

## KARAKTERISTIK LAJU PENDINGINAN PADA MESIN PENDINGIN PAKAIAN SISTEM POMPA KALOR

Cakra M. A.<sup>1</sup>, Himsar Ambarita<sup>2</sup>, Taufiq B. N<sup>3</sup>, Alfian Hamsi<sup>4</sup>, Terang UHS Ginting<sup>5</sup>, Pramio G. S<sup>6</sup>  
<sup>1,2,3,4,5,6</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara  
 Email: *cakra\_messa@yahoo.co.id*

### ABSTRAK

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh masalah yang sering dihadapi jasa laundry pada penyediaan mesin untuk pendingin pakaian. Selama ini mesin pendingin pakaian yang beredar di pasaran, sumber panasnya beragam, mulai dari uap panas (*steam*), gas (*api*) atau listrik (*heater*). Energi yang digunakan untuk prosedur ini sangat besar (energi yang dihasilkan lebih besar daripada yang dapat dimanfaatkan). Melalui pembuatan model fisik mesin *portable* pendingin pakaian berdasarkan pompa kalor ini, diharapkan dapat menghemat energi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui performansi siklus kompresi uap pada mesin pendingin pakaian sistem pompa kalor daya 1 PK serta mengetahui karakteristik laju pendinginan pakaian. Penelitian ini menggunakan metode perhitungan termodinamika dengan refrigeran yang dipakai Hydro Chloro Fluoro Carbon (HCFC-22). Hasil dari penelitian ini diperoleh koefisien performansi siklus kompresi uap atau *Coefficient of Performance* (COP) dan karakteristik laju pendinginan pakaian.

*Kata kunci : Coefficient of Performance (COP), HCFC-22, laju pendinginan, portable, refrigeran.*

### 1. PENDAHULUAN

Pendinginan pakaian selama bertahun-tahun dilakukan secara konvensional dengan menjemur langsung dibawah paparan sinar matahari. Melalui perkembangan teknologi, proses pendinginan tidak bergantung kepada cuaca dan dapat menghemat waktu proses pendinginan. Salah satu sumber pemanas mesin pendingin pakaian yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi adalah pompa kalor.

Karakteristik dari sebuah pompa kalor adalah bahwa jumlah panas yang ditransfer lebih besar daripada energi yang diperlukan untuk menggerakkan siklus. Perbandingan antara panas yang dihasilkan dan energi yang dibutuhkan dikenal dengan *Coefficient of Performance* (COP).

Secara umum, pompa kalor mengambil panas dari udara atau dari permukaan sebagaimana aplikasi perpindahan panas secara konveksi. Udara yang dipanaskan meningkatkan kelembaban *relative* udara, sehingga mampu mengangkat uap air dari bahan yang terpanaskan oleh udara. Hal ini akan mempengaruhi banyaknya air yang diuapkan tiap satuan waktu atau penurunan kadar air bahan dalam satuan waktu yang dikenal sebagai laju pendinginan.

### 2. TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Prinsip Pendinginan

Pendinginan (*drying*) merupakan proses perpindahan panas dan uap air secara simultan yang memerlukan energi panas untuk menguapkan kandungan air yang dipindahkan dari permukaan bahan yang dikeringkan oleh media pendingin yang biasanya berupa panas.

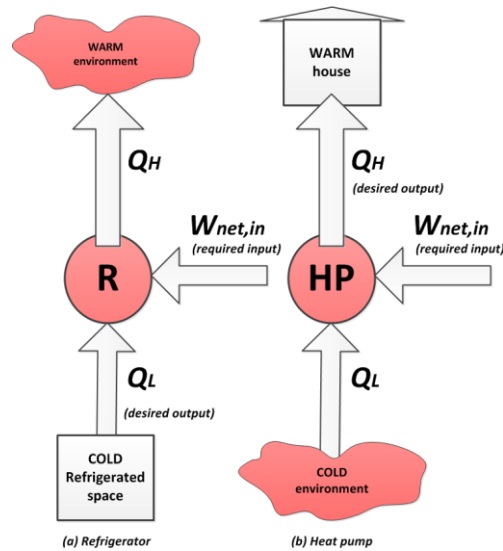
Pendinginan dapat diartikan memindahkan kandungan zat cair dari benda padatnya, zat cair yang biasa kita pindahkan dari zat padat adalah air. Sedangkan zat padat biasanya bermacam-macam, contohnya pada saat kita selesai mencuci pakaian, maka kita hendak melakukan proses pendinginan pada pakaian kita, maka yang bertindak sebagai zat padat adalah kain baju kita, sedangkan yang menjadi zat cairnya adalah air yang berada dalam pakaian tersebut.

#### 2.2. Pompa Kalor

Pompa kalor (*heat pump*) adalah suatu perangkat yang mentransfer panas dari media suhu rendah ke suhu tinggi. Sebagian besar teknologi pompa kalor memindahkan panas dari sumber panas

yang bertemperatur rendah ke lokasi bertemperatur lebih tinggi. Contoh yang paling umum adalah lemari es, *freezer*, pendingin ruangan, dan sebagainya.

Pompa kalor merupakan perangkat yang sama dengan mesin pendingin (*Refrigerator*), perbedaannya hanya pada tujuan akhirnya. Mesin pendingin bertujuan menjaga ruangan pada suhu rendah (dingin) dengan membuang panas dari ruangan. Sedangkan pompa kalor bertujuan menjaga ruangan berada pada suhu yang tinggi (panas). Hal ini diilustrasikan seperti pada gambar 2.1.



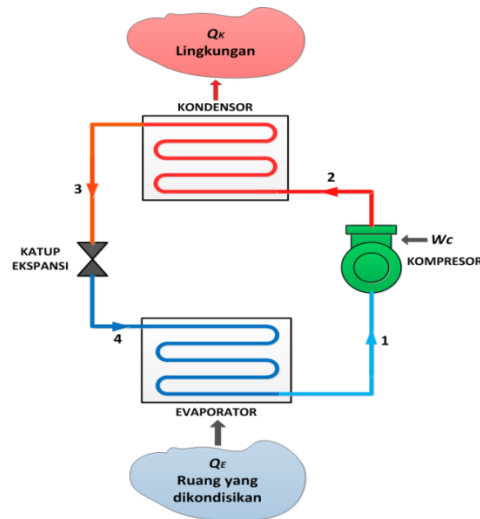
**Gambar 2.1** Refrigerator dan pompa kalor (*heat pump*)<sup>[1]</sup>.

Pompa kalor memanfaatkan sifat fisik dari penguapan dan pengembunan dari suatu fluida kerja yang disebut dengan *refrigeran*. Pada aplikasi sistem pemanas, ventilasi, dan pendingin ruangan, pompa kalor merujuk pada alat pendinginan kompresi uap yang mencakup saluran pembalik dan penukar panas sehingga arah aliran panas dapat dibalik. Secara umum, pompa kalor mengambil panas dari udara atau dari permukaan. Beberapa jenis pompa kalor dengan sumber panas udara tidak bekerja dengan baik setelah temperatur jatuh di bawah  $-5^{\circ}\text{C}/23^{\circ}\text{F}$ <sup>[2]</sup>.

### 2.3. Siklus Kompresi Uap (SKU)

Siklus Kompresi Uap (SKU) adalah siklus termodinamika yang digunakan untuk memindahkan panas dari medium yang bertemperatur rendah ke medium yang bertemperatur lebih tinggi. Fluida kerja yang mengalir selama siklus disebut fluida kerja atau refrigeran. Pada SKU, selama siklus, refrigeran mengalami perubahan fasa, yaitu menjadi uap (*evaporation*) dan menjadi cair (*condensation*). Berdasarkan proses perubahan fasa inilah, maka pada SKU kita kenal beberapa komponen seperti evaporator dan kondensor.

Sistem kompresi uap mempunyai 4 komponen utama, yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi (*Throttling Device*) dan evaporator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Keempat komponen tersebut melakukan proses yang saling berhubungan dan membentuk siklus refrigerasi kompresi uap.

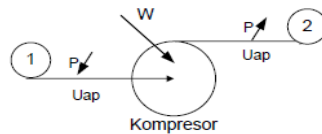


**Gambar 2.2** Siklus Kompresi Uap

Proses yang terjadi pada Siklus Refrigerasi Kompresi Uap adalah sebagai berikut :

### 2.2.1 Proses Kompresi (1 – 2)

Proses ini berlangsung di kompresor secara isentropik adiabatik. Kondisi awal refrigeran pada saat masuk di kompresor adalah uap jenuh bertekanan rendah, setelah di kompresi refrigeran menjadi uap bertekanan tinggi.

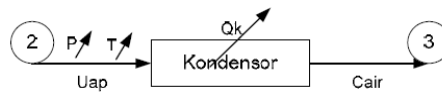


**Gambar 2.2a.** Proses kerja Kompresi

$$W_c = \dot{m} q_w = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

### 2.2.2 Proses Kondensasi (2 – 3)

Proses ini berlangsung di kondensor, refrigeran yang bertekanan dan temperatur tinggi keluar dari kompresor membuang kalor sehingga fasanya berubah menjadi cair.



**Gambar 2.2b.** Proses Kerja Kondensasi

$$Q_k = \dot{m} q_c = \dot{m} (h_2 - h_3)$$

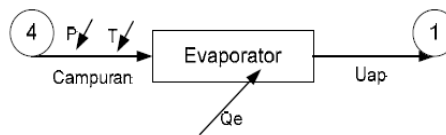
### 2.2.3 Proses Ekspansi (3 – 4)

Proses ini berlangsung secara isoentalpi, hal ini berarti tidak terjadi penambahan entalpi tetapi terjadi drop tekanan dan penurunan temperatur. Proses penurunan tekanan terjadi pada katup ekspansi yang berbentuk pipa kapiler yang berfungsi mengatur laju aliran refrigeran dan menurunkan tekanan.

$$h_3 = h_4$$

### 2.2.4 Proses Evaporasi (4 – 1)

Proses ini berlangsung di evaporator secara isobar isothermal. Refrigeran dalam wujud cair bertekanan rendah menyerap kalor dari lingkungan atau media yang di dinginkan sehingga wujudnya berubah menjadi gas bertekanan rendah.

**Gambar 2.2c.** Proses Kerja Evaporasi

$$Q_e = \dot{m} q_e = \dot{m} (h_1 - h_4)$$

## 2.4. Performansi Siklus Kompresi Uap

Ada beberapa parameter yang dapat digunakan untuk menentukan performansi sebuah siklus kompresi uap. Parameter ini antara lain :

### a. Koefisien Performansi (COP)

Kinerja dari pompa kalor dinyatakan dalam COP yang didefinisikan sebagai perbandingan antara kalor yang dilepaskan oleh kondensor dengan kerja yang dibutuhkan untuk menggerakkan kompressor.

$$COP = \frac{Q_e}{W_c}$$

### b. Faktor Prestasi (FP)

Sebuah SKU dapat dimanfaatkan sebagai sumber panas, dengan memanfaatkan panas buangan kondensor. Jika hal ini yang terjadi, maka performansinya dinyatakan dengan Faktor Prestasi (FP) yang didefinisikan sebagai laju pelepasan kalor di kondensor dibagi dengan kerja kompressor.

$$FP = \frac{Q_k}{W_c}$$

### c. Total Performance (TP)

Sebuah sistem kompresi uap dengan memanfaatkan evaporator dan kondensor sekaligus disebut sistem kompresi uap hybrid. Kinerja dari sebuah sistem kompresi uap hybrid dinyatakan dengan Total Performance (TP) yang dirumuskan dengan :

$$TP = \frac{Q_e + Q_k}{W_c}$$

## 2.5. Laju Pengeringan

Laju pengeringan (*drying rate*; kg/jam) adalah banyaknya air yang diuapkan tiap satuan waktu atau penurunan kadar air bahan dalam satuan waktu. Penurunan kadar air produk selama proses pengeringan dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$\dot{m}_d = \frac{W_o - W_f}{t}$$

Dimana :

$W_o$  = Berat pakaian sebelum pengeringan (kg)

$W_f$  = Berat pakaian setelah pengeringan (kg)

$t$  = Waktu pengeringan (jam)

Laju pengeringan biasanya meningkat di awal pengeringan kemudian konstan dan selanjutnya semakin menurun seiring berjalannya waktu dan berkurangnya kandungan air pada bahan yang dikeringkan. Laju pengeringan merupakan jumlah kandungan air bahan yang diuapkan tiap satuan berat kering bahan dan tiap satuan waktu.

## 2.6. Periode Laju Pengeringan

Periode laju pengeringan menurun meliputi dua proses, yaitu : perpindahan dari dalam ke permukaan dan perpindahan uap air dari permukaan bahan ke udara sekitarnya.

## 2.7. Kadar Air

Kadar air merupakan salah satu sifat fisik dari bahan yang menunjukkan banyaknya air yang terkandung di dalam bahan. Kadar air biasanya dinyatakan dengan persentase berat air terhadap bahan

basah atau dalam gram air untuk setiap 100 gram bahan yang disebut dengan kadar air basis basah (bb). Berat bahan kering atau padatan adalah berat bahan setelah mengalami pemanasan beberapa

waktu tertentu sehingga beratnya tetap atau konstan.

### **2.8. Moisture Ratio (Rasio Kelembaban)**

Sama halnya dengan laju kadar air, rasio kelembaban juga mengalami penurunan selama proses pengeringan. Kenaikan suhu udara pengeringan mengurangi waktu yang diperlukan untuk mencapai setiap tingkat rasio kelembaban sejak proses transfer panas dalam ruang pengeringan meningkat. Sedangkan, pada suhu tinggi, perpindahan panas dan massa juga meningkat dan kadar air bahan akan semakin berkurang.

### **2.9. Refrigeran**

Refrigeran adalah fluida kerja utama pada suatu siklus refrigerasi yang bertugas menyerap panas pada temperatur dan tekanan rendah dan membuang panas pada temperatur dan tekanan tinggi. Umumnya refrigeran mengalami perubahan fasa dalam satu siklus.

#### **1. Pengelompokan Refrigeran**

Refrigeran dirancang untuk ditempatkan didalam siklus tertutup atau tidak bercampur dengan udara luar. Tetapi, jika ada kebocoran karena sesuatu hal yang tidak diinginkan, maka refrigeran akan keluar dari sistem dan bisa saja terhirup manusia. Untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan maka refrigeran harus dikategorikan aman atau tidak aman. Ada dua faktor yang digunakan untuk mengklasifikasikan refrigeran berdasarkan keamanan, yaitu bersifat racun (*toxicity*) dan bersifat mudah terbakar (*flammability*).

Refrigeran ini akan terbakar jika konsentrasinya kurang dari 0,1 kg kg/m<sup>3</sup> atau kalor pembakarannya lebih dari 19 MJ/kg. Berdasarkan definisi ini, sesuai standard 34-1997, refrigerans diklasifikasikan menjadi 6 kategori<sup>[5]</sup>, yaitu:

1. A1: Sifat racun rendah dan tidak terbakar
2. A2: Sifat racun rendah dan sifat terbakar rendah
3. A3: Sifat racun rendah dan mudah terbakar
4. B1: Sifat racun lebih tinggi dan tidak terbakar
5. B2: Sifat racun lebih tinggi dan sifat terbakar rendah
6. B3: Sifat racun lebih tinggi dan mudah terbakar.

Berikut tabel pembagian refrigeran

**Tabel 2. 3.** Pembagian Refrigeran berdasarkan keamanan<sup>[4]</sup>.

R Refrigeran number	C Chemical Formula	Safety group	
		Old	New
10	CCl <sub>4</sub>	2	B1
11	CCl <sub>3</sub> F	1	A1
12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	1	A1
13	CClF <sub>3</sub>	1	A1
13B1	CBrF <sub>3</sub>	1	A1
14	CF <sub>4</sub>	1	A1
21	CHCl <sub>2</sub> F	2	B1
22	CHClF <sub>2</sub>	1	A1
23	CHF <sub>3</sub>		A1
30	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	2	B2
32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>		A2
40	CH <sub>3</sub> Cl	2	B2
50	CH <sub>4</sub>	3a	A3
113	CCl <sub>2</sub> - FCClF <sub>2</sub>	1	A1
114	CClF <sub>2</sub> - CClF <sub>2</sub>	1	A1
115	CClF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	1	A1
116	CF <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>		A1
123	CHCl <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>		B1
124	CHClF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>		A1
125	CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>		A1
134a	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F		A1
142b	CClF <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	3b	A2
143a	CF <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>		A2
152a	CHF <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	3b	A2
170	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	3a	A3
218	CF <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> - CF <sub>3</sub>		A1

## 2. Persyaratan Refrigeran

Beberapa persyaratan dari penggunaan refrigeran adalah sebagai berikut:

### a. Tekanan Evaporasi dan Tekanan Kondensasi

Tekanan evaporasi refrigeran sebaiknya lebih tinggi dari atmosfer. Hal ini menjaga agar udara luar tidak masuk ke siklus jika terjadi kebocoran minor. Tekanan kondensasi refrigeran sebaiknya tidak terlalu tinggi. Tekanan yang tinggi pada kondensor akan membuat kerja kompresor lebih tinggi dan kondensor harus dirancang untuk tahan pada tekanan tinggi, hal ini akan menambah biaya.

### b. Sifat ketercampuran dengan pelumas (*oil miscibility*)

Refrigeran yang baik jika dapat bercampur dengan oli dan membantu melumasi kompresor. Oli sebaiknya kembali ke kompresor dari kondensor, evaporator, dan part lainnya. Refrigeran yang tidak baik justru melemahkan sifat pelumas dan membentuk semacam lapisan kerak yang melemahkan laju perpindahan panas. Sifat seperti ini harus dihindari.

**c. Tidak mudah bereaksi (*Inertness*)**

Refrigeran yang bersifat inert tidak bereaksi dengan material lainnya untuk menghindari korosi, erosi, dan kerusakan lainnya.

**d. Mudah dideteksi kebocorannya (*Leakage Detection*)**

Kebocoran refrigeran sebaiknya mudah di deteksi, jika tidak akan mengurangi performansinya. Umumnya refrigeran tidak berwarna (*colorless*) dan tidak berbau (*odorless*). Metode deteksi kebocoran refrigeran:

- Halide torch*, jika udara mengalir di atas permukaan tembaga yang dipanasi dengan api methyl alcohol, uap dari refrigeran akan berdekomposisi dan mengubah warna api. Lidah api menjadi hijau pada kebocoran kecil, dan mengecil dan kemerahan pada kebocoran besar.
- Electronic detector*, caranya dengan melepaskan arus pada ionisasi refrigeran yang telah terdekomposisi. Tetapi tidak dapat digunakan untuk jika udara mengandung zat yang mudah terbakar.
- Bubble method*, campuran sabun yang mudah menggelembung dioleskan pada bagian yang diduga bocor. Jika terjadi gelembung, berarti terjadi kebocoran.
- ODP, singkatan dari *Ozone Depletion Potential*, potensi penipisan lapisan ozon. Faktor yang dijadikan pembanding adalah kemampuan CFC-11 (R-11) merusak lapisan ozon. Jika suatu refrigeran X mempunyai 6 ODP, artinya refrigeran itu mempunyai kemampuan 6 kali R-11 dalam merusak ozon.

**Tabel 2.4** Nilai ODP beberapa refrigeran<sup>[4]</sup>.

Refrigeran	Chemical Formula	ODP Value
CFC-11	$\text{CCl}_3\text{F}$	1.0
CFC-12	$\text{CCl}_2\text{F}_2$	1.0
CFC-13B1	$\text{CBrF}_3$	0
CFC-113	$\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$	0.8
CFC-114	$\text{CClF}_2\text{CClF}_2$	1.0
CFC-115	$\text{CClF}_2\text{CF}_3$	0.6
C/HFC-500	FC-12(73.8%)/HFC-152a(26.2%)	0.74
FC/HFC-502	CFC-22(48.8%)/CFC-115(51.2%)	0.33
HCFC-22	$\text{CHClF}_2$	0.05
HCFC-123	$\text{CHCl}_2\text{CF}_3$	0.02
HCFC-124	$\text{CHClCF}_3$	0.02
HCFC-142b	$\text{CH}_3\text{CClF}_2$	0.06
HCFC-125	$\text{CHF}_2\text{CF}_3$	0
HFC-134a	$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$	0
HFC-152a	$\text{CH}_3\text{CHF}_2$	0

- GWP adalah global warming potential, ada dua jenis angka (indeks) yang biasa digunakan untuk menyatakan potensi peningkatan suhu bumi. Pertama HGWP (*halocarbon global warming potential*) yaitu perbandingan potensi pemanasan global suatu refrigeran dibandingkan dengan R-11. GWP yang menggunakan  $\text{CO}_2$  sebagai acuan. Sebagai contoh perhitungan 1 lb R-22 mempunyai efek pemanasan global yang sama dengan 4100 lb gas  $\text{CO}_2$  pada 20 tahun pertama dilepas ke atmosfer. Dan turun menjadi 1500 lb  $\text{CO}_2$  setelah 100 tahun.



### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Pendingin Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara dan direncanakan dilaksanakan selama 9 bulan seperti yang ditunjukkan dalam tabel dibawah.

**Tabel 3.1** Jadwal pelaksanaan penelitian

No.	Uraian Kegiatan	Tahun 2013 – 2014									
		Jun	Jul	Agus	Sep	Okt	Nop	Des	Jan	Feb	
1.	Studi literatur										
2.	Penyusunan proposal										
3.	Survey Laundry										
4.	Asembling Alat										
5.	Pengujian alat dan pengumpulan data										
6.	Analisis data dan Penulisan laporan Skripsi										
7.	Seminar hasil										
8.	Perbaikan										
9.	Ujian Sidang										

#### 3.2. Bahan dan Alat

##### 3.2.1 Bahan.

1. Pakaian
2. Pompa Kalor (*Heat Pump*)



**Gambar 3.1** Rancangan Mesin Pengering Pompa Kalor.

##### 3.2.2 Alat

Peralatan yang digunakan untuk mengukur variabel-variabel penelitian, antara lain:

1. *Load Cell*
2. *Rh (Relative Humidity) Meter*
3. *Anemometer*
4. *Pressure Gauge*

#### 3.3 Data Penelitian

Adapun data yang direncanakan akan dikumpulkan dan selanjutnya dilakukan analisis dalam penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut :

1. Massa Pakaian ( $M$ )  
Massa dari pakaian diukur pada saat keadaan kering ( $M_k$ ) dan pada saat keadaan basah ( $M_b$ ).
2. Waktu pengeringan ( $t$ )  
Waktu pengeringan yang dibutuhkan untuk mengeringkan pakaian yaitu pada saat basah sampai pada saat keadaan kering (berat basah sampai berat kering).



3. Temperatur (T)  
Temperatur yang diukur adalah temperatur udara pada saat masuk ke evaporator ( $T_1$ ), keluar evaporator ( $T_2$ ), ruang pengeringan ( $T_3$ ) dan keluar ruang pengeringan ( $T_4$ ).
4. Kelembaban udara (Rh)  
Kelembaban udara yang diukur pada titik saat masuk ke evaporator ( $Rh_1$ ), keluar evaporator ( $Rh_2$ ), ruang pengeringan ( $Rh_3$ ) dan keluar ruang pengeringan ( $Rh_4$ ).
5. Kecepatan aliran udara (V)  
Udara yang mengalir didalam saluran aliran diukur kecepatannya.
6. Tekanan (P)  
Refrigeran yang masuk ke dalam kompresor ( $P_1$ ), keluar kompresor ( $P_2$ ) dan masuk ke dalam evaporator ( $P_3$ ) diukur tekanannya.

### 3.4 Metode Pelaksanaan Penelitian

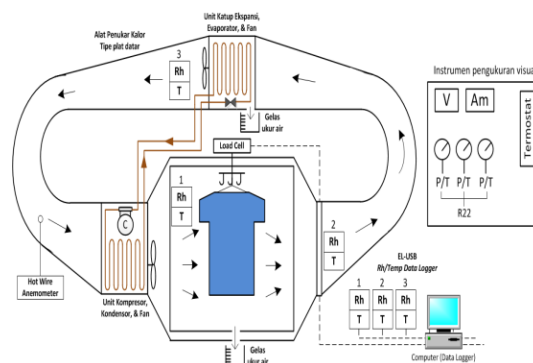
Metode pelaksanaan dilakukan dengan studi literatur yang berkaitan dengan karakteristik laju pegeringan, kemudian dilakukan survey ke beberapa tempat jasa laundry dan instansi yang menggunakan mesin pegering pakaian. Selanjutnya dilakukan pembuatan model fisik alat pegering. Setelah itu, dilakukan instalasi dan pengujian mesin pegering untuk kemudian diambil data untuk dialoah dan dianalisa.

Mesin pegering ini terdiri dari seperangkat alat ukur dan beberapa peralatan pendukung. Mesin pegering beroperasi menggunakan siklus kompresi uap yang terdiri dari unit evaporator, kompresor, katup ekspansi dan kondensor.

## 4. HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN

Dari tabel pengujian I (Speed I) bahan 1 pcs kemeja pada mesin pegering diperoleh data sebagai berikut :

- Temperatur  $T_1 = 8,3$  °C refrigeran masuk kompresor
- Temperatur  $T_2 = 58$  °C refrigeran keluar kompresor
- Temperatur  $T_3 = 53,5$  °C refrigeran keluar kondensor



**Gambar 4.1** Skema rancangan bangun mesin pengering pakaian.

Selanjutnya untuk memperoleh harga tekanan pada tiap titik dapat dicari dengan menggunakan tabel uap saturasi R-22 maka diperoleh :

Kondisi tiap titik pada R-22 kondisi kerja mesin AC Samsung.

Titik 1 :  $T_1 = 8,3$  °C

$$P_1 = 0,647105 \text{ MPa}$$

$$h_1 = 407,769 \text{ kJ/kg}$$

$$S_1 = 1,7382 \text{ kJ/kg.K}$$

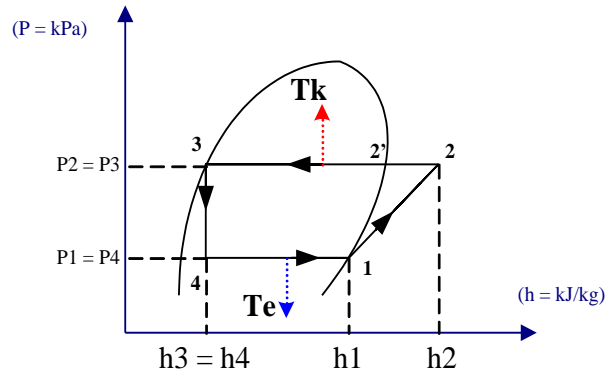
Titik 2 :  $T_2 = 58$  °C

$$P_2 = 2,32656 \text{ Mpa} = 2,3 \text{ MPa (Dari spesifikasi Mesin AC)}$$

$$h_2 = 439,076 \text{ kJ/kg}$$

- $S_2 = 1,49316 \text{ kJ/kg.K}$   
 Titik 2' :  $h_2' = 417,1792 \text{ kJ/kg}$   
 $S_2' = 1,7306 \text{ kJ/kg.K}$  ( $S_1 = S_2$ )  
 Titik 3 :  $T_3 = 53,5^\circ\text{C}$   
 $P_3 = 2,1055 \text{ Mpa}$   
 $h_3 = 268,198 \text{ kJ/kg}$   
 Titik 4 :  $T_4 = T_1$  dan  $P_1 = P_4$   
 $h_4 = h_3$  (disenthalphy)

Dari data hasil pengujian maka dapat dianalisa kondisi kerja mesin tersebut dengan menggunakan diagram Mollier, seperti terlihat pada gambar berikut ini :



Gambar 4.2 P-h Diagram

#### 4.2.1. Perhitungan Performansi Siklus Kompresi Uap

##### A. Daya Kompresor

$$\begin{aligned}
 W_c &= V \times I \times \cos \varphi \\
 &= 200 \times 5,1 \times 0,8 \\
 &= 816 \text{ VA (816 Watt)} \\
 &= 0,816 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

##### ▪ Laju aliran massa refrigeran

$$\begin{aligned}
 W_c &= \dot{m} (h_2 - h_1) \\
 0,816 \text{ kW} &= \dot{m} (439,076 \text{ kJ/kg} - 407,769 \text{ kJ/kg}) \\
 \dot{m} &= 0,0261 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

##### B. Kalor yang dikeluarkan Kondensor ( $Q_K$ )

$$\begin{aligned}
 Q_K &= \dot{m} (h_2 - h_3) \\
 Q_K &= 0,0261 \times (439,076 \text{ kJ/kg} - 268,198 \text{ kJ/kg}) \\
 Q_K &= 4,45 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

##### C. Kalor Evaporator ( $Q_e$ )

$$\begin{aligned}
 Q_e &= \dot{m} (h_1 - h_4) \\
 Q_e &= 0,0261 \times (407,769 \text{ kJ/kg} - 268,198 \text{ kJ/kg}) \\
 Q_e &= 3,64 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

##### D. COP (Coefficient Of Performance)

COP diperlukan untuk menyatakan performansi unjuk kerja dari siklus refrigerasi.

$$\begin{aligned}
 \text{COP} &= \frac{Q_e}{W_c} \\
 \text{COP} &= 3,64 / 0,816 \\
 \text{COP} &= 4,46
 \end{aligned}$$

##### E. FP (Faktor Prestasi)

Untuk mengetahui perbandingan jumlah kalor yang dilepaskan kondensor dengan kerja kompresor.

$$FP = \frac{QK}{W_c}$$

$$FP = \frac{4,45}{0,816}$$

$$FP = 5,45$$

#### F.TP (Total Performance)

Menunjukkan performansi atau kinerja dari sebuah sistem kompresi uap.

$$TP = \frac{Q_e + Q_K}{W_c}$$

$$TP = \frac{(3,64+4,45)}{0,816} = 9,91$$

#### 4.2.2. Kinerja Pengeringan Pakaian

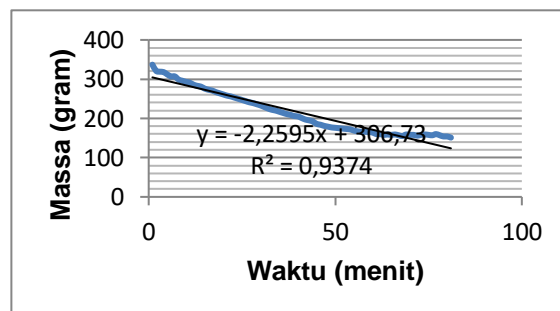
Pengeringan pada tahap awal percobaan dilakukan terhadap sebuah pakaian jenis kemeja. Berikut contoh perhitungan laju pengeringan berdasarkan dari data pakaian tersebut :

- Massa pakaian basah,  $W_o$  = 337 gram
- Massa pakaian kering,  $W_f$  = 125 gram
- Waktu pengeringan,  $t$  = 96 menit

Sehingga laju pengeringan (*drying rate*) dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \dot{m}_d &= \frac{337 - 125}{96} \\ &= \frac{337 - 125}{96} = 2,21 \text{ gr/menit} \\ &= 0,13 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Berikut grafik perbandingan antara massa pakaian dan waktu lama pengeringan pada pengujian yang dilakukan terhadap bahan 1 pcs kemeja.

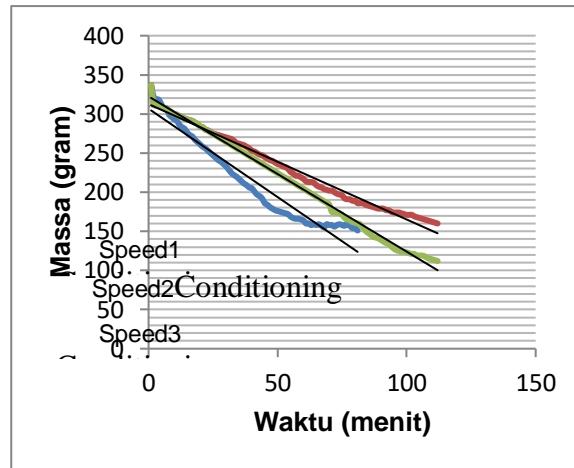


Gambar 4.3 Grafik laju pengeringan pakaian

Dari grafik perbandingan massa dan waktu pengeringan kemeja, kita dapat melihat laju pengeringan yang menurun. Hal ini dikarenakan massa pakaian basah mengalami perpindahan panas akibat buangan secara simultan dari kondensor atau sistem pompa kalor untuk menguapkan

kandungan air, penurunan selama pengujian mengakibatkan berkurangnya massa dari material. Semakin lama waktu proses pengeringan maka akan semakin rendah massa yang dikeringkan.

Selanjutnya untuk variasi kecepatan akan ditunjukkan pada grafik dibawah ini.



**Gambar 4.4 Grafik laju pengeringan pakaian dengan variasi kecepatan**

Dari grafik terlihat bahwa semakin tinggi kecepatan pengeringan maka penurunan kadar airnya semakin cepat dan laju semakin meningkat.

#### 4.2.3. Moisture Ratio Pakaian

Karakteristik pengeringan pakaian dapat ditampilkan dalam bentuk kurva penurunan *moisture ratio* (MR) pakaian terhadap waktu pengeringan. *Moisture ratio* ini didapat dengan membandingkan selisih massa spesimen dengan massa spesimen pada batas kering, dengan selisih massa spesimen awal dengan massa spesimen pada batas kering.

$$MR = \frac{m - m_k}{m_0 - m_k}$$

Dimana :

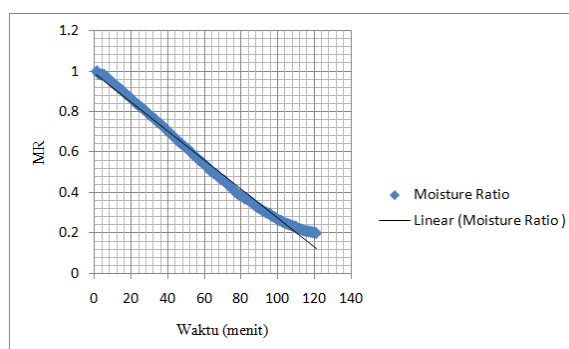
$MR$  = Moisture Ratio

$m$  = massa spesimen pada saat pengeringan

$m_k$  = massa akhir spesimen pada batas pengeringan

$m_0$  = massa awal spesimen

Dari hasil pengujian sampel pengeringan 1 pcs celana jeans yang telah dilakukan dapat ditampilkan kurva pengurangan kadar air (MR) terhadap waktu seperti pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4.5 Grafik Moisture Ratio (MR) sampel 1 pcs celana jeans**

## 5. KESIMPULAN

1. Berdasarkan data pengujian didapat hasil performansi COP sebesar 4,46, berarti untuk 1 kWh listrik digunakan untuk menggerakkan pompa kalor dihasilkan 4,46 kWh panas yang dimanfaatkan untuk proses pengeringan pakaian.
2. Laju pengeringan pakaian mengalami tren yang menurun setelah laju pengeringan kontsan, hal ini disebabkan kadar air yang semakin berkurang.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Cengel, A., Yunus, Boles, A., Michael, 1989. *Thermodynamics An engineering Approach*, Third Edition, WCB/ McGraw-Hill, United States of America.
2. M.J. Moran dan H.N Shapiro, 2006. *Fundamental of Engineering Thermodynamics*, Edisi 5, John Wiley & Sons Inc.
3. S.K. Wang, 2000. *Handbook of Air Conditioning and Refrigeran*, Edisi 2, McGraw-Hill.
4. ASHARAE, *ASHRAE Handbook 1997, Fundamentals, Atlanta, GA, 1998*.
5. Wilbert F.Stoecker, Jerold W.Jones, Supratman Hara, 1989. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Jakarta, Penerbit Erlangga.
6. Holman, J. P, 1986. *Perpindahan Kalor*, Edisi Enam, Jakarta, Penerbit Erlangga.