



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terkait

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan studi literatur yang merupakan pencarian referensi-referensi dari teori yang bersangkutan dengan judul, masalah penelitian, tujuan penelitian, dan metode. Teori-teori yang dibahas didapatkan mulai dari buku, jurnal maupun dari sumber-sumber lain yang relevan.

Penggantian refrigeran dari jenis sintetis dengan refrigeran hidrokarbon telah banyak dilakukan. Ada beberapa peneliti yang telah melakukan penggantian refrigeran sintetis dengan refrigeran hidrokarbon. Di bawah ini, akan dijelaskan bahwa penggantian refrigeran sintetis dengan refrigeran hidrokarbon berhasil mengurangi konsumsi energi listrik.

Dalam penelitian (Hidayat 2010) yang melakukan analisis penggunaan refrigeran hidrokarbon R-290 (dengan contoh uji MC-22) dengan mesin pendingin yang menggunakan R-407C. Penggantian refrigeran (*retrofitting*) R-407C dengan R-290 jenis MC-22 dapat digantikan tanpa membongkar komponen yang ada pada AC. Hasil penggantian refrigeran R-407C dengan MC-22 membuktikan bahwa refrigeran hidrokarbon jenis MC-22 lebih hemat dibandingkan dengan refrigeran R-407C. Penghematan yang diperoleh dari penggantian tersebut adalah, arus listrik sebesar 19,43 %, daya sebesar 20,71 %, energi sebesar 20,66%.

Menurut (Santoso 2010) penelitiannya melakukan pengukuran suhu, arus, tegangan dan konsumsi energi listrik, untuk mendapatkan prestasi kerja dan konsumsi listrik AC. Pada penelitian ini juga melakukan penggantian refrigeran. Penggantian refrigeran yang semula menggunakan R-22, kemudian diganti dengan MC-22. Hasil diperoleh adalah COP (*Coefficient Of Performance*) AC setelah diganti MC-22 jauh lebih baik yaitu 4,9 menjadi 6,5 EER (Tingkat efisiensi penggunaan energi) dari 8,6 menjadi 10,9, dibandingkan menggunakan freon/R-22. Konsumsi energi listrik lebih rendah setelah menggunakan MC-22 dibandingkan sebelum menggunakan MC-22 yaitu dari 9,1 kWh menjadi 7,2 kWh selama 10 jam operasi.

Menurut (Syahrani 2006) penelitian yang dilakukan dengan pengambilan data pada alat uji atau pada unit *trainer* dengan cara pembuatan instalasi sistem pendingin (*refrigerasi*). Pada proses pengambilan data pertama, kondisi sistem diisi dengan refrigeran



R-12 kemudian pengambilan data setelah itu refrigeran diganti dengan hidrokarbon jenis PIB (*Propane Iso Butan*). Hasil yang didapatkan adalah arus listrik yang digunakan pada refrigeran jenis PIB lebih rendah dibandingkan dengan R12, berarti lebih menguntungkan dari segi ekonomisnya, dan merupakan sistem refrigeran yang mudah diperoleh di lingkungan. COP dan Effisiensi yang dihasilkan PIB lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan R12, berarti sangat bagus digunakan sebab kompresor tidak bekerja berat dalam menjalankan sistem refrigerasi.

Mengacu pada penelitian sebelumnya, maka penelitian ini melakukan perbandingan ekonomi dan lingkungan hidup setelah dan sebelum penggantian refrigeran. Penggantian refrigeran bertujuan untuk mendapat nilai penghematan energi segi ekonomi dari penggunaan AC (*Air Conditioner*) di UIN Suska Riau.

## 2.2 AC (*Air Conditioner*)

*Air Conditioner* (AC) atau alat pengkondisi udara merupakan modifikasi pengembangan dari teknologi pendingin. Alat ini dipakai bertujuan untuk memberikan udara yang sejuk dan menyediakan uap air yang dibutuhkan bagi tubuh. Di lingkungan tempat kerja, AC juga dimanfaatkan sebagai salah satu cara dalam upaya peningkatan produktivitas kerja. Tingkat kenyamanan suatu ruang juga ditentukan oleh temperatur, kelembapan, sirkulasi dan tingkat kebersihan udara. Untuk dapat menghasilkan udara dengan kondisi yang diinginkan, maka peralatan yang dipasang harus mempunyai kapasitas yang sesuai dengan beban pendinginan yang dimiliki ruangan tersebut (Santoso 2010).

### 2.2.1 Komponen-Komponen AC (Stoecker 1992)

#### 1. Kompresor

Kompresor adalah jantung dari komperesi uap. Kompresor atau pompa isap berfungsi mengalirkan refrigeran ke seluruh sistem pendingin. Sistem kerjanya adalah dengan mengubah tekanan, dari sisi bertekanan rendah ke sisi bertekanan tinggi. Ketika komperesor bekerja, refrigeran yang dihisap dari evaporator dengan suhu dan tekanan rendah dimampatkan, sehingga suhu dan tekanannya naik. Gas yang dimampatkan ini ditekan keluar dari kompresor lalu dialirkan ke kondensor, tinggi rendahnya suhu dikontrolkan dengan *thermostat*. Berikut ini adalah jenis kompresor yang banyak digunakan.



#### Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

#### a. Kompresor torak (*Reciprocating compressor*)

Pada saat langkah hisap piston, gas refrigeran yang bertekanan rendah ditarik masuk melalui katup hisap yang terletak pada piston atau di kepala kompresor. Pada saat langkah buang, piston menekan refrigerant dan mendorongnya keluar melalui katup buang, yang biasanya terletak pada kepala silinder.

#### b. Kompresor rotary

Rotor adalah bagian yang berputar di dalam stator, rotor terdiri dari dua baling baling. Langkah hisap terjadi saat katup mulai terbuka dan berakhir setelah katup tertutup. Pada waktu katup sudah tertutup dimulai langkah tekan sampai katup pengeluaran membuka, sedangkan pada katup secara bersamaan sudah terjadi langkah hisap, demikian seterusnya.

#### c. Kompresor sudu

Kompresor jenis ini kebanyakan digunakan untuk lemari es, *frezer*, dan pengkondisian udara rumah tangga, juga digunakan sebagai kompresor pembantu pada bagian tekanan rendah sistem kompresi bertingkat besar.

#### d. Komperesor Sentrifugal

Komperesor sentrifugal digunakan untuk melayani sistem-sistem refrigeresi yang berkapasitas antara 200 hingga 10.000 kW. Cara kerja komperesor sentrifugal adalah fluida yang masuk *impeller* yang berputar dan kemudian dialirkan kearah lingkaran luar *empiller* dengan gaya sentrifugal. Komperesor sentrifugal dengan dua tingkat atau lebih memerlukan pemisahan gas cetus.

#### 2. Kondensor

Kondensor adalah suatu alat sebagai kondensasi refrigeran, uap dari kompresor dengan suhu tinggi dan tekanan tinggi. Kondensor berfungsi untuk membuang kalor yang diserap dari evaporator dan panas yang diperoleh dari kompresor, serta mengubah wujud gas menjadi cair. Banyak jenis kondensor yang dipakai, untuk kulkas rumah tangga digunakan kondensor dengan pendingin air. Jenis lain kondensor berpendingin air memiliki pipa-pipa yang dapat dibersihkan. Tekanan refrigeran yang meninggalkan kondensor harus cukup tinggi untuk mengatasi gesekan pada pipa dan tahanan dari alat ekspansi, sebaliknya jika tekanan di dalam kondensor sangat rendah dapat menyebabkan refrigeran tidak mampu mengalir melalui alat ekspansi. Kondensor dibedakan menjadi 3 jenis, seperti *Air-cooled Condensor*, *Water-cooled Condensor* dan *Evaporative-cooled Condensor* (Widagdo 2010).




**Hak Cipta Diindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**a. Air-cooled Condensor (Kondensor berpendingin udara)**

*Air Cooled Condenser* adalah kondensor yang menggunakan udara sebagai *cooling* mediumnya, biasanya digunakan pada sistem berskala rendah dan sedang dengan kapasitas hingga 20 ton refrigerasi. *Air Cooled Condenser* merupakan peralatan AC (*Air Conditioner*) *standard* untuk keperluan rumah tinggal (*residential*) atau digunakan di suatu lokasi di mana pengadaan air bersih susah diperoleh atau mahal. Untuk melayani kebutuhan kapasitas yang lebih besar biasanya digunakan *multiple air colled condenser*.

Dalam *Air-cooled condensor*, kalor dipindahkan dari refrigeran ke udara dengan menggunakan sirkulasi alamiah atau paksa. Kondensor dibuat dari pipa baja, tembaga dengan diberi sirip untuk memperbaiki transfer kalor pada sisi udara. Refrigeran mengalir di dalam pipa dan udara mengalir di luarnya. *Air cooled condensor* hanya digunakan untuk kapasitas kecil seperti refrigerator dan *small water cooler*.

**b. Water cooled Condensor (Kondensor berpendingin air)**

Kondensor jenis ini digunakan pada sistem yang berskala besar untuk keperluan komersil di lokasi yang mudah memperoleh air bersih. Kondensor jenis ini menjadi pilihan yang ekonomis bila terdapat suplai air bersih mudah dan murah. *Water cooled condensor* dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu *shell and tube*, *shell and coil*, dan *double tube* (Stroeker 1992).

**1. Shell and Tube**

Pada umumnya kondensor seperti ini berbentuk tabung yang di dalamnya berisi pipa (*tubes*) tempat mengalirnya air pendingin. Uap refrigeran berada di luar pipa tetapi di dalam tabung (*shell*). Salah satu jenis alat penukar kalor yang menurut konstruksinya oleh adanya sekumpulan pipa (tabung) yang dipasangkan didalam *shell* (pipa galvanis) yang berbentuk silinder dimana 2 jenis fluida saling bertukar kalor yang mengalir secara terpisah (air dan freon). Pada evaporator jenis *Shell and Tube*, refrigeran mendidih di bagian dalam bundel pipa-pipa. Cairan yang akan didinginkan kemudian dialirkan di dalam tabung dengan melintasi pipa-pipa tersebut.

**2. Shell and Coil**

Terdiri dari sebuah cangkang yang dilas elektrik dan berisi koil air, kadang-kadang juga dengan pipa bersirip, dan siripnya berbentuk batangan. Sirip

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

batangn bukan merupakan bentuk umum, jenis yang dominan adalah sirip yang berbentuk lempengan persegi yang dipasangkan pada tabung silinder.

3. *Double Tube*

Refrigeran mengembun di luar pipa dan air mengalir dibagian dalam pipa pada arah yang berlawanan. Double tube digunakan dalam hubungan dengan *cooling tower* dan *spray pond*.

c. *Evaporative Condensor* (Stroecker 1992).

Refrigeran pertama kali melepaskan kalornya ke air kemudian air melepaskan kalornya ke udara dalam bentuk uap air. Udara meninggalkan uap air dengan kelembaban yang tinggi seperti dalam *cooling tower*. Oleh karena itu kondensor *evaporative* menggabungkan fungsi dari sebuah kondensor dan *cooling tower*.

*Evaporative condensor* banyak digunakan di pabrik amoniak. Kondensor yang digunakan di sini adalah jenis *water cooled* kondensor tipe *shell and tube*, karena lebih mudah dalam menganalisa temperatur jika dibandingkan dengan *Air cooled* kondensor yang sering terjadi fluktuasi pada temperaturnya. *Water cooled condensor* ini di tempatkan di antara kompresor dan alat pengatur bahan pendingin (pipa kapiler). Posisinya di tempatkan berhubungan langsung dengan udara luar agar gas di dalam kondensor juga didinginkan oleh suhu ruangan. Gas yang berasal dari kompresor memiliki suhu dan tekanan tinggi, ketika mengalir di dalam pipa kondensor, gas mengalami penurunan suhu hingga mencapai suhu kondensasi kemudian mengembun. Wujud gas berubah menjadi cair dengan suhu rendah sedangkan tekanannya tetap tinggi.

Tabel 2.1 Jenis evaporator dan kondensor

Komponen	Refrigerant	Fluida	Keterangan
Kondensor	Didalam pipa	Gas yang diluar cairan diluar	Jarang digunakan
	Diluar pipa	Gas didalam cairan di dalam	Jarang digunakan
Evaporator	Didalam pipa	Gas di luar cairan di luar	Jarang digunakan
	Di luar pipa	Gas di luar cairan di dalam	Jarang digunakan

Sumber : Stoecker (1992)

Tebel 2.1 di atas menunjukkan pengkombinasi jarang digunakan. Konfigurasi menunjukkan di mana gas melewati pipa-pipa. Alasannya laju volume gas jauh lebih tinggi



dibanding dengan cairan, jika dipaksa mengalir melalui pipa-pipa akan terjadi penurunan tekanan yang besar.

### 3. Katup Ekspansi (Stroeker 1992).

Komponen utama yang lain untuk mesin refrigerasi adalah katup ekspansi. Katup ekspansi ini digunakan untuk menurunkan tekanan dan untuk mengekspansikan secara adiabatik. Adiabatik berarti tidak ada kalor yang dipindahkan. Proses adiabatik dapat terjadi jika pada pembatas sistem diberi penahan aliran kalor. Kompresi adiabatik merupakan kompresi kering (uap dalam keadaan *superheated*) yang berlangsung di dalam kompresor, dari tekanan evaporator menuju tekanan kompresor. Refrigeran dihisap kompresor dan meninggalkan evaporator dalam wujud uap jenuh dengan kondisi temperatur dan tekanan rendah, kemudian oleh kompresor uap tersebut dinaikkan tekanannya menjadi uap dengan tekanan yang lebih tinggi (tekanan kondensor). Kompresi diperlukan untuk menaikkan temperatur refrigeran, sehingga temperatur refrigeran di dalam kondensor lebih tinggi dari pada temperatur lingkungan. Cairan yang bertekanan dan bertemperatur tinggi sampai mencapai tingkat tekanan dan temperatur rendah, atau mengekspansikan refrigeran cair dari tekanan kondensasi ke tekanan evaporasi. Refrigeran cair diinjeksikan keluar melalui *orifice*, refrigeran segera berubah menjadi kabut yang tekanan dan temperturnya rendah. Selain itu, katup ekspansi juga sebagai alat kontrol refrigerasi yang berfungsi :

1. Mengatur jumlah refrigeran yang mengalir dari pipa cair menuju evaporator sesuai dengan laju penguapan pada evaporator.
2. Mempertahankan perbedaan tekanan antara kondensor dan evaporator agar penguapan pada evaporator berlangsung pada tekanan kerjanya.

Pipa kapiler adalah salah satu alat ekspansi. Alat ekspansi ini mempunyai dua kegunaan yaitu untuk menurunkan tekanan refrigeran cair, dan untuk mengatur aliran refrigeran ke evaporator. Cairan refrigeran memasuki pipa kapiler tersebut dan mengalir sehingga tekanannya berkurang akibat dari gesekan dan percepatan refrigeran. Pipa kapiler hampir melayani semua sistem refrigerasi yang berukuran kecil, dan penggunaannya meluas hingga pada kapasitas refrigerasi 10 kw. Pipa kapiler umumnya mempunyai ukuran panjang 1 hingga 6 m, dengan diameter di dalam 0.5 hingga 2 mm. Cairan refrigeran yang memasuki pipa kapiler dan mengalir menyebabkan tekanan berkurang, ini disebabkan oleh gesekan dan percepatan refrigeran.



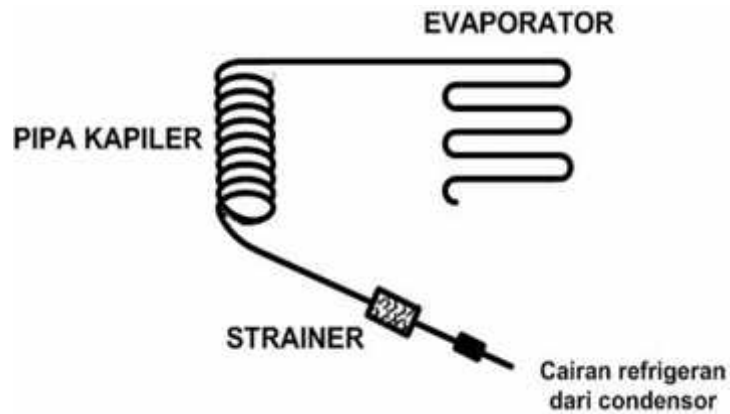
Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Diarangi mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.1 Pipa kapiler  
(Sumber : Handoyo 2002)

Diameter dan panjang pipa kapiler ditetapkan berdasarkan kapasitas pendinginan, kondisi operasi dan jumlah refrigeran dari mesin refrigerasi yang bersangkutan. Konstruksi pipa kapiler sangat sederhana, sehingga jarang terjadi gangguan. Pada waktu kompresor berhenti bekerja, pipa kapiler menghubungkan bagian tekanan tinggi dengan bagian tekanan rendah, sehingga menyamakan tekanannya dan memudahkan start berikutnya.

#### 4. Evaporator (Penguap)

Evaporator adalah komponen pada sistem pendingin yang berfungsi sebagai penukar kalor, serta bertugas menguapkan refrigeran dalam sistem, sebelum dihisap oleh kompresor. Panas udara sekeliling diserap evaporator yang menyebabkan suhu udara disekeliling evaporator turun. Suhu udara yang rendah ini dipindahkan ke tempat lain dengan jalan dihembus oleh kipas, yang menyebabkan terjadinya aliran udara.

Ada beberapa macam evaporator sesuai tujuan penggunaannya dan bentuknya dapat berbeda-beda. Hal tersebut disebabkan karena media yang hendak didinginkan dapat berupa gas, cairan atau padat. Maka evaporator dapat dibagi menjadi beberapa golongan, sesuai dengan refrigeran yang ada di dalamnya, yaitu : jenis ekspansi kering, jenis setengah basah, dan jenis basah.

##### 1. Jenis ekspansi kering

Dalam jenis ekspansi kering, cairan refrigeran yang diekspansikan melalui katup ekspansi pada waktu masuk ke dalam evaporator sudah dalam keadaan campuran cair dan uap, sehingga keluar dari evaporator dalam keadaan uap air. Katup ekspansi kering mengatur laju aliran refrigeran cair yang besarnya sebanding dengan laju penguapan di dalam evaporator.



## 2. Evaporator jenis setengah basah.

Evaporator jenis setengah basah adalah evaporator dengan kondisi refrigeran diantara evaporator jenis ekspansi kering dan evaporator jenis basah. Dalam evaporator jenis ini, selalu terdapat refrigeran cair dalam pipa penguapannya.

## 3. Evaporator jenis basah.

Dalam evaporator jenis basah, sebagian besar dari evaporator terisi oleh cairan refrigeran.

Perpindahan panas yang terjadi pada evaporator adalah konveksi paksa yang terjadi di dalam dan di luar tabung serta konduksi pada tabungnya. Perpindahan panas total yang terjadi merupakan kombinasi dari jenis evaporator, yaitu jenis ekspansi kering, evaporator jenis setengah basah dan jenis basah. Harga koefisien perpindahan panas menyeluruh dapat ditentukan dengan terlebih dahulu menghitung koefisien perpindahan kalor pada sisi refrigeran dan sisi udara yang telah dijelaskan sebelumnya. Selanjutnya koefisien perpindahan panas total dihitung berdasarkan luas permukaan dalam pipa dan berdasarkan luas permukaan luar pipa.

### 2.2.2 Prinsip Kerja AC

Kompresor AC yang ada pada sistem pendingin digunakan sebagai alat untuk memampatkan fluida kerja (*refrigerant*). Refrigeran yang masuk ke dalam kompresor AC dialirkan ke kondensator yang kemudian dimampatkan di kondensator. Di bagian kondensator ini refrigeran yang dimampatkan akan berubah fase dari refrigeran fase uap menjadi refrigeran fase cair, maka refrigeran mengeluarkan kalor, yaitu kalor penguapan yang terkandung di dalam refrigeran. Adapun besarnya kalor yang di lepaskan oleh kondensator adalah jumlah dari energi kompresor yang diperlukan dan energi kalor yang diambil evaporator dari substansi yang akan didinginkan. Pada kondensator, tekanan refrigeran yang berada dalam pipa-pipa kondensator relatif jauh lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan refrigeran yang berada pada pipa-pipa evaporator.

Pada AC melibatkan siklus refrigerasi, yakni udara didinginkan oleh refrigeran/pendingin (*freon*), lalu freon ditekan menggunakan kompresor sampai tekanan tertentu dan suhunya naik, kemudian didinginkan oleh udara lingkungan sehingga mencair. Proses tersebut diatas berjalan berulang-ulang sehingga menjadi suatu siklus yang disebut siklus pendinginan pada udara yang berfungsi mengambil kalor dari udara dan membebaskan kalor ini ke luar ruangan.





### 2.2.3 Jenis-Jenis AC

Berdasarkan jenisnya ada 4 jenis AC yang sering digunakan, yaitu AC Split, AC Window, AC Sentral dan Standing AC.

#### 1. AC Split

Pada AC jenis split, komponen AC dibagi menjadi dua unit yaitu unit *indoor* yang terdiri dari filter udara, evaporator dan *evaporator blower*, *ekspansion valve* dan *controll unit*, serta unit *outdoor* yang terdiri dari kompresor, kondenser, *kondenser blower* dan refrigeran filter udara. Selanjutnya antara unit *indoor* dengan unit *outdoor* dihubungkan dengan 2 buah saluran *refrigerant*, satu buah untuk menghubungkan evaporator dengan kompresor dan satu buah untuk menghubungkan refrigeran *filter* dengan *ekspansion valve* serta kabel power untuk memasuk arus listrik untuk kompresor dan kondenser *blower*. AC Split cocok untuk ruangan yang membutuhkan ketenangan, seperti ruang tidur, ruang kerja atau perpustakaan.

Kelebihan AC Split adalah, bisa dipasang pada ruangan yang tidak berhubungan dengan udara luar, suara di dalam ruangan tidak berisik. Sedangkan kekurangan AC Split adalah pemasangan pertama maupun pembongkaran apabila akan dipindahkan membutuhkan tenaga yang terlatih. Pemeliharaan/perawatan membutuhkan peralatan khusus dan tenaga yang terlatih, serta harganya lebih mahal dibanding dengan AC window.

#### 2. AC Window

Pada AC jenis window, semua komponen AC seperti *filter* udara, evaporator, *blower*, kompresor, kondenser, *refrigerant filter*, *ekspansion valve* dan *controll unit* terpasang pada satu *base plate*, kemudian *base plate* beserta semua komponen AC tersebut dimasukkan ke dalam kotak plat sehingga menjadi satu unit yang kompak. Biasanya dipilih karena pertimbangan keterbatasan ruangan, seperti pada rumah susun.

Kelebihan AC window, pemasangan pertama maupun pembongkaran kembali apabila akan dipindahkan mudah dilaksanakan. Pemeliharaan / perawatan mudah dilaksanakan serta harga lebih murah. Sedangkan kekurangan AC window adalah karena semua komponen AC terpasang pada *base plate* yang posisinya dekat dengan ruangan yang didinginkan, maka cenderung menimbulkan suara berisik (terutama akibat suara dari kompresor). Tidak semua ruangan dapat



dipasang AC window, karena AC window harus dipasang dengan cara bagian kondenser menghadap ketempat terbuka supaya udara panas dapat dibuang ke alam bebas.

### 3. AC Sentral

Pada AC central, ruangan didinginkan pada *cooling plant* di luar ruangan. Kemudian udara yang telah dingin dialirkan kembali ke dalam ruangan tersebut. Biasanya cocok untuk dipasang di sebuah gedung bertingkat (berlantai banyak), seperti di hotel atau mall.

Kelebihan AC sentral adalah suara di dalam ruangan tidak berisik sama sekali. Estetika ruangan terjaga, karena tidak ada unit *indoor*. Sedangkan kekurangan AC sentral adalah perencanaan, instalasi, operasi dan pemeliharaan membutuhkan tenaga yang terlatih. Apabila terjadi kerusakan pada waktu beroperasi, maka dampaknya dirasakan pada seluruh ruangan. Pengaturan temperatur udara hanya dapat dilakukan pada sentral *cooling plant*. Biaya investasi awal serta biaya operasi dan pemeliharaan tinggi.

### 4. Standing AC

Jenis *standing AC* ini cocok digunakan untuk kegiatan-kegiatan situasional dan mobil karena fungsinya yang mudah dipindahkan, seperti seminar, pengajian *outdoor* dsb.

## 2.2.4 Refrigerant

Refrigeran merupakan jenis zat yang mudah diubah wujudnya dari gas menjadi cair ataupun sebaliknya. Refrigeran bersikulasi secara terus menerus melewati komponen utama AC. Selama tidak ada kebocoran sistem, jumlah refrigeran yang bersirkulasi tidak akan pernah berkurang. Berikut ini adalah aliran refrigeran.

1. Cairan *refrigerant* yang meninggalkan *receiver* dikembangkan dengan tiba-tiba pada katup ekspansi. Ini akan menjadi uap basah dengan tekanan dan temperature rendah dan mengalir ke evaporator.
2. Refrigeran uap basah yang mengalir di evaporator mengambil panas dari udara di dalam ruangan pada permukaan evaporator. Di sini refrigeran diuapkan dan dipanaskan lagi, kemudian diisap lagi ke kompresor dalam bentuk gas refrigeran. Udara didalam ruangan dihisap ke unit pendingin oleh sebuah fan, didinginkan di permukaan evaporator dan ditiupkan lagi ke ruangan.
3. Gas refrigeran yang diuapkan di evaporator dihisap ke kompresor.

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

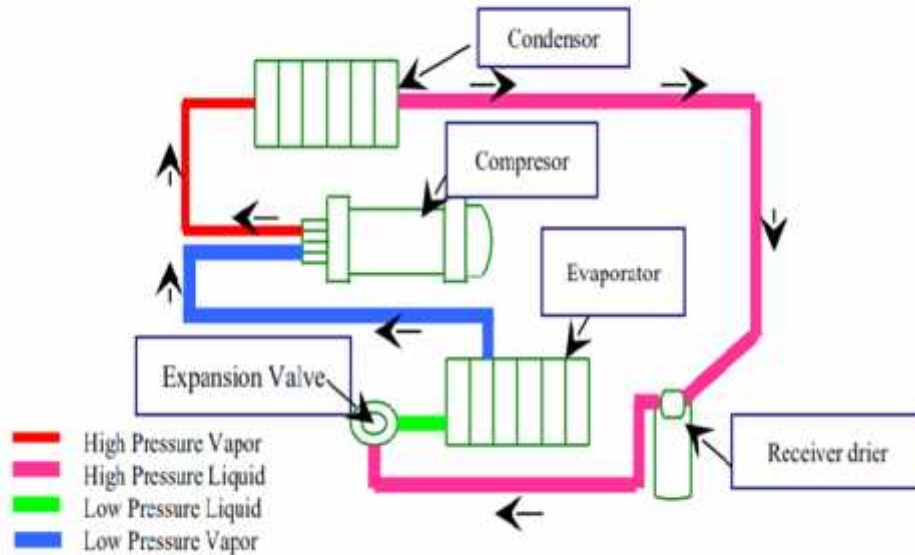
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4. Gas refrigeran dipampatkan di kompresor, kemudian di kirimkan ke kondensor dengan tekanan dan temperature tinggi.
5. Didalam kondensor gas refrigeran didinginkan, ini akan menjadi refrigeran cair lagi dan mengalir ke *receiver*.



Gambar 2.2 Kondisi refrigeran pada setiap komponen

(Sumber : Wibowo 2006)

Gambar 2.2 di atas menjelaskan bahwa refrigeran uap bertekanan rendah dihisap kompresor melalui katup hisap (*suction valve*), lalu dikompresi menjadi refrigeran uap bertekanan tinggi dan dikeluarkan melalui katup buang (*discharge valve*) menuju kondensor, kalor dari refrigeran uap akan diserap oleh udara yang dilewatkan pada sirip-sirip kondensor, sehingga refrigeran berubah fasa menjadi cair namun tetap bertekanan tinggi. Sebelum memasuki katup ekspansi, refrigeran terlebih dahulu dilewatkan suatu penyaring (*filter drier*). Refrigeran cair bertekanan rendah yang keluar dari katup ekspansi kemudian memasuki evaporator. Di sini terjadi penyerapan kalor dari udara yang dilewatkan pada sirip-sirip evaporator, sehingga refrigeran berubah fasa menjadi refrigeran uap. Selanjutnya memasuki kompresor melalui sisi hisap, demikian ini berlangsung.

Pemilihan refrigeran dan suhu pendingin dan beban yang diperlukan menentukan pemilihan kompresor, juga perancangan kondenser, evaporator, dan alat pembantu lainnya. Faktor tambahan seperti kemudahan dalam perawatan, persyaratan fisik ruang dan ketersediaan utilitas untuk peralatan pembantu (air, daya, dll.) juga mempengaruhi





pemilihan komponen. Ada dua jenis refriegeran yang banyak digunakan, yaitu refriegeran sintetik dan refrigeran alam (hidrokarbon).

### 1. Refrigeran sintetik (Syahrani 2006)

Refrigeran sintetik merupakan hasil sintesa pada hidrokarbon di mana unsur Hidrogen (H) disubstitusi dengan unsur Cl (*klor*) dan unsur F (*flour*). Dengan substitusi tersebut maka karakteristik refrigeran sintetik berbeda dengan karakteristik hidrokarbon yang merupakan bahan dasarnya. Refrigeran sintetik dapat di kelompokkan menjadi CFC, HCFC dan HFC.

Refrigeran yang termasuk dalam kelompok holokarbon (*sintetik*) mempunyai lebih dari satu atom. Ketentuan bilangan, nama kimia, dan rumus kimia dari jenis refrigeran ini adalah:

Tabel 2.2 Refrigeran holokarbon

Ketentuan penomoran	Nama kimia	Rumus kimia
11	Trikloromonoflourmetana	$\text{CCl}_3\text{F}$
12	Diklorodifluorometana	$\text{CCl}_2\text{F}_2$
13	Monoklorotrifluorometana	$\text{CClF}_3$
22	Monoklorodifluorometana	$\text{CHClF}_2$
40	Metil klorida	$\text{CH}_3\text{Cl}$
113	Triklorotrifluoroetana	$\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$
114	Diklorotetrafluoroetana	$\text{CClF}_2\text{CClF}_2$

Sumber : Stoecker (1992)

CFC (*chlorofluorocarbon*) terdiri dari unsur *klor* (Cl), *flour* (F) dan *karbon* (C). Contoh dari refrigeran ini adalah R-11 (CFC-11), R-12 (CFC-12). Karena tidak mengandung hidrogen maka CFC adalah senyawa yang sangat stabil dan tidak mudah bereaksi dengan zat lain meskipun terlepas ke atmosfer. Karena mengandung *klor*, CFC merusak ozon di atmosfer (*stratosfer*).

HCFC (*hydrochloro-fluorocarbon*) selain mengandung Cl (*klor*) yang merusak lapisan ozon, zat ini juga mengandung hidrogen (H), sehingga zat ini menjadi kurang stabil jika berada di atmosfer oleh sebab itu HCFC mempunyai ODP yang rendah. Contoh refrigeran ini adalah R-22 (HCFC-22) yang digunakan untuk aplikasi AC ruangan /gedung.

HFC (*hydrofluorocarbon*) tidak mempunyai unsur klor sehingga tidak merusak lapisan ozon dengan ODP nol. Contoh refrigeran ini adalah R-134a merupakan gas pendingin yang paling banyak digunakan dan direkomendasikan sebagai pengganti CFC jenis R-12 untuk aplikasi mesin pendingin tipe baru.



#### Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

R134a ini sudah tidak mengandung Cl (*klor*), sehingga disebut sebagai refrigeran non CFC, namun masih mengandung F (*flour*) yang berpotensi sebagai bahan penyebab pemanasan global, maka para ilmuwan merekomendasikan untuk menggunakan bahan-bahan yang berasal dari alam (Aziz 2008).

Dilihat dari Sifat Fisika dan Termodinamika, refrigeran jenis sintetis memiliki beberapa kelemahan teknis yang berpengaruh pada kerugian secara ekonomis, antara lain :

1. Kerapatan (*density*) dan kekentalan (*viscosity*) yang cukup tinggi, menyebabkan berat jenis menjadi tinggi. Berat jenis yang tinggi berpengaruh terhadap :
  - a. Berat (bobot) refrigeran menjadi tinggi.
  - b. Pemakaian refrigerant lebih banyak.
  - c. Kerja kompresor menjadi lebih berat.
  - d. Pemakaian energi (listrik/bahan bakar) lebih banyak.
2. Calor Laten yang rendah, berpengaruh terhadap efek pendinginan.
  - a. Proses pendinginan lebih lambat.
  - b. Temperatur pada evaporator (udara keluar) relatif kurang dingin.

## 2. Refrigeran Alam

Refrigeran alam terbagi beberapa bagian, dalam pembahasan ini hanya akan di bahas mengenai refrigeran hidrokarbon. Refrigeran hidrokarbon mempunyai sifat yang salah satunya adalah ramah lingkungan. Refrigeran hidrokarbon atau disebut dengan R-290 mempunyai bermacam-macam jenis, salah satunya Musicool 22 (MC-22).

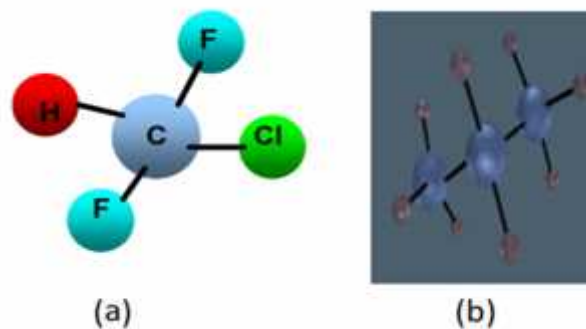
Keunggulan Musicool (MC-22) secara teknis adalah merupakan kebalikan dari kelemahan teknis yang dimiliki oleh refrigeran sintetis. Dari sifat fisika dan termodinamika yang dimilikinya, maka refrigeran alamiah Musicool (MC-22) mempunyai kelebihan dibandingkan dengan refrigeran sintetis yaitu :

1. Merupakan refrigeran alternatif pengganti refrigeran sintetis.
2. Mudah ditangani karena mempunyai tekanan kerja yang sama dengan refrigeran sintetis.
3. Dengan kerapatan (*density*) dan kekentalan (*viscosity*) yang lebih kecil, maka:
  - a. Berat jenis lebih kecil berat (bobot) refrigeran lebih kecil.
  - b. Kerja kompresor lebih ringan.

- c. Pemakaian energi (listrik) untuk menggerakkan kompresor lebih kecil.
  - d. Karena kerja kompresor lebih ringan, maka umur pemakaian menjadi lebih lama.
4. Dengan sifat termodinamika yang lebih baik, maka efek refrigerasi menjadi lebih baik :
- a. Proses pendinginan lebih cepat
  - b. Temperatur udara keluaran pada evaporator lebih rendah/dingin.

Keunggulan teknis tersebut di atas berakibat positif pada aspek ekonomi/financial.

Refrigeran hidrokarbon merupakan refrigeran alam (*natural refrigerant*) yang unsur-unsurnya terdiri dari karbon (C) dan hidrogen (H). Sedangkan refrigeran sintetik mengandung unsur halogen yang terdiri dari unsur Klor (Cl) dan Fluor (F), dan unsur-unsur halogen ini yang berpengaruh terhadap aspek lingkungan Atmosfir bumi, di mana unsur klor sebagai bahan perusak ozon sehingga secara kebijakan global dan kebijakan nasional telah menjadi agenda untuk dihapuskan. Secara diagram perbedaan refrigeran sintetik R-22 dengan penggantinya yaitu propane/hidrokarbon (Hidayat 2012).



Gambar 2.3 (a) Diagram R-22 dan (b) R-290 (Propane)

(Sumber : Hidayat 2012)

Diantara refrigeran alam seperti, Amonia (NH<sub>3</sub>), Karbondiosida (CO<sub>2</sub>), Hidrokarbon (HC) dalam aplikasinya dengan pertimbangan ekonomi (murah). Refrigeran hidrokarbon lebih banyak digunakan sebagai pengganti refrigeran CFC : R12, HCFC : R-22 dan HFC : R-134a, penggunaan selain jenis tersebut masih terbatas.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Refrigeran Hidrokarbon (HC) merupakan salah satu refrigeran alternatif pengganti refrigeran halokarbon. Ditinjau dari aspek energi, pendingin penggunaan refrigeran hidrokarbon dapat menurunkan penggunaan energi. Kondisi seperti inilah yang menjadi daya tarik dan potensi yang bermanfaat untuk digunakan secara lebih luas di masyarakat. Adapun kelebihan dari refrigeran hidrokarbon adalah sebagai berikut (Hidayat 2012) :

- a. Refrigeran Hidrokarbon (HC) dalam aplikasinya dengan pertimbangan ekonomi (murah). Refrigeran HC banyak digunakan sebagai pengganti refrigeran CFC seperti R-12, HCFC : R-22 dan HFC : R-134a.
- b. Refrigeran HC juga baik dari dampak lingkungan hidup. Ramah lingkungan, yaitu tidak merusak lapisan ozon. *Ozon Depleting Potential* (ODP = 0), dan tidak menimbulkan pemanasan global *Global Warming Potential* (GWP kecil).
- c. Refrigeran hidrokarbon dapat langsung diganti (*drop-in substitute*) tanpa perubahan komponen, sehingga untuk mesin refrigerasi yang sebelumnya menggunakan refrigeran R-12 maka refrigeran hidrokarbon dapat langsung diganti tanpa melakukan penggantian komponen. Beberapa refrigeran tidak dapat langsung menggantikan refrigeran lainnya, seperti R-134a tidak dapat langsung digunakan untuk menggantikan R-12 tanpa penggantian beberapa komponen.

Tabel 2.3 ODP and GWP refrigeran hidrokarbon (HC) dengan beberapa refrigeran lainnya

Refrigerant	ODP	GWP
HC	0	3
R-11	1	3500
R-12	1	7300
R-134a	0	1300

Sumber : Mainil (2012)

- d. Lebih hemat energi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa refrigeran hidrokarbon (HC) lebih hemat energi antara 5–25 %, dibanding dengan refrigeran CFC. Hal ini karena jumlah refrigeran yang digunakan lebih sedikit, sehingga kerja kompresor lebih ringan, yang akan menghemat pemakaian energi listrik (Mainil 2012).



#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- Refrigeran hidrokarbon memenuhi standar internasional yang dikeluarkan oleh (IAHRA) *Independent Australian Hydrocarbon Refrigeration Association*, (GTA) *Greenchill Technology Association* (Mainil 2012).

Kelemahan refrigeran hidrokarbon yang menonjol adalah mudah terbakar, namun hal ini tidak terlalu mengkhawatirkan jika prosedur keamanan penggunaan hidrokarbon diterapkan dengan baik serta telah diakui dan diatur oleh berbagai standar internasional yaitu, BS4434:1995 di Inggris, AS/NZ1677:1998 di Australia / New Zeland dan DIN 7003 di Jerman (Mainil 2012).

Refrigeran hidrokarbon dapat terbakar jika bercampur dengan udara pada komposisi yang tepat dan titik nyalanya tercapai. Komposisi yang harus dihindari ini adalah jika hidrokarbon berada pada komposisi 2–10 % volume. Kedua kondisi ini, komposisi dan titik nyalanya, tidak boleh terjadi secara serentak baik di dalam sistem refrigerasi maupun di luar sistem.

Tabel 2.4 Karakteristik tiga jenis refrigeran Hidrokarbon

Sifat-Sifat	Propana	Butana	Isobutana
Rumus kimia	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
Temperatur pijar (°C)	470 – 510	490	405 – 508
Temp bakar udara (°C)	1025	1900	-
Temp bakar udara O <sub>2</sub>	2500	2950	-
Temperatur didih (°C)	-42	-0,5	-11,7
Berat jenis terhadap udara	1,55	2,09	2,06
Massa molekul	44,10	68,13	58,13
Temperatur kritis (°C)	96,8	152	135
Tekanan kritis (Kpa)	4254	3754	3645
Titik beku (C)	-187,7	-138,5	-160

Sumber : Syahrani (2006)

Sistem pendingin bisa menghasilkan efek pendinginan dari proses yang bekerja secara siklus tertutup dengan menggunakan media pendingin yang disebut dengan refrigeran yang bersirkulasi di dalam siklus tertutup tersebut dan setiap melewati suatu komponen yang ada dalam siklus refrigeran akan mengalami perubahan wujud secara fisika.

Pada komponen kompresor refrigeran mengalami proses penekanan sehingga gas dimampatkan pada tekanan tinggi pada suhu tinggi dan mengalir ke dalam komponen



kondensor menjadi gas cair dengan tekanan tinggi dan kalor yang dibawanya dilepas ke udara sekelilingnya melalui pipa-pipa dan sirip-sirip yang ada di kondensor. Selanjutnya wujud cair bertekanan yang ada di kondensor dilewatkan pada komponen katup ekspansi sehingga refrigeran yang keluar menjadi kabut dalam keadaan suhu dingin dan tekanan rendah kemudian mengalir masuk ke dalam komponen evaporator dalam bentuk kabut dan suhu rendah sehingga kalor yang ada di udara sekitar evaporator akan mengalir masuk ke dalam refrigeran yang ada di dalam evaporator, untuk selanjutnya terus bersirkulasi kembali (Witjahjo 2009).

Adanya proses dan siklus yang dialami oleh refrigeran serta terjadinya efek pendinginan pada evaporator yang seimbang dengan proses terjadinya pelepasan kalor pada kondensor, maka refrigerant harus memiliki beberapa sifat fisika pokok, diantaranya :

- a. Tekanan penguapan di evaporator harus di atas tekanan atmosfer
- b. Tekanan pengembunan di kondensor tidak terlalu tinggi
- c. Kalor laten penguapan di evaporator harus tinggi
- d. Konduktivitas termal harus tinggi
- e. Viskositas fase cair maupun gas harus rendah.

Persyaratan sifat fisika tersebut diiringi dengan sifat kimia refrigeran yang tidak mudah bereaksi dengan material lainnya dan tidak bersifat korosif. Sifat termodinamika siklus refrigerasi diharapkan refrigeran menghasilkan koefisien prestasi sistem pendingin yang besar, serta dari sisi kesehatan refrigeran tidak memiliki sifat racun.

Refrigeran untuk suatu unit pendingin memiliki kelompok dan jenis yang berbeda tergantung kepada kebutuhan dari unit pendingin tersebut. Secara garis besar unit pendingin dibedakan dalam 2 (dua) kelompok utama yaitu :

- a. Sistem pendingin untuk kenyamanan manusia dan pendinginan di atas nol derajat Celcius.
- b. Sistem pendingin untuk suhu dibawah nol derajat Celcius dari aspek lingkungan, dibedakan dalam 2 (dua) kelompok refrigeran, yaitu :
  1. Refrigeran alam, seperti Hidrokarbon, Amonia, Karbon dioksida, dll.
  2. Refrigeran sintetik yang tergolong halokarbon seperti R-12, R-134a, R-22, dll.

Bila dua refrigeran untuk sistem pendingin yang sama diperbandingkan, maka parameter sifat fisika yang mendapat perhatian adalah :

1. Kandungan energi (*Enthalpy*).
2. Kerapatan jenis (*density*).





3. Panas jenis (*specific heat*).
4. Hantaran panas (*thermal conductivity*).
5. Kekentalan (*Viscosity*).

### 2.2.5 Termodinamika Sistem Refrigerasi

Parameter termodinamika terkait penghematan energi dan kinerja mesin pendingin. Sebagai bahan yang bersirkulasi di dalam siklus tertutup kompresi uap, refrigerant memiliki persyaratan teknis sehingga bisa memberikan kinerja yang sesuai dengan jenis refrigeran dan jenis mesin pendinginnya, seperti pada AC split yang menggunakan R-22 maka refrigeran yang ada dalam siklus tertutup tersebut harus memiliki karakteristik seperti R-22 walaupun bahan pendinginnya misalkan refrigeran hidrokarbon yang dalam hal ini adalah R-290 (Propane).

Sifat fisika dan termodinamika refrigeran R-22 dan R-290 atau (MC-22) memiliki banyak parameter. Tetapi yang dominan terkait dengan efek penghematan energi listrik ada beberapa seperti, massa jenis (*density*), kekentalan (*viskositas*) dan perilaku tekanan bahan pada suhu tinggi (suhu di kondensor). Bila hidrokarbon (R-290) dibandingkan terhadap sintetis (R-22), massa jenisnya lebih kecil, *viskositas* juga lebih kecil, demikian juga perilaku tekanan bahan di kondensor akan lebih kecil. Ketiga parameter tersebut (massa jenis, viskositas dan perilaku tekanan) memberikan dampak pada konsumsi energi listrik pada mesin pendingin (AC Split) akan lebih kecil.

Adapun parameter dominan yang berdampak pada kinerja pendinginan (efek refrigerasi) suatu mesin pendingin adalah enthalpy, konduktivitas termal, dan kalor jenis dari R-290 itu lebih besar dibandingkan R-22, sehingga kinerja pendinginan untuk AC yang menggunakan R-290 akan lebih baik dibandingkan menggunakan R-22.

#### 1. Siklus Refrigerasi Carnot.

Siklus refrigerasi Carnot merupakan kebalikan dari mesin Carnot. Mesin Carnot menerima energi kalor dari temperatur tinggi, energi kemudian diubah menjadi suatu kerja dan sisa energi tersebut dibuang ke sumber panas pada temperatur rendah. Sedangkan siklus refrigerasi carnot menerima energi pada temperatur rendah dan mengeluarkan energi pada temperatur tinggi.

#### 2. Siklus Kompresi Uap Standar/Teoritis (Negara 2010).

Siklus kompresi uap standar merupakan siklus teoritis, di mana pada siklus tersebut mengasumsikan beberapa proses sebagai berikut :



**Hak Cipta Diindungi Undang-Undang**

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Proses Kompresi.

Proses kompresi dimulai saat refrigeran meninggalkan evaporator. Refrigeran masuk kompresor melalui pipa masukan kompresor (*intake*). Dari kompresor refrigerant berwujud gas dan bertemperatur rendah dan bertekanan rendah, tetapi memiliki tekanan dan suhu tinggi. Setelah tekanan dan suhu refrigeran diubah, selanjutnya refrigeran dipompa dan dialirkan menuju ke kondensor.

2. Proses Kondensasi.

Proses kondensasi dimulai ketika refrigeran meninggalkan kompresor. Refrigeran berwujud gas bertekanan dan bertemperatur tinggi menuju kondensor. Di dalam kondensor, wujud gas refrigeran berubah menjadi wujud cair. Panas yang dihasilkan refrigeran dipindahkan ke udara di luar pipa kondensor. Agar proses kondensasi lebih efektif, digunakan kipas (*fan*) yang dapat menghembuskan udara luar tepat di permukaan pipa kondensor. Dengan begitu, panas pada refrigeran dapat dipindahkan ke udara luar. Setelah melewati proses kondensasi, refrigeran berwujud cair bertemperatur lebih rendah, tetapi tekanan refrigeran masih tinggi. Selanjutnya, refrigeran dialirkan menuju ke pipa kapiler.

3. Proses Ekspansi / Penurunan Tekanan.

Proses ekspansi/penurunan tekanan refrigeran dimulai ketika refrigeran meninggalkan kondensor. Di dalam pipa kapiler terjadi proses penurunan tekanan refrigeran, sehingga refrigeran yang keluar memiliki tekanan yang rendah. Selain itu, proses ekspansi berfungsi mengontrol aliran refrigeran di antara dua sisi tekanan yang berbeda, yaitu tekanan tinggi dan rendah. Selanjutnya, refrigeran cair dengan suhu dan tekanan rendah dialirkan menuju ke evaporator. Proses ini merupakan proses pendinginan refrigeran.

4. Proses Evaporasi

Proses evaporasi dimulai ketika refrigeran akan masuk ke dalam evaporator. Dalam keadaan ini, refrigeran berwujud cair, bertemperatur rendah dan bertekanan rendah. Kondisi refrigeran semacam ini dimanfaatkan untuk mendinginkan udara luar yang melewati permukaan evaporator. Agar lebih efektif mendinginkan udara ruangan, digunakan blower (*indoor*) untuk mengatur sirkulasi udara agar melewati evaporator. Proses yang terjadi dibalik proses pendinginan udara ruangan adalah proses penangkapan panas (*kalor*) udara ruangan yang



mempunyai temperatur lebih tinggi, dibandingkan dengan refrigeran yang mengalir di dalam evaporator. Karena refrigeran menyerap panas udara di dalam ruangan, maka wujud refrigeran cair akan menjadi wujud gas. Selanjutnya, refrigeran akan mengalir menuju ke kompresor. Proses ini terjadi berulang dan terus-menerus sampai suhu atau temperatur ruangan sesuai dengan keinginan.

Kompresor AC (*Air Conditioner*) yang ada pada sistem pendingin dipergunakan sebagai alat untuk memampatkan fluida kerja (*refrigerant*), jadi refrigeran yang masuk ke dalam kompresor AC dialirkan dan dimampatkan ke kondenser. Di bagian kondenser ini refrigeran yang dimampatkan akan berubah fase dari refrigeran fase uap menjadi refrigeran fase cair, maka refrigeran mengeluarkan kalor yaitu kalor penguapan yang terkandung di dalam refrigeran. Adapun besarnya kalor yang dilepaskan oleh kondenser adalah jumlah dari energi kompresor yang diperlukan dan energi kalor yang diambil evaporator dari substansi yang akan didinginkan (Joto 2013).

### 3. Siklus Kompresi Uap Aktual.

Siklus kompresi uap yang sebenarnya (aktual) berbeda dari siklus standar (teoritis). Perbedaan ini muncul karena asumsi yang ditetapkan dalam siklus standar. Pada siklus aktual terjadi pemanasan lanjut uap refrigeran yang meninggalkan evaporator sebelum masuk ke kondensor.

Pemanasan lanjut ini terjadi akibat tipe peralatan ekspansi yang di gunakan atau dapat juga karena penyerapan panas di jalur masuk (*suction line*) antara evaporator dan kompresor. Demikian juga pada refrigeran cair mengalami pendinginan lanjut atau bawah dingin sebelum masuk katup ekspansi atau pipa kapiler. Keadaan di atas adalah peristiwa normal dan melakukan fungsi yang diinginkan untuk menjamin bahwa seluruh refrigeran yang memasuki kompresor atau alat ekspansi dalam keadaan 100 % uap atau cair. Perbedaan yang penting antara daur nyata (aktual) dan standar terletak pada penurunan tekanan dalam kondensor dan evaporator. Daur standar dianggap tidak mengalami penurunan tekanan pada kondensor dan evaporator, tetapi pada daur nyata terjadi penurunan tekanan karena adanya gesekan antara refrigeran dengan dinding pipa.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

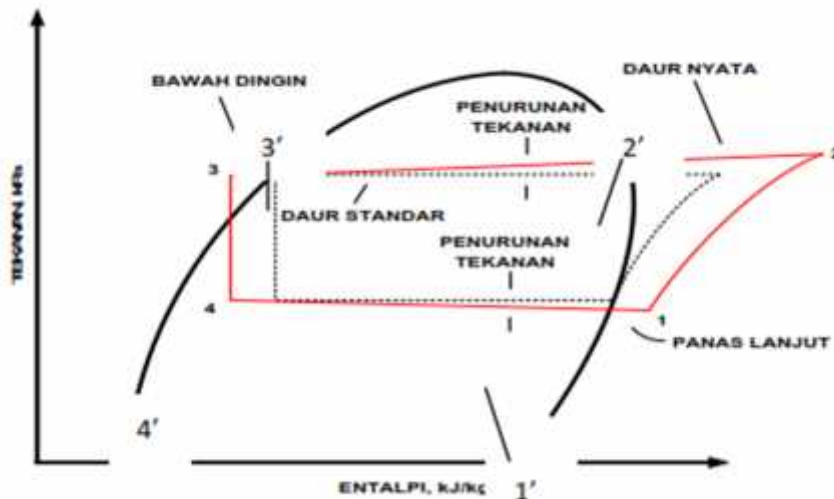
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





Gambar 2.4 Perbandingan siklus aktual dan siklus standar  
(Sumber : Wibowo 2006)

Gambar di atas pada garis 4-1 diperlihatkan penurunan tekanan yang terjadi pada refrigeran pada saat melewati *suction line* dari evaporator ke kompresor. Garis 1-1 diperlihatkan terjadinya panas lanjut pada uap refrigeran yang ditunjukkan dengan garis yang melewati garis uap jenuh. Proses 1-2 adalah proses kompresi uap refrigeran didalam kompresor. Pada siklus teoritis proses kompresi diasumsikan isentropik, yang berarti tidak ada perpindahan kalor di antara refrigeran dan dinding silinder. Pada kenyataannya proses yang terjadi bukan isentropik maupun politropik. Garis 2-3 menunjukkan adanya penurunan tekanan yang terjadi pada pipa-pipa kondensor. Sedangkan pada garis 3-3 menunjukkan tekanan yang terjadi dijalur cair.

### 2.3 Klasifikasi Sistem Refrigerasi

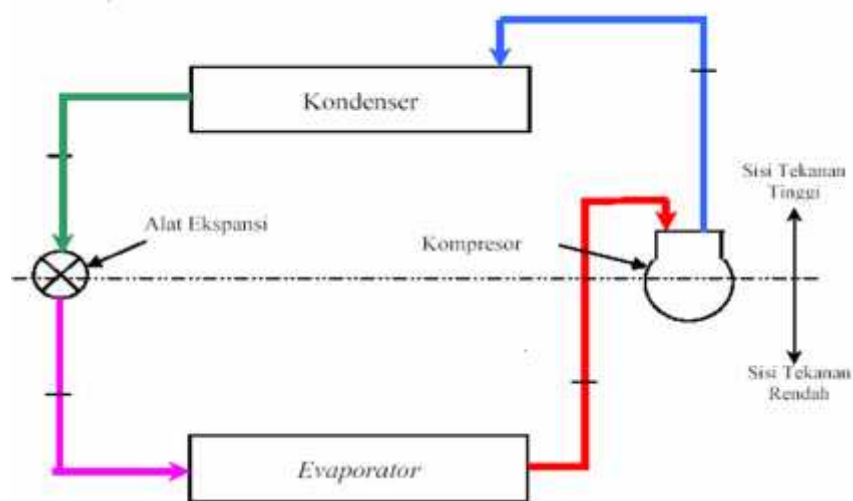
Ditinjau dari prinsip kerjanya, sistem refrigerasi di bagi menjadi 3 jenis yaitu, sistem refrigerasi kompresi uap, sistem refrigerasi absorbs, dan sistem refrigerasi udara.

#### 2.3.1 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Siklus refrigerasi kompresi mengambil keuntungan dari kenyataan bahwa fluida yang bertekanan tinggi pada suhu tertentu cenderung menjadi lebih dingin jika dibiarkan mengembang. Jika perubahan tekanan cukup tinggi, maka gas yang ditekan akan menjadi lebih panas dari pada sumber dingin di luar (contoh udara di luar) dan gas yang mengembang akan menjadi lebih dingin dari pada suhu dingin yang dikehendaki. Dalam kasus ini, fluida digunakan untuk mendinginkan lingkungan bersuhu rendah dan membuang panas ke lingkungan yang bersuhu tinggi.

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.5 Sistem refrigerasi kompresi uap  
(Sumber : Hidayat 2010)

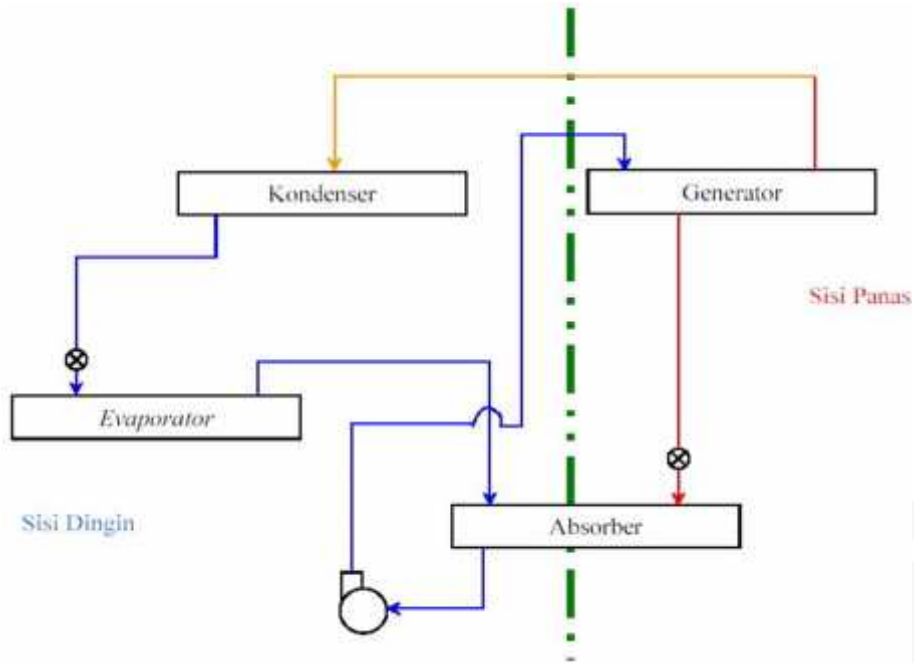
Pada gambar 2.4 menjelaskan bahwa, pada garis yang menghubungkan 1-2 cairan refrigeran dalam evaporator menyerap panas dari sekitarnya. Panas yang diserap dari sekitarnya, seperti udara, air atau cairan proses lainnya. Selama proses ini cairan merubah bentuknya menjadi gas. Garis 2-3 uap yang diberi panas berlebih masuk menuju kompresor di mana tekanannya dinaikkan. Suhu juga akan meningkat, sebab bagian energi yang menuju proses kompresi dipindahkan ke refrigeran. Garis 3-4 *superheated* gas bertekanan tinggi lewat dari kompresor menuju kondenser. Garis 4-1 cairan yang sudah didinginkan dan bertekanan tinggi melintas melalui peralatan ekspansi, yang mana akan mengurangi tekanan dan mengendalikan aliran menuju kondenser.

### 2.3.2 Sistem Refrigerasi Absorpsi.

Dalam siklus refrigerasi absorpsi, dipergunakan penyerap untuk menyerap refrigeran yang diuapkan di dalam evaporator sehingga menjadi suatu larutan absorpsi. Larutan absorpsi tersebut kemudian dimasukkan ke dalam sebuah generator untuk memisahkan refrigeran dari larutan absorpsi tersebut dengan cara memanasi, yang sekaligus akan menaikkan tekanannya sampai mencapai tingkat keadaan mudah diembunkan.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

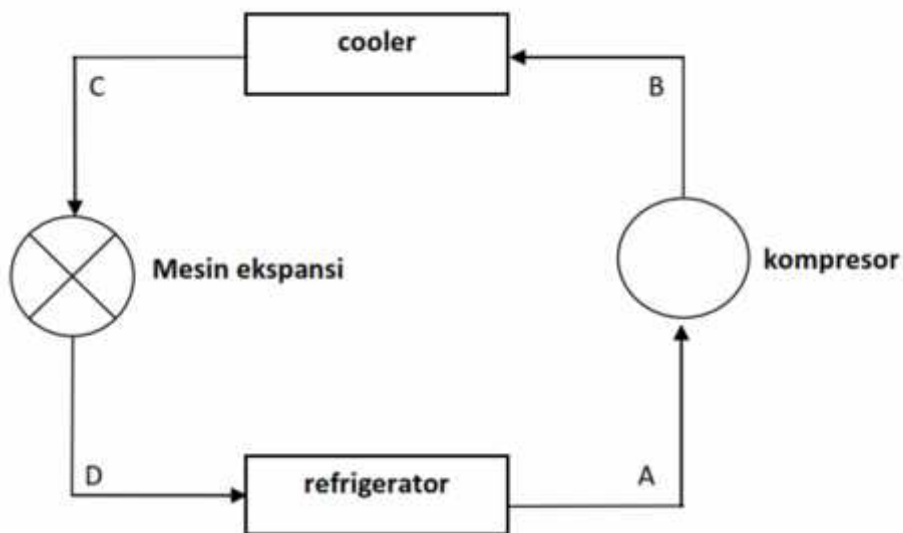
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.6 Sistem refrigerasi absorbs  
(Sumber : Hidayat 2010)

### 2.3.3 Sistem Refrigerasi Udara.

Pada gambar 2.6 menjelaskan, udara bertindak sebagai refrigeran, yang menyerap panas pada tekanan konstan  $P_1$ , di dalam refrigerator. Udara panas keluar *refrigerator*, dikompresi untuk dibuang panasnya ke lingkungan melalui *cooler* pada tekanan konstan  $P_2$  ( $P_1 > P_2$ ). Udara keluar *cooler* dikembalikan ke keadaan awal oleh mesin ekspansi untuk dapat melakukan langkah awal pada siklus berikutnya.



Gambar 2.7 Sistem refrigerasi udara  
(Sumber : Wibowo 2006)





### 2.3.4 Perhitungan Termodinamika Siklus Refrigerasi

Sifat yang paling penting dari refrigeran adalah :

#### 1. Titik didih.

Titik didih merupakan temperatur di mana tekanan uap sebuah zat cair sama dengan tekanan eksternal yang dialami oleh cairan. Pada sistem pendingin, titik didih normal harus lebih rendah dari objek yang didinginkan, agar refrigeran yang masuk kompresor dari evaporator benar-benar dalam wujud gas supaya tidak merusak kompresor.

#### 2. *Coefficient of Performance* (COP).

Koefisien kinerja atau COP adalah bilangan tidak berdimensi yang digunakan untuk menyatakan kinerja dari sebuah siklus termodinamika. COP digunakan pada AC, karena AC adalah salah satu bentuk pompa panas, sehingga kinerjanya diukur dengan COP. Pada mesin-mesin konversi lain seperti, *heat engine* (mesin panas), kinerja diukur dengan efisiensi tetapi keduanya menggunakan prinsip yang sama yaitu, membandingkan antara *output* dan *input*. Koefisien Prestasi (KP), *Coefficient Of Performance* = COP didefinisi sebagai perbandingan laju kalor yang dikeluarkan dengan laju energi yang harus dimasukkan ke sistem.

$$\text{koefisien kenerja (KP, COP)} = \frac{\text{kapasitas refrigerasi}}{\text{kalor ekivalen dari kerja yang diperlukan}} \quad (2.1)$$

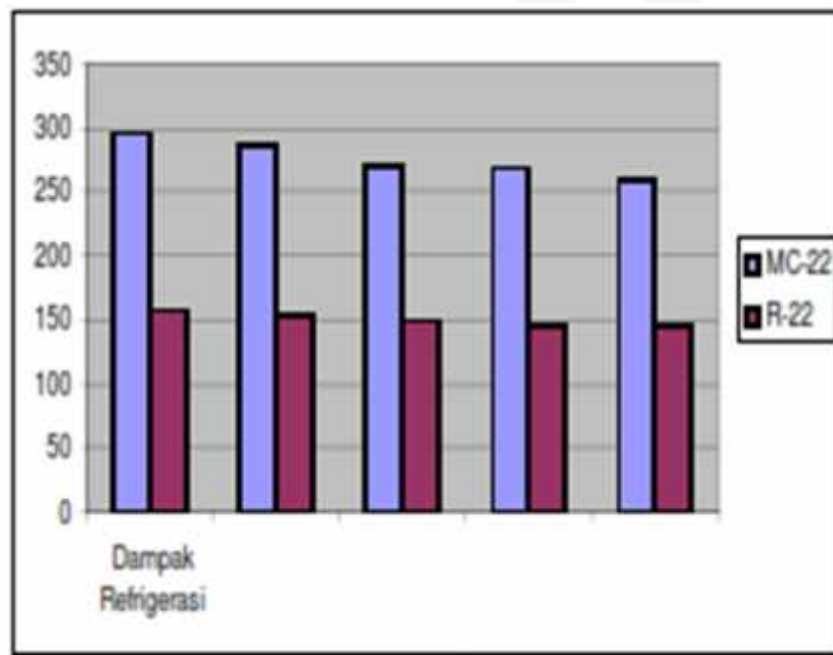
$$\text{KP} = \frac{\text{kalor yang diserap pada tahap evaporator}}{\text{usaha kompresi pada kompresor}} \quad (2.2)$$

### 2.3.5 Penggantian Refrigeran.

Salah satu perkembangan teknologi yang bisa memberikan efek penghematan energi adalah dengan melakukan penggantian bahan pendingin (*refrigerant*) dari jenis sintetis ke jenis alam (hidrokarbon).

Pengisian refrigeran ke dalam sistem harus dilakukan dengan baik dan jumlah refrigeran yang diisi sesuai atau tepat dengan takaran. Kelebihan refrigeran dalam sistem dapat menyebabkan temperatur evaporasi yang tinggi akibat dari refrigeran tekanan yang tinggi. Selain itu dapat menyebabkan kompresor rusak akibat kerja kompresor yang terlalu berat dan adanya kemungkinan *liquid suction*. Sebaliknya bila jumlah refrigeran yang diisi kurang dari yang ditentukan, maka sistem akan mengalami kekurangan pendinginan.

Proses penggantian refrigeran sintetis jenis R-22 ke refrigeran hidrokarbon jenis MC-22 tidak perlu penggantian komponen sistem AC karena karakter tekanan & temperatur refrigerant HC mirip dengan refrigeran sintetis, maka hampir semua jenis kompresor dapat menerima refrigeran hidrokarbon. Efek refrigerasi antara R-22 dengan MC-22 memperlihatkan nilai MC-22 lebih besar dibandingkan dengan nilai R-22. Hal tersebut membuktikan bahwa panas yang diserap oleh MC-22 lebih banyak dibandingkan dengan R-22. Dengan efek refrigerasi yang besar akan mendapatkan nilai koefisien prestasi yang besar pula.



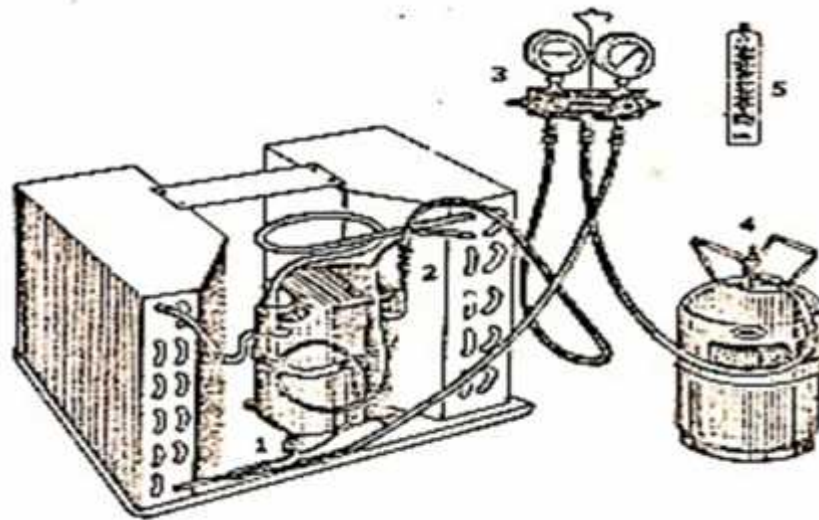
Gambar 2.8 Grafik perbandingan dampak pendinginan  
(Sumber : Santoso 2010)

Tampak pada grafik, saat awal operasi pada R-22 kenaikan dampak refrigerasi tidak begitu signifikan sedangkan pada MC-22 cukup signifikan. Ini membuktikan bahwa MC-22 lebih cepat mendinginkan ruangan.

Dalam pengisian refrigeran perlu diperhatikan tekanan refrigeran yang masuk. Proses pengisian refrigeran sistem dalam kondisi operasi. Sisi tekanan rendah antara 60 sampai dengan 70 psi. Sisi tekanan tinggi berkisar antara 225 psi sampai dengan 245 psi (Hidayat 2012).

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Diarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.9 Proses pengisian refrigeran  
(Sumber : Hidayat 2012)

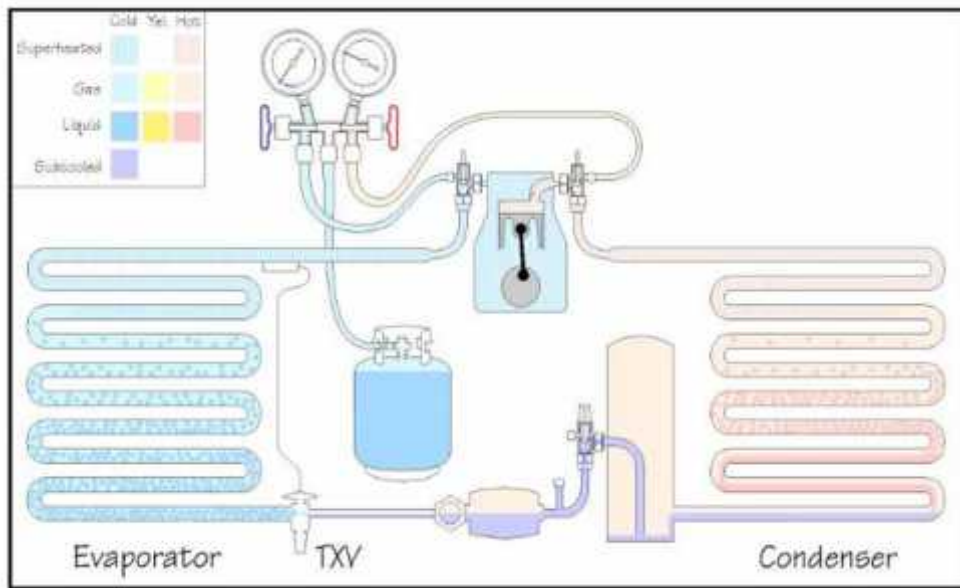
Berikut adalah proses pengisian refrigeran ke dalam sistem ada beberapa cara, diantaranya yaitu:

- a. Mengisi sistem berdasarkan berat refrigeran.
- b. Mengisi sistem berdasarkan banyaknya bunga es yang terjadi di evaporator.
- c. Mengisi sistem berdasarkan temperatur dan tekanan.

Refrigeran yang digunakan adalah refrigeran R22, sebab refrigeran R22 dapat digunakan pada kompresor Torak, Rotary dan Sentrifugal. R22 digunakan untuk *Air Conditioner* yang sedang dan kecil, Pemakaian (50 s/d + 10°C), pemakaiannya pada suhu sedang dan rendah, Titik didih -41,4 °F (-40,8°C) pada tekanan 1 atmosfer, tekan penguapan 28,3 psig pada 5 °F dan tekana kondensasi 158,2 psig pa86 °F, kalor laten uap 100, 6 Btu/lb pada titik didih.Keunggulan R22 dibanding R12 adalah :

1. Untuk pergerakan torak yang sama, kapasitasnya 60% lebih besar.
2. Untuk kapasitas yang sama, bentuk kompresor lebih kecil, pipa-pipa yang dipakai juga lebih kecil ukuranya.
3. Pada suhu evaporator antara -30 s/d -40°C, tekanan R22 lebih dar atmosfer, sedangkan R12 kurang dari 1 atmosfer.





Gambar 2.10 Pemasangan Manifold untuk pengisian  
(Sumber : Aziz 2008)

R-22 tidak korosif terhadap logam yang banyak dipakai pada sistem refrigerasi dan *Air Conditioner* seperti besi, tembaga, aluminium, kuningan, baja tak berkarat, las perak, timah solder, babbit. R22 mempunyai kemampuan menyerap air tiga kali lebih besar dari pada R12, jarang sekali terjadi pembekuan air di evaporator pada sistem yang memakai R22. Ini bukan merupakan keuntungan karena di dalam sistem harus bersih dari uap air dan air. Kebocoran dapat dicari dengan *halide leak detector* dan air sabun.

Pemilihan hidrokarbon sebagai refrigeran alternatif ramah lingkungan pengganti CFC dan HCFC harus memperhatikan beberapa hal diantaranya titik didih pada tekanan normal, kapasitas volumetrik dan efisiensi energi. Titik didih harus diperhatikan untuk menjamin apakah tekanan operasi sama dengan CFC untuk menghindari keperluan penggantian peralatan tekanan tinggi seperti kompresor. Sifat fisika refrigeran hidrokarbon MUSICOOL berdasarkan pengujian laboratorium Pertamina, menunjukkan bahwa hidrokarbon MUSICOOL (MC) mampu menggantikan refrigeran sintetik (CFC, HCFC, HFC) secara langsung tanpa penggantian komponen sistem refrigerasi. MC-12 menggantikan R-12, MC-22 menggantikan R-22 dan MC-134 menggantikan R-134a.

Sifat fisika dan termodinamik hidrokarbon MUSICOOL memberikan kinerja sistem refrigerasi yang lebih baik, keawetan umur kompresor, dan hemat energi. Beberapa parameter perbandingan kinerja MUSICOOL terhadap refrigeran sintetik pada sistem refrigerasi dengan beban 1 TR pada suhu kondensasi 100° F dan suhu evaporator 40 ° F.





Lamanya pelaksanaan suatu audit bergantung pada besar dan jenis fasilitas yang diteliti dan tujuan dari audit itu sendiri.

Dalam Pedoman Teknis Audit Energi, dalam Implementasi Konservasi Energi dan Pengurangan Emisi CO<sub>2</sub> di Sektor Industri (2011), Survei awal atau Audit Energi Awal (AEA) terdiri dari dua bagian, yaitu (Sulistyowati 2012) :

1. Survei manajemen energi.

Surveyor (atau auditor energi) mencoba untuk memahami kegiatan manajemen yang sedang berlangsung dan kriteria putusan investasi yang mempengaruhi proyek konservasi.

2. Survei energi (teknis).

Bagian teknis dari AEA secara singkat mengulas kondisi dan operasi peralatan dari pemakai energi yang penting (misalnya sistem HVAC) serta instrumentasi yang berkaitan dengan efisiensi energi.

AEA (Audit Energi Awal) sangat berguna untuk mengenali sumber-sumber pemborosan energi dan tindakan-tindakan sederhana yang dapat diambil untuk meningkatkan efisiensi energi dalam jangka pendek. Contoh tindakan yang dapat diidentifikasi dengan mudah adalah hilang atau cacatnya insulasi, kebocoran uap dan udara-tekan, peralatan yang tidak dapat digunakan, kurangnya kontrol yang tepat terhadap perbandingan udara dan bahan bakar di dalam peralatan pembakar. AEA seharusnya juga mengungkapkan kurang sempurnanya pengawasan manajemen energi. Hasil yang khas dari AEA ialah seperangkat rekomendasi tentang tindakan berbiaya rendah yang segera dapat dilaksanakan dan rekomendasi audit yang lebih baik.

Audit Energi Terinci (AET) biasanya dilakukan sesudah AEA, dan akan membutuhkan waktu yang lebih lama dari AEA tergantung pada sifat penelitian. Jenis uji yang dijalankan selama audit energi terinci mencakup uji efisiensi pembakaran, pengukuran suhu dan aliran udara pada peralatan utama yang menggunakan bahan bakar, penentuan penurunan faktor daya yang disebabkan oleh berbagai peralatan listrik, dan uji sistem proses untuk operasi yang masih di dalam spesifikasi. Tujuan audit energi adalah untuk menentukan cara yang terbaik untuk mengurangi penggunaan energi per satuan output dan mengurangi biaya operasi/biaya produksi.





### 2.4.1 Standar Audit Energi.

Standar yang harus digunakan dalam audit energi haruslah standar yang berlaku yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI). Instansi khusus masalah standar di Indonesia, adalah Badan Standarisasi Nasional (BSN). Standar-standar yang biasa digunakan secara internasional antara lain :

1. BOCA, *international energy conservation code 2000*.
2. ASHRAE, *Standard 90.1: energy efficiency*.
3. BOMA, *Standard method for measuring floor area in office buildings*.

### 2.4.2 Macam-macam Audit Energi (Mulyadi 2013).

Audit energi ada bermacam-macam jenis di mana tiap jenis memiliki fungsi masing-masing. Adapun jenis-jenis audit energi tersebut dapat dibagi menjadi beberapa bentuk, seperti *Walk throug audit*, *preliminary audit*, *detailed audit*, dan *energy management plan and implementation action*.

#### a. *Walk throug audit*

*Walk throug audit* ini sering disebut dengan mini audit. Audit yang dilakukan secara sederhana, tanpa perhitungan yang rinci, hanya melakukan analisis secara sederhana. Umumnya fokus audit ini adalah pada bidang perawatan dan penghematan yang tidak terlalu memerlukan biaya investasi yang besar.

#### b. *Preliminary audit*

Audit yang hanya dilakukan pada bagian vital saja. Analisa didapat dengan melakukan perhitungan yang cukup jelas. Audit ini meliputi indentifikasi mesin, analisis kondisi aktual, menghitung konsumsi energi, menghitung pemborosan energi dan beberapa usulan

#### c. *Detailed audit*

Audit energi yang dilakukan secara menyeluruh terhadap seluruh aspek yang mengkonsumsi energi listrik beserta semua kemungkinan penghematan yang dapat dilakukan. Biasanya dilakukan oleh lembaga auditor yang profesional dalam jangka waktu tertentu. Pelaksanaan audit didahului dengan analisis biaya audit energi, indentifikasi mesin, analisis kondisi aktual dan menghitung semua konsumsi energi.

Konsumsi energi ini meliputi energi primer dan energi sekunder. Selain itu dilakukan perhitungan pemborosan energi, kesempatan konservasi energi, sampai beberapa usulan untuk melakukan penghematan energi beserta dengan dampak dari



usulan tersebut. Untuk mencari kemungkinan penghematan maka harus diketahui terlebih dahulu analisa biaya audit energi, identifikasi gedung, analisa kondisi sesungguhnya dan menghitung semua penggunaan energi.

d. *Energy management plan and implementation action*

Audit energi yang dilakukan adalah suatu alat dalam manajemen energi. Pada dasarnya audit ini sama dengan *detailed audit*, akan tetapi audit ini dilakukan secara berkesinambungan, dalam jangka waktu yang cukup lama. Audit energi ini dimulai dengan membentuk sebuah organisasi manajemen energi. Hasil dari audit menjadi masukan utama bagi sistem manajemen energi untuk melakukan pengaturan energi secara terpadu.

Tahap yang dilakukan untuk melakukan suatu audit energi yang sederhana, khususnya untuk gedung bertingkat adalah (Septian 2013):

- a. Menetapkan batasan masalah merupakan langkah pertama adalah menetapkan batasan sistem, bagian mana saja dari sebuah perusahaan atau gedung bertingkat yang akan diaudit.
- b. Membentuk sebuah tim audit, tim audit ini bekerja sama dengan operator peralatan dan perlengkapan gedung, elektrik dan mekanikal gedung, serta konsultasi dalam proyek yang di audit.
- c. Analisis kondisi aktual, beberapa hal yang dilakukan dalam analisis kondisi aktual adalah mendapatkan data teknik, petunjuk dan brosur peralatan elektrik dan mekanikal. Kemudian melakukan identifikasi penggunaan energi, seperti berapa banyak kebutuhan energi yang digunakan.
- d. Menghitung penghematan adalah melakukan perhitungan besarnya energi yang dapat dihemat. Suatu hal yang harus diperhatikan adalah besarnya penghematan energi tidak linier terhadap investasi yang digunakan.
- e. Laporan audit, laporan audit memuat semua aspek yang dapat ditemukan dalam auditing, seperti pola konsumsi dan pemborosan yang terjadi. Pada laporan ini juga disertakan prioritas penghematan energi pada bagian tertentu dari objek yang diaudit.
- f. Analisis penghematan, dalam laporan ini juga disertakan beberapa usulan seperti adanya piranti yang dapat ditambahkan beserta dengan analisis dampak yang akan ditimbulkan.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



- g. Evaluasi penghematan, setelah melakukan penghematan dalam jangka waktu tertentu dilakukan evaluasi secara berkala.

### 2.4.3 Nilai Intensitas Konsumsi Energi (Purbaningrum 2014).

Intensitas Konsumsi Energi (IKE), yakni pembagian antara konsumsi energi dengan satuan luas bangunan gedung. Konservasi energi upaya mengefisienkan pemakaian energi untuk suatu kebutuhan agar pemborosan energi dapat dihindarkan. Pengelolaan energi segala upaya untuk mengatur dan mengelola penggunaan energi seefisien mungkin pada bangunan gedung tanpa mengurangi tingkat kenyamanan di lingkungan hunian ataupun produktivitas di lingkungan kerja. Peluang Hemat Energi (PHE), *Energy conservation opportunity* merupakan cara yang bisa diperoleh dalam usaha mengurangi pemborosan energi. Potret penggunaan energi, adalah gambaran menyeluruh tentang pemanfaatan energi pada bangunan gedung, meliputi jenis, jumlah penggunaan energi, peralatan energi, intensitas energi, profil beban penggunaan energi, kinerja peralatan energi, dan peluang hemat energi, serta keseluruhan maupun perarea di bangunan gedung pada periode tertentu.

Salah satu ukuran hemat tidaknya suatu bangunan dalam memakai energi adalah Intensitas Konsumsi Energi (IKE). Intensitas Konsumsi Energi (IKE) adalah perbandingan antara konsumsi energi dengan satuan luas bangunan gedung. Intensitas Konsumsi Energi (IKE) digunakan untuk mengetahui tingkat efisiensi energi suatu gedung. Untuk mengetahui tingkat efisiensi energi dapat dilakukan dengan membandingkan Intensitas Konsumsi Energi (IKE) gedung dengan standar Intensitas Konsumsi Energi (IKE) yang telah ditetapkan di Indonesia. Secara sederhana, IKE dapat dituliskan dalam persamaan :

$$IKE = \frac{\text{total konsumsi energi}}{\text{luas area}} \quad (2.3)$$

$$\text{Potensi Penghematan} = \frac{\Delta \text{IKE} \times \text{Intensitas Konsumsi Energi} \times \text{Tarif Listrik}}{12 \text{ bulan /pertahun}} \quad (2.4)$$

Standar IKE yang telah ditetapkan untuk beberapa bangunan komersial seperti IKE untuk gedung perkantoran sebesar 240 kWh/m<sup>2</sup>/tahun, pusat perbelanjaan sebesar 330 kWh/m<sup>2</sup> /tahun, hotel (apartemen) sebesar 300 kWh/m<sup>2</sup>/tahun, rumah sakit sebesar 380 kWh/m<sup>2</sup>/tahun (Septian 2013). Standar IKE berdasarkan SNI 03 – 6196 – 2000 mengenai Konservasi Energi Sistem Tata Udara Pada Bangunan Gedung dituliskan dalam tabel berikut. Kriteria ruangan ber-AC untuk melakukan audit energi.





Septian 2013 mengatakan target besarnya IKE listrik untuk Indonesia, menggunakan hasil peneliti yang dilakukan oleh ASEAN USAID pada tahun 1987 yang laporannya baru dikeluarkan pada tahun 1992 dengan rincian sebagai berikut:

- a. IKE untuk perkantoran (komersial) : 240 kWh/m<sup>2</sup> per tahun
- b. IKE untuk pusat belanja : 300 kWh/m<sup>2</sup> pertahun
- c. IKE untuk hotel/apartemen : 300 kWh/m<sup>2</sup> per tahun
- d. IKE untuk rumah sakit : 380 kWh/m<sup>2</sup> per tahun.

Tabel 2.4 IKE Bangunan Gedung ber-AC

Kriteria	Keterangan
Sangat Efisien (50 – 95) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun	a). Desain gedung sesuai standar tatacara perencanaan tekniskonservasi energi. b). Pengoperasian peralatan energi dilakukan dengan prinsip-prinsip manajemen energi.
Efisien (95 – 145) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun	a) Pemeliharaan gedung dan peralatan energi dilakukan sesuai prosedur. b). Efisiensi penggunaan energi masih mungkin ditingkatkan melalui penerapan sistem menejemen energi terpadu.
Agak Boros (145 – 175) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun	a) Audit energi perlu dipertimbangkan untuk menentukan perbaikan efisiensi yang mungkin dilakukan. b) Desain bangunan maupun pemeliharaan dan pengoperasian gedung belum mempertimbangkan konservasi energi.
Boros (175 – 285) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun	a) Audit energi perlu dipertimbangkan untuk menentukan langkah-langkah perbaikan sehingga pemborosan energi dapat dihindari. b) Instalasi peralatan dan desain pengoperasian dan pemeliharaan tidak mengacu pada penghematan energi.
Sangat Boros (285 – 450) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun	a) Agar ditinjau ulang atas semua instalasi /peralatan energi serta penerapan menejemen energi dalam pengelolaan bangunan. b). Audit energi adalah langkah awal yang perlu dilakukan

Sumber.: Untoro (2014)

## 2.5 Dampak Penggunaan AC (*Air Conditioner*).

### 2.5.1 Dampak Ekonomi

Kebutuhan energi pada mesin refrigerasi/AC terhadap pasokan listrik nasional cukup signifikan. *Air Conditioner* (AC) ini memerlukan energi atau tenaga listrik untuk mengoperasikannya. Energi listrik ini berasal dari sumber perusahaan listrik negara (PLN) sehingga memerlukan biaya. Penggunaan AC yang berlebihan bisa menyebabkan biaya energi listrik menjadi besar. Besarnya biaya yang dikeluarkan UIN Suska Riau untuk pengoperasian AC, tergantung berapa lama ia dioperasikan. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 03-6390-2000) tentang Konservasi Energi Sistem Tata Udara pada Bangunan Gedung), konsumsi energi adalah besar energi yang digunakan oleh bangunan

Hal-hal yang dihindari dalam penulisan karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
   
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
   
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
   
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
   
 2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



gedung dalam periode waktu tertentu dan merupakan perkalian antara daya dan waktu operasi.

### 2.5.2 Dampak Lingkungan Hidup.

Permasalahan lingkungan global adalah persoalan kerusakan lingkungan hidup yang dampaknya dirasakan di seluruh wilayah di bumi (global). Penyebab kerusakan lingkungan tersebut bisa saja berasal dari satu lokasi tetapi dampaknya dirasakan di tempat lain atau di seluruh tempat di muka bumi.

Saat ini terdapat dua masalah lingkungan global yang dianggap paling mengancam kehidupan di muka bumi yaitu penipisan lapisan ozon dan efek pemanasan global. Rusaknya lapisan ozon disebabkan karena banyaknya zat-zat sintetis buatan manusia yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Zat-zat yang umumnya berbentuk gas tersebut terlepas ke atmosfer dan merusak lapisan ozon yang ada di stratosfer. Zat yang dilepas di Indonesia dapat mengakibatkan rusaknya lapisan ozon di tempat lain. Dengan demikian masalah ini dianggap sebagai masalah global dan penanganannya juga harus dilakukan secara global dan bersama-sama oleh seluruh rakyat di berbagai negara. Pengaruh terhadap permasalahan lingkungan ini ditunjukkan dengan istilah ODP (*Ozone Depletion potential*) dan GWP (*Global Warming Potential*). Contoh beberapa refrigeran dengan tingkat ODP dan GWP tertentu. Pemakaian pendingin ruangan atau AC (*Air Conditioner*) berlebihan dan berlanjut dapat menyebabkan penipisan ozon ( $O_3$ ). Dimana AC yang menggunakan jenis refrigeran sintetis mempunyai zat yang merusak ozon seperti CFC (*chloroflurocarbon*).

CFC merupakan zat kimia yang mengandung unsur *chlor*, *fluor* dan *carbon* yang biasa digunakan sebagai refrigeran dan propelan. Senyawa CFC, terutama Freon 11 ( $CFCl_3$ ) dan Freon 12 ( $CF_2Cl_2$ ) banyak digunakan sebagai pelarut dalam bidang industri, pembersih dalam alat elektronik, refrigeran pada kulkas dan AC, serta zat propelan pada kosmetik dan alat semprot aerosol. Senyawa CFC pada mulanya dianggap zat kimia yang ideal, karena tidak mudah bereaksi dan tidak beracun. Bereaksinya gas ozon dengan senyawa *chlor* hasil aktivitas manusia ini dapat menipiskan, bahkan menghabiskan ozon dalam lapisan stratosfer. Sinar matahari menguraikan senyawa-senyawa *chlor* menjadi atom *chlor* yang akan bertindak sebagai katalis atau mempercepat reaksi dalam reaksi penguraian ozon.

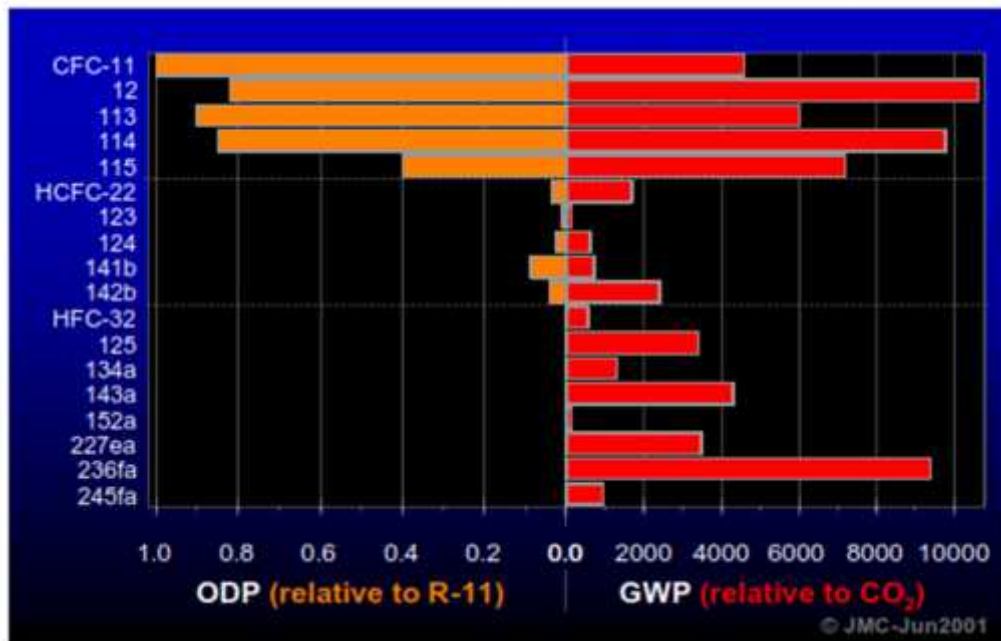
CFC adalah penyebab terjadinya penipisan lapisan ozon. Sifat merusak ozon yang dimiliki oleh CFC, diperkirakan terjadi perusakan lapisan ozon sekitar 3% per dekade.





Gambar 2.13 di atas merupakan dampak perusakan lapisan ozon oleh CFC. Jumlah ozon di atmosfer berkurang akibat adanya zat-zat sintetis buatan manusia yang merusak. Zat-zat tersebut disebut bahan perusak ozon (BPO). Diantara BPO tersebut adalah refrigeran CFC.

Kerusakan ozon ini sangat berbahaya bagi makhluk hidup, diantaranya menyebabkan penurunan kekebalan tubuh, kanker kulit dan katarak, dan lain sebagainya. Ini disebabkan ozon dapat menyerap sinar UV (*ultraviolet*). UV dalam jumlah kecil dibutuhkan dalam tubuh untuk pembentukan vitamin D. Tetapi akibat makin banyaknya UV yang masuk dapat mengakibatkan kanker kulit, katarak, dan menurunkan kekebalan tubuh. global. Pemanasan global disebabkan karena fitoplankton mengambil CO<sub>2</sub> yang banyak dari udara untuk fotosintesis, tapi karena UV meningkat, menyebabkan CO<sub>2</sub> banyak yang tidak terserap sehingga menimbulkan panas.



Gambar 2.14 Ozon Deploting Potensial (ODP) contrasted to global warming potensial (gwp) for key single. Compound refrigerans CFCs generally have high ODP and GWP. HCFCs generally have much lower odp and gwp hcfcs offer near. Zero ODP, but some hive comparatively high GWPs.

(Sumber : Calm 2001)

Gambar di atas menunjukkan nilai ODP dan GWP pada masing-masing refrigeran. Pada gambar di atas terlihat bahwa pada refrigeran CFC tingkat perusakan ozonnya sangat tinggi, begitu juga dengan tingkat pemanasan global yang sangat tinggi. Pada refrigeran HCFC tingkat perusakan ozon dan pemanasan global kecil, tapi masih tetap saja

mengganggu ozon dan tingkat pemanasan global masih perlu dikurangi. Sedangkan pada refrigeran HFC tingkat perusakan ozon sudah nol, tetapi tingkat pemanasan global (GWP) masih sangat besar.

Jika seluruh ozon yang terdapat pada tiang atmosfer di atas suatu lokasi pada permukaan bumi dikumpulkan di permukaan bumi pada temperatur 0 tekanan 1 atm maka akan diperoleh suatu lapisan ozon dengan ketebalan tertentu. Ketebalan lapisan ozon yang didapat ini menyatakan jumlah ozon dalam atmosfer di atas tempat tersebut. Setiap ketebalan 0,01 mm lapisan ozon tersebut dinyatakan sebagai satu dobson unit.



Gambar 2.15 Reaksi pembentukan dan penguraian ozon

Sinar matahari yang berhasil menerobos atmosfer (setelah sebagiannya langsung dipantulkan oleh atmosfer ke angkasa) sebagian akan dipantulkan oleh permukaan bumi ke atmosfer dan sebagiannya lagi akan diserap oleh permukaan bumi. Terserapnya sinar matahari tersebut akan memanaskan permukaan bumi dan menyebabkan permukaan tersebut mampu memancarkan energi ke atmosfer.

### 2.5.3 Analisis Ekonomi dari Penggunaan AC.

Untuk bisa beroperasi menghasilkan efek pendinginan, AC split memerlukan energi listrik sebagai penggerakannya. Komponen penting dalam AC split yang menjadi dasar perhitungan kinerja sistem pendingin pada AC split adalah kompresor yang berfungsi untuk mensirkulasikan refrigeran sekaligus menaikkan tekanan dari sisi hisap kompresor



yang berhubungan dengan evaporator menuju sisi buang kompresor yang bersesuaian dengan unit kondensor.

Sebagai bagian dari beban listrik dalam rangkaian arus listrik bolak-balik, kompresor ini memiliki impedansi sehingga perhitungan dasar dengan hukum Ohm dapat dinyatakan sebagai :

$$V = I.Z \tag{2.5}$$

**Dimana :**

V : Tegangan efektif listrik (Volt)

I : Arus listrik efektif (Ampere)

Z : Impedansi listrik (Ohm)

Pada rangkaian arus listrik bolak balik Daya listrik dinyatakan dengan persamaan:

$$P = V.I \tag{2.6}$$

**Dimana :**

P : Daya nyata Listrik (Watt)

V : Tegangan efektif (Ampere)

I : Arus listrik efektif (Ampere)

Daya yang diukur disebut daya semu dengan satuan VA (Volt Ampere), sedangkan daya yang diukur oleh Watt meter disebut daya aktif (nyata) dan selalu lebih kecil dari daya semu. Hubungan antara daya semu dengan daya aktif dinyatakan dengan persamaan :

$$\text{Cos } \emptyset = P/S \tag{2.7}$$

**Dimana :**

Cos  $\emptyset$  : Faktor daya

P : Daya Aktif (Watt)

S : Daya Semu (VA)

Jadi besarnya Daya :

$$P = V.I.\text{Cos } \emptyset \tag{2.8}$$

Dalam realita sehari-hari, kecenderungan AC digunakan / dinyalakan adalah saat terdapat aktivitas manusia dalam ruangan. Sehingga, lama waktu nyala AC yang sebenarnya sangat tergantung dari 3 hal, kondisi ruangan, jumlah orang dalam ruangan, dinamika suhu / temperatur ruangan akibat aktivitas yang terjadi dalam ruangan.

Besarnya biaya energi dalam waktu tertentu, dapat dihitung dengan persamaan :

$$E = P.t \tag{2.9}$$

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hal-hal yang Diijinkan dan Tidak Diijinkan dalam Menulis Karya Tulis Ilmiah

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





**Dimana :**

E : Energi (wh)

P : Daya listrik (Watt)

t : jumlah waktu operasinya AC Split (jam)

Perhitungan ekonomi dari penggunaan AC adalah dengan cara harus mengetahui harga per kwh dari instalasi listrik. Perhitungan harga pemakaian listrik dari ekonominya adalah mengetahui terlebih dahulu pemakaian daya listrik khususnya pada AC. Setelah mengetahui harga per kwh, kita tinggal menghitung besar pemakaian daya untuk pengoperasian sebuah atau beberapa AC yang ada di UIN Suska Riau. Perhitungan ekonomi dari penggunaan AC adalah :

Biaya penggunaan AC

$$biaya = \text{konsumsi energi} \times \text{harga perkw} \tag{2.10}$$

$$\text{Konsumsi energi} = \text{daya} \times \text{lama nyala} \tag{2.11}$$

Setelah semua biaya dari masing-masing AC diketahui, langkah selanjutnya adalah melakukan penjumlahan biaya AC dari semua AC di UIN Suska Riau. Bila semua biaya dari penggunaan AC diketahui, maka selanjutnya melakukan perbandingan ekonomi antara penggunaan AC yang menggunakan refrigeran sintetis jenis HCFC dengan refrigeran hidrokarbon R-290 jenis MC-22.

$$\text{perbandingan ekonomi} = \frac{\text{biaya dari AC ( Refrigeran sintetis)}}{\text{biaya dari AC R-290 (HC)}} \tag{2.12}$$

Perhitungan ekonomi dari dari penggunaan listrik di UIN Suska Riau di khususkan pada pemakaian AC saja.

### 2.5.3 Analisis Lingkungan Hidup

Dalam melakukan analisis lingkungan hidup yang harus diketahui adalah nilai ODP, GWP dari penggunaan AC sekarang, yaitu refrigeran sintetis yang digunakan di UIN Suska Riau. Setelah hasil ODP dan GWP diketahui, maka penulis akan membuat model ekonomi dan lingkungan hidup dengan menggantikan refrigeran sekarang dengan refrigeran hidrokarbon. Cara perhitungan ODP dan GWP di rujuk dari hasil penelitian Tesis Kafi'uddin (2002). Adapun cara menghitung nilai ODP dan GWP pada refrigeran adalah sebagai berikut :

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Tabel 2.5 Nilai ODP dan GWP pada refrigeran

Refrigerant	ODP	GWP
Ammonia (R-717)	0	0
R-12	0.8	4800
Propane (R-290)	0	3
R134a	0	1430
R-22	0.055	1700

Sumber : Jarahnejad (2012)

Perhitungan ODP dan GWP, salah satu cara untuk mengetahui tingkat pencemaran lingkungan dari penggunaan AC khususnya pada jenis refrigeran. Perhitungan ini dilakukan pada jenis refrigeran sintetik jenis (R-22) dengan refrigeran hidrokarbon R-290 jenis MC-22. Perhitungan dilakukan dengan mengalikan persen refrigeran (kemurnian refrigeran) dengan jumlah ODP dan GWP dari tabel 2.5 sesuai dengan jenis refrigerannya.

$$GWP = \text{kemurnian refrigeran}(\%) \times \text{jumlah GWP} \tag{2.13}$$

$$ODP = \text{kemurnian refrigeran}(\%) \times \text{jumlah ODP} \tag{2.14}$$

Setelah mengetahui nilai ODP dan GWP dari perhitungan di atas, maka untuk mengetahui nilai ODP dan GWP dari seluruh AC di UIN Suska Riau adalah dengan mengalikan jumlah ODP dan GWP dari 1 AC dengan jumlah AC yang ada di UIN Suska Riau yang mencakup dari penelitian.

$$GWP = \text{nilai GWP} \times \text{jumlah AC} \tag{2.15}$$

$$ODP = \text{nilai ODP} \times \text{jumlah AC} \tag{2.16}$$

Perhitungan akan membedakan jenis refrigeran yang digunakan oleh UIN Suska Riau. Setelah selesai melakukan perhitungan, maka perhitungan selanjutnya adalah membandingkan nilai ODP dan GWP dari jenis HCFC dengan refrigeran jenis alam MC-22.

$$GWP = \frac{\text{nilai GWP dari refrigeran HCFC}}{\text{nilai GWP dari refrigeran HC}} \tag{3.5}$$

$$ODP = \frac{\text{nilai ODP dari refrigeran HCFC}}{\text{nilai ODP dari refrigeran HC}} \tag{3.6}$$

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 Hal-Itala Diarahkan Untuk

Dalam perhitungan nilai ODP dan GWP dari refrigeran hidrokarbon jenis MC-22 adalah secara estimasi setelah menggantikan refrigeran yang sekarang digunakan dengan refrigeran hidrokarbon jenis MC-22.

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

