

**MODUL PRAKTIKUM**

# **Termodinamika Teknik**



**Disusun Oleh:**

**MUHAMMAD NADJIB, S.T., M.Eng.  
TITO HADJI AGUNG S., S.T., M.T.**

**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA  
2016**

## HALAMAN PENGESAHAN

Jenis Buku Ajar	: Modul Praktikum
Mata Kuliah	: Termodinamika Teknik
Materi	: 1. Mesin <i>Freezer</i> 2. <i>Air Conditioning Unit</i> 3. Kompresor 4. <i>Heat Pump</i>
Semester	: III
Penyusun	: 1. Muhammad Nadjib, S.T., M.Eng. 2. Tito Hadji Agung S., S.T., M.T.
Program Studi	: S-1 Teknik Mesin

Yogyakarta, 31 Agustus 2016

Ketua Program Studi  
S-1 Teknik Mesin FT UMY



Novi Caroko, S.T., M.Eng.  
NIP: 197911132005011001

## KATA PENGANTAR

Assalaamu'alaikum Wr. Wb.

Termodinamika Teknik adalah mata kuliah yang mempelajari tentang energi dan aplikasi pemanfaatan energi. Mata kuliah ini merupakan lanjutan dari mata kuliah Termodinamika Dasar yang dilaksanakan pada semester sebelumnya. Pada mata kuliah Termodinamika Teknik, selain teori juga diberikan sejumlah praktikum tentang aplikasinya.

Teori yang dibahas pada mata kuliah Termodinamika Teknik meliputi Siklus Daya Gas (Mesin Bensin, Mesin Diesel dan Turbin Gas), Siklus Daya Uap & Siklus Gabungan (PLTU dan PLTGU), Siklus Refrigerasi (Refrigerator dan Pompa Kalor), Hukum-Hukum Campuran Gas; Hukum-Hukum Campuran Gas - Uap Air & Pengkondisian Udara (AC); dan Reaksi Pembakaran.

Materi yang diberikan sebagai praktikum meliputi : Mesin Pembeku (*Freezer*), Alat Uji Kompresor, Mesin Pengkondisian Udara dan Pompa Kalor. Materi praktikum yang lainnya akan dilaksanakan di mata kuliah Teknik Konversi Energi.

Dengan melakukan praktikum Termodinamika Teknik ini, mahasiswa diharapkan dapat memahami aplikasi-aplikasi dari Termodinamika dan cara-cara analisis termalnya. Akhir kata, semoga modul praktikum Termodinamika Teknik ini dapat membantu mahasiswa dalam memahami & mengembangkan wawasan teknik.

Wassalaamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Juli 2016

Penyusun

## **TATA TERTIB**

### **PRAKTIKUM TERMODINAMIKA TEKNIK**

Para mahasiswa peserta praktikum Termodinamika Teknik Program Studi S-1 Teknik Mesin FT UMY harus mentaati peraturan-peraturan sebagai berikut:

1. Sebelum memulai praktikum mahasiswa harus mempelajari buku panduan terlebih dahulu dengan cermat.
2. Harus tunduk pada peraturan-peraturan yang berlaku: disiplin, jujur, dan tidak meninggalkan laboratorium selama praktikum berlangsung serta mengikuti arahan Dosen Pengawas/Asisten.
3. Setiap kali praktikum, mahasiswa diwajibkan mengisi dan menandatangani daftar presensi. Jika berhalangan hadir, mahasiswa harus memberikan keterangan tertulis disertai alasan-alasan yang benar dan diserahkan kepada Dosen Pengawas/Asisten.
4. Mahasiswa diwajibkan mengenakan pakaian yang rapi dan sopan. Mahasiswa **tidak diperbolehkan memakai sandal**.
5. **Saat praktikum berlangsung, mahasiswa dilarang mengubah-ubah tombol atau posisi alat** kecuali yang harus diubah sebagaimana ada di dalam panduan ini.
6. Tas dan atau map mahasiswa harap diletakkan di almari tas.
7. Setelah praktikum selesai, mahasiswa wajib menyerahkan laporan sementara berupa lembar pengamatan yang ditandatangani Dosen Pengawas/Asisten.
8. Mahasiswa hendaknya mengedepankan kejujuran dalam melakukan praktikum, baik berupa administrasi, pelaksanaan, hasil pengujian, pembuatan laporan dan responsi.

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN MUKA.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
TATA TERTIB.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
MODUL 1. MESIN PEMBEKU ( <i>FREEZER</i> ).....	1
MODUL 2. ALAT UJI KOMPRESOR.....	12
MODUL 3. MESIN PENGKONDISIAN UDARA.....	20
MODUL 4. POMPA KALOR.....	42

## **MODUL 1**

### **MESIN PEMBEKU (*FREEZER*)**

#### **1.1. TUJUAN**

Percobaan ini bertujuan mengenalkan mahasiswa tentang mesin pembeku (*freezer*) yang banyak dipakai pada rumah tangga (domestik). Pada akhir percobaan, mahasiswa mampu menjelaskan fungsi komponen-komponen dan mekanisme mesin pembeku. Selain itu mahasiswa mampu mengevaluasi unjuk kerja termal mesin.

#### **1.2. TEORI**

Mesin yang mampu menghasilkan efek dingin disebut mesin refrigerasi. Salah satu aplikasi mesin refrigerasi adalah mesin pembeku atau lebih dikenal dengan sebutan *freezer*. Pada mesin ini dihasilkan temperatur udara ruangan  $\pm 0$  °C. Biasanya ruangan dipakai untuk menyimpan bahan makanan dan minuman. Bahan ini dimasukkan ke ruangan dengan tujuan utama mengawetkan sekaligus untuk mendapatkan kesegaran. Bahan-bahan itu misalnya daging, sayuran, buah-buahan dan air. Pada bahan-bahan itu terdapat substansi enzim, mikroorganisme, koloid dan air. Apabila temperatur penyimpanannya tidak dikondisikan menyebabkan cepat rusak. Khusus untuk air biasanya dibuat es yang dimanfaatkan sebagai penyegar minuman/makanan.

*Freezer* domestik mempunyai tiga komponen utama, yaitu kabinet, rangkaian listrik dan mesin refrigerasi. Kabinet berfungsi sebagai tempat penyimpanan bahan sekaligus menempatkan rangkaian listrik dan menyangga mesin refrigerasi. Rangkaian listrik berupa kabel beserta alat kontrol yang menggerakkan dan mengatur operasi mesin. Mesin refrigerasi adalah susunan beberapa alat yang terhubung satu sama lain oleh pipa (umumnya dari tembaga). Pada mesin refrigerasi terdapat fluida kerja yang mengalir pada tiap alat dan membentuk sebuah siklus. Fluida kerja ini sering disebut dengan refrigeran. Umumnya untuk aplikasi *freezer* dipakai refrigeran freon R-12. Namun dewasa ini lebih disukai memakai freon R-134a yang aman terhadap perusakan ozon.

## A. Mesin Refrigerasi

Mesin refrigerasi mempunyai empat komponen pokok, yaitu :

### 1. Kompresor

Alat yang digunakan untuk memampatkan uap refrigeran dari tekanan rendah

menjadi tekanan tinggi. Untuk *freezer* biasanya dipakai kompresor tipe hermetik (kedap) baik jenis resiprokating maupun rotari.

### 2. Kondenser

Alat untuk membuang kalor dari refrigeran. Dengan lepasnya kalor, lama kelamaan uap refrigeran berubah menjadi cair (mengembun). Umumnya untuk *freezer* dipakai kondenser berpendingin udara secara alamiah, tidak memakai alat mekanis (fan).

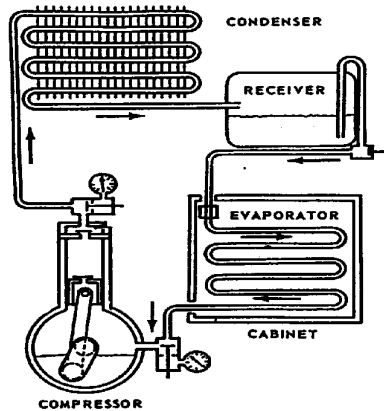
### 3. Katup ekspansi

Alat ini dipakai untuk mengekspansikan refrigeran cair dari kondenser ke evaporator. Hasil ekspansi adalah refrigeran pada kondisi campuran uap dan cair, tekanan dan temperaturnya menurun. Pada gambar 1, alat ini diwakili oleh *receiver*.

### 4. Evaporator

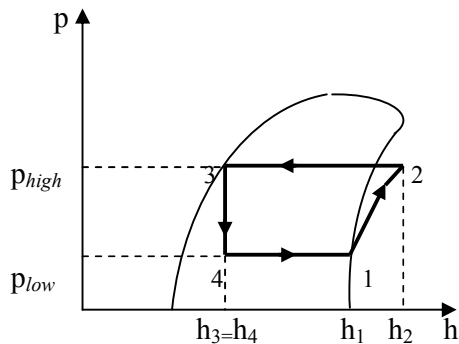
Pada evaporator, kalor yang berasal dari ruangan (kabinet) diserap oleh refrigeran dan dipakai untuk mengubah fase dari cair menjadi uap. Terserapnya kalor inilah yang menjadikan mesin refrigerasi disebut penghasil efek dingin karena ruangan berkurang jumlah kalornya.

Skema mesin pembeku yang umum adalah sebagai berikut.



Gambar 1.1 Skema mesin pembeku (*freezer*).

Perjalanan refrigeran dari komponen-komponen mesin pembeku disebut siklus refrigerasi dan dapat digambarkan pada diagram tekanan-entalpi (diagram p-h), seperti gambar 1.2.



- Proses-proses siklus refrigerasi adalah:
- kompresi isentropik (1-2) di kompresor
  - *desuperheating* dan kondensasi (2-3) di kondenser
  - ekspansi isentropik (3-4) di katup ekspansi
  - penguapan (4-1) di evaporator

Gambar 1.2. Siklus refrigerasi.

Pada diagram p – h, tekanan tinggi/keluar kompresor ( $p_{high}$ ) dan tekanan rendah/masuk kompresor ( $p_{low}$ ) adalah dalam tekanan absolut. Bila tekanan hasil pengukuran dalam psig (*pounds per square inch gauge*) diubah dalam tekanan absolut psia (*pounds per square inch absolute*) maka,

$$psia = psig + 14,7 \dots\dots\dots (1.1)$$

Diagram p – h untuk R 134a yang tersedia, skala tekanan absolut dalam MPa (mega Pascal). Konversi satuan dari psi ke MPa adalah :

$$1 \text{ psi} = 0,0068948 \text{ MPa}$$



## B. Karakteristik Mesin Refrigerasi

Karakteristik mesin refrigerasi dapat diketahui dengan menentukan unjuk kerja termalnya.

### 1. Daya kompresor

Daya kompresor spesifik (energi kompresi tiap satuan massa),  $w$

$$w = h_2 - h_1 \quad (\text{kJ/kg}) \quad \dots\dots\dots (1.2)$$

Daya kompresor total ( $W$ ) adalah daya kompresor spesifik dikalikan laju aliran massa refrigeran ( $m$ , kg/detik).  **$m$  dihitung berdasar persamaan (1.9).**

$$W = m \cdot w \quad (\text{kW}) \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

Daya kompresor dapat diketahui dari energi listrik yang diserap,

$$P = W = V \cdot I \quad (\text{watt}) \quad \dots\dots\dots (1.4)$$

### 2. Kalor yang dilepas kondenser

Besarnya kalor yang lepas di kondenser tiap satuan massa,  $q_k$

$$q_k = h_2 - h_3 \quad (\text{kJ/kg}) \quad \dots\dots\dots (1.5)$$

Kalor total yang dilepas,  $Q_k$

$$Q_k = m \cdot q_k \quad (\text{kW}) \quad \dots\dots\dots (1.6)$$

### 3. Dampak refrigerasi

Kalor yang diserap evaporator tiap satuan massa disebut dampak refrigerasi (DR)

$$DR = q_e = h_1 - h_4 \quad (\text{kJ/kg}) \quad \dots\dots\dots (1.7)$$

Kalor total yang diserap,  $Q_e$

$$Q_e = m \cdot q_e \quad (\text{kW}) \quad \dots\dots\dots (1.8)$$

Kalor total ini disebut beban pendinginan (*cooling load*) pada sistem refrigerasi, yaitu sejumlah kalor yang diserap dari dalam kabinet *freezer*.

### 4. Laju aliran massa

Besaran ini adalah laju aliran refrigeran dalam siklus refrigerasi,

$$m = Q_e / q_e \quad (\text{kg/detik}) \dots\dots\dots (1.9)$$

5. Koefisien Prestasi

Prestasi mesin refrigerasi sering dinyatakan dalam COP (*Coefficient of Performance*), yaitu perbandingan antara kalor yang diserap sistem dan energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan sistem. Harga COP,

$$\text{COP} = q_e/w \quad \dots\dots\dots (1.10)$$

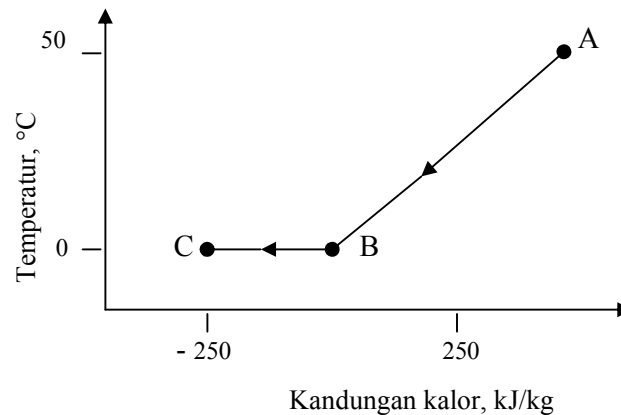
Keterangan :

- $h_1$  = entalpi refrigeran awal kompresi, kJ/kg
- $h_2$  = entalpi refrigeran akhir kompresi, kJ/kg
- $h_3$  = entalpi refrigeran keluar kondenser, kJ/kg
- $h_4$  = entalpi refrigeran masuk evaporator, kJ/kg
- V = tegangan listrik, volt
- I = arus listrik, amper

Entalpi refrigeran dicari dari diagram p-h untuk refrigeran R134a. Entalpi  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  dan  $h_4$  dapat dicari apabila tekanan dan temperatur titik-titik tersebut diketahui.

**C. Beban Pendinginan Pembuatan Es**

Pada pembuatan es, dikenal dua macam proses pelepasan kalor yaitu kalor sensibel dan kalor laten. Lihat gambar 1.3 di bawah ini.



Gambar 1.3. Perubahan kalor pada proses pembekuan es.

Air dengan temperatur 50 °C diturunkan menjadi temperatur 0 °C menurut garis A-B. Proses ini disebut pendinginan. Kalor yang dilepas disebut kalor sensibel karena pelepasan kalor mengakibatkan perubahan temperatur. Besarnya kalor sensibel pembekuan;

$$Q_{sf} = m \cdot c_{pa} \cdot (t_A - t_B) \quad (\text{kJ}) \dots\dots\dots (1.11)$$

$m$  adalah massa air (kg),  $c_{pa}$  adalah panas jenis spesifik air (= 4,19 kJ/kg.K) dan  $(t_A - t_B)$  adalah selisih temperatur proses A-B. Bila kalor terus dibuang setelah air mencapai 0 °C (garis B-C), akan terjadi perubahan fase dari air menjadi es. Proses ini disebut pembekuan dan kalor yang dibuang disebut kalor laten. Besarnya kalor laten pembekuan ;

$$Q_{lf} = m \cdot L_f \quad (\text{kJ}) \dots\dots\dots (1.12)$$

$L_f$  adalah kalor laten pembekuan (kJ/kg).

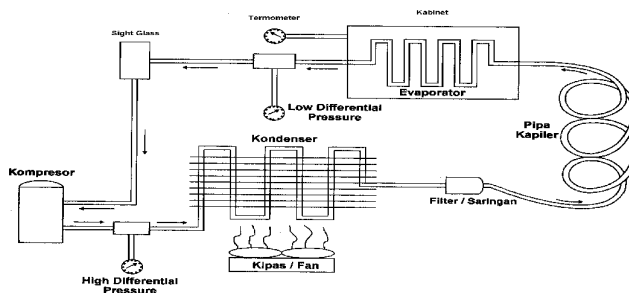
Pada proses A-B terlepas kalor sensibel sebesar  $Q_{sf}$ . Apabila proses ini terjadi dalam waktu  $t$  detik maka beban pendinginan sensibel adalah

$$Q_e = Q_{sf} / t \quad (\text{kJ/det} = \text{kW}) \dots\dots\dots (1.13)$$

Beban pendinginan ini adalah sejumlah kalor yang diserap oleh evaporator ( $Q_e$ ) seperti pada persamaan (1.8). **Apabila  $Q_e$  dan  $(h_1 - h_4)$  diketahui maka  $m$  dapat diketahui berdasarkan persamaan (1.9).**

### 1.3. ALAT DAN BAHAN PERCOBAAN

Percobaan ini menggunakan seperangkat alat dengan skema sebagai berikut :



Gambar 1.4. Skema mesin freezer.

Alat yang dipakai dalam percobaan adalah :

1. Satu unit mesin refrigerasi yang terdiri dari kompresor, kondenser, fan kondenser, filter, katup ekspansi/pipa kapiler, evaporator, kabinet (kotak penyimpan) dan *sight glass*.
2. Termometer untuk mengukur temperatur air di dalam kabinet.
3. Termostat untuk mengatur tingkat pendinginan di dalam kabin.
4. *Low differential pressure* untuk mengukur tekanan dan temperatur refrigeran sisi masuk kompresor.
5. *High differential pressure* untuk mengukur tekanan dan temperatur refrigeran sisi keluar kompresor.
6. Amperemeter dipakai untuk mengukur arus listrik yang masuk kompresor.
7. Voltmeter dipakai untuk mengukur tegangan listrik yang masuk kompresor.
8. Alat pengukur waktu untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan dalam proses pendinginan.
9. Gelas ukur dan plastik untuk menyimpan air di dalam kabinet.

Bahan percobaan yang digunakan dalam percobaan ini adalah air dan refrigeran R 134a.

#### **1.4. PROSEDUR PERCOBAAN**

Percobaan ini dilaksanakan dengan prosedur berikut :

1. Ambil air dengan gelas ukur volume 500 ml dan masukkan di dalam plastik kemudian diikat kencang.
2. Masukkan plastik berisi air ke dalam kabinet dan tutup rapat kabinet.
3. Pasang kabel utama ke stop kontak terdekat yang bertegangan listrik 220 V.
4. Periksa rangkaian panel listrik. Pastikan semuanya telah terpasang baik.
5. Periksa semua alat ukur tekanan, temperatur, arus dan tegangan dalam keadaan terpasang baik. Catat posisi jarum penunjuknya.
6. Atur saklar POWER pada posisi I (ON).
7. Putar termostat pada posisi angka 6 (*full*) untuk membuat es dalam waktu singkat.
8. Atur saklar KOMPRESOR pada posisi I (ON).

9. Atur saklar lampu 1 pada posisi I (ON). Pada posisi ini akan terlihat perjalanan refrigeran pada mesin refrigerasi.
10. Buka katup *low differential pressure* dan *high differential pressure* dengan memutar ke arah berlawanan dengan jarum jam.
11. Amati dan catat :
  - a. Tekanan refrigeran masuk dan keluar kompresor (psig).
  - b. Temperatur refrigeran masuk dan keluar kompresor ( $^{\circ}\text{C}$ ).
  - c. Temperatur air di dalam kabinet ( $^{\circ}\text{C}$ ).
  - d. Arus dan tegangan listrik pada kompresor.

Pencatatan alat ukur dilakukan setiap 5 (lima) menit dan percobaan dihentikan setelah waktu pengambilan data selama 30 menit.
12. Selama mengadakan pengamatan tidak boleh membuka pintu kabinet.
13. Bila pengamatan telah selesai, tutup kembali katup *low differential pressure* dan *high differential pressure* dengan memutar searah dengan jarum jam.
14. Matikan sistem refrigerasi dengan mengatur semua saklar pada posisi 0 (OFF) dan cabut kabel utama dari stop kontak.
15. Bila ingin menghidupkan kembali mesin refrigerasi, tunggu sampai 5 menit dari waktu mematikan.

### 1.5. TUGAS

1. Gambarkan siklus refrigerasi yang terjadi pada diagram p-h seperti gambar 1.2, **pada kondisi rata-rata selama 6 kali pengamatan**. Carilah harga  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  dan  $h_4$ !
2. Hitung laju aliran massa refrigeran, daya total yang diserap kompresor, kalor yang dibuang kondenser, dampak refrigerasi dan COP!
3. Hitung kalor sensibel selama proses pendinginan!
4. Buatlah grafik konsumsi daya listrik (dalam satuan kW) terhadap temperatur air ( $^{\circ}\text{C}$ ) selama proses pendinginan. Konsumsi daya listrik dalam aksis vertikal (ordinat) dan temperatur air dalam aksis horisontal (absis). Beri penjelasan grafik yang terjadi!

### **1.6. PERTANYAAN**

1. Jelaskan proses-proses yang terjadi pada mesin pembeku secara lengkap!
2. Semakin besar harga COP semakin baik prestasi mesin pembeku. Mengapa demikian?
3. Pada kompresor terjadi konversi energi dari energi ..... menjadi energi ..... Jelaskan jawaban Saudara!
4. Apa perbedaan kalor sensibel dan kalor laten?
5. Mengapa air di dalam kabinet dapat membeku?
6. Mengapa selama percobaan tidak boleh membuka pintu kabinet?

**LEMBAR PENGAMATAN**

Kelompok : .....

Anggota Kelompok :

	Nama	Paraf
1.	.....	.....
2.	.....	.....
3.	.....	.....
4.	.....	.....
5.	.....	.....

Tanggal Praktikum : .....

No.	Waktu Pengamatan (pukul)	Arus (A)	Tegangan (V)	Tekanan (psig)		Temperatur		Air (°C)
				<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Low</i> (°F)	<i>High</i> (°F)	
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								
6.								
			Rata-rata					

Catatan:

- Volume air dalam kabinet = ..... ml

- Konversi satuan:  $t_c = (t_f - 32)/1,8$

Dosen Pengawas/Asisten

( ..... )