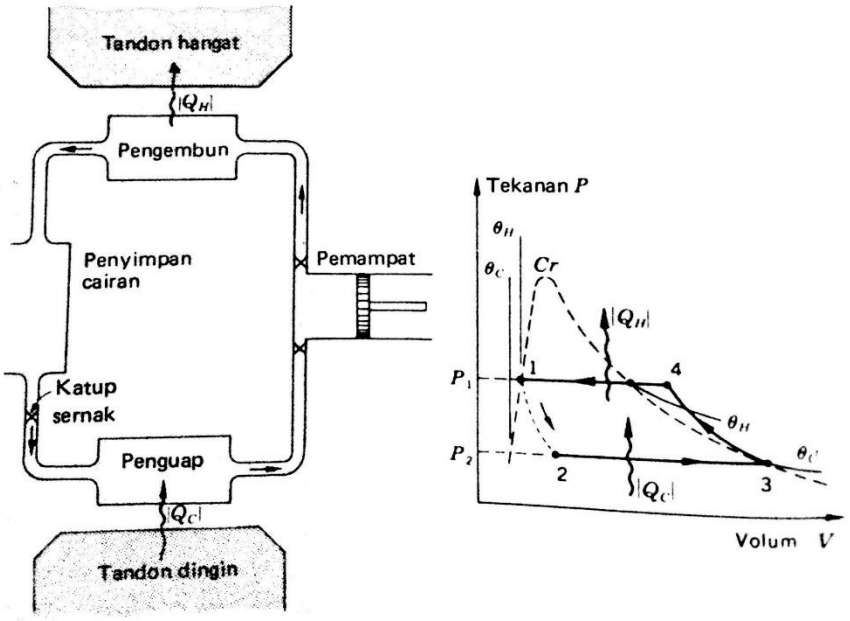
BAB II
LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Refrigerasi

Refrigerasi adalah satu gabungan atau perpaduan antar komponen dan peralatan yang dirangkai menjadi satu kesatuan untuk menghasilkan efek refrigerasi (pendinginan), sedangkan refrigeran adalah zat yang digunakan sebagai fluida kerja dalam proses penyerapan panas. Refrigerasi merupakan suatu proses untuk menghasilkan dan menjaga suatu beban pada dalam ruangan yang dikondisikan agar selalu dalam kondisi dingin. Refrigerasi ini sudah banyak dimanfaatkan dalam segala bidang dan digunakan hampir di setiap rumah, industri dan transportasi seiring pesatnya perkembangan teknologi. Secara umum penggunaan mesin refrigerasi adalah untuk mengawetkan makanan, karena pada suhu biasa (suhu kamar) makanan cepat menjadi busuk dan kualitas gizi pada makanan akan berkurang.

Pemanfaatan mesin refrigerasi atau mesin pendingin yaitu untuk pengkondisian ruangan, mendinginkan minuman (*baverage cooling*), pembuatan es. Secara teoritis termodinamika sangat penting untuk menganalisis sembarang sistem yang melibatkan berbagai perpindahan energy, berbagai pemakaian termodinamika yang praktis dan lazim dalam rekayasa adalah untuk menganalisa berbagai sistem yang mengandungsuatu zat kerja, biasanya dalam dalam fase cair atau gas, yang mengalir atau mendaur di dalam sistem. Berbagai sistem yang menjadi pusat perhatian adalah sistem-sistem yang menghasilkan suatu konversi energy. Dalam berbagai sistem refrigerasi atau pendingin yang ingin dicapai adalah memperhtahankan agar suatu ruangtetap dingin dengan mengeluarkan energi sebagai panas secara berkesinambungan dari ruang tersebut. Kebanyakan sistem tersebut melibatkan suatu fluida kerja yang disirkulasikan melalui sistem dalam suatu daur atau siklus. mesin refrigerator carnot disebut dengan *reversed cycle*. Jika mesin kalor karnot membuang usaha, sedangkan pada mesin refrigerator carnot membutuhkan usaha. Pada refrigerator carnot (perhatikan gambar 2.1)



Gambar 2.1 Refrigerator carnot
Sumber: Kalor dan Termodinamika (1986)

Daur pendinginan ideal yang diperlihatkan pada diagram PV pada gmbar diatas didapatkan dengan mengabaikan kesukaran yang biasa timbul karena ada golakan, gesekan, kehilangan kalor, dan lain sebagainya. Dalam gambar diagram PV diatas, dua isotherm fluida seperti refrigeran diperlihatkan dalam diagram PV: satu pada θ_H bekerja pada temperatur pengembun dan θ_C bekerja pada temperatur penguap. Dimulai dari titik 1 yang menunjukan keadaan cairan jenih pada temperatur dan tekanan pengembun, siklus refrigerator terdiri atas proses berikut ini:

1⟶2 : proses sernak yang menyangkut penurunan tekanan dan temperatur. Keadaan antara keadaan awal dan akhir fluida selama proses sernak tidak dapat diperikan dengan pertolongan koordinat termodinamika yang mengacu pada sistem secara keseluruhan, sehingga tidak dapat ditunjukkan dengan titik-titik pada diagram PV. Jadi, digambarkan dengan sederetan ririt antara 1 dan 2.

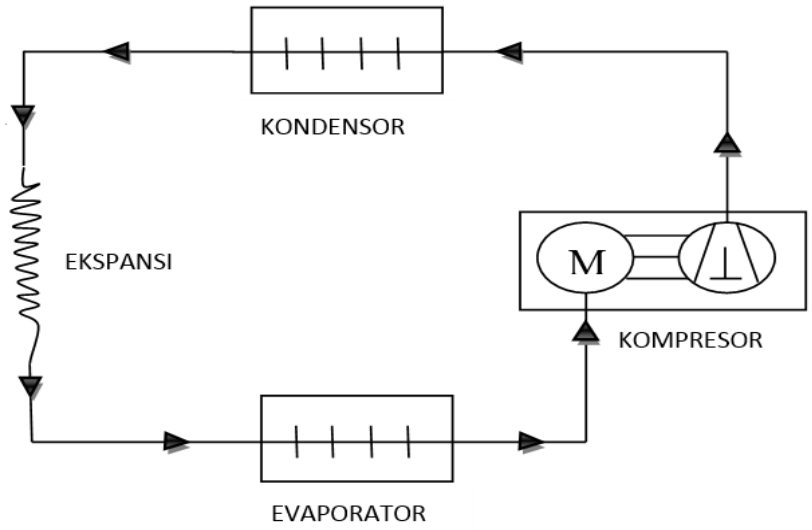
2⟶3 : penguapan isotrem, isobaric, yang dalam proses ini kalor Q_c diserap oleh zat pendingin pada temperatur rendah θ_C, sehingga mendinginkan bahan dari tendon dingin

3⟶4 : pemampatan uap secara adiabat ke temperatur lebih tinggi dari pada temperatur pengembun θ_H

4⟶1 : pedinginan secara isobar dengan pengembunan pada θ_H

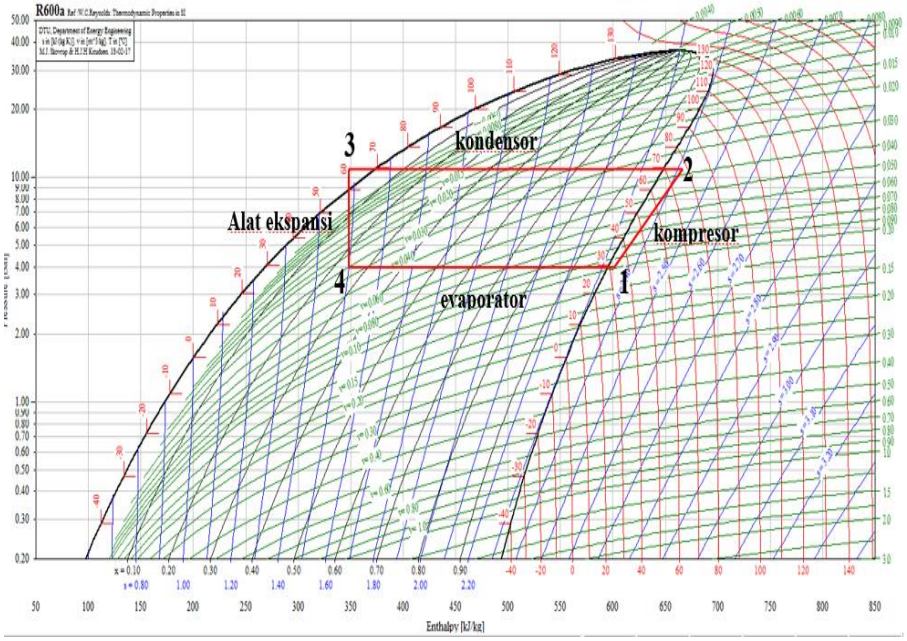
2.2 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Sistem refrigerasi siklus kompresi uap merupakan jenis mesin refrigerasi yang paling banyak digunakan saat ini. Siklus kompresi uap mampu menyerap kalor pada ruangan atau beban melalui alat yang disebut evaporator dan membuang kalor ke atmosfer melalui alat penukar panas (*heat exchanger*) yang disebut kondensor melalui fluida yang disebut refrigeran. Mesin refrigerasi siklus kompresi uap terdiri dari empat komponen utama dan mempunyai komponen mekanik pendukung seperti halnya *strainer, solenoid valve*, dll, namun dalam hal ini lebih fokus membahas keempat komponen utama dari sistem refrigerasi siklus kompresi uap. Adapun ke empat komponen yang dimaksud adalah sebagai berikut: kompresor, kondensor, alat ekspansi dan evaporator. Adapun skematik kerja dari keempat komponen itu digambarkan pada Gambar 2.1 dibawah:



Gambar 2.2 Skematik kerja sistem Siklus Kompresi Uap
Sumber: dokumen pribadi

Proses sistem skematik kerja refrigerasi sistem siklus kompresi uap pada Gambar 2.1 di atas dapat digambarkan pada diagram *pressure-enthalpy* (P-h diagram), seperti Gambar 2.2 di bawah ini:



Gambar 2.3 Diagram Ph
Sumber: CoolPack, 1998

Adapun cara kerja siklus kompresi uap adalah sebagai berikut:

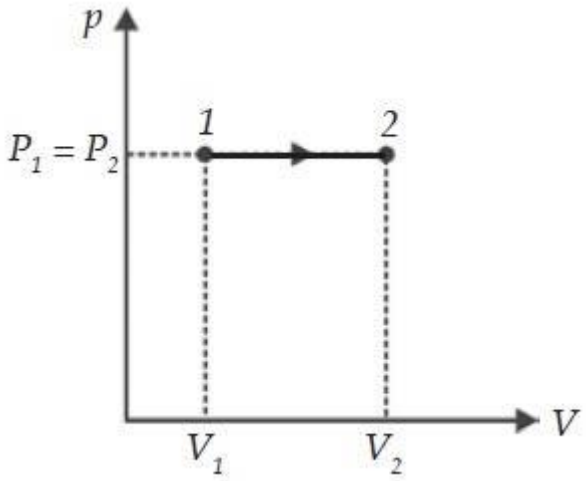
a. Proses 1-2

Refrigeran meninggalkan evaporator dalam fase uap jenuh dengan temperatur dan tekanan rendah, kemudian oleh masuk ke kompresor melalui *suction line*, dikompresikan di dalam silinder kompresor sehingga temperatur dan tekanan uap refrigeran yang keluar dari kompresor melalui *discharge line* mengalami kenaikan. Proses ini terjadi dalam kompresor diasumsikan sebagai proses isentropik.

b. Proses 2-3

Setelah mengalami proses kompresi, refrigeran berada pada fase uap panas dengan tekanan dan temperatur tinggi. Untuk mengubah wujud menjadi cair (kondensasi), kalor harus dilepaskan ke lingkungan melalui alat yang disebut dengan kondensor. Refrigeran mengalir melalui kondensor dan pada sisi lain dialirkan fluida pendingin (udara atau air) dengan temperatur lebih rendah dari temperatur refrigeran. Oleh karena itu kalor akan berpindah dari refrigeran ke fluida pendingin dan refrigeran akan mengalami perubahan fasa dari uap menjadi cair dengan temperatur dan tekanan tetap tinggi. Proses kondensasi terjadi pada

temperatur dan tekanan yang konstan atau secara termodinamika disebut dengan proses isobaris



Gambar 2.4 diagram proses isobaris
Sumber: http://fisikazone.com/proses-termodinamika/

c. Proses 3-4

Setelah mengalami proses kondensasi refrigeran berubah fase menjadi cair namun masih tetap dengan keadaan termperatur dan tekanan tinggi kemudian masuk ke alat ekspansi untuk diturunkan tekanannya sehingga fase refrigeran menjadi fase campuran gas dan cair dan proses ini terjadi dalam keadaan enthalpy konstan.

d. Proses 4-1

Refrigeran fase campuran antara cair dan uap dengan tekanan dan temperatur rendah masuk evaporator menyerap kalor dari ruangan atau media yang akan didinginkan. Dengan adanya penyerapan kalor ini maka diharapkan refrigeran sepenuhnya berubah fase menjadi uap panas lanjut setelah keluar dari evaporator.

2.3 Refrigeran

Refrigeran adalah zat yang digunakan sebagai fluida kerja dalam mesin sistem pendingin yang bekerja dalam proses penyerapan panas. Ada beberapa jenis refrigeran yang sudah dikembangkan mulai dari yang tidak mudah terbakar namun mempunyai nilai GWP (*Global Warming Potential)* dan ODP (*Ozon Depleting Potential*) yang tinggi dan sebaliknya ada yang mudah terbakar namun mempunyai

nilai GWP dan ODP yang rendah. Refrigeran merupakan fluida yang berfungsi untuk menyerap kalor pada lingkungan yang di kondisikan dengan proses evaporasi dan melepaskan kalor ke lignkungan luar dengan proses kondensasi. R123 adalah cairan sintetis dengan memiliki karakteristrik yang tidak mudah terbakar, mudah menguap yang digunakan sebagai zat pendingin dalam instalasi pendingin udara komersial dan industri. Potensi perusakan pada lapisan ozon hanya 2% dari CFC-11 (triklorofluorometana) yaitu sebesar 0,02 dan untuk potensi pemanasan global pada R123 yaitu 300 kali lipat selama 20 tahun dibandingkan dengan karbon dioksida yaitu GWP sebesar 77. Dengan demikian, HCFC-123 saat ini digunakan sebagai pengganti transisi untuk klorofluorokarbon dan bromofluorokarbon yang dihapus sesuai dengan Protokol Montreal 1987 tentang Zat yang merusak lapisan ozon.

Tabel 2.1 Tabel karakteristik R123

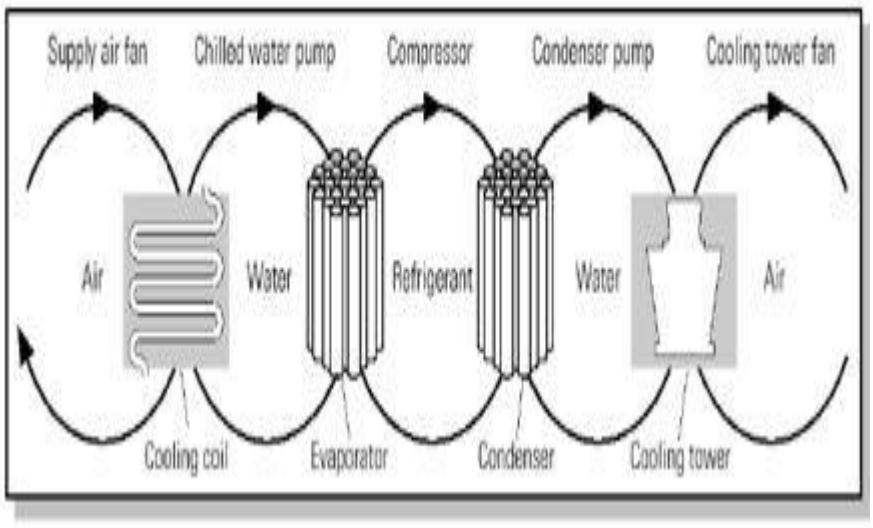
Characteristics	**Properties**
Chemical name	2,2-dichloro-1,1,1-trifluoroethane
Chemical formula	$CHCl_2CF_3$
Slope of saturation vapor line	Isentropic
Molecular weight	152.9 g/mol
Boiling temperature	27.8°C
Critical temperature and pressure	183.7°C, 36.68 bar
ODP[a]	0.02
GWP[b]	77
Hazard rating[c]:	
Health	2
Flammability	1
Reactivity	0

Sumber: Andri, J, P., Adi, S. (2013)

2.4 Prinsip Kerja *Chiller* Tipe *Water Cooled*

Chiller tipe *water cooled* merupakan jenis sistem refrigerasi dengan sistem *indirect system* atau sistem pendinginan secara tidak langsung. *Chiler* tipe *water cooled* menggunakan dua media refrigerant pendigin yaitu refrigerant primer (R123) dan refigeran sekunder (Air). Pada sistem ini pada sisi evaporator dan kondensor terjadi perpindahan panas antara refrigerant primer dengan refrigerant sekunder. Kemudian pada sisi evaporator air yang sudah di ambil kalornya

distribusikan ke FCU ataupun AHU untuk di hembuskan ke ruangan, dan begitu juga sebaliknya pada sisi kondesor air yang sudah mengambil kalor dari refrigerant primer didistribusikan ke cooling tower untuk di lepaskan kalornya ke ruangan luar/terbuka. Berikut adalah skema diagram sistem *chiller* tipe *water cooled*



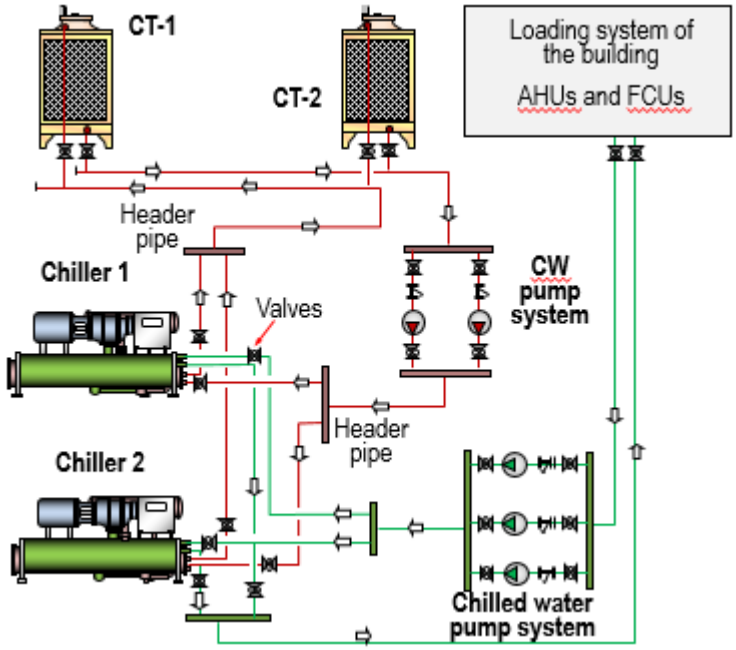
Gambar 2.5 prinsip kerja *chiller* tipe *water cooled*
Sumber: https://www.researchgate.net

Chiller tipe *water cooled* adalah sistem pendinginan ruangan yang dikontrol dari satu titik atau tempat dan didistribusikan secara terpusat ke seluruh isi gedung dengan kapasitas yang sesuai dengan ukuran ruangan dan didistribusikan dengan menggunakan saluran udara (*ducting*). AC jenis ini banyak digunakan di gedung-gedung besar seperti pusat perbelanjaan, perkantoran, hotel, restoran, serta rumah sakit.

Chiller tipe *water cooled* memiliki beberapa komponen utama yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi, evaporator, *Air Handling Unit (AHU)*, *Fan Coil Unit* (FCU), *Cooling Tower*, pompa sirkulasi, sistem pemipaan, sistem saluran udara atau *ducting* dan sistem kontrol kelistrikan.

Chiller tipe *water cooled* merupakan AC dengan pendingin tidak langsung. Dimaksudkan demikian karena refrigeran sebagai media pendinginan di dalam sistem refrigerasi digunakan untuk mendinginkan air menjadi *chilled water*. Kemudian *chilled water* ini disirkulasikan oleh pompa sirkulasi air dingin (*chilled water pump*) ke FCU atau AHU. Pada alat ini nantinya ruangan

didinginkan oleh air tersebut. FCU digunakan untuk mendinginkan udara ruangan yang berukuran kecil sedangkan untuk ruangan yang besar digunakan AHU, dimana udara dingin di AHU disalurkan ke ruangan yang akan dikondisikan melalui saluran udara. Dan pada sistem kondensor, panas yang dihasilkan kondensor akan diserap oleh air dan panas yang dibawa oleh air tersebut selanjutnya akan dibuang dengan bantuan *cooling tower*.



Gambar 2.6 Skema kerja *chiller* tipe *water cooled*
Sumber: Suamir, I, N. (2016)

2.5 Komponen *Chiller* Tipe *Water Cooled*

Chiller tipe *water cooled* memiliki beberapa komponen utama dan pendukung sebagai berikut:

1. Kompresor

Kompresor adalah salah satu komponen mekanik yang sangat berperan penting atau 12awa dibilang sebagai jantung kerja dalam sistem refrigerasi siklus kompresi uap. Adapun fungsi dari kompresor adalah untuk mengkompresikan atau memanpatkan 12awasan1212ro fase uap bertekanan dan bertemperatur rendah keluaran dari evaporator yang masuk ke kompesor melalui *suction line* dan keluar

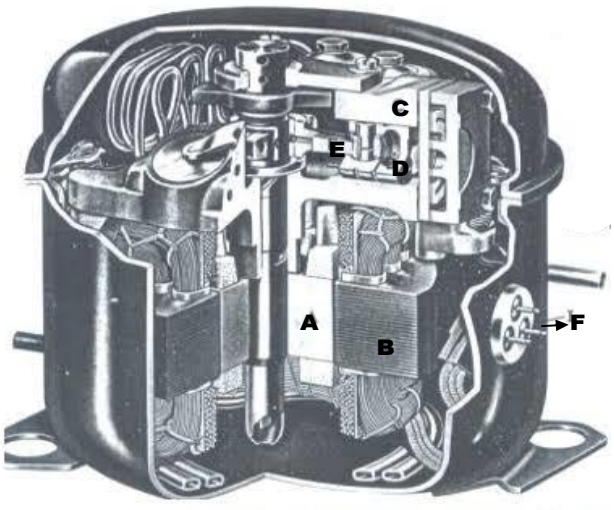
kompresor pada sisi *discharge line* menjadi uap bertekanan dan bertemperatur tinggi. Menurut jenisnya kompresor dapat dibedakan dengan 5 jenis, yaitu:

a. Kompresor torak (*Reciprocating*)
b. Kompresor putar (*rotary*)
c. Kompresor helixs (*screw*)
d. Kompresor *sentrifugal*
e. Kompresor *scroll*

Selanjutnya kompresor dibedakan berdasarkan pengaturan motornya, yaitu:

a. Kompresor hermetik

Pada kompresor jenis hermetik, kontsruksinya hampir sama dengan kompresor semi hermetik. Perbedaannya hanya terletak pada cara penyambungan rumah kompresor dengan stator motor penggeraknya. Pada kompresor hermetik dipergunakan sambungan las sehingga rapat udara. Rumah kompresor dibuat dari baja dengan pengerjaan las, sehingga baik kompresor maupun motor listrik tidak dapat diperiksa tanpa memotong rumah kompresor.



Gambar 2.7 kompresor hermetik
Sumber: http://linasundaritermodinamika.blogspot.com

Dimana:

A = Rotor

B = Stator

C = Silinder

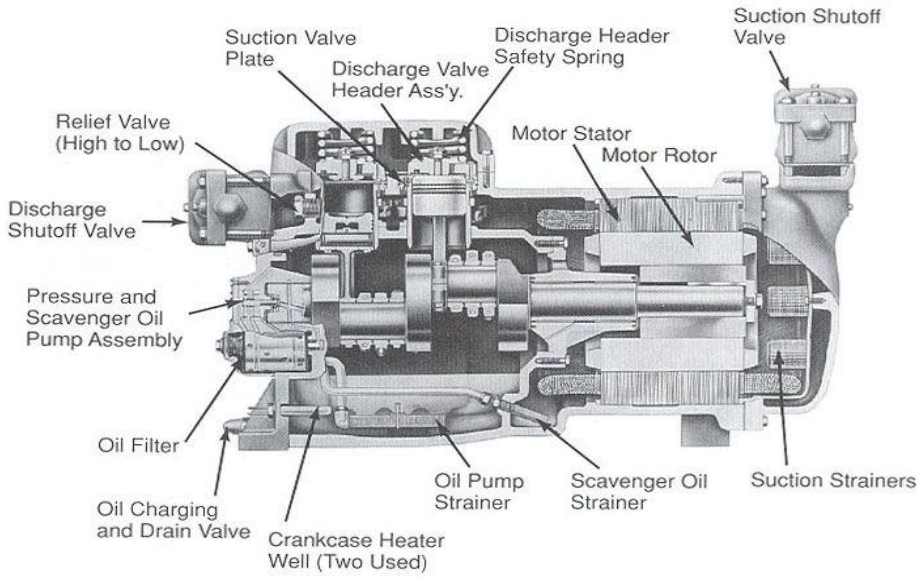
D = Torak

E = Batang torak

F = Terimal *Common, Starting, Running*

b. Semi hermetik

Pada kompresor jenis semi hermetik, antara motor penggerak dan kompresornya dibuat menjadi satu. Jadi rotor motor listrik tersebut berada di dalam perpanjangan ruang engkol dari kompresor. Dengan cara demikian tidak diperlukan penyekat poros, sehingga dapat dicegah terjadinya kebocoran gas refrigeran. Di samping itu, konstruksinya menjadi lebih kompak dan bunyi mesin menjadi lebih halus. Rumah kompresor terbuat dari besi tuang, bagian penutup dan penyambungnya masih dapat dibuka, sehingga apabila terjadi kerusakan pada salah satu komponennya dapat dengan mudah diperbaiki.



Gambar 2.8 kompresor semi hermetik
Sumber: https://id.pinterest.com/pin/260927372137307167/?nic=1

Pada *chiller* tipe *water cooled* yang diinvestigasi menggunakan kompresor sentrifugal, Kompresor sentrifugal adalah kompresor dengan prinsip kerja mengkonversikan energi kecepatan gas/udara yang dibangkitkan oleh aksi/gerakan

impeller yang berputar dari energi mekanik unit penggerak menjadi energi potensial (tekanan) di dalam diffuser.

2. Kondensor

Kondensor adalah tempat berubahnya fase refrigeran dari gas bertekanan dan bertemperatur tinggi menjadi cair bertemperatur tinggi dengan cara melepas kalornya. Proses pelepasan panas pada kondensor dibantu dengan dua yaitu dengan media bantu hembusan dari fan yang disebut dengan *Air cooled condenser* dan dengan cara media bantu air yang disebut dengan *Water cooled condenser*. Penggunaan kondensor pada AC central yang diinvestigasi ini adalah jenis *water cooled condenser* dengan tipe *shell and tube*, prinsip kerja kondensor dengan jenis *shell and tube* ini adalah fluida yang satu mengalir dalam pipa-pipa (*tube*), sedangkan fluida yang lagi satu dialirkan pada selongsong (*shell*) melintasi luar *tube*. Kebanyakan jenis penukar kalor ini menggunakan lebih dari satu lintas pipa-pipa dan fluida yang mengalir di luar pipa-pipa yaitu pada selongsong (*shell*) diarahkan bolak balik dengan sekat-sekat. Kemampuan fluida pendingin untuk menerima kalor dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu: koefisien perpindahan kalor keseluruhan, luar perpindahan kalor, dan selisih temperatur. Hubungan antara besaran ini adalah:

$Q = U.A.\Delta T$

Dimana:

U = koefisien perpindahan kalor keseluruhan

A = luas perpindahan kalor

ΔT = selisih temperatur

Besarnya koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) adalah merupakan kebalikan dari tahanan termal keseluruhan. Tahanan kereluruhan terhadap perpindahan kalor itu adalah jumlah semua tahanan pada alat penukar kalor, yaitu tahanan konveksi fluida panas, konveksi lapisan atau kotoran pada sebelah fluida panas, tahanan konduksi karena tebal pipa (*tube*). Tahanan panas pada lapisan kotoran disebalah fluida dingin serta tahanan dari fluida itu sendiri. Hubungan antara besaran ini adalah sebagai berikut:

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{od}} + \frac{d_o in(d_o + d_i)}{2K_w} + \frac{d_o}{d_i} x \frac{1}{h_{id}} + \frac{d_o}{d_i} x \frac{1}{h_i}$$

Dimana:

U_o = koefisien perpindahan panas berdasarkan seluruh tube

h_o = koefisien perpindahan panas pada lapisan film bagian luar

h_{od} = koefisien perpindahan panas kotoran pada luar tube (*fouling factor*)

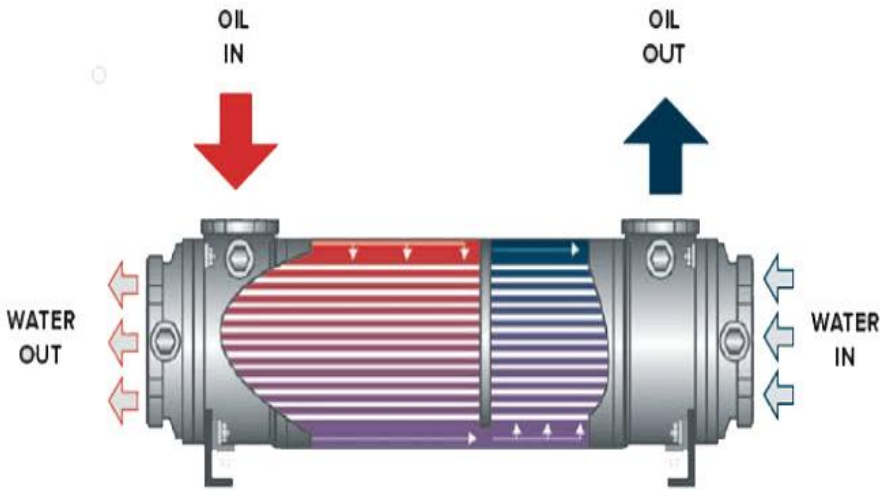
h_{id} = koefisien perpindahan panas kotoran pada bagian dalam

h_1 = koefisien perpindahan panas film pada bagian dalam tube

d_o = diameter luar tube

d_i = diameter dalam tube

kondensor jenis *shell and tube* dapat dilihat pada gambar di bawah:

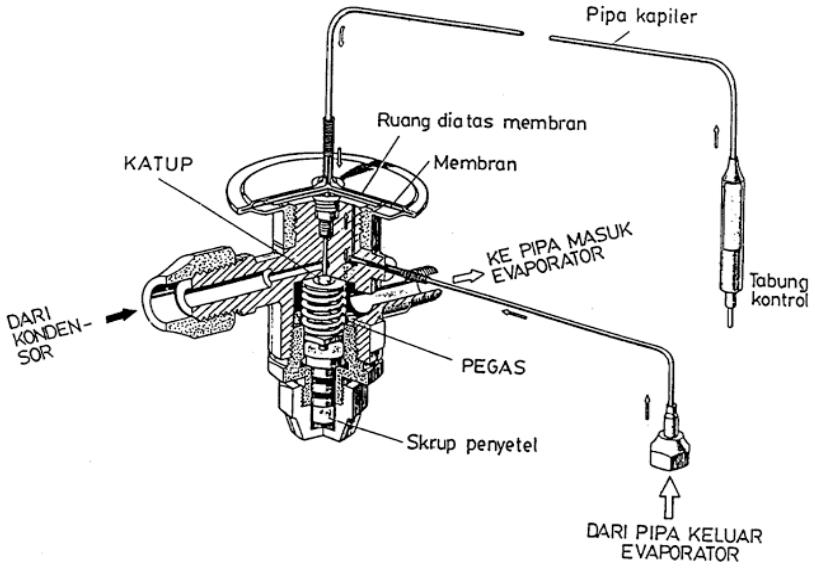


Gambar 2.9 kondensor *shell and tube*
Sumber: www.kelvion.com/products/product/shell-tube-single-comfin/

3. Alat ekspansi

Alat ekspansi adalah alat yang berfungsi khusus untuk menurunkan tekanan refigeran dan mengatur laju aliran refrigeran ke evaporator. Dalam hal ini karena tekanan dan temperatur berbanding lurus maka fase refrigran yang keluar dari alat ekspansi adalah campuran gas dengan cair bertekanan dan bertemperatur rendah. Alat ekspansi dalam hal ini ada 2 tipe yaitu katup ekspansi dan pipa kapiler. Alat Ekspansi yang digunakan pada *chiller* yang diinvestigasi adalah tipe *inlear floadchamber* yang dimana sistem ekspansi ini menggunakan bandul sebagai pengontrol

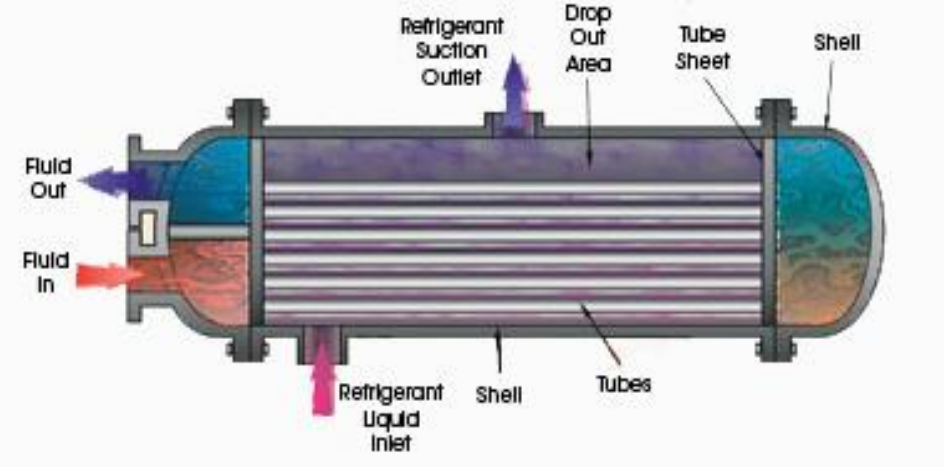
aliran refrigeran ke dalam evaporator. Pada dasarnya alat ekspansi ini adalah alat ekspansi yang terdapat sebuah bandul dan sebuah penampung refrigeran cair, jadi refrigeran cair keluar kondensor akan ditampung terlebih dahulu di dalam alat ekspansi, ketika refrigeran tersebut penuh maka bandul tersebut akan otomatis menutup keran dan refrigeran yg berada di penampungan akan sedikit demi sedikit mengalir ke keluaran alat ekspansi yang diameter nya kecil, karena diameter alat ekspansi tersebut kecil maka refrigeran tersebut akan mengalami penurunan tekanan dan di ikut dengan proses penguapan.



Gambar 2.10 Alat ekspansi
Sumber: http://sekawan-servis-pendingin.blogspot.com

4. *Cooled water* evaporator

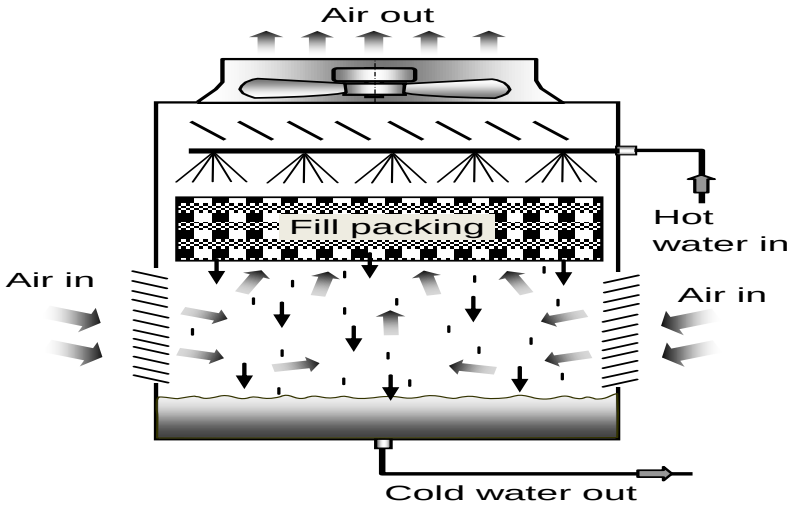
Cooled water Evaporator adalah tempat berubah fase refrigeran cair ke gas dengan cara menyerap panas dari air yang melalui evaporator setelah panas air diserap kemudian air akan didistribusikan ke AHU atau FCU. Konstruksi evaporator jenis *cooled water* adalah *shell and tube*, sama seperti *shell and tube* kondensor, *shell and tube* evaporator memiliki konstruksi pipa air dingin di dalam sebuah *shell* atau selongsong, jadi refrigeran akan mengalir di dalam *shell* dan akan mendinginkan air yang bersirkulasi di dalam pipa, dan selanjutnya air dingin tersebut akan didistribusikan ke AHU & FCU.



Gambar 2.11 evaporator *shell and tube*
Sumber: http://www.acr-news.com/masterclass-shell-tube-evaporators-part-15

5. Cooling tower

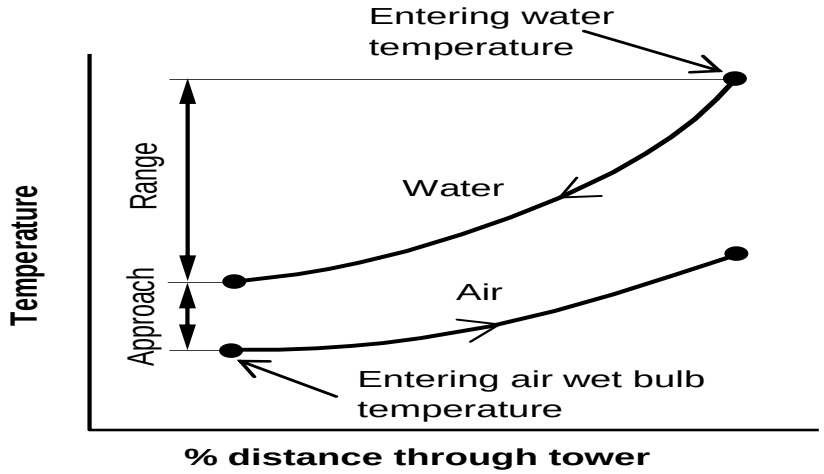
Cooling tower adalah mesin yang berfungsi untuk mendinginkan air yang dipakai pendinginan kondensor *Chiller* dengan cara melewati air panas pada fill didalam *cooling tower* dan dibantu dengan kipas yang dihembuskan ke air agar temperatur air turun. Atau prinsip kerja *cooling tower* bisa dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.12 *Cooling tower*
Sumber: http://dunia-engineer.blogspot.com

Variasi temperatur dalam *cooling tower* berhubungan dengan jauhnya panjang pipa melalui *cooling tower*. Ketika temperatur air masuk *cooling tower*

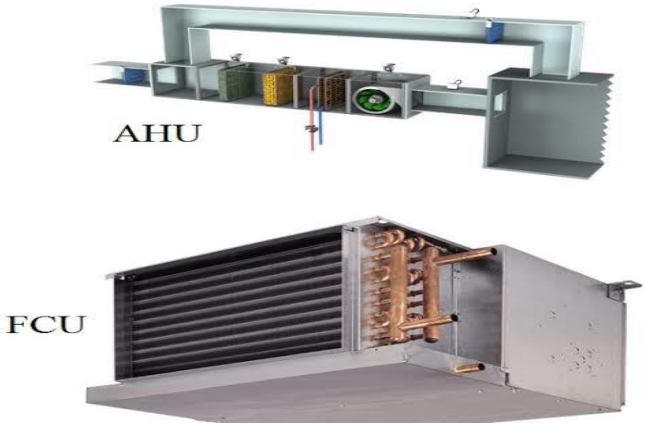
maka perpindahan panas akan terjadi antara air dengan udara. Dapat dilihat pada gambar grafik dibawah pada garis temperatur untuk air dan udara tidak berbanding lurus, maka selisih temperatur pada fluida air dan udara disebut temperatur *approach*



Gambar 2.13 variasi temperatur *cooling tower*
Sumber: https://www.controlglobal.com

6. *Air Handling Unit* (AHU) dan *Fan Coil Unit* (FCU)

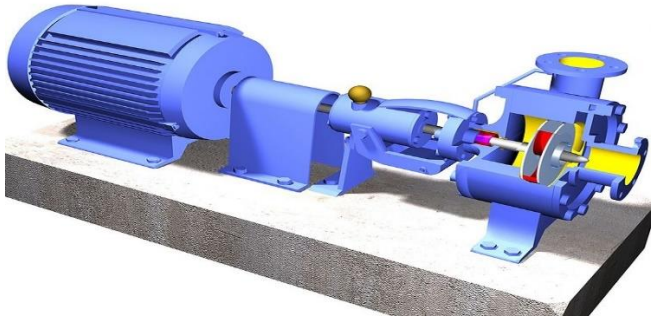
Prinsip kerja dari AHU dan FCU bisa dikatakan sama yaitu alat yang digunakan untuk mendinginkan ruangan. Unit ini menggunakan air sebagai media penukar kalor dan dipakai pada beban pendinginan yang besar. Air dingin diproduksi oleh mesin *chiller*. Pada AHU udara ruangan dihisap melalui saluran udara dan dicampur dengan udara luar pada ruang koil pendingin, kemudian udara didistribusikan ke ruangan melalui saluran udara. Namun pengaplikasiannya saja yang berbeda, AHU adalah coil pendingin dengan kapasitas sekala besar sedangkan FCU dengan sekala kecil



Gambar 2.14 AHU dan FCU
Sumber: https://3almhandasa.blogspot.com/2017/03/ahu-fcu.html

7. *Chilled Water Pump*

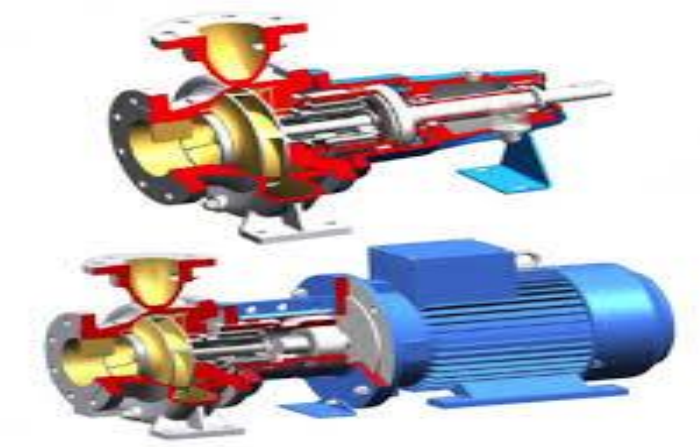
Chilled water pump adalah pompa yang digunakan untuk mensirkulasikan air yang telah didinganken oleh evaporator untuk kemudian didistribusikan ke AHU dan FCU untuk megkondisikan ruangan ruangan.



Gambar 2.15 Chilled water pump
Sumber: http://tekimku.blogspot.com/2011/08/pompa-sentrifugal.html

8. *Cooling Water Pump*

Cooling water pump adalah pompa air dimana pompa air tersebut berfungsi untuk mensirkulasikan air pendingin dari kondensor ke *cooling tower*. Hal itu bertujuan agar air yang telah menyerap panas di kondensor dapat disirkulasikan ke *cooling tower* untuk didinginkan, dan nantinya air yang telah didinginkan disirkulasikan kembali menuju kondensor untuk mendinginkan kondensor.



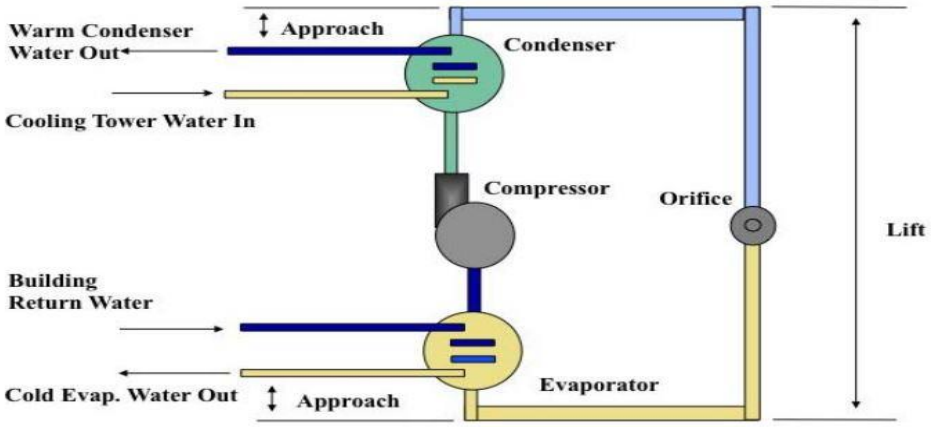
Gambar 2.16 ***Cooling water pump***
Sumber: http://www.ptarasains.co.id/product_59_Pompa-Sentrifugal

1.6 Analisa Operasional dari *Chiller* Tipe *Water Cooled*

Untuk mengetahui perfomansi operasional dari sistem *chiller* tipe *water cooled* dapat dilakukan dengan cara berikut:

1.6.1 Temperatur *approach*

Temperatur *approach* merupakan perbandingan temperatur antara fluida jenis refrigeran primer dengan refrigeran sekunder yang dipengaruhi oleh perpidahan panas pada alat penukar kalor baik itu kondensor maupun evaporator. Sistem *chiller* dengan tipe *water cooled* semakin kecil nilai refrigeran *approach* pada alat penukar kalor maka semakin bagus sistem itu bekerja.



Gambar 2.17 Temperatur *approach*
Sumber: http://www.kroff.com/Documents/Kroff_ChillMax_Training.pdf

a) Temperatur *approach* kondensor

Temperatur *approach* kondensor adalah selisih temperatur pada bagian refrigeran primer dan refrigeran sekunder yang menunjukan berapa temperatur yang berhasil diserap oleh air dari refrigeran untuk di buang panasnya. Untuk menentukan temperatur evaporasi yaitu dengan konversi tekanan pada sisi evaporator dengan digunakan *software mobile refrigerant slider*. Untuk temperatur pada evaporator dapat perhitungkan sebagai berikut:

$$Tapp = Tkondensasi - TLW$$

Dimana

T_{app} = Temperatur *approach* pada kondensor

$T_{kondensasi}$ = Temperatur kondensasi

TLW = Temperatur *Leaving Water*

b) Temperatur *approach* evaporator

Temperatur *approach* pada sisi evaporator adalah selisis temperature yang berhasil diserap oleh air dari refrigeran untuk didistribusikan ke AHU atau FCU. Dimana temperatur *approach* pada sisi evaporator dapat ditentukan dengan sebagai berikut :

$$Tapp = TLW - Tevaporasi$$

Dimana;

T_{app} = Temperatur *approach* pada evaporator

$T_{evaporasi}$ = Temperatur evaporasi

TLW = Temperatur *Leaving Water*

2.6.2 Kerja Kompresi (Wk)

Besarnya kerja kompresi (Wk) sama dengan selisih enthalpy uap refrigeran yang keluar kompresor dengan enthalpy uap refrigeran yang masuk ke kompresor, atau secara matematis dapat diuraikan sebagai berikut:

$$W_k = h_2 - h_1$$

Keterangan :

Wk = kerja kompresi

h_1 = enthalpy uap refrigeran pada sisi hisap kompresor (kj/kg)

h_2 = enthalpy uap refrigran pada sisi buang kompresor (kJ/kg)

2.6.3 Efek Refrigerasi (ER)

Efek Refrigerasi (ER) adalah kalor yang diterima oleh sistem dari lingkungan melalui evaporator per satu massa laju refrigeran. Efek refrigerasi merupakan parameter penting, karena merupakan efek yang berguna dan diinginkan dari suatu sistem mesin pendingin. Besarnya efek refrigerasi tersebut adalah:

$E_R = h_1 - h_4$

Keterangan :

E_R = efek refrigerasi

h_1 = enthalpi uap refrigeran yang keluar evaporator (kJ/kg)

h_4 = enthalpi uap refrigeran yang masuk evaporator (kJ/kg)

2.6.4 *Coefficient Of Perfomance* (COP)

Unjuk kerja atau yang lebih dikenal dengan COP (*coefficient of Performance*) menurut perbandingan antara kapasitas refrigerasi (KR) dengan adanya (Pk) yang dibutuhkan untuk menggerakkan kompresor. Untuk satu satuan massa 23awasan2323ro maka unjuk kerja dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara efek refrigerasi (ER) sistem dengan kerja kompresor (Wk) yang dibutuhkan untuk mengkompresikan 23awasan2323ro di kompresor. Unjuk kerja merupakan parameter yang sangat penting didalam sistem pendinginan, karena semakin besar harga unjuk kerja (COP) maka semakin baik kerja dari sistem pendinginan tersebut. Kalau efisiensi biasanya nilainya lebih kecil dari 1 sedangkan unjuk kerja (COP) biasanya lebih besar dari 1.

$$COP = \frac{E_R}{W_k}$$

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

Keterangan :

E_R = Efek refrigerasi

W_K = Kerja kompresi

2.7 Efek Pemanasan Global

Perubahan iklim dunia merupakan tantangan yang paling serius yang dihadapi pada abad 21. Pemanasan Global (*Global Warming*) adalah peristiwa meningkatnya suhu rata-rata pada lapisan atmosfer dan permukaan bumi. Pemanasan global dapat terjadi karena adanya efek rumah kaca yang dapat mengakibatkan meningkatnya suhu yang diakibatkan oleh methane (CH4), dinitrogen oksida (N2O), chlorofluorocarbon (CFC), hydrochlorofluorocarbon (HCFC), hydrofluorocarbon (HFC) maupun karbon dioksida (CO_2). Meningkatnya suhu ini akan dapat mengakibatkan adanya perubahan iklim yang sangat ekstrim. Khususnya emisi CO_2 berasal dari beberapa sumber dilihat dari beberapa sektor, yaitu sektor energi: pemanfaatan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara dan gas secara berlebihan dalam berbagai kegiatan merupakan penyebab utama dilepaskannya emisi CO_2 ke atmosfer. Dan penggunaan alat-alat elektronik seperti AC, TV, komputer, penggunaan kendaraan bermotor dan kegiatan industri merupakan contoh kegiatan manusia yang meningkatkan emisi CO_2 di atmosfer. Salah efek pemanasan global beracuan pada emisi CO_2 yang disebabkan karena penggunaan energi listrik dari *chiller*.

2.7.1 Emisi CO2

Emisi CO_2 adalah buangan atau hasil dari gas – gas yang dikeluarkan dari hasil pembakaran atau penggunaan energi yang mengandung karbon. Karbon dioksida (CO_2) diserap oleh tumbuh-tumbuhan yang dengan bantuan sinar matahari diubah menjadi karbohidrat yang berupa gula, pati, serat dan keju. Benda-benda yang dihasilkan itu digunakan untuk makanan, pakaian, perumahan dan bahan bakar bagi manusia. Di daerah pedalaman yang berpenduduk tidak padat, kegiatan industry belum banyak dan pohon-pohon hijau masih menutupi sebagaian besar permukaan bumi, sehingga masih didapati keseimbangan antara pembuangan limbah dan kemampuan alam mengolahnya kembali. Dengan kata lain terdapat keseimbangan antara kegiatan manusia dan daya dukung lingkungan. Akan tetapi industry yang makin banyak, lalu lintas yang padat dan pohon-pohon makins sedikit. Keseimbangan disini terganggu sehingga terjadi pembungan limbah yang melebihi batas kemampuan alam untuuk mengolahnya kembali. Lingkungan yang

dikatakan tercemanr (pencemaran udara) disebabkan oleh terdapatnya zat kimia di dalam lingkungan di atas ambang batas yang ditentukan seperti halnya untuk CO_2 sebesar 315 ppm berarti kadar CO_2 di udara tidak boleh lebih dari 315 ppm, artinya tiap tiap udara tidak boleh mengandung lebih dari 315 mgCO_2 (Mohammad Ramlan, 2002). Pada suatu bangunan Emisi CO_2 yang dihasilkan beracuan pada energi listrik yang digunakan, dimana pada suatu sistem *chiller* tipe *water cooled* dengan kapasitas besar untuk energi listrik pasti sangat banyak digunakan dan dari hal itu penulis ingin mengetahui pengaruh performansi chiller tersebut terhadap emisi CO_2 dan upaya untuk menurunkannya. Selain itu emisi CO_2 juga dapat berpengaruh pada pemanasan global dimana semakin banyak CO_2 yang dihasilkan akan dapat berdampak buruk terhadap lingkungan diseluruh planet bumi ini. Maka dari itu harus diukur, dikontrol, dan dihitung adapun rumusnya yang sudah ditetapkan adalah sebagai berikut:

$$emisi\ CO2 = EC.\mathrm{EF}$$

Dimana;
EC = konsumsi energi
EF = faktor emisi jaringan ketenaga listrikan
Berdasarkan data yang sudah ditetapkan oleh Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS) pada buku pedoman teknis perhitungan baseline emisi gas rumah kaca sector berbasis energi, Untuk daerah pulau Bali, Jawa dan Madura memberikan sumbangsih faktor emisi jaringan ketenaga listrikan terhitung sebesar 0,725 kgCO_2/kWh