

BAB II

TEKNIK PENDINGINAN DAN PEMBEKUAN IKAN

2.1 Teori Dasar Pendinginan dan Pembekuan

Ikan merupakan makanan yang mudah mengalami pembusukan. Apalagi di daerah tropis seperti Indonesia yang bersuhu relatif tinggi. Akan tetapi, umur penyimpanan atau kondisi mutu ikan dapat diperpanjang dengan penurunan suhu. Bahkan ikan yang dibekukan dapat disimpan sampai beberapa bulan, hingga saat diperlukan untuk dilelehkan dan dimasak atau diolah lebih lanjut bagi konsumen. Rantai aliran makanan beku atau rantai dingin (cold chain) umumnya terdiri dari mata rantai sebagai berikut : pembekuan, penyimpanan dalam gudang dingin, diangkut dengan mobil berpendingin (refrigerated truck), dipamerkan dalam lemari dingin di toko makanan, akhirnya disimpan dalam bagian pembekuan (freezer) dari lemari es di rumah.

Di Amerika, pembekuan buatan produk perikanan diperkenalkan pada tahun 1861. Enoch Piper mencampur pecahan es dengan garam untuk membekukan ikan yang diletakan pada rak di dalam ruang berinsulasi. Setelah beku, ikan beku dicelup dalam air sehingga ada lapisan es dipermukaan, kemudian dipindahkan kedalam ruang yang dinding insulasinya dilengkapi dengan tabung logam vertikal berisi campuran garam dan es. Paten pembekuan ikan diberikan pada tahun 1869. kemajuan yang paling penting adalah mulai digunakannya mesin refrigasi yang memakai refrigeran amonia pada tahun 1892.

a. Pengolahan dengan suhu rendah

Pendingin dan pembekuan adalah cara yang paling banyak digunakan untuk mengolah ikan atau hasil perikanan lainnya. Metode ini memang dapat mengawatkan ikan dalam waktu yang cepat dan efektif. Ikan segar dalam jumlah banyak dapat ditangani dengan satu kali kerja langsung pada lokasi penangkapan di tengah laut. Produktivitas peralatan dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Keunggulan paling utama dibanding

cara pengolahan yang lain adalah kemampuan pendinginan atau pembekuan mengawetkan ikan tanpa harus merubah sifat asli produk.

Pendinginan ikan adalah pengolahan ikan dengan cara menurunkan suhu ikan mendekati titik beku. Kondisi ini menunda kegiatan biokimiawi dan bakteriologis dari ikan, sehingga dapat memperpanjang daya awet atau masa simpan produk. Kegiatan tersebut hanya bisa menunda, tidak untuk menghentikan sama sekali. Oleh karena itu, daya ikan tersimpan akan terhenti bila proses kemunduran mutu yang tetap berjalan walaupun sudah dihambat, telah melampaui batas kualitas produk makanan yang sesuai standar.

Titik beku ikan adalah antara $-0,6^{\circ}\text{C}$ dan -2°C , tergantung jenis dan kandungan cairan interselulernya. Biasanya titik beku ikan dianggap -1°C . Suhu optimum jasad renik untuk tumbuh berbeda-beda. Jenis Psychrophiles pada suhu $5 - 15^{\circ}\text{C}$, mesophiles pada suhu $20 - 43^{\circ}\text{C}$, sedangkan thermophiles pada $45 - 60^{\circ}\text{C}$. Adapun suhu minimumnya untuk dapat tumbuh masing-masing adalah -1°C atau lebih rendah, 8°C dan 20°C .

Pertimbangan penting untuk mendapatkan mutu baik produk perikanan yang didinginkan adalah perubahan biokimiawi dan fisik, waktu pendinginan, kondisi suhu, peralatan dan cara yang digunakan. Akan tetapi, seberapa baiknya cara pendinginan diatas titik beku, tidak akan mampu menyimpan produk ikan segar dalam waktu lama. Bagi ikan pembekuan cairan yang ada didalam tubuh ikan sangatlah penting karena cairan tersebut mengandung larutan bahan organik dan senyawa mineral yang sangat disukai untuk pertumbuhan bakteri serta mendorong berlangsungnya reaksi biokimia. Pembekuan adalah suatu cara pengolahan dengan mengurangi suhu produk dari temperatur asal sampai mencapai -18°C dan sebagian besar dalam tubuh telah berubah menjadi es. Titik eutik produk makanan, yakni suhu semua cairan es adalah -55°C sampai -65°C .

b. Perubahan selama pendinginan

Selama pendinginan, perubahan biokimia dan fisik di dalam produk. Perubahan fisik biasanya berupa peningkatan densitas jaringan, viskositas cairan dan darah, serta berkurangnya berat oleh penguapan cairan dari permukaan yang mengalami desikasi pada pendinginan dengan udara.

Luasnya desikasi tergantung pada sifat produk dan unit pendingin. Yang dimaksud dengan sifat produk adalah berat jenis, ukuran individu tiap ikan dan media pengepakan. Semakin banyak air di dalam tubuh ikan, semakin besar jumlah penguapan, sehingga ikan yang berlemak lebih kecil penguapannya. Produk yang berat jenisnya lebih besar, banyak mengandung senyawa organik, sehingga kandungan airnya kurang. Ikan kecil tentu dalam berat yang sama akan memiliki permukaan yang lebih luas. Bahkan pengepak yang mencegah penguapan dapat menghambat proses desikasi. Akan tetapi untuk bahan yang bersifat higroskopis akan menyerap air dari produk.

Setelah mati, suhu jaringan akan naik karena banyak terjadi proses penguraian actomyosin. Actin dan myosin menghasilkan actomyosin yang dipengaruhi oleh keberadaan adenosin trifosfat (ATP). Jaringan daging akan tetap elastis jika terdapat cukup ATP, yang keberadaannya tergantung pada suhu. Semakin rendah suhu, akan semakin lambat ATP terurai. Oleh karenanya, dengan menurunkan suhu, proses penguraian kimiawi akan terhambat, sehingga memperpanjang masa rigormortis yang mengindikasikan kesegaran mutu.

c. Perubahan selama pembekuan

Proses pembekuan dengan cepat menghambat reaksi kimiawi dan enzimatik serta menghentikan pertumbuhan bakteri. Pengaruh fisik oleh pembekuan mempunyai dampak yang penting. Volume produk beku akan bertambah, terbentuk kristal es yang ukurannya akan membesar. Kristal es ini biasanya lebih terakumulasi diantara jaringan sel dan dapat

merusak sel. Air yang keluar dari sel juga akan membentuk es, sehingga meningkatkan kepekatan larutan yang tetap cair.

Ada pendapat bahwa kristal tersebut merusak jaringan sel, termasuk juga jasad renik yang ada. Meningkatnya kepekatan larutan dalam sel mendorong garam untuk keluar, terjadi dehidrasi, dan denaturasi protein dan menyebabkan perubahan sistem koloidal, yang *note bene* dapat membunuh jasad renik. Jadi, pembekuan dapat mengurangi jumlah bakteri.

d. Perubahan selama penyimpanan

Ikan dapat mengalami perubahan warna karena senyawa warna terurai pada suhu rendah dan bakteri tertentu berkembang dalam kondisi ini. Rekristalisasi es di dalam tubuh ikan juga diduga turut menjadi penyebab diskolorasi. Fluktuasi suhu dalam cold storage menyebabkan pembentukan kristal es kembali dan karena merusak jaringan sel mengakibatkan turunnya mutu ikan, cairannya meleleh pada saat ikan dilelehkan.

e. Perubahan selama pelelehan

Kebanyakan perubahan yang tampak selama pelelehan akibat dari proses pembekuan dan penyimpanan. Pada saat kristal es mencair, cairannya ada yang kembali dalam sel, ada pula yang keluar dari produk. Pelelehan yang pelan dan terkontrol biasanya lebih mengembalikan cairan lelehan ke dalam sel dibanding dengan pelelehan dengan cara cepat, kualitasnya juga lebih baik. Cairan berwarna pink atau kemerahan yang berasal dari produk beku disebut *drip*. Jika pelelehan tidak terlalu lama, aksi jasad renik tidak akan berpengaruh buruk karena suhu produk masih cukup rendah. Tapi bila pelelehan terlalu lambat dan suhu mencapai suhu kamar, maka kegiatan bakteri akan meningkat dan menurunkan mutu produk.

2.2 TEORI DASAR REFRIGERASI

Pembekuan ikan terjadi dalam tiga tahap mula-mula panas sensibel diambil sehingga menurunkan suhu produk menuju titik beku kemudian terjadi perubahan bentuk, panas laten diambil dari ikan, mengakibatkan sebagian besar air berubah menjadi es. Pada saat ini suhu terlihat tidak berubah. Tahap ketiga disebut masa subcooling, suhu menurun lagi dari titik beku menuju suhu terakhir di bawah nol. Proses pembekuan pada hakekatnya perpindahan panas dan suatu zat ke yang lain. Tingkat aliran perpindahan panas tergantung pada berbagai faktor dan yang paling penting adalah :

1. Cara perpindahan panas
2. Perbedaan suhu antara ikan dengan media pendingin
3. Ukuran, tipe dan sifat termal dari produk, dan yang terakhir
4. Bahan dan cara pengepakan yang dilakukan.

Cara perpindahan panas adalah fungsi dari unit pembeku itu bekerja. Dalam pembekuan, panas diambil dari produk terutama dengan cara konduksi dan konveksi. Perpindahan panas dari pusat produk menuju permukaannya berlaku secara konduksi, dan ini merupakan fungsi dari konduktivitas produk, perbedaan suhu dan ketebalan produk. Panas berpindah kemedial pendingin yang berupa udara, air garam atau refrigeran yang bersirkulasi di dalam mesin unit refrigerasi dengan dorongan secara konveksi atau radiasi. Perpindahan panas yang dimiliki dan suhu media tersebut. Waktu pembekuan adalah fungsi langsung dari rata-rata perbedaan suhu antara produk dengan suhu media pendingin. Biasanya waktu pembekuan berbanding terbalik dengan perbedaan suhu produk dengan media pendingin. Dalam pendinginan, jumlah panas yang diambil dari produk yang bersuhu awal t_1 menuju ke suhu yang dikehendaki t_2 ditentukan oleh formula :

$$Q = G_C(t_1 - t_2) \text{ kcal} \quad (\text{Ref 6, hal 17})$$

Dimana : Q : jumlah panas yang harus diambil untuk mendinginkan produk, kcal

Tugas Akhir

- G : berat produk yang diinginkan, kg
c : panas jenis produk, kcal / (kg x °C)
 $t_1 - t_2$: perbedaan suhu antara suhu akhir produk yang dikehendaki dengan suhu awalnya, °C

adapun dalam pembekuan, karena terdapat tiga tahap, yakni penurunan suhu menuju titik beku, perubahan bentuk menjadi beku, penurunan suhu dari titik beku menuju suhu akhir, maka formulanya sebagai berikut :

$$Q = G [c_1 (t_1 - t_2) + Wwr + c_2 (t_2 - t_3)] \text{ kcal} \quad (\text{Ref 6, hal 17})$$

Dimana

- Q : jumlah panas yang harus diambil untuk mencapai suhu akhir pembekuan, kcal
G : berat produk, kg
 c_1 : panas jenis suhu di atas beku, kcal/(kg x °C)
 t_1 : panas jenis suhu di atas titik beku, kcal/(kg x °C)
 t_2 : titik beku cairan produk, °C
W : jumlah cairan dalam ikan, pecahan
w : jumlah air beku dalam ikan, pecahan
r : panas laten pembekuan, sekitar 80 kcal/kg
 c_2 : panas jenis produk beku, kcal/(kg x °C)
 t_3 : rata-rata suhu akhir produk, °C

2.3 PERLENGKAPAN UTAMA SISTEM REFRIGERASI

Komponen utama dari sistem refrigerasi adalah kompresor, kondesor, katup ekspansi dan evaporator. Kompresor berfungsi mengalirkan dan menaikkan tekanan gas refrigeran cair diuapkan dengan menyemprotkannya, melalui katup ekspansi, ke dalam evarator menyerap kalor dari udara dan produk yang ada di sekitarnya.

2.3.1 Kompresor

Kompresor dapat dibagi dalam dua jenis utama, yaitu kompresor positif, dimana gas dihisap masuk kedalam silinder dan dikompresikan. Jenis

kompresor non-positif, gas yang dihisap masuk dipercepat alirannya oleh sebuah impeler yang kemudian mengubah energi kinetik untuk menaikkan tekanan. Secara rinci kompresor dapat digolongkan berdasarkan metode kompresi, menurut bentuknya kecepatan putar, gas refrigeran yang digunakan dan konstruksinya.

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

$$P = w \times \Delta h_i$$

Dengan P = daya, kW

(Ref 9, hal 199)

W = laju aliran refrigeran

Δh_i = Kerja kompresi isentropik, kJ/kg

2.3.2 Kondensor

Kondensor merupakan suatu bagian penting dari sistim pendingin. Dalam kondensor panas dipindahkan dari refrigeran kemedium pendingin, air atau udara. Kondensor harus menghilangkan semua panas yang ditimbulkan oleh refrigeran dalam sistem refrigerasi. Panas ini ditimbulkan dari evaporator (dari beban pendingin) dan panas yang ditimbulkan dari proses kompresi gas refrigeran.

Kondensor yang umumnya dipakai ada tiga tipe, 1. *air-cooled*, 2. *water cooled*, 3. *evaporator condensor*. Laju perpindahan kalor yang dibutuhkan dalam kondensor merupakan fungsi dari kapasitas, 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 $1/h_{ff}$ ($m^2 \cdot K/W$). Besarnya laju air pendingin yang memberikan operasi secara efektif yaitu antara 0,045 dan 0,06 L/s untuk tiap kW. Untuk menentukan kapasitas kondensor dapat ditentukan dengan persamaan :

Kapasitas kondensor = $Q_{cd} \times \text{Factor H.R}$ (Ref 1, hal 142)

Untuk kondisi operasi normal dengan single state compresor, beban kondensor dapat diperkiarakan dengan persamaan di bawah ini :

- Untuk open compresor
Beban kondensor = $Q_{cd} \text{ (kW)} + \text{motor output (kW)}$ (Ref 1, hal 142)
- Untuk hermetic compresor
Beban kondensor = $Q_{cd} \text{ (kW)} + \text{Power input (kW)}$ (Ref 1, hal 142)

Dimana Q_{cd} = Kapasitas kompresor , kW

Faktor H.R = diperoleh dari lampiran tabel Heat Rejection Factors

Jika perpindahan panas melalui dinding kondensor secara konduksi, maka kapasitas kondensor merupakan fungsi dasar perpindahan panas :

$$Q_{cd} = A \times U \times \text{LMTD} \quad (\text{Ref 11, hal 144})$$

Dimana : Q_{cd} = kapasitas kondensor, kW

A = Luas permukaan kondensor, m^2

LMTD = log mean temperatur difference, ° C

Nilai LMTD dapat dihitung dari persamaan

$$\text{LMTD} = \frac{(t_c - t_i) - (t_c - t_o)}{\ln(t_c - t_i)/(t_c - t_o)} \quad (\text{Ref 10, hal 243})$$

Dimana t_c = suhu refrigeran

t_i = suhu awal fluida

t_o = suhu akhir fluida

untuk menentukan laju massa fluida pendingin kondensor (m) dapat ditentukan dengan persamaan di bawah ini

$$m = Q_{cd} \text{ (kW)} \times \text{laju fluida (L/s kW)} \quad (\text{Ref 10, hal 243})$$

Dalam kondensor berpendingin udara ataupun air, medium pendingin tersebut mengalami kenaikan temperatur setelah keluar kondensor, dapat dihitung dengan persamaan

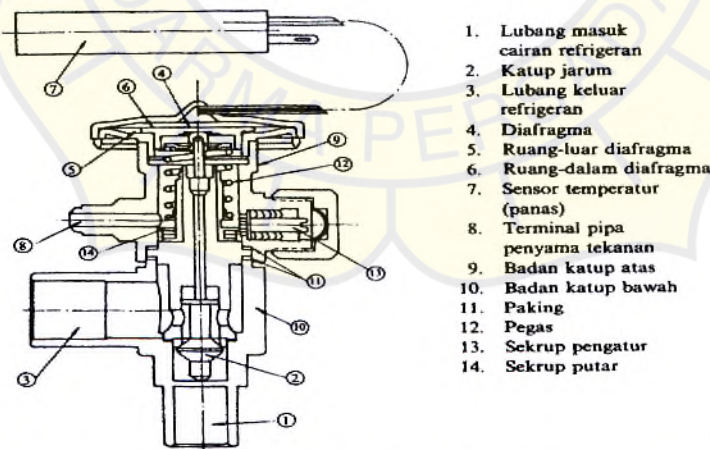
$$\Delta T = \frac{Q_{cd}}{m \times c} \quad (\text{Ref 10, hal 243})$$

2.3.3 Alat Ekspansi

Alat ekspansi mempunyai dua kegunaan, yaitu menurunkan tekanan refrigeran cair dan mengatur aliran refrigeran ke evaporator. Alat ekspansi yang umumnya digunakan yaitu : pipa kapiler, katup ekspansi tekanan konstan. Jenis alat ekspansi yang paling populer adalah katup ekspansi berkendali lanjut panas, yang biasa disebut dengan katup ekspansi termostatik (*thermostatic expansion valve*). Oleh pembuat katalog-katalog yang dikeluarkan oleh pembuat katup ekspansi biasanya memuat kapasitas refrigerasi yang berkaitan dengan laju alir yang dapat dilewatkan oleh katup tersebut. Untuk menyediakan sejumlah kapasitas cadangan maka pada umumnya pembuat menuliskan kapasitas refrigerasi katup 75 persen dari kapasitas penuhnya. Laju alir melalui katup adalah fungsi dari beda tekanan pada kedua sisinya, dan kecepatan melewati katup yang terbuka penuh dapat dihitung dengan rumus hidrolis

$$\text{Kecepatan} = C\sqrt{2(\text{beda} \cdot \text{tekanan})} \text{ m/det} \quad (\text{Ref 10, hal 243})$$

Dengan C = suatu konstanta yang diperoleh dari percobaan, dan beda tekanan persatuan kilopaskal. Walaupun refrigeran setelah melewati proses trotel di dalam katup merupakan campuran antara uap dan cairan, dibawah ini gambar katup ekspansi termostatik dan skemanya.



Gambar 1 katup ekspansi otomatis termostatik penyarna tekanan external.

2.3.4 Evaporator

Evaporator merupakan bagian dari system, dimana refrigerant 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 refrigerant. Temperatur pendidihan refrigeran dalam evaporator harus selalu lebih rendah dari medium disekelilingnya supaya panas dapat mengalir ke refrigerant. Kapasitas dari unit pemindah panas atau evaporator ini dapat diperoleh dengan persamaan ;

$$Q = U \times A \times (t_2 - t_1) \quad (\text{Ref 10, hal 155})$$

Dimana : Q = besarnya perpindahan panas, W

U = koefisien perpindahan panas , $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

A = Luas permukaan evaporator, m^2

t_2 = temperatur bagian luar evaporator, $^\circ C$

t_1 = Temperatur bagian dalam evaporator, $^\circ C$

pada tugas akhir ini di pakai evaporator jenis ekspansi kering, dimana cairan refrigerant yang diekspansikan melalui katup ekspansi. Evaporator jenis ini tidak membutuhkan banyak refrigeran. Bentuk kontruksi evaporator berupa evaporator bentuk koil, yang mana lengkungan koil disesuaikan dengan bentuk cold storage. Koefisien perpindahan panas permukaan koil evaporator ($h_{o_{ev}}$), dapat di tentuka dari lampiran, sedangkan koefisien perpindahan panas permukaan dalam ($h_{i_{ev}}$) dihitung dengan persamaan :

$$(h_{o_{ev}}) = \frac{(j_h \times k \times Pr^{0.33})_{ev}}{id} \quad (\text{Ref 10, hal 26\&224})$$

Dimana : id_{ev} = diameter dalam evaporator, m

k_{ev} = konduktivitas refrigerasi pada suhu evaporator, $W/m. \text{ } ^\circ C$

Pr_{ev} = bilangan prandtl

$J_{h_{ev}}$ = faktor perpindhhan panas

Sedangkan koefisien perpindahan panas permukaan (film) pipa ($h_{i_{ev}}$) adalah sebagai berikut

Tugas Akhir

$$(h_{i_{ev}}) = \frac{(h_i \times i_d)}{od}_{ev} \quad (\text{Ref 10, hal 233})$$

Sedangkan koefisien perpindahan panas menyeluruh netto $U_{c_{ev}}$ adalah,

$$U_{c_{ev}} = \frac{(h_o \times h_{i_o})}{h_o + h_{i_o}}_{ev} \quad (\text{Ref 10, hal 233})$$

Koefisien perpindahan panas karena tahanan thermal pengotoran ($h_{d_{ev}}$) adalah :

$$h_{d_{ev}} = \frac{(l)}{Rd}_{ev} \quad (\text{Ref 10, hal 233})$$

dimana : Rd_{ev} = faktor pengotoran.

Sehingga koefisien perpindahan panas total ($U_{d_{ev}}$) adalah

$$U_{d_{ev}} = \frac{(U_c \times h_d)}{U_c \times h_d}_{ev} \quad (\text{Ref 10, hal 23&237})$$

Untuk menghitung luas permukaan pipa evaporator ($A_{o_{ev}}$), maka harus dihitung dahulu nilai LMTD yang dapat diperoleh, atau dari tabel LMTD pada lampiran F.3

$$A_{o_{ev}} = \frac{(Q_e)}{U_d \times LMTD}_{ev} \quad (\text{Ref 10, hal 23&237})$$

Dimana, Q_e = kapasitas refrigerasi, kW

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

$$L_{e_{ev}} = \frac{(A_o)}{\pi \times od}_{ev} \quad (\text{Ref 10, hal 23&237})$$

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

2.3.5 Receiver

Receiver adalah merupakan tabung yang digunakan untuk menampung sementara refrigeran yang dicairkan di dalam 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 sitem yang kecil. Saluran pipa refrigeran 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 :

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

Dimana : Vol_{rce} = volume refrigeran cair di evaporator, m^3

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

Untuk volume liquid line, Vol_{ll} dan volume refrigeran di suction line, Vol_{pke} , masing-masing dinyatakan sebagai berikut :

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

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

Sehingga volume receiver,

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

Dimana : Vol_{ll} = Volume saluran

L_{ll} = panjang total pipa liquid line, m

id_{ll} = diameter dalam liquid line, m

L_{pke} = panjang total pipa evaporator, m

id_{pke} = diameter dalam pipa evaporator, m

2.4 Pengetahuan Air Yang Didinginkan

2.4.1 Batasan dan pengertian air yang didinginkan

Istilah “air yang didinginkan” yang digunakan dalam seluruh naskah ini berkaitan dengan suatu metode pendinginan ikan yang memanfaatkan air yang didinginkan sebagai medium pendingin. Guna menurunkan suhu ikan basah serendah mungkin mencapai -1°C dengan maksud utama mengawetkan ikan. Melihat praktek yang berlangsung secara operasional dalam penangkapan, penanganan dan pengolahan ikan, maka air yang didinginkan dapat didefinisikan “adalah berbagai jenis air tawar atau air asin yang mempunyai mutu kesehatan yang diizinkan yang didinginkan dengan cara penambahan es atau direfrigasi mekanik agar suhunya berada sekitar 0°C sampai -1°C yang digunakan untuk menurunkan suhu dan memelihara tetap dingin ikan basah supaya awet selama penyimpanan, pengangkutan dan pengolahan” (Ref 9, hal 96)

Kelebihan dan keunggulan air yang didinginkan terhadap es sebagai medium pendingin ikan adalah kemampuan besar air dingin menyerap panas dari ikan. Karena sekujur tubuh ikan berkontak langsung dengan air dingin maka pergantian panas antara air dingin dan ikan berlangsung cepat, ikan cepat menurun suhunya. Kalau suhu ikan cepat turun mencapai -1°C yakni suhu di mana laju pertumbuhan bakteri minimum, maka daya awet ikan menjadi lebih panjang sedangkan rupa dan teksturnya lebih baik. Dengan mempertimbangkan kemungkinan jenis air yang digunakan (apakah air tawar, air laut atau air garam) dan cara pendinginan yang diterapkan (dengan penambahan es atau refrigerasi mekanik), secara keseluruhan diperoleh enam jenis air yang didinginkan sesuai kombinasi berikut, yakni :

- a) Air didinginkan dengan es, disingkat ADI (chilled fresh-water, CFW),
- b) Air direfrigerasi, AREF (refrigerated fresh-water, RFW),
- c) Air laut didinginkan dengan es, ALDI (chilled sea-water, CSW),
- d) Air laut direfrigerasi, ALREF (refrigerated sea-water, RSW),
- e) Air garam didinginkan dengan es, AGADI (chilled brine, CB), dan
- f) Air garam direfrigerasi, AGAREF (refrigerated brine, RB)

Perlu dicamkan, bahwa pada jenis air asin (air laut dan air garam) yang didinginkan dengan cara penambahan es, yakni ALDI dan AGADI, kadar garamnya tidak tetap, cenderung menjadi lebih encer. Selain itu perlu diingat bahwa selama penyimpanan ikan didalam air yang didinginkan itu, mengumpul pula bahan-bahan seperti darah, lender, bakteri dan lain-lain senyawa yang dihasilkan oleh perubahan-perubahan khemikal dan microbial pada ikan, kadar bahan dan mikroba itu di dalam air dingin penyimpanan ikan itu akan dipengaruhi pula oleh penambahan es pada pendinginan.

2.4.2 Latar Belakang Penggunaan Air yang Didinginkan

Sejarah penggunaan air yang didinginkan bagi tujuan mendinginkan ikan belumlah lama, baik pengungkapan ilmiahnya maupun pengembangan teknik dan aplikasinya dilapangan.

2.4.2.1 Pengungkapan ilmiah

Seperti sudah diuraikan di atas, suhu memainkan peranan yang sangat penting pada penurunan mutu ikan basah. Sudah pula diketahui, penyebab utama penurunan mutu ikan adalah kegiatan bakteri, disamping kegiatan enzyme dan reaksi kimiawi. Justru pada penyebab utama itulah suhu sangat berperan sangat besar. Titik beku daging ikan berada pada suatu deret suhu antara $-1,1^{\circ}\text{C}$ hingga $-2,2^{\circ}\text{C}$ khusus pada pendinginan ikan basah (Ref 9, hal 96), wilayah yang kritik antara lain adalah sekitar deret suhu 0°C sampai -1°C , baik ditinjau dari sifat fisik jaringan daging ikan maupun dari segi laju kegiatan bakteri. Sudah banyak pengetahuan dihimpun yang membuktikan bahwa suhu sedikit di atas titik beku ikan, tepatnya -1°C pada pusat thermal ikan adalah suhu yang ideal bagi pendinginan ikan basah. Lebih rendah dari -1°C , daging ikan akan membeku dan merusak tekstur daging berhubung proses pembekuan itu berlangsung lambat.

Pada 1929 Ernest Hess aktif sekali mempelajari pengaruh suhu sekitar 0°C terhadap laju pembusukan bakteri pada ikan dengan berlandaskan pengetahuan bahwa ikan akan membusuk jauh lebih lambat dalam air laut yang didinginkan dengan es (sekitar -1°C) dari pada kalau disimpan dalam hancuran es pada 2 atau 3°C . karya Hess ini merupakan sumbangan yang

paling penting dan fundamental bagi pengetahuan pembusukan ikan karena dibuktikan bahwa ikan membusuk dua kali lebih cepat pada 2,5°C dibandingkan pada - 1,1°C (Tarr, H.L.A 1960). Alasannya, adalah fakta bahwa, tidaklah seperti daging dari binatang berdarah panas, ikan secara alamiah dihuni oleh bakteri psikrofilik, beberapa di antaranya bertumbuh pada - 7,5°C. Sayangnya, sedikit sekali nelayan mengambil manfaat dari kenyataan ini. Rupanya ada pentingnya, Le Danois dalam 1920 memastikan patent perancis menyimpan dalam air laut yang didinginkan (ALDI) pada - 4°C, suhu ini tidak dapat dicapai tanpa penambahan garam ke dalam air laut biasa. Hanya sayangnya pada - 4°C ikan akan mengalami pembekuan lambat yang tidak diinginkan. Selain karya Ernest Hess, banyak pula terhimpun pengetahuan mengenai tingkah laku ikan dan bakteri pada deret suhu rendah, berikut perubahan fisik dan khemikal yang berlangsung pada ikan.

Pada ikan yang berlemak, seperti herring, kembung, sardine, sand-eel dan lain-lain, jelas sekali terlihat pengaruh perubahan musim terhadap kondisi dan komposisi ikan, kadar protein ikan hampir tetap, tetapi kadar lemak, isi rongga perut(viscera), dan lain-lain bervariasi sangat besar. Isi perut herring Norwegia adalah 10% dari berat total ikan pada musim panas, tetapi berkurang menjadi sekitar 2% dalam musim dingin ketika ikan mendekati musim bertelur dan tidak makan. Pada jenis ikan berlemak, minyaknya berada dalam viscera dan dalam daging. Viscera ikan mengandung enzim-enzim proteolitik dan lipolitik, pada herring enzim isi perutnya luar biasa kemampuannya dibanding dengan enzim daging. Proses proteolisis dan lipolisis yang dialami ikan berlemak pada saat perutnya kenyang makanan, menjurus kearah "terbusai perut" (belly burst) dan kehilangan berat selama penyimpanan ikan basah utuh. Proses penguraian oleh enzim sukar dipisah dari enzim bakterial. Bakteri yang terdapat pada isi perut, kulit dan insang ikan segar, selama penyimpanan akan berbiak dan menyerang daging dan jaringan tubuh lainnya. Metabolisme bacterial mengakibatkan pembentukan basa-basa dan asam-asam terbang atau

menguap (volatile), termasuk hydrogen sulfide (Harrisen, dan kawan-kawan, 1974).

Mengenai kemungkinan untuk memanfaatkan air laut yang didinginkan (ALDI), suatu laporan yang diterbitkan dalam 1947 (Tarr, 1960) mengemukakan bahwa : “Air laut bersih atau air garam 3% yang didinginkan dengan es hancuran atau dengan cara lain mempunyai suhu sekitar $-1,7^{\circ}\text{C}$ dan mungkin dapat mempunyai arti di dalam tangki penyimpanan ikan dengan manfaat yang sama seperti tangki air garam yang direfrigerasi pada kapal-kapal tuna.” Beberapa tahun kemudian dilaksanakan eksperimen pada kapal trolling salmon, ikan disimpan dalam tangki berisi air laut bersirkulasi yang direfrigerasi secara mekanik. Hasilnya sangat memuaskan sehingga ditiru oleh beberapa kapal swasta lainnya. Teknik ini tidak terbatas hanya diterapkan pada salmon, tetapi juga meluas pada jenis halibut, jenis ikan berukuran kecil, dan juga pada penyimpanan salmon di darat sebelum dikalengkan.

2.4.3 Latar Belakang Kegiatan Penanganan dan Pengolahan

pada operasi penanganan ikan di kapal, misalnya diatas kapal trawl pembeku (freezer trawler) selalu dihadapi masalah penundaan dari pengerjaan persiapan ikan (pemotongan, penyiangan, penyayatan filet, pencucian, dan lain-lain) yang menghadapkan pada resiko ikan membusuk sebelum sempat diolah atau dibekukan di kapal (anonymous, 1975). Masalah penundaan yang sama dihadapi pula pada pembongkaran muatan ikan basah di pelabuhan, dan juga dipabrik pengolahan. Kesukaraan itu, dapat diatasi dengan cara memanfaatkan teknik pendingin ikan dengan air yang didinginkan.

2.4.4 Beberapa Kelebihan dan Kekurangan dari Metode Air yang Didinginkan Terhadap Metode Pengesan.

2.4.4.1 Beberapa kelebihan umum dan khusus dari metode air yang didinginkan

a) Daya awet ikan agak diperpanjang

Suhu penyimpanan ikan dapat diatur lebih rendah, suhu pada pusat thermal ikan dapat direduksi menjadi -1°C , dengan demikian mampu menekan perbiakan bakteri pembusuk, sehingga daya awet lebih panjang.

b) Ikan kurang mengalami tekanan.

Pada metode penanganan ikan dengan air dingin, ikan hampir bebas dari tekanan berat dari ikan yang berada di atasnya, seperti yang terjadi pada metode pengesan. Pada pengesan ikan yang berada paling bawah di dasar tumpukan, akan rusak secara fisik, tergecet, memar bekas es, dan penyret yang memungkinkan isi perut keluar, mutu dan harganya jatuh.

c) Laju pendinginan berlangsung lebih cepat dan mudah.

Teristimewa terhadap udang dan ikan pelagic berukuran kecil (sardine, lemuru, laying, dan kembung), teknik air laut yang didinginkan ini sangat menguntungkan waktu, menghemat tenaga pekerja dan ekonomis pada penanganan hasil tangkapan di laut, pembongkaran muatan di dermaga dan pengolahan di pabrik, dibandingkan dengan cara pengesan.

2.4.4.2 Beberapa kekurangan dari metode air yang didinginkan

- a) Mungkin ikan menyerap garam secara berlebihan (pada penggunaan metode ALREF, AGADI dan AGAREF).
- b) Penyerapan air oleh species ikan berkadar Lemak rendah.
- c) Kerugian oleh hanyutnya sedikit protein larut (soluble protein) dari ikan.
- d) Kesukaran dalam masalah sanitasi dan hygiene.

2.4.5 Prinsip dan Persyaratan Teknik Pendinginan dengan air yang didinginkan

Prinsip dasar dari pendinginan ikan dengan air dingin adalah "mendinginkan ikan dengan air dingin agar suhu ikan cepat turun mencapai 0°C sampai -1°C dan penyimpan ikan pada suhu rendah tersebut agar tetap awet" (Ref 9, hal 99). Pencapaian suhu ikan antara 0 sampai -1°C bertujuan agar laju pertumbuhan bakteri, proses autolisis, dan reaksi kimiawi dikurangi menjadi minimum agar ikan lebih awet. Guna mencapai maksud

di atas dalam aplikasi teknik pendinginan ikan dengan air dingin, perlu diperhatikan beberapa persyaratan berikut :

- a) Wadah air dingin yang baik. Wadah air dingin untuk menyimpan ikan harus memenuhi beberapa persyaratan dalam konstruksi dan materialnya agar bakteri tidak terhimpun di dalam wadah dan tidak pula mencemari ikan. Wadah harus kedap air dan tidak atau sedikit sekali mengalami kebocoran panas dan dingin, sebaiknya wadah diinsulasi. Di kapal ikan itu berbentuk tangki yang dipasang dalam kapal atau berbentuk peti kemas air dingin (chilled water container) yang dapat dipindah-pindahkan baik di kapal maupun di darat.
- b) Air yang didinginkan harus cepat menurunkan suhu ikan dan memelihara ikan pada tingkat suhu rendah tersebut. Untuk itu perlu diciptakan air dingin dengan suhu rendah sekitar -1°C agar ikan cepat menjadi dingin. Artinya cepat berlangsung pergantian panas antara air dingin dan ikan. Pergantian panas yang efektif dapat diperoleh dengan mengedarkan dan membagi air sekitar ikan. Sirkulasi dan distribusi air dingin yang efektif adalah dengan cara menggerakannya secara mekanik dengan menggunakan pompa-pompa dan perpipaan (Piping) yang baik kerjanya. Pada teknik pendinginan dengan air dingin tanpa sirkulasi (tidak menggunakan pompa) akan terjadi perbedaan tingkat panas pada setiap titik atau wilayah dari air dingin dalam wadah. Stratifikasi thermal ini, apalagi pada air dingin yang didinginkan hanya dengan penambahan es saja, perlu diatasi agar pendinginan ikan merata. Guna mendinginkan air pendingin ikan tersebut diperlukan refrigerasi. Kebutuhan refrigerasi dalam hal ini meliputi usaha :
 - Menyerap panas (kilokalori) dari ikan untuk menurunkan suhu ikan dari suhu awal (misalnya pada 20°C) ke suhu rendah sekitar 0°C sampai -1°C .
 - Menyerap panas agar ikan tetap rendah suhunya sekitar 0 sampai -1°C selama penyimpanan dan menyerap panas dari kebocoran panas dari luar ke dalam air di dalam wadah.

Kalau kebutuhan refrigerasi diandalkan hanya dari penambahan hancuran es saja, maka perlu diperhatikan perbandingan air : es dan penambahan es secara teratur untuk mempertahankan suhu rendah. Kalau air yang digunakan asin (air laut atau air garam) maka penambahan es akan dapat menurunkan suhu sampai beberapa derajat di bawah 0°C. Pada penggunaan refrigerasi mekanik, sistem absorpsi atau kompresi, sistem refrigerasi primer atau sekunder dan lain-lain, yang perlu diperhatikan adalah kemampuan system itu menyerap panas dari sejumlah ikan saat dimasukkan ke dalam air dingin. Kebutuhan refrigerasi dapat juga diandalkan dari pemanfaatan keduanya, refrigerasi mekanik dan penambahan es.

- c) Persyaratan memelihara mutu ikan. Yang perlu diusahakan adalah selama ikan disimpan dalam air dingin, ia tidak mengalami perubahan mutu organoleptik (rupa, rasa, bau dan tekstur), fisik, kimiawi dan mikrobial yang gawat. Pada penggunaan air asin dingin (air laut atau air garam) mungkin terjadi perubahan warna yang gawat pada daging ikan, oksidasi lemak dan tanggalnya sisik, dapat dikurangi. Pada tingkat eksperimen perlu diuji perbandingan yang optimum antara jumlah ikan yang dimasukkan dalam satuan volume air. Artinya densitas ikan, air atau berapa kg ikan per liter atau meter kubik air. Tingkat penyerapan garam ke dalam ikan mempengaruhi mutu teknologis, biologis dan mutu komersial dari ikan yang didinginkan dengan air asin.
- d) Persyaratan sanitasi dan hygiene. Merupakan persyaratan yang paling penting. Seluruh sistem, setiap metode, teknik dan peralatan serta bahan yang digunakan dalam teknologi pendingin ikan dengan air dingin perlu berlandaskan pada prinsip dan ketentuan sanitasi dan hygiene dalam cara berproduksi yang baik (good manufacturing practice, G.M.P) untuk pangan. Untuk memenuhi persyaratan ini, perlu diperhatikan ketentuan dalam peraturan departemen kesehatan. Persyaratan ini meliputi ketentuan :
- Disain, konstruksi serta material yang baik dari peralatan agar tidak mencemari ikan yang disimpan dalam wadah air dingin itu,

jumlah panas (kilokalori) yang harus diserap dari ikan, untuk menetapkan kebutuhan refrigerasi.

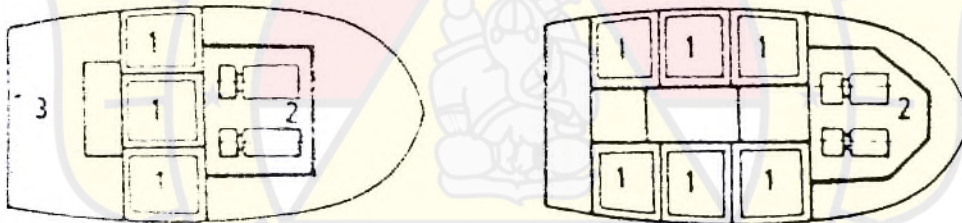
- Jenis ikan. Apakah ikan dasar yang umumnya kurang berlemak atau ikan pelagik yang umumnya berlemak. Bagaimana variasi kadar lemak pada ikan sehubungan dengan fluktuasi musim, siklus atau usia hidup ikan dan lain-lain. Perlu pula diperhatikan kandungan senyawa tertentu pada suatu jenis ikan, misalnya kadar urea pada cucut, pari dan lain-lain.
 - Ukuran ikan kecil cepat turun suhunya dalam air yang didinginkan. Sebaliknya ikan besar atau tebal dagingnya, sangat lambat penurunan suhunya.
 - Keadaan dan bentuk ikan. Kalau ikan didinginkan dalam bentuk utuh, perlu pula diamati apakah ikan berada dalam keadaan kenyang perutnya ("feedy") ataukah lapar ("non-feedyfish"). Perlu pula diperhatikan apakah ikannya disiangi, di-filet atau dibuang kepala (misalnya udang, lobster) saat disimpan dalam air dingin. Gambar 1 adalah cakalang yang ditangkap dalam keadaan perut kenyang, perut itu kemudian terbusai pada penyimpanan.
 - Perbandingan ikan terhadap volume air dingin
 - Sifat-sifat thermal ikan. Misalnya panas spesifik, konduktivitas thermal dan lain-lain, dari ikan pada suhu di atas 0°C dan pada suhu dekat pada titik beku ikan (sekitar - 1°C)
- b) Jarak penurunan suhu ikan, sejumlah berat tertentu ikan, perlu diketahui berapa suhu awal (misal suhu pada saat ikan di tangkap, 23°C) dan perlu ditetapkan suhu akhir ikan harus didinginkan (misal, sampai suhu - 1°C). Juga perlu diketahui berapa lama waktu pendinginan yang didinginkan (laju pendinginan) dan berapa lama ikan akan disimpan dalam air dingin itu.
- c) Lokasi teknik pendinginan di mana akan diterapkan, di kapal, di darat atau di pabrik pengolahan. Di samping itu, perlu diperhatikan jenis refrigerasi yang akan diterapkan, dengan es saja, refrigerasi mekanik saja, atau kombinasi keduanya.

- Di kapal. Kalau diterapkan di kapal, perlu diketahui jenis kapal sehubungan dengan penangkapan jenis ikan tertentu (udang, kembang, atau lainnya), ukuran dan bentuk kapal, keadaan cuaca, suhu air laut, suhu udara, keadaan stabilitas kapal dan lain-lain.
 - Di daratan, apakah akan diterapkan di pabrik pengolahan atau untuk pengangkutan ikan.
- d) Jenis air (air tawar, air laut atau air garam). Perlu dipertimbangkan kemungkinan penyerapan garam oleh ikan, berapa kadar garam dari air yang didinginkan, bagaimana hubungan antara suhu dan kadar garam yang selalu berubah.

2.4.7 Peralatan air yang didinginkan di atas kapal.

Wadah bagi penyimpanan ikan dalam air yang didinginkan dapat berbentuk tangki penyimpanan ataupun wadah peti kemas air yang didinginkan (chilled water container). Lihat gbr 2

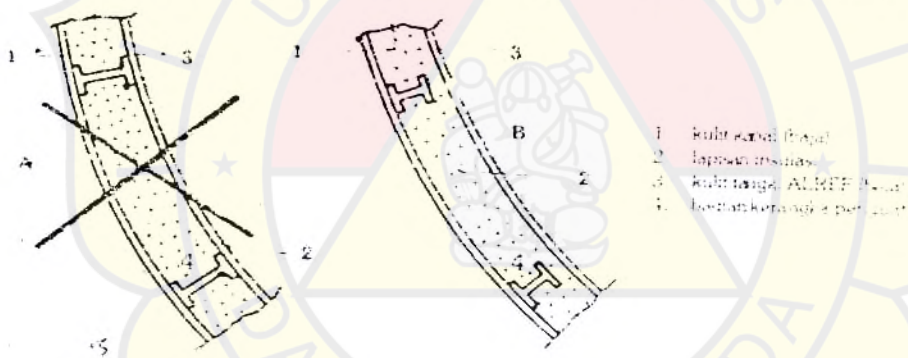
a). Wadah air yang didinginkan. Tangki penyimpanan.



Gbr 2. susunan tangki-tangki ALREF pada dua kapal ikan berukuran kecil.
1. tangki ALREF, 2. kamar mesin, 3. palka ikan.

Gambar 2 memperlihatkan susunan tangki-tangki ALREF pada kapal ikan berukuran kecil. Tangki penyimpanan itu biasanya dibagi atas sejumlah kompartemen atau seksi, biasanya tidak kurang dari tiga, yang masing-masing volumenya mencapai 100m^3 . Bagian permukaan bebas di puncak tangki sering direduksi ukurannya samapi tidak lebih dari sebesar corong tutup untuk memuat ikan. Tipe konstruksi sempit atau berleher di puncak ini bersamaan dengan mengusahakan pengisian penuh setiap tangki, akan mencegah gerakan berlebihan ikan karena goyangan kapal sehingga ikan tidak rusak dan memberi stabilitas pada kapal. Tangki itu harus kedap

air, mudah dibersihkan dan tidak mengakibatkan pencemaran terhadap ikan. Tangki dapat dibuat dari baja, plastic diperkuat gelas (glass reinforced plastic) atau aluminium. Yang paling banyak digunakan adalah tangki baja dan biasanya dilapisi dengan senyawa pelindung anti-korosif yang baik, antara lain epoxy-resins, lapisan pelindung thiocol yang berdasar karet, dan cat bituminous yang tidak beracun. Tangki logam biasanya diinsulasi. Kalau insulasi jelek kebutuhan refrigerasi, baik yang mekanik maupun berupa es akan besar. Tangki yang dilas langsung kepada kerangka kapal dan hanya diinsulasi di dalam rongga antara kerangka akan mengalami kebocoran panas sepuluh kali lebih besar dari pada tangki yang diberi insulasi sempurna antara lembaran tangki dan kerangka palka ikan. Gambar 3 memperlihatkan cara insulasi yang salah dan yang benar. Oleh karena itu dianjurkan menggunakan insulasi yang baik setebal tidak kurang dari 5 cm yang dipasang antara lembaran baja tangki dan kerangka palka ikan.

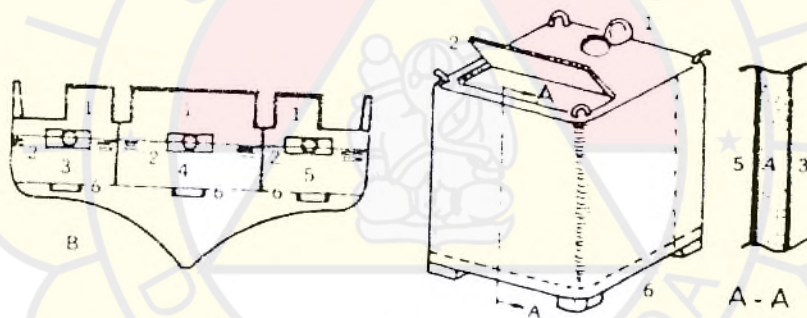


Gambar 3. konstruksi pengelasan dinding tangki (baja) ALREF kepada kulit (baja) kapal.

- A. Konstruksi yang salah. Panas berkonduksi dari 1 melalui 4 menuju 3. kebocoran panas besar. Insulasi tidak sempurna
- B. Konstruksi yang benar. Tidak ada hubungan titian panas antara 1 dan 3. Teknik insulasi sempurna

Pembuatan tangki aluminium membutuhkan teknik pengelasan khusus, sedangkan tangki yang dibuat dari glass reinforced plastic dapat rusak atau pecah oleh benturan keras akibat system pembongkaran ikan secara mekanik. Pada kapal kayu khususnya, tangki penyimpanan dapat

dapat di buat dari marine plywood lapisan ganda dengan semua sambungan dibuat tidak tetap dan permukaan bagian dalam diberi lapisan pelindung yang kedap air. Tangki kayu boleh diinsulasi, antara tangki dan sisi atau kulit kapal disediakan selapis rongga untuk memungkinkan ventilasi dan penirisan (drainage) untuk mencegah pelapukan kayu. Wadah untuk penyimpanan ikan dalam air yang didinginkan dapat pula dibuat berupa peti dari logam (besi, aluminium dan lain-lain), dari fiber glass, dari kayu atau lainnya. Keadaannya mungkin tidak berinsulasi, yang paling baik adalah yang berinsulasi. Suatu system penanganan ikan (herring) untuk dikalengkan dipabrik yang letaknya jauh di pedalaman, sudah dicoba untuk di kembangkan di Inggris (Eddie, 1974), system ini dinamakan “penyimpanan peti kemas ikan dalam air laut yang didinginkan” (Containerized stowage in chilled sea-wwater). Konstruksi dari peti kemas ikan dalam air laut yang didinginkan itu, tertera pada gambar 4.



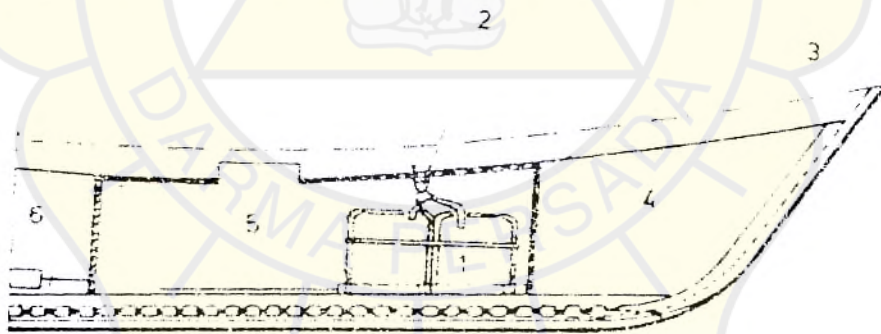
Gambar 4

- A. Peti kemas aluminium standar
- B. Susunan tangki ALDI atau ALREF. Pada sistem ALREF air laut disedot dari puncak tangki melalui alat pendingin dalam kamar refrigerasi, lalu dikembalikan ke tangki saluran yang dipasang pada alas tangki.

<p>A. Peti kemas aluminium diinsulasi.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tutup pengisian ikan 2. Tutup pengeluaran ikan 	<p>B. Susunan tangki tetap untuk penyimpanan ALDI atau ALREF, di kapal.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tutup pengeluaran ikan, bongkar cara tonggak atau penghisapan,
---	---

3. Peti Aluminium	penyedotan
4. Insulasi 5 cm	2. Penyedotan terapung
5. Selubung luar, fiberglass	3. Tangki sisi
6. Dasar aluminium berlapis dua, diisi insulasi	4. Tangki tengah
	5. Tangki sisi
	6. Saluran pengembalian ALREF

Bentuk standar dari peti kemas itu, dibuat dari aluminium, kapasitas 2,1m³, dan dapat diubah (dimodifikasi). Modifikasi dapat berupa, penyelubungan dengan insulasi setebal 5 cm dan jacket fibreglass dan pengaturan khusus cara pengisian dan pengosongan peti. Dalam perjalanan ke wilayah penangkapan, peti ditaruh dalam palka, dan masing-masing diisi 450 kg es. Setelah herring tertangkap, peti berisi es itu diisi air laut 500 L dan sejumlah 1350 kg herring dimasukkan kedalam peti melalui celah di dek dan pada bagian atas peti, perhatikan gambar 4. Agar suhu dari campuran isi peti seragam, isinya diaduk dengan udara yang dimampatkan. Setibanya dipelabuhan, peti dapat langsung dimuat keatas truk dan diangkut ke pabrik. Ikan dapat disimpan dalam peti itu sampai saat akan diolah. Gambar 5 memperlihatkan susunan 4 buah peti kemas di dalam palka.



Gambar 5. Peti kemas sistem ALDI

1. empat peti kemas
2. jalan peti untuk bongkar
3. tutup untuk bongkar peti
4. kompresor rotary
5. unit keran 4 jalan

6. udara yang dimampatkan

Hasil yang mengesankan dari teknik yang dikembangkan ini adalah bahwa mutu herring dalam peti kemas air laut yang didinginkan ini adalah unggul dibandingkan dengan cara konvensional pengesakan dalam peti biasa. Ikan yang sangat lunak berkadar lemak tinggi keadaan mutunya masih dapat diterima sesudah disimpan dalam air laut yang didinginkan 3 sampai 4 hari. Ikan yang lebih kuat teksturnya, daya awetnya jauh lebih panjang.

b) Peralatan untuk sirkulasi air. Pompa dan perpipaan.

Untuk mempercepat pergantian panas antara air dingin dan ikan agar ikan cepat menjadi dingin, air dingin itu perlu diedarkan. Laju sirkulasi itu harus cukup menjamin distribusi suhu (dingin) yang seragam di seluruh wadah. Untuk maksud tersebut dapat digunakan salah satu dari beberapa metode sirkulasi. Disain tangki dan peralatan pendingin perlu memperhatikan pengaturan sirkulasi di dalam tangki di samping pengeluaran (delivery) dan pengisapan (suction) agar arus merata di seluruh tangki.

Beberapa kemungkinan pengaturan sirkulasi :

- Sirkulasi dari bagian bawah ke bagian atas tangki,
- Sirkulasi dari bagian atas ke bawah, memungkinkan sirkulasi di dalam tangki yang diisi sebahagian, misalnya pada pendinginan dan pengisian pendahuluan,
- Air disupply ke dalam tangki melalui suatu distributor di bawah bagian tangki yang menghasilkan arus merata dan tidak deras. Pada posisi vertikal pada satu sisi dari tangki dipasang alat penyaring pengisapan (suction screen) yang besar. Hasilnya memuaskan.
- Menyemprotkan air yang dipompakan sepanjang sisi-sisi dari tangki.

Dilihat dari efisiensi pergantian panas atau kecepatan pendinginan, maka sistem air yang didinginkan itu dapat dibedakan atas:

- Sistem yang menggunakan es untuk pendinginan, tanpa usaha mekanik untuk sirkulasi. Kemampuan pendinginannya rendah, hanya berlangsung sirkulasi alami dan sedikit gerakan karena goyangan,

- Sistem yang menggunakan refrigerasi mekanik untuk mendinginkan air. Sistem ini tidak akan efisien dan tidak cepat mendinginkan ikan kalau tidak diusahakan suatu laju sirkulasi dengan menggunakan pompa.

Pada sistem yang didingin dengan es perlu dilakukan usaha dengan pompa atau pengaduk (agitator) untuk menggerakkan air. Sedangkan pada sistem dengan refrigerasi mekanik alat pendingin air (water chiller) yang dilengkapi pompa, laju pemompaan itu beberapa kali lebih besar. Untuk tugas sirkulasi itu dapat dipasang satu pompa untuk setiap tangki diatas kapal, dapat juga satu pompa bertugas melayani sejumlah tangki dengan suatu pengaturan arus secara paralel. Yang biasa digunakan adalah jenis pompa sentrifugal, yang penting diusahakan adalah kecocokan antara karakteristik pompa itu dengan keperluan menurut disain. Pemilihan pompa yang keliru, akan menimbulkan pengudaraan (aerasi) air yang diderakan yang menyebabkan pembuihan yang berlebihan. Jenis pompa dan fitting (keran, sambungan dan lain-lain) yang sudah sukses digunakan bagi sistem sirkulasi air yang didinginkan (teristimewa air laut dan garam) adalah jenis Polyethylene. Ia tahan karat, sedangkan bagian dalamnya halus, mudah dibersihkan. Hanya pada tempat atau bagian yang mungkin mengalami kerusakan fisik dapat digunakan jenis pipa lain. Penggunaan jenis-jenis logam yang berlainan bahan keunsurannya perlu dihindarkan agar tidak terjadi pengaratn elektrolitik yang gawat.

c) Keperluan refrigerasi bagi air yang didinginkan

keperluan refrigerasi bagi pendinginan ikan dengan air yang didinginkan dapat dipenuhi oleh penambahan es saja, atau refrigerasi mekanik saja, atau gabungan penambahan es dan refrigerasi mekanik.

- Pendingin dengan penambahan es saja. Cara yang mudah untuk menyediakan air yang didinginkan adalah dengan cara menambhkan es (sebaiknya es hancuran atau es curah) kepada air tawar, air laut atau air garam yang akan didinginkan, jadi, sama sekali tidak menggunakan refrigerasi mekanik yang mahal pemasangannya dan menyukarkan dalam operasi dan

pemeliharaannya. Untuk meningkatkan efek pendinginan dengan air yang didinginkan itu, boleh ditambahkan memasang pompa sirkulasi, yang dapat mengedarkan campuran es dan air dengan bagian air samapi serendah 10%, atau memasang alat pengaduk (agitator) untuk meratakan suhu atau dingin yang seragam pada air dalam tangki. Biasanya, sekali ikan sudah didinginkan dengan suhu air yang seragam, hanya sedikit atau sesekali pengadukan yang diperlukan, asal saja dapat diusahakan es terbagi merata di seluruh tangki dan es cukup tersedia untuk tambahkan ke dalam air dingin itu pada jangka waktu tertentu (secara periodik). Kebutuhan jumlah es untuk mendinginkan ikan itu dapat dihitung dengan rumus dengan memperhatikan suhu air yang akan didinginkan, suhu dan berat ikan yang akan didinginkan, suhu akhir dari ikan yang didinginkan, suhu luar lingkungan tangki, lamanya waktu penyimpanan yang diperkirakan, dan bagai mana keadaan insulasi dari tangki atau peti penyimpanan. Pada tangki yang tidak diinsulasi, penggunaan es besar sekali. Sebagai kambaran saja, dapat dikemukakan contoh suatu tangki yang menyimpan 25 ton ikan, sedangkan suhu lingkungan sekitar 20°C, maka keperluan penambahan es selama masa penyimpanan saya, adalah (*ice in Fisheries, FAO Fish Rep., 1974*)

0,3 ton es/hari untuk tangki yang diinsulasi dengan baik
3 ton es/hari untuk tangki yang jelek insulasinya, dan
15 ton es/hari untuk tangki yang tidak diinsulasi

- Pendinginan dengan refrigerasi mekanik saja. Kalau air untuk mendinginkan ikan itu didinginkan hanya dengan cara refrigerasi mekanik, maka besar keperluan refrigerasi untuk itu dapat dihitung. Faktor-faktor yang perlu diperhitungkan, antara lain adalah, berapa besar jumlah (berat) ikan yang didinginkan, suhu awal ikan, suhu akhir ikan akan didinginkan, keadaan lingkungan. Beban refrigerasi untuk pendingin awal dan untuk penyimpanan pada suhu rendah itu (misalnya - 1°C) perlu pula

memperhitungkan suhu awal dari air yang akan didinginkan, keadaan insulasi dari wadah air pendingin (apakah diinsulasi atau tidak), kemungkinan kebocoran panas ke dalam wadah (tangki), panas yang berasal dari peralatan (pompa sirkulasi air) dan lain-lain.

d) Peralatan refrigerasi mekanik untuk sistem air yang didinginkan di kapal laut.

Peralatan untuk mendinginkan air dan ikan bagi operasi di laut menuntut persyaratan yang lebih berat dari pada operasi di darat, di pabrik pengolahan misalnya. Persyaratan yang berat ini bagi operasi di laut adalah wajar mengingat terbatasnya ruang yang tersedia di kapal, perlu mempertimbangkan stabilitas kapal dalam hubungannya dengan olah gerak kapal dan ayunan ombak gelombang laut, getaran mesin, sifat korosif air laut atau air garam dan lain-lain. Walaupun demikian, sistem pendingin ikan dengan air laut yang didinginkan sudah diterapkan lama di atas kapal penangkapan, pengolahan dan pengumpulan atau pengangkut dengan hasil memuaskan. Setelah menentukan keperluan refrigerasi yang akan digunakan, apakah mesin berdasarkan sistem absorpsi atau kompresi. Selanjutnya, harus pula ditetapkan pilihan pada tipe atau jenis evaporator dari alat refrigerasi pendingin itu. Efek refrigerasi untuk pendingin air laut atau garam ini dapat diperoleh dengan menggunakan jenis evaporator berbentuk permukaan (pipa) yang direfrigerasi yang dipasang dalam tangki air atau dengan cara mensirkulasikan air laut atau air garam melalui suatu alat pendingin air laut yang ditempatkan dalam kamar refrigerasi. Mengenai jenis refrigeran, dapat digunakan Refrigeran (freon) 12, Refrigeran 22, Refrigeran 717 (amonia) atau Refrigeran 134a. Beberapa negara melarang menggunakan amonia sebagai refrigeran di kapal. Penguapan (evaporasi) refrigeran di dalam evaporator dapat memanfaatkan tipe ekspansi kering atau langsung atau tipe banjir.

e) Pilihan akan jenis evaporator dari unit refrigerasi

jenis evaporator yang biasa digunakan adalah berbentuk permukaan yang direfrigerasi atau menggunakan alat pendingin air. Bagi cara

penguapan refrigeran di dalam evaporator, dapat menggunakan sistem ekspansi langsung atas sistem banjir.

- Permukaan yang direfrigerasi dalam tangki air laut.

Kebanyakan instalasi yang menggunakan air garam atau air laut untuk pendingin dan pembekuan ikan, memakai evaporator berbentuk gelungan pipa (Pipe coils) bagi permukaan (pipa) yang direfrigerasi. Ukuran dan jenis bahan gulungan pipa tergantung penggunaan jenis refrigeran tertentu. Sistem ammonia langsung yang memakai gulungan hanya pipa (telanjang) diameter 3,2 cm, akan menghasilkan laju perpindahan panas (faktor U) sebesar 73,2 kkal/jam/cm²/°C, kalau pipa di pasang di dalam larutan air garam yang diaduk. Faktor U itu akan lebih besar lagi kalau di pasang pompa sirkulasi air garam didalam tangki dan akan lebih meningkat lagi faktor itu kalau sistem ekspansi langsung di ganti dengan sistem gulungan pipa banjir. Kalau gelungan pipa pendingin ditaruh langsung di hadapan dinding sisi tangki air laut, maka pengaturan rongga sebesar 5,1 samapi 7,6 cm antara sisi tangki dan gelungan pipa yang memungkinkan sirkulasi air laut yang cepat meliputi gelungan pipa, akan memperbesar perpindahan panas antara gelungan pipa dan air laut didinginkan.

Penempatan permukaan yang direfrigerasi berbentuk gelungan pipa telanjang, gelungan pipa bersirip, atau pelat pada bagian terpisah dari tangki air laut dan diatur baik agar sirkulasi air laut meliputi permukaan yang direfrigerasi itu dengan kecepatan tinggi, akan meningkatkan laju pengaliran panas, dengan hasil sebagai reduksi dari luas permukaan direfrigerasi yang diperlukan. Pada instalasi dimana permukaan yang direfrigerasi ditaruh dalam kompartemen terpisah dalam tangki air laut dan diatur baik agar sirkulasi air laut meliputi permukaan yang direfrigerasi itu dengan kecepatan tinggi, akan meningkatkan laju pengaliran panas, dengan hasil sebagai reduksi dari luas permukaan direfrigerasi yang diperlukan. Pada instalasi dimana permukaan yang direfrigerasi

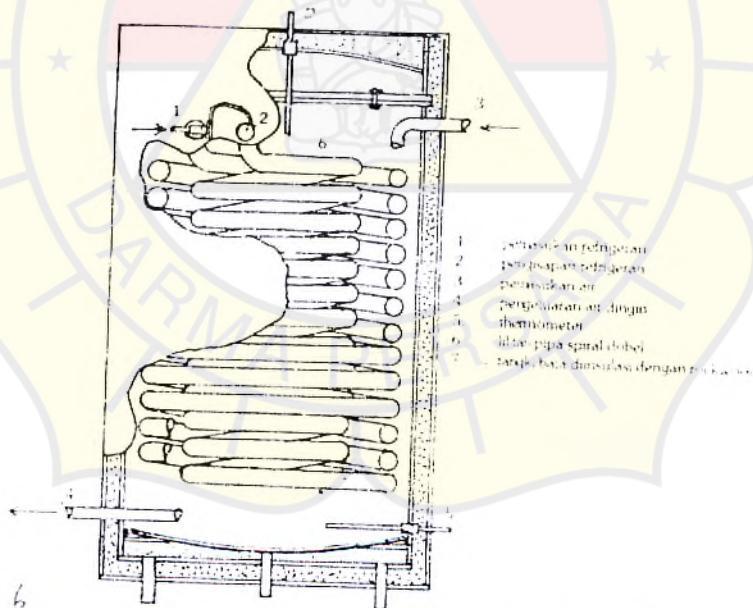
ditaruh dalam kompartemen terpisah dalam tangki air laut, atau dimana ikan dapat berkontak dengan permukaan yang direfrigerasi, dapat dipertimbangkan pemakaian gelungan pipa bersirip dengan jarak sirip tidak kurang dari 2,5 cm atau permukaan pelat yang direfrigerasi, oleh karena tingginya perpindahan panas per meter persegi. Kemungkinan pembentukan es pada permukaan yang direfrigerasi karena penurunan suhu film air yang meliputi pelat yang direfrigerasi di bawah titik beku, akan banyak mereduksi efisiensi permukaan direfrigerasi itu. Hal ini dapat dihindarkan dengan cara sirkulasi air yang positif sekitar seluruh permukaan yang direfrigerasi itu dan dengan menjaga selisih yang kecil antara suhu permukaan direfrigerasi dan suhu beku air laut.

- Mensirkulasi air melalui alat pendingin air pada evaporator.

Cara yang efisien menciptakan laju perpindahan panas yang tinggi adalah mengedarkan air tangki melalui alat khusus pendingin air (dinamakan water chiller, brine cooler atau lain-lain). Teknik ini mempunyai beberapa kelemahan khusus untuk operasi di lautan, yakni, bahaya yang timbul karena air laut membeku dan tabung-tabung pecah akibat ketiadaan sirkulasi karena pengumpulan bahan asing dalam tabung atau karena kemacetan pompa air laut, menurunnya performansi karena kesukaran dalam menjaga tingkat permukaan refrigeran sebagai akibat anggukan dan olengan kapal, dan pengurangan umur tabung-tabung karena aksi korosif air laut. Kebertanan di atas dapat direduksi dengan penggunaan: usaha penyaringan air laut, kontrol otomatis yang mengisolasi alat pendingin air kalau pompa air laut macet, campuran air-garam, gula yang titik bekunya rendah, kontrol tingkat permukaan yang sebanding, peralatan yang kapasitasnya 20% lebih besar dari pada yang dibutuhkan, dan tabung-tabung besi tempa ukuran berat yang digalvanisasi di bagian dalam. Penggunaan alat pendingin air tipe ekspansi langsung perlu dipertimbangkan. Kelemahannya berupa

lebih besar ruangan dan lebih tinggi biaya awal yang diperlukan bila dibandingkan dengan alat pendingin tipe banjir, dapat diimbangi oleh kurangnya bahaya sebagai akibat air laut membeku, tidak adanya kontrol tingkat permukaan yang merepotkan, dan perlindungan terhadap pengaratn (korosi). Hal ini terlihat pada alat pendingin tipe Freon yang menggunakan tabung-tabung alloy-tembaga.

Pada pendinginan air laut untuk mendinginkan ikan, selain menggunakan permukaan yang direfrigerasi, banyak pula digunakan alat pendingin air yang didari oleh iar yang akan didinginkan, yang berbentuk selubung dan tabung shell and tube water cooler/chiller). Berikut ini akan dikemukakan dua contoh alat pendingin air, yang pertama berdasarkan atas ekspansi langsung atau kering, dan kedua berdasarkan pengaliran banjir refrigeran. Suatu bentuk alat pendingin air selubung dan tabung, tipe ekspansi kering/langsung, tertera pada gambar 6



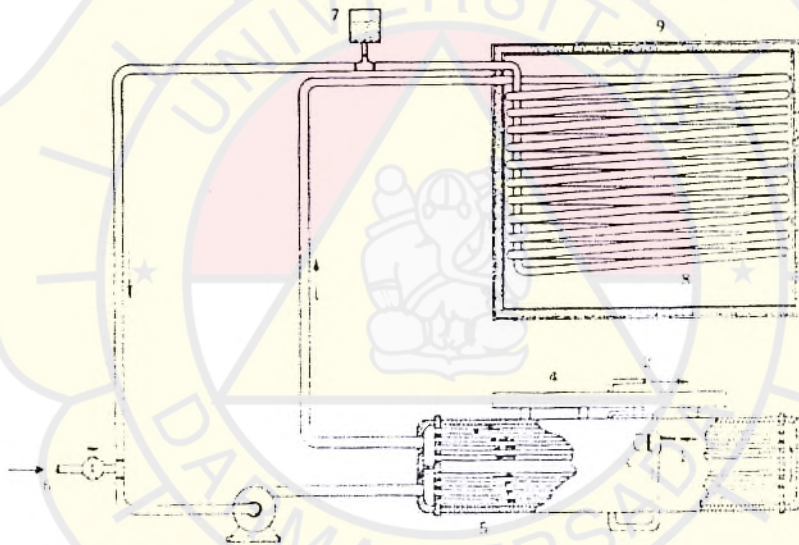
Gambar 6. Suatu alat pendingin air (water chiller) tipe selubung dan tabung, dengan sistem ekspansi kering.

Pada evaporator ini cairan refrigeran (sebagai refrigeran primer) mengitari tabung-tabung dan menguap saat ia menyerap panas dari refrigeran sekunder

yang berupa air, air garam, atau medium cair lainnya. Air yang didinginkan evaporator disirkulasikan melalui gelungan pendingin di dalam berbagai bagian dari suatu sistem besar. Jadi pada evaporator ekspansi kering/langsung ini, refrigeran cair dimasukkan ke dalam evaporator selagi ia diperlukan., ia mendidih berhubung menyerap panas dari refrigeran sekunder (air, air garam), dan masuk kedalam saluran pengisapan dalam bentuk uap, menuju kompresor. Air mengalir di antara selubung dan tabung-tabung.

Suatu alat pendingin air selubung dan tabung, tipe banjir tertera pada gambar 7

Suatu alat pendingin air selubung dan tabung, tipe banjir tertera pada gambar 43.7.



Gambar 7. Alat pendingin air, tipe selubung dan tabung, tipe banjir.

Refrigeran cair masuk ke dalam evaporator melalui keran ekspansi tipe apung (float expansion valve) yang memelihara permukaan cairan pada satu tingkat menggantikan cairan yang mendidih karena menterap panas dari air, menjadi uap yang menuju ke bagian pengisapan dari kompresor. Seperti pada prinsip evaporator tipe banjir, pergantian panas tipe selubung dan tabung. Perbedaan yang jelas dari kedua tipe alat pendingin air itu, tipe ekspansi kering/langsung (gambar 6) dan tipe banjir (gambar 7) adalah sebagai berikut :

Evaporator pada alat pendingin air. (air sebagai refrigeran sekunder)

Tipe ekspansi kering	Tipe banjir
<ul style="list-style-type: none">▪ Refrigeran cair masuk evaporator diukur pada katup ekspansi▪ Refrigeran mengalir melalui tabung, ia menguap air berada antara selubung dan tabung▪ Refrigeran hanya cair sebelum masuk katup ekspansi. Setelah melewati ia menguap, ia mendidih, menguap, ia mendidih, menguap (ekspansi kering)	<ul style="list-style-type: none">▪ Refrigeran cair masuk melalui katup apung yang memelihara tinggi permukaan refrigeran▪ Refrigeran membanjiri ruang antara selubung dan tabung. Air mengalir dalam tabung-tabung.▪ Setelah melewati katup apung refrigeran tetap berupa cair membanjir di dalam evaporator. Keluar menuju pengisapan dalam bentuk uap.

2.5 Kebutuhan beban pendingin

Pendingin ikan yang berupa produk ikan basah, umumnya dilaksanakan mengikuti salah satu dari tiga metode berikut: pertama, dengan es, kedua dengan udara dingin (dalam kamar dingin), dan ketiga, dengan air yang didinginkan. Pada ikan basah, suhu pada pusat thermal ikan diturunkan mencapai 0°C, lalu suhu ikan dipertahankan pada 0°C tersebut selama penyimpanan dan distribusi. Pada produk ikan olahan (ikan asin, asap, pindang, dan sebagainya) suhu ikan boleh diturunkan mencapai beberapa derajat Celcius di atas 0°C, lalu dipertahankan pada suhu tersebut (misalnya 3°C) selama penyimpanan dan distribusi. Jadi kebutuhan refrigerasi bagi pendinginan ikan, dapat dihitung melalui 2 tahap, pertama, tahap penurunan suhu mencapai suhu penyimpanan yang diinginkan (0°C untuk ikan basah atau 3°C untuk ikan olahan), dan kedua, tahap pemeliharaan suhu pada suhu penyimpanan dan distribusi. Dalam prinsip, kebutuhan refrigerasi ikan bagi ketiga metode pendinginan tidaklah berbeda, artinya mengikuti ketentuan yang sama. Tetapi berhubungan keadaan lingkungan bagi ketiga metode

Tugas Akhir

mungkin kebutuhan refrigeraasi pun jadi agak berbeda. Keadaan lingkungan pada pengesan ikan adalah es dan air es, pada pendinginan udara adalah udara dingin, dan pada pendinginan air adalah air dingin. Disamping itu keadaan lingkungan akan berbeda pula tergantung pada keadaan wadah ikan, antara lain ditentukan oleh faktor diinsulasi atau tidak, tinggi suhu udara atmosfer, jenis wadah dan lain-lain. Untuk menurunkan suhu ikan sampai pada tingkat suhu yang lebih rendah, maka jumlah panas yang harus dihilangkan dari ikan dapat dihitung dengan rumus umum sebagai berikut :

$$Q = m (T_1 - T_2) c \dots\dots\dots \text{(Ref 9, Hal 24)}$$

Dimana Q = jumlah energi panas dalam kilokalori (kkal)

m = massa berat bahan dalam kg

T₁ = suhu awal bahan dalam 30°C

T₂ = suhu akhir bahan dalam -1°C dan

c = panas spesifik bahan

Pada keadaan sejumlah ikan ditempatkan dalam satu wadah peti, panas dari luar peti mengalir ke dalam peti berisi ikan es dan sebagian berpenetrasi ke dalam peti pada saat peti di buka tutupnya. Banyaknya panas yang berkonduksi melalui tutup peti tergantung pada 4 faktor, yakni pertama, luas sisi-sisi serta tutup dan las peti, ke dua, tebal setiap sisi wadah, ketiga material dari peti, dan keempat, selisih suhu antara luar dan dalam peti. Jumlah panas yang berkonduksi melalui tutup, alas atau salah satu sisi peti. Kini dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$q = \frac{kA(T_1 - T_2)}{x} \dots\dots\dots \text{(Ref 9, Hal 25)}$$

di mana q = laju pengaliran panas ke dalam peti (dingin), dalam kkal/jam

A = luas permukaan sisi/tutup peti (didasarkan pada ukuran luar) dalam 0°C

T₁ = suhu pada sisi panas (suhu udara luar) dalam

T₂ = suhu pada sisi dingin (suhu udara dalam peti) dalam

Tugas Akhir

X = tebal material peti (tebal material yang menyelubungi wilayah dingin) dalam m

k = tetapan konduktivitas material peti, atau yang menyelubungi wilayah dingin, dengan satuan kkal m/m² jam derajat C. Nilai tetapan k tergantung dari jenis material, kemampuannya mengkonduksikan panas melalui strukturnya

Hubungan antara berbagai besaran yang menggambarkan banyaknya panas (Q) dan laju pengaliran panas (q) adalah :

Q = banyaknya panas, dalam kkal

q = laju pengaliran panas, dalam kkal/jam, dan

q¹ = laju pengaliran panas, dalam kkal/24 jam

kalu t adalah waktu dalam jam, maka hubungan antara besaran itu adalah :

$$q = \frac{Q}{t} \quad \text{dalam} \frac{\text{kkal}}{\text{jam}} \quad (\text{Ref 9, hal 26})$$

$$q^1 = 24q \quad \text{dalam} \frac{\text{kkal}}{\text{jam}} \times \frac{\text{jam}}{24 \text{ jam}} \text{ atau } \frac{\text{kkal}}{24 \text{ jam}}$$

$$= 24 \frac{Q}{t} \frac{\text{jam}}{24 \text{ jam}} \text{ dalam } \frac{\text{kkal}}{\text{jam}} \times \frac{\text{jam}}{24 \text{ jam}} \text{ atau } \frac{\text{kkal}}{24 \text{ jam}}$$

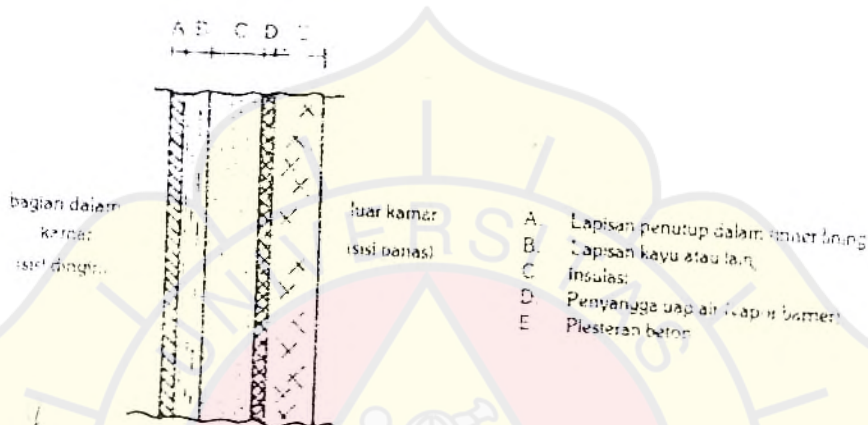
Beban penerimaan panas sisi (dinding dan lain-lain) dihitung dengan menggunakan rumus yang telah dijelaskan diatas pada kontruksi tunggal, misalnya pada palka berinsulasi yang sederhana kontruksinya, yang diperhitungkan hanyalah material insulator. Sisi atau dinding dari palka atau kamar dingin diinsulasi dikonstruksi dari dua atau lebih lapis material. Gambar 8 memperlihatkan potongan melintang dari suatu kamar dinding kamar dingin atau kamar gudang beku (cold storage). Tahanan terhadap pengaliran panas melalui material insulator utama (polystyrene atau glass woll misalnya) biasanya jauh lebih besar harganya dari pada pengaliran panas melalui material lainnya, sehingga boleh diabaikan. Andai kata daya insulasi material itu perlu diperhitungkan, maka rumus diatas perlu disesuaikan. Faktor k/x yang mewakili material tunggal itu kini perlu disesuaikan agar mewakili beberapa material, lalu dinamakan koefisien

Tugas Akhir

transmitans atau koefisien menyeluruh pengaliran panas, dan biasa dinyatakan dengan simbol U. Rumus pengaliran panas bagi dinding bermaterial banyak (lapis), kini menjadi :

$$q = UA(T_2 - T_1) \quad (\text{Ref 9, hal 29})$$

$$\text{Dimana } U = \frac{1}{\frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \dots + \frac{x_n}{k_n}} \quad (\text{Ref 9, hal 29})$$



Gambar 8. potongan melintang suatu tipe dinding berinsulasi kamar dingin atau kamar beku dengan beberapa lapisan material.

Kalau insulasi kamar dingin kecil, cukup dihitung efek insulasi dari insulator utama saja. Film (lapisan tipis) udara pada sisi-sisi luar dan dalam dari kamar dingin juga mempunyai efek daya insulasi. Kalau efek itu perlu pula diperhitungkan, seperti pada gudang dingin ukuran besar, maka rumus laju pengaliran panas menjadi :

$$q = U^1 A(T_1 - T_2) \quad (\text{Ref 9, hal 30})$$

$$\text{Di mana } U^1 = \frac{1}{\frac{1}{f_o} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \dots + \frac{x_n}{k_n} + \frac{1}{f_i}}$$

Dimana x = tebal setiap lapisan material

K = konduktifitas thermal setiap lapisan material

F_o = faktor untuk film udara luar, yang ditentukan oleh keadaan

permukaan luar, menghadap cuaca dengan tiupan angin (efek insulasi diperkirakan dari film udara permukaan dengan kecepatan angin 23 km per jam), nilai $F_o = 6,5$ kalau permukaan luar itu berada dalam bangunan, yang tidak ditiup angin maka $F_o = 1,65$

F_1 = faktor udara didalam, yakni nilai untuk efek insulasi yang diperkirakan dari film udara diam yang mendekap pada permukaan, nilai $F_1 = 1,65$.

Dalam menetapkan tebal insulasi kamar dingin atau palka, perancang perlu mempertimbangkan faktor-faktor jenis insulator dan harganya, tipe konstruksi, perbedaan suhu (luar terhadap dalam kamar), dan biaya operasional peralatan refrigerasi.

2.6 REFRIGERAN DAN SIFAT-SIFATNYA

Refrigeran adalah suatu medium yang fungsinya sebagai pengangkut panas, sehingga panas tersebut diserap dari evaporator (temperatur rendah) dan dilepaskan ke kondensor (temperatur tinggi). Pemilihan refrigeran pada mesin pendingin merupakan faktor yang menentukan karena dapat mempengaruhi efisiensi dari mesin itu sendiri. Unit-unit refrigerasi banyak dipergunakan untuk daerah temperatur yang luas, dari unit untuk keperluan pendinginan udara sampai refrigerasi. Untuk unit refrigerasi tersebut diatas, hendaknya dapat dipilih jenis refrigeran yang paling sesuai dengan jenis kompresor yang dipakai dan karakteristik termodinamikanya yang antara lain meliputi temperatur penguapan dan tekanan penguapan serta temperatur pengembunan dan tekanan pengembunan.

2.6.1 Sifat-Sifat Refrigeran yang Wajib

- Tekanan penguapan harus cukup tinggi. Sebaiknya refrigeran memiliki temperatur pada tekanan yang lebih tinggi, sehingga dapat dihindari kemungkinan terjadinya vakum pada evaporator dan turunnya efisiensi volumetrik karena naiknya perbandingan kompresi.

- Tekanan pengembunan yang tidak terlampau tinggi. Apabila tekanan pengembunannya terlalu rendah, maka perbandingan kompresinya menjadi lebih rendah, sehingga penurunan prestasi kondensor dapat dihindarkan, selain itu dengan tekanan kerja yang lebih rendah, mesin dapat bekerja lebih aman karena kemungkinan terjadinya kebocoran, kerusakan, ledakan dan sebagainya menjadi lebih kecil.
- Kalor laten penguapan harus tinggi. Refrigeran yang mempunyai kalor laten penguapan yang tinggi lebih menguntungkan karena untuk kapasitas refrigerasi yang sama, jumlah refrigeran yang bersirkulasi menjadi lebih kecil.
- Volume spesifik (terutama dalam fasa gas) yang cukup kecil. Refrigeran dengan kalor laten penguapan yang besar dan volume spesifik gas yang kecil (berat jenis yang besar) akan memungkinkan penggunaan kompresor dengan volume langkah torak yang lebih kecil. Dengan demikian untuk kapasitas refrigerasi yang sama ukuran unit refrigerasi yang bersangkutan menjadi lebih kecil. Namun, untuk unit pendingin air sentrifugal yang kecil lebih dikehendaki refrigeran dengan volume spesifik yang agak besar. Hal tersebut diperlukan untuk menaikkan jumlah gas yang bersirkulasi, sehingga dapat mencegah menurunnya efisiensi kompresor sentrifugal.
- Koefisien prestasi harus tinggi. Dari segi karakteristik termodinamika dari refrigeran, koefisien prestasi merupakan parameter yang terpenting untuk menentukan biaya operasi.
- Konduktivitas termal yang tinggi. Konduktivitas termal sangat penting untuk menentukan karakteristik perpindahan kalor.
- Viskositas yang rendah dalam fasa cair maupun fasa gas. Dengan turunnya tahanan aliran refrigeran dalam pipa, kerugian tekanannya akan berkurang.
- Konstanta dielektrika dari refrigeran yang kecil, tahanan listrik yang besar, serta tidak menyebabkan korosi pada material isolator listrik. Sifat-sifat tersebut dibawah ini sangat penting, terutama untuk refrigeran yang akan dipergunakan pada kompresor hermetik.

- Refrigeran hendaknya stabil dan tidak bereaksi dengan material yang dipakai, jadi juga tidak menyebabkan korosi.
- Refrigeran tidak boleh beracun dan berbau merangsang.
- Refrigeran tidak boleh mudah terbakar dan mudah meledak.

Sebaiknya refrigeran menguap pada tekanan sedikit lebih tinggi dari pada tekanan atmosfer. Dengan demikian dapat dicegah terjadinya kebocoran udara luar masuk sistem refrigeran karena kemungkinan adanya vakum pada seksi masuk kompresor (pada tekanan rendah). Selain itu dapat dicegah turunnya efisiensi volumetrik karena naiknya perbandingan kompresi, yang dapat disebabkan karena berkurangnya tekanan dibagian tekanan rendah. Itulah sebabnya mengapa titik didih refrigeran merupakan salah satu faktor yang sangat penting. Boleh dikatakan bahwa refrigeran yang memiliki titik didih rendah biasanya dipakai untuk keperluan operasi pendinginan temperatur rendah (refrigerasi), sedangkan refrigeran yang memiliki titik didih tinggi digunakan untuk keperluan pendinginan temperatur tinggi (pendinginan udara). Jadi titik didih refrigeran merupakan indikator yang menyatakan apakah refrigeran dapat menguap pada temperatur rendah yang diinginkan, tetapi pada tekanan yang tidak terlalu rendah. Dari segi termodinamika R12, R22, R500, R502, ammonia dan sebagainya dapat dipakai untuk daerah temperatur yang luas, dari keperluan pendinginan udara sampai ke refrigerasi.

2.6.2 Kelompok-Kelompok Refrigeran

Senyawa kimia sintetis yang tidak beracun dan tidak mudah terbakar disebut halogenated hydrocarbon, atau lebih sederhananya disebut dengan halocarbons, dimana penggunaannya hanya untuk kepentingan sistem pendinginan kompresi uap untuk kenyamanan sistem pengkondisian udara semenjak tahun 1986. Disebabkan oleh Chlorofluorcarbons (CFCs) menipiskan lapisan ozon dan pemanasan global, dan ini harus dihindari. Klasifikasi utama dari refrigeran adalah :

- Hydrofluorocarbons (HFCs). Hanya berisi atom hydrogen, fluorine dan carbon, tidak menyebabkan lapisan ozon menipis. Kelompok HFCs adalah : R134a, R32, R125, dan R245ca.
- HFCs campuran azeotropic atau HFCs azeotropic. Azeotropic adalah suatu zat campuran multi komponen dari refrigeran yang mudah menguap dan mengembun dan tidak berubah komposisi volumetriknya atau temperatur jenuh jika zat tersebut menguap atau mengembun pada tekanan konstan. HFCs azeotropic dapat bercampur dengan refrigeran HFCs. ASHRAE menetapkan angka antara 500 dan 599 untuk azeotropic. HFCs azeotropic R507, campuran dari R125/R143, biasa dipergunakan untuk refrigeran pada sistem pengkondisian udara kompresi uap temperatur rendah.
- HFCs hampir berupa azeotropic. Adalah campuran refrigeran yang karakteristiknya hampir berupa azeotropic. Sebab perubahan komposisi volumetrik atau temperatur jenuh cukup kecil untuk mendekati azeotropic, seperti yang demikian, pada temperatur $1 - 3^{\circ} F$, dan itu dinamakan HFCs mendekati azeotropic. ASHRAE menetapkan angka antara 400 dan 499 untuk zeotropic. R404A (R125/R134a) dan R407B(R32/R125/R134a) adalah kelompok yang mendekati HFCs azeotropic. Refrigeran ini secara luas digunakan pada sistem pendingin kompresi uap. Zeotropic atau nonazeotropic, termasuk kedalamnya hampir berupa azeotropic, seharusnya menunjukkan perubahan komposisi pada perbedaan antara cairan dan phase uap, kebocoran atau kehilangan, perbedaan antara isi dan sirkulasi. HFCs mendekati azeotropic memiliki gerakan yang lambat dari pada zeotropic. Titik pertengahan antara titik embun dan titik gelembung seringkali diambil sebagai campuran refrigeran selama temperatur penguapan dan pengembunan berlangsung.
- Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) dan Zeotropic. HCFCs mengandung atom hydrogen, chlorine, fluorine, dan carbon dan tidak sepenuhnya halogenated. HCFCs memiliki waktu yang lama untuk hidup di atmosfer

(selama hampir satu dasawarsa atau sepuluh tahun) sehingga dapat menyebabkan menipisnya lapisan ozon (ODP 0,02 – 0,1). R22, R123, R124 dan seterusnya adalah kelompok HCFCs. HCFCs secara umum dimana-mana selalu digunakan. HCFCs hampir berupa azeotropic dan HCFCs zeotropic adalah campuran dari HCFCs dengan HFCs. Kelompok refrigeran ini penggunaannya dibatasi sampai tahun 2004.

- Campuran inorganic. Campuran ini digunakan pada tahun 1931, seperti ammonia R717, water R718 dan udara R729. Kelompok ini masih digunakan karena tidak mengakibatkan tipisnya lapisan ozon. Amoniak hanya digunakan untuk keperluan industri saja karena sifat beracun dan mudah terbakar dilarang untuk digunakan secara umum. Campuran inorganic oleh ASHRAE ditetapkan dengan nomor 700 dan 799.
- Chlorofluorocarbons, Halon dan Azeotropic. CFCs hanya memiliki kandungan atom chlorine, fluorine dan carbon. CFCs memiliki waktu yang lama untuk hidup di atmosfer dan menyebabkan tipisnya lapisan ozon (ODP 0,6 – 1). Kelompok refrigeran ini adalah : R11, R12, R113, R114, R115 dan sejenisnya. Halon atau BFCs terdiri dari atom bromide, fluorine dan carbon. Termasuk kedalam kelompok ini adalah : R13B1 dan R12B1. Jenis ini sangat tinggi untuk merusak dan mengakibatkan tipisnya lapisan ozon (ODP untuk R13B1 adalah 10). Sejak tahun 1995, R13B1 digunakan untuk sistem pengkondisi udara kompresi uap dengan temperatur yang sangat rendah.

2.6.3 R-134a

Refrigeran R-134a adalah refrigerant yang hanya berisi atom hydrogen, fluorine dan carbon, tidak menyebabkan lapisan ozon menipis. Pada saat ini refrigerant inilah yang banyak digunakan oleh pengguna refrigeran untuk menghindari akibat yang buruk pada ozon atau alam pada pemanfaatannya.

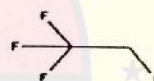
Berikut data-data R-134a :

<u>Common Name</u>	Refrigerant gas 134a (HFC-134a)
<u>Chemical Name</u>	1,1,1,2-Tetrafluoroethane

Tugas Akhir

<u>Synonyms</u>	Norflurane; Norfluran; 1,1,1,2-Tetrafluoroethane; R 134a; R134a; 1,2,2,2-Tetrafluoroethane; CF ₃ CH ₂ F; HFC-134a
<u>Composition</u>	1,1,1,2-Tetrafluoroethane 100%
<u>CAS RN</u>	811-97-2
<u>EC RN</u>	212-377-0
<u>ACX Number</u>	X1002605-4
<u>DOT Number</u>	UN 1078; 3159
<u>RTECS</u>	KI8842500
<u>Molecular Weight</u>	102.03
<u>Molecular Formula</u>	F ₃ CCH ₂ F

Chemical Structure



Properties

<u>Appearance</u>	A colorless gas with a slight ethereal odor.
<u>Melting Point (°C)</u>	-101
<u>Flash Point (°C)</u>	-79
<u>Boiling Point (°C)</u>	-26.2
<u>S.G./Density</u>	1.2076 g/cm ³ (25 ;æ)
<u>Vapor Pressure</u>	4730 mmHg
<u>Water Solubility</u>	0.15 g/100ml
<u>Evaporation Rate</u>	>1 (CCL ₄ = 1)



Tugas Akhir

Vapor Density	3.18
Critical Temp.(°C)	102
Critical Pressure	40.07 atm
Viscosity	205 cp (25 jæ)
Surface Tension	4.4 dyne/cm (54.9 jæ)
LogPow	1.274

Toxicological Information

LC₅₀ Inhalation	4 hour, ALC, rat: 567,000 ppm.
Eye	A short duration spray of vapor produced very slight eye irritation.
Skin	Slight skin irritant, but not a skin sensitizer.
Carcinogenic	The no-effect-level was 10,000 ppm.
Teratogenic	Slight-teratogenicity
Mutagenic	Non-mutagenicity

Ecotoxicological Information

Aquatic Toxicity	
LC₅₀ (96 hour)	Rainbow trout: 450 mg/L
EC₅₀ (48 hour)	Daphnia magna: 980 mg/L.

Package & Transport

Package Type	Disposable Cylinder; Returnable Tank, ISOTANK
Package Size	13.6KG / 30LB; 1000KG
UN Number	3159
Hazard Class	2.2

baik yang berasal dari bakteri yang mungkin terkumpul dalam alat maupun dari pengarat (korosi) alat dan bahan cat atau pelindung yang digunakan.

- Kondisi yang mungkin tercipta dalam air dingin yang akan merusak ikan karena perubahan dari keadaan aerobik menjadi anaerobik dan juga oleh suhu yang paling tinggi dari air sebagai akibat tidak mampu menjaga suhu air tetap rendah. Peningkatan suhu beberapa derajat Celcius diatas 0°C dapat mempercepat laju perbiakan bakteri sampai beberapa kalilipat dibandingkan terhadap suhu antara 0 sampai - 1°C
 - Kondisi yang mungkin terjadi dalam air dingin penyimpanan ikan sebagai akibat produksi gas senyawa karbon dioksida (CO₂) dan hydrogen sulfide (H₂S) yang bersifat merusak dan meracun
 - Persyaratan bahan media pendingin, air, bahan garam, gula dan lainnya yang digunakan dalam mendinginkan ikan.
- e) Titik atau wilayah kritikal pada penggunaan teknologi pendingin ikan dengan air dingin ini terletak pada permasalahan sanitasi dan hygiene yang ada dan yang mungkin timbul pada setiap tahap dan waktu dari penyimpanan ikan dalam air dingin. Titik kritikal ini terutama menyangkut masalah kemungkinan perbiakan, penularan dan pencemaran bakteri teristimewa dalam hubungannya dengan tingkat dan perubahan suhu selama penyimpanan ikan dalam air dingin tersebut.

2.4.6 Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam merencanakan dan merancang penerapan pendinginan dengan air yang didinginkan.

Selain memperhatikan persyaratan dan ketentuan yang telah dibahas diawal, untuk merancang teknik dan peralatan pendinginan ikan dengan air dingin, dalam disain, konstruksi dan material serta bahan yang digunakan, perlu diperhatikan beberapa faktor berikut :

- a) Faktor yang menyangkut ikannya sendiri
- Perkiraan berapa jumlah ikan yang akan ditangani dan disimpan dalam air dingin itu perkiraan ini perlu untuk menghitung berapa