

MAKALAH
PENDINGINAN DAN PEMBEKUAN



Disusun oleh:

Angga Adya Widita CDR	(NIM: 12.14.049)
Kiki Nanda Pangestuti	(NIM: 12.14.020)
Auwallina Puspita Wafahadha	(NIM: 12.14.042)
Regina Berliana	(NIM: 12.14.050)

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG
2015

BAB I

PENDAHULUAN

Pendinginan merupakan salah satu cara pengawetan bahan pangan dengan cara menyimpan bahan pangan pada suhu rendah (diatas suhu titik beku (Kisaran suhu -1°C atau diatas 0°C)). [Pendinginan](#) umumnya merupakan suatu metode pengawetan yang ringan, pengaruhnya kecil sekali terhadap mutu bahan pangan secara keseluruhan. Oleh sebab itu pendinginan seperti di dalam lemari es sangat cocok untuk memperpanjang kesegaran atau masa simpan sayuran dan buah-buahan. Sayuran dan buah-buahan tropis tidak tahan terhadap suhu rendah dan ketahanan terhadap suhu rendah ini berbeda-beda untuk setiap jenisnya. Sebagai contoh, buah pisang dan tomat tidak boleh disimpan pada suhu lebih rendah dari 13°C karena akan mengalami *chilling injury* yaitu kerusakan karena suhu rendah.

Pendinginan atau refrigerasi adalah proses pengambilan panas dari suatu bahan sehingga suhunya akan menjadi lebih rendah dari sekelilingnya. Bila suatu medium pendingin kontak dengan benda lain misalnya bahan pangan, maka akan terjadi pemindahan panas dari bahan pangan tersebut ke medium pendingin sampai suhu keduanya sama atau hampir sama. Pendinginan telah lama digunakan sebagai salah satu upaya pengawetan bahan pangan, karena dengan pendinginan tidak hanya citarasa yang dapat dipertahankan, tetapi juga kerusakan-kerusakan kimia dan mikrobiologis dapat dihambat.

Pembekuan atau freezing ialah penyimpanan di bawah titik beku bahan, jadi bahan disimpan dalam keadaan beku. Pembekuan yang baik dapat dilakukan pada suhu kira-kira -17°C atau lebih rendah lagi. Pada suhu ini pertumbuhan bakteri sama sekali berhenti. Pembekuan yang baik biasanya dilakukan pada suhu antara -12°C sampai -24°C . Dengan pembekuan, bahan akan tahan sampai beberapa bulan, bahkan kadang-kadang beberapa tahun. Perbedaan antara pendinginan dan pembekuan juga ada hubungannya dengan aktivitas mikroba.

BAB II

ISI

2.1. Pengertian Pendinginan dan Pembekuan

Pendinginan atau refrigerasi ialah penyimpanan dengan suhu rata-rata yang digunakan masih di atas titik beku bahan. Kisaran suhu yang digunakan biasanya antara -1°C sampai -4°C . Pada suhu tersebut, pertumbuhan bakteri dan proses biokimia akan terhambat sehingga perubahan yang terjadi pada produk yang disimpan dapat diminimalisir atau diperlambat. Pendinginan mempunyai pengaruh yang kecil terhadap perubahan mutu bahan pangan secara keseluruhan. Namun pendinginan hanya dapat mengawetkan bahan pangan selama beberapa hari atau beberapa minggu, tergantung kepada jenis bahannya.

Penyimpanan bahan pangan pada suhu dingin sangat diperlukan walaupun dalam waktu yang singkat karena bertujuan untuk:

- Mengurangi kontaminasi
- Mengendalikan kerusakan oleh mikroba
- Mengendalikan pertumbuhan mikroorganisme, kerusakan bahan pangan selama penyimpanan dapat diperkecil dalam bentuk belum dipotong-potong.

Pembekuan atau freezing ialah penyimpanan di bawah titik beku bahan, jadi bahan disimpan dalam keadaan beku. Pembekuan yang baik dapat dilakukan pada suhu kira-kira -17°C atau lebih rendah lagi. Pada suhu ini pertumbuhan bakteri sama sekali berhenti. Pembekuan yang baik biasanya dilakukan pada suhu antara -12°C sampai -24°C . Dengan pembekuan, bahan akan tahan sampai beberapa bulan, bahkan kadang-kadang beberapa tahun. Perbedaan antara pendinginan dan pembekuan juga ada hubungannya dengan aktivitas mikroba.

Pertumbuhan bakteri di bawah suhu 100°C akan semakin lambat dengan semakin rendahnya suhu. Pada saat air dalam bahan pangan membeku seluruhnya, maka tidak ada lagi pembelahan sel bakteri. Pada sebagian bahan pangan air tidak membeku sampai suhu $-9,50^{\circ}\text{C}$ atau di bawahnya karena adanya gula, garam, asam dan senyawa terlarut lain yang dapat menurunkan titik beku air.

Lambatnya pertumbuhan mikroba pada suhu yang lebih rendah ini menjadi dasar dari proses pendinginan dan pembekuan dalam pengawetan pangan. Proses pendinginan dan pembekuan tidak mampu membunuh semua mikroba, sehingga pada saat dicairkan kembali (thawing), sel mikroba yang tahan terhadap suhu rendah akan mulai aktif kembali dan dapat menimbulkan masalah kebusukan pada bahan pangan yang bersangkutan.

2.2. Prinsip

Prinsip pendinginan itu sendiri adalah panas dari bahan diserap atau diambil dan digantikan oleh udara yang memiliki tekanan yang lebih rendah dibandingkan tekanan di dalam sel, sehingga panas yang ada dalam bahan berkurang dan lama-kelamaan akan berubah menjadi dingin mengikuti suhu udara pendinginan yang digunakan.

Prinsip pembekuan adalah panas pada bahan diambil dan diturunkan hingga mencapai titik di bawah titik beku bahan sehingga segala mekanisme perubahan pada bahan dapat dihambat dan masa simpan dapat diperpanjang. Secara umum mekanisme pembekuan dibagi menjadi 3

tahap. Tahap pertama panas sensible bahan pangan diambil sehingga suhu menjadi turun sampai titik beku. Tahap kedua, pada proses pembekuan dilepaskan sejumlah energi panas sehingga bahan pangan dan air yang terkandung didalamnya membeku. Dan tahap ketiga setelah terjadi pembekuan energi panas tetap dilepaskan sehingga suhu menurun sampai suhu tertentu.

2.3. Faktor-Faktor

Dalam proses pendinginan ada beberapa faktor yang berpengaruh pada hasil akhir bahan yang di dinginkan. Faktor – faktor tersebut antara lain :

1. Jenis dan Varietas Produk

Pendinginan biasanya digunakan untuk jenis bahan yang mudah mengalami kerusakan dan peka terhadap kondisi lingkungan disekitarnya. Jenis dan varietas setiap bahan tidak sama dengan tingkat kematangan dan pemanenan yang berbeda pula sehingga suhu yang digunakan selama pendinginan harus dapat disesuaikan dengan jenis dan sifat bahan tersebut agar tujuan dari pendinginan tersebut dapat tercapai.

2. Suhu

Suhu dalam penyimpanan seharusnya dipertahankan agar tidak terjadi kenaikan dan penurunan. Biasanya dalam penyimpanan dingin, suhu dipertahankan berkisar antara 10C sampai dengan 20C. Suhu pendinginan di bawah optimum akan menyebabkan pembekuan atau terjadinya chilling injury, sedangkan suhu di atas optimum akan menyebabkan umur simpan menjadi lebih singkat.

3. Kelembaban Relatif

Untuk kebanyakan komoditi yang mudah rusak, kelembaban relatif dalam penyimpanan sebaiknya dipertahankan pada kisaran 90 sampai 95%. Kelembaban di bawah kisaran tersebut akan menyebabkan kehilangan kelembaban komoditi. Kelembaban yang mendekati 100% kemungkinan akan terjadi pertumbuhan mikroorganisme lebih cepat dan juga menyebabkan permukaan komoditi pecah-pecah.

4. Kualitas Bahan dan Perlakuan Pendahuluan

Untuk tetap mempertahankan kesegaran bahan maka sebaiknya sayuran, buah- buahan maupun bunga potong yang akan disimpan terbebas dari luka atau lecet maupun kerusakan lainnya. Kerusakan tersebut dapat menyebabkan kehilangan air. Buah-buah yang telah memar dalam penyimpanannya akan mengalami susut bobot hingga empat kali lebih besar bila dibandingkan buah- buah yang utuh dan baik.

5. Jenis Pengemas

Pengemasan merupakan salah satu upaya modified packaging storage yang dapat membantu mempertahankan mutu dari bahan. Dengan dilakukan pengemasan maka proses reaksi enzimatik dan chilling injury dapat diminimalisir sehingga kesegaran produk tetap terjaga.

Faktor yang menentukan umur simpan produk pangan olahan yang didinginkan, yaitu :

1. Jenis produk pangan.
 2. Tingkat destruksi mikroba dan inaktivasi enzim selama pengolahan.
 3. Pengendalian tingkat higienitas selama pengolahan dan pengemasan.
 4. Sifat dan jenis bahan pengemas.
 5. Suhu distribusi dan penyimpanan.
-

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pembekuan

1. Jenis Bahan

Perubahan yang terjadi tergantung dari komposisi makanan sebelum dibekukan. Konsentrasi padatan terlarut yang meningkat, akan merendahkan kemampuan pembekuan. Bila dalam larutan mengandung lebih banyak garam, gula, mineral, dan protein, akan menyebabkan titik beku lebih rendah dan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk membeku.

2. Perlakuan Pendahuluan

Perlakuan pendahuluan bertujuan untuk mencegah penurunan mutu sebelum produk dibekukan, Pencucian untuk menghilangkan kotoran dan mengurangi jumlah mikroba awal, pengemasan, blanshing atau pasteurisasi untuk menginaktivasi enzim yang ada pada produk dan menurunkan jumlah mikroba awal, pelilinan maupun pencelupan ke dalam larutan asam askorbat untuk mempertahankan tekstur.

3. Suhu

Suhu pembekuan disesuaikan dengan jenis komoditi yang akan dibekukan. Pada suhu kurang dari 0 oC , air akan membeku kemudian terpisah dari larutan dan membentuk es. Jika kristal es yang terbentuk besar dan tajam akan merusak tekstur dan sifat pangan.

4. Waktu

Pembekuan dengan waktu singkat/cepat akan menghasilkan kristal es berukuran kecil sehingga akan meminimalkan kerusakan tekstur bahan yang dibekukan. Selain itu, proses pembekuan cepat juga menyebabkan terjadinya kejutan dingin (freeze shock) pada mikroorganisme. Sedangkan pembekuan dalam waktu yang lama akan menghasilkan kristal yang besar dan tajam sehingga dapat merusak dan merobek jaringan buah yang dibekukan.

5. Metode pembekuan

Metode yang digunakan pada pembekuan seperti cooled air freezer, cooled liquid freezer, cooled surface freezer, cryogenik akan memberikan hasil yang berbeda dengan jenis bahan yang akan dibekukan. Penggunaan metode harus dilakukan dengan tepat sesuai dengan karakteristik dari bahan untuk mencapai tujuan yang diinginkan.

2.4. Keuntungan Dan Kerugian Pendinginan

1. Keuntungan

- Dapat menahan kecepatan reaksi kimia dan enzimatik, juga pertumbuhan dan metabolisme mikroba yang diinginkan.
- Mengurangi perubahan flavor jeruk selama proses ekstraksi dan penyaringan
- Mempermudah pengupasan dan pembuangan biji buah yang akan dikalengkan.
- Mempermudah pemotongan daging dan pengirisan roti
- Meningkatkan kelarutan CO₂ yang digunakan untuk " soft drink". Air yang digunakan didinginkan lebih dahulu sebelum dikarbonatasi untuk meningkatkan kelarutan CO₂.

2. Kerugian

- Terjadinya penurunan kandungan vitamin, antara lain vitamin C
-

- Berkurangnya kerenyahan dan kekerasan pada buah-buahan dan sayur-sayuran
- Perubahan warna merah daging
- Oksidasi lemak
- Pelunakan jaringan ikan
- Hilangnya flavour

2.5. Perubahan Yang Terjadi Selama Proses Pendinginan

Beberapa perubahan yang terjadi selama proses pendinginan

1. Perubahan Tekstur

Pada proses pendinginan Sayuran dan buah-buahan tropis tidak tahan terhadap suhu rendah dan ketahanan terhadap suhu rendah ini berbeda-beda untuk setiap jenisnya. Buah pisang tidak boleh disimpan pada suhu lebih rendah dari 130C karena akan mengalami chilling injury yaitu kerusakan karena suhu rendah. Buah pisang yang disimpan pada suhu terlalu rendah kulitnya akan menjadi bernoda hitam atau berubah menjadi coklat dan teksturnya menjadi lembek karena mengalami dehidrasi (kehilangan air), sedangkan buah terong akan menjadi lunak karena teksturnya rusak.

2. Penyusutan Berat

Kehilangan berat pada buah, sayuran maupun bunga potong selama penyimpanan disebabkan karena hilangnya air pada bahan. Kehilangan air pada bahan yang disimpan tidak hanya menyebabkan kehilangan berat, tetapi dapat juga menyebabkan kerusakan yang akhirnya menyebabkan penurunan kualitas.

Penyusutan berat pada bahan yang dikemas jauh lebih sedikit jika dibandingkan dengan bahan yang tidak dikemas dan tanpa perlakuan apapun. Menurut Fellow (2000) penyusutan berat selama pendinginan dapat disebabkan karena kelembaban yang ada pada bahan meninggalkan permukaan bahan dan menuju ke udara disekitarnya melalui proses kondensasi uap air. Sedangkan pada produk daging penyusutan berat dapat disebabkan karena terjadi kerusakan gel protein dan mengalami proses koagulasi protein, sehingga menurunkan daya ikat protein terhadap air dan air bebas di dalam daging akan lepas menuju ke udara disekitarnya yang akan hilang bersama dengan uap air. Kerusakan struktur molekul akibat pendinginan ini juga dapat menyebabkan penyusutan berat.

Kehilangan air pada bahan dapat dicegah dengan cara pengaturan suhu dan kelembaban ruang simpan dengan tepat. namun secara umum buah-buahan dan sayuran serta bunga potong memiliki kandungan air bahan sejumlah 80 hingga 90 persen. Sebagian besar air tersebut akan menguap selama penyimpanan. Dalam penyimpanan pada suhu rendah.

3. Perubahan Warna

Perubahan warna selama pendinginan pada produk sayur dan buah diakibatkan karena reaksi enzimatik (pencoklatan) dimana terjadi degradasi pigmen klorofil yang menyebabkan warna kulit berubah menjadi kuning kecoklatan karena adanya karotenoid dan xantofil yang semula tertutup menjadi terbuka akibat dari efek suhu pendinginan. Pori-pori buah yang disimpan pada suhu rendah menjadi lebih terbuka akibat membekunya air dalam jumlah banyak sehingga mengubah rasa, warna dan kualitas bahan.

Pada produk daging dan ikan yang disimpan pada suhu 0-2 oC dapat bertahan selama 2-3 hari (daging dikemas). Namun Perubahan ini disebabkan karena terjadi oksidasi pigmen heme yang merupakan penyusun utama dalam warna daging. Pigmen mioglobin mengalami proses perubahan menjadi oksimioglobin yang bewarna merah kecoklatan.

Perubahan yang terjadi selama proses pembekuan

1. Perubahan Tekstur

Buah dan sayur memiliki komponen kadar air yang besar sebagai penyusun utamanya. Kadar air yang tinggi. Dengan adanya kadar air yang tinggi akan menyebabkan perubahan volume yang besar. Dimana menurut Estiasih (2009) buah dan sayur sebagian besar memiliki tekstur yang lebih kaku jika dibandingkan dengan tekstur daging dan ikan.

Dalam pembekuan semakin suhu yang digunakan masih berada di antara titik beku bahan maka akan terjadi pembekuan yang lambat dengan pembekuan lambat ini maka pelepasan air di dalam jaringan bahan menjadi lebih banyak dan membentuk kristal yang besar. Secara normal pembesaran kristal-kristal es dimulai di ruang ekstra seluler, karena viskositas cairannya relatif lebih rendah. Bila pembekuan berlangsung secara lambat, maka volume ekstra seluler lebih besar sehingga terjadi pembentukan kristal-kristal es yang besar di tempat itu. Kadar air bahan makin rendah, maka akan terjadi denaturasi protein terutama pada bahan nabati.

Selama proses thawing berlangsung sel yang rusak akan mengalami pelepasan komponen bagian-bagian sel, air yang hilang membuat bagian dalam sel menjadi kosong dan tidak dapat tergantikan. Kerusakan ini tidak dapat kembali ke bentuk semula sehingga mengakibatkan tekstur menjadi lunak.

Pada produk daging dan ikan tidak mempunyai titik beku namun memiliki kisaran titik beku dimana jumlah air yang ada ditentukan oleh rendahnya suhu yang digunakan. Pada daging mentah seperti ayam dan sapi masih memiliki kandungan serat dan protein yang masih fleksibel, pada saat pembekuan komponen ini tidak hilang hanya mengalami proses pemisahan sehingga kandungan air yang ada masih dapat dipertahankan. Sedangkan untuk bahan sosis perubahannya menjadi lebih kenyal dan lunak.

2. Perubahan Berat

Perubahan berat atau susut berat pada komoditi yang dibekukan dapat disebabkan karena kandungan air yang ada pada bahan keluar selama proses pembekuan dan menuju ke kristal es yang sedang terbentuk sehingga bagian dalam es akan kosong. Proses ini terjadi karena kristal es memiliki tekanan uap air yang lebih rendah jika dibandingkan dengan tekanan didalam sel sehingga air dalam sel akan menuju kristal dan hilang pada saat proses thawing dilakukan.

3. Perubahan Warna

Perubahan warna disebabkan karena terjadi reaksi enzimatik (pencoklatan) yang disebabkan karena aktivitas enzim peroksidase, katalase yang menghasilkan warna coklat, degradasi karoten dan degradasi pigmen klorofil yang menyebabkan warna kulit berubah menjadi kuning kecoklatan karena adanya karotenoid dan xantofil yang semula tertutup menjadi terbuka akibat dari efek suhu pembekuan dan kristal es. Menurut Dragon (2008) Kerusakan ini terjadi pada bahan yang dibekukan tanpa dibungkus atau yang dibungkus dengan pembungkus yang kedap uap air serta waktu membungkusnya masih banyak ruang-ruang yang tidak terisi bahan.

2.5.1 Pengaruh pendinginan dan pembekuan terhadap makanan

1. Penurunan suhu mengakibatkan penurunan proses kimia, mikrobiologi, dan biokimia yang berhubungan dengan kelayuan, kerusakan, pembusukan, dll.
2. Pada suhu kurang dari 0 °C, air akan membeku kemudian terpisah dari larutan dan membentuk es. Jika kristal es yang terbentuk besar dan tajam akan merusak tekstur dan sifat pangan, tetapi di lain pihak kristal es yang besar dan tajam juga bermanfaat untuk mereduksi atau mengurangi mikroba jumlah mikroba.

Pada Pembekuan

1. Perubahan warna (hilangnya konstituen warna alami seperti pigmen klorofil, pembentukan warna yang menyimpang seperti pada reaksi pencoklatan).
2. Perubahan tekstur (hilangnya *cloud*, perusakan gel, denaturasi protein, pengerasan).
3. Perubahan rasa (hilangnya rasa asal, pembentukan rasa yang menyimpang, ketengikan).
4. Perubahan zat gizi seperti asam askorbat dalam buah-buahan dan sayuran, lemak tak jenuh, asam amino esensial).

2.5.2. Kerusakan yang terjadi selama Pendinginan

- *Chilling Injury* : Kerusakan akibat penyimpanan suhu rendah (suhu diatas dari suhu beku)
Gejala –gejala : kerusakan kulit, kulit berlubang, bercak coklat, busuk dan gagal matang.
 - *Cold Shortening* : Terjadi jika fase rigor mortis berlangsung pada suhu terlalu rendah (daging menjadi kenyal)
 - *Stalling Pada Roti* : Terjadi jika roti disimpan pada suhu 0 –32°C (roti menjadi keras)
Kerusakan oleh bahan pendingin / refrigeran
 - Denaturasi protein
Denaturasi protein berarti putusannya sejumlah ikatan air dan berkurangnya kadar protein yang dapat diekstraksi dengan larutan garam. Gejala denaturasi protein terjadi pada daging, ikan, dan
-

produk-produk air susu. Proses denaturasi menimbulkan perubahan-perubahan rasa dan bau, serta perubahan konsistensi (daging menjadi liat atau kasap).

– Kerusakan oleh bahan pendingin /refrigeran

Bila lemari es menggunakan amonia sebagai refrigeran, misalnya terjadi kebocoran pada pipa dan ammonia masuk ke dalam ruang pendinginan, akan mengakibatkan perubahan warna pada bagian luar bahan yang didinginkan berupa warna coklat atau hitam kehijauan. Kalau proses ini berlangsung terus, maka akan diikuti proses pelunakan jaringan-jaringan buah. Sebagai contoh : suatu ruangan pendingin yang mengandung amonia sebanyak 1 % selama kurang dari 1 jam, akan dapat merusak apel, pisang, atau bawang merah yang disimpan di dalamnya.

– Kehilangan air dari bahan yang didinginkan akibat pengeringan

Kerusakan ini terjadi pada bahan yang dibekukan tanpa dibungkus atau yang dibungkus dengan pembungkus yang kedap uap air. Pengeringan ditempat ini dapat menimbulkan gejala yang dikenal dengan nama " freeze burn ", yang terutama terjadi pada daging sapi dan daging unggas yang dibekukan. Pada daging unggas, hal ini tampak sebagai bercak-bercak yang transparan atau bercak-bercak yang berwarna putih atau kuning kotor

Freeze burn disebabkan oleh sublimasi setempat kristal-kristal es. Akibat terjadinya freeze burn, maka akan terjadi perubahan rasa pada bahan , selanjutnya diikuti dengan proses denaturasi protein.

2.6. Mikroba pada Pendinginan

Berdasarkan suhu pertumbuhannya ada 4 kategori mikroba :

1. Termofilik (minimum : 30-40°C, optimum : 55-65°C)
2. Mesofilik (minimum 5-10°C, optimum : 30-40°C)
3. Psykrotropik (minimum <0-5°C, optimum : 20-30°C)
4. Psikrofilik (minimum <0-5°C, optimum : 12-18°C).

Pendinginan mencegah pertumbuhan mikroba termofilik dan sebagian besar mesofilik. Mikroba utama yang terdapat pada produk pangan dingin adalah mikroba patogen yang dapat tumbuh pada suhu < 5°C.

Contoh bakteri yang dapat tumbuh pada suhu dingin dan bersifat patogen :

- Aeromonas hydrophilia
- Listeria spp
- Yersinia enterocolitica
- Bacillus cereus
- Vibrio parahaemolyticus
- E.coli

Perbedaan antara pendinginan dan pembekuan juga ada hubungannya dengan aktivitas mikroba.

1. Sebagian besar organisme perusak tumbuh cepat pada suhu di atas 10°C
2. Beberapa jenis organisme pembentuk racun masih dapat hidup pada suhu kira-kira 3,3°C
3. Organisme psikrofilik tumbuh lambat pada suhu 4,4°C sampai – 9,4°C

Organisme ini tidak menyebabkan keracunan atau menimbulkan penyakit pada suhu tersebut, tetapi pada suhu lebih rendah dari – 4,0 oC akan menyebabkan kerusakan pada makanan.

Perbedaan antara pendinginan dan pembekuan juga ada hubungannya dengan aktivitas mikroba.

- Sebagian besar organisme perusak tumbuh cepat pada suhu di atas 10 °C
- Beberapa jenis organisme pembentuk racun masih dapat hidup pada suhu kira-kira 3,3°C
- Organisme psikrofilik tumbuh lambat pada suhu 4,4 °C sampai -9,4 °C

Pengelompokan bahan pangan berdasar suhu penyimpanan

- -1 – 1°C : ikan segar, daging, sosis dan daging giling, daging dan ikan asap
 - 0 - 5°C : daging kaleng pasteurisasi, susu, krim, yoghurt
 - 0 - 8°C : daging dan ikan masak, mentega, margarin, keju, buah lunak
-

2.7. Teknik Pendinginan dan Pembekuan

Pada dasarnya teknik pendinginan bahan pangan dapat dikerjakan dalam 3 cara yaitu:

1. Secara Alami (Natural Refrigeration)

Pendinginan alami menggunakan air dingin, es, campuran air dan es, larutan garam dan lain-lain. Pada umumnya semakin tinggi konsentrasi larutan garam akan semakin rendah titik bekunya.

2. Secara Mekanis (Mechanical Atau Artificial Refrigeration)

Pendinginan mekanis menggunakan mesin-mesin yang mengatur terjadinya siklus pergantian fase uap dan fase cair dari suatu zat pendingin (refrigerant). Zat pendingin adalah suatu persenyawaan kimia yang mampu menjadi penerima dan pembawa panas.

Dasar Pendinginan mekanis dengan Sistem kompresi: terjadinya penyerapan panas oleh zat pendingin pada saat terjadi perubahan fase dari fase cair ke fase uap.

Ada 2 sisi tekanan yang berbeda, yaitu sisi tekanan rendah (di evaporator) dan sisi tekanan tinggi (di kondensor). Kedua sisi bertekanan ini dipisahkan oleh 2 alat, yaitu alat kontrol yang berfungsi untuk membatasi jumlah aliran serta menurunkan tekanan dan temperatur refrijeran. Kompresor berfungsi untuk mengkompresikan gas refrijeran serta menaikkan temperatur kondensasi.

Komponen sistem pendinginan mekanis :

– Evaporator

Juga merupakan alat penukar panas. Refrigerant cair dengan tekanan rendah setelah proses ekspansi, diuapkan dalam alat ini.

– Kompresor

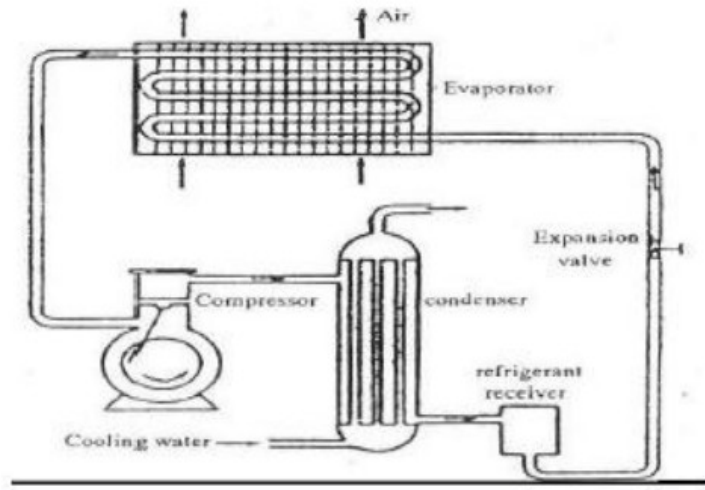
untuk menghisap uap refrigerant dan mengkompresinya sehingga tekanan uap refrigerant naik sampai ke tekanan yang diperlukan untuk pengembunan (kondensasi) uap refrigerant di dalam kondensor.

– Kondensor

untuk mendinginkan uap refrigerant dari kompressor agar dapat mengembun menjadi cairan.

– Katup Ekspansi

untuk menurunkan tekanan dari cairan refrigerant sebelum masuk ke evaporator, sehingga akan memudahkan refrigerant menguap di evaporator dan menyerap kalori (panas) dari media yang didinginkan.



Siklus refrigerasi :

1. Penyerapan panas pada ruangan temperatur rendah oleh refrigerant cair pada evaporator.
 2. Kompresi uap refrigerant pada kompressor.
 3. Pembuangan / pelepasan panas pada ruangan temperatur tinggi, oleh refrigerant pada kondensor.
 4. Ekspansi, pengembalian kondisi uap refrigerant seperti semula (refrigerant cair), oleh mesin atau katup ekspansi.
3. Pendinginan Dengan Menggunakan Sistem Kriogenik

Kriogenik (cryogenic) merupakan salah satu teknologi pembekuan yang sebetulnya bukan tergolong ide yang baru. Metode pembekuan pada teknologi ini menggunakan gas yang dimanfaatkan menjadi cairan (liquid) misalnya nitrogen (N_2) dan karbon dioksida (CO_2). Nitrogen cair sebagaimana telah diketahui sejak lama, dipergunakan sebagai pembeku bahan-bahan organik untuk keperluan penyimpanan dan ekstraksi bahan-bahan penelitian bidang biologi terapan. Karbon dioksida cair pun telah sejak lama dipergunakan untuk pengisi tabung pemadam kebakaran. Sistem refrigerasi kriogenik sebenarnya hampir mirip dengan kompresi uap hanya saja kompresornya sampai 200 bar, dan dipasang secara seri. Untuk menghasilkan udara cair dalam jumlah yang besar sehingga dapat dihasilkan CO_2 , cair, O_2 , Nitrogen, DLL.

Kegunaan udara cair namun udara cair juga memiliki sifat" yang merugikan / berbahaya.

Di negara-negara maju, studi mengenai aplikasi teknologi kriogenik untuk pembekuan produk pangan telah dimulai sejak dekade 1990-an. Beberapa kelebihan teknologi kriogenik untuk pembekuan produk pangan dibandingkan teknologi pembekuan konvensional telah ditemukan, seperti :

- 1) teknologi kriogenik mempunyai kemampuan mencegah rusaknya adenosintrifosfat (ATP) pada produk pangan laut segar selama periode penyimpanan.
- 2) mampu mempercepat pembekuan produk pangan seperti daging dan telur.
- 3) menghambat pertumbuhan mikroorganisme perusak produk pangan lebih baik.
- 4) mencegah rusaknya nutrisi produk pangan lebih baik.

Tipe peralatan yang digunakan untuk produk tertentu ditentukan oleh berbagai faktor. Sensivitas produk, ukuran, dan bentuk produk makanan serta kualitas akhir yang diperlukan, laju

produksi, ketersediaan ruang, kapasitas investasi, tipe media pendinginan yang digunakan, dan sebagainya. Peralatan pembekuan secara umum dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- Memanfaatkan kontak langsung dengan permukaan dingin; produk makanan, baik dalam keadaan dikemas atau tidak, diekspos secara langsung dengan permukaan dingin, logam, lempengan, dan sebagainya.
- Memanfaatkan media udara sebagai media pendinginan; udara dalam temperatur yang sangat dingin digunakan dalam mendinginkan produk makanan. *Air blast*, *sprayudara*, *fluidized bed* juga termasuk dalam metode tersebut.
- Menggunakan cairan sebagai [coolant](#). Dalam hal ini, cairan yang bertemperatur sangat rendah, [titik didih](#) yang rendah, serta memiliki konduktivitas termal yang tinggi digunakan dalam mendinginkan produk makanan. Cairan disemprotkan ke produk atau produk direndam ke dalam cairan. Termasuk dalam metode ini adalah [cryogenic](#).

Kontak langsung dengan permukaan dingin

Dalam pembekuan sistem lempengan dingin, lempengan seolah menjadi pembungkus produk makanan tersebut. Lempengan dapat berupa lempengan ganda atau lempengan banyak yang didinginkan dengan berbagai cara. Ruang udara di antara lempeng dan pembungkus dapat menambah resistansi hambatan laju transfer kalor, sehingga ruang antara lempengan harus diminimalisasi menyesuaikan dengan ukuran produk makanan. Dan itulah yang menjadi keuntungan dari metode ini; bentuk dan ukuran lempengan dapat disesuaikan dengan ukuran produk makanan. Keuntungan lainnya adalah, pembekuan dapat dilakukan dengan cepat dari berbagai sisi produk makanan, karena logam memiliki konduktivitas termal yang tinggi sehingga transfer panas dapat melaju dengan cepat.

Pembekuan dengan lempengan-lempengan seperti ini cenderung lebih menghemat ruang karena penyusunan letak makanan yang rapat dan terstruktur.

Pembekuan dengan memanfaatkan media udara

Adalah tipe pembekuan yang umum, yaitu ruang pendingin yang diisi oleh udara yang didinginkan. Keuntungannya adalah, dengan memanfaatkan aliran konveksi, temperatur dingin dapat disebarkan hingga ke sudut ruangan secara efisien, namun koefisien transfer panas konvektif udara cenderung kecil sehingga pembekuan perlu dilakukan dalam waktu yang lebih lama akibat rendahnya laju transfer panas. Semakin besar ruangan, semakin kecil kalor yang dapat dipindahkan dalam satuan waktu tertentu. Hilangnya berat dari produk juga dapat terjadi akibat kontak langsung antara produk dan air yang mampu mengangkat kandungan air dalam produk makanan, terutama jika temperatur dan [kelembaban](#) memungkinkan.

[Sirkulasi udara](#) dapat dilakukan secara alami maupun secara mekanis dengan menggunakan [kipas](#).

Pembekuan dengan menggunakan cairan

Umumnya, produk makanan direndam dalam cairan pendingin yang didinginkan. Cairan yang digunakan berupa cairan yang memiliki titik didih rendah namun memiliki kemampuan menyerap panas yang tinggi, misalnya glikol atau cairan lainnya yang disebut coolant. Makanan cair juga dapat didinginkan dengan cara ini asalkan dikemas terlebih dahulu sebelum direndam. Umumnya tidak ada kontak langsung antara produk makanan dengan cairan pendingin, karena berisiko merusak kualitas produk makanan.

Penyemprotan makanan juga termasuk metode ini, dengan menggunakan cairan pendingin yang sejenis. Makanan dialirkan dengan konveyor, lalu dilakukan penyemprotan. Setelah dilakukan penyemprotan, umumnya produk makanan dibekukan dengan memanfaatkan media udara seperti aliran udara dingin. Cara ini menjadikan makanan menjadi beku lebih cepat dibandingkan tanpa cairan pendingin.

Dengan metode cryogenic, makanan dapat dibekukan dengan cara yang cepat. Makanan direndam dalam cairan cryogenik yang disebut dengan [cryogen](#). Cryogen yang umum digunakan misalnya [nitrogen cair](#) dan [karbon dioksida cair](#). Nitrogen cair memiliki titik didih yang sangat rendah, yaitu -196°C , sedangkan karbon dioksida cair memiliki titik didih -79°C . Cryogen cenderung tidak berbau, tidak berwarna, dan [inert](#) sehingga tidak akan bereaksi dengan bahan makanan padat walau pendinginan dilakukan dalam keadaan tanpa dikemas dan memengaruhi kualitas makanan kecuali terhadap temperatur dinginnnya itu sendiri. Selain itu, cryogen memiliki laju transfer panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan cairan pendingin lainnya.

Pada proses pembekuan dengan cryogenic, pendinginan awal perlu dilakukan untuk mencegah keretakan akibat turunnya temperatur secara drastis karena volum produk makanan mengalami perubahan volum yang sangat cepat ketika terendam dalam cryogen. Mempertahankan temperatur sangat mungkin karena cryogen yang menguap memiliki koefisien transfer kalor konvektif yang sangat tinggi.

Modifikasi terbaru dari pendingin cryogenic adalah pendingin cryomechanical yang menggabungkan metode perendaman produk dalam cairan cryogen dan metode mekanik yaitu menggunakan konveyor tipe sprayer, spiral, ataupun belt yang memanfaatkan uap cryogen. Hal ini akan mengurangi waktu pendinginan, mengurangi hilangnya berat produk makanan, meningkatkan kualitas produk, dan meningkatkan efisiensi.

2.8. Metode pendinginan dan pembekuan untuk bahan pangan

1. Air cooling

Air cooling menggunakan suhu pendingin lebih dari 0°C dengan debit udara 150m³/jam.

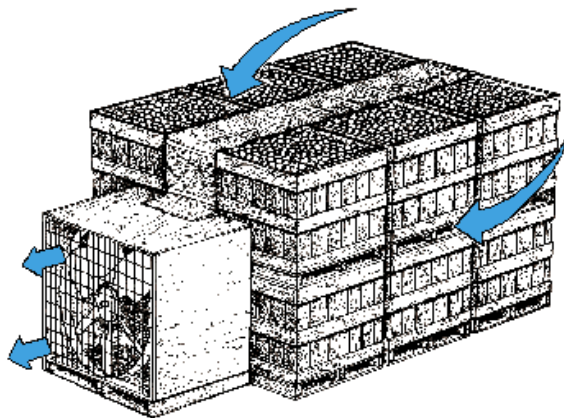
Metode pendinginan air cooling dapat digolongkan menjadi:

a. Room cooling



Room cooling biasanya menggunakan ruang dengan insulasi yang dilengkapi dengan alat pendingin. Umumnya digunakan untuk berbagai macam produk segar tapi kurang efektif untuk segera memindahkan *field heat* produk. Penerapan metode pendinginan room cooling adalah untuk proses pendinginan produk pada skala kecil maupun besar.

b. Air forced cooling



Pada pendinginan air forced cooling, udara pendingin didorong dengan kipas. Udara bersirkulasi dengan kecepatan tinggi 75-90% lebih cepat dibanding room cooling. Penggunaan air forced cooling harus dengan pengontrolan RH yang berkisar antara 90-98%. Metode pendinginan ini efektif untuk produk yang dikemas.

2. Hydrocooling



Pada pendinginan hydrocooling, panas produk dipindahkan melalui media air. Metode ini banyak digunakan untuk sayuran untuk mempertahankan tekstur dan kesegaran daun dan dapat digunakan sekaligus untuk membersihkan produk dimana dapat dicampur dengan klorin sebagai disinfektant. Kelemahannya adalah sering terjadi *mechanical injury* dan hanya bisa digunakan untuk komoditi yang tidak sensitif terhadap air. Hydrocooling untuk sayur biasanya dilakukan setelah dikemas.

3. Vacuum Cooling



Pendinginan vakum adalah salah satu metoda yang umum digunakan untuk pra-pendinginan sayuran berdaun. Efek pendinginan terjadi akibat penguapan cepat sejumlah air dari bahan yang akan didinginkan pada ruang bertekanan rendah. Panas laten yang dibutuhkan untuk penguapan tersebut diambil dari produk itu sendiri sehingga terjadi penurunan panas sensibelnya dan sebagai akibatnya terjadi penurunan suhu. Pendinginan vakum sangat populer pada pra-pendinginan sayuran berdaun karena dua keunggulannya yang utama, yaitu laju pendinginan cepat dan sebaran suhu seragam pada seluruh bahan. Efek pendinginan melalui panas laten penguapan. Metode pendinginan vakum merupakan metod pendinginan yang paling cepat. Tekanan udara di ruang pendinginnya berkisar 4.6 mm Hg. Metode pendinginan vakum banyak diterapkan untuk mendinginkan sayuran daun seperti selada, kubis, wortel, lada, jamur, kembang kol.

JENIS - JENIS PEMBEKUAN

1. Chest Freeze

Chest freezer membekukan makanan dengan sirkulasi alami dari udara antara 20⁰ C sampai 30⁰C. Pembeku ini tidak digunakan sebagai secara luas karena laju pembekuannya yang lambat (3-72 jam) sehingga tidak efektif secara ekonomi dan merusak kualitas dari makanan.



2. Cold Stores

Cold stores digunakan untuk membekukan daging, menyimpan makanan yang telah dibekukan dengan metode lain, dan memperkeras es krim. Refrigeran yang digunakan adalah udara. Masalah yang sering terjadi pada *cold stores* ini adalah terbentuknya timbunan es pada dinding-dinding nya. Hal ini mengakibatkan berkurangnya efisiensi dari *freezer*. Energi yang seharusnya digunakan untuk membekukan bahan makanan, terpakai untuk membentuk es. Masalah ini dapat diatasi dengan mengurangi kelembaban udara yang masuk sehingga es yang terbentuk berkurang, efisiensi bertambah dan ukuran *cold stores* berkurang.

3. Blast Freezer

Refrigerant yang digunakan pada *blast freezer* adalah udara. Udara yang digunakan disirkulasikan pada makanan pada temperature -30⁰C sampai 40⁰C dengan kecepatan 1,5 sampei

6 m/s. Udara yang mengalir dengan cepat ini menipiskan lapisan film dan meningkatkan koefisien perpindahan panas permukaan. Operasi pembekuan dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu partaian dan kontinu. Pada metode partaian, makanan disimpan pada rak di dalam ruang pendingin. Pada metode kontinu, makanan bergerak pada *conveyor belt* melalui ruang yang diinsulasi.

Hembusan udara dapat dengan bahan makanan dan setiap bagian dari *freezer* cukup ekonomis dalam berbagai bentuk dan Unit operasinya memiliki nilai namun tinggi kapasitasnya. juga dapat terjadi Pembentukan karena kelembaban yang pendingin sehingga dibutuhkan *defrosting* untuk tersebut. Udara yang direcycle, dapat mengakibatkan dehidrasi sampai 5 %, kebakaran *freezer*, dan perubahan oksidatif pada makanan yang tidak dikemas atau *individually quick frozen food*, IQF. Makanan IQF membeku lebih cepat, memungkinkan makanan yang telah dikemas untuk digunakan sebagian lalu dibekukan kembali. Makanan yang memiliki berat jenis rendah dan ruang kosong yang banyak, memiliki kemungkinan yang lebih besar untuk mengalami dehidrasi dan mengakibatkan kebakaran *freezer*.



parallel atau tegak lurus diatur agar melewati makanan. *Blast* dan fleksibel. Makanan ukuran dapat dibekukan. investasi yang kecil Pada unit operasi ini es di kumparannya dibawa oleh udara

menghilangkan es bila volume nya besar,

4. Belt Freezer (spiral freezer)

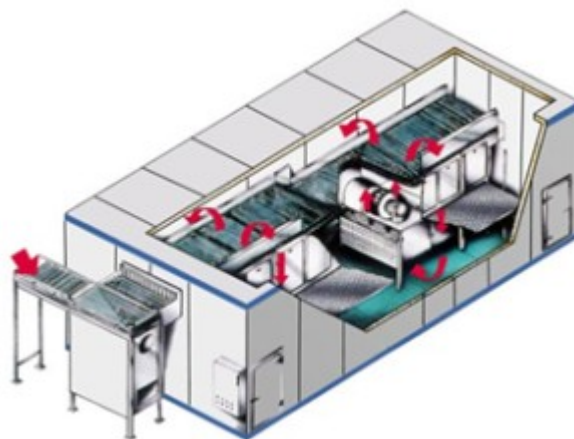
Belt freezer memiliki belt yang fleksibel dan bertautan satu sama lain dan membentuk deretan bertingkat berbentuk spiral dan membawa makanan melewati ruang pendingin. Udara

dingin atau semprotan dari nitrogen cair diarahkan langsung ke arah belt secara countercurrent (berlawanan arah) yang mengurangi kehilangan panas selama evaporasi. *Spiral freezer* memerlukan ruang yang relative kecil dan memiliki kapasitas yang besar. Keuntungan lain adalah pemuatan dan bongkar muat secara otomatis, biaya perawatan yang murah, dan mampu membekukan berbagai jenis bahan makanan.

5. Tunnel Freezer (Fluidized bed Freezer)

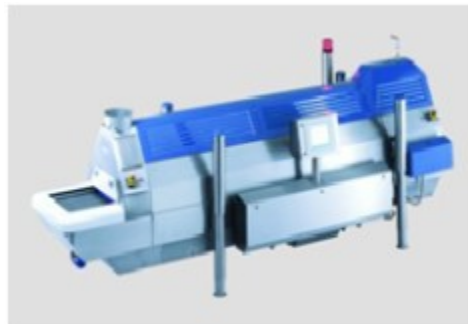
Fluidized bed freezer adalah *belt freezer* yang dimodifikasi. Udara yang dialirkan memiliki temperature antara 25°C – 35°C dan kecepatan 2-6 m/s. Bahan makanan yang akan dibekukan disusun sehingga memiliki ketebalan 2-13 cm pada baki atau *conveyor belt*. Pada beberapa desain, ada dua tahap pembekuan. Tahap pertama adalah pembekuan cepat untuk menghasilkan lapisan es yang baik pada permukaan bahan. Pada tahap ini, bahan makanan disusun membentuk lapisan tipis saja. Pada tahap kedua, makanan disusun membentuk lapisan dengan tebal 10-15 cm. Pembentukan lapisan ini baik untuk buah yang memiliki kecenderungan untuk

Bentuk dan kecepatan udara mempengaruhi makanan yang dengan udara pada *blast* permukaannya merata. Hal ini perpindahan panas



menggumpal satu sama lain. ukuran bahan tebal lapisan fluidisasi dan untuk melakukan fluidisasi. dibekukan dengan *fluidized freezer* berkontak lebih baik pendingin daripada *freezer* dan semua beku secara bersamaan dan mengakibatkan koefisien yang lebih tinggi, waktu pembekuan yang lebih pendek, laju produksi yang lebih tinggi, dan dehidrasi yang terjadi pada

makanan tak dikemas lebih kecil daripada *blast freezer*. Metode pembekuan ini cocok untuk makanan yang berbentuk partikulat (butiran). Untuk makanan yang besar, digunakan *through flow freezer*. Alat ini melewati udara pada makanan namun tidak terjadi fluidisasi. Kedua peralatan ini praktis, memiliki kapasitas besar, dan cocok untuk produksi makanan IQF.



6. Immersion Freezer

Dalam *immersion freezer*, makanan yang dikemas dilewatkan ke propilen glikol, air asin, gliserol, atau kalsium klorida yang direfrigerasi menggunakan conveyor yang dilewatkan pada lubang sehingga bahan makanan tersebut ‘terendam’ dalam refrigerant. Perbedaan dengan *cryogenic freezing*, cairan tidak mengalami perubahan fasa. Metode ini memiliki laju perpindahan panas yang besar dan investasi yang kecil. Metode ini digunakan untuk jus jeruk pekat dan untuk pembekuan tahap satu pada unggas yang dibungkus sebelum mengalami *blast freezing*.

7. Plate Freezing

Plate freezing terdiri dari beberapa plat berlubang dengan orientasi vertical atau horosontal. Lewat lubang-lubang ini refrigerant dengan temperature -40°C dipompakan. Operasinya bisa secara partaian, semi kontinu, dan kontinu. Makanan yang akan dibekukan umumnya makanan yang tipis atau berbentuk lembaran. Makanan ini ditempatkan diantara plat dan disusun sebagai lapisan tunggal. Lalu plat ini digerakan secara bersamaan sehingga dihasilkan sedikit tekanan untuk meningkatkan kontak antara permukaan makanan dan plat sehingga meningkatkan laju perpindahan panas. Keuntungan dari pembeku jenis ini adalah nilai ekonomi yang baik dan efisiensi tempat, biaya operasi yang rendah, dehidrasi rendah, *defrosting* terjadi pada tingkat yang minimal, dan perpindahan panas yang tinggi. Kekurangan dari metode ini adalah investasi yang tinggi dan bentuk makanan yang dibekukan harus tipis dan berbentuk lembaran.

8. Scraped surface Freezer

Metode ini digunakan untuk makanan yang berbentuk cairan atau semi cair. Alat nya memiliki desain yang mirip dengan alat evaporasi dan sterilisasi panas namun direfrigerasi oleh ammonia, air asin, atau refrigerant lain. Dalam industry es krim, rotor menggores makanan beku dari dinding *freezer* dan secara simultan mengalirkan udara ke dalam *freezer*. Sebagai alternative, udara dapat diinjeksikan ke produknya. Peningkatan volume produk dibandingkan dengan volume udara disebut *overrun*. Keuntungan metode ini adalah pembekuan yang cepat, sampai dengan 50% air dibekukan dalam beberapa detik saja, Kristal es yang sangat kecil dan memberikan tekstur yang lembut di mulut. Temperature diturunkan sampai -4°C sampai -7°C dan campuran yang telah dibekukan dipompa untuk pendinginan lebih lanjut. Pendinginan lebih lanjut contohnya terjadi pada *chest freezer*.

Komoditi	Metode Pendinginan	Suhu (°C)	RH (%)
Asparagus	H	2.2	95-100
Broccoli	H	0	95-100
Cabbage	R, F	0	98-100
Cucumbers	F,H	7.2 - 10	95
Eggplant	R, F	7.8 - 12.2	90-95
Green onions	H	0	95-100
Okra	R, F	7.2 - 10	90-95
Peppers	R, F	7.2 - 10	90-95
Sweet corn	H	0	95-98
Tomatoes	R, F	7.2 - 10	90-95

Keterangan:

R: Room Cooling

H: Hydrocooling

F: Forced cooling

RH: Kelembaban udara relative

Ada beberapa metode yang biasa digunakan untuk membuat pangan beku. Beberapa diantaranya adalah :

1. Penggunaan udara dingin yang ditiupkan atau gas lain dengan suhu rendah kontak langsung dengan makanan, misalnya dengan alat-alat pembeku tiup (*blast*), terowongan (*tunnel*), bangku fludisasi (*fluidised bed*), spiral, tali (*belt*) dan lain-lain.
2. Kontak tidak langsung misalnya alat pembeku lempeng (*platefreezer*), yaitu makanan atau cairan yang telah dikemas kontak dengan permukaan logam (lempengan, silindris) yang telah didinginkan dengan mensirkulasi cairan pendingin (alat pembeku berlempeng banyak).
3. Perendaman langsung makanan ke dalam cairan pendingin, atau menyemprotkan cairan pendingin di atas makanan (misalnya nitrogen cair dan freon, larutan gula atau garam).

Pada makanan beku siap saji yang belakangan ini populer menggunakan teknologi dengan udara dingin. Produk ini sebelumnya telah matang terlebih dahulu, makanan matang tersebut kemudian dibekukan dalam temperatur -40°C (dengan teknologi *blast freezer*), lalu disimpan pada ruang dengan suhu -18°C .

Teknologi *blast freezer* pada prinsipnya merupakan *shock temperature* untuk mikroba atau memusnahkan mikroba. Di samping itu, *blast freezer* juga

memungkinkan kristalisasi air yang terbentuk berukuran kecil dan solid, sehingga tidak berpengaruh nyata pada perubahan mutu produk (Sutanto, 2009).

Metode pembekuan yang dipilih untuk setiap produk tergantung pada :

1. Mutu produk dan tingkat pembekuan yang diinginkan;
2. Tipe dan bentuk produk, pengemasan, dan lain-lain;
3. Fleksibilitas yang dibutuhkan dalam operasi pembekuan;
4. Biaya pembekuan untuk teknik alternatif.

Nitrogen cair (titik didih -196°C) dan bahan pendingin bersuhu rendah lainnya telah sangat penting akhir-akhir ini sehubungan dengan perannya dalam pembekuan makanan secara cepat (*rapid freezing*), saat teknik pembekuan lainnya menghasilkan mutu yang rendah pada produk akhir. Perendaman langsung ke dalam cairan nitrogen telah diganti dengan sistem penyemprotan langsung pada makanan yang telah didinginkan terlebih dahulu oleh uap nitrogen yang bergerak berlawanan dengan aliran makanan dalam terowongan berinsulator yang lurus atau berbentuk spiral. Walaupun biaya operasi dengan menggunakan nitrogen cair ini lebih tinggi, cara ini mengurangi oksidasi permukaan makanan yang tidak dikemas dan hilangnya air dari bahan pangan tersebut, dan keluwesan cara ini memungkinkan untuk pembekuan berbagai jenis bahan pangan.

Perkiraan daya simpan dengan mutu yang tinggi (HQL = *high quality life*) atau waktu penyimpanan pada suhu tertentu yang dibutuhkan sebelum penguji terlatih dapat mengetahui adanya perubahan mutu (warna, rasa, tekstur) dari suatu makanan beku yang disimpan pada suatu keadaan penyimpanan beku tertentu jika dibandingkan dengan sampel kontrol yang disimpan pada suhu yang sangat rendah, untuk beberapa macam makanan beku yang disimpan pada tiga macam suhu ditunjukkan pada tabel berikut :

Makanan	HQL (bulan)		
	Suhu Penyimpanan ($^{\circ}\text{C}$)		
	-18	-12	-5
Buah peach	12	<2	0,2
Buah strawberry	12	2,4	0,3
Buncis hijau	10-12	3	1
Kapri hijau	10-12	3	1
Ayam mentah	12-18	8	2-3
Ayam goreng	2-3	<1	<0,6



Daging		4,6	<2
Daging		2,4	<1,5
Ikan mentah (berkadar lemak rendah)	4-8	<2,5	<1,5
Ikan mentah (berkadar lemak tinggi)	2-3	1,5	0,8

2.9. Aplikasi Teknik Pendinginan dan Pembekuan

- Produk Susu.
Produk hewani yang utama adalah susu, es krim, dan keju. Untuk Keperluan pasteurisasi, pertama-tama suhunya dinaikkan hingga kira-kira 73C selama kurang lebih 20 detik, kemudian susu didinginkan hingga 3-4C untu penyimpanan.
- Bahan Minuman
Dalam industri bahan minuman (anggur dan bir), refrigerasi berfungsi mengendalikan reaksi fermentasi dan mengawetkan beberapa produk setengah jadi serta produk akhirnya. Fermentasi minuman harus berlangsung pada suhu 8-12C.
- Industri kimia dan proses
Meliputi industri bahan kimia, penyulingan minyak. Pabrik petro kimia, pabrik kertas dan pulp.
Beberapa fungsi refrigasi: pemisahan gas-gas, pengembunn gas, dan penghilang kalor reaksi
- Pembuat es pada lemari es