat mengalami kenaikan lalu mengalami bentuk konstan dan mulai menurun pada menit ke lima puluh. Pada menit ke sepuluh nilai COP nya adalah 0,9437, lalu meningkat menjadi 0,9911 pada menit ke dua puluh dan menjadi 0,9909 menit ke tiga puluh. Nilai COP pada menit empat puluh dan lima puluh dimana masing-masing nilai COP nya adalah 0,9917 dan 0,9913. Bentuk grafik tanpa penggunaan TEC dipengaruhi oleh besar arus listrik yang dikonsumsi kompresor dan mengecilnya nilai kerja kompresi aktual yang dipengaruhi temperatur T1 yang lebih rendah dibandingkan tanpa menggunakan TEC sesuai dengan rumus:

$$w = \frac{k}{k-1} \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{k-1/k} - 1 \right] \quad [\text{kJ}\cdot\text{s}^{-1}]$$

Sumber: Cengel, Yunus A. (2009)

Keterangan:

K = konstanta adiabatik = 1,33

T_1 = temperatur refrigeran keluar evaporator [$^{\circ}\text{C}$]

P_2 = tekanan refrigeran keluar kompresor [kPa]

P_1 = tekanan refrigeran masuk kompresor [kPa]

R = konstanta gas universal [kJ.kmol⁻¹.K]

Berat molekul refrigerant MC-22 = 44,11

Konstanta gas refrigerant, $R = 0,1884$ [kJ.kg⁻¹.K]

Dari kedua grafik tersebut terlihat bahwa penggunaan TEC juga menurunkan nilai COP aktual, sehingga grafik COP yang menggunakan TEC selalu berada di bawah nilai COP yang tidak menggunakan TEC. Hal tersebut dikarenakan penggunaan TEC menurunkan nilai kerja kompresi yang dipengaruhi oleh turunnya nilai T_1 (temperatur refrigeran keluar evaporator).

4.2.5 Pengaruh Kapasitas Pendinginan Terhadap COP Dengan Variasi Penggunaan *Thermoelectric Cooler*

Tabel 4.9 Data COP aktual dan kapasitas pendinginan aktual

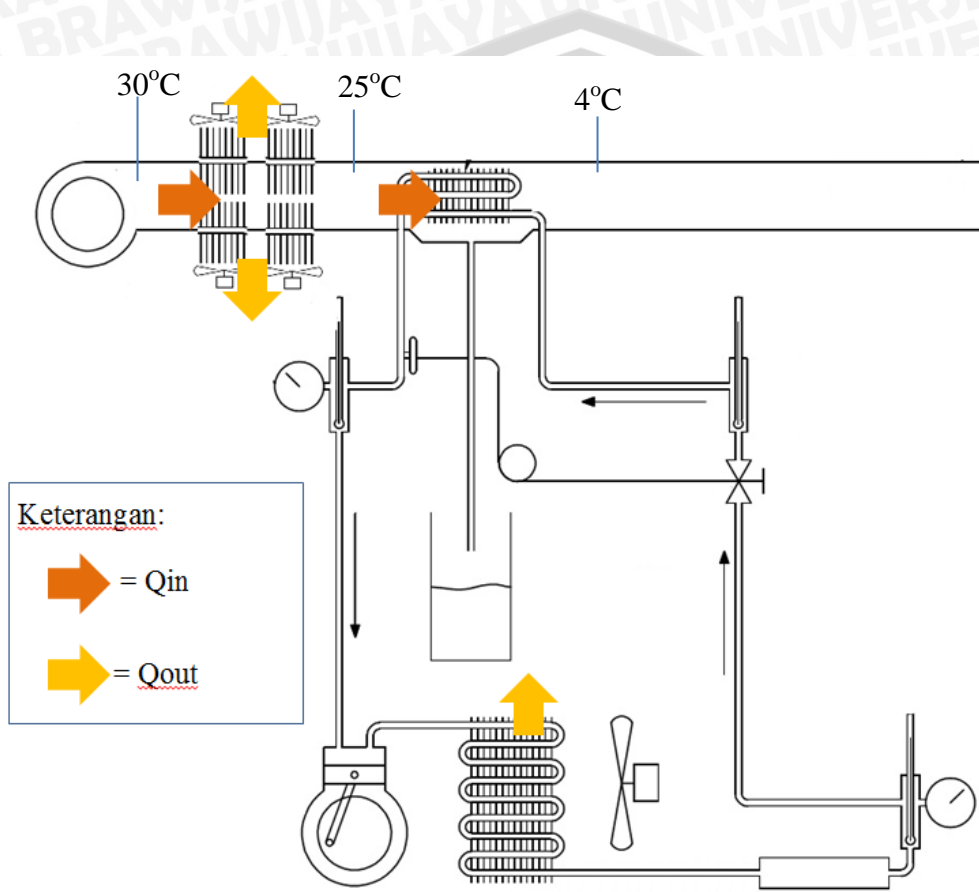
COP Aktual		Kapasitas Pendinginan Aktual	
tanpa TEC	dengan TEC	tanpa TEC	dengan TEC
1.1982729	0.94377916	1.44991	1.141973
1.1678611	0.99116115	1.413112	1.199305
1.1676537	0.99099943	1.412861	1.199109
1.1463396	0.99172549	1.43751	1.243624
1.1282824	0.99134545	1.489333	1.243147

Tabel 4.10 Data COP aktual dan kapasitas pendinginan Teoritis

COP Teoritis		Kapasitas Pendinginan Teoritis	
tanpa TEC	dengan TEC	tanpa TEC	dengan TEC
6.4444444	6.37777778	4.821007	4.796971
6.4222222	6.35555556	4.813023	4.797576
6.4	6.33333333	4.805011	4.789478
6.4444444	6.33333333	4.996316	4.963641
6.4444444	6.35555556	5.25928	4.972033

Dari tabel 4.10 dan 4.11 dapat dilihat kapasitas pendinginan pada penggunaan TEC memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas pendinginan tanpa TEC, hal tersebut mempengaruhi nilai COP, dimana nilai COP tanpa penggunaan TEC lebih besar dibandingkan dengan menggunakan TEC sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai

kapasitas pendinginan berbanding lurus dengan nilai COP. Nilai kapasitas pendinginan yang kecil pada penggunaan TEC disebabkan nilai kalor yang akan melewati evaporator lebih dahulu mengalami pengurangan akibat diserap oleh TEC karena temperatur TEC lebih rendah dari pada temperatur udara yang melewati TEC. Seperti yang terlihat pada ilustrasi gambar berikut:



Gambar 4.6 skema penurunan kapasitas pendinginan akibat TEC