

BAB II

SISTEM REFRIGERASI

2.1 Prinsip Dasar Sistem Refrigerasi

Refrigerasi umumnya dikatakan sebagai proses pendinginan, dan lebih tepatnya yaitu sebagai produksi dan pemeliharaan tingkat suhu dari suatu bahan atau ruangan pada tingkat yang lebih rendah dari pada suhu lingkungan atau atmosfer sekitarnya dengan cara penyerapan atau pengambilan panas dari bahan atau ruangan tersebut. Secara singkat dapat dikatakan bahwa refrigerasi adalah usaha memindahkan panas dari suatu bahan atau ruangan, ke bahan atau ruangan lainnya. Refrigerasi merupakan terapan dari bidang perpindahan kalor dan termodinamika.

Ada banyak metode sistem refrigerasi yang telah dikembangkan dalam bidang industri. Metode terbanyak yang diterapkan dalam refrigerasi yaitu dengan refrigerasi sistem kompresi uap. Dalam sistem ini uap ditekan dan kemudian diembunkan menjadi cairan, lalu tekananya diturunkan agar cairan tersebut dapat menguap kembali, proses penguapan ini yang menghasilkan suatu perpindahan panas (cooling) dari substansi yang didinginkan. Daur kompresi uap disebut sebagai daur yang dioperasikan oleh kerja (work operated cycle) karena kenaikan tekanan refrigeran yang dilakukan oleh kompresor yang memerlukan kerja.

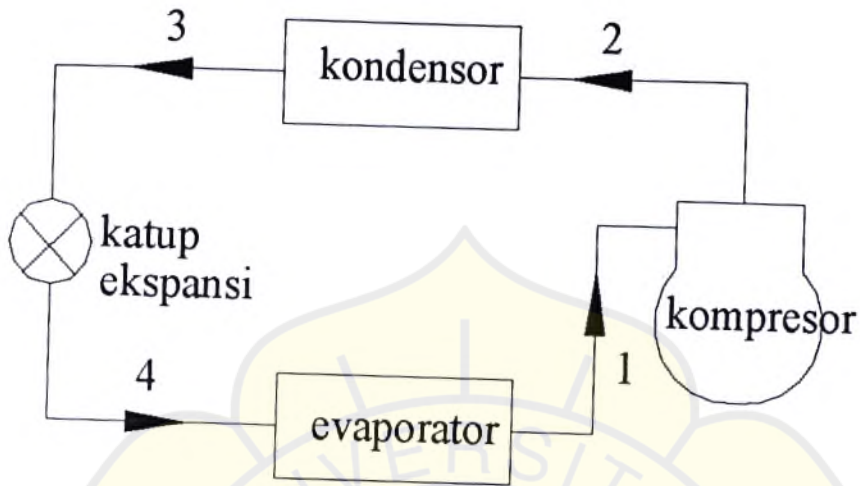
Metode lain dalam sistem refrigerasi, yaitu dengan sistem absorpsi. Dalam proses ini pertama-tama sistem absorpsi menyerap uap tekanan rendah ke dalam suatu zat cair penyerap (absorbing liquid) yang cocok.

Yang terkandung dalam proses absorpsi yaitu konversi (perubahan) dari uap menjadi cair, karena proses ini sama dengan kondensasi, maka selama proses berjalan, kalor dilepaskan. Tahap berikutnya yaitu menaikkan tekanan zat cair dengan pompa dan terakhir membebaskan uap dari zat cair penyerap dengan pemberian kalor. Daur ini disebut sebagai daur yang dioperasikan oleh kalor (heat operated cycle)

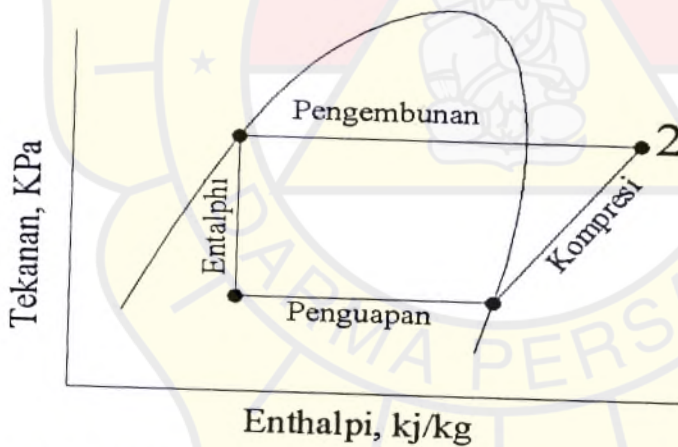
Sistem refrigerasi lain yang bisa diterapkan yaitu dengan metode thermoelectrik, steam jet, dan refrigerasi air cycle. Sistem – sistem ini digunakan hanya dalam aplikasi tertentu saja, thermoelectrik masih sangat mahal pengoperasiannya, sedangkan steam jet tidak efisien. Karena itu dalam naskah ini, refrigerasi yang dikembangkan dengan menggunakan sistem kompresi uap. Sebab memiliki kelebihan, kemudahan dalam pengoperasiannya dan biayanya lebih rendah dibanding lainnya

2.1.1 Proses Refrigerasi Sistem Kompresi Uap Standart

Dalam gambar diagram air dan digram tekanan – entalphi dari siklus kompresi uap di bawah ini, dapat diterangkan sebagai berikut :



Gambar 2.1. Diagram skematik peralatan daur kompresi uap



Gambar 2.2. Proses daur kompresi uap standart

- (a). Proses 1 – 2, merupakan proses kompresi adiabatik dan reversibel, disepanjang garis entropi konstan, proses ini dilakukan oleh kompresor, mulai dari tekanan uap jenuh hingga tekanan kompresor.
- (b). Proses 2 – 3, yaitu pelepasan kalor pada tekanan konstan, yang menyebabkan penurunan panas lanjut (*desuperheating*) dan

pengembunan gas refrigeran. Usaha pengeluaran panas dari uap jenuh refrigeran ini dilakukan secara pendinginan dengan tiupan udara (*air cooling*) atau air (*water cooling*) di dalam kondensor. Selanjutnya refrigeran cair ini ditampung dan dikumpulkan dalam suatu tangki penerima atau *receiver tank*.

- (c). Proses 3 – 4, merupakan ekspansi tidak reversibel pada entalpi konstan, dari cairan jenuh menuju tekanan evaporator. Proses pengaturan ini (*regulating metering*) berfungsi agar proses pengisapan dan pemampatan pada kompresor dapat mempertahankan suatu perbedaan suhu untuk kelancaran jalannya proses refrigerasi. Alat pengatur ini dapat berbentuk alat pengukur (*metering device*) pipa kapiler, katup ekspansi (*ekspansion valve*), katup solenoid atau lainnya.
- (d). Proses 4 – 1, refrigeran cair mengalami penambahan kalor reversibel pada tekanan tetap, yang menyebabkan penguapan menuju uap jenuh. Untuk menguapkan refrigeran memerlukan panas yang diserap dari sekitarnya, dari udara atau dari bahan yang ada disekelilingnya, bagian penguapan ini dilakukan oleh evaporator

2.2 Perlengkapan Utama Sistem Refrigerasi

Setiap komponen sistem kompresi uap misalnya kompresor, kondenser, alat ekspansi, evaporator, mempunyai karakteristik tersendiri. Pada waktu yang sama masing – masing komponen dipengaruhi oleh kondisi – kondisi yang disebabkan oleh anggota lain dari keempat alat tersebut.

Perubahan suhu air kondensor, dapat mengubah laju aliran refrigeran yang dipompakan oleh kompresor, sehingga katup ekspansi perlu diatur lagi, akibatnya tekanan pada evaporator berubah.

2.2.1. Kompresor

Kompresor merupakan jantung dari sistem kompresor uap. Empat jenis kompresor refrigerasi yang paling umum adalah kompresor torak (*reciprocoating compresor*), sekrup (*screw*), sentrifugal, dan sudu (*vane*). Kompresor torak terdiri atas sebuah piston yang bergerak ke depan dan ke belakang di dalam silinder yang mempunyai katup hisap dan katup buang (*suction valve dan discharge valve*) sehingga berlangsung proses pemompaan. Kompresor sekrup, sentrifugal dan sudu, semuanya menggunakan elemen – elemen yang berputar, kompresor sekrup dan sudu adalah mesin – mesin yang bergerak positif (*positive – displacement*), sedangkan kompresor sentrifugal bekerja dengan memanfaatkan gaya sentrifugal.

Daya yang dibutuhkan oleh kompresor adalah kerja kompresi perkilogram dikalikan dengan laju aliran refrigeran.

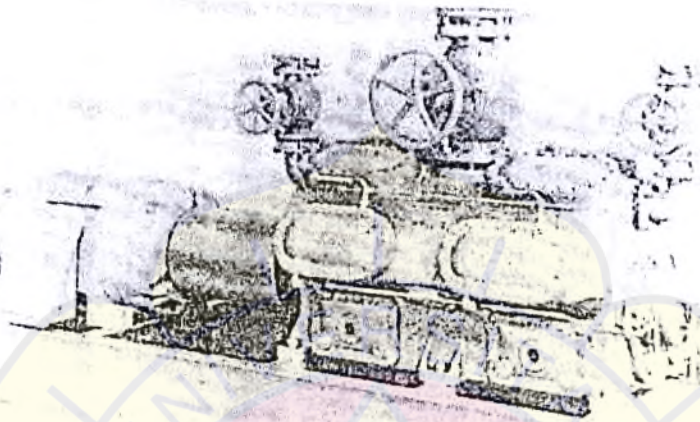
$$\text{Daya kompresor} = m \times (h_2 - h_1) \dots\dots\dots \text{ref. no.3.hal.121 (2 - 1)}$$

Dimana :

m = laju aliran refrigeran, kg/s

Kerja kompresi merupakan perubahan enthalpi pada proses 1–2, seperti ditunjukkan pada gambar 2–2. Grafik tekanan – entalpi diatas, yaitu $h_1 - h_2$.

Dibawah ini merupakan salah satu gambar kompresor torak yang sering digunakan.



Gambar 2.3. Kompresor jenis torak

2.2.2. Kondensor

Kondensor merupakan satu bagian penting dari sistem pendingin. Dalam kondenser panas dipindahkan dari refrigeran ke medium pendingin, air atau udara. Kondenser harus menghilangkan semua panas yang ditimbulkan oleh refrigeran dalam sistem refrigeran. Panas ini ditimbulkan dari evaporator (dari beban pendinginan) dan panas yang ditimbulkan dari proses kompresi gas refrigeran. Kondenser yang umum yang dipakai ada tiga tipe, (1) air-cooled, (2) water cooled, (3) evaporative condenser. Laju perpindahan kalor yang dibutuhkan dalam kondenser merupakan fungsi dari kapasitas refrigerasi, suhu penguapan dan suhu pengembunan.

Untuk kondensor berpendingin air, maka nilai U biasanya turun karena naiknya tahanan perpindahan kalor pada sisi air akibat terjadinya pengotoran oleh air. Kondensor baru tentunya memiliki harga U yang lebih tinggi, diberikan dengan menambah faktor pengotoran $1/h_{ff}$ ($m^2 \cdot K/W$). Untuk menentukan kalor pengembunan dapat ditentukan dengan persamaan:

$$Q_{cd} = Q_{rfg} - (Q_{cd} \times 860 \frac{860 \text{kcal/jam}}{\text{kW}}) \quad \text{ref.no.6. hal143 (2-2)}$$

dimana :

Q_{cd} = kalor pengembunan, kcal/hr

Q_{rfg} = kapasitas refrigerasi, kcal/hr

Q_{cp} = Daya kompresor, kW

Untuk menentukan jumlah air pendingin yang diperlukan untuk mengembunkan uap refrigeran yang keluar dari kompresor dapat ditentukan dengan persamaan dibawah ini :

$$m = \frac{Q_{cd}}{1 \frac{\text{kcal}}{\text{liter}^{\circ\text{C}}} \times [t_1 - t_2]} \quad \text{ref.no.6.hal.144 (2-3)}$$

dimana :

Q_{cd} = kalor pengembunan, kcal/hr

t_1 = Temperatur air keluar, °C

t_2 = Temperatur air masuk, °C

Perbedaan temperatur rata – rata antara refrigeran dan fluida pendingin (°C)

$$LMTD = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln(T_1 - t_2)/(T_2 - t_1)} \quad \text{ref.no.6.hal.145 (2-4)}$$

dimana :

T_1 = Temperatur refrigeran masuk, °C

T_2 = Temperatur refrigeran keluar, °C

Koefisien perpindahan kalor dinyatakan dalam kcal/m²jam°C, yaitu jumlah kalor yang dipindahkan melalui permukaan pipa seluas 1 m² selama 1 jam.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_r} + \frac{l_o}{\lambda_o} + \frac{1}{\lambda} + \frac{l_f}{\lambda_f} + \frac{1}{\alpha_w}} \dots \dots \dots \text{ref.no.6.hal.14 (2-5)}$$

dimana,

α_r = koefisien konduktivitas pada sisi refrigeran, kcal / m²jam°C

α_w = koefisien konduktivitas pada sisi air pendingin, kcal / m²jam°C

l, l_o, l_f = tebal dinding pipa, minyak pelumas dan tebal kotoran pada pipa, m

$\lambda, \lambda_o, \lambda_f$ = tebal dinding pipa, minyak pelumas dan tebal kotoran pada pipa, kcal / m.jam°C

Luas bidang pendingin yang diperlukan kondensor, untuk memenuhi kalor pengembunan yang dirancang, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$A = \frac{Q_{cd}}{K \times LMTD} \dots \dots \dots \text{ref.no.6.hal.144. (2-6)}$$

2.2.3. Alat Ekspansi

Alat Ekspansi mempunyai dua kegunaan yaitu menurunkan tekanan refrigeran cair dan mengatur aliran refrigeran ke evaporator. Alat ekspansi yang umum yang digunakan yaitu : pipa kapiler, katup ekspansi berpengendalian panas lanjut, katup apung dan katup ekspansi tekanan

konstan. Jenis alat ekspansi yang paling populer adalah katup ekspansi berkendali panas lanjut, yang biasa disebut katup ekspansi termostatik (thermostatic ekspansi valve).

Katup ekspansi panas lanjut mengatur laju aliran refrigeran cair yang besarnya sebanding dengan laju penguapan di dalam evaporator. Karenanya keseimbangan laju aliran antara kompresor dan katup ekspansi tersebut secara praktis dapat disamakan dengan keseimbangan pada katup apung.

Keadaan panas lanjut gas hisap menggerakkan katup ekspansi thermostatic sebagai berikut : sebuah bola perasa (bulb remote) diisi sebagian dengan cairan refrigeran yang sama dengan yang digunakan didalam sistem fluida didalam bola tersebut disebut fluida daya (power fluid). Bulb ini ditempelkan pada saluran keluar evaporator sehingga suhu bola dan fluida tersebut sangat dekat dengan suhu gas hisap (suction gas). Tekanan dari fluida ini memberi dorongan ke sisi atas diafragma, sedangkan tekanan evaporator menekan dari sisi bawah. Disamping itu, terdapat sebuah pegas (spring) pada tangkai katup yang memberikan sedikit gaya ke atas agar katup tetap tertutup hingga terbentuk tekanan lebih tinggi dari arah atas diafragma, yang mengatasi gaya pegas dan tekanan evaporator. Agar tekanan diatas diafragma lebih tinggi maka fluida daya harus bersuhu lebih tinggi dari suhu jenuh di dalam evaporator. Oleh karena itu gas hisap harus panas lanjut agar mendapat fluida daya di atas tekanan yang membuka katup.

2.2.4. Evaporator

Evaporator merupakan bagian dari sistem, dimana refrigeran cair mendidih dan mengubah jadi gas atau uap. Evaporator harus dapat menyediakan secara kontinyu dan efektif proses perpindahan panas dari medium yang didinginkan ke cairan refrigeran. Temperatur pendidihan refrigeran dalam evaporator harus selalu lebih rendah dari medium disekelilingnya supaya panas dapat mengalir ke refrigeran. Kapasitas dari unit pemindah panas atau evaporator ini dapat diperoleh dengan persamaan:

$$Q = K \times A \times (t_2 - t_1) \dots\dots\dots \text{ref.no.6.hal.155} \quad (2-7)$$

dimana,

- Q : besarnya perpindahan panas, kcal/hr
- K : koefisien perpindahan panas , kcal/m².hr.°C
- A : luas permukaan evaporator, m²
- t₂ : temperatur bagian luar evaporator, °C
- t₁ : temperatur evaporator bagian dalam, °C

Pada tugas akhir ini dipakai evaporator jenis ekspansi kering, dimana cairan refrigeran yang diekspansikan melalui katup ekspansi. Evaporator jenis ini tidak membutuhkan banyak refrigeran. Bentuk konstruksi evaporator berupa evaporator bentuk koil, yang mana lengkungan koil disesuaikan dengan bentuk cold storage.

Koefisien perpindahan panas (K) dengan kecepatan aliran air (m/dt) dapat dilihat dalam tabel 5.11 (diambil dari ref.no.6 hal 159).

Untuk menghitung luas permukaan pipa evaporator (A_{o_{ev}}), maka harus

dihitung dulu nilai LMTD yang dapat diperoleh seperti pada persamaan

(2-4)

$$A_{o_{ev}} = \left(\frac{Q_e}{K \times LMTD} \right)_{ev} \dots \dots \dots \text{ref.no.6.hal.155} \quad (2-8)$$

dimana,

Q_e = jumlah kalor yang diserap oleh evaporator, kcal/hr

K = koefisien perpindahan kalor evaporator, kcal / m²jam°C

Sehingga panjang pipa evaporator (L_{ev}) dapat dihitung apabila sudah ditentukan diameter luar pipa evaporator (OD_{ev})

$$OD_{ev} = \left(\frac{A_o}{n \times \pi \times L_{ev}} \right)_{ev} \dots \dots \dots \text{ref.no.3.hal.236 - 237} \quad (2-9)$$

Dengan diketahui panjang pipa evaporator maka disainnya dapat dibuat sesuai bentuk dan dimensi dari badan kapal.

2.5.5. Receiver

Receiver adalah merupakan tabung yang digunakan untuk menampung sementara refrigeran yang dicairkan didalam kondensor. Volume receiver harus mampu menampung refrigeran pada waktu mesin tidak beroperasi. Jika kondensor mempunyai ruang penampung yang cukup. Alat ini tidak selalu dibutuhkan, khususnya untuk sistem yang kecil.

Saluran pipa refrigerasi yang diperhitungkan untuk menentukan volume receiver yang dibutuhkan sistem adalah :

- Saluran pipa liquid line
- Saluran pipa *suction line* (pipa koil evaporator)

Untuk evaporator jenis ekspansi kering, volume aliran refrigeran cair di dalam koil evaporator adalah :

$$\text{Vol}_{\text{ice}} = 0,25 \times \text{Vol}_{\text{pke}}$$

dimana,

Vol_{ice} : volume refrigeran cair di evaporator, m^3

Vol_{pke} : volume pipa koil evaporator, m^3

Untuk volume *liquid line*, Vol_{ice} dan volume refrigeran di *suction line*,

Vol_{pke} masing-masing dinyatakan sebagai berikut :

$$\text{Vol}_{\text{ll}} = L_{\text{ll}} \times \text{id}_{\text{ll}}^2 \times (\pi/4) \quad (2-18)$$

$$\text{Vol}_{\text{pke}} = L_{\text{pke}} \times \text{id}_{\text{pke}}^2 \times (\pi/4) \quad (2-19)$$

Sehingga volume receiver,

$$\begin{aligned} \text{Vol}_{\text{rec}} &= \text{Vol}_{\text{ll}} + \text{Vol}_{\text{ice}} \\ &= \text{Vol}_{\text{ll}} + (0,25 \times \text{Vol}_{\text{pke}}) \end{aligned}$$

dimana, Vol_{ll} : volume saluran

L_{ll} : panjang total pipe liquid line, m

id_{ll} : diameter dalam liquid line, m

L_{pke} : panjang total pipa evaporator, m

id_{pke} : diameter dalam pipa evaporator, m

2.3. Teknologi Refrigerasi Dalam Perikanan

Perikanan sebagai suatu kegiatan ekonomi, adalah usaha manusia memanfaatkan sumber daya alam biologi perikanan dengan cara menerapkan kaidah teknologi secara ekonomis untuk mencapai kesejahteraan manusia melalui produksi hasil perikanan. Ikan merupakan

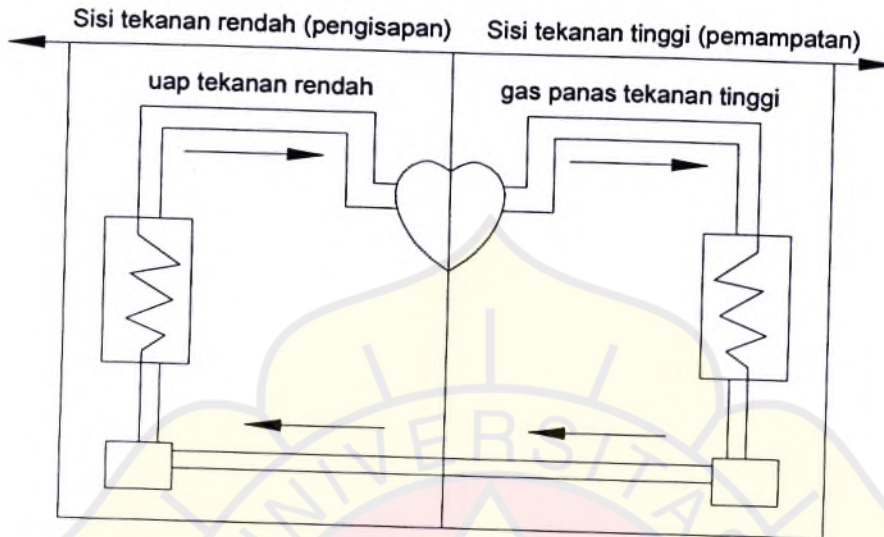
salah satu jenis pangan yang paling cepat membusuk. Kecepatan ikan membusuk terutama sangat dipengaruhi oleh suhu.

Menyadari besarnya peranan suhu pada daya awet hasil perikanan inilah yang mendorong manusia mengaitkan hasil perikanan itu dengan usaha refrigerasi, yaitu memanfaatkan teknologi refrigerasi guna mendinginkan atau menurunkan suhu hasil perikanan itu agar panjang daya awetnya. Jadi kegiatan refrigerasi hasil perikanan merupakan usaha mendinginkan ikan agar ikan awet guna memperoleh manfaat biologis (gizi) dan ekonomi setinggi-tingginya.

Sebagai bentuk yang paling sederhana dalam mendinginkan bahan adalah merefrigerasi air dengan cara memasukkan es ke dalam segelas air, es itu sendiri adalah suatu produk refrigerasi. Suatu sistem refrigerasi yang menggunakan tenaga khusus untuk menggerakkan guna memproduksi dingin dengan bantuan mesin atau alat, dinamakan refrigerasi mekanik.

2.3.1. Sistem Refrigerasi Mekanik

Dengan memahami proses – proses yang berlangsung dalam suatu sistem refrigerasi yang dialami oleh refrigeran yang bersirkulasi di dalam sistem, maka pengaturan seluruh proses itu, dapat dikemukakan berupa suatu siklus dasar yang menggerakkan sistem refrigerasi. Diagram dari siklus tersebut tertera dalam gambar di bawah ini :



Gambar 2.4. Diagram Siklus

1. Jantung sistem refrigerasi
 - Kompresor pada sistem kompresi
 - Absorber dan generator pada sistem absorpsi
2. Kondensor
3. Tangki penerima cairan
4. Katup ekspansi
5. Evaporator

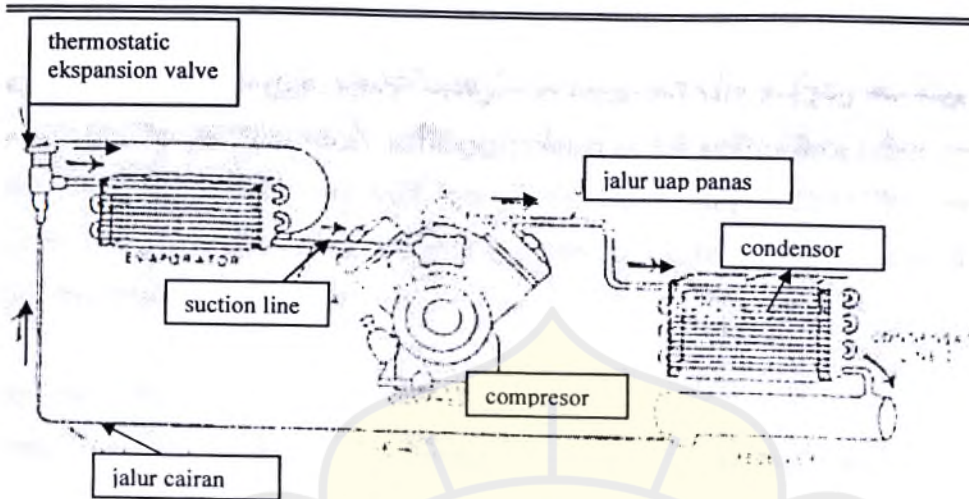
Panas yang berasal dari ruangan dan bahan (ikan) diserap ke dalam evaporator, panas itu tersimpan dalam uap refrigeran bertekanan rendah, dihisap ke dalam jantung sistem refrigerasi yaitu kompresor. Oleh kompresor panas yang dihisap yang dibawa oleh uap refrigeran bertekanan rendah itu, dipompakan menuju alat pengembunan (kondensor). Tekanan uap refrigeran itu menjadi tinggi dan menjadi jenuh akan panas. Oleh pendinginan dengan

udara atau air, uap refrigeran yang ada dalam kondenser berubah menjadi cairan. Panas yang terkandung dalam uap refrigeran pada saat mengembun diambil oleh air atau udara pendingin kondensor. Cairan yang terbentuk mengumpul dalam tangki penerima atau receiver, ia bertekanan tinggi dan seterusnya mengalir menuju alat pengatur pemuaian (katup ekspansi).

Dengan mengatur katup, cairan bertekanan tinggi berubah menjadi cairan dingin bertekanan rendah. Cairan itu diberi kesempatan memuai, mendidih dan menguap di dalam evaporator. Untuk menguap dan mendidih, refrigeran itu menyerap panas dari sekitarnya dalam ruangan evaporator untuk kemudian disalurkan kembali ke jantung sistem refrigerasi. Dengan demikian diselesaikan sudah satu siklus dari sistem refrigerasi tersebut. Siklus ini diulangi terus sampai tujuan pendinginan (refrigeration) tercapai, yaitu menurunkan suhu suatu bahan atau ruangan dan seterusnya memelihara pada tingkat suhu rendah yang sudah ditetapkan sebelumnya.

Pada gambar siklus di atas, ditarik satu garis lurus putus-putus yang bertujuan hanya untuk memberikan gambaran bahwa wilayah sebelah kiri garis putus-putus adalah wilayah atau sisi tekanan rendah (*low pressure side*) atau sisi pengisapan (*suction line*) sedangkan sisi sebelah kanan adalah sisi tekanan tinggi (*high pressure side*), kompresi (*compression*) atau *discharge* (pengeluaran).

Gambar di bawah ini merupakan contoh peralatan dan rangkaian perpipaan dari sistem kompresi uap



Gambar 2.5. Peralatan dan Rangkaian Pipa

2.3.2. Refrigeran

Suatu sistem refrigerasi konvensional, memanfaatkan sifat-sifat panas (thermal) dari suatu jenis bahan selagi ia berubah dari keadaan cair menjadi gas atau uap dari sebaliknya. Bahan tersebut dalam teknologi refrigerasi dinamakan refrigeran. Beberapa sifat dan ciri utama dari refrigeran adalah mempunyai titik beku yang jauh lebih rendah daripada setiap suhu yang terdapat pada sistem, panas laten vaporasi refrigeran harus tinggi, tekanan pengembunan rendah, perbedaan tekanan antara sisi tinggi dan sisi rendah adalah serendah mungkin, tidak mudah terurai, terbakar, meledak dalam keadaan gas atau cairan, tidak korosif, tidak beracun, tidak membahayakan manusia, hewan, dan tanaman dan lain-lain.

Jenis refrigeran yang terpakai luas adalah refrigeran (freon) 12 ($\text{C Cl}_2 \text{F}_2$), refrigeran 22 (CH Cl F_2), amonia (NH_3), R-134a dan lain-lain. Refrigeran yang disirkulasi dalam saluran tempat tertutup di dalam sistem refrigerasi,

mengalami beberapa proses yang akan merupakan bagian atau komponen dari sistem.

Dalam kasus ini akan digunakan refrigeran freon R-134a, R-134a mempunyai laju alir volume yang rendah, sehingga biaya untuk kompresor lebih murah, sedikit melarut dengan minyak dan sedikit beracun tetapi tidak seperti amonia yang dengan konsentrasi 1 persen, dengan jangka waktu $\frac{1}{2}$ jam dapat mematikan.

2.3.3. Perpipaan refrigeran

Dalam memilih ukuran pipa refrigeran ada beberapa standart yang disarankan, yang sangat dipengaruhi oleh penurunan tekanan refrigeran (*refrigeran pressure drop*). Beberapa penurunan tekanan memang diharapkan, tetapi ukuran pipa harus menjamin bahwa hal tersebut tidak berlebihan, sehingga mengakibatkan biaya operasional yang mahal. Penentuan diameter pipa refrigeran sangat vital, karena apabila tidak tepat maka akan mengakibatkan biaya yang tinggi dan juga kemungkinan dapat terjadi penurunan tekanan yang berlebihan dari tekanan yang dibutuhkan. Dalam praktek umum, dalam industri refrigerasi, penurunan tekanan dalam jalur refrigeran sebagai suatu perubahan temperatur ekuivalen (*equivalent temperature charge*). Perubahan temperatur ekuivalen berguna dalam mengungkapkan penurunan tekanan. Perubahan temperatur ekuivalen yang diijinkan maksimum sebesar 2°F dalam sistem yang menggunakan halokarbon baik untuk jalur isap, cair maupun buang.

2.3.4. Material Pipa

Berdasarkan ASA, bagian safety (American Standart Association B9:1, New York) maka freon R-134a umumnya dipakai pipa tembaga, dan melarang pemakain alloy magnesium base untuk semua freon. Dalam tugas akhir ini dipaki pipa dengan material Copper type L.

2.3.5. Panjang Ekuivalen Pipa (*Equivalenty Length of Pipe*)

Penurunan tekanan tidak hanya terjadi pada pipa yang lurus, tetapi juga pada fitting atau perlengkapan dan katup-katup. Penurunan tekanan ini disebut sebagai panjang ekuivalen (*equivalent length / EL*) dari pipa lurus yang mempunyai penurunan tekanan sama. Panjang ekuivalen tergantung pada ukuran pipa, dan oleh karena itu tidak dapat ditentukan dengan tepat sebelum mencoba menentukan EL tertentu, dan kemudian dikoreksi jika diperlukan. Perkiraan umum dengan menambah 50 sampai 100 persen dari panjang pipa lurus sebagai penurunan tekanan yang melalui fitting.

2.3.6. Jalur Buang (*discharge line*)

Penurunan pada jalur ini terjadi akibat daya kompresor, karena untuk tekanan kondensor tertentu, setiap penambahan penurunan tekanan jalur memerlukan tekanan buang (*discharge pressure*) dan kompresor yang lebih tinggi. Tetapi diatur batas ukuran optimum pipa, penambahan, pembesaran (*enlargement*) akan menaikkan biaya awal melebihi dari yang dapat dihemat dengan umur pemompaan pada kompresor lebih panjang.

Ada beberapa kedudukan letak kondenser terhadap kompresor, kondenser dibawah kompresor, kondenser dan kompresor dalam satu level,

dan kondenser diatas kompresor. Laju pendaoran refrigerasi dapat dihitung dengan membagi kapasitas refrigeran dengan kerja kompresi

Laju Alir =

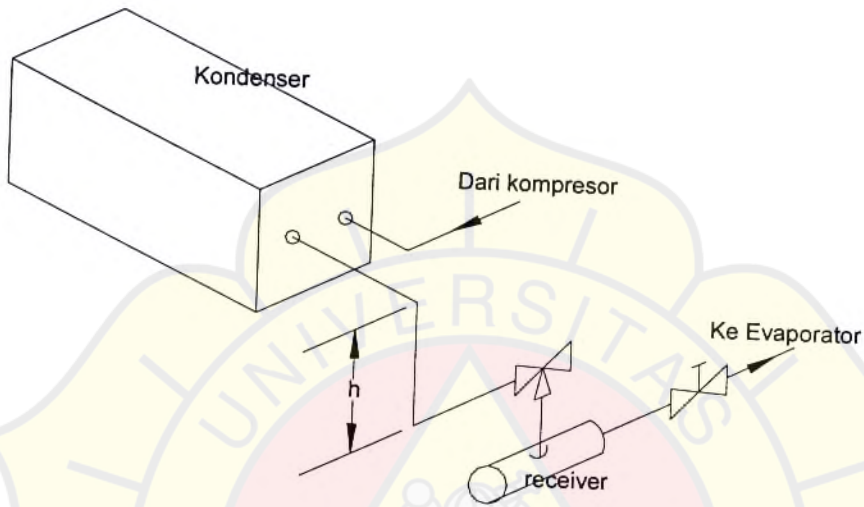
2.3.7. Jalur Isap (Suction Line)

Sebagaimana pada jalur buang, penurunan tekanan pada jalur ini menentukan efisiensi, karena menurunkan tekanan yang memasuki kompresor. Tetapi ada batas berupa ukuran terbesar pipa jalur isap dapat dipilih, berdasarkan jumlah pelumas yang harus dialirkan oleh sistem refrigerasi dari evaporator kembali ke kompresor. Kecepatan pada jalur isap tegak (*vertical suction line*), biasanya dipertahankan sekitar 0,4 m/det atau lebih tinggi, untuk memungkinkan minyak mengalir kembali.

2.3.8. Jalur Cair (Liquid Line)

Karena pipa ini mengalirkan cairan yang lebih tinggi rapat massanya dibandingkan uap pada bagian lain, maka diameternya akan lebih kecil. Penurunan tekanan pada jalur ini akan mengganggu efisiensi daur, karena walaupun penurunan tekanan tidak terjadi pada jalur cair akan terjadi pada alat ekspansi. Penurunan tekanan pada jalur cair dibatasi karena berbagai alasan, apabila penurunan tekanan terlalu besar sebagian cairan akan menjadi uap (*flashing*), sehingga alat ekspansi tidak bekerja dengan wajar. Perbedaan ketinggian pipa yang menghubungkan kondenser dengan receiver harus cukup untuk dapat mengatasi kerugian gesekan yang terjadi.

Ukuran ketinggian yang direkomendasikan dan jalur perpipaannya seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2.6. ukuran tinggi static kondenser receiver

2.4. Teknik Pendinginan Metode RSW.

Prinsip dasar dari pendinginan ikan dengan air yang didinginkan adalah mendinginkan ikan dengan air laut dingin agar suhu ikan cepat turun mencapai suhu -1°C , hanya sedikit diatas titik beku dari ikan. Titik beku ikan antara $-1,2^{\circ}\text{C}$ sampai -2°C . Sedangkan air laut yang mempunyai kandungan garam normal 3,5% titik bekunya -2°C . Rasio perbandingan antara ikan dan air laut yang diijinkan yaitu 4 : 1. Guna mendinginkan air pendingin tersebut diperlukan refrigerasi. Kebutuhan refrigerasi dalam hal ini meliputi usaha :

1. Menyerap panas (kilokalori) dari ikan untuk menurunkan suhu ikan dari suhu awal ke suhu rendah sampai -1°C .

2. Menyerap panas agar ikan tetap rendah suhunya sekitar -1°C , selama penyimpanan dan menyerap panas dari kebocoran panas dari luar ke air dalam cold storage.

Penerimaan panas total pada cold storage adalah jumlah panas yang diterima melalui sisi permukaan tangki. Koefisien perpindahan panas menyeluruh bagi suatu sisi permukaan storage, atau bagiannya adalah fungsi koefisien perpindahan panas bagian luar. Koefisien perpindahan panas bagian dalam dan tebal serta konduktivitas insulasi. Lapisan storage dan sisi permukaan bagian luar, yang dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{1}{h_1} \quad \text{ref.no.3.hal.223} \quad (2-21)$$

dimana,

- U : koefisien perpindahan panas menyeluruh, $\text{kcal/m}^2\text{jam}^{\circ}\text{C}$
 h_o : koefisien perpindahan panas bagian luar, $\text{kcal/m}^2\text{jam}^{\circ}\text{C}$
 x_1, x_2, x_3 : tebal plat sisi kulit kapal.
 k_1, k_2, k_3 : konduktivitas plat sisi kulit kapal, $\text{kcal/m}^2\text{jam}^{\circ}\text{C}$
 h_1 : koefisien perpindahan panas bagian dalam, $\text{kcal/m}^2\text{jam}^{\circ}\text{C}$

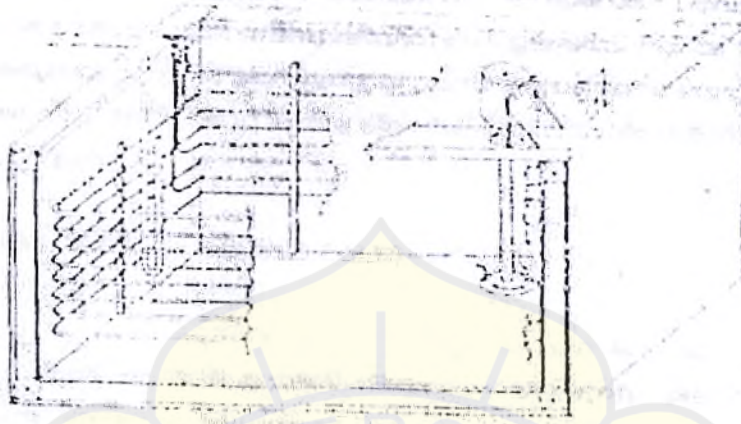
Beberapa kelebihan dari metode air laut yang didinginkan dalam teknik pengawetan antara lain :

1. Daya awet ikan lebih diperpanjang.
2. Ikan lebih kecil mengalami tekanan karena berat dari es yang berada di atasnya.

3. Laju perpindahan berlangsung lebih cepat, karena seluruh permukaan ikan bersentuhan dengan medium pendingin.
4. Penanganan sejumlah besar ikan dapat berlangsung cepat dan mudah.
5. Oksidasi dan ketengikan ikan gemuk (berlemak) dapat dicegah kalau udara dikeluarkan dari sistem sirkulasi.

Kebanyakan instalasi yang menggunakan air laut untuk pendinginan ikan, memakai evaporator berbentuk gelungan pipa (pipa coil) bagi permukaan (pipa) yang direfrigerasi. Ukuran dan jenis bahan gelungan pipa tergantung pada penggunaan jenis refrigeran tertentu.

Kalau gelungan pipa pendingin diletakkan langsung dihadapan dinding sisi tangki air laut, maka pengaturan rongga sebesar 5,1 cm sampai 7,6 cm antara sisi storage dan gelungan pipa yang memungkinkan sirkulasi air laut yang cepat meliputi gelungan pipa, akan memperbesar perpindahan panas antara gelungan pipa dan air laut yang didinginkan. Dibawah ini merupakan gambar cold storage yang didinginkan dengan metode pendinginan air laut, RSW.



Gambar 2.7. Cold Storage dengan Metode RSW

2.5. Kebutuhan Beban Pendinginan.

Pendinginan ikan yang berupa produk, ikan basah atau segar umumnya dilaksanakan mengikuti salah satu dari tiga metode berikut, pertama dengan es, kedua dengan udara dingin, dan ketiga dengan air yang didinginkan. Pada ikan basah, suhu pada pusat thermal ikan diturunkan mencapai 0°C sampai -1°C , lalu suhu ikan dipertahankan selama penyimpanan dan distribusi. Kebutuhan pendinginan ini meliputi kebutuhan untuk pendinginan produk ikan, kebutuhan pendinginan akibat sumber panas transmisi, kebutuhan pendinginan akibat infiltrasi udara.

2.5.1. Beban Pendinginan Produk Ikan

Sumber utama dari beban refrigerasi adalah produk yang terdiri dari energi untuk menurunkan temperatur produk dari temperatur penerimaan hingga temperatur storage dan mempertahankan generasi

panas dalam storage. Untuk menurunkan suhu ikan sampai pada tingkat suhu yang lebih rendah, maka jumlah panas yang harus diambil dari ikan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q = m \times [T_1 - T_2] \times C_1 \quad \text{ref.no.6.hal.30 - 69} \quad (2-22)$$

Jika ikan dibekukan maka juga harus diperhitungkan beban panas laten (h_{if}) dan panas sensibel produk di bawah temperatur pembekuan. Panas laten yang harus dihilangkan untuk pembekuan ikan dihasilkan dari persamaan di bawah ini :

$$Q = m \times h_{if} \quad \text{ref.no.6.hal.30 - 69} \quad (2-23)$$

Untuk menentukan jumlah panas sensibel yang harus dihilangkan dalam pendinginan produk beku, maka sama seperti persamaan (2-22). Kecuali panas spesifiknya, untuk produk beku dan perubahan temperaturnya dari titik pembekuan sampai temperatur storage akhir. Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Q = m \times [T_2 - T_3] \times C_2 \quad \text{ref.no.6.hal.30 - 69} \quad (2-24)$$

dimana,

Q : panas yang dihilangkan, kcal/jam

m : massa produk yang didinginkan, kg.

$T_1 - T_2$: Perubahan temperatur produk di atas titik pembekuan dari temperatur awal sampai temperatur akhir, $^{\circ}\text{C}$

$T_2 - T_3$: Perubahan temperatur produk dari titik pembekuan sampai temperatur akhir, $^{\circ}\text{C}$

C_1 : Panas spesifik produk di atas pembekuan, $\text{kJ/kg } ^{\circ}\text{C}$

C_2 : Panas spesifik produk di bawah pembekuan, $\text{kJ/kg } ^{\circ}\text{C}$

2.5.2. Beban Panas Transmisi

Pada saat sejumlah ikan ditempatkan didalam palkah, maka panas dari luar mengalir ke dalam palkah. Banyaknya panas yang bertransmisi melalui palkah tergantung pada empat faktor yaitu pertama, luar sisi-sisi serta tutup dan atas. Kedua, tebal setiap sisi palkah. Ketiga, material dari palkah dan keempat, selisih suhu antara luar dan dalam palkah. Jumlah panas tersebut dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q = \frac{k.A}{X} [T_1 - T_2] \quad \text{ref.no.6.hal.30 - 69} \quad (2-25)$$

dimana,

Q = laju pengaliran panas ke dalam palkah, kcal/jam

A = luas permukaan sisi atau tutup, m²

T₁ = suhu udara luar, °C

T₂ = suhu pada sisi dingin, °C

x = tebal material palkah, m

K = tetapan konduktivitas material, kcal/jam. m °C

2.5.3. Beban Udara infiltrasi

Pada waktu pintu cold storage dibuka maka udara dari luar masuk. Enthalpi atau kandungan panas dari udara ini lebih besar dari pada ruang cold storage. Perbedaan antara enthalpi udara yang masuk dan ruangan. Ini merupakan beban panas yang harus dihilangkan dari cold