

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Retrofit

*Retrofitting* AC Cassette dapat diartikan sebagai suatu proses penggantian / pensubtitusian bahan pendingin yang digunakan oleh mesin pendingin AC Cassette dalam hal ini adalah refrigeran sintetik yang bersifat Ozon Dipleksion (ODS) seperti refrigeran R 410 A dengan refrigeran MUSIcool-22 yang ramah lingkungan dengan berlandaskan regulasi yang berlaku, serta mempertimbangkan aspek teknisnya.

Proses *retrofitting* yang dilakukan oleh teknisi perusahaan / bengkel tentunya haruslah sesuai dengan *Standard Operating Procedure* (SOP) yang tepat. Oleh sebab itu SOP *retrofitting* ini menjadi wajib diketahui oleh para teknisi, serta SOP yang dijadikan referensi tersebut harus baik dan sesuai dengan kerangka kerja yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2.



**Gambar 2.1** *Framework* panduan untuk pembuatan SOP

SOP *retrofitting* ini jika dilakukan prosesnya pada mesin AC dengan tanpa mengurangi kinerja dari mesin pendingin tersebut dan tanpa memodifikasi peralatan yang signifikan serta memastikan peralatan mampu beroperasi sampai akhir *life time* yang telah ditentukan dari pihak produsen.

Sebelum mensubtitusi refrigeran yang bersifat Ozon Depleksion (ODP) menjadi refrigeran hidrokarbon, haruslah kita mengetahui jenis AC apa saja yang direkomendasikan untuk dapat dilakukan *retrofitting*.

Untuk itu, pada Tabel 2.1 diberikan data jenis AC yang direkomendasikan dapat dilakukan *retrofitting* menggunakan refrigerant HC.

**Tabel 2.1** Jenis-jenis AC yang Direkomendasikan Dapat Diretrofit HC

<i>Sector</i>	<i>Tipe AC</i>	<i>Tipe sistem pengontrol AC</i>	<i>Kesesuaian</i>
AC domestik, dehumidifiers dan pompa kalor	<i>Portable units</i>	<i>Integral</i>	✓✓
	<i>Window units</i>	<i>Integral</i>	✓✓
	<i>Through-wall units</i>	<i>Integral</i>	✓
	<i>Split units</i>	<i>Remote</i>	✓✓
AC komersial dan pompa kalor	<i>Split units</i>	<i>Remote</i>	✓✓
	<i>Multi-split/VRV</i>	<i>Distributed</i>	xx
	<i>Packaged ducted</i>	<i>Remote</i>	x
	<i>Central packaged</i>	<i>Remote</i>	xx
	<i>Positive displace chillers</i>	<i>Integral/Indirect</i>	✓✓
	<i>Centrifugal chillers</i>	<i>Integral/Indirect</i>	xx

Keterangan: ✓✓sangat cocok, ✓terkadang cocok, x tidak cocok, xx pasti tidak cocok.

### Refrigeran Hidrokarbon (R-410) Sebagai Pengganti Refrigeran HCFC (R-22)

Untuk kompatibilitas refrigeran HC terhadap material cukup baik dapat dilihat pada apendiks. Sedangkan untuk mengetahui jenis refrigeran HC yang cocok untuk dapat dipersamakan terhadap refrigeran ODS dan refrigeran HFC dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Refrigeran HC yang Sesuai Untuk Menggantikan Refrigeran ODS dan Refrigeran HFC

<b>Refrigeran ODS</b>	<b>Refrigeran HFC</b>	<b>Refrigeran HC</b>
-	-	R600a
R12	R134a	R436A, R436B, R290/R600a
R502	R404A, R507A	R290, R1270, R433A, R433B, R433C, R290/R170
R22	R407C	R290, R1270, R433A, R433B, R433C, R290/R170
-	R410A	-
R13, R503	R23	R170
R11, R123	R236ea, R236fa, R245fa	R601, R601a

Berdasarkan Tabel 2.2 disebutkan bahwa Refrigeran HC yaitu R-410 (propana) termasuk refrigeran yang dapat menggantikan penggunaan refrigeran R-22.

Refrigeran R-290 tidak mengandung racun tetapi memiliki tingkat mampu nyala yang tinggi sehingga mudah terbakar. Untuk terbakar R-410 memiliki batas minimum konsentrasi (LFL) dalam udara yaitu 2.1% dan batas maksimumnya (UFL) yaitu 9.5% dalam volume udara.

Selain konsentrasi refrigeran R-410 yang mencukupi untuk dapat terbakar juga dibutuhkan sumber api yang bertemperatur  $470^{\circ}\text{C}$  untuk dapat terbakar. Jika kita hubungkan maka membentuk keterkaitan unsur untuk terjadinya pembakaran dalam segitiga api.

Refrigeran HC memiliki tingkat mampu nyala yang tinggi tetapi tetap aman digunakan pada mesin AC asalkan instalasi alat sesuai dengan aspek keamanan yang dianjurkan dan teknisi yang mengerjakan retrofit HC memiliki *basic* dan pengetahuan yang memadai mengenai sistem AC yang menggunakan HC,

## 2.2 Alat Pengkondisian Udara

Mesin pendingin untuk mengatur suhu, sirkulasi, kelembaban dan kebersihan udara didalam ruangan. Mesin pendingin sebagai contoh Air Conditioner(AC) mempertahankan kondisi udara didalam ruangan sehingga penghuni ruangan menjadi nyaman. Berikut ini adalah contoh penggunaan mesin pendingin:

- a. Mesin pendingin untuk industri. Pada industri terdapat banyak benda yang dapat menimbulkan panas seperti mesin-mesin, peralatan komputer, dan jumlah karyawan yang banyak. Hal ini dapat menyebabkan kondisi lingkungan/ ruangan yang tidak segar, kotor dan lembab. Kelembaban yang tinggi dapat menyebabkan peralatan cepat korosi atau berkarat. Untuk peralatan komputer yang beroperasi pada temperatur di atas normal dapat menimbulkan kerusakan. Pemasangan mesin pendingin menjadi penting sehingga temperatur dan kelembaban dapat di atur.
- b. Mesin pendingin untuk Laboratorium. Peralatan-peralatan pada laboratorium biasanya harus bersih dan higienis, tidak boleh terkontaminasi dengan

penyakit dan kotoran. Kelembaban udara harus dijaga pada kondisi/ suasana orang yang bekerja merasa nyaman dan juga menjamin tidak terjadi kondisi kelembaban cocok untuk perkembangan jamur atau penyebab penyakit lainnya. Kebutuhan mesin pendingin juga disesuaikan dengan fungsinya. Misalkan untuk pengujian peralatan yang akan beroperasi suhu rendah hingga - 20°C.

c. Mesin pendingin dala ruang komputer.

Komputer adalah perangkat yang dapat menjadi sumber panas karena komponen- komponennanya, sedangkan kalau komputer bekerja pada kondisi udara panas akan terjadi kerusakan. Dengan alasan tersebut, pemasangan pengkondisi udara harus tepat. Fungsi utama pada kondisi tersebut adalah mengontrol temperatur.

d. Instalasi mesin pendingin pada instalasi power plant.

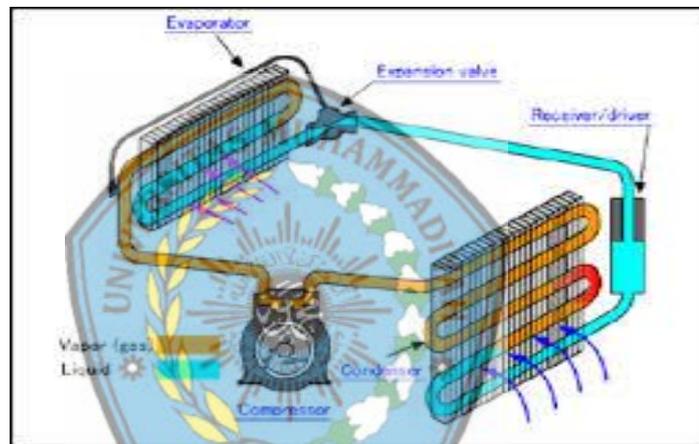
Fungsi utama dari mesin pendingin pada kondisi ini adalah untuk memperoleh udara nyaman dan bersih. Lingkungan yang cenderung kotor karena polusi dan panas yang berlebih menjadi masalah utama pada power plant. Sebagai contoh pada instalasi pembangkit listrik tenaga uap dan gas, dari proses pembakaran dihasilkan gas pembakaran bertemperatur tinggi, sebagian akan hilang ke lingkungan yang akan menyebabkan kenaikan temperatur lingkungan. Karena hal tersebut, mesin pendingin berfungsi untuk menstabilkan temperatur sehingga tetap nyaman, terutama pada ruangan tempat pengendali pembangkit.

e. Mesin pendingin pada rumah tangga. Rumah tinggal berfungsi untuk tempat berkumpulnya anggota keluarga, tempat menyimpan benda - benda mulai dari bahan makanan sampai pakaian. Fungsi utama dari mesin pendingin pada rumah tangga adalah menjaga temperatur dan kelembaban udara pada kondisi yang dianggap nyaman untuk beristirahat. Pada rumah tangga juga banyak dipakai mesin pendingin untuk mengawetkan bahan makanan dan untuk keperluan pembuatan balok es untuk minuman.

f. Mesin pendingin untuk mobil.

Pada mobil penumpang, mesin pendingin dipakai untuk mengontrol suhu dan kelembaban sehingga udara tetap segar dan bersih. Sumber utama beban pendinginan adalah dari radiasi matahari langsung dan juga dari orang-orang yang mengendarai atau menumpang. Permasalahan mesin pendingin biasanya pada penggerak kompresor AC, penggerak ini adalah dari putaran poros engkol, sehingga dapat mengurangi daya dari mesin, terutama pada beban tinggi (Prasetio dan Setiawan, 2013). Adapun susunan atau rangkaian komponen AC Cassettete terlihat seperti gambar 2.4

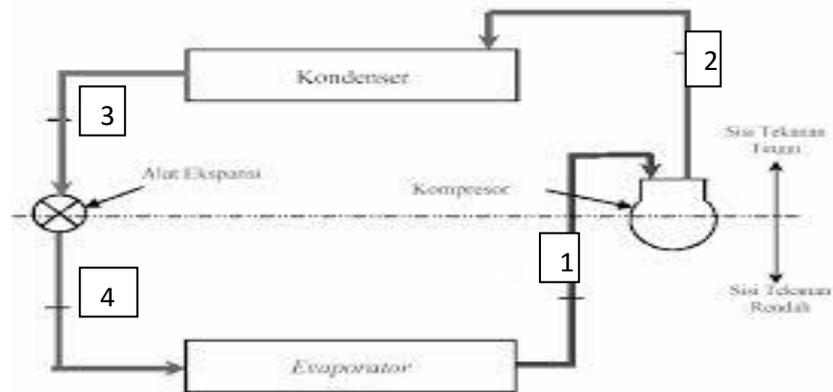
(<http://banguncitraknisi.blogspot.co.id>)



Gambar 2.2 Instalasi AC Cassettete

### 2.3 Prinsip Kerja

Prinsip kerja sistem pengkondisian udara/ mesin pendingin pada ac split ditunjukkan seperti Gambar 2.3



Gambar 2.3 Siklus Kompresi Uap (Stoecker, 1992 : 187)

Proses yang terjadi pada siklus kompresi uap pada gambar adalah sebagai berikut:

a. Proses kompresi (1 -2)

Proses ini dilakukan oleh kompresor dan berlangsung secara isentropik. Kondisi awal refrigeran pada saat masuk ke dalam kompresor adalah uap jenuh bertekanan rendah, setelah mengalami kompresi refrigeran akan menjadi uap bertekanan tinggi. Karena proses ini berlangsung secara isentropik, maka temperatur ke luar kompresor pun meningkat.

b. Proses kondensasi (2 -3)

Proses ini berlangsung didalam kondensor. Refrigeran yang bertekanan tinggi dan bertemperatur tinggi yang berasal dari kompresor akan membuang kalor sehingga fasanya berubah menjadi cair. Hal ini berarti bahwa di dalam kondensor terjadi pertukaran kalor antara refrigeran dengan lingkungannya (udara), sehingga panas berpindah dari refrigeran ke udara pendingin yang menyebabkan uap refrigeran mengembun menjadi cair.

c. Proses ekspansi (3-4)

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

d. Proses evaporasi (4 -1)

Proses ini berlangsung secara isobar isothermal (tekanan konstan, temperatur konstan) di dalam evaporator. Panas dari dalam ruangan akan diserap oleh cairan refrigeran yang bertekanan rendah sehingga refrigeran berubah fasa menjadi uap bertekanan rendah. Kondisi refrigeran saat masuk evaporator sebenarnya adalah campuran cair dan uap.

## 2.4 Komponen Utama Sitem Pendingin

### 2.4.1 Kompresor

Kompresor atau pompa isap mempunyai fungsi yang vital. Dengan adanya kompresor, refrigeran bisa mengalir ke seluruh sistem pendingin. Sistem kerjanya adalah dengan mengubah tekanan, sehingga terjadi perbedaan tekanan yang memungkinkan refrigeran mengalir (berpindah) dari sisi bertekanan rendah ke sisi bertekanan tinggi. Ketika 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. Jenis kompresor yang banyak digunakan adalah kompresor torak, kompresor rotary, kompresor sudu, dan kompresor sentrifugal.

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 refrigeran dan mendorongnya keluar melalui katup buang, yang biasanya terletak pada kepala silinder.

b. Kompresor rotary

Rotor adalah bagian yang berputar didalam stator, rotor terdiri dari dua baling-baling. Langkah hisap terjadi saat katup mulai terbuka dan berakhirsetelah 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, freezer, dan pengkondisian udara rumah tangga, juga digunakan sebagai kompresor pembantu pada bagian tekanan rendah sistem kompresi bertingkat besar.

#### 2.4.2. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk membuang kalor yang diserap dari evaporator dan panas yang diperoleh dari kompresor, serta mengubah wujud gas menjadi cair, kondensor memiliki pipa-pipa yang dapat dibersihkan. Kondensor dibedakan menjadi 3 jenis, yakni *Air-cooled Condensor*, *Watercooled Condensor* dan *Evaporative-cooled Condensor*.

##### a. *Air-cooled Condensor*

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 didalam pipa dan udara mengalir diluarnya. *Air-cooled condensor* hanya digunakan untuk kapasitas kecil seperti refrigerator dan *small water cooler*.

##### b. *Water cooled Condensor*

*Water cooled condensor* dibedakan menjadi 3 jenis yakni *shell and tube*, *shell and coil*, *double tube*.

- *Shell and Tube*

Salah satu jenis alat penukar kalor yang menurut konstruksinya dicirikan 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).

- *Shell and Coil*

c. Terdiri dari sebuah cangkang yang dilas elektrik dan berisi koil air, kadang-kadang juga dengan pipa bersirip.

- *Double Tube*

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

#### d. *Evaporative Condensor*

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 dipabrik amoniak. Kondensor yang digunakan disini adalah jenis *water cooled* kondensor tipe *shell and tube*, karena lebih mudah dalam menganalisa temperatur jika dibandingkan dengan Air cooled condensor yang sering terjadi fluktuasi pada temperturnya. Water cooled condensor ini ditempatkan di antara kompresor dan alat pengatur bahan pendingin (pipa kapiler). Posisinya ditempatkan 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.

#### 2.4.3. Katup Ekspansi

Komponen utama yang lain untuk mesin refrigerasi adalah katup ekspansi. Katup ekspansi ini dipergunakan untuk menurunkan tekanan dan untuk mengekspansikan secara adiabatik cairan yang bertekan 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.

#### 2.4.4 Pipa Kapiler

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 mempunyai ukuran panjang 1 hingga 6 meter, dengan diameter dalam 0,5 sampai 2 mm (Stoecker, 1996).

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.

#### 2.4.5 Evaporator

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 sekeliling evaporator turun. Suhu udara yang rendah ini dipindahkan ketempat lain dengan jalan dihembus oleh kipas, yang menyebabkan terjadinya aliran udara. Ada beberapa macam evaporator, sesuai dengan 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, jenis basah, dan sistem pompa cairan.

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.

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 penguapnya.

3) Evaporator jenis basah.

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

Perpindahan Kalor di dalam Evaporator

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 ketiganya. 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.

## 2.5 Refrigeran.

Pada umumnya refrigeran ialah suatu zat yang berupa cairan yang mengalir di refrigerator dan bersirkulasi melalui komponen fungsionalis untuk menghasilkan efek mendinginkan dengan cara menyerap panas melalui ekspansi dan evaporasi (penguapan). Kelompok refrigeran yang banyak digunakan dan mempunyai aspek lingkungan yang penting adalah refrigeran

halokarbon, yaitu refrigeran dengan molekul yang memiliki atom-atom halogen (fluor atau khlor) dan karbon. Refrigeran halokarbon terbagi menjadi beberapa jenis sebagai berikut, (**Darmawan Ari Pasek, 2006**):

1. Refrigeran CFC (chlorofluorocarbon), yaitu refrigeran halokarbon dengan molekul yang terdiri dari atom-atom khlor (Cl), fluor (F), dan karbon (C). Contoh refrigeran ini yang cukup populer adalah refrigeran CFC- 11 (trichlorofluoro-carbon,  $\text{CFCl}_3$ ), CFC- 12 (dichloro-difluoro-carbon  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ), dan lain- lain.
2. Refrigeran HCFC (hydrochlorofluorocarbon), yaitu refrigeran halokarbon dengan molekul yang terdiri dari atom-atom hidrogen (H), khlor (Cl), fluor (F), dan karbon (C). Salah satu refrigeran ini yang populer adalah refrigeran HCFC- 22 (chloro-difluoro- metil,  $\text{CHF}_2\text{Cl}$ ).
3. Refrigeran HFC (hydrofluorocarbon), yaitu refrigeran halokarbon dengan molekul yang terdiri dari atom-atom hidrogen (H), fluor (F), dan karbon (C). Salah satu contoh refrigeran ini yang populer adalah HFC- 134a ( $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$ ). Refrigeran yang banyak dipakai oleh kendaraan sekarang ini adalah HFC 134a yang tidak mempunyai sifat perusak ozon dan juga tidak mengandung racun (karena tidak mengandung clor), HFC 134a kalau dilepaskan ke udara maka secara cepat akan menguap dengan menyerap panas dari udara sekitarnya. Air Conditioner mempertahankan kondisi suhu dan kelembaban udara dengan cara, pada suhu ruangan tinggi refrigeran akan menyerap panas dari udara sehingga suhu di dalam ruangan turun. Sebaliknya saat udara di dalam ruangan rendah refrigeran akan melepaskan panas ke udara sehingga suhu udara naik, oleh karena itu daur refrigerasi yang terpenting adalah daur kompresi uap yang digunakan didalam daur refrigerasi. Pada daur ini uap di tekan dan kemudian diembunkan menjadi cairan lalu tekanannya diturunkan agar cairan tersebut dapat menguap kembali.

Persyaratan refrigerant (zat pendingin) untuk sistem AC adalah sebagai berikut:

1. Tekanan penguapannya harus cukup tinggi. Sebaiknya refrigeran memiliki temperatur penguapan pada tekanan yang lebih tinggi,

sehingga dapat dihindari kemungkinan terjadinya vakum pada evaporator, dan turunnya efisiensi volumetrik karena naiknya perbandingan kompresi.

2. Tekanan pengembunan yang tidak terlampau tinggi. Apabila tekanan pengembunannya rendah, maka perbandingan kompresinya menjadi lebih rendah sehingga penurunan prestasi kompresor dapat dihindarkan. Selain itu, dengan tekanan kerja yang lebih rendah, mesin dapat bekerja lebih aman karena kemungkinan terjadinya kebocoran, kerusakan, ledakan menjadi lebih kecil.
3. Kalor laten penguapan harus tinggi. Refrigerant yang memiliki kalor laten penguapan yang tinggi lebih menguntungkan karena untuk kapasitas refrigerasi yang sama, jumlah refrigeran yang bersirkulasi menjadi lebih kecil.
4. Volume spesifik (terutama dalam fasa gas) yang cukup kecil. Refrigerant dengan kalor laten penguapan yang besar dan volume spesifik gas yang kecil akan memungkinkan penggunaan kompresor dengan volume torak yang lebih kecil.
5. Koefisien prestasi harus tinggi dari segi karakteristik termodinamika dari refrigerant, koefisien prestasi merupakan parameter yang terpenting untuk menekan biaya operasi.
6. Konduktifitas termal yang tinggi. Konduktivitas termal sangat penting untuk menentukan karakteristik perpindahan kalor.
7. Viskositas yang rendah dalam fasa cair maupun fasa gas. Dengan turunnya tahanan aliran refrigerant dalam pipa, kerugian tekanan akan berkurang.
8. Refrigerant tidak boleh beracun dan berbau merangsang.
9. Refrigerant tidak boleh mudah terbakar dan meledak.
10. Refrigerant harus mudah dideteksi, jika terjadi kebocoran.
11. Harganya tidak mahal dan mudah diperoleh.
12. Ramah lingkungan

Refrigeran musicool (MC-22) adalah refrigeran dengan bahan dasar hidrokarbon alam dan termasuk dalam kelompok refrigeran ramah lingkungan, dirancang sebagai alternative pengganti refrigeran sintetik kelompok halokarbon CFC R-12, HCFC R-22 dan HFC R-134a yang masih memiliki potensi merusak alam. Pemakaian musicool (MC-22) pada sistem refrigerasi yang sebelumnya menggunakan refrigeran sintetik, tidak memerlukan penggantian komponen maupun pelumas, dengan kata lain bersifat “*Drop in Substitute*”, karena musicool tidak memiliki efek terhadap logam, desikan, pelumas, dan elastomer (kecuali elastomer berbahan dasar karet alam).

Kelebihan menggunakan musicool :

1. Ramah Lingkungan dan Nyaman, musicool tidak beracun, tidak membentuk gum, nyaman dan pelepasannya ke alam bebas tidak akan merusak lapisan ozon dan tidak menimbulkan efek pemanasan global. Hidrokarbon tidak menyebabkan kerusakan ozon dan pemanasan global karena ODP yang dimiliki nol dan GWP-nya kecil.
2. Hemat Energi, musicool mempunyai sifat termodinamika yang lebih baik sehingga dapat menghemat pemakaian energi hingga 25% dibanding dengan refrigeran fluorocarbon pada kapasitas mesin pendingin yang sama.
3. Lebih Irit, musicool memiliki sifat kerapatan yang rendah sehingga hanya memerlukan sekitar 30% dari penggunaan refrigeran fluorocarbon pada kapasitas mesin pendingin yang sama.
4. Pengganti Untuk Semua, musicool dapat menggantikan refrigeran yang digunakan selama ini tanpa mengubah atau mengganti komponen maupun pelumas.
5. Produk dalam negeri (Pertamina), bahan baku banyak, dan Supply terjamin karena hidrokarbon tersedia diseluruh dunia tanpa hakpaten, sehingga diproduksi secara bebas di negara manapun termasuk Indonesia, tidak seperti refrigeran sintesis yang hanya diproduksi oleh perusahaan tertentu (Kurniawan, Sasongko, 2013).

## 1.6 Retrofitting

Retrofitting adalah proses mengganti refrigeran pada mesin pendingin dengan jenis refrigeran yang berbeda karena segi bahan kimia yang membentuknya serta karakteristik lainnya. Pada proses retrofit dilakukan beberapa hal yaitu pengambilan data awal dan pengecekan kinerja kemudian recovery (pengambilan refrigeran lama), selanjutnya pemvakuman sistem, pengisian refrigeran dan pemeriksaan kinerja akhir setelah retrofit.

Sebelum kita melakukan pergantian refrigeran perlu diketahui terlebih dahulu prosedur umum bekerja dengan hidrokarbon:

1. Selalu berkerja pada ruangan berventilasi.
2. Dilarang merokok saat bekerja.
3. Hindari percikan api dalam radius dari daerah pengisian atau pembuangan.
4. Menonaktifkan saklar listrik.
5. Siapkan pemadam kebakaran manual.
6. Gunakan sarung tangan dan kaca mata saat penggantian refrigerant.

Adapun beberapa prosedur yang harus diperhatikan pada saat melakukan retrofit dengan menggunakan refrigeran hidrokarbon sebagai berikut:

1. Usahakan memperhatikan prosedur umum saat bekerja hidrokarbon.
2. Lakukan pemeriksaan fisik terlebih dahulu.
3. Lakukan pemeriksaan fungsi komponen (catat performansi jika dibutuhkan).
4. Lakukan pemeriksaan terhadap instalasi listrik seperti isolasi dan sambungan kabel.
5. Lakukan pengembalian kembali (*recovery*) refrigeran CFC.
6. Pemvakuman sistem (**Rifai, 2014**).

Proses Pemvakuman:

- Siapkan *charging manifold* hubungkan saluran pengisian pada kompresor pada sisi tekanan (*low*) *charging manifold*, bagian tengah *charging manifold* dihubungkan dengan pompa vakum. Pada bagian

saluran keluar pompa vakum dihubungkan dengan selang yang dicelupkan kedalam wadah berisi air.

- Buka kran tekanan rendah, biasanya pada alat tertulis low charging manifold, kemudian nyalakan pompa vakum.
- Biarkan beberapa saat sampai skala petunjuk tekanan rendah (low) menunjukkan vakum 30 In HG.
- Matikan vakum, kemudian tutup kran tekanan rendah (low)
- Lepaskan selang bagian tengah *charging manifold* yang menghubungkan ke pompa vakum. Selanjutnya hubungkan selang tersebut ke tabung refrigeran.
- Buka kran tabung refrigeran. Setelah refrigeran masuk dalam sistem dan *cahrging manifold* menunjukkan tekanan 10 Psi, tutup kran refrigeran.
- Nyalakan kompresor AC agar refrigeran menyebar ke sistem pendingin dan mendorong udara sisa keluar dari sistem.
- Setelah 5 menit matikan kompresor.
- Lepas selang *charging manifold* yang menghubungkan ke tabung refrigeran, kemudian hubungkan kembali selang tersebut ke pompa vakum.
- Buka kran tekanan rendah (low), kemudian nyalakan kembali pompa vakum.
- Saat *charging manifold* menunjukkan 30 In Hg, tutup kran low dan matikan pompa vakum.
- Lepaskan selang tengah *charging manifold* yang menghubungkan ke pompa vakum. Hubungkan kembali selang tersebut dengan tabung refrigeran dan dilanjutkan dengan pengisian refrigeran.

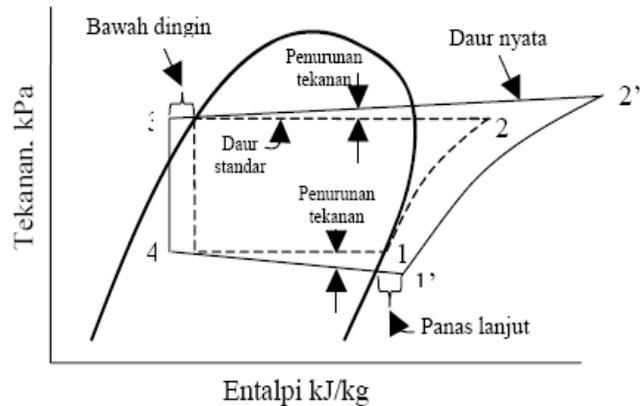
Proses pengisian refrigeran:

- Hidupkan mesin
- Buka tutup saluran pengisian pada bagian outdoor

- Tutup keran *charging manifold* pada sisi tekanan rendah (sebelah kiri), kemudian pasang selang pengisian (berwarna biru) *charging manifold* ke saluran pengisian refrigeran, dan selang tengah *charging manifold* (berwarna kuning) dihubungkan ke tabung refrigeran.
- Buka keran tabung refrigeran secara perlahan.
- Tunggu beberapa saat. Perhatikan nilai atau skala yang ditunjukkan jarum *charging manifold*. Lakukan pengisian refrigeran dengan membuka keran tekanan rendah (low) *charging manifold* secara perlahan. Tunggu beberapa saat, kemudian tutup kembali keran tekanan rendah (low) *charging manifold*.
- Lakukan secara berulang-ulang sampai tekanan sistem sesuai dengan tekanan standar AC.
- Periksa arus listrik yang melewati kompresor dengan menggunakan tang ampere. Bandingkan nilai arus listrik yang melawati kompresor dengan tekanan sistem. Kerana berbanding lurus, penambahan tekanan sistem akan berpengaruh pada besar arus listrik yang melewati kompresor. Jadi, hasil pengukuran arus listrik bisa dijadikan patokan ketika mengisi refrigeran atau sebaliknya.

### 1.7 Prestasi Daur kompresi Uap Standar

Diagram entalpi-tekanan dapat mengetahui besaran dalam daur kompresi uap, seperti kerja kompresi, laju pengeluaran kalor, dampak refrigerasi, koefisien prestasi (CoP), laju alir massa untuk setiap kilowatt refrigerasi. Kerja kompresi adalah perubahan entalpi pada proses 1-2 dalam gambar 1, atau  $h_1-h_2$ . Hubungan ini diturunkan dari persamaan aliran energi yang mantap (*steady flow energy*)  $h_1 + q = h_2 + w$  dengan perubahan energi kinetik dan potensial diabaikan, karena dalam kompresi diabaikan perpindahan kalor  $q$  nilainya nol, kerja  $w$  sama dengan  $h_1-h_2$ . Perbedaan entalpi merupakan besaran negatif, yang menunjukkan bahwa kerja diberikan pada sistem.



Gambar 2.4. Dasar kompresi uap standar dalam diagram tekanan-entalpi

Keterangan :

1-2: Kompresi reversible adiabatik dari uap jenuh.

2-3: Pembangunan panas pada tekanan konstan secara *reversible desuperheating* dan kondensasi.

3-4: Ekspansi *irreversible* pada entalpi konstan dari cair jenuh ke tekanan evaporatif.

4-1: Penyerapan panas *reversible* pada tekanan konstan untuk penguapan ke uap jenuh.

Pelepasan kalor dalam kJ/kg adalah perpindahan kalor dari refrigeran pada proses 2-3., yaitu  $h_3-h_2$ . Ini berasal dari persamaan aliran energi yang mantap, dimana energi kinetik, energi potensial, dan kerja dikeluarkan. Harga  $h_3-h_2$  negatif menunjukkan kalor dikeluarkan dari refrigeran. Nilai pelepasan kalor diperlukan untuk merancang kondensor, dan untuk menghitung besarnya aliran cairan pendingin kondensor. Dampak refrigerasi dalam kJ/kg adalah kalor yang dipindahkan pada proses merupakan tujuan utama dari seluruh sistem.

Koefisien prestasi dari daur kompresi uap standar adalah laju kalor yang diserap dari media yang diinginkan dibagi dengan kerja kompresi:

$$\text{Koefisien prestasi} = \text{CoP}_R = \frac{q_L}{W_{\text{net},in}}$$

Laju alir volume dihitung pada bagian masuk kompresor, atau titik keadaan 1. Laju alir volume merupakan petunjuk kasar ukuran fisik kompresor. Semakin besar laju tersebut, semakin besar volume langkah kompresor, dalam

ukuran meterkubik perdetik. Daya untuk setiap kilowatt refrigerasi merupakan kebalikan dari koefisien prestasi, dan suatu sistem refrigerasi yang efisien akan memiliki nilai per-kilowatt refrigerasi yang rendah, tetapi mempunyai koefisien prestasi yang tinggi. Persamaan yang berkaitan dengan refrigerant adalah:

(a) Dampak refrigerasi =  $h_1 - h_4$

(b) Kerja kompresi per-kilogram =  $(h_2-h_1)$

(c) Laju pendauran refrigerant, laju alir (m) =  $\frac{\text{Kapasitas Refrigerasi}}{h_1 - h_4}$

(d) Laju kalor yang diserap dari media yang diinginkan:

$$Q_L = m (h_1-h_4)$$

$h_1-h_4$  = dari tabel refrigeran

Daya Kompresor:

$$W_{in} = m(h_2-h_1)$$

$(h_2-h_1)$  = dari tabel refrigeran

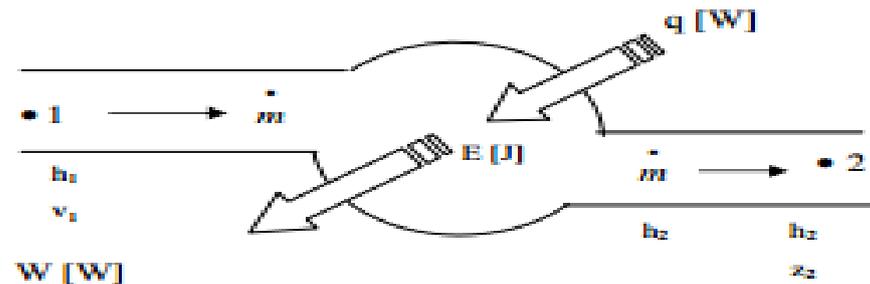
(e) *Coefficient Of Performance:*

$$CoPR = \frac{q_L}{W_{net,in}} \quad (\text{Muzaki dan Rifky, 2013}).$$

### 1.8 Persamaan Energi Aliran Steady

Di dalam kebanyakan sistem refrigerasi. Laju aliran massa tidak berubah dari waktu ke waktu (kalaupun ada hanya perubahan kecil), karena itu laju aliran dapat steady. Didalam sistem yang dilukiskan secara simbolis dalam gambar 2.4. Keseimbangan energinya dapat dinyatakan sebagai berikut : besarnya energi yang masuk bersama aliran dititik 1 ditambah dengan besarnya energi yang ditambahkan berupa kalor dikurangi dengan besarnya energi yang ditambahkan berupa kalor dikurangi dengan besarnya energi yang meninggalkan sistem pada titik 2 sama dengan besarnya perubahan energi didalam volume kendali. Ungkapan matematik untuk keseimbangan energi ini adalah dirumuskan seperti pada persamaan 2.1 (Stoecker, wilbert F, 1992)

$$\dot{m} \left[ h_1 + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 \right] + \dot{q} - \dot{m} \left[ h_2 + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 \right] - \dot{W} = \frac{dE}{d\theta}$$



Gambar 2.5. keseimbangan energi pada seluruh volume atur yang sedang mengalami laju aliran steady

- Dimana :
- $\dot{m}$  = Laju aliran massa refrigera (kg/s)
  - $h$  = Entalpi (J/kg)
  - $v$  = Kesecepatan (m/s)
  - $z$  = Ketinggian (m)
  - $g$  = Percepatan grafitasi =  $9,81 \text{ m/s}^2$
  - $\dot{Q}$  = Laju aliran energi dalam bentuk kerja (W)
  - $\dot{W}$  = Laju aliran energi dalam bentuk kerja (W)
  - $E$  = Energi dalam sistem

## 1.9 Konsumsi Energi

Konsumsi energi adalah konsumsi energi yang dibutuhkan selama pengoperasian sistem berlangsung.

$$W_{com} = VI_1 \cos \Phi$$

$$W_{pompa} = VI_2 \cos \Phi$$

Dimana :

$$W_{com} = \text{Daya Kompresor (watt)}$$

$$W_{pompa} = \text{Daya pompa (watt)}$$

$$V = \text{Tegangan (volt)}$$

$I_1$  = Kuat Arus kompresor (Ampere)

$I_2$  = Kuat arus pompa (Ampere)

$\text{Cos } \Phi = 0,85$  (Negara, dkk, 2010).

## 2.10 Biaya energi

Biaya energi dihitung berdasarkan peralatan listrik yang dioperasikan sebagai berikut (Baso Muklis,2010) :

- Jumlah peralatan
- Beban operasi (kW)
- Lamanya operasi per hari (Jam)
- Hari kerja per tahun (hari)
- Biaya energi (Rp/kWh)

