

# Analisis Proses Penguapan dengan Penyebaran Panas pada Pipa Pan Water Eva Lemari Es

Pandu Dwimasampan & Rudi Hermawan

Program Studi Teknik Mesin Konversi Energi, Universitas Pancasila  
Jl. Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta Selatan, 12640, (021)78880305

E-mail: pdwimasampan@gmail.com, Hermawanrudi73@gmail.com

## Abstrak

Lemari es harus mampu meminimalisir penipisan ozon. Lemari es menggunakan refrigeran yang ramah lingkungan, yaitu R600a. Penyesuaian pada lemari es untuk mengaplikasikan R600a yaitu kompresor sebagai pompa refrigeran ke seluruh pipa di lemari es dan penghasil panas yang dapat membantu penguapan pada wadah air sisa proses pencairan bunga es. Pada lemari es A yang menggunakan refrigeran R134a dan kompresor tipe SVA dapat memberikan panas pada wadah sebesar 70 derajat Celsius. Pada lemari es tipe B menggunakan refrigeran R600a dengan kompresor tipe SVC mampu memberikan panas 50 derajat Celsius maksimum sehingga diperlukan penambahan pipa kondensor yang melewati wadah agar meningkatkan penguapan air sisa pencairan bunga es. Penambahan pipa efektif mempercepat proses penguapan air pada wadah. Hasil pengujian menunjukkan 102,7% air menguap atau 22,7% lebih baik dari standar yang ditetapkan karena pipa tersebut akan langsung meningkatkan suhu air dan titik uap air meningkat sehingga proses penguapan menjadi lebih cepat.

**Kata kunci:** pipa, lemari es, R600a, penguapan.

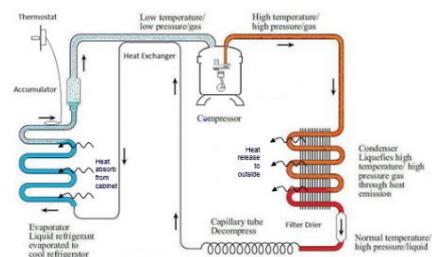
## Abstract

Refrigerators must be able to minimize ozone depletion. The refrigerator uses an environmentally friendly refrigerant, namely R600a. Adjustments to the refrigerator to apply the R600a, namely the compressor as a refrigerant pump throughout the pipes in the refrigerator and a heat generator that can help evaporate the remaining water in the defrosting process. Refrigerator A, which uses refrigerant R134a and compressor type SVA, can provide heat to the container by 70 degrees Celsius. The type B refrigerator uses R600, a refrigerant with an SVC type compressor capable of providing a maximum heat of 50 degrees Celsius. It is necessary to add a condenser pipe that passes through the container to increase the evaporation of the remaining water from defrosting. The addition of a pipe effectively speeds up the process of water evaporation in the container. Because the test results show, 102.7% of the water evaporates or 22.7% better than the standard set because the pipe will directly increase the water temperature and the water vapor point increases so that the evaporation process becomes faster.

**Keywords:** pipe, refrigerators, R600a, evaporation.

## 1 PENDAHULUAN

Lemari es merupakan sebuah alat rumah tangga yang berfungsi untuk mengawetkan makanan. Lemari es beroperasi menggunakan sistem refrigerasi untuk pendinginan. Sistem kerja lemari es menggunakan pompa panas pengubah fasa yang beroperasi pada sebuah siklus refrigerasi.



Gambar 1 Siklus refrigerasi lemari es [1]

Dari refrigerasi di atas dapat dilihat bahwa terdapat 5 komponen utama dari lemari es [1]. Komponen tersebut adalah:

1. kompresor
2. kondensor
3. pipa kapiler
4. evaporator
5. refrigeran

Kompresor adalah mesin yang berfungsi untuk mengkompresi fluida [2] sehingga fluida mempunyai tekanan 1,79 MPa menuju pipa kapiler. Pada kondisi ini refrigeran masih menjadi fluida gas bersuhu  $\pm 76^{\circ}\text{C}$ . Pada penelitian ini kompresor yang digunakan adalah jenis *hermetic*.

Kondensor adalah pipa yang berfungsi untuk mengalirkan fluida dari kompresor menuju pipa kapiler. Fungsi lainnya dari kondensor adalah sebagai penurun suhu fluida dengan membuang panas fluida ke area luar sehingga suhu turun namun dengan tekanan tetap. Pada kondensor fasa refrigeran akan seluruhnya berubah menjadi cair dengan suhu  $\pm 38^{\circ}\text{C}$  dengan tekanan 1,79 MPa.

Pipa kapiler adalah pipa berdiameter 0,6 – 0,7mm dan menghubungkan kondensor ke evaporator yang berfungsi untuk menurunkan tekanan sehingga suhu fluida menjadi rendah. Tekanan fluida turun menjadi 0,637 MPa dengan suhu hingga  $-31^{\circ}\text{C}$ .

Evaporator adalah pipa bersirip yang berfungsi untuk menangkap kalor di dalam lemari es yang akan mengubah fluida dari cair menjadi gas karena suhu berubah dari  $\pm -31^{\circ}\text{C}$  menjadi  $\pm 31^{\circ}\text{C}$  secara drastis dengan tekanan rendah.

Refrigeran adalah zat yang menjadi fluida dalam sistem refrigerasi yang berfungsi sebagai penyerap suhu tinggi dan penghantar suhu rendah [3]. Ada 3 tipe refrigeran yang biasa digunakan pada lemari es, yaitu:

1. R22
2. R134-a
3. R600a

Tabel 1 Spesifikasi jenis refrigeran [4]

Refrigerant	Composition	Application	ODP (R11 = 1)	GWP (CO <sub>2</sub> = 1)	Boiling point (°C)	Vapour pressure at 50°C (bar abs)
<b>HCFCs low chlorine</b>						
R22	CHCl <sub>2</sub> F	HT, MT, LT	0,05	1500	-41	19,4
R22 blends	R22-HFCs	MT	0,03 to 0,05	970 to 1770	-33 to -35	13 to 14
R22 blends	R22-HFCs	LT	0,02 to 0,03	1960 to 3570	-44 to -51	20 to 25
<b>HCFCs chlorine free</b>						
R134a	C <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	HT, MT	0	1300	-26	13,2
R404A	R143a/125/134a	LT	0	3260	-47	23,0
R407C	R32/125/134a	HT	0	1525	-44	19,8
R410A	R32/125	HT	0	1725	-51	30,5
Other R32 blends	R32-HFCs	LT	0	1770-2280	-46 to -48	21 to 23
Other R125 blends	R125-HFCs	HT, MT, LT	0	1830-3300	-43 to -48	18 to 25
<b>HCs halogen free</b>						
R290	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> propane	HT, MT	0	3	-42	17,1
R1270	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> propylene	LT	0	3	-48	20,6
R600a	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> isobutane	MT	0	3	-12	6,8
R290 blends	R290-HCs	HT, LT, MT	0	3	-30 to -48	10 to 18
<b>Other halogen free</b>						
R717	NH <sub>3</sub> ammonia	LT (MT, HT)	0	0	-33	20,3
R744	CO <sub>2</sub> carbon dioxide	HT, MT, LT	0	1	-57*	74**

\*Triple point (5,2 bar abs).  
\*\*At critical temperature 31°C.

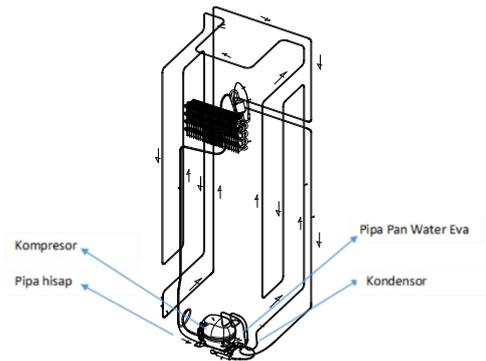
Melihat dari tabel di atas diperoleh bahwa refrigeran R600a merupakan pilihan yang terbaik [5]. R600a memiliki ODP dan GWP terendah dengan 0 dan 3 sehingga dianjurkan lemari es menggunakan refrigeran dengan tipe R600a yang juga dapat dijadikan refrigeran alternatif pengganti refrigeran sintesis [6][7][8]. Lemari es juga mempunyai fungsi untuk mencairkan bunga es yang tercipta akibat proses pendinginan yang biasa disebut *defrost process*. Pada saat kompresor bekerja itulah fluida cair hasil pencairan bunga es menguap. Proses ini dinamakan *vaporizing*. Proses penguapan berlangsung 7 jam. Proses penguapan memanfaatkan panas dari kompresor saja. Namun panas kompresor kurang mampu memberikan panas untuk proses penguapan pada lemari es yang menggunakan kompresor jenis refrigeran tipe R600a. Oleh karena itu, pada siklus refrigerasi R600a perlu peningkatan suhu air untuk meningkatkan proses penguapan air pada wadah penampungan karena pipa kondensor yang terhubung menuju kompresor mempunyai suhu fluida yang tinggi dan dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan suhu air yang dibutuhkan untuk proses penguapan pada wadah penampungan.

## 2 LANDASAN TEORI

Pipa pan *water eva* menggunakan diameter 4,76mm. Pipa pan *water eva* dengan material tembaga ini bekerja untuk proses *vaporizing* pada wadah air pada lemari es yang berkapasitas 2,1 liter. Hasil uji dari pipa ini adalah 90% dari 80% / 3 × 24 jam yang berarti proses penguapan lebih cepat 90% dari 80% *standard* dalam waktu 3 × 24 jam. Bagian yang memiliki selimut penutup berbahan plastik atau resin adalah bagian pipa yang terdapat di dalam wadah dan terkena air agar material tembaga tidak korosi.

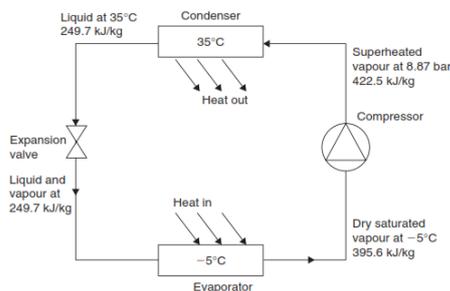


Gambar 2 Pipa pan water eva



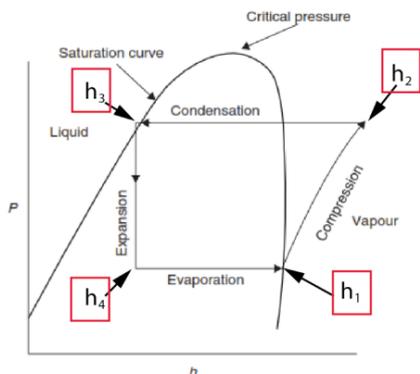
Gambar 3 Siklus refrigerasi lemari es

Dari gambar di atas dapat dilihat siklus refrigerasi dari lemari es. Pada lemari es di atas menggunakan siklus kompresi uap.



Gambar 4 Siklus sederhana kompresi uap pada refrigeran R134a [9]

Pada evaporator, panas diserap oleh refrigeran pada kompresor melalui pipa hisap dengan kondisi uap jenuh bersuhu -5°C. Fluida yang masuk akan diberikan tekanan sehingga menjadi uap super panas (*superheated*) bertekanan tinggi. Lalu setelah fluida melewati pipa kondenser panas akan di buang sehingga suhu naik menjadi 35°C dan fluida berubah fasa menjadi cair. Setelah melewati kondensor, fluida tersebut akan memasuki katup ekspansi sehingga tekanan turun dan suhu pun turun menjadi -5°C. Siklus ini akan terus berulang hingga tidak ada panas yang diserap oleh fluida di evaporator atau tidak ada lagi perpindahan energi kalor [10].



Gambar 5 P-h diagram [1]

Pada kondensor, fluida mengalami proses kompresi dan menjadi uap jenuh bersuhu tinggi akan

dimanfaatkan untuk proses penguapan hasil pencairan bunga es pada pipa pan water eva yang melewati wadah. Perpindahan panas berasal dari refrigeran lemari es yang mempunyai suhu 55 derajat *celcius*. Refrigeran tersebut melintasi pipa pan *water eva* yang terdapat pada wadah dan menyebarkan panasnya melalui permukaan pipa pan *water eva* sehingga panas di serap air pada wadah dan meningkatkan kalor laten air sehingga terjadi penguapan.



Gambar 6 Penampang pipa tembaga

a. Perpindahan Panas Konduksi

Pada perpindahan panas konduksi terjadi panas yang mengalir dari dalam menuju permukaan luar pipa pan water eva. Proses perhitungan pada proses konduksi ini menggunakan persamaan (1) Hukum Fourier [11], yaitu:

$$Q_{ideal} = k \times A \times \left(-\frac{dT}{dx}\right) \tag{1}$$

Dimana:

qk = laju perpindahan kalor konduksi

k = konduktivitas termal (sifat material) [W/m°C]

A = luas penampang dimana panas mengalir [m²]

dT/dX = gradien suhu dalam arah x [°C/m]

Setelah perpindahan panas, akan mampu menghitung realisasi dengan persamaan (2) berikut:

$$Realisasi = \frac{Q_{aktual}}{Q_{ideal}} \times 100\% \tag{2}$$

b. Perhitungan COP aktual (COP<sub>aktual</sub>).

Coefficient of Performance actual adalah perbandingan hasil refrigerasi dengan kerja kompresor. Hasil refrigerasi yaitu berupa nilai *enthalpy* yang masuk kompresor dikurangi *enthalpy* masuk ke evaporator dibagi dengan *enthalpy* masuk kondensor dikurang *enthalpy* memasuki kompresor [12]. Melalui persamaan (3) untuk perhitungan COP aktual [4][2] sebagai berikut ini:

$$COP_{aktual} = \frac{Q_c}{W_{in}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \tag{3}$$

Dimana:

- $Q_c$  adalah selisih *enthalpy* masuk kompresor dengan masuk evaporator dengan kata lain  $Q_c$  merupakan energi yang diserap oleh evaporator yaitu kapasitas refrigerasi [ $\frac{kJ}{kg}$ ] dengan persamaan (4) perhitungan kapasitas refrigerasi berikut ini [4] [7]:

$$Q_c = h_1 - h_4 \quad (4)$$

- $W_{in}$  adalah selisih *enthalpy* keluar dari kompresor dikurangi dengan *enthalpy* masuk kompresor (kerja kompresor) dengan persamaan (5) untuk perhitungan kerja kompresor berikut ini [4][7] :

$$W_{in} = h_2 - h_1 \quad (5)$$

### c. Perhitungan COP ideal ( $COP_{ideal}$ )

*Coefficient of Performance ideal* adalah perbandingan antara suhu yang terdapat pada evaporator dibagi dengan suhu kondensor dikurangi dengan suhu yang terdapat pada evaporator, dengan persamaan berikut [4][7]:

$$COP_{ideal} = \frac{T_c}{T_H - T_c} \quad (6)$$

Dimana:

- $T_c$  adalah suhu yang terdapat pada evaporator
- $T_H$  adalah suhu yang terdapat pada kondensor

### d. Persamaan Irving Langmuir

$$\frac{dM}{dt} = (p_v - p_p) \sqrt{\frac{m}{2\pi RT}} \quad (7)$$

Persamaan Irving Langmuir yang berkaitan dengan perhitungan kecepatan evaporasi terhadap permukaan air yang memiliki tekanan uap karena bersentuhan dengan permukaan udara yang mengalir [13].

Dimana:

$$\frac{dM}{dt} = \text{kecepatan evaporasi} \left[ \frac{L}{m^2/s} \right]$$

$$P_v = \text{tekanan uap} [Pa]$$

$$P_p = \text{tekanan parsial} [Pa]$$

$$m = \text{berat molekul air} \left[ \frac{kg}{mol} \right]$$

$$R = \text{konstanta gas ideal} \left[ 8,134 \frac{joule}{mol \text{ kelvin}} \right]$$

$T = \text{suhu tertinggi} [^{\circ}C]$

Untuk mendapatkan tekanan pada air, dengan persamaan (8) *Antonie coefficient* sebagai berikut [14]:

$$\text{Log}_{10} \times P = \frac{A-B}{(T+C)} \quad (8)$$

Dimana nilai A, B dan C adalah konstanta yang telah ditetapkan. Untuk mendapatkan tekanan uap parsial, dapat dihitung dengan persamaan (9) [14]:

$$P_p = \frac{x \cdot atm}{(0,62198+x)} \quad (9)$$

Dimana nilai:

$x$  adalah nilai rasio kelembaban.

Atm adalah nilai tekanan atmosfer = 101325 [Pa].

## 3 METODELOGI PENELITIAN

Pengujian evaporasi ini dilakukan dalam uji yang dapat menjaga konstan suhu dan kelembaban [15]. Pengujian ini dilakukan dengan mengamati hasil akhir dari air yang terdapat pada wadah yang telah di isi 50% dari kapasitas wadah sebelumnya, kapasitas wadah adalah dua liter sehingga sebelum pengujian dimulai di isi satu liter air. Adapun metode pengujian sebagai berikut:

- Mengoperasikan lemari es pada posisi pengatur suhu medium pada *freezer compartment* dan *provision compartment*.
- Freezer compartment* tidak diberikan beban agar pendinginan maksimal.
- Mengisi kapasitas wadah penampung sebesar 50% dari kapasitas total wadah. Pada lemari es ini kapasitas wadah adalah 2 liter (2000 ml) sehingga sebelum pengujian ini wadah telah terisi 1 Liter (1000 ml).
- Memasang *thermocouple* pada titik aksesoris untuk peninjauan suhu pengujian.
- Memasukan lemari es kedalam ruang pengujian (*chamber*) lalu atur suhu ruang pengujian pada 30° C dan kelembaban 85%.
- Mengoperasikan lemari es hingga mendapatkan suhu yang stabil dan dapat di kontrol pada display yang terhubung.
- Metode pengujian:
  - Membuka pintu *freezer compartment* dan *provision compartment* selama 20 sekon dalam sekali pembukaan. Proses ini dilakukan selama 3 hari dan minimal 1 kali *defrost* (pencairan bunga es).

b) Dalam 1 hari terdapat beberapa banyak pembukaan pintu, yaitu:

Tabel 2 Metode pengujian evaporasi

Sesi	Freezer Compartment	Provision Compartment
Pertama (Pukul 10 pagi)	6 kali pembukaan	20 kali pembukaan
Kedua (Pukul 13 Siang)	7 kali pembukaan	20 kali pembukaan
Ketiga (Pukul 16 Sore)	7 kali pembukaan	20 kali pembukaan

- h. Setelah metode pengujian tersebut dilakukan, hasil ujinya dengan mengukur volume air hasil defrost yang tersisa.
- i. Pengumpulan data ini untuk rancangan pipa yang memungkinkan pada wadah. Pipa yang digunakan pada rancangan ini adalah pipa berbahan dasar tembaga berdiameter 4mm dan mempunyai ketebalan 0,35mm dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 3 Spesifikasi tembaga [16]

Properties	Value Measured
Melting point	1083°C
Density	$8,94 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ at 20°C
Thermal expansion coefficient	$17,7 \times 10^{-6}$ per °K
Thermal conductivity	305 – 355 W/(m.K)
Specific heat capacity	0,385 kJ/(kg.K)
Electrical conductivity (annealed)	75 – 90% IACS
Electrical resistivity (annealed)	0,0192 - 0,0230 microhm at 20°C
Modulus of elasticity	117 Gpa
Modulus of rigidity	44 Gpa

j. Sifat dan karakteristik air yang digunakan dalam pengujian ini adalah air sumur jernih dan umumnya langsung dipergunakan oleh masyarakat.

Tabel 4 Sifat dan karakteristik air [17]

	$\rho_l$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (kJ/kg)	$\sigma$ (N/m)	$\mu_l$ (cP)	$k_f$ (W/mK)	$N$ (W/m <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>
Water <sup>b</sup>	996	2406.7	0.0695	0.799	0.632	$2.09 \times 10^{11}$
Methanol <sup>c</sup>	791	1165	0.0227	0.611	0.204	$3.42 \times 10^{10}$
Acetone <sup>c</sup>	790	552	0.0237	0.323	0.181	$3.20 \times 10^{10}$

<sup>a</sup> figure of merit  $N \equiv \rho_l \lambda \sigma / \mu_l$   
<sup>b</sup> at 40 °C, but  $\rho_l$  and  $\mu_l$  at 30 °C  
<sup>c</sup> at 20 °C

Pada penelitian ini, data yang didapat adalah tekanan dan suhu pada sistem pendinginan. Tekanan yang digunakan adalah tekanan yang keluar dari kompresor dan juga tekanan yang masuk ke evaporator. Suhu yang digunakan adalah suhu yang keluar dari kondensor dan suhu yang keluar menuju evaporator serta untuk memperlihatkan grafik variasi penguapan pada wadah, diperoleh juga suhu air yang terdapat pada wadah.

Data penelitian diperoleh dari titik pipa yang dipilih akan terlihat seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel 5 Penyajian data hasil uji

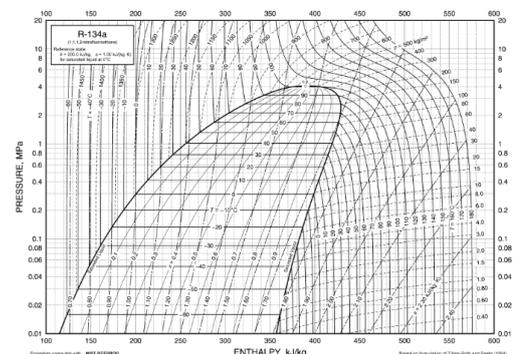
No	Waktu (Menit)	Suhu (Kelvin)						Tekanan (Mpa)	
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	P1 (P kompresor)	P2 (Tekanan Katup ekspansi)
1	1	305,65	318,25	237,45	244,65	250,75	305,5		
2	2	302,25	318,25	251,95	250,65	250,75	305,5		
3	3	303,25	318,05	262,45	254,75	250,65	305,5		
4	4	305,25	317,75	268,95	257,05	250,65	305,5		
5	5	305,85	317,55	265,05	256,65	250,55	305,5		
6	6	306,65	317,35	259,15	256,45	250,55	305,5		
7	7	306,95	316,95	257,65	256,55	250,65	305,5		
8									
9									
10	10	306,75	316,25	256,45	256,75	250,75	305,5		

Keterangan:

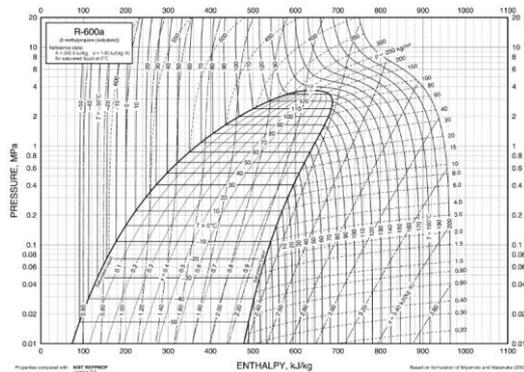
- P1 : tekanan menuju kondensor (P kompresor)
- P2 : tekanan menuju evaporator (P katup ekspansi)
- T1 : suhu masuk kompresor (pipa suction)
- T2 : suhu masuk kondensor (pipa pan water eva)
- T3 : suhu masuk katup ekspansi
- T4 : suhu masuk evaporator (suhu outlet katup ekspansi)
- T5 : suhu evaporator
- T6 : suhu ruangan

Dari data tersebut melalui diagram p-h diperoleh nilai enthalpy. Dari nilai enthalpy dapat dihitung:

1. Perpindahan kalor per satuan massa di evaporator
2. Kerja yang dilakukan persatuan massa pada kompresor
3. Perpindahan kalor per satuan massa pada kondensor
4. COP aktual
5. COP ideal
6. Efisiensi mesin pendinginan
7. Laju penguapan persamaan Irving Langmuir



Gambar 7 Pengambilan data enthalpy pada p-h diagram refrigeran R134a [9]



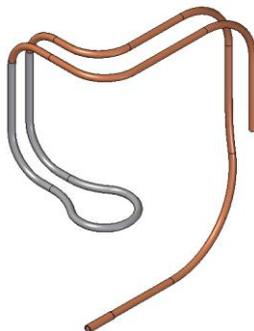
**Gambar 8** Pengambilan data enthalpy pada p-h diagram refrigeran R600a [9]

Pada gambar 7. dan 8. setelah mengetahui nilai tekanan, suhu, dan nilai enthalpy yang terjadi pada siklus refrigerasi diketahui juga nilai COP pada refrigeran R134a dan R600a. Percobaan dilakukan dengan memasukkan air dan biarkan lemari es beroperasi selama tiga hari dan pintu lemari es akan terbuka dan tertutup sesuai metode pengujian (tabel 2). Diperolehlah dua buah data, yaitu:

- Pengukuran suhu yang terdapat pada pipa lemari es menggunakan *thermocouple* yang diletakan pada bagian lemari es dan terhubung dengan konverter. Diperolehlah suhu pada lemari es melalui perbedaan hambatan.
- Pengukuran air sisa pencairan bunga es. dilakukan pengukuran dengan timbangan massa terhadap air sisa pencairan bunga es.

#### 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancangan pipa pan water eva dilakukan dengan membentuk konsep pipa yang akan diuji sehingga bentuk akhir dari pipa pan water eva adalah sebagai berikut:



**Gambar 9** Pipa pan water eva

Setelah diperoleh suhu dan tekanan pada refrigeran R134a. Nilai enthalpy pada diagram p-h diperoleh sebagai berikut:

**Tabel 6** Data Enthalpy R134a

Waktu (Menit)	Enthalpy (kJ/kg)			
	h1	h2	h3	h4
1	353,67	421,62	153,77	162,89
2	352,28	421,62	172,28	170,6
3	352,70	421,54	185,98	175,91
4	353,51	421,41	194,58	178,9
5	353,75	421,33	189,41	178,38
6	354,07	421,25	181,64	178,12
7	354,19	421,1	179,68	178,25
~				
426	353,63	421,04	154,4	163,4
427	353,67	421,05	154,02	163,15

Setelah diperoleh suhu dan tekanan pada refrigeran R600a, nilai enthalpy pada diagram p-h diperoleh sebagai berikut:

**Tabel 7** Data Enthalpy R600a

Waktu (Menit)	Enthalpy (kJ/kg)			
	h1	h2	h3	h4
1	508,38	614,67	121,88	122,6
2	504,54	614,67	153,02	150,19
3	505,67	614,41	176,18	159,15
4	507,93	614,02	190,79	164,2
5	508,60	613,76	182	163,32
6	509,50	613,5	168,85	162,88
7	509,84	612,97	165,52	163,1
~				
426	508,26	612,19	122,93	128,96
427	508,38	612,32	122,3	126,13

Dari tabel 6 ~ tabel 7 diperoleh nilai enthalpy. Dari data enthalpy dapat dihitung nilai  $Q_c$ ,  $W_{in}$ , dan COP aktual.

#### a. Perhitungan COP aktual pada refrigeran R134a dan R600a

Dari tabel 6 (R134a) dan tabel 7 (R600a) diperoleh nilai enthalpy maka perpindahan energi kalor persatuan masa refrigeran pada evaporator dapat dihitung menggunakan persamaan (4) yaitu:

$$Q_c = h_1 - h_4$$

$$Q_c = 353,67 \left[ \frac{kJ}{kg} \right] - 162,89 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$$

$$Q_c = 190,78 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$$

Perpindahan energi kalor per satuan refrigeran pada evaporator adalah sebesar  $190,78 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$  untuk R134a dan  $385,77 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$  untuk R600a.

Kerja kompresor per satuan masa refrigeran ( $W_{in}$ ). menggunakan persamaan (5) yaitu:

$$W_{in} = h_2 - h_1$$

$$W_{in} = 421,62 \left[ \frac{kJ}{kg} \right] - 353,67 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$$

$$W_{in} = 67,94 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$$

Perpindahan energi kalor per satuan refrigeran pada kompresor adalah sebesar  $67,94 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$  (R134a) dan  $106,29 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$  (R600a).

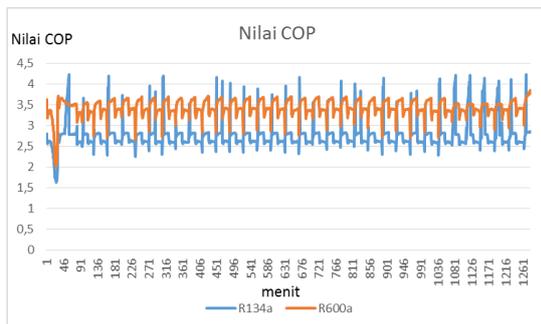
Perhitungan nilai COP aktual ( $COP_{aktual}$ ) dengan persamaan (3) yaitu:

$$COP_{aktual} = \frac{Q_c}{W_{in}}$$

$$COP_{aktual} = \frac{190,78}{67,95}$$

$$COP_{aktual} = 2,81$$

Nilai COP menit 1 di hari pertama sebesar 2,81 (R134a) dan 3,63 (R600a).



**Gambar 10** Grafik nilai COP antara refrigeran R134a dengan R600a

Dari gambar 10, R600a memiliki kinerja yang lebih baik dari R134a dan lebih stabil. Nilai COP R600a kepada sistem dengan nilai tertinggi sebesar 3,8 sedangkan R134a sebesar 4,2. Nilai besar pada R134a hanya beberapa titik saja sedangkan secara keseluruhan berada dibawah nilai COP dari R600a. Secara nilai rata-rata R600a mempunyai nilai sebesar 3,4 dan untuk R134a adalah sebesar 2,7 sehingga pergantian refrigeran R600a ini berdampak positif terhadap kinerja lemari es [7].

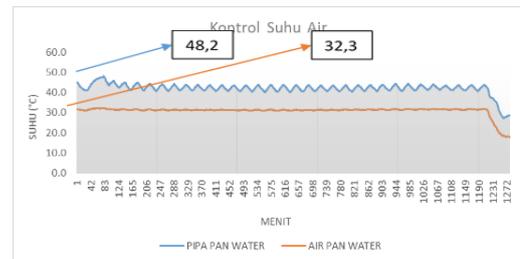
## b. Hasil Analisa Panas Air dari Pipa Pan Water Eva

Untuk mengetahui suhu air pada wadah dengan jarak  $64\text{mm} \sim 0,064\text{m}$  menggunakan persamaan konduksi (1) harus mengetahui nilai Q. Nilai k (konduktifitas thermal) air yaitu:

**Tabel 8** Konduktifitas termal[13]

Jenis benda	Konduktivitas Termal (k)	
	J/m.s.C°	Kkal/m.s.C°
Perak	420	$1000 \times 10^{-4}$
Tembaga	380	$920 \times 10^{-4}$
Aluminium	200	$500 \times 10^{-4}$
Baja	40	$110 \times 10^{-4}$
Es	2	$5 \times 10^{-4}$
Kaca (biasa)	0,84	$2 \times 10^{-4}$
Bata	0,84	$2 \times 10^{-4}$
Air	0,56	$1,4 \times 10^{-4}$

Nilai T maksimum digunakan untuk mencari laju perpindahan panas ideal, karena T maksimum memberikan evaporasi tertinggi.



**Gambar 11** Grafik kontrol suhu air

Luas permukaan untuk mencari laju perpindahan panas adalah seluruh permukaan pipa. Dari persamaan (1) nilai laju perpindahan panas kita dapatkan sebesar:

$$Q_{ideal} = k \times A \times \left( -\frac{dT}{dx} \right)$$

$$Q_{ideal} = 0,56 \left[ \frac{j}{m.s.^{\circ}C} \right] \times 0,00476 \times 0,213 [m^2] \times \left( \frac{48,2[{}^{\circ}C] - 32,3 [{}^{\circ}C]}{0,064 [m]} \right)$$

$$Q_{ideal} = 0,141 \left[ \frac{j}{s} \right]$$

Nilai realisasi perbandingan laju perpindahan panas aktual terhadap laju perpindahan panas ideal dari 1281 menit pengambilan data diperoleh sebagai berikut:

**Tabel 9** Parameter data hasil pengujian

Parameter	Nilai	Satuan
Suhu Rata-rata Pada Air Wadah Terjauh	31,0	°C
Suhu Rata-rata Pada Pipa Air	42,1	°C
Suhu Tertinggi Pada Pipa Air	48,2	°C
Suhu Tertinggi Pada Air Wadah Terjauh	32,3	°C
Suhu Terendah Pada Pipa Air	27,2	°C
Suhu Terendah Pada Air Wadah Terjauh	17,9	°C
Lama Menit Pengambilan Data	1281	Menit

Dari data di atas laju perpindahan panas dengan persamaan (1) yang terjadi adalah:

$$Q_{aktual} = k \times A \times \left( -\frac{dT}{dx} \right)$$

$$Q_{aktual} = 0,56 \left[ \frac{j}{m.s.^{\circ}C} \right] \times 0,00476 \times 0,213 [m^2] \times \left( \frac{42,1[{}^{\circ}C] - 31,0 [{}^{\circ}C]}{0,064 [m]} \right)$$

$$Q_{aktual} = 0,0984 \left[ \frac{J}{s} \right]$$

Perhitungan Realisasi Kalor dengan persamaan (2) sebagai berikut:

$$Realisasi = \frac{Q_{aktual}}{Q_{ideal}} \times 100\%$$

$$Realisasi = \frac{0,0984 \left[ \frac{J}{s} \right]}{0,141 \left[ \frac{J}{s} \right]} \times 100\%$$

$$Realisasi = 69,8\%$$

Hasil persamaan Irving Langmuir, didapatkan grafik pengujian sebagai berikut:



Gambar 12 Laju evaporasi dengan persamaan Irving Langmuir

Pada grafik laju evaporasi diatas diperoleh nilai maksimum laju penguapan sebesar  $9,925 \left[ \frac{kg}{m^2/K} \right]$  dan nilai minimum sebesar  $0,373 \left[ \frac{kg}{m^2/K} \right]$ . Rata-rata laju penguapan pada area pipa terdekat adalah sebesar  $6,870 \left[ \frac{kg}{m^2/K} \right]$ , sedangkan untuk pipa terjauh adalah sebesar  $2,926 \left[ \frac{kg}{m^2/K} \right]$  [13].

### c. Hasil Pengujian Evaporasi pada Ruang Uji

Volume air sebanyak 50% dari kapasitas wadah (1 Liter) ditambah hasil pencairan bunga es mengasumsikan kapasitas wadah terisi penuh (2 liter). Pengujian evaporasi ini juga memiliki standar yaitu sebesar 80% minimum air pada wadah harus ter evaporasi atau sebesar 1,2 liter. Penggunaan kompresor tipe SVC bertekanan pipa kapiler  $6,68 \times 10^5$  [Pa] dan refrigeran sebesar 55gram air yang tersisa hanya 973,3 ml sehingga persentase keberhasilan proses evaporasi berdasarkan persamaan (3.1) adalah sebesar:

$$Persentase\ Evaporasi = \frac{((Air\ Awal - Sisa\ Air) + Air\ Awal)}{Air\ Awal} \times 100\%$$

$$Persentase\ Evaporasi = \frac{((1000 [ml] - 973,3 [ml]) + 1000 [ml])}{1000 [ml]} \times 100\%$$

$$Persentase\ Evaporasi = 102,7\%$$

Karena presentasi evaporasi >80% maka evaporasi ini dikatakan memenuhi standar [18].

### d. Perhitungan Biaya Penggunaan Refrigeran R134a dan R600a

Pada penelitian ini hanya terdapat dua perubahan yaitu pada kompresor dan refrigeran.

Tabel 10 Pengurangan biaya penggunaan R600a

No	Nama Bagian	Jenis	Kuantitas	Unit	Harga
1	Kompresor	SVA	1	pcs	Rp 371.000
		SVC	1		Rp 304.800
Pengurangan Biaya					Rp 66.200
2	Refrigeran	R134a	110	gr	Rp 8.008
		R600a	55		Rp 3.978
Pengurangan Biaya					Rp 4.030
3	Pipa Pan Water Eva	Pipa Tembaga			Rp 6.700
			Penambahan Biaya		
Total Pengurangan Biaya					Rp 63.530

Pada tabel pengurangan biaya penggunaan diatas telah terjadi pengurangan biaya sebesar Rp 63.530 [5].

## 5 SIMPULAN

Dari penelitian ini diperoleh hasil yang mendukung pipa tersebut berhasil menambah pencapaian proses evaporasi. Beberapa simpulan yang dapat ditarik yaitu:

1. Proses evaporasi berdasarkan suhu tertinggi pada air yaitu sebesar  $48,2 [^{\circ}C] \sim 321,35 [K]$  maka laju evaporasi yang terjadi sebesar  $9,925 \left[ \frac{kg}{m^2/s} \right]$ , sedangkan untuk suhu terendah pada air yaitu sebesar  $17,9 [^{\circ}C] \sim 291,05 [K]$ , maka laju evaporasi yang terjadi adalah sebesar  $0,373 \left[ \frac{kg}{m^2/s} \right]$  serta persentase keberhasilan penguapan air pada wadah adalah 102,7% dan ini lebih baik 22,7% dibandingkan dengan standar (80%).
2. Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa refrigeran R600a memiliki kinerja yang lebih baik dari R134a dan lebih stabil. Nilai COP menggunakan refrigeran R600a tertinggi adalah sebesar 3,8 sedangkan untuk refrigeran R134a sebesar 4,2. Nilai besar pada R134a hanya pada beberapa titik saja sedangkan secara keseluruhan berada dibawah nilai COP dari R600a. Secara rata-rata R600a mempunyai nilai sebesar 3,4 sedangkan R134a adalah sebesar 2,7.
3. Realisasi kalor sebesar 69,8% .

4. Pengaplikasian R600a diperlukan perubahan kompresor, kuantitas refrigeran dan penambahan pipa pan water eva untuk mengatasi evaporasi sisa pencairan bunga es. Namun dari Tabel 14. terdapat pengurangan biaya sebesar Rp 63.530

## KEPUSTAKAAN

- [1] I. G. Agung and I. Bagus, "Analisis Performansi Sistem Pendingin Ruangan Dikombinasikan dengan Water Heater," *Ilm. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 57–61, 2010.
- [2] Pramoda Agung Sumadijhono and R. Irama, "analisa unjuk kerja modifikasi dispenser menjadi air conditioning ( ac ) portabel yang menggunakan freon r-134a berdasarkan pada variasi putaran kipas pada evaporator terhadap suhu pendinginan ruangan" Mahasiswa jurusan Teknik Mesin," *J. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2018.
- [3] E. Purwanto, K. Ridhuan, P. Studi, T. Mesin, F. Teknik, and U. Muhammadiyah, "pengaruh jenis refrigerant dan beban pendinginan terhadap kemampuan kerja mesin pendingin," *J. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 116, pp. 11–16, 2014.
- [4] FX. Pamungkas, "perbandingan karakteristik refrigeran r134a dan r600a pada unjuk kerja mesin pendingin dengan menggunakan ethylen glycol sebagai refrigeran sekunder," universitas sanata dharma, 2014.
- [5] I. Faozan, "Analisis Perbandingan Evaporator Kulkas (Lemari Es) Dengan Menggunakan Refrigerant R-22 Dan R-134a," *J. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 3, p. 33, 2017, doi: 10.22441/jtm.v4i3.1272.
- [6] B. Santosa and Harsono, "Analisa pemakaian energi listrik dan cop pada AC split 900 watt menggunakan refrigeran hidrokarbon MC-22 dan R-22," *Tek. Mesin*, vol. 12, no. 1, pp. 25–28, 2017.
- [7] I. Kusuma, "studi komparasi kinerja refrigerantr134a dengan r600a," *J. Tek. Mesin Univ. Negeri Surabaya*, vol. 03 No.1, no. 1, pp. 33–39, 2014.
- [8] M. M. Joybari, M. S. Hatamipour, A. Rahimi, and F. G. Modarres, "R134a and R600a Energy Efficiency Index Comparison in a Domestic Refrigerator Using Iranian and European Standards," *Int. J. Energy Conf. Iran*, vol. 9, no. 1, pp. 1–9, 2015.
- [9] ASHRAE, *Handbook HVAC Fundamentals*, SI., vol. 30329, no. 404. Tullie Circle: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc., 2009.
- [10] U. Budiarto, W. Amiruddin, D. T. Perkapalan, F. Teknik, U. Diponegoro, and K. K. Refrigerasi, "Analisa unjuk kerja desain sistem refrigerasi kompresi uap pada kapal ikan ukuran 5 gt di wilayah rembang 1)," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 4, no. 4, pp. 768–778, 2016.
- [11] A. Sakka, L. K. Mangalla, and B. Sudia, "Analisa Perpindahan Panas Pada Alat Pengering Pisang Tipe Rak Kombinasi Tenaga Surya dan Biomassa," *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 4, pp. 1–9, 2018.
- [12] W. Kusbandono and P. Purwadi, "Cop mesin pendingin refrigeran sekunder," *J. Penelit. Tek. Mesin*, vol. 19, no. 1, pp. 79–86, 2015.
- [13] K. W. Kolasinski, *Surface Science: Foundations of Catalysis and Nanoscience*, Third Edit. West Chester, USA: Surface Science Foundations of Catalysis and Nanoscience Third Edition Kurt W. Kolasinski Department of Chemistry, West Chester University, West Chester, PA, USA A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, 2012.
- [14] L. Yaws Carl, *The Yaws Handbook of Vapor Pressure Antoine Coefficients*, Second Edi. Texas: Elsevier, 2015.
- [15] Amimul Ahsan, *Evaporation, Condensation and Mass Transfer*, 2011th ed. Rijeka, Croatia: Intech Open Access Publisher, 2011.
- [16] Z. A. Majid and Z. Yaacob, "Alternative Piping Material For Malaysian Fuel Gas Distribution," *J. Teknol.*, vol. 35(F), no. December, pp. 41–54, 2001, doi: 10.11113/jt.v35.619.
- [17] S. Wong, *The Evaporation Mechanism in the Wick of Copper Heat Pipes*, 2014th ed. Taipei: Springer, 2014.
- [18] S. Nugroho, "Test Report of Refrigerator Product," Jakarta, 2019