

# REFRIGERASI & SISTIM PENYEJUK AC

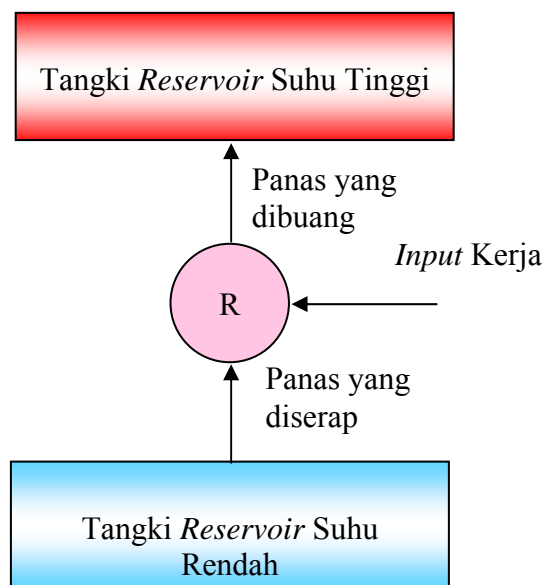
1. PENDAHULUAN.....	1
2. JENIS-JENIS REFRIGERASI DAN PENYEJUK UDARA AC .....	3
3. PENGKAJIAN REFRIGERASI DAN PENYEJUK UDARA AC.....	9
4. PELUANG EFISIENSI ENERGI .....	12
5. DAFTAR PERIKSA OPSI.....	17
6. LEMBAR KERJA.....	19
7. REFERENSI.....	21

## 1. PENDAHULUAN

Bagian ini memberikan gambaran singkat mengenai ciri-ciri utama sistim refrigerasi dan penyejuk AC.

### 1.1 Apakah Refrigerasi dan Penyejuk AC itu

Refrigerasi dan penyejuk AC digunakan untuk mendinginkan produk atau lingkungan gedung. Sistim refrigerasi atau penyejuk AC (R) memindahkan panas dari tangki *reservoir* rendah energi yang lebih dingin ke tangki *reservoir* energi tinggi yang lebih hangat (lihat Gambar 1).



Gambar 1. Penggambaran skematik sistim refrigerasi

Terdapat beberapa putaran/ *loop* perpindahan panas dalam sistim refrigerasi seperti terlihat pada Gambar 2. Energi panas bergerak dari kiri kekanan yang diambil dari ruangan dan dikeluarkan ke luar ruangan melalui lima putaran *loops* perpindahan panas:

- **Putaran/ loop udara dalam ruangan.** Pada *loop sebelah kiri*, udara dalam ruangan digerakkan oleh fan pemasok udara melalui kumparan pendingin, yang akan mentransfer panasnya ke air dingin/ *chilled water*. Udara dingin kemudian mendinginkan ruangan gedung.
- **Putaran/ loop air dingin.** Digerakkan oleh pompa air dingin/ *chilled water*, air kembali dari kumparan dingin ke penguap pendingin *chiller* untuk didinginkan ulang.
- **Putaran/ loop refrigeran.** Dengan menggunakan refrigerant perubahan fase, kompresor *chiller* memompa panas dari air dingin/ *chilled water* ke air kondenser.
- **Putaran/ loop air kondenser.** Air menyerap panas dari kondenser pendingin, dan pompa air kondenser mengirimkannya ke menara pendingin.
- **Putaran/ loop menara pendingin.** Fan menara pendingin menggerakkan udara melintasi aliran terbuka air kondenser panas, memindahkan panas ke luar ruangan.

## 1.2 Sistim Penyejuk AC

Tergantung pada penerapannya, terdapat berbagai opsi/ kombinasi penyejuk udara AC yang tersedia untuk penggunaannya:

- Penyejuk udara (untuk ruangan atau mesin-mesin)
- Penyejuk udara AC *Split*
- Unit kumparan fan pada sistim yang lebih besar
- Unit *handling* udara pada sistim yang lebih besar

## 1.3 Sistim Refrigerasi (untuk proses)

Sistim refrigerasi berikut tersedia untuk proses-proses industri (misal *plant* pendingin) dan keperluan domestik (unit modul seperti kulkas):

- Unit modul ekspansi langsung yang berkapasitas kecil sama dengan kulkas.
- *Plant* air dingin/ *chilled water* yang terpusat dengan air dingin/ *chilled water* sebagai refrigeran sekundernya untuk kisaran suhu diatas 5 °C. Dapat juga digunakan sebagai pembentuk gumpalan es.
- *Plant* air garam, yang menggunakan air garam untuk suhu yang lebih rendah, refrigeran sekunder untuk penerapan suhu sub-nol, yang kemudian menjadi kapasitas unit modul dan kapasitas *plant* yang terpusat.
- Kapasitas *plant* hingga 50 TR (ton refrigerasi) biasanya dianggap sebagai unit yang berkapasitas kecil, 50 – 250 TR sebagai unit berkapasitas menengah dan diatas 250 TR sebagai unit berkapasitas besar.

Sebuah perusahaan besar dapat memiliki sekumpulan unit, seringkali dengan pompa air dingin/ *chilled water*, pompa air kondenser, menara pendingin, sebagai utilitas diluar lokasi. Perusahaan yang sama mungkin juga memiliki dua atau tiga tingkat refrigerasi dan penyejuk AC seperti kombinasi antara:

- Penyejuk udara AC yang nyaman (20 – 25 °C)
- Sistim *chilled water* (8<sup>0</sup> – 10<sup>0</sup> C)
- Sistim air garam (penerapan sub-nol)

## 2. JENIS-JENIS REFRIGERASI DAN PENYEJUK UDARA AC

Bagian ini menerangkan dua prinsip jenis *plant* refrigerasi yang ditemukan di industri: Refrigerasi Kompresi Uap /*Vapour Compression Refrigeration* (VCR) dan Refrigerasi Penyerap Uap/ *Vapour Absorption Refrigeration* (VAR). VCR menggunakan energi mekanis sebagai energi penggerak untuk refrigerasinya, sementara itu VAR menggunakan energi panas sebagai energi penggerak refrigerasinya.

### 2.1 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

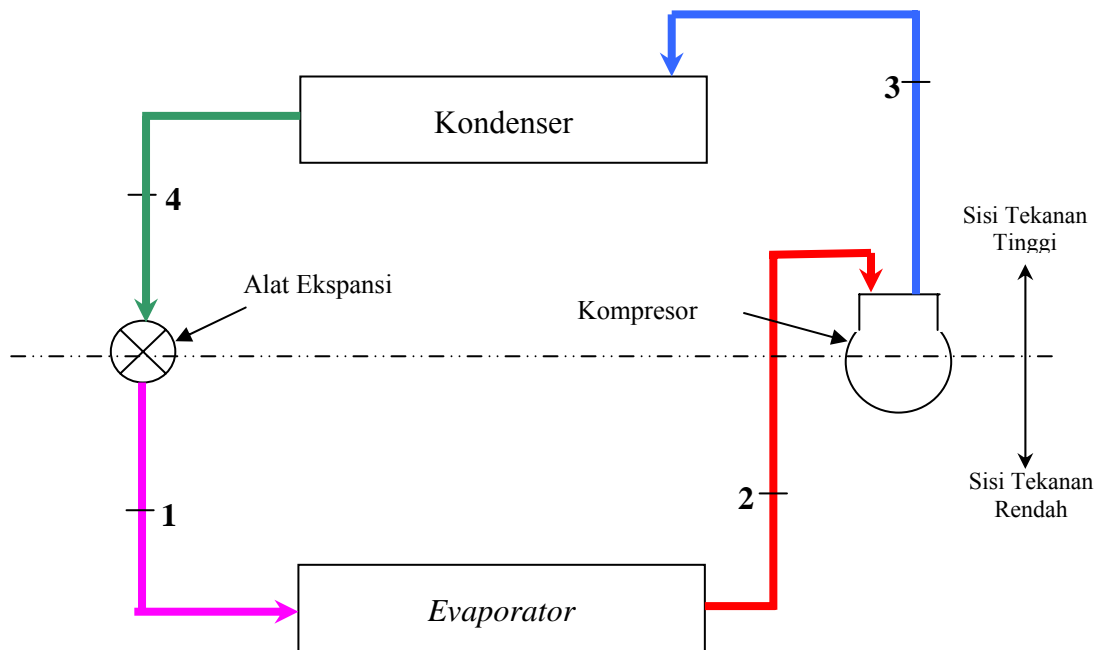
#### 2.1.1 Deskripsi

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 daripada sumber dingin diluar (contoh udara diluar) dan gas yang mengembang akan menjadi lebih dingin daripada suhu dingin yang dikehendaki. Dalam kasus ini, fluida digunakan untuk mendinginkan lingkungan bersuhu rendah dan membuang panas ke lingkungan yang bersuhu tinggi.

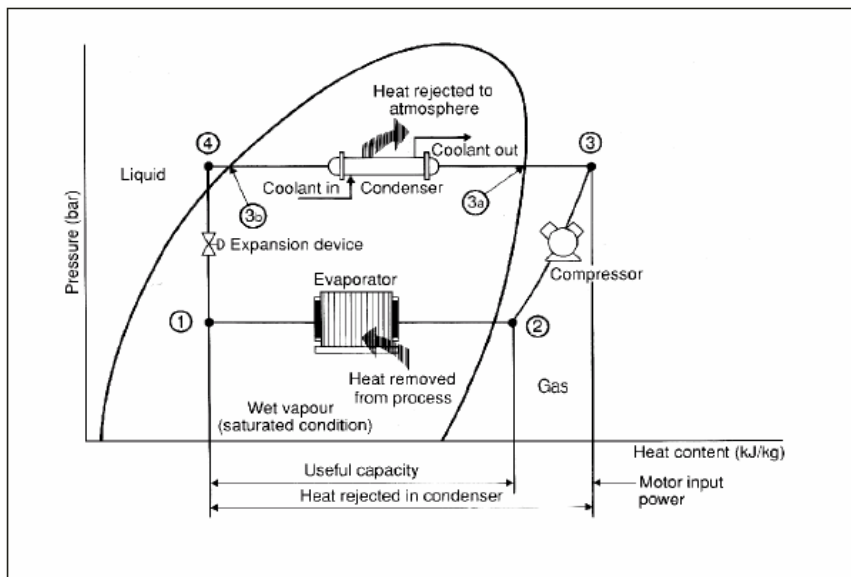
Siklus refrigerasi kompresi uap memiliki dua keuntungan. Pertama, sejumlah besar energi panas diperlukan untuk merubah cairan menjadi uap, dan oleh karena itu banyak panas yang dapat dibuang dari ruang yang disejukkan. Kedua, sifat-sifat *isothermal* penguapan membolehkan pengambilan panas tanpa menaikkan suhu fluida kerja ke suhu berapapun didinginkan. Hal ini berarti bahwa laju perpindahan panas menjadi tinggi, sebab semakin dekat suhu fluida kerja mendekati suhu sekitarnya akan semakin rendah laju perpindahan panasnya.

Siklus refrigerasi ditunjukkan dalam Gambar 3 dan 4 dan dapat dibagi menjadi tahapan-tahapan berikut:

- **1 – 2.** Cairan refrigeran dalam *evaporator* menyerap panas dari sekitarnya, biasanya udara, air atau cairan proses lain. Selama proses ini cairan merubah bentuknya dari cair menjadi gas, dan pada keluaran *evaporator* gas ini diberi pemanasan berlebih/ *superheated gas*.
- **2 – 3.** Uap yang diberi panas berlebih masuk menuju kompresor dimana tekanannya dinaikkan. Suhu juga akan meningkat, sebab bagian energi yang menuju proses kompresi dipindahkan ke refrigeran.
- **3 – 4.** *Superheated gas* bertekanan tinggi lewat dari kompresor menuju kondenser. Bagian awal proses refrigerasi (3-3a) menurunkan panas *superheated gas* sebelum gas ini dikembalikan menjadi bentuk cairan (3a-3b). Refrigerasi untuk proses ini biasanya dicapai dengan menggunakan udara atau air. Penurunan suhu lebih lanjut terjadi pada pekerjaan pipa dan penerima cairan (3b - 4), sehingga cairan refrigeran didinginkan ke tingkat lebih rendah ketika cairan ini menuju alat ekspansi.
- **4 - 1** Cairan yang sudah didinginkan dan bertekanan tinggi melintas melalui peralatan ekspansi, yang mana akan mengurangi tekanan dan mengendalikan aliran menuju



**Gambar 3. Gambaran skematis siklus refrigerasi kompresi uap**



**Gambar 4. Gambaran skematis siklus refrigerasi termasuk perubahan tekanannya**  
(Biro Efisiensi Energi, 2004)

Kondenser harus mampu membuang panas gabungan yang masuk *evaporator* dan kondenser. Dengan kata lain:  $(1 - 2) + (2 - 3)$  harus sama dengan  $(3 - 4)$ . Melalui alat ekspansi tidak terdapat panas yang hilang maupun yang diperoleh.

### 2.1.2 Jenis-jenis refrigeran yang digunakan dalam sistim kompresi uap

Terdapat berbagai jenis refrigeran yang digunakan dalam sistim kompresi uap. Suhu refrigerasi yang dibutuhkan sangat menentukan dalam pemilihan fluida. Refrigeran yang umum digunakan adalah yang termasuk kedalam keluarga *chlorinated fluorocarbons* (CFCs,

disebut juga *Freons*): R-11, R-12, R-21, R-22 dan R-502. Sifat-sifat bahan-refrigeran tersebut diberikan dalam Tabel 2 dibawah:

**Tabel 1. Sifat-sifat refrigeran yang biasa digunakan** (diambil dari Arora, C.P., 2000)

Refrigeran	Titik Didih ** (°C)	Titik Beku (°C)	Tekanan Uap* (kPa)	Volume Uap* (m <sup>3</sup> / kg)	Entalpi *	
					Cair (kJ / kg)	Uap (kJ / kg)
R – 11	-23,82	-111,0	25,73	0,61170	191,40	385,43
R – 12	-29,79	-158,0	219,28	0,07702	190,72	347,96
R – 22	-40,76	-160,0	354,74	0,06513	188,55	400,83
R – 502	-45,40	---	414,30	0,04234	188,87	342,31
R – 7 (Ammonia)	-33,30	-77,7	289,93	0,41949	808,71	487,76

\* Pada -10 °C

\*\* Pada Standar Tekanan Atmosfir (101,325 kPa)

**Tabel 2. Kinerja refrigeran yang biasa digunakan** (diambil dari Arora, C.P., 2000)

Refrigeran	Tekanan Penguapan (kPa)	Tekanan Kondensasi (kPa)	Perbandingan Tekanan	Entalpi Uap (kJ / kg)	COP** <sub>carnot</sub>
R – 11	20,4	125,5	6,15	155,4	5,03
R – 12	182,7	744,6	4,08	116,3	4,70
R – 22	295,8	1192,1	4,03	162,8	4,66
R - 502	349,6	1308,6	3,74	106,2	4,37
R - 717	236,5	1166,5	4,93	103,4	4,78

\* Pada -15 °C Suhu Penguapan, dan 30 °C Suhu Kondenser

\*\*  $COP_{carnot} = Koefisien\ Kinerja = \frac{Suhu_{Penguapan}}{(Suhu_{Kondensasi} - Suhu_{Penguapan})}$

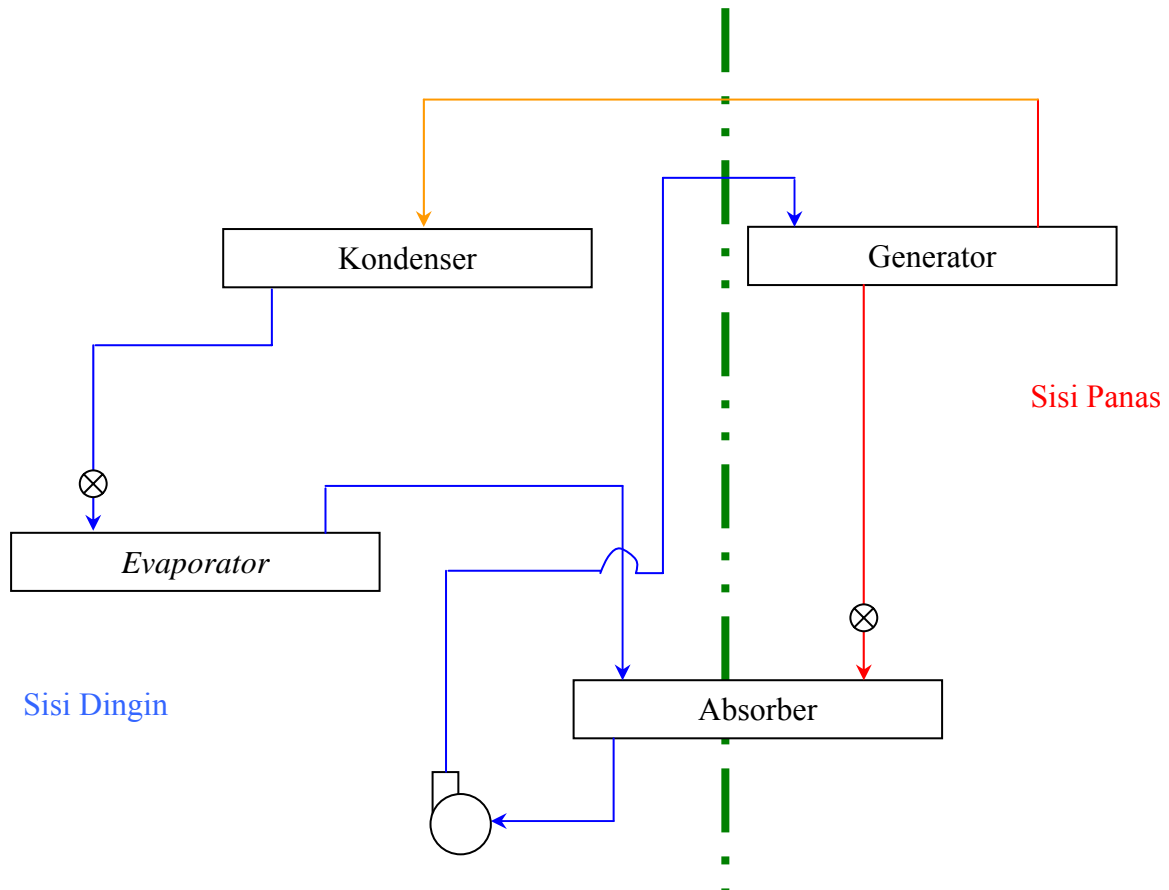
Pemilihan refrigeran dan suhu pendingin dan beban yang diperlukan menentukan pemilihan kompresor, juga perancangan kondenser, *evaporator*, dan alat pembantu lainnya. Faktor tambahan seperti kemudahan dalam perawatan, persyaratan fisik ruang dan ketersediaan utilitas untuk peralatan pembantu (air, daya,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

## 2.2 Sistim Refrigerasi Penyerapan Uap

### 2.2.1 Deskripsi

Sistim refrigerasi penyerapan uap terdiri dari:

- Absorber: Penyerapan uap refrigeran oleh absorben atau adsorben yang cocok, membentuk larutan refrigeran yang kuat atau kaya dalam absorben/ adsorben
- Pompa: Pemompaan larutan yang kaya dan menaikkan tekanannya ke tekanan kondenser
- Generator: Destilasi uap dari larutan kaya menyisakan larutan miskin untuk pendaur ulangan.

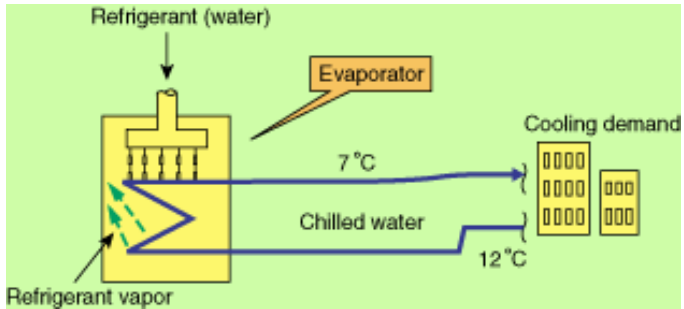
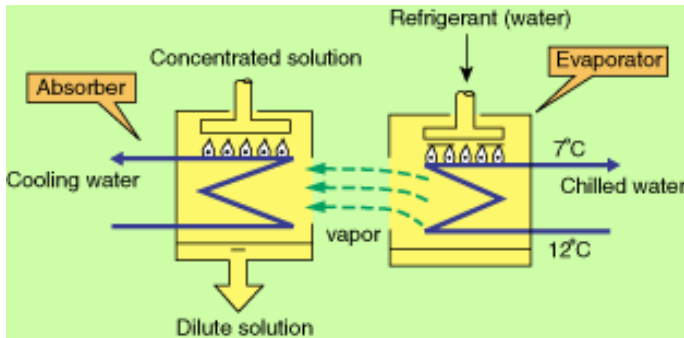
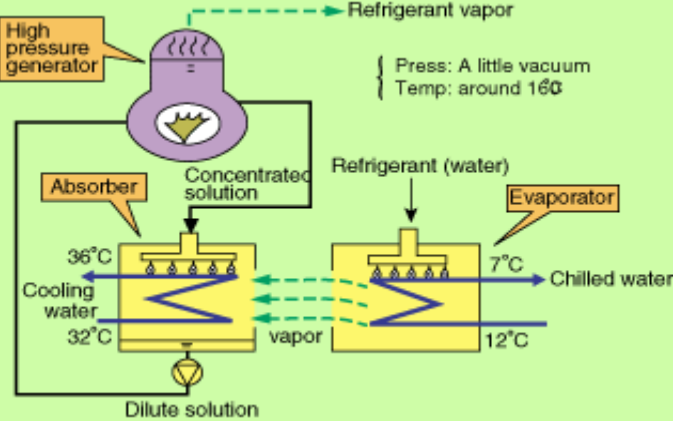


**Gambar 5: Skema sederhana sistim pendinginan absorpsi uap**

*Chiller* absorpsi merupakan sebuah mesin, yang menghasilkan *chilled water* dengan menggunakan panas seperti steam, air panas, gas, minyak, dll. *Chilled water* diproduksi berdasarkan prinsip bahwa cairan (yakni refrigeran, yang menguap pada suhu rendah) menyerap panas dari sekitarnya apabila menguap. Air murni digunakan sebagai refrigeran dan larutan *lithium bromide* digunakan sebagai absorben.

Panas untuk sistim refrigerasi absorpsi uap dapat diberikan oleh limbah panas yang diambil dari proses, generator diesel, dll. Dalam kasus tersebut sistim absorpsi memerlukan listrik hanya untuk menjalankan pompa. Tergantung pada suhu yang diperlukan dan biaya energi, mungkin akan ekonomis apabila membangkitkan panas/steam untuk mengoperasikan sistim absorpsi.

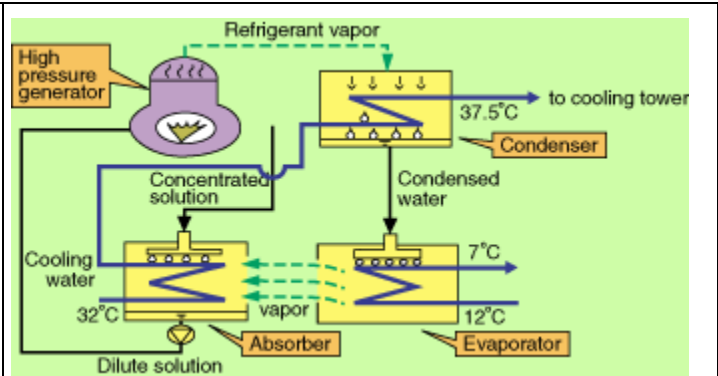
Gambaran konsep refrigerasi absorpsi diberikan dibawah ini (referensi untuk gambar-gambar tidak diketahui).

<p><b>Evaporator</b> Refrigeran (air) menguap pada suhu sekitar 4°C pada kondisi vakum tinggi 754 mm Hg dalam <i>evaporator</i>.</p> <p>Air dingin masuk menuju pipa-pipa penukar panas dalam <i>evaporator</i> dan memindahkannya ke refrigeran yang menguap.</p> <p>Refrigeran yang menguap (uap) berubah menjadi cairan lagi, sementara panas laten dari proses penguapan ini mendinginkan air dingin (pada diagram dari 12 °C hingga 7 °C). Air dingin kemudian digunakan untuk refrigerasi.</p>	
<p><b>Absorber</b> Untuk menjaga penguapan, uap refrigeran harus dibuang dari <i>evaporator</i> dan refrigeran (air) harus dipasok. Uap refrigeran diserap ke larutan <i>lithium bromide</i>, yang sesuai untuk menyerap uap refrigeran dalam absorber. Panas yang dihasilkan dalam proses absorpsi secara terus menerus dikeluarkan dari sistem oleh air pendingin. Absorpsi juga mencapai vakum dibagian dalam <i>evaporator</i>.</p>	
<p><b>Generator Tekanan Tinggi</b> Ketika larutan <i>lithium bromide</i> menjadi encer, kemampuan menyerap uap refrigeran berkurang. Untuk menjaga proses absorpsi berlangsung, larutan <i>lithium bromide</i> yang encer harus dipanaskan lagi.</p> <p>Chiller pengabsorpsi diberikan dengan sistem pemekat larutan yang disebut generator. Media pemanas seperti steam, air panas, gas atau minyak berfungsi sebagai larutan pemekat.</p> <p>Larutan pekat dikembalikan ke absorber untuk menyerap kembali uap refrigeran.</p>	
<p><b>Kondenser</b> Untuk melengkapi siklus refrigerasi,</p>	

dan dengan demikian menjamin refrigerasi berlangsung terus menerus, maka diperlukan dua fungsi berikut

1. Memekatkan dan mencairkan uap refrigeran yang teruapkan, yang dihasilkan dalam generator tekanan tinggi.
2. Memasok air yang terembunkan ke *evaporator* sebagai refrigeran (air)

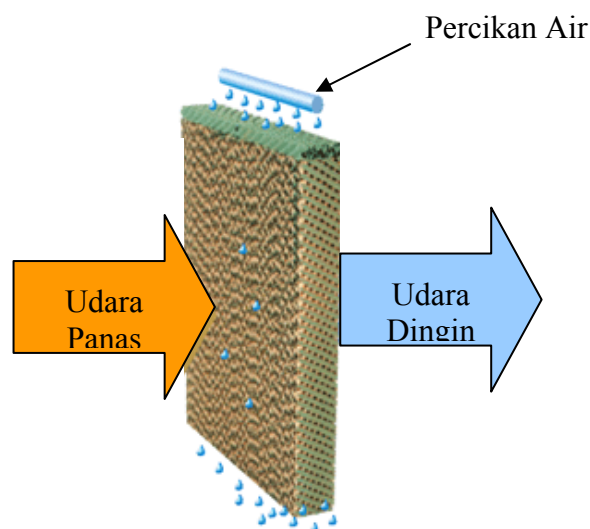
Untuk dua fungsi tersebut maka dipasang sebuah kondenser.



Sistim refrigerasi absorpsi yang menggunakan Li-Br-air sebagai refrigerannya memiliki Koefisien Kinerja/ *Coefficient of Performance* (COP) dalam kisaran 0,65 – 0,70 dan dapat menyediakan *chilled water* pada suhu 6,7 °C dengan suhu air refrigerasi 30 °C. Sistim yang mampu memberikan *chilled water* pada suhu 3 °C juga tersedia. Sistim yang berdasarkan amoniak beroperasi diatas tekanan atmosfer dan mampu beroperasi pada suhu rendah (dibawah 0°C). Mesin absorpsi tersedia dengan kapasitas antara 10-1500 ton. Walaupun biaya awal sistim absorpsi lebih tinggi daripada sistim kompresi namun biaya operasionalnya lebih rendah jika digunakan limbah panas.

### 2.2.2 Refrigerasi evaporatif dalam sistim refrigerasi absorpsi uap

Terdapat banyak kejadian dimana penyejuk udara AC, yang menetapkan pengendalian kelembaban hingga 50% untuk kenyamanan manusia atau untuk proses-proses, dapat digantikan oleh pendingin evaporatif yang rendah energi dan lebih murah.



**Gambar 5. Skema pendinginan evaporatif**

Diambil dari: Munters (2001)

Konsepnya sangat sederhana dan sama dengan yang menggunakan menara pendingin. Udara dibawa dan bersinggungan dekat dengan air untuk mendinginkan udara hingga suhu mendekati suhu *wet bulb*. Udara dingin dapat digunakan untuk refrigerasi kenyamanan atau



proses. Kerugiannya adalah bahwa udara kaya akan kadar air. Udara dingin dapat digunakan untuk kenyamanan atau untuk proses. Kerugiannya adalah udara akan kaya dengan uap air. Meskipun demikian, ini merupakan alat pendingin yang sangat efisien dengan biaya yang sangat rendah. Sistem komersial yang besar menggunakan bantalan yang diisi selulosa dimana air disemprotkan. Suhu dapat dikontrol dengan pengontrolan aliran udara dan laju sirkulasi air. Kemungkinan refrigerasi evaporatif sangat menarik untuk refrigerasi bagi kenyamanan di daerah kering. Prinsip ini dipraktekkan di industri tekstil untuk proses-proses tertentu.

### 3. PENGKAJIAN REFRIGERASI DAN PENYEJUK UDARA AC

Bagian ini menjelaskan tentang bagaimana kinerja dan kajian *plant* refrigerasi/ penyejuk udara AC.

#### 3.1 Pengkajian Refrigerasi

##### 3.1.1 TR

Kita mulai dengan definisi TR

- TR: Efek refrigerasi yang dihasilkan ditentukan besarnya sebagai ton refrigerasi, juga disebut sebagai “tonase *chiller*”.
- $TR = Q \times C_p \times (T_i - T_o) / 3024$   
Dimana Q adalah laju aliran massa pendingin dalam kg/jam  
 $C_p$  adalah panas jenis pendingin dalam kKal /kg derajat C  
 $T_i$  adalah suhu masuk pendingin ke *evaporator (chiller)* dalam  $^{\circ}C$   
 $T_o$  adalah suhu keluar pendingin dari *evaporator (chiller)* dalam  $^{\circ}C$   
1 TR refrigerasi = 3024 kKal/jam panas yang dibuang

##### 3.1.2 Pemakaian Daya Spesifik

- Pemakaian daya spesifik kW/TR merupakan indikator yang bermanfaat dari kinerja sistem refrigerasi. Dengan mengukur tugas refrigerasi yang ditampilkan dalam TR dan input kW, kW/TR digunakan sebagai indikator kinerja energi.
- Dalam sistem *chilled water* terpusat, terpisah dari unit kompresor, daya juga dipakai oleh pompa refrigeran *chilled water* (sekunder), pompa air kondenser (untuk pembuangan panas ke menara pendingin) dan fan pada menara pendingin. Secara efektif, pemakaian energi keseluruhan merupakan penjumlahan dari:
  - Kompresor kW
  - Pompa air dingin kW
  - Pompa air kondenser kW
  - Fan menara pendingin kW, untuk menara induksi/ *forced draft*
- kW/TR, atau pemakaian spesifik energi untuk keluaran tertentu TR adalah jumlah dari:
  - Kompresor kW/TR
  - Pompa *chilled water* kW/TR
  - Pompa air kondenser kW/TR
  - Fan menara pendingin kW/TR

##### 3.1.3 Koefisien Kinerja/ *Coefficient of Performance (COP)*

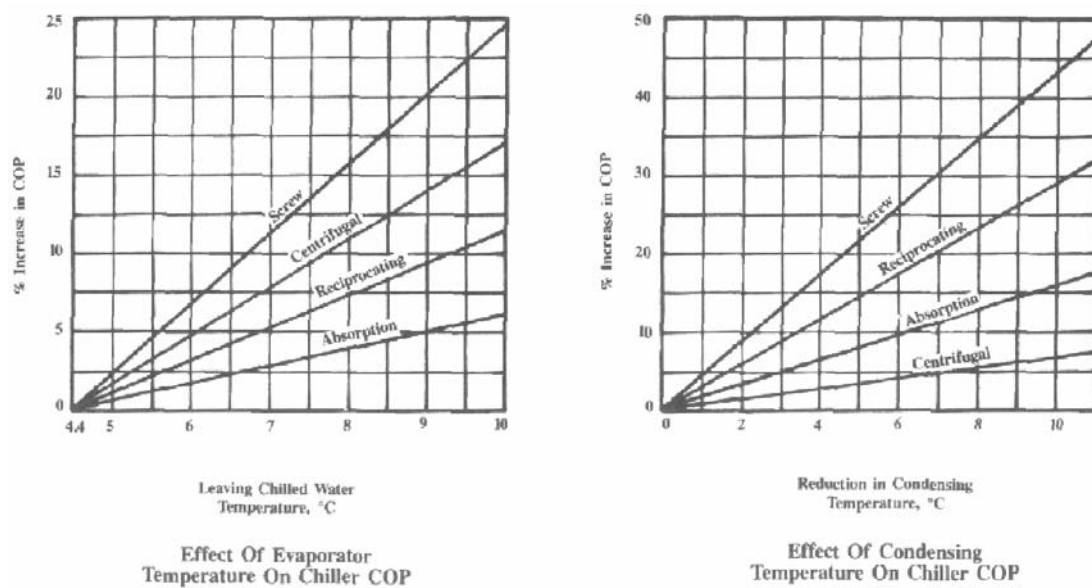
- Koefisien Kinerja teoritis (Carnot), ( $COP_{Carnot}$ , ukuran standar efisiensi refrigerasi bagi sistem refrigerasi yang ideal) tergantung pada dua kunci sistem suhu: suhu *evaporator*  $T_e$  dan suhu kondenser  $T_c$ . COP diberikan sebagai:

$$\text{COP}_{\text{Carnot}} = T_e / (T_c - T_e)$$

Pernyataan diatas juga mengindikasikan bahwa  $\text{COP}_{\text{Carnot}}$  yang tinggi dicapai dengan suhu *evaporator* tinggi dan suhu kondenser yang rendah. Namun  $\text{COP}_{\text{Carnot}}$  hanyalah merupakan perbandingan suhu, dan tanpa mempedulikan jenis kompresornya. Jadi COP yang biasanya digunakan di industri dihitung sebagai berikut:

$$\text{COP} = \frac{\text{Cooling effect (kW)}}{\text{Power input to compressor (kW)}}$$

Dimana pengaruh refrigerasi merupakan perbedaan entalpi yang melintasi *evaporator* dan dinyatakan dengan kW.



Gambar 6: Pengaruh suhu pengembunan dan suhu *evaporator* pada *chiller* (Biro Efisiensi Energi, 2004)

### 3.2 Pengkajian terhadap Penyejuk Udara AC

Untuk unit penyejuk udara AC, aliran udara pada Unit Kumparan Fan/ *Fan Coil Units* (FCU) atau Unit *Handling Udara/ Air Handling Unit* (AHU) dapat diukur dengan menggunakan anemometer. Suhu *dry bulb* dan *wet bulb* diukur pada jalur masuk dan keluar di AHU atau di FCU dan beban refrigerasi pada TR dikaji sebagai:

$$\text{TR} = \frac{Q \times \rho \times (h_{\text{in}} - h_{\text{out}})}{3024}$$

Dimana, Q merupakan aliran udara dalam m<sup>3</sup>/jam

$\rho$  adalah masa jenis udara kg/m<sup>3</sup>

$h_{\text{in}}$  entalpi udara masuk dalam kKal/kg

$h_{\text{out}}$  entalpi udara keluar dalam kKal/kg

Penggunaan grafik *psychometric* dapat membantu menghitung  $h_{\text{in}}$  dan  $h_{\text{out}}$  dari nilai suhu *dry bulb* dan *wet bulb* yang diukur selama coba-coba dengan menggunakan *psychometer*.

Pengukuran energi pada kompresor, pompa, fan AHU, fan menara pendingin dapat dilakukan dengan alat analisis beban *portable*.

Perkiraan beban penyejuk AC dapat dilakukan dengan penghitungan berbagai beban panas, sensibel dan laten, berdasar pada parameter udara masuk dan keluar, faktor pemasukan udara, aliran udara, jumlah orang dan jenis bahan yang disimpan.

Indikasi profil beban TR untuk penyejuk udara AC adalah sebagai berikut:

- Kabin kantor ukuran kecil = 0,1 TR/m<sup>2</sup>
- Kantor ukuran sedang, yang ditempati oleh 10 – 30 orang dengan penyejuk AC terpusat = 0,06 TR/m<sup>2</sup>
- Komplek perkantoran gedung bertingkat yang besar dengan penyejuk AC terpusat = 0,04 TR/m<sup>2</sup>

### **3.3 Berbagai Pertimbangan Ketika Melakukan Pengkajian terhadap Kinerja**

#### **3.3.1 Ketepatan pengukuran suhu dan aliran**

Dalam pengkajian kinerja di lapangan, diperlukan peralatan yang teliti untuk mengukur suhu masuk dan keluar *chilled water* dan air kondenser, lebih disukai yang menggunakan hitungan paling kecil 0.1 °C. Pengukuran aliran *chilled water* dapat dilakukan secara langsung dengan pengukur aliran ultrasonik atau dapat ditentukan berdasarkan parameter-parameter fungsi pompa. Pemeriksaan kecukupan air dingin kadangkala diperlukan dan hampir semua unit dirancang khusus untuk aliran air dingin 0,68 m<sup>3</sup>/jam per TR (3 gpm/TR). Aliran air kondenser dapat juga diukur langsung dengan pengukur aliran tanpa sentuh (*non-contact flow meter*) atau dapat ditentukan berdasarkan parameter-parameter fungsi pompa. Pemeriksaan kecukupan air kondenser juga diperlukan dan hampir semua unit dirancang khusus untuk aliran kondenser 0,91 m<sup>3</sup>/jam per TR (4 gpm / TR).

#### **3.3.2 Nilai Beban Sebagian yang Terintegrasi (IPLV)**

Walaupun kW/ TR dapat melayani sebagai acuan awal, namun hal ini jangan diambil sebagai nilai absolut karena nilai ini didasarkan pada kapasitas perancangan alat 100% dan pada kondisi perancangan yang dianggap hampir kritis. Kondisi tersebut hanya mungkin terjadi selama persen waktu total peralatan beroperasi sepanjang tahun. Untuk alasan ini, penting untuk memiliki data yang mencerminkan bagaimana peralatan beroperasi dengan beban parsial atau dibawah kondisi dimana permintaan kurang dari kapasitas 100%. Untuk mengatasi hal ini, harus ditentukan kW/TR rata-rata dengan beban parsial yang dinamakan Nilai Beban Bagian yang Terintegrasi/ *Integrated Part Load Value* (IPLV).

IPLV merupakan acuan yang paling cocok, walaupun tidak dianggap yang terbaik, sebab IPLV hanya menangkap empat titik dalam siklus operasinya: 100%, 75%, 50% dan 25%. Lagipula, IPLV memberikan berat yang sama terhadap masing-masing nilai, dan hampir semua peralatan beroperasi antara kapasitas 50% dan 75%. Oleh sebab itu, hal ini sangat penting untuk mempersiapkan analisis spesifik untuk setiap kasus yang ditujukan ke empat titik yang disebutkan, juga pengembangan profil operasi penukar panas setiap tahunnya.

## 4. PELUANG EFISIENSI ENERGI

Bagian ini menjelaskan tentang area penghematan energi pada *plant* refrigerasi.

### 4.1 Optimasi Alat Penukar Panas Proses

Terdapat suatu kecenderungan dalam menerapkan batas keselamatan yang tinggi bagi operasi, yang mempengaruhi tekanan hisap kompresor/ titik penyetelan *evaporator*. Sebagai contoh, persyaratan proses refrigerasi 15 °C memerlukan air dingin pada suhu rendah, namun kisarannya dapat bervariasi mulai dari 6 °C hingga sekitar 10 °C. Pada air dingin yang bersuhu 10 °C, suhu refrigerannya harus lebih rendah (sekitar -5°C hingga +5°C). Suhu refrigeran menentukan tekanan hisap refrigeran, dimana pada gilirannya akan menentukan kondisi masuk bagi kompresor refrigeran. Dengan demikian maka penerapan energi penggerak optimal/minimal (perbedaan suhu) dapat mencapai tekanan hisap tertinggi pada kompresor, sehingga meminimalkan pemakaian energi. Hal ini memerlukan ukuran area perpindahan panas dan *evaporator* yang pantas juga rasionalisasi persyaratan suhu ke nilai tertinggi yang memungkinkan. Kenaikan suhu *evaporator* sebesar 1°C dapat menghemat hampir 3 % energi yang dipakai. Kapasitas TR untuk mesin yang sama dapat juga meningkat dengan suhu *evaporator*, seperti yang diberikan dalam tabel dibawah.

**Tabel 3. Nilai-nilai yang menggambarkan pengaruh variasi suhu evaporator pada konsumsi energi kompresor (Badan Produktivitas Nasional, tidak diterbitkan)**

Suhu Evaporator (°C)	Kapasitas Refrigerasi* (ton)	Konsumsi Energi Spesifik	Kenaikan dalam kW/ton (%)
5,0	67,58	0,81	-
0,0	56,07	0,94	16,0
-5,0	45,98	1,08	33,0
-10,0	37,20	1,25	54,0
-20,0	23,12	1,67	106,0

\* Suhu kondenser 40°C

Dalam rangka merasionalkan area perpindahan panas, koefisien perpindahan panas refrigeran dapat berkisar dari 1400 – 2800 watts /m<sup>2</sup>K. Area perpindahan panas refrigeran dalam *evaporator* berada pada 0,5 m<sup>2</sup>/TR dan di atasnya.

Kondenser pada *plant* refrigerasi merupakan peralatan yang kritis yang mempengaruhi kapasitas TR dan kebutuhan pemakaian energi. Untuk berbagai refrigeran, suhu pengembunan dan tekanan kondenser tergantung pada area perpindahan panas, efektivitas perpindahan panas dan jenis refrigerasi yang dipilih. Suhu pengembunan yang rendah berarti bahwa kompresor harus bekerja antara perbedaan tekanan yang rendah dimana tekanan pembuangan sudah ditetapkan oleh perancangan dan kinerja kondenser.

Pada prakteknya pemilihan kondenser ada diantara udara yang didinginkan, udara yang didinginkan oleh semprotan air, dan penukar panas yang didinginkan. Penukar panas besar jenis *shell and tube* yang digunakan sebagai kondenser dan yang dilengkapi dengan pengoperasian menara pendingin yang baik mengijinkan operasi pada nilai tekanan pembuangan yang rendah dan meningkatkan kapasitas TR *plant* refrigerasi.

Jika digunakan refrigeran R22 dalam kondenser pendingin air jenis *shell and tube* maka tekanan pembuangannya adalah 15 kg/cm<sup>2</sup>. Jika digunakan refrigeran yang sama dalam kondenser pendingin udara maka tekanan buuangannya sebesar 20 kg/cm<sup>2</sup>. Hal ini menunjukkan

berapa tugas kompresi tambahan yang diperlukan, yang menghasilkan hampir 30 % tambahan pemakaian energi oleh pabrik.

Salah satu opsi terbaik pada tahapan perancangan adalah pemilihan kondenser *shell and tube* berukuran besar (0,65 m<sup>2</sup>/TR dan di atasnya) dengan pendingin air, daripada menggunakan alternatif yang sedikit mahal seperti kondenser pendingin udara atau unit kondenser atmosferik dengan semprotan air. Pengaruh suhu kondenser pada kebutuhan energi *plant* refrigerasi diberikan dalam tabel dibawah.

**Tabel 7. Nilai yang menggambarkan pengaruh variasi suhu evaporator pada konsumsi daya kompresor** (Badan Produktivitas Nasional, tidak diterbitkan)

Suhu Pengembunan (°C)	Kapasitas Refrigerasi (ton)	Konsumsi Energi Spesifik (kW / TR)	Kenaikan dalam kW/TR (%)
26,7	31,5	1,17	-
35,0	21,4	1,27	8,5
40,0	20,0	1,41	20,5

\* Kompresor Reciprocating menggunakan refrigeran R-22.  
Suhu evaporator -10°C

## 4.2 Pemeliharaan Permukaan Penukar Panas

Setelah kompresor dibeli, pemeliharaan yang efektif merupakan kunci bagi pengoptimalan pemakaian energi. Perpindahan panas dapat juga diperbaiki dengan pemisahan minyak pelumas dan refrigeran yang baik, *defrosting* kumparan tepat pada waktunya, dan meningkatkan kecepatan pendingin sekunder (udara, air, dll.). Walau demikian, meningkatnya kecepatan menghasilkan penurunan tekanan yang lebih besar dalam sistim distribusinya dan lebih tingginya konsumsi energi pada pompa/ fan. Oleh karena itu diperlukan analisis yang cermat untuk menentukan kecepatan yang optimum.

Adanya endapan pada pipa kondenser memaksa kondenser bekerja lebih keras untuk mencapai kapasitas yang dikehendaki. Sebagai contoh, kerak setebal 0,8 mm yang terbentuk didalam pipa kondenser (disebabkan oleh residu minyak pelumas atau penyusupan udara) mengakibatkan peningkatan konsumsi daya. Hal yang sama pentingnya adalah pemilihan yang sesuai, pengukuran, dan pemeliharaan menara pendingin. Penurunan suhu air sebesar 0,55°C yang kembali dari menara pendingin akan mengurangi konsumsi daya kompresor sebesar 3%.

**Tabel 8. Nilai yang menggambarkan pengaruh dari pemeliharaan yang buruk terhadap konsumsi daya kompresor** (Badan Produktivitas Nasional, tidak diterbitkan)

Kondisi	Suhu Penguapan (°C)	Suhu Pengembunan (°C)	Kapasitas Refrigerasi* (ton)	Konsumsi Daya Spesifik (kW/ton)	Kenaikan dalam kW/Ton (%)
Normal	7,2	40,5	17,0	0,69	-
Kondenser kotor	7,2	46,1	15,6	0,84	20,4
Evaporator kotor	1,7	40,5	13,8	0,82	18,3
Kondenser dan evaporator kotor	1,7	46,1	12,7	0,96	38,7

\* Sistim berdasarkan pada 15 ton kompresor reciprocating. Pemakaian energi lebih rendah daripada untuk sistim yang sudah tersedia di India. Walau begitu, perubahan persentase dalam pemakaian energi merupakan indikasi dari pengaruh pemeliharaan yang buruk.

### 4.3 Multi-Tahap untuk Efisiensi

Operasi kompresor yang efisien mensyaratkan bahwa perbandingan kompresi harus dijaga rendah untuk mengurangi tekanan dan suhu buangan. Untuk penerapan suhu rendah yang melibatkan perbandingan kompresi yang tinggi, dan untuk persyaratan kisaran suhu yang lebih luas, maka lebih disukai (disebabkan keterbatasan perancangan) dan kadangkala ekonomis apabila menggunakan mesin multi-tahap atau kompresor sentrifugal/ ulir.

Terdapat dua jenis sistim multi-tahap yang dapat diterapkan ke seluruh jenis kompresor: *compound* dan *cascade*. Dengan kompresor *reciprocating* atau *rotary*, kompresor dua tahap lebih diminati untuk suhu beban dari  $-20^{\circ}\text{C}$  hingga  $-58^{\circ}\text{C}$ , dan dengan mesin sentrifugal untuk suhu sekitar  $-43^{\circ}\text{C}$ .

Dalam operasi multi-tahap, kompresor tahap pertama yang ukurannya sesuai dengan beban refrigerasi, diumpankan ke bagian pengisapan kompresor tahap kedua setelah gas melakukan refrigerasi *inter-cooling*. Sebagian cairan bertekanan tinggi dari kondenser di-*flash* dan digunakan untuk sub-refrigerasi cairan. Oleh karena itu, kompresor kedua harus memenuhi beban *evaporator* dan gas yang *diflash*. Refrigeran tunggal digunakan dalam sistim, dan dua buah kompresor berbagi tugas kompresi secara merata. Kombinasi dua buah kompresor dengan perbandingan kompresi yang rendah dapat memberikan perbandingan kompresi yang tinggi.

Untuk suhu dalam kisaran  $-46^{\circ}\text{C}$  hingga  $-101^{\circ}\text{C}$ , lebih baik digunakan sistim *cascade*. Dalam sistim ini, dua sistim terpisah yang menggunakan refrigeran yang berbeda digabungkan sehingga satu sistim membuang panas ke yang lainnya. Keuntungan utama dari sistim ini adalah bahwa refrigerannya bersuhu rendah, yang memiliki suhu isapan tinggi dan volum jenis yang rendah, dapat dipilih untuk tahapan rendah dalam rangka memenuhi kebutuhan suhu yang sangat rendah.

### 4.4 Mencocokkan Kapasitas terhadap Beban Sistim

Selama operasi beban sebagian, suhu *evaporator* naik dan suhu kondenser turun, secara efektif meningkatkan COP. Namun pada saat yang bersamaan, penyimpangan dari titik operasi perancangan dan kenyataan bahwa kehilangan mekanis membentuk bagian yang lebih besar dari energi total meniadakan pengaruh COP yang sudah meningkat, menghasilkan efisiensi sebagian beban lebih rendah.

Oleh karena itu, pertimbangan terhadap operasi beban sebagian adalah penting, sebab hampir kebanyakan penerapan refrigerasi memiliki beban yang bervariasi. Beban dapat bervariasi karena variasi suhu dan kebutuhan refrigerasi proses. Mencocokkan kapasitas refrigerasi terhadap beban merupakan latihan yang sulit, memerlukan pengetahuan mengenai kinerja kompresor dan variasi dalam kondisi ambien, dan pengetahuan rinci tentang beban pendinginan.

### 4.5 Pengendalian Kapasitas dan Efisiensi Energi

Kapasitas kompresor dikendalikan dengan berbagai macam cara. Pengendalian kapasitas kompresor *reciprocating* melalui pembongkaran silinder menghasilkan modulasi tambahan (tahap demi tahap). Sebaliknya, modulasi lanjutan terjadi dalam kompresor sentrifugal melalui pengendalian baling-baling dan dalam kompresor ulir melalui kran penurunan. Oleh karena itu, pengendalian suhu memerlukan perancangan sistim yang teliti. Biasanya, jika

menggunakan kompresor *reciprocating* dalam penerapannya dengan beban yang bervariasi, perlu dilakukan pengendalian kompresor dengan pemantauan suhu air yang kembali (atau refrigeran sekunder lainnya), bukan suhu air yang meninggalkan *chiller*. Hal ini akan mencegah siklus mati-hidup yang berlebihan atau *loading/un-loading* kompresor yang tidak penting. Namun demikian, jika fluktuasi beban tidak tinggi, suhu air yang meninggalkan *chiller* harus dipantau. Hal ini memiliki keuntungan mencegah operasi berjalan pada suhu air yang sangat rendah, terutama jika aliran berkurang pada beban yang rendah. Suhu air yang keluar harus dipantau untuk *chiller* sentrifugal dan ulir/ *screw*.

Pengaturan kapasitas melalui pengendali kecepatan merupakan opsi yang paling efisien. Tetapi, ketika menggunakan pengendali kecepatan untuk kompresor *reciprocating*, harus yakin bahwa sistem pelumasan tidak terpengaruh. Dalam hal kompresor sentrifugal, biasanya dikehendaki untuk membatasi pengendalian kecepatan hingga sekitar 50 % dari kapasitasnya untuk mencegah terjadinya guncangan. Dibawah 50%, pengendalian baling-baling atau *bypass* gas panas dapat digunakan untuk modul kapasitas.

Efisiensi kompresor *screw*/ ulir yang beroperasi pada beban sebagian pada umumnya lebih tinggi dari kompresor sentrifugal atau kompresor *reciprocating*, yang membuat menarik dalam suasana dimana operasi beban sebagian adalah biasa. Kinerja kompresor ulir dapat dioptimalkan dengan mengubah perbandingan volum. Pada beberapa kasus, hal ini dapat menghasilkan efisiensi beban penuh yang lebih tinggi jika dibandingkan terhadap kompresor *reciprocating* dan sentrifugal. Juga, kemampuan kompresor ulir untuk mentolelir minyak dan lumpur cairan refrigeran membuat kompresor ini lebih disukai untuk berbagai keadaan.

#### **4.6 Refrigerasi Bertingkat bagi Kebutuhan Pabrik**

Pemilihan sistem refrigerasi juga tergantung pada kisaran suhu yang diperlukan oleh pabrik. Untuk penerapan yang bervariasi memerlukan kisaran suhu yang luas, dan biasanya akan lebih ekonomis menyediakan beberapa paket unit (beberapa unit didistribusikan ke seluruh pabrik) daripada satu *plant* besar yang terpusat. Keuntungan lainnya adalah fleksibilitas dan kehandalannya. Pemilihan unit paket dapat juga dibuat tergantung pada jarak dimana kebutuhan beban pendinginan harus dipenuhi. Unit paket pada pusat beban mengurangi kehilangan selama pendistribusian dalam sistem. Meskipun unit paket memiliki keuntungan, *plant* terpusat umumnya memiliki pemakaian energi yang lebih rendah karena pada beban yang berkurang maka pemakaian energi dapat berkurang secara signifikan karena permukaan besar kondenser dan *evaporator*.

Banyak industri menggunakan banyak kompresor di pusat lokasinya untuk memenuhi permintaan beban. Biasanya *chillers* memberi umpan ke *header* biasa dimana jalur cabang diambil ke berbagai lokasi di pabrik. Dalam situasi semacam itu, operasi pada beban sebagian memerlukan kehati-hatian yang tinggi. Untuk operasi yang efisien, beban pendinginan, dan beban pada setiap *chiller* harus dipantau sedekat mungkin. Akan lebih efisien bila mengoperasikan *chiller* tunggal pada beban penuh daripada mengoperasikan dua buah *chiller* pada beban sebagian. Sistem distribusi harus dirancang supaya *chiller* tunggal dapat melayani seluruh jalur cabang. Katup isolasi harus disediakan untuk menjamin bahwa air dingin (atau pendingin lainnya) tidak mengalir ke *chiller* yang tidak sedang beroperasi. Katup juga harus disediakan pada cabang jalur untuk mengisolasi bagian dimana pendinginan tidak diperlukan. Hal ini akan mengurangi penurunan tekanan dalam sistem dan menurunkan pemakaian energi pada sistem pemompaan. Kompresor tunggal harus diberi beban hingga mencapai kapasitas penuh sebelum mengoperasikan kompresor kedua. Dalam beberapa kasus, akan ekonomis bila menyediakan *chiller* tersendiri dengan kapasitas yang lebih kecil, yang dapat

dioperasikan dengan pengendali hidup-mati/ *on-off* untuk memenuhi permintaan puncak, dengan *chiller* yang lebih besar memenuhi beban dasar.

Pengendali aliran juga biasa digunakan untuk memenuhi permintaan yang bervariasi. Dalam kasus tersebut penghematan dalam pemompaan pada aliran yang lebih rendah harus diukur terhadap penurunan perpindahan panas dalam kumparan yang diakibatkan oleh berkurangnya kecepatan. Dalam beberapa kasus, operasi pada laju alir yang normal, dengan periode operasi kompresor tanpa beban (atau mati) yang lebih lama, dapat menghasilkan penghematan lebih besar.

#### **4.7 Penyimpanan Air Dingin/ *Chilled water***

Tergantung pada sifat beban, akan ekonomis bila menyediakan fasilitas penyimpanan air dingin dengan isolasi dingin yang baik. Juga, fasilitas penyimpanan dapat sepenuhnya diisi untuk memenuhi permintaan proses sehingga *chillers* tidak perlu dioperasikan terus menerus. Sistem ini biasanya ekonomis jika variasi kecil suhu dapat diterima. Sistem ini memiliki manfaat tambahan supaya *chiller* dapat dioperasikan pada periode konsumsi listrik yang rendah untuk mengurangi biaya permintaan puncak. Ongkos rendah yang ditawarkan oleh penyedia listrik untuk operasi di malam hari dapat juga diambil sebagai keuntungan dengan menggunakan fasilitas penyimpanan. Keuntungan tambahannya adalah bahwa suhu lingkungan yang rendah pada malam hari merendahkan suhu kondenser sehingga meningkatkan COP.

Jika variasi suhu tidak dapat ditolelir, mungkin tidak lagi ekonomis bila memberikan fasilitas penyimpanan karena pendingin sekunder harus disimpan pada suhu yang lebih rendah dari pada yang diperlukan untuk memberikan pencapaian panas. Biaya tambahan terhadap pendinginan ke suhu yang lebih rendah mungkin akan mengimbangi keuntungan-keuntungan. Penyelesaiannya berupa kasus yang spesifik. Contoh, dalam beberapa kasus, memungkinkan untuk menggunakan penukar panas yang besar, pada biaya beban yang lebih rendah daripada operasi *chiller* bersuhu rendah, untuk mengambil keuntungan dari fasilitas penyimpanan bahkan jika variasi suhu tidak dapat diterima sekalipun. Sistem pengumpulan es, yang menyimpan es (bukan air) sering lebih ekonomis.

#### **4.8 Fitur Perancangan Sistem**

Pada perancangan pabrik keseluruhan, pelaksanaan praktek yang baik dapat meningkatkan efisiensi energi secara signifikan. Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan adalah:

- Perancangan menara pendingin dengan impeler FRP dan bahan pengisi film, *drift eliminator* PVC, dll.
- Penggunaan air lunak sebagai pengganti air baku untuk kondenser.
- Penggunaan ketebalan isolasi yang ekonomis pada jalur dingin, penukar panas, mempertimbangkan biaya terhadap panas yang diperoleh dan mengadopsi hal yang praktis seperti *thermography* untuk pemantauan – dapat diterapkan terutama pada industri besar kimia/ pupuk/ proses.
- Penggunaan pelapis atap/ sistem pendinginan, langit-langit palsu/ jika dapat diterapkan, untuk meminimalkan beban pendinginan.
- Pematangan peralatan pemanfaatan kembali panas yang efisien energinya seperti penukar panas udara ke udara untuk mendinginkan awal udara segar dengan pertukaran panas tidak langsung daripada penggunaan saluran pemanas setelah pendinginan.
- Pemasangan sistem variabel volum udara, menggunakan film matahari untuk pemantulan panas; pengoptimalan beban penerangan di area udara yang disejukkan; pengoptimalan



jumlah perubahan udara di area udara yang disejukkan merupakan beberapa contoh lainnya.

## **5. DAFTAR PERIKSA OPSI**

Bagian ini melibatkan opsi-opsi efisiensi energi yang paling penting.

- **Isolasi Dingin:** Isolasi seluruh jalur dingin/ bejana dengan menggunakan ketebalan isolasi yang ekonomis untuk meminimalkan kehilangan panas; dan pilihlah bahan isolasi yang cocok (benar).
- **Pembungkus Gedung:** Mengoptimalkan volum penyejukan udara (AC) dengan pengukuran seperti penggunaan atap-atap palsu dan pemisahan area kritis untuk penyejukan udara AC dengan tabir udara.
- **Meminimalkan Beban Panas Gedung:** meminimalkan beban penyejuk udara (AC) dengan cara seperti pendinginan atap, pengecatan atap, penerangan yang efisien, pendinginan awal udara segar dengan penukar panas udara ke udara, sistim variabel volum udara, penyetulan optimal suhu *thermo-static* ruang ber AC, penerapan lapisan matahari, dll.
- **Minimisasi Beban Panas Proses:** Meminimalkan beban panas proses untuk kapasitas TR dan juga tingkat refrigerasi, misalnya suhu yang diperlukan, dengan cara:
  - Optimalisasi aliran
  - Peningkatan luas perpindahan panas untuk menerima pendinginan yang bersuhu tinggi
  - Hindarkan pemborosan seperti peningkatan panas, kehilangan *chilled water*, aliran yang diam.
  - Pembersihan/ pembuangan kerak secara teratur untuk seluruh alat penukar panas
- **Pada Refrigerasi AC di Area Pabrik:**
  - Pastikan perawatan secara teratur untuk seluruh komponen A/C pabrik sesuai panduan pabrik pembuatnya.
  - Pastikan jumlah *chilled water* dan aliran air pendingin yang cukup serta hindarkan aliran *bypass* dengan menutup kran peralatan yang diam.
  - Minimalkan operasi beban sebagian dengan menyesuaikan beban dan kapasitas pabrik secara *on line* dan gunakan *variable speed drives/ VSD* untuk beban proses yang bervariasi.
  - Berupayalah mengoptimalkan secara terus menerus parameter kondenser dan *evaporator* untuk meminimalkan konsumsi energi spesifik dan memaksimalkan kapasitas.
  - Gunakan sistim VAR dimana secara ekonomis dapat menggunakan larutan yang non- CFC.
- Yakinkan bahwa penyejuk udara AC tidak kelebihan beban dan periksa sikring atau pemutus arus jika AC tidak beroperasi.
- Ganti atau bersihkan penyaring dan bersihkan secara teratur kumparan *evaporator* dan kondenser AC untuk mendinginkan secara efisien.
- Bersihkan secara teratur termostat dan ganti jika perlu.
- Jika kompresor tidak bekerja sebagaimana mestinya, telepon segera tukang servis
- Perlu pemeriksaan oleh seorang mekanik jika terjadi suara berisik pada AC.
- Penyaring udara yang baik akan memperpanjang umur AC sebab alat terpenting seperti perakitan blower, kumparan pendingin, dan bagian dalam lainnya akan tetap bersih, beroperasi lebih efisien dan tahan lebih lama.

- Hindarkan keseringan membuka pintu/jendela. Pintu yang terbuka dapat menyebabkan pemakaian energi AC anda jadi berlipat.
- Yakinkan sinar matahari dan panas langsung tidak masuk ke ruang udara yang disejukkan, terutama pada siang hari.
- Hampir semua orang percaya bahwa penyetelan termostat ke suhu yang lebih rendah dari yang dikehendaki akan memaksa AC anda untuk mendinginkan secara cepat, ini tidak benar, bahkan akan membuat AC beroperasi lebih lama. Kecuali itu, akan mendapatkan ruang dingin yang tidak penting dan memboroskan energi. Setiap derajat yang lebih rendah dari suhu yang sudah disetel mengakibatkan pemakaian energi ekstra 3-4%. Jadi, jika sudah memperoleh suhu kenyamanan dan kemudian menyetel termostat pada tingkat suhu tersebut, hindarkan untuk merubah penyetelan termostat.
- Begitu sistim AC telah dirancang dan dipasang hindari perubahan beban panas pada AC. Hal ini akan menambah pemborosan energi.
- Jalur saluran yang tersumbat biasanya diakibatkan oleh pertumbuhan alga (bahan hijau seperti lumut !!) dibagian dalam jalur saluran. Penanganan udara memberikan lingkungan yang sejuk dan lembab untuk perkembangan jamur dan lumut dan jika dibiarkan tanpa perlakuan maka pertumbuhan tersebut dapat menyebar ke saluran pekerjaan anda. Buanglah lumut tersebut dengan menggunakan desinfektan (konsultasikan dengan dealer). Pastikan bahwa permukaan kumparan pendingin atau *evaporator* bersih sehingga udara dapat melewatinya dengan bebas.
- Jika anda memiliki saluran balik udara di area panas seperti loteng atau garasi, pastikan bahwa saluran ini tidak rusak, pecah, atau terlepas sambungannya dan menyedot udara panas.
- Jendela harus sedikit miring kebawah dibagian luarnya. Bagian yang membuang kelembaban (dimana air terakumulasi) merupakan kumparan bagian depan, dimana bagian dalamnya adalah rumah anda. Biasanya, terdapat suatu cekungan dan/atau pipa saluran yang mengalirkan air kebagian belakang. Jika salurannya tersumbat, air akan kembali dan terjadi kebocoran dibagian dalam. Mintalah mekanik anda untuk membersihkan rangka dan yakinkan seluruh sekrapnya terpasang kencang.
- Beban panas dapat dikurangi dengan menjaga atap palsu di perkantoran. Tirai/gorden/lapisan film pada jendela mengurangi panas masuk ke ruangan. Mengisolasi atap, yang terbuka ke matahari dengan 50-mm *thermocole* akan secara drastis mengurangi panas masuk ke ruangan.
- Periksa kebocoran saluran dan saluran yang hancur. Seluruh kebocoran udara harus ditutupi oleh pelapis berkualitas baik (bukan selotip saluran).
- Periksa *chiller* sebagaimana yang direkomendasikan oleh pabrik pembuat *chiller*. Biasanya hal ini harus dilakukan paling tidak setiap tiga bulan sekali.
- Periksa secara rutin kebocoran refrigeran.
- Periksa tekanan operasi kompresor.
- Periksa seluruh tekanan dan keadaan minyak pelumas.
- Uji seluruh tegangan dan amper motor.
- Periksa seluruh *starter* listrik, *contactors*, dan *riley*.
- Periksa seluruh gas panas dan operasi pembongkaran.
- Gunakan pembacaan suhu lewat panas dan sub-dingin untuk mencapai efisiensi *chiller* maksimum.
- Lakukan pembacaan suhu jalur pembuangan.

Beberapa aturan “**Rules of Thumb**” adalah:

- Kapasitas refrigerasi berkurang 6 persen untuk setiap kenaikan 3,5 °C pada suhu pengembunan.

- Penurunan suhu pengembunan sebesar 5,5 °C menyebabkan penurunan 20–25 persen dalam pemakaian energi kompresor.
- Penurunan 0,55 °C dalam suhu air pendingin pada pemasukan kondenser mengurangi pemakaian energi kompresor 3 persen.
- Pembentukan kerak 1 mm pada pipa kondenser dapat meningkatkan pemakaian energi sebesar 40 persen.
- Kenaikan 5,5 °C pada suhu *evaporator* menurunkan pemakaian energi kompresor sebesar 20–25 persen.

## 6. LEMBAR KERJA

Bagian ini meliputi lembar kerja sebagai berikut:

- Refrigerasi & Spesifikasi Peringkat Sistim AC
- Kinerja *Plant* Refrigerasi

### Lembar kerja 1: REFRIGERASI & SPESIFIKASI PERINGKAT SISTIM AC

Nomor Bagian	Kompresor Refrigerasi	Satuan	Referensi Mesin			
			1	2	3	4
1.	Pembuatan					
2.	Jenis					
3.	Kapasitas (refrigerasi)	TR				
4.	<b>Chiller:</b>					
A.	Jumlah pipa	--				
B.	Diameter pipa	m				
C.	Total luas perpindahan panas	m <sup>2</sup>				
D.	Aliran <i>chilled water</i>	m <sup>3</sup> /jam				
E.	Perbedaan suhu <i>chilled water</i>	°C				
5.	<b>Kondenser</b>					
A.	Jumlah pipa					
B.	Diameter pipa					
C.	Total luas perpindahan panas	m				
D.	Aliran air kondenser	m <sup>3</sup> /jam				
E.	Perbedaan suhu air kondenser	°C				
6.	<b>Pompa chilled water:</b>					
A.	Jumlah	--				
B.	Kapasitas	m <sup>3</sup> /jam				
C.	<i>Head</i> yang dikembangkan	mWC				
D.	Peringkat energi	kW				
E.	Peringkat efisiensi	%				
7.	<b>Pompa air kondenser</b>					
A.	Jumlah	--				
B.	Kapasitas	m <sup>3</sup> /hr				
C.	<i>Head</i> yang dikembangkan	mWC				
D.	Peringkat energi	kW				
E.	Peringkat efisiensi	%				

**Lembar kerja 2: KINERJA PLANT REFRIGERASI**

No	Referensi parameter	Satuan	Referensi kompresor refrigerasi			
			1	2	3	4
1.	Aliran <i>chilled water</i> (menggunakan <i>flow meter</i> atau dikaji dengan perbedaan ketinggian)	m <sup>3</sup> /jam				
2.	Daya masuk motor pompa air dingin	kW				
3.	Tekanan penyedotan pompa air dingin	kg/cm <sup>2</sup> g				
4.	Tekanan pembuangan pompa <i>chilled water</i>	kg/cm <sup>2</sup> g				
5.	Suhu masuk air <i>chiller</i> ke <i>chiller</i>	°C				
6.	Suhu keluar air <i>chiller</i> dari <i>chiller</i>	°C				
7.	Suhu masuk air kondenser	°C				
8.	Tekanan sedot pompa kondenser	kg/cm <sup>2</sup>				
9.	Tekanan pembuangan pompa kondenser	kg/cm <sup>2</sup>				
10.	Suhu keluar air kondenser	°C				
11.	Suhu refrigeran keluar <i>chiller</i> ( <i>evaporator</i> )	°C				
12.	Tekanan refrigeran	kg/cm <sup>2</sup> (or psig)				
13.	Suhu refrigeran masuk kondenser	°C				
14.	Tekanan refrigeran	kg/cm <sup>2</sup> (or psig)				
15.	Kapasitas pendinginan aktual [(1)*(6-5)/3024]	TR				
16.	COP [11/(10-11)]	--				
17.	Daya masuk motor kompresor	kW				
18.	Konsumsi energi spesifik	kW/TR				
19.	Daya masuk ke fan CT	kW				
20.	Daya masuk ke pompa <i>chilled water</i> dalam operasi	kW				
21.	Daya masuk ke pompa air kondenser dalam operasi	kW				
22.	Konsumsi daya sistim spesifik keseluruhan [(2+17+19+20)/15]	kW/TR				

## 7. REFERENSI

American Society Heating Refrigeration and Air Conditioning. *ASHRAE Hand Book*. 2001

Arora, C.P. *Refrigeration and Air Conditioning*. Second edition. Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd. 2000.

Bureau of Energy Efficiency, Ministry of Power, India. *HVAC and Refrigeration Systems*. In: Energy Efficiency in Electrical Utilities, chapter 4. 2004

Compare India. [www.compareindia.com](http://www.compareindia.com)

Munters. *Pre-Cooling of Gas Turbines – Evaporative Cooling*. 2001.

[www.munters.com/home.nsf/FS1?ReadForm&content=/products.nsf/ByKey/OHAA-55GSWH](http://www.munters.com/home.nsf/FS1?ReadForm&content=/products.nsf/ByKey/OHAA-55GSWH)

National Productivity Council, Ministry of Industries, India. *Technology Menu on Energy Efficiency*.

Plant Services Magazine. [www.plantservices.com](http://www.plantservices.com)

US Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy. [www.eere.energy.gov](http://www.eere.energy.gov)

### **Copyright:**

Copyright © United Nations Environment Programme (year 2006)

*This publication may be reproduced in whole or in part and in any form for educational or non-profit purposes without special permission from the copyright holder, provided acknowledgement of the source is made. UNEP would appreciate receiving a copy of any publication that uses this publication as a source. No use of this publication may be made for resale or any other commercial purpose whatsoever without prior permission from the United Nations Environment Programme.*

### **Hak Cipta:**

Hak cipta © United Nations Environment Programme (tahun 2006)

*Publikasi ini boleh digandakan secara keseluruhan atau sebagian dalam segala bentuk untuk pendidikan atau keperluan non-profit tanpa ijin khusus dari pemegang hak cipta, harus mencantumkan sumber yang membuat. UNEP akan menghargai pengiriman salinan dari setiap publikasi yang menggunakan publikasi ini sebagai sumber. Tidak diijinkan untuk menggunakan publikasi ini untuk dijual belikan atau untuk keperluan komersial lainnya tanpa ijin khusus dari United Nations Environment Programme.*

### **Disclaimer:**

*This energy equipment module was prepared as part of the project “Greenhouse Gas Emission Reduction from Industry in Asia and the Pacific” (GERIAP) by the National Productivity Council, India. While reasonable efforts have been made to ensure that the contents of this publication are factually correct and properly referenced, UNEP does not accept responsibility for the accuracy or completeness of the contents, and shall not be liable for any loss or damage that may be occasioned directly or indirectly through the use of, or reliance on, the contents of this publication, including the translation into other languages from English. This document is a translation of the chapter in English and does not constitute an official United Nations publication.*

### **Disclaimer:**

*Modul peralatan energi ini dibuat sebagai bagian dari proyek “Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca dari Industri di Asia dan Pasifik/ Greenhouse Gas Emission Reduction from Industry in Asia and the Pacific” (GERIAP) oleh Badan Produktivitas Nasional, India. Sementara upaya-upaya masih dilakukan untuk menjamin bahwa isi dari publikasi ini didasarkan fakta-fakta yang benar, UNEP tidak bertanggung-jawab terhadap ketepatan atau kelengkapan dari materi, dan tidak dapat dikenakan sanksi terhadap setiap kehilangan atau kerusakan baik langsung maupun tidak langsung terhadap penggunaan atau kepercayaan pada isi publikasi ini*