

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Proses pendinginan atau refrigerasi pada hekekatnya merupakan proses pemindahan energi panas yang terkandung dalam suatu ruangan. Sesuai dengan hukum kekekalan energi maka kita tidak dapat menghilangkan energi tetapi hanya dapat memindahkannya dari suatu substansi ke substansi lainnya. Untuk keperluan pemindahan energi panas ruang ,dibutuhkan suatu fluida penukar kalor yang di sebut refrigeran.

Pendinginan yang dilakukan saat ini umumnya bertujuan untuk pengawetan bahan makanan ataupun untuk mendinginkan ruangan. Terdapat beberapa sistem ataupun siklus yang dapat digunakan untuk mendapatkan pendinginan ini, antara lain sistem jet uap, siklus absorpsi, siklus udara, pendinginan termoelektris, dan siklus kompresi uap. Siklus kompresi uap bekerja berdasarkan siklus Carnot.

Siklus kompresi uap merupakan sistem yang paling sering digunakan dalam proses pendinginan karena dapat beroperasi pada suhu yang beragam dan efisiensi proses yang berlangsung mudah diketahui. Dalam siklus ini, panas akan diserap dan dilepaskan oleh fluida kerja sehingga didapatkan efek pendinginan. Adanya pertukaran panas menyebabkan pendinginan siklus kompresi uap dikategorikan sebagai pendinginan mekanis.

Pada siklus kompresi uap, terdapat empat proses yang terjadi pada fluida pendingin, yaitu kompresi fluida pendingin berfase uap, kondensasi fluida pendingin berfase uap, ekspansi fluida

pendingin berfase cair serta evaporasi fluida pendingin berfase cair. Setiap komponen mesin pendingin kompresi uap mempunyai parameter masing-masing untuk mengetahui efisien tidaknya proses yang terjadi pada komponen mesin pendingin tersebut.

Selain komponen dimana proses siklus kompresi uap berlangsung, terdapat juga fluida pendingin yang akan digunakan untuk mengambil panas dan melepas panas. Zat kerja ini biasa disebut sebagai refrigeran. Pada dasarnya, semua gas yang dapat diuapkan dan didinginkan secara mekanis dapat digunakan sebagai refrigeran. Namun refrigeran yang digunakan haruslah sesuai dengan beberapa persyaratan, diantaranya aman digunakan pada tekanan normal dengan alat yang biasa digunakan. Refrigeran golongan halokarbon (CFC dan HCFC) merupakan jenis refrigeran yang hampir sesuai dengan persyaratan tersebut.

Pengkondisian udara pada suatu ruangan mengatur mengenai kelembapan, pemanasan dan pendinginan udara dalam ruangan. Pengkondisian ini bertujuan memberikan kenyamanan, sehingga mengurangi kelelahan yang efeknya untuk meningkatkan kebugaran. Sistem pengkondisian udara pada ruangan umumnya terdiri dari evaporator, kondensor, receiver dan kadang kadang di lengkapi elemen pemanas yang tergabung menjadi satu evaporator housing.

Sistem refrigerasi yang paling sederhana memiliki komponen utama yaitu kompresor kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Untuk mendapatkan suhu udara yang sesuai dengan yang diinginkan banyak alternative yang dapat diterapkan, diantaranya adalah dengan menaikkan koefisien perpindahan kalor kondensasi dan dengan menambahkan kecepatan udara pendingin pada kondensor sehingga akan diperoleh harga koefisien prestasi yang lebih besar .

## **1.2 Rumusan Masalah**

Proses pendinginan ruangan ini dapat dirumuskan menjadi masalah penelitian sebagai berikut:

Untuk proses Variasi putaran

1. Untuk mencari variasi putaran poros fan kondensor dilakukan dengan melakukan beberapa perubahan frekuensi motor listrik.
2. Dalam penelitian ini penulis membatasi putaran kipas pendingin kondensor, sedangkan putaran kompresornya tetap.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai adalah mengetahui dampak pengaruh variasi putaran kipas pendingin kondensor terhadap:

1. Refrigran Efek (RE)
2. Massa Refrigran yang bersikulasi (MR)
3. Daya kuda teoritis (HP)
4. panas yang dilepas dikondensor (Qc)
5. koefisien prestasi (COP).

## **1.4 Manfaat penelitian**

Sebagai hasil dari penelitian ini dapat diperoleh manfaatnya yaitu dapat berguna bagi manusia, seperti beberapa hal berikut ini:

- a. Bagi rumah sakit
- b. Bagi restoran

- c. Bagi ruangan perkantoran
- d. Bagi ruangan kabin kendaraan (mobil)
- e. Bagi keluarga dirumah
- f. Dan lain-lain.

## **BAB II**

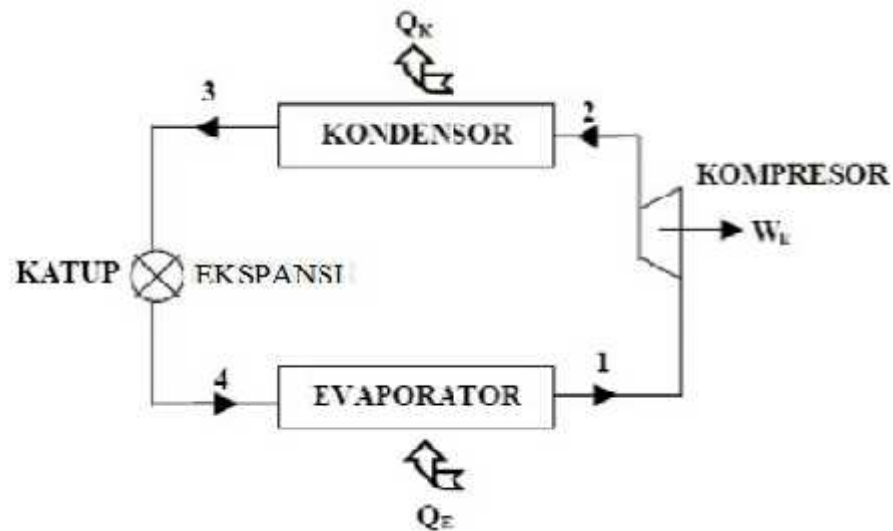
### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Prinsip Kerja Mesin Pendingin**

Sistem pendingin kompresi uap merupakan sistem pendinginan yang sering digunakan. Pada sistem pendingin kompresi uap, dibutuhkan fluida kerja yang akan diubah fasanya dari gas ke cair dan kemudian dari cair ke gas secara berulang-ulang sehingga didapatkan efek pendinginan. Siklus kompresi uap dapat dianalisa menggunakan siklus Carnot. Siklus pendinginan Carnot merupakan kebalikan dari siklus mesin panas Carnot, karena siklus pendinginan Carnot mengambil panas pada suhu rendah dan mengeluarkannya pada suhu tinggi. Dibutuhkan kerja dalam pendinginan Carnot. Proses utama yang terjadi dalam siklus pendinginan Carnot adalah kompresi adiabatik, pelepasan panas secara isothermal, ekspansi adiabatik serta pengambilan panas secara isothermal.

Fluida kerja dalam keadaan cair akan mengambil panas pada suhu dan tekanan rendah sehingga fluida menguap dan berubah fasa menjadi uap. Uap ini lalu ditekan secara mekanis hingga tekanan dan suhu jenuh yang lebih tinggi sehingga panas dalam uap tersebut dapat dikeluarkan dan fluida tersebut berubah ke keadaan cair. Proses pengambilan panas yang dilakukan pada suhu dan tekanan yang rendah terjadi di evaporator. Kompresor akan menekan uap secara mekanis hingga tekanan dan suhu fluida kerja mencapai keadaan lewat jenuh (superheat). Pelepasan panas yang dilakukan pada suhu dan tekanan yang lebih tinggi terjadi di kondensor. Diperlukan suatu penghubung antara kondensor dan evaporator sehingga siklus

pendinginan dapat terjadi. Kondensor dan evaporator berada pada tekanan yang berbeda sehingga perlu penghubung yang akan menurunkan tekanan fluida kerja. Alat penghubung ini disebut sebagai katup ekspansi. Gambaran skematis sistem pendingin kompresi uap adalah seperti di bawah.



**Gambar 2.1. Siklus refrigerasi Standar**

Pada gambar 1 diatas menunjukkan komponen-komponen dan siklus sederhana dari sistem pendingin berdasarkan siklus kompresi uap standart.

Proses pendinginan Carnot dapat ditunjukkan dengan lebih jelas menggunakan diagram Mollier, suatu diagram yang menggambarkan hubungan antara tekanan dan entalpi, seperti pada gambar 2. Proses pendinginan ideal ditunjukkan oleh titik 1, 2, 3 dan 4. Pada proses ideal ini pemampatan dilakukan secara isentropik. Entalpi fluida sebelum dan sesudah proses pemampatan adalah  $h_1$  dan  $h_2$  (kJ/kg). Pada katup ekspansi proses dilakukan pada entalpi yang tetap

(isentalpik), sehingga  $h_3 = h_4$  (kJ/kg). Pengambilan panas terjadi di evaporator dan ditunjukkan oleh garis 4-1. Pelepasan panas di kondensor ditunjukkan pada garis 2-3.

## **2.2 Komponen Mesin Pendingin Kompresi Uap**

### **2.2.1. Kompresor**

Kompresor adalah jantung dari sistem kompresi uap, karena kompresor adalah pemompa bahan pendingin keseluruhan sistem. Pada sistem refrigerasi kompresor bekerja membuat perbedaan tekanan, sehingga bahan pendingin dapat mengalir dari satu bagian ke bagian yang lain dalam sistem. Karena ada perbedaan tekanan antara sisi tekanan tinggi dan sisi tekanan rendah, maka bahan pendingin dapat mengalir melalui alat pengatur bahan pendingin ke evaporator.

Kompresor dalam sistem refrigerasi berfungsi:

- Menurunkan tekanan di dalam evaporator, sehingga bahan pendingin cair di evaporator dapat mendidih atau menguap pada suhu yang lebih rendah dan menyerap panas lebih banyak dari ruang di dekat evaporator.
- Menghisap bahan pendingin gas dari evaporator dengan suhu rendah dan tekanan rendah lalu memampatkan gas tersebut sehingga menjadi gas suhu tinggi dan tekanan tinggi. Kemudian mengalirkan ke kondensor, sehingga gas tersebut dapat memberikan panasnya kepada zat yang mendinginkan kondensor lalu mengembun.

Kompresor dapat dibedakan berdasarkan letak motor penggerak kompresor. Kompresor jenis unit terbuka adalah kompresor dengan letak motor penggerak yang terpisah dari kompresor itu sendiri. Gerak motor disalurkan ke kompresor dengan sabuk (belt). Kompresor yang terpisah

dengan motornya namun poros kompresor dihubungkan langsung dengan poros motor disebut sebagai kompresor semi hermetik. Tipe kompresor hermetik menggabungkan kompresor dan motor dalam satu badan sehingga tidak membutuhkan ruang yang luas.

Terdapat dua karakteristik performa kompresor, yaitu kapasitas refrigerasi dan kebutuhan daya . Kedua hal ini ditentukan oleh tekanan masuk dan keluar kompresor. Dasar dari kedua karakteristik tersebut adalah efisiensi volumetrik. Terdapat dua jenis efisiensi volumetrik. Efisiensi volumetrik teoritis (clearance volumetric efficiency) dapat dihitung dengan persamaan:

$$v_c = 100 - m ((V_{suc}/V_{dis})-1).....(Stoecker,1982)$$

dengan  $v_c$  = efisiensi volumetrik teoritis,

$m$  = percent clearance

$V_{suc}$  = volume spesifik refrigeran saat masuk kompresor

$V_{dis}$  = volume spesifik refrigeran saat keluar kompresor

Efisiensi volumetrik teoritis dihitung pada keadaan ideal, yaitu pada kondisi isentropik ( $S_1 = S_2$ ). Pada kenyataan hal ini sulit didapatkan karena beberapa faktor, diantaranya adanya penurunan tekanan antara katup masuk dan

keluar, kebocoran yang terjadi di piston, dan kebocoran di katup masuk dan keluar. Efisiensi volumetrik yang terjadi pada keadaan aktual disebut sebagai efisiensi volumetrik aktual (actual volumetric efficiency) yang besarnya dihitung dengan persamaan:

$$v_a = \frac{\text{volume fluida di dalam kompresor} \times 100}{\text{kompresor displacement}}.....(Stoecker,1982)$$

Dengan  $v_a$  adalah efisiensi volumetrik aktual. Kompresor displacement adalah volume fluida yang dihisap piston setiap siklusnya. Kompresor displacement dihitung dengan persamaan:



$$\text{Kompresor displacement} = n \times \frac{D^2}{4} \times L \times S$$

dengan  $n$  = jumlah piston

$D$  = diameter silinder (m)

$L$  = langkah piston (m)

$S$  = kecepatan putar kompresor (rpm)

Analisa performa suatu kompresor dapat dilakukan pada suhu kondensasi dan evaporasi yang tetap. Saat suhu kondensasi tetap, dengan semakin rendahnya suhu evaporasi, maka perbandingan tekanan masuk dan keluar kompresor mengalami penurunan. Laju aliran refrigeran mengalami penurunan dan volume spesifiknya naik, menyebabkan laju aliran massa refrigeran berkurang.

Saat suhu evaporasi menurun, kapasitas pendinginan berkurang. Daya yang dibutuhkan kompresor adalah:

$$P = m (h_2 - h_1)$$

Saat suhu evaporasi menurun, perbedaan entalpi akan naik, sedangkan laju aliran massa mengalami penurunan, menyebabkan daya yang dibutuhkan kompresor akan berbentuk kurva dengan satu titik puncak, namun pada suhu evaporasi yang makin rendah, konsumsi daya cenderung menurun. Hal ini membuat COP dari mesin pendingin menurun. Kecepatan putar poros kompresor juga mempengaruhi nilai COP yang dihasilkan mesin pendingin. Pada putaran poros yang kecil, kerja kompresi akan menurun, sehingga meningkatkan nilai COP. Namun peningkatan ini diikuti dengan makin lamanya waktu yang dibutuhkan evaporator untuk mencapai suhu yang diinginkan, dengan beban pendinginan yang sama. Saat suhu evaporasi dibuat tetap dan dilakukan percobaan pada beberapa suhu kondensasi yang beragam, terlihat bahwa saat suhu kondensasi makin rendah, perbandingan tekanan masuk dan keluar kompresor

mengalami kenaikan dan terjadi kenaikan pada laju aliran massa refrigeran. Terjadi pula penurunan kapasitas pendinginan, namun besarnya penurunan kapasitas refrigerasi karena penurunan suhu kondensasi lebih kecil, karena perubahan suhu evaporasi akan mempengaruhi volume spesifik refrigeran yang melalui kompresor. Kerja kompresi mengalami penurunan, namun laju aliran massa berkurang, menyebabkan kurva daya berbentuk kurva dengan satu titik puncak pula. Dengan menurunnya suhu kondensasi, kebutuhan daya akan naik hingga mencapai puncak lalu akan mengalami penurunan.

Efisiensi kompresi (  $c$  ) dalam persen adalah :

$$c = \frac{\text{kerja kompresi isentropik, kJ/kg} \times 100}{\text{kerja kompresi aktual}} \dots\dots\dots (\text{Stoecker, 1998})$$

### 2.2.2. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk membuang kalor dan mengubah wujud bahan pendingin dari gas menjadi cair. Selain itu kondensor juga digunakan untuk membuat kondensasi bahan pendingin gas dari kompresor dengan suhu tinggi dan tekanan tinggi. Kondensor ada tiga macam menurut pendinginannya yaitu:

- Kondensor dengan pendinginan udara ( *air cooled* )
- Kondensor dengan pendinginan air ( *water cooled* )
- Kondensor dengan pendinginan campuran udara dan air ( *evaporative* )

Faktor penting yang menentukan kapasitas kondensor dengan pendinginan udara adalah:

1. Luas permukaan yang didinginkan dan sifat perpindahan kalornya.
2. Jumlah udara permenit yang dipakai untuk mendinginkan.
3. Perbedaan suhu antara bahan pendingin dengan udara luar.

#### 4. Sifat dan karakteristik bahan pendingin yang dipakai.

Laju perpindahan kalor yang dibutuhkan di dalam kondensor merupakan fungsi dari kapasitas refrigerasi, suhu penguapan serta suhu pengembunan.

Uap refrigerant yang bertekanan dan bertemperatur tinggi pada akhir kompresi dapat dengan mudah dicairkan dengan mendinginkannya dengan air pendingin (atau dengan udara pendingin pada system dengan pendinginan udara) yang ada pada temperature normal. Dengan kata lain, uap refrigerant menyerahkan panasnya (kalor laten pengembunan) kepada air pendingin (atau udara pendingin) di dalam kondensor, sehingga mengembun dan menjadi cair. Jadi, karena air (udara) pendingin menyerap panas dari refrigerant, maka ia akan menjadi panas pada waktu keluar dari kondensor.

Selama refrigerant mengalami perubahan dari fase uap ke fase cair, di mana terdapat campuran refrigerant dalam fase uap dan cair, tekanan (tekanan pengembunan) dan temperaturnya (temperature pengembunan) konstan. Oleh karena itu temperaturnya dapat dicari dengan mengukur tekanannya.

Suhu kondensasi yang rendah lebih disukai karena adanya peningkatan efisiensi kompresi dan penurunan kebutuhan daya. Suhu kondensasi adalah penjumlahan suhu medium pendingin dan perbedaan suhu antara medium pendingin dan refrigeran. Suhu kondensasi yang rendah dapat dicapai dengan memperbesar luas permukaan pindah panas dan meningkatkan laju aliran medium pendingin. Namun penambahan luas permukaan pindah panas sulit dilakukan karena adanya pertimbangan ruangan. Untuk setiap jenis kondensor dan beban kondensor, besarnya suhu kondensasi bergantung pada suhu rata-rata media pendingin. Suhu kondensasi yang rendah akan tercapai saat suhu rata-rata medium pendingin rendah. Suhu rata-rata medium pendingin ditentukan oleh suhu masukan medium pendingin dan kenaikan suhu di kondensor. Karena

kenaikan suhu medium pendingin menurun saat laju aliran bertambah, maka dengan makin besarnya laju aliran massa medium pendingin maka suhu rata-rata medium pendingin akan berkurang. Karenanya untuk beban kondensor tertentu, makin besar laju aliran medium pendingin maka suhu kondensasi akan menurun.

Sistem kondenser pendingin air dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu sistem kondensor pendingin air dengan pembuangan air dan dengan sirkulasi air. Air pendingin pada kondensor dengan sirkulasi akan masuk pada menara pendingin untuk disirkulasi lagi. Pada kondensor dengan pembuangan air, air akan dibuang setelah melalui kondensor. Pemilihan sistem sirkulasi atau pembuangan dipengaruhi oleh biaya dan ketersediaan air di suatu tempat. Pemilihan ini juga mempengaruhi laju aliran air yang digunakan sebagai media pendingin.

Hal lain yang harus diperhatikan adalah adanya pengendapan mineral ataupun kotoran yang terbawa oleh air pendingin. Pengendapan akan mengurangi permukaan kontak dan mengurangi jumlah air yang disirkulasi. Umumnya, tingkat pengendapan dipengaruhi oleh kualitas air pendingin, suhu penguapan, dan lamanya pembersihan dilakukan (Dossat,1961).

Konstruksi kondensor berpendingin air dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu double tube, shell and coil, dan shell and tube . Double tube condenser terdiri dari dua pipa yang digabungkan, sehingga pipa pertama berada di dalam pipa kedua. Shell and coil condenser terdiri dari pipa yang dibentuk menjadi koil sebagai tempat air mengalir dan selubung tempat refrigeran yang akan didinginkan berada. Pipa dibuat menjadi koil agar permukaan kontak lebih luas. Shell and tube condenser berupa silinder baja dengan sejumlah pipa paralel yang dipasang didalamnya.

### **2.2.3. Evaporator**

Evaporator berfungsi untuk menyerap panas dari udara atau benda di dalam lemari es dan mendinginkannya. Kemudian membuang kalor tersebut melalui kondensor diruang yang tidak

didinginkan. Kompresor yang sedang bekerja menghisap bahan pendingin gas dari evaporator sehingga tekanan didalam evaporator menjadi rendah dan vakum .

Perencanaan evaporator harus mencakup : penguapan yang efektif dari bahan pendingin dengan penurunan tekanan yang minimum dan pengambilan panas dari zat yang didinginkan secara efisien. Perencanaan evaporator tergantung dalam penempatannya dan zat yang akan langsung didinginkan apakah berwujud : gas, cair atau padat. Pada semua keadaan beban, bahan pendingin akan penguap waktu mengalir sepanjang pipa evaporator atau permukaan evaporator dan diusahakan agar cairan tetap membasai semua bagian dari evaporator.

Berdasarkan prinsip kerjanya evaporator dapat dibagi menjadi 2 macam yaitu:

1. *Evaporatorbanjir (flooded evaporator)*
2. *Evaporator kering (dry or direct-expansion evaporator)*

Evaporator (penguap) yang dipakai berbentuk pipa bersirip pelat. Tekanan cairan refrigerant yang diturunkan pada katup ekspansi, didistribusikan secara merata ke dalam pipa evaporator, oleh distributor refrigeran. Dalam hal tersebut refrigeran akan menguap dan menyerap kalor dari udara ruangan yang dialirkan melalui permukaan luar dari pipa evaporator. Apabila udara didinginkan (di bawah titik embun), maka air yang ada dalam udara akan mengembun pada permukaan evaporator, kemudian ditampung dan dialirkan keluar. Jadi, cairan refrigerant diuapkan secara berangsur – angsur karena menerima kalor sebanyak kalor laten penguapan, selama mengalir di dalam setiap pipa dari koil evaporator. Selama proses penguapan itu, di dalam pipa akan terdapat campuran refrigerant dalam fase cair dan gas. Dalam keadaan tersebut , tekanan (tekanan penguapan) dan temperaturnya (temperature penguapan) konstan. Oleh karena itu temperaturnya dapat dicari dengan mengukur tekanan refrigerant di dalam evaporator. Uap refrigerant (uap jenuh kering) yang terjadi karena penguapan sempurna di dalam

pipa, dikumpulkan di dalam sebuah penampung uap (header). Selanjutnya, uap tersebut diisap oleh kompresor.

#### **2.2.4. Katup Ekspansi**

Alat ekspansi mempunyai dua fungsi yaitu menurunkan tekanan refrigeran cair dan mengatur aliran refrigeran ke evaporator.

Jenis-jenis katup ekspansi:

##### **1. Pipa kapiler**

Pipa kapiler dibuat dari pipa tembaga dengan lubang dalam yang sangat kecil. Panjang dan lubang kapiler dapat mengontrol jumlah bahan pendingin yang mengalir ke evaporator.

Fungsi Pipa kapiler adalah :

- Menurunkan tekanan bahan pendingin cair yang mengalir didalamnya.
- Mengatur jumlah bahan pendingin cair yang mengalir melaluinya.
- Membangkitkan tekanan bahan pendingin di kondensor.

##### **2. Katup ekspansi berpengendali superheat ( panas lanjut )**

Jenis alat ekspansi yang paling populer untuk sistem refrigerasi berukuran sedang adalah katup berkendali lanjut panas atau katup ekspansi termostatik. Pengendalian tidak digerakkan oleh suhu di dalam evaporator, tetapi oleh besarnya panas lanjut gas hisap yang meninggalkan evaporator. Katup ekspansi panas-lanjut mengatur laju aliran refrigeran cair yang besarnya sebanding dengan laju penguapan didalam evaporator.

##### **3. Katup ekspansi tekanan konstan**

Katup ekspansi tekanan konstan berfungsi mempertahankan tekanan yang konstan pada sisi keluarnya, yang merupakan masukan evaporator. Katup tersebut mengindera tekanan evaporator, dan bila tekanan tersebut turun kebawah batas kendali, maka katub membuka lebih besar. Bila tekanan evaporator naik keatas batas kendali, katup tersebut menutup sebagian.

#### 4. Katup apung ( float valve )

Katup apung adalah suatu jenis katup ekspansi yang mempertahankan cairan berada pada level yang konstan didalam suatu wadah atau evaporator. Dengan mempertahankan level cairan didalam evaporator, katup apung selalu menciptakan kondisi aliran yang seimbang antara kompresor dan katup itu sendiri.

Setiap alat tersebut terakhir dirancang untuk suatu penurunan tekanan tertentu. Katup ekspansi yang biasa dipergunakan adalah katup ekspansi termostatik yang dapat mengatur laju aliran refrigerant, yaitu agar derajat super panas uap refrigerant di dalam evaporator dapat diusahakan konstan. Dalam penyegar udara yang kecil, dipergunakan pipa kapilar sebagai pengganti katup ekspansi. Diameter dalam dan panjang dari pipa kapilar tersebut ditentukan berdasarkan besarnya perbedaan tekanan yang diinginkan, antara bagian yang bertekanan tinggi dan bagian yang bertekanan rendah, dan jumlah refrigerant yang bersirkulasi. Cairan refrigerant mengalir ke dalam evaporator, tekanannya turun dan menerima kalor penguapan dari udara, sehingga menguap secara berangsur – angsur.

### **2.3. Refrigran**

Refrigeran adalah zat yang bertindak sebagai agen pendingin dengan cara menyerap panas dari zat/benda lain. Dalam siklus kompresi uap, refrigeran akan mengalami proses penguapan dan pendinginan secara terus menerus. Suatu zat dapat digunakan sebagai refrigeran jika mempunyai sifat kimia, termodinamik, dan sifat fisik yang sesuai sehingga aman digunakan dan ekonomis. Zat yang biasanya digunakan antara lain halokarbon, senyawa inorganik, hidrokarbon, dan golongan azeotrop (Stoecker, 1982).

Golongan halokarbon adalah refrigeran dengan satu atau lebih ikatan halogen (klorin, fluorin dan bromin). Sistem penomoran halokarbon diberikan berdasarkan jumlah fluorin, hidrogen dan karbon pada refrigeran tersebut. Angka pertama dari kanan menunjukkan jumlah atom klorin, angka kedua dari kanan menunjukkan jumlah atom hidrogen satu angka lebih banyak, dan angka ketiga dari kanan menunjukkan jumlah atom karbon satu angka lebih sedikit. Angka yang digunakan pada senyawa inorganik tidak sama, dua angka terakhir menunjukkan berat molekul senyawa tersebut. Hidrokarbon umumnya digunakan sebagai refrigeran pada industri minyak. Senyawa azeotrop adalah senyawa campuran yang zat pendukungnya tidak dapat dipisahkan secara distilasi.



**Tabel 2.3 Jenis refrigeran dan golongannya**

<b>Nomor Refrigeran</b>	<b>Nama Kimia</b>	<b>Rumus Kimia</b>
<b>Golongan Halokarbon</b>		
11	Trikloromonofluorometan	CCl <sub>3</sub> F
12	Diklorodifluorometan	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>
13	Monoklorotrifluorometan	CClF <sub>3</sub>
22	Monoklorodifluorometan	CHClF <sub>2</sub>
40	Metil klorida	CH <sub>3</sub> Cl
113	Triklorotrifluoroetan	CCl <sub>2</sub> FCClF <sub>2</sub>
114	Diklorotetrafluoroetan	CClF <sub>2</sub> CClF <sub>2</sub>
<b>Golongan Inorganik</b>		
717	Amonia	NH <sub>3</sub>
718	Air	H <sub>2</sub> O

729	Udara	
744	Karbon dioksida	CO <sub>2</sub>
764	Sulfur dioksida	SO <sub>2</sub>
<b>Golongan Hidrokarbon</b>		
50	Metana	CH <sub>4</sub>
170	Etana	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
290	Propana	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>

R22 merupakan refrigeran yang umum digunakan pada sistem dengan suhu rendah karena titik didih pada tekanan atmosfer adalah -40°C dan dapat digunakan pada suhu evaporator -87°C. Temperatur keluaran kompresor dari R-22 tergolong tinggi sehingga penghisapan uap super panas harus dijaga pada keadaan minimum. Jika dibutuhkan, pendinginan kompresor head dapat dilakukan, utamanya pada sistem dengan suhu rendah. R-22 sedikit terlarut dengan minyak saat di evaporator. Dibutuhkan penyaring minyak agar minyak tidak masuk ke evaporator (Dossat, 1961)

Penggunaan R-22 dianggap lebih menguntungkan dari pada refrigeran halokarbon lainnya karena kebutuhan kompresor displacement pada R-22 lebih kecil 60% dari pada refrigeran jenis halokarbon. Karenanya, untuk kompresor displacement yang sama, efek pendinginan dari R-22 juga lebih besar 60%. Pipa yang dibutuhkan pada instalasi R-22 juga lebih kecil. Untuk suhu evaporator antara -28°C dan -40°C, tekanan evaporator pada R-22 dipilih karena tidak larut pada minyak dan suhu keluarannya yang rendah (dossat, 1961).

Nilai ODP (ozon depletion potential, kemampuan mengikat ozon) dari R-22 adalah 0,05 dan nilai GPWnya (global warming potential) 0,4. Siklus hidup R-22 di atmosfer tergolong singkat, yaitu 199 tahun menyebabkan R-22 merupakan salah satu refrigeran alternatif untuk menggantikan R-12.

**Tabel 2.4. Perbandingan sifat fisik dan termodinamis refrigeran R-22**

Jenis refrigeran	R-22
Rumus kimianya pada	$\text{CHClF}_2$
Berat molekul (g/mol)	86,48
Titik didih	-40,8
1 bar (C)	96
Tekanan kritis (bar)	49,38
Kalor laten penguapan (1.013 bar, titik didih) (kJ/kg)	233,95
Densitas cairan ( $\text{kg/m}^3$ )	1413
Densitas gas, 1.013 bar, 15 C ( $\text{kg/m}^3$ )	3,66
Kapasitas panas pada tekanan tetap, 1.013 bar, 30 C (kJ/mol K)	0,057
Viskositas, 1.013 bar, 0 C (Poise)	0,0001256

Masalah lingkungan menjadi masalah penting dalam pemilihan refrigeran. Parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat keamanan suatu refrigeran bagi lingkungan adalah ODP, GWP dan siklus hidup. ODP (ozon depletion potential) merupakan parameter yang menyatakan kemampuan suatu refrigeran untuk berikatan dengan ozon di stratosfer. Umumnya, makin banyak ion klorin dalam suatu refrigeran maka makin tinggi ODPnya. GWP (global warming potential) adalah ukuran seberapa banyak jumlah gas rumah kaca yang diperkirakan akan

mempengaruhi pemanasan global. GWP merupakan suatu ukuran relatif yang membandingkan gas yang ingin diketahui nilainya dengan gas CO<sub>2</sub> dalam jumlah yang sama. GWP juga harus diukur dalam waktu yang sama, umumnya diukur dalam waktu 100 tahun ([www. wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)). Siklus hidup menentukan lamanya suatu gas terurai di atmosfer.

Faktor kinerja refrigeran juga menentukan pemilihan refrigeran yang digunakan. Faktor kinerja ini diukur pada keadaan kerja yang sama (beban pendinginan, suhu kondensasi, suhu evaporasi). Parameter yang berhubungan dengan kinerja antara lain COP, efek refrigerasi, daya kompresi, laju aliran uap refrigeran. Efek refrigerasi yang tinggi umumnya diinginkan, namun efek refrigerasi ini sebaiknya dibandingkan pula dengan daya kompresi yang terjadi, sehingga COP yang dihasilkan akan lebih baik. Tinggi rendahnya laju aliran uap refrigeran akan mempengaruhi tipe kompresor yang digunakan.

Hal penting lainnya dalam pemilihan refrigeran adalah faktor keamanan yang meliputi mudah tidaknya refrigeran tersebut bereaksi (inert), tidak eksplosif, tidak beracun (dalam keadaan murni atau tercampur dengan udara). Refrigeran juga sebaiknya tidak mudah bereaksi dengan minyak pelumas dan bagian mesin pendingin lainnya. Selain itu, refrigeran sebaiknya tidak terpengaruh dengan kelembapan dan tidak merusak atau meracuni produk yang disimpan jika terjadi kebocoran (Dossat, 1961).

Secara ekonomis, penentuan refrigeran ditentukan oleh sifat fisik dan termodinamikanya yang akan menghasilkan kerja kompresi yang rendah dan COP yang tinggi. Sifat refrigeran yang mempengaruhi COP antara lain kalor laten penguapan, volume jenis uap refrigeran, perbandingan kompresi (compression ratio), dan panas jenis refrigeran pada keadaan cair dan gas. Kalor laten penguapan yang tinggi menghasilkan laju aliran massa refrigeran lebih rendah. Hal ini membuat efisiensi dan kapasitas kompresor meningkat. Tak hanya menurunkan kerja

kompresi, kompresor displacement yang diperlukan juga menurun sehingga memungkinkan digunakannya kompresor yang lebih kecil (Dossat, 1961).

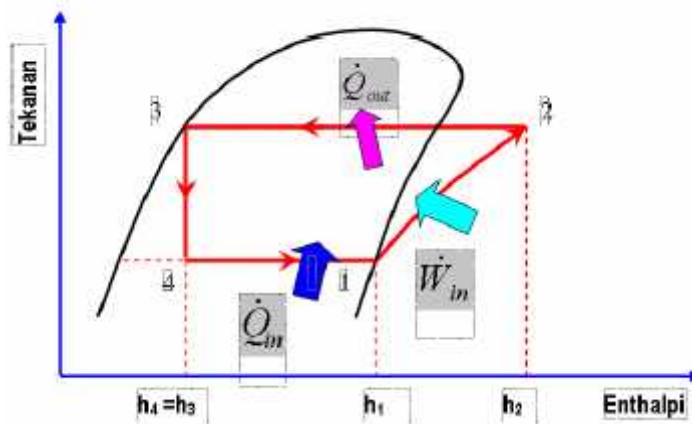
Panas jenis refrigeran pada keadaan cair yang rendah dan panas jenis refrigeran pada keadaan gas yang tinggi juga merupakan hal yang dicari karena kedua sifat ini meningkatkan efek pendinginan. Panas jenis refrigeran pada keadaan cair meningkatkan efek pendinginan lanjut sedangkan panas jenis refrigeran pada keadaan gas menurunkan efek pemanasan lanjut. Selain itu, yang paling dicari adalah refrigeran yang dapat memberikan rasio kompresi yang paling rendah karena hal ini akan mengurangi kerja kompresi (Dossat, 1961).

Sifat kimia yang harus diperhatikan antara lain reaksi antara refrigeran dengan uap air (moisture) dan minyak pelumas kompresor. Reaksi dengan uap air umumnya menimbulkan senyawa korosif (asam) yang nantinya akan bereaksi dengan pelumas ataupun dengan bagian logam dari mesin pendingin. Halokarbon hanya sedikit menyerap uap air, sehingga umumnya pengkaratan tidak terjadi pada sistem ini jika kadar uap air dijaga pada tingkat tertentu, menggunakan pelumas kualitas tinggi dan suhu pengeluaran kompresor rendah (Dossat, 1961).

Penggunaan halokarbon berklorin terbukti berpengaruh pada tingkat ozon di atmosfer. Klorin pada senyawa halokarbon akan bereaksi dengan ozon di atmosfer saat senyawa halogen terlepas ke udara. Menipisnya kandungan ozon berpengaruh pada perubahan iklim dan dapat menimbulkan kanker. Peraturan telah dibuat sehingga pelepasan refrigeran halokarbon ke udara dapat dimonitor. Penggunaan refrigeran lain sebagai pengganti refrigeran halokarbon juga disarankan (Stoecker, 1982).

#### **2.4. Tinjauan Termodinamika Siklus Refrigerasi**

Siklus refrigerasi akan dapat diilustrasikan dengan mudah melalui diagram moiler secara sekematis sebagai berikut:



Gambar 2.4 Diagram P-h siklus kompresi uap

Proses-proses yang membentuk siklus kompresi uap standar adalah :

Proses 1-2, merupakan kompresi adiabatik dan reversibel dari uap jenuh menuju tekanan kondensor. Apabila perubahan energi kinetik dan energi potensial diabaikan, maka kerja kompresor adalah:

$$W_{in} = m_{ref}(h_2 - h_1) \dots \dots \dots (1)$$

Proses 2-3 adalah proses pelepasan

kalor reversibel pada tekanan konstan, menyebabkan penurunan panas lanjut (desuperheating) dan pengembunan refrigeran. Kapasitas laju aliran kalor kondensasi.

$$Q_{out} = m_{ref}(h_2 - h_3) \dots \dots \dots (2)$$

Proses 3-4 ialah proses ekspansi

Reversibel pada entalpi konstan, dari cairan jenuh menuju tekanan evaporator. Proses pengecilan (throttling process) pada sistem pendingin terjadi di dalam pipa kapiler atau katup ekspansi. Proses di sini berlangsung pada proses adiabatik, sehingga:

$$h_4 = h_3 \dots \dots \dots (3)$$

Proses 4-1 merupakan penambahan

Kalor reversibel pada tekanan tetap, yang menyebabkan penguapan menuju uap jenuh. Kapasitas laju aliran kalor evaporasi dirumuskan:

$$Q_{in} = m_{ref} \cdot (h_1 - h_4) \dots\dots\dots(4)$$

Istilah prestasi di dalam siklus refrigerasi disebut dengan koefisien prestasi atau COP yang didefinisikan sebagai:

$$COP = \frac{Q_{in}}{W_{in}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \dots\dots\dots (5)$$

dimana :

$h_1$  = Entalpi keluar evaporator [Btu/lb]

$h_2$  = Entalpi masuk kondensor [Btu/lb]

$h_3$  = Entalpi keluar kondensor [Btu/lb]

$h_4$  = Entalpi masuk evaporator [Btu/lb]

$m_{ref}$  = Laju aliran massa refrigeran [lbm/min].

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat Dan Waktu**

Penelitian ini akan dilaksanakan sejak tanggal disetujuinya usulan penelitian ini oleh pengelola program sampai dinyatakan selesai. Tempat penelitian direncanakan di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas HKBP Nommensen Medan.

#### **3.2 Bahan Peralatan Dan Metode**

##### **3.2.1 Bahan**

Dalam penelitian ini subjek penelitian adalah berupa AC (Air Conditioner) split yang telah di rancang sesuai fungsinya seperti terlihat pada gambar 3.1. dibawah ini





**Gambar 3.1 Konstruksi AC (Air Conditioner) split dan ruangan pendinginan**

**Spesifikasi :**

Type Mode CS-C09QB 1 PK

Cooling Capacity (BTU/h) 9000

Ratet Input (W)                      670

**3.2.2 Peralatan Metode**

**1. Termometer**

Termometer adalah alat yang berfungsi untuk mengukur suhu atau temperatur maupun perubahan suhu.



**Gambar 3.2. Termometer Digital**

**Spesifikasi :**

Measure MS6511

ThermocoupeL Type K,J,T,E

Chanel Singel

Messurement:

K : -200.0°C to + 1372°C / -328.0°F to + 250°F

J : -210.0°C to + 1200°C / -346.0°F to + 2192°F

T : -250.0°C to + 400°C / -418.0°F to + 752°F

F : -150.0°C to + 1000°C / -238.0°F to + 1832°F

R : °C to + 1767°C / 32°F to + 3212°F

S : °C to + 1767°C / 32°F to + 3212°F

N : -200.0°C to + 1300°C / -328.0°F to + 2372°F

Resolution : 0.1 °C , 0,1 °F , 0,1 K

Accurasy : ± ( 0.5 % + 0.5°C)

Power supply : 1 x 9V 6F22

Product Size : 190 x 89 x 42 mm

Product Weight : 350g/0.8lb

## 2. Tachometer

Tachometer adalah sebuah alat pengujian yang didesain untuk mengukur kecepatan rotasi dari suatu objek.

Fungsi tachometer digunakan untuk mengukur jumlah putaran mesin khususnya jumlah putaran yang dilakukan oleh sebuah poros dalam satuan waktu dan biasanya dipakai pada peralatan kendaraan bermotor.



**Gambar 3.3 Tachometer Digital**

### **Spesifikasi :**

Tachometer, Digital Contact Type, DT2235B

Range : 5-19,999RPM Surface

Speed : 0,05 to 1,999.9 m/Minute/(0.5 to 999.9); 1.0 RPM > 1,000 RPM

Surface Speed : 0.01 m/min (0.05 to 99.99 m/min)

Accuracy :  $\pm 0.05\%$  + 1 digits

Time Base : Quartz Cristal

Memory : Last Value,Max Value,Min

Value Range Selection : Auto Sampling

Time : 1 second (ove 6 RPM)

### **3. Komputer**

Digunakan untuk menyimpan dan mengolah data yang telah didapat dari pengujian sistem pendingin.



**Gambar 3.4 Komputer**

#### 4. Guage Manifot

Guage manifold digunakan untuk mengukur tekanan refrigeran (Freon) dalam sistem pendingin AC dan Refrigerator (kulkas, freezer) baik pada saat pengisian maupun pada saat beroperasi. Yang dapat dilihat pada Guage Manifold adalah tekanan evaporator atau tekanan isap (suction) kompresor atau tekanan keluaran (discharge) kompresor. Katup berwarna biru pada sisi tekanan rendah dan katup berwarna merah pada sisi tekanan tinggi.



**Gambar 3.5 Guage manifold**

#### **Spesifikasi :**

Refrigerant scale : R12,R22,R134A

Pressure scale : 0~120 psi

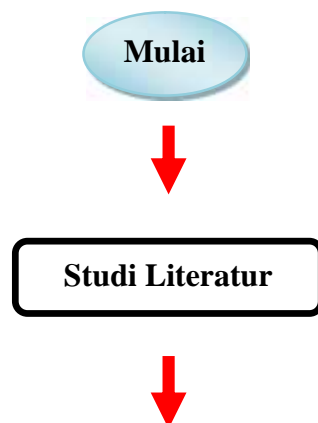
Hose : red & blue

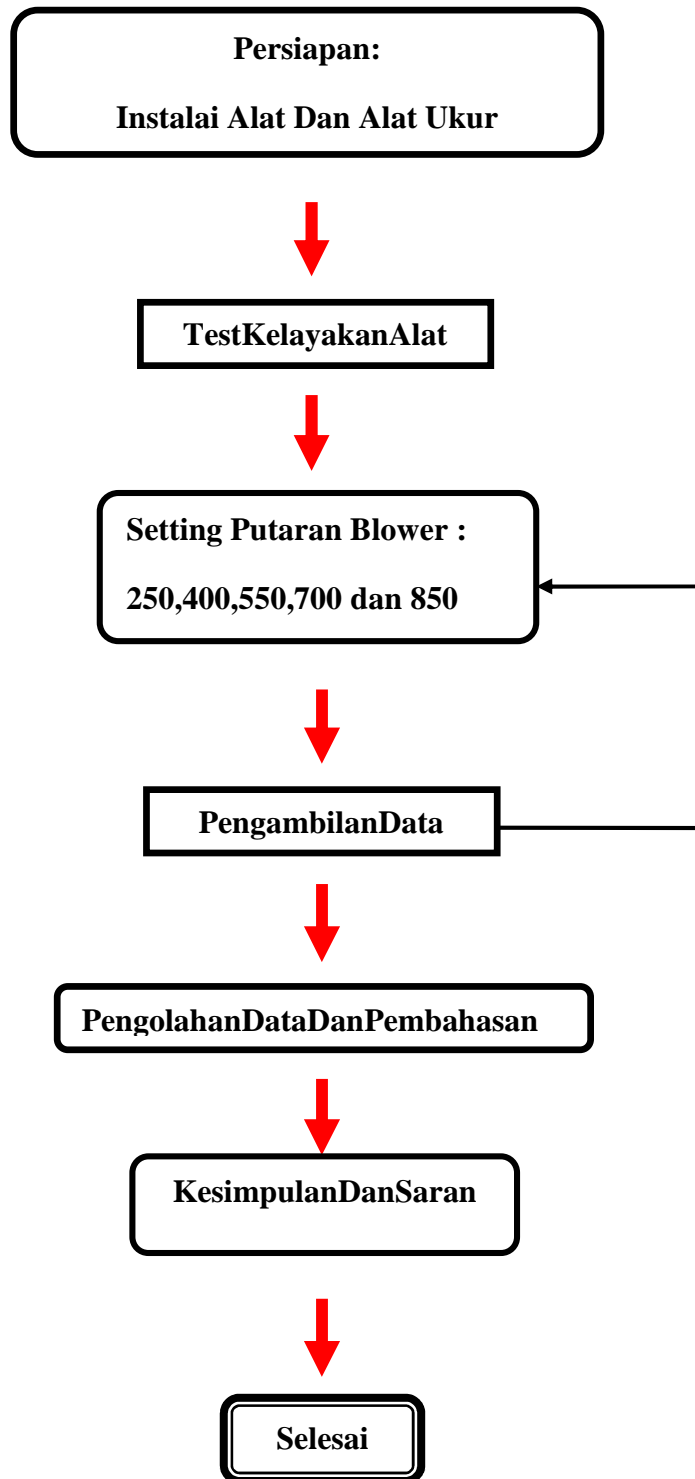
Length : 120 cm

#### **3.3 Model Penelitian**

Data-data yang dicatat yaitu suhu, tekanan dan perbedaan tekanan pada orifice dengan variasi putaran kerja poros kipas pendingin kondensor. Untuk membuat variasi putaran poros kipas pendingin kondensor dilakukan dengan melakukan beberapa perubahan frekuensi motor listrik yang menggerakkan kipas pendingin kondensor. Variasi putaran motor listrik fan kondensor yang digunakan adalah 250 rpm sampai dengan 850 rpm dengan interval 150 dalam pengambilan data. Dengan bertambahnya putaran motor fan kondensor maka diharapkan jumlah aliran udara akan semakin besar sehingga laju aliran massa refrigeran akan semakin kecil. Data hasil pencatatan berupa tekanan dan temperatur selanjutnya diplot pada diagram P-h. Dari pembacaan ini diketahui besarnya harga entalpi pada setiap titik yaitu  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_4$  (kJ/kg), dan laju aliran massa refrigeran (lbm/min).

### 3.4 DIAGRAM ALIR PENELITIAN





Gambar 3.6 Diagram alir penelitian.

