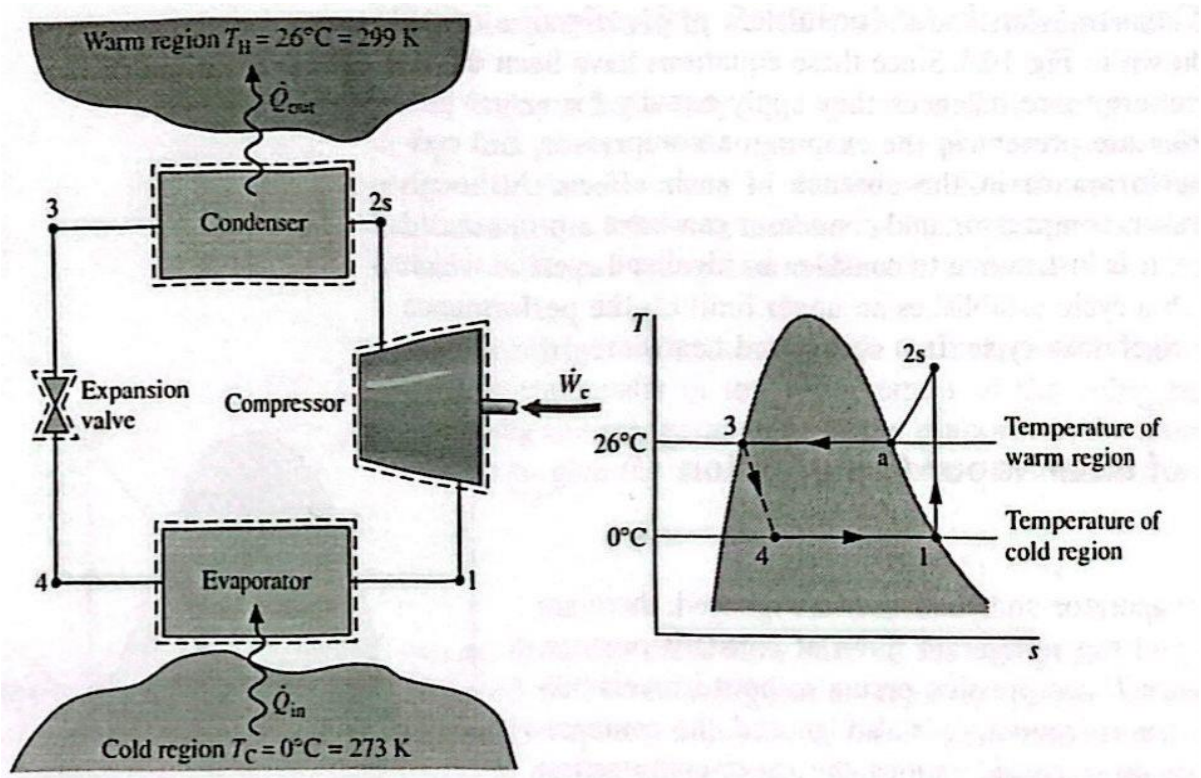
BAB II
DASAR TEORI

2.1. Siklus Carnot

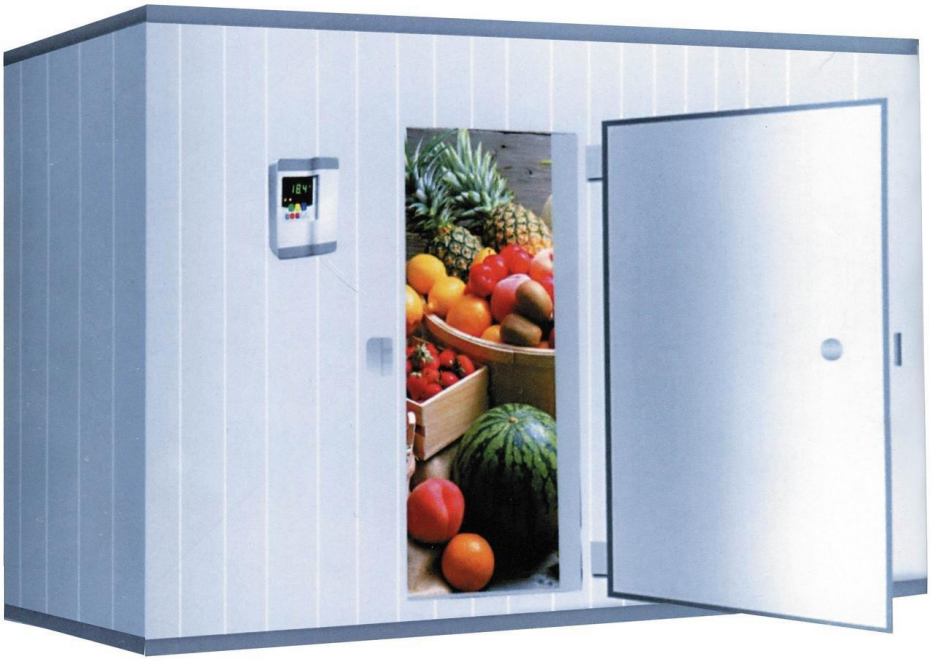
Siklus ini didapatkan dari membalik siklus uap carnot yang ditunjukkan di Gambar 2.1, menunjukkan diagram skematik dan diagram T–s yang menyertainya dari sistem siklus pendingin carnot yang terkoordinasi antara daerah pada suhu TC dan daerah lain pada temperatur yang lebih tinggi TH. Siklus tersebut digerakkan oleh *refrigerant* yang bersirkulasi secara stabil melalui serangkaian komponen. Semua proses dapat dibalik secara internal. Selain itu, karena pergerakan kalor antara *refrigerant* dan setiap daerah terjadi tanpa perbedaan suhu, tidak ada ketidak terbalikan eksternal. Perpindahan energi yang dtunjukkan pada diagram bersifat positif dalam arah yang ditunjukkan oleh anak panah. Mari kita ikuti *refrigerant* saat ia melalui setiap komponen dalam siklus tersebut, dimulai dari saluran masuk ke *evaporator*. *Refrigerant* memasuki *evaporator* sebagai campuran dua fase cair - uap pada keadaan 4. Di *evaporator*, sebagian *refrigerant* berubah wujud dari cair menjadi uap sebagai akibat pergerakan kalor dari wilayah pada suhu TC ke *refrigerant*. Suhu dan *pressure refrigerant* tetap stabil selama proses dari keadaan 4 menuju ke keadaan 1. *Refrigerant* kemudian ditekan secara adiabatik dari keadaan 1, di mana ia merupakan campuran dua fase cair-uap, ke keadaan 2, di mana ia merupakan uap jenuh. Selama proses ini, suhu *refrigerant* meningkat dari TC ke TH, dan *pressure* juga meningkat. *Refrigerant* melewati kompresor menuju ke *kondensor*, dimana ia berubah fase dari keadaan uap jenuh menjadi cairan jenuh sebagai akibat pergerakan kalor ke wilayah pada suhu TH. Suhu dan *pressure* tetap stabil dalam proses dari keadaan 2 ke keadaan 3. *Refrigerant* kembali ke keadaan tersebut di saluran masuk *evaporator* dengan mengembang secara adiabatik melalui turbin. Dalam proses ini, dari keadaan 3 ke keadaan 4, suhu menurun dari TH ke TC, dan terjadi penurunan tekanan. Karena siklus refrigerasi uap carnot terdiri dari proses yang bisa dibalikkan secara internal, wilayah pada diagram T–s dapat dimaksudkan sebagai pergerakan kalor. Pergerakan kalor bersih dari *refrigerant* sama dengan kerja bersih yang dilakukan pada *refrigerant*. Kerja bersih adalah selisih antara masuk kerja kompresor dan keluar kerja turbin. (Michael J. Moran 2006).



Gambar 2.1. Siklus carnot refrigrasi dan TS diagram

2.2. *Cold Storage*

Cold Storage adalah sebuah mesin atau alat pendinginan yang manyimpan benda - benda yang perlu melewati proses pendinginan. *Cold storage* sering dipakai pada kehidupan sehari - hari yang fungsinya untuk mengawetkan, mendinginkan dan mempertahankan mutu makanan seperti buah - buahan, daging dan sayuran, begitu juga dengan mendinginkan minuman. Contoh pemakaian unit *cold storage* di dunia industri biasanya dipakai untuk mempertahankan mutu bahan baku, juga bahan jadi dari suatu produk. Salah satu fungsi *cold storage* adalah untuk mengawetkan atau memperlama umur benda dengan proses penyimpanan pendinginan. (Rahmat 2015).



Gambar 2.3. Cold Storage

2.3. *Evaporator*

Fungsi *evaporator* yakni menyerap kalor dari udara dan benda - benda di dalam ruang pendingin untuk mendinginkannya. Panas kemudian dipindahkan ke ruangan yang tidak didinginkan melalui kondensor. Saat kompresor beroperasi menyedot *refrigerant* berbentuk gas keluar dari *evaporator*, tekanan di dalam evaporator berkurang dan tercipta ruang hampa. Fungsi *evaporator* berlawanan dengan fungsi *kondensor*. Artinya, ia melepaskan panas ke udara sekitar, namun juga menghilangkan panas dari udara sekitar. Desain *evaporator* harus memenuhi persyaratan berikut : Menguapkan zat pendingin secara efektif dengan penurunan tekanan minimal dan secara efisien menghilangkan panas dari bahan yang didinginkan. Desain *evaporator* bergantung pada penempatannya dan zat yang didinginkan secara langsung (gas, cair, atau padat). Pada semua kondisi beban, zat pendingin menguap saat mengalir sepanjang tabung atau permukaan *evaporator*. Anda perlu memastikan cairan menjaga semua bagian *evaporator* tetap basah. (Siagian 2017).

Refrigerant berubah dari fase cair ke gas dan menerima panas dari lingkungan pada tekanan konstan dan yang diterima *refrigerant* diberikan sebagai berikut :

$$qe = m(h_1 - h_3)$$

Rumus 1. Laju panas yang diterima evaporator

Dimana :

qe = laju panas yang diterima *evaporator* (kw)

m = laju aliran massa *refrigerant* (kg/s)

h_1 = Entalpi *refrigerant* keluar *evaporator* dan masuk kompresor (kJ/kg)

h_3= Entalpi *refrigerant* saat keluar *kondensor* dan masuk *evaporator* (kJ/kg)

Gambar 2.3. Evaporator

2.4. *Kondensor*

Kondensor berfungsi sebagai alat penukar kalor yang dapat mengubah uap panas menjadi cairan atau fluida dengan cara mengeluarkan panas yang diambil oleh *evaporator* ke lingkungan dalam bentuk cairan, oleh karena itu, biasanya *kondensor* ditempatkan di luar ruangan. Dalam *kondensor*, uap dengan suhu tinggi mengalir melalui permukaan *kondensor* dan melewati ruang kondensasi di mana uap tersebut dipendinginkan oleh aliran fluida ber suhu rendah di dalam sistem *kondensor*, sehingga uap yang panas dapat mengembun menjadi cair. (Yohana et al. 2019).

Refrigerant dalam *kondensor* didinginkan pada tekanan konstan. Panas yang dilepaskan ke lingkungan ditunjukkan dengan persamaan berikut :

$$qk = m(h_2 - h_3)$$

Rumus 2. Laju panas yang dilepaskan kondensor

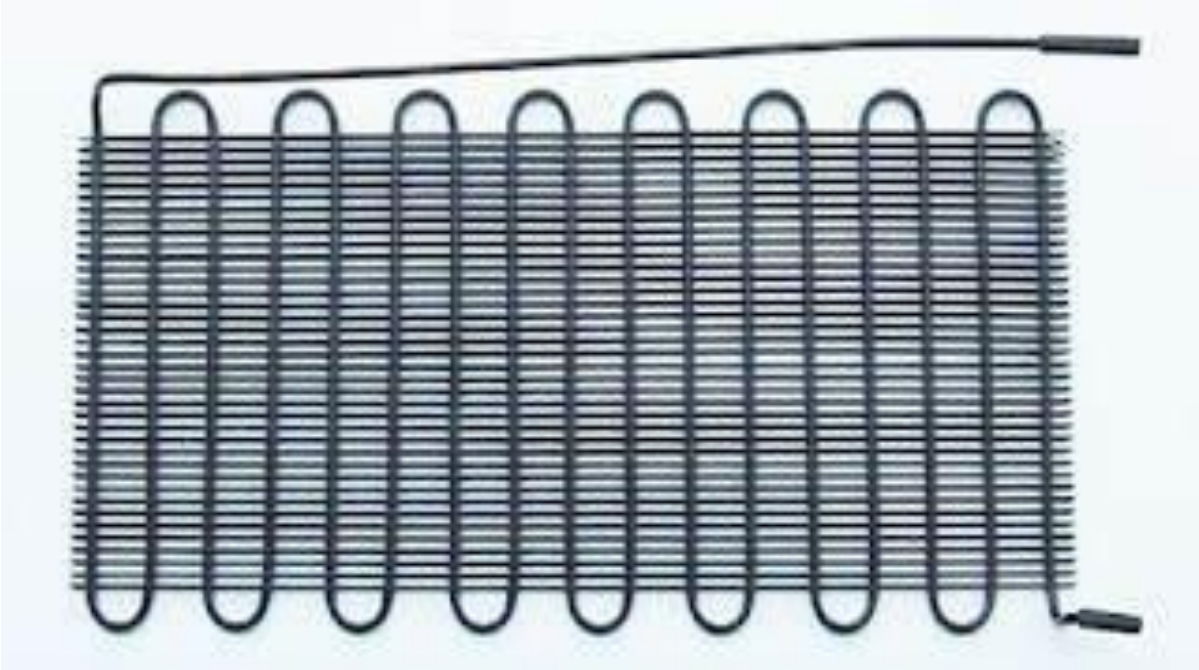
Dimana :

qk = laju panas yang dilepaskan*kondensor* (kw)

m = laju aliran massa *refrigerant* (kg/s)

h_2 = Entalpi *refrigerant* saat keluar kompresor dan masuk ke *kondensor* (kJ/kg)

h_3 = Entalpi *refrigerant* saat keluar dari kondensor dan masuk *evaporator* (kJ/kg)



Gambar 2.4. Kondensor

2.5. Kompresor

kompresor berfungsi sebagai alat pemompa bahan pendingin keseluruh sistem. Pada proses sistem refrigerasi kompresor berperan untuk membuat perbedaan tekanan, sehingga bahan pendingin dapat mengalir dari satu koponen ke komponen pendingin lainnya dalam sistem. Dikarena ada selisih tekanan antara sisi *pressure* tinggi dan sisi *pressure* rendah, maka bahan pendingin dapat mengalir melalui alat pengatur bahan pendingin ke *evaporator*. Kompresor pada sistem refrigerasi berperan sebagai : (Siagian 2017).

- Meredam pressure *refrigerant* di dalam *evaporator*, sehingga bahan pendingin atau *refrigerant* cair di dalam *evaporator* dapat berbuih atau menguap pada temperatur yang lebih rendah dan menyerap kalor lebih banyak dari ruang di dekat *evaporator*. (Siagian 2017).
- Menghirup bahan pendingin atau *refrigerant* keadaan wujud gas dari *evaporator* dengan temperatur rendah dan *pressure* rendah lalu memanpatkan gas tersebut sehingga berubah menjadi wujud gas dengan temperatur tinggi dan *pressure* tinggi. lalu disirkulasikan ke *kondensor,* sehingga gas tersebut dapat memberikan panasnya kepada zat yang mendinginkan *kondensor* lalu mengembun. (Siagian 2017).

Kerja yang dilakukan *refrigerant* selama kompresi dihitung berdasarkan perkalian perubahan entalpi dan laju aliran *refrigerant* :

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

Rumus 3. Laju kerja kompressor

Dimana :

W = kerja pada kompresor (kw)

m = laju aliran massa *refrigerant* (kg/s)

h_2 = Entalpi *refrigerant* saat keluar kompresor dan masuk ke *kondensor* (kJ/kg)

h_3 = Entalpi *refrigerant* saat keluar dari kondensor dan masuk ke *evaporator* (kJ/kg)

Gambar 2.5. Kompresor

2.6. *Filter*

Filter berfurngsi menyaring kotoran yang kemungkinan terbawa masuk ke sistem refrigrasi setelah proses sirkulasi. *Filter* terbuat dari pipa kapiler dengan diameter lubang dalam yang sangat kecil. Panjang pipa kapiler dan diameter lubang pipa kapiler yang sangat kecil dapat mengontrol jumlah bahan pendingin atau *refrigerant* yang mengalir ke *evaporator*. (Siagian 2017).

Gambar 2.6. Filter

2.7. Pipa Kapiler

Pipa kapiler didalam sistem pendinginan berperan menurunkan tekanan tinggi dari *refrigerant* yang dihasilkan dari kompresor sehingga tekanan *refrigerant* berubah menjadi turun, akibatnya suhu refrigeran juga menjadi rendah dan *refrigerant* berubah wujud menjadi cair. Setelah *refrigerant* berubah wujud menjadi cair, pipa kapiler meneruskan *refrigerant* mengalir menuju pipa *evaporator*. (Ferdynanda, Ratna, and Siregar 2018).

Gambar 2.7. Pipa kapiler

2.8. *Refrigerant*

Fluida yang digunakan adalah *refrigerant* R134a. *Refrigerant* R134a memiliki sifat lebih ramah terhadap lingkungan, oleh karena itu *refrigerant* R134a dipakai sebagai fluida pendinginan pada perancangan *cold storage* ini. Proses awalnya dimulai dengan kompresi, di mana *refrigerant* dalam wujud gas ditekan oleh kompresor menjadi gas bertekanan tinggi. lalu, *refrigerant* dengan tekanan tinggi ini mengalir masuk ke dalam *kondensor*, dimana *refrigerant* akan kehilangan panas dan berubah wujud menjadi cairan. Setelah *refrigerant* berubah wujud menjadi cairan, selanjutnya akan mengalir masuk ke katup ekspansi. Pada tahap ini, *refrigerant* mengalami perluasan tiba - tiba yang mengakibatkan penurunan tekanan dan temperatur. *Refrigerant* yang sudah mengalami peruasan ini lalu masuk ke *evaporator.* Di dalam *evaporator, refrigerant* menyerap kalor dari ruang pendingin atau objek yang akan didinginkan. Proses ini merubah *refrigerant* kembali menjadi wujud gas yang dingin. Wujud gas *refrigerant* yang bersuhu dingin ini kemudian kembali ke kompresor, dan siklus pendinginan seterusnya berulang kembali. (Willis 2011).

Gambar 2.8. Refrigerant R134a

2.9. *Coefficient of Performance* (COP)

Coefficient of Performance (COP) atau Koefisien kerja dari setiap siklus refrigrasi adalah rasio dampak pendinginan terhadap masukan kerja bersih yang diperlukan untuk mencapai dampak tersebut. (Michael J. Moran 2006).

$$COP = \frac{T_c}{T_h - T_c}$$

Rumus 4. Coefficient of performance (COP)

Dimana :

T_c = *Temperature cold*

T_h = *Temperature heat*

Sebelum dihitung, *temperature* yang awalnya celcius harus dikonversi ke Kelvin terlebih dahulu.

2.10. Entalpi

Entalpi adalah suatu energi yang dimuat oleh suatu material sesuai dengan temperatur dan massa material tersebut. Pada setiap proses refrigerasi yang kita amati adalah pergantian entalpinya. Pergantian entalpi adalah banyak kalor yang yang diberikan atau diambil dalam tiap satuan massa melalui proses *pressure* tetap. (Ridhuan and Juniawan 2014).

2.11. Entropi

Entropi merupakan konsep terodinaika yang mengukur tingkat ketidak beraturan atau kompleksitas suatu sistem terodinamika. entropi menunjukkan besar energi dalam suatu sistem yang tidak dapat digunakan untuk melakukan kerja. Entropi selalu meningkat dalam suatu sistem tertutup, yaitu sistem yang tidak dapat bertukar energi atau materi dengan lingkungannya. (Michael J. Moran 2006)

2.12. Efisiensi Termal

Efisiensi termal adalah suatu massa atau volume tanpa dimensi yang menunjukan performa peralatan termal seperti mesin pembakaran *internal* dan sebagainya. kalor yang masuk adalah energi yang didapatkan dari sumber energi. Keluaran yang diinginkan dapat berupa kalor atau kerja, untuk rumus perhitungan efisiensi termal yang dipakai pada penelitian ini, dapat dinyatakan dengan persamaan berikut: (Septiana 2019).

$$\eta = \frac{(h_3 - h_2) - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2}$$

Rumus 5. Efisiensi thermal

Dimana:

η = nilai efisiensi

h_1 = Entalpi *refrigerant* keluar dari *evaporator* dan masuk ke kompresor (kJ/kg)

h_2 = Entalpi *refrigerant* saat keluar dari kompresor dan masuk ke *kondensor* (kJ/kg)

h_3 = Entalpi *refrigerant* saat keluar dari *kondensor* dan masuk ke *evaporator* (kJ/kg)

2.13. Beban Pendinginan

Beban pendinginan adalah julah dari beban kalor yang memasuki ruang pendinginan dan berasal dari berbagai sumber. Beban kalor terdiri dari dua komponen yaitu kalor sensibel yang terjadi jika kalor memasuki ruang dan menyebabkan suhu ruangan menjadi naik, dan beban kalor laten yang terjadi jika uap air memasuki ruang pendingin dan kelembaban nisbi ruangan menjadi naik. Perhitungan beban pendinginan yang dipakai adalah beban pendinginan bahan. Tujuan utama dari perhitungan beban pendinginan adalah untuk memperhitungkan kapasitas mesin pendingin yang dibutuhkan untuk bisa mempertahankan kinerja optimal yang diinginkan dalam ruang pendingin. Beban pendinginan produk adalah kalor yang dimiliki produk pada kondisi awal dimasukkan ke dalam *cold storage*. Jika sejumlah bahan memasuki ruangan dingin pada suhu lebih besar dari suhu ruangan tersebut, maka akan terjadi perlepasan kalor hingga suhu bahan selaras dengan suhu ruang. (Ferdynanda et al. 2018).

Rumus untuk menghitung beban pendinginan atau panas yang dikeluarkan dari suhu awal hingga didinginkan adalah sebagai berikut :

$$Q = M \,.\, c \,.\, \Delta T$$

Rumus 6. Laju panas beban pendinginan

$$\Delta T = (t_1 - t_2)$$

Rumus 7. Perubahan suhu benda

Dimana :

Q = panas yang dilepaskan (J/kg°C)

M = massa dari benda (kg)

c = panas jenis (J/kg°C)

ΔT = Perubahan dari suhu benda (°C)

t_1 = suhu awal benda (°C)

t_2 = suhu akhir benda (°C)