

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN (BAHAN DAN METODE)**

Tahapan-tahapan pengerjaan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### **1. Tahap Persiapan Penelitian**

Pada tahapan ini akan dilakukan studi literatur dan pendalaman pemahaman terhadap konsep sistem pendingin kompresi uap yang menggunakan refrigeran hidrokarbon substitusi R-22, dan kombinasi dengan konsep *encapsulated ice thermal energy storage* untuk sistem pengkondisian udara (AC) rumah. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari buku-buku dan jurnal-jurnal penelitian terbaru yang relevan. Studi literatur ini dapat dilakukan di perpustakaan maupun melalui internet.

#### **2. Tahap Rancangan Prototipe Sistem**

Pada tahapan ini dilakukan persiapan rancangan prototipe sistem pengkondisian udara rumah kombinasi siklus kompresi uap sistem *chiller* dengan *encapsulated ice thermal energy storage*. Rancangan meliputi rancangan mesin pendingin kompresi uap (kapasitas pendinginan, daya kompresor, temperatur evaporasi, temperatur kondensasi, kapasitas tangki chiller), penggunaan *encapsulated ice thermal energy storage* (kapasitas pendinginan/jumlah *encapsulated ice*, jumlah etilen glikol dan besar tangki penyimpan TES).

#### **3. Tahap Pembuatan Prototipe Sistem**

Pada tahapan ini dilakukan pembuatan prototipe sistem yaitu sebuah *Energy Efficient Residential Air Conditioning Systems* dengan *Encapsulated Ice*

*Thermal Energy Storage* berbasis siklus pendingin kompresi uap dengan refrigeran hidrokarbon substitusi R-22 yang ramah lingkungan. Pembuatan prototipe sistem ini mengacu pada hasil tahap rancangan dan disesuaikan dengan ketersediaan komponen sistem yang ada.

#### 4. Tahap Kaji Eksperimental dan Pengumpulan Data

Pada tahapan ini dilakukan kajian eksperimental dan pengambilan data-data yang diperlukan dengan menggunakan beberapa macam alat ukur antara lain : *pressure gauge*, termometer, multimeter, stopwatch, anemometer, solarimeter. Data-data yang diambil meliputi temperatur masuk dan keluar evaporator, temperatur masuk dan keluar kondensor, laju aliran air masuk dan keluar evaporator, laju aliran udara masuk dan keluar kondensor , tekanan pada sisi masuk kompresor, tekanan pada sisi keluar kompresor, tekanan keluar kondensor dan tekanan masuk evaporator, temperatur ruang pendingin, temperatur chiller, temperatur encapsulated ice TES Tank, laju aliran air ke ruang pendingin, beberapa parameter lainnya yang dibutuhkan.

#### 5. Tahap Analisis Data

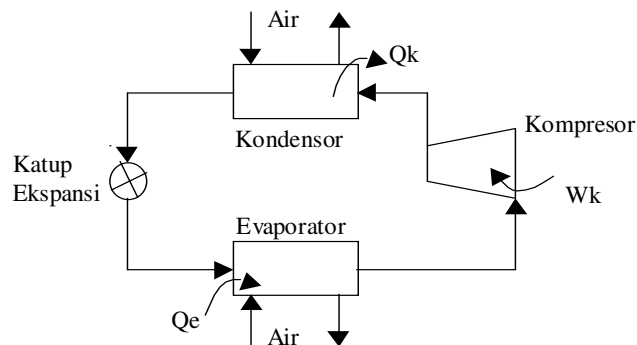
Data yang diperoleh akan ditabulasikan dan dilakukan perhitungan sesuai prinsip-prinsip termodinamika yang berlaku, selanjutnya akan diplot dalam berbagai grafik yang dapat memberikan informasi-informasi mengenai berbagai data temperatur dan tekanan yang diperoleh, berbagai data kelistrikan, dan kecepatan aliran refrigeran dan laju aliran air. Pada tahapan analisis ini diharapkan dapat diperoleh gambaran tentang sistem yaitu gambaran tentang daya pendinginan sistem dibandingkan dengan sistem konvensional, kelebihan dan kekurangan, dan kemungkinan penerapannya pada bangunan rumah.

## 6. Tahap Pernyataan Hasil dan Pembuatan Laporan

Pada tahapan ini seluruh hasil yang diperoleh dari tahapan sebelumnya dibuat dalam bentuk laporan hasil penelitian. Laporan hasil penelitian ini juga dapat dipublikasikan di jurnal-jurnal ilmiah terakreditasi, atau dipublikasikan di seminar-seminar yang relevan, sehingga dapat diperoleh masukan-masukan untuk kesempurnaan penelitian selanjutnya.

### 3.1 Peralatan Pengujian

Instalasi alat uji Mesin Pendingin Kompresi Uap Hibrida mempunyai komponen-komponen utama yaitu kompresor, kondensor, pipa kapiler, meja alat uji, pompa air sirkulasi, serta instrumen pengukuran.



**Gambar 3.1** Siklus Kompresi Uap Ideal dengan Pendingin Air

### 3.2 Alat Ukur

Alat ukur digunakan untuk mengukur besaran-besaran pada pengujian. Alat ukur yang diperlukan yaitu alat ukur tekanan, temperatur, tegangan listrik, arus listrik dipasang pada titik-titik yang perlu diuji dan diambil datanya.

### 3.2.1 Alat Ukur Temperatur

Alat ukur temperatur di pasang pada pipa saluran refrigeran, dengan tujuan agar temperatur pada masing-masing keadaan dapat diketahui.

Alat pengukur temperatur yang digunakan pada pipa saluran refrigeran adalah termokopel dengan penunjuk digital. Alat ukur temperatur juga digunakan untuk mengukur temperatur air masuk dan keluar pada kondensor dan evaporator. Selain itu juga digunakan untuk mengukur temperatur ruangan pendingin dan ruangan pemanas. Pada pengujian kali ini digunakan termometer digital.

### 3.2.2 Alat Ukur Tekanan

Alat ukur tekanan digunakan untuk mengukur tekanan yang terjadi pada masing-masing keadaan pipa saluran refrigeran. Alat ukur yang digunakan pada pengujian kali ini adalah tabung bourdon.

### 3.2.3 Alat ukur Listrik

Pengukuran daya kompresor dilakukan dengan mengetahui tegangan listrik masukan ke kompresor dan pengukuran arus listrik pada saat kompresor beroperasi. Tegangan listrik di ukur menggunakan Voltmeter dan arus listrik diukur dengan menggunakan ampermeter.

Daya kompresor dapat dihitung dengan persamaan :

$$W_k = \eta_m \times V \times I \times \cos\phi \quad (4.1)$$

dimana :  $W_k$  = daya kompresor (Watt)

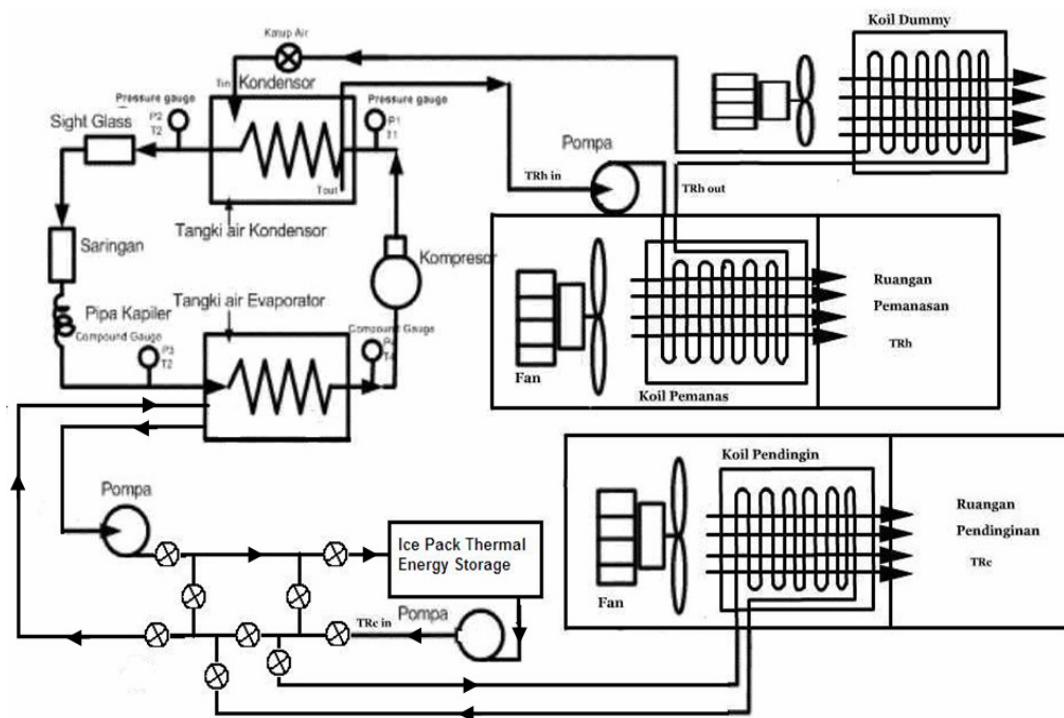
$\eta_m$  = efisiensi motor = 0,8

$\cos\phi$  = faktor daya = 0,83

$V$  = tegangan motor listrik (V)

$I$  = arus motor listrik (A)

### 3.3. Instalasi Alat Uji



**Gambar 3.2 Instalasi Alat Uji Mesin Refrigerasi Kompresi Uap Hibrida dengan Thermal Energy Storage System menggunakan Encapsulated Ice Pack**

Instalasi ini merupakan instalasi mesin refrigerasi kompresi uap hibrida yang berfungsi sebagai mesin pendingin pada lemari pendingin baik sebagai sistem pendinginan konvensional maupun sebagai Thermal Energy Ice Storage sistem dan

pompa kalor pada lemari pengering. Untuk instalasi siklus primer ( siklus refrigeran) , kompresor, sight glass, filter drier, katup ekspansi, kondensor dan evaporator ditempatkan di atas meja dudukan. Sedangkan koil pendingin, koil pemanas, pompa air sirkulasi, ditempatkan di bagian bawah meja dudukan alat.

### **3.4. Refrigeran Uji**

Refrigeran yang digunakan dalam sistem refrigerasi hibrida ini adalah refrigeran Halokarbon R-22 dan hidrokarbon jenis Hycool HCR-22. Refrigeran hidrokarbon jenis Hycool HCR-22 ini hasil produksi PT. Citra Total Buana Biru, salah satu produsen refrigeran hidrokarbon di Indonesia. Penanganan refrigeran hidrokarbon untuk digunakan sebagai refrigeran pada mesin refrigerasi harus mengikuti petunjuk baku, dalam hal ini digunakan Petunjuk Praktis Konversi dan Perbaikan Peralatan Refrigerasi dengan Menggunakan Refrigeran Hidrokarbon secara aman.

### **3.5. Pelaksanaan Pengujian Kinerja Mesin Refrigerasi Hibrida**

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian performansi mesin refrigerasi antara lain dampak pemanasan, dampak pendinginan, daya kompresi, COP, PF, TP. Pengaruh variasi laju massa air di kotak evaporator terhadap tekanan dan temperatur evaporasi dan kondensasi.

### **3.6. Variabel-Variabel Yang di Ukur**

1. Temperatur saat memasuki kompresor (T1)

2. Tekanan saat memasuki kompresor (P1)
3. Temperatur saat memasuki kondensor (T2)
4. Tekanan saat memasuki kondensor (P2)
5. Temperatur keluaran kondensor (T3)
6. Tekanan keluaran kondensor (P3)
7. Temperatur saat memasuki evaporator (T4)
8. Tekanan saat memasuki Evaporator (P4)
9. Temperatur air masuk kotak kondensor (Th in)
10. Temperatur air keluar kotak kondensor (Th out)
11. Temperatur air masuk kotak evaporator (Tc in)
12. Temperatur air keluar kotak evaporator (Tc out)
13. Temperatur air masuk ruang pemanas (Trh in)
14. Temperatur air keluar ruang pemanas (Trh out)
15. Temperatur air masuk ruang pendingin (Trc in)
16. Temperatur air keluar ruang pendingin (Trc out)
17. Temperatur ruang pemanas (Trh)
18. Temperatur ruang pendingin (Trc)

### **3.7. Pengolahan Data Hasil Pengujian**

Data yang diperoleh dari pengujian melalui pengukuran adalah berupa sifat-sifat dari refrigerant, air, dan data listrik. Sifat-sifat itu diantaranya adalah temperatur, tekanan, massa, waktu, kecepatan serta tegangan dan arus listrik. Untuk

mendapatkan karakteristik dan peformansi mesin, data awal tersebut harus diolah terlebih dahulu.

Pada bagian analisis ini tidak semua proses pengolahan data ditampilkan, tapi cukup diwakili oleh satu contoh perhitungan. Demikian juga untuk hasil perhitungan, yang akan ditampilkan hanya hasil akhir dalam bentuk grafik. Sedangkan hasil perhitungan lainnya, yaitu dalam bentuk tabel, disajikan dalam lampiran. Untuk mengetahui kinerja mesin maka dihitung pula besarnya kerja kompresor, dampak pendinginan dan pemanasan yang bermanfaat untuk menghitung COP, PF dan TP.

### **3.8 Perhitungan sisi refrigeran (Siklus Primer)**

Sampel data yang akan diolah diambil dari percobaan no.1 pada refrigeran R-22 kondisi stabil.

$$P1 = 42,5 \text{ Psi} \qquad T1 = -0,8$$

$$P2 = 355 \text{ Psi} \qquad T2 = -0,7$$

$$P3 = 360 \text{ Psi} \qquad T3 = 52,1$$

$$P4 = 54 \text{ Psi} \qquad T4 = 1$$

Dengan menggunakan tabel sifat termodinamika R-22 didapatkan entalpi untuk masing-masing tingkat keadaan yaitu :

$$h_1 = 408,9 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 449,8 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = h_4 = 265,9 \text{ kJ/kg}$$

#### **1. Laju aliran massa refrigeran**



Laju aliran massa refrigeran dapat ditentukan dari kesetimbangan massa dan energi dari evaporator. Untuk lebih jelasnya hubungan ini dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$\dot{m}_{\text{ref}} = \frac{W_k}{h_2 - h_1} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{ref}} &= \frac{0.622}{449,8 - 408,9} \\ &= 0.0152 \end{aligned}$$

dimana :  $\dot{m}_{\text{ref}}$  : laju aliran massa refrigeran (kg/s)

$W_k$  : Kerja kompresor (kW)

$h_1$  : entalpi refrigeran yang masuk evaporator (kJ/kg)

$h_2$  : entalpi refrigeran keluaran evaporator (kJ/kg)

## 2. Pelepasan kalor oleh kondensor ( $Q_k$ )

Pelepasan kalor pada kondensor dipengaruhi oleh laju aliran massa refrigeran dan perubahan entalpi pada kondensor. Persamaan yang digunakan untuk pelepasan kalor pada kondensor ini dipakai persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_k &= \dot{m}_{\text{ref}} (h_2 - h_3) \\ &= 0.0152(449,8 - 265,9) \\ &= 2.795 \end{aligned} \quad (3.3)$$

dimana :  $Q_k$  = pelepasan kalor pada kondensor (kW)

$\dot{m}_{\text{ref}}$  = laju aliran massa refrigeran (kg/s)

$h_2$  = entalpi sebelum masuk kondensor (kJ/kg)

$h_3$  = entalpi keluaran kondensor (kJ/kg)

### 3. Penyerapan kalor oleh evaporator ( $Q_e$ )

Untuk nilai penyerapan kalor pada evaporator juga dipengaruhi oleh laju massa aliran refrigeran dan perubahan entalpi pada evaporator. Persamaan yang dipakai untuk menjelaskan hubungan antar variabel diatas adalah :

$$Q_e = \dot{m}_{ref} (h_1 - h_4) \quad (3.4)$$

dimana :  $Q_e$  = Penyerapan kalor pada evaporator (kW)

$\dot{m}_{ref}$  = Laju aliran massa refrigeran (kg/s)

$h_1$  = entalpi sesudah melewati evaporator (kJ/kg)

$h_4$  = entalpi sebelum memasuki evaporator (kJ/kg)

Dengan memasukkan data-data yang didapatkan kedalam persamaan 3.4, maka didapatkan nilai penyerapan kalor pada evaporator, yaitu :

$$Q_e = 0,0152 \text{kg/s} (408,9 - 265,9) \text{kJ/kg}$$

$$Q_e = 2,174 \text{kW}$$

Kedua nilai dari pelepasan kalor oleh kondensor dan penyerapan kalor oleh evaporator tersebut akan digunakan untuk perhitungan koefisien dari mesin pendingin kompresi uap.

### 4. Koefisien perfomansi mesin pendingin

Koefisien perfomansi pada Mesin Pendingin Kompresi Uap terdiri atas dua jenis, yaitu koefisien perfomansi mesin sebagai pendingin dan koefisien perfomansi mesin

untuk tujuan pemanasan yang biasa disebut koefisien performansi pompa kalor. Apabila operasi mesin dimaksudkan untuk tujuan pendinginan, maka indeks prestasi sistem sebanding dengan panas yang diserap evaporator dibanding dengan kerja kompresor sebenarnya.

$$\text{COP} = \frac{Q_e}{W_k} \quad (3.5)$$

dimana : COP = koefisien performansi mesin pendingin (*Coefficient Of Performance*)

$Q_e$  = penyerapan kalor pada evaporator (kW)

$W_k$  = kerja kompresor (kW)

Dengan memasukan data-data yang sudah diolah di atas, maka COP dari mesin pendinginan adalah :

$$\text{COP} = \frac{2,174\text{kW}}{0,622\text{kW}}$$

$$\text{COP} = 3,495$$

Jika operasi dimaksudkan untuk tujuan pemanasan, maka indeks prestasi sistem merupakan perbandingan antara panas yang dilepaskan kondensor dengan kerja kompresor sebenarnya.

$$\text{PF} = \frac{Q_k}{W_s} \quad (4.6)$$

dimana : PF = performansi pompa kalor (*Performance Factor*)

$Q_k$  = pelepasan kalor pada kondensor (kW)

$$W_s = \text{kerja isentropik ideal kompresor} \quad (\text{kW})$$

Dengan cara yang sama pada persamaan 3.6 sebelumnya maka didapat nilai dari performansi faktor mesin pendingin sebagai berikut :

$$PF = \frac{2,795\text{kW}}{0,622\text{kW}}$$

$$PF = 4,49$$

$$TP = \frac{(q_k + q_e)}{w_k} = 7,99$$