

PENGOLAHAN DENGAN SUHU RENDAH

Tujuan Instruksional Khusus :

- Mahasiswa dapat menjelaskan prinsip-prinsip pengolahan dengan suhu rendah
- Mahasiswa dapat melakukan pengolahan bahan pangan dengan suhu rendah

PENDINGINAN (CHILLING)

- adalah proses pengolahan dimana suhu bahan diturunkan hingga $(-1)^{\circ}\text{C} - 8^{\circ}\text{C}$.
- Tujuan :
 - ✓ Mengurangi laju perubahan biokimia dan mikrobiologis
 - ✓ Memperpanjang umur simpan produk segar dan produk olahan.

PENDINGINAN (CHILLING)....

- Menyebabkan perubahan karakteristik sensori dan nilai gizi yang minimal \Rightarrow bahan pangan yang didinginkan lebih disukai konsumen karena mudah dalam penyajiannya, mutunya tinggi, lebih sehat, alami dan segar.
- Sejak tahun 1980-an telah berkembang produk-produk yang didinginkan di pasar seperti : sandwiches, desserts, ready meals, prepared salads, pizza dan fresh pasta.
- Sejak tahun 1980-an setiap tahunnya terdapat hampir 1000 jenis produk pangan yang didinginkan.

PENDINGINAN (CHILLING)....

- Biasanya dikombinasikan dengan proses pengolahan lain seperti fermentasi atau pasteurisasi untuk menambah umur simpan produk yang diolah dengan panas minimal.
- Pengaruh mengawetkan > jika dikombinasikan dengan pengaturan udara ruang penyimpanan (CA)
- Tidak semua produk dapat didinginkan, misalnya pada beberapa jenis buah temperate dapat mengalami chilling injury pada suhu $3-10^{\circ}\text{C}$ di atas titik bekunya.

PENDINGINAN (CHILLING)...

■ Berdasarkan suhu penyimpanannya produk pangan dingin dibagi atas 3 kategori :

1. -1°C - +1°C (fresh fish, meats, sausages and ground meats, smoked meats and breaded fish)
2. 0°C - +5°C (pasteurised canned meat, milk, cream, yoghurt, prepared salads, sandwiches, baked goods, fresh pasta, fresh soups and sauces, pizzas, pastries and unbaked dough).
3. 0°C - +8°C (fully cooked meats and fish pies, cooked or uncooked cured meats, butter, margarine, hard cheese, cooked rice, fruit juices and soft fruits).

PENDINGINAN PRODUK SEGAR

- Faktor-faktor yang mempengaruhi umur simpan produk segar yang disimpan pada suhu dingin :
 - ✓ Tipe bahan pangan dan varietas/kultivar
 - ✓ Bagian tanaman yang dipanen (bagian yang tumbuh lebih cepat mempunyai laju metabolisme yang > dan masa simpan yang lebih singkat)
 - ✓ Kondisi bahan ketika dipanen (ada tidaknya kerusakan mekanis atau kontaminasi mikroba, tingkat kematangan)
 - ✓ Suhu panen, penyimpanan, distribusi dan pemasaran.
 - ✓ RH ruang penyimpanan ⇔ dehydration loss

■ Berdasarkan perubahan laju respirasinya selama penyimpanan, buah dibedakan atas klimakterik dan non klimakterik.

- Buah klimakterik : apel, aprikot, alpukat, pisang, mangga, peach, pear, plum dan tomat
- Buah non klimakterik : cherry, mentimun, fig, anggur, jeruk besar, lemon, nenas, strawberry.
- Pola respirasi pada sayuran mirip seperti buah non klimakterik.

Tabel 1. Fungsi botani yang berhubungan dengan laju respirasi dan umur simpan produk

Produk	Laju respirasi Relatif	Fungsi Botani	Umur simpan (pada 2°C)
Asparagus	40	Actively growing shoots	0.2-0.5
Mushrooms	21		
Artichoke	17	Aerial parts of plants	1-2
Spinach	13		
Lettuce	11		
Cabbage	6	Storage Roots	5-20
Carrots	5		
Turnips	4		
Beetroots	3	Specialised storage organs	25-50
Potatoes	2		
Garlic	2		
Onions	1		

Tabel 2. Panas respirasi yang dihasilkan beberapa produk

Produk	Panas respirasi (W t ⁻¹)		
	0°C	10°C	15.5°C
Apel	10-12	41-61	58-87
Pisang	-	65-116	-
Beans	73-82	-	440-580
Wortel	46	93	-
Seledri	21	58-81	-
Jeruk	9-12	35-40	68
Selada	150	-	620
Pir	8-20	23-63	-
Kentang	-	20-30	-
Strawberry	36-52	145-280	510
Tomat	57-75	-	78

- Jika suhu diturunkan hingga < suhu optimum maka terjadi perubahan yang tidak diinginkan pada buah dan sayur ⇒ disebut CHILLING INJURY

Misal : - pencoklatan

- kegagalan matang
- memar

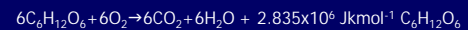
- Suhu terjadinya chilling injury pada beberapa produk :

- Apel : < 2-3°C
- Mangga : < 10-13°C
- Pisang : < 12-13°C
- Lemon : < 14°C
- Alpukat : < 13°C
- Melon, nenas & tomat : < 7-10°C

- Pada jaringan hewan yang baru dipotong, terhentinya suplai O₂ menyebabkan terjadinya respirasi anaerob ⇒ glikogen berubah menjadi asam laktat ⇒ penurunan pH dan dimulainya proses rigormortis dimana jaringan otot menjadi keras .
- Pendinginan selama respirasi anaerob akan menghasilkan tekstur dan warna daging yang diinginkan dan dapat mengurangi kontaminasi bakteri.
- Perubahan yang tidak diinginkan yang disebabkan oleh pendinginan daging sebelum rigormortis disebut COLD SHORTENING.

- Pada proses pendinginan produk segar, maka perlu dilakukan penghilangan panas baik panas lapang (sensible heat/field heat) maupun panas respirasi (respiration heat).

- Produksi panas respirasi pada suhu 20°C dan tekanan atmosfer adalah :



Contoh soal :

Buah berry segar yang baru dipanen dengan diameter 2 cm didinginkan dari suhu 18°C menjadi 7°C pada sebuah ruang pendingin dengan suhu -2°C dengan koefisien pindah panas 16 W/m²K⁻¹. Buah sebanyak 250 kg dimuat ke dalam kontainer secara batch dan dibiarkan pada suhu -2°C selama 12 jam sebelum pengolahan selanjutnya. Ruang pendingin dapat menampung 2.5 ton buah, dan ukuran ruang pendingin 10m x 10 m dengan tinggi 3 m. Dinding dan lantai diinsulasi dengan busa poliuretan dengan tebal 300 mm dan lantai terbuat dari beton 450 mm. Suhu ruang rata-rata 12°C dan suhu tanah 9°C. Seorang operator memindahkan kemasan dengan jarak rata-rata 45 mm/hari dan menyalakan 4 buah lampu 100 W selama penyimpanan. Berat tiap kontainer 50 kg. Hitung waktu yang dibutuhkan untuk mendinginkan berry dan tentukan apakah refrigerator 5 kW sesuai untuk mendinginkan produk tersebut.

Data tambahan : konduktivitas panas berry = 0.127 W/m²K, konduktivitas panas insulator = 0.026 W/m²K, konduktivitas panas beton 0.87 W/m²K, panas spesifik berry = 3778 J/kg²K, panas spesifik kemasan 480 J/kg²K, densitas berry = 1050 kg/m³, panas yang dihasilkan operator = 240 W dan rata-rata panas respirasi berry = 0.275 J/kg/detik.

PENYELESAIAN :

$$Bi = \frac{h u}{k}$$

$$= \frac{16 \times 0.01}{0.127} = 1.26$$

$$\frac{1}{Bi} = 0.79$$

Faktor suhu dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\frac{t_h - t_f}{t_h - t_i} = \frac{7 - (-2)}{18 - (-2)} = 0.45$$

- Bilangan Fourier (Fo) adalah bilangan tak berdimensi yang berhubungan dengan difusivitas panas, ukuran bahan dan waktu pendinginan.

Dari kurva pindah panas unsteady state untuk benda berbentuk bulat dengan nilai faktor suhu sebesar 0.45, maka bilangan fourier (Fo) = 0.38

Persamaan bilangan Fourier :

$$Fo = \frac{kt}{cp u^2}$$

$$0.38 = \frac{kt}{cp u^2}$$

$$t = \frac{0.38 \times 3778 \times 1050 \times (0.01)^2}{0.127} = 1187 \text{ det ik} = 19.8 \text{ menit}$$

- Untuk menentukan apakah refrigerator sesuai untuk pendinginan atau tidak, maka diasumsikan buah berry masuk ke dalam penyimpanan pada suhu dingin yang diinginkan.

$$\text{Panas respirasi} = 2500 \times 0.275 = 687.5 \text{ W}$$

Asumsi : perubahan suhu kemasan = suhu berry

$$\text{dan banyaknya kemasan} = 2500/250 = 10$$

Panas yang dikeluarkan dari kemasan =

$$10 \times 50 \times 480 (18-7)$$

$$12 \times 3600$$

$$= 61 \text{ W}$$

- Panas yang dihasilkan oleh operator dan lampu =
$$\frac{(240 + 4 \times 100) (45 \times 60)}{24 \times 3600}$$
 = 20 W

Pada kondisi steady state, laju pindah panas dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Q = \frac{kA(t_1 - t_2)}{x}$$

- Luas ruang pendingin : $60 + 60 + 100 = 220 \text{ m}^2$
Panas yang hilang melalui atap dan dinding =
$$\frac{0.026 \times 220 [12 - (-2)]}{0.3}$$
 = 267 W
- Panas yang hilang melalui lantai dengan luas 100 m^2 =
$$\frac{0.87 \times 100 [9 - (-2)]}{0.45}$$
 = 2127 W
- Sehingga total panas yang hilang = $687.5 \text{ W} + 61 \text{ W} + 20 \text{ W} + 2394 \text{ W} = 3162.5 \text{ W} = 3.2 \text{ kW} \Rightarrow$ refrigerator 5 kW sesuai untuk pendinginan tersebut.

PENDINGINAN PRODUK OLAHAN

- Penurunan suhu di bawah suhu minimum yang dibutuhkan mikroba untuk pertumbuhannya akan memperpanjang waktu generasi mikroba atau memperlambat reproduksi.
- Berdasarkan suhu pertumbuhannya ada 4 kategori mikroba :
 1. Termofilik (minimum : $30-40^\circ\text{C}$, opt : $55-65^\circ\text{C}$)
 2. Mesofilik (minimum $5-10^\circ\text{C}$, opt : $30-40^\circ\text{C}$)
 3. Psykrotropik (minimum $<0-5^\circ\text{C}$, opt : $20-30^\circ\text{C}$)
 4. Psikrofilik (minimum $<0-5^\circ\text{C}$, opt : $12-18^\circ\text{C}$).

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 $< 5^\circ\text{C}$. Contoh bakteri yang dapat tumbuh pada suhu dingin dan bersifat patogen :

- Aeromonas hydrophilia	- Listeria spp
- Yersinia enterocolitica	- Bacillus cereus
- Vibrio parahaemolyticus	- E.coli
- 10 sel E.coli 0157 : H7 menyebabkan pendarahan pada usus.

↓
penting menerapkan GMP (Good Manufacturing Practice)
dalam memproduksi produk pangan dingin

- Masa simpan produk pangan olahan dingin ditentukan oleh :
 - ✓ Type produk
 - ✓ Tingkat destruksi mikroba atau inaktivasi enzim yang dihasilkan dari pengolahan
 - ✓ Kebersihan selama proses pengolahan dan pengemasan
 - ✓ Sifat barrier dari kemasan
 - ✓ Suhu selama pengolahan, distribusi dan penyimpanan.

COOK-CHILL SYSTEM

- Sliced roast meats atau complete meals ⇒ produk yang dihasilkan dari proses cook-chill atau cook-pasteurise-chill
- Contoh : sous-vide product ⇒ produk yang dikemas vakum sebelum pasteurisasi

COOK-CHILL SYSTEM.....

- Produk pangan dingin diklasifikasikan berdasarkan resiko dikontaminasi oleh mikroba :
 - ✓ Klas 1 : produk pangan yang mengandung ingredien mentah seperti salad atau keju, misalnya RTE (ready-to eat) foods, bahan pangan mentah yang stabil pada suhu dingin seperti daging, ikan dll).
 - ✓ Klas 2 : produk yang terbuat dari campuran ingredien yang sudah dimasak dan ingredien mentah dengan resiko rendah
 - ✓ Klas 3 : produk yang dimasak dan kemudian dikemas
 - ✓ Klas 4 : produk yang dimasak setelah dikemas, termasuk Ready-to-eat-products-for-extended-durability (REPFEDs) dengan umur simpan > 40 hari. Istilah REPFEDs juga digunakan untuk : Refrigerated-pasteurised-foods-for-extended-durability).

COOK-CHILL SYSTEM.....

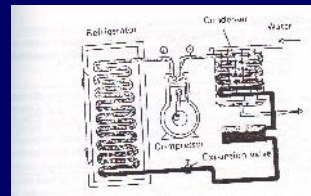
- Produk klas 1, 2 dan 4 membutuhkan higienitas khusus untuk mencegah bakteri seperti *Listeria* spp.
- Produk klas 2 dan 3 membutuhkan "high care area" untuk memisahkan produk pangan yang sudah dimasak selama persiapan.
- Cooked-chilled foods dimasak selama 30 menit, didinginkan hingga suhu 3°C selama 90 menit dan disimpan pada suhu 0-3°C.
- Cook-pasteurised-chill system : produk pangan yang panas diisi ke dalam kemasan fleksibel, kemudian divakumkan sebagian untuk mengilangkan O₂ dan kemasan disealer ⇒ dipasteurisasi pada suhu 80°C selama 10 menit diikuti pendinginan pada suhu 3°C ⇒ umur simpan 2-3 minggu.

PERALATAN PENGINGINAN

- Berdasarkan cara untuk mengeluarkan panas dibedakan atas :
 - Mechanical refrigerators
 - Cryogenic system
- Keduanya dapat dilakukan secara batch atau kontiniu.

Mechanical Refrigerators

- Mempunyai 4 elemen dasar : evaporator, kompresor, kondensor dan katup ekspansi.
- Komponen terbuat dari tembaga karena konduktivitas panasnya rendah.



Mechanical Refrigerators.....

- Refrigerant bersirkulasi di antara 4 elemen refrigerator merubah keadaan cair menjadi gas dan kembali ke cair dengan proses sebagai berikut :
 - ✓ Di dalam evaporator refrigeran cair menguap karena tekanan rendah dan mengabsorpsi panas laten penguapan serta mendinginkan medium pembekuan.
 - ✓ Uap refrigerant dari evaporator melewati kompresor dimana tekanan meningkat
 - ✓ Kemudian uap melewati kondensor dimana tekanan tetap tinggi dan uap dikondensasikan
 - ✓ Cairan melewati katup ekspansi dimana tekanan dikurangi dan kembali pada siklus refrigerasi.

Mechanical Refrigerators.....

- Sifat-sifat penting dari refrigerant :
 - Titik didih rendah dan panas laten penguapan tinggi
 - Uap padat untuk mengurangi ukuran kompresor
 - Toksisitas rendah dan tidak mudah terbakar
 - Tidak mudah bercampur dengan minyak di dalam kompresor
 - Murah

Mechanical Refrigerators.....

- Amonia mempunyai sifat pindah panas yang baik dan tidak dapat bercampur dengan minyak, tapi toksik dan mudah terbakar serta menyebabkan korosi pada pipa tembaga.
- CO₂ tidak mudah terbakar dan tidak toksik, tapi butuh tekanan operasi yang lebih tinggi daripada amonia.
- Refrigeran halogen (CFC= chlorofluorocarbon) tidak toksik dan tidak mudah terbakar, sifat pindah panas baik, murah tapi dapat berinteraksi dengan ozon yang menyebabkan greenhouse gases.
- Saat ini dikembangkan Partially halogenated CFSs (HCFCs) yang ozone-friendly.
- Refrigerant utama saat ini adalah Freon 22 dan amonia ⇒ lebih mahal dan menyebabkan bahaya lokal sehingga perlu pengamanan.

Mechanical Refrigerators.....

- Media pendingin : udara, air atau permukaan logam.
- Air-blast chillers dapat digunakan untuk wadah bahan yang sudah didinginkan
- Contoh refrigerator dengan media permukaan logam : Eutetic plate system.

Cryogenic Chilling

- Cryogen adalah refrigeran yang merubah fase dengan cara mengabsorpsi panas laten untuk mendinginkan produk.
- Contoh cryogenic chillers : CO₂ padat, CO₂ cair dan N₂ cair.
- Aplikasi cryogenic cooling : pada pengolahan sosis ⇒ CO₂ padat mengeluarkan panas yang dihasilkan selama pengecilan ukuran dan pencampuran.

Pengaruh Pendinginan terhadap Produk Pangan

- Sedikit atau tidak ada penurunan mutu atau nilai gizi.
 - Pengaruh terhadap sifat sensori : terjadinya pengerasan karena solidifikasi lemak dan minyak.
 - Perubahan kimia, biokimia dan fisik selama penyimpanan dingin menyebabkan kehilangan mutu ⇒ lebih besar daripada kerusakan akibat mikroba.
- Tdd : browning enzimatis, lipolisis, penurunan nilai warna dan flavor pada beberapa produk dan retrogradasi pati yang menyebabkan "staling" pada produk bakery (lebih cepat pada suhu dingin daripada suhu ruang).

Pengaruh Pendinginan terhadap Produk Pangan.....

- Oksidasi lemak terjadi pada cook-chilled product yang menghasilkan flavor teroksidasi yang disebut "warm-over flavor" (WOF).
- Perubahan fisiko-kimia meliputi : migrasi minyak pada mayonaise ke kubis pada coleslaw, sineresis pada saus karena perubahan kekentalan pati, staling pada roti sandwiches.
- Kehilangan vitamin C pada cook-pasteurise-chill < dari cooked-chilled food. Contoh : kehilangan vitamin C bayam 66% selama 3 hari pada suhu 2-3°C setelah dimasak dan didinginkan, tapi hanya 26% selama 7 hari pada suhu 24°C setelah cook-pasteuriseing-chilling.

PEMBEKUAN (FREEZING)

- adalah pengolahan dengan suhu di bawah titik beku produk dan sebagian air berubah menjadi bentuk kristal es \Rightarrow terjadi penurunan a_w



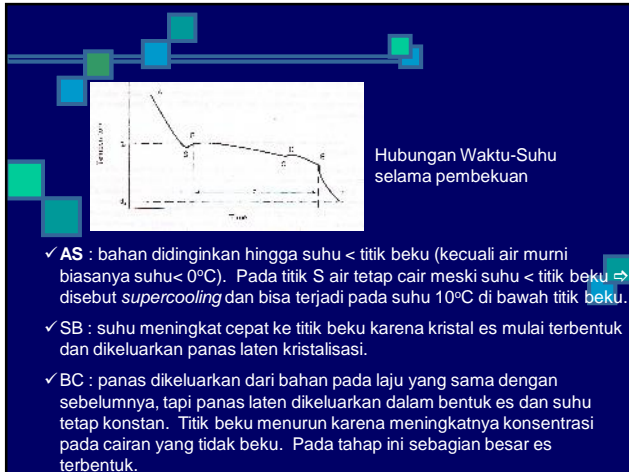
Efek pengawetan terjadi karena suhu rendah dan a_w rendah, dan pada sebagian produk karena perlakuan blansing.

Kelompok bahan pangan beku komersial :

- ✓ Buah-buahan (strawberry, jeruk, raspberrry, blackcurrants) baik bentuk segar atau oalhan seperti puree dan konsentrat.
- ✓ Sayuran (peas, green beans, jagung manis, bayam dan kentang)
- ✓ Fillet ikan dan seafoods (cod, udang dan rajungan) termasuk fish finger, fish cakes termasuk dishes yang dilengkapi saus.
- ✓ Daging (sapi, domba dan unggas) : karkas, potongan kecil dan produk daging (sosis, burger, steaks)
- ✓ Produk bakery (roti, cakes, pie buah dan daging).
- ✓ Prepared foods (pizzas, desserts, ice cream, complete meals dan cook-freeze dishes).

TEORI

- Selama pembekuan panas sensible terlebih dahulu dikeluarkan hingga suhu lebih rendah kemudian suhu diturunkan ke titik beku. Pada produk segar panas respirasi juga dikeluarkan \Rightarrow disebut heat load (penting dalam menentukan ukuran peralatan pembekuan).



- ✓ CD : bahan terlarut menjadi superjenuh dan kristal keluar. Panas laten kristalisasi dikeluarkan dan suhu meningkat.
- ✓ DE : kristalisasi air dan solut terus terjadi.
- ✓ EF : suhu campuran air dan es menurun hingga suhu beku. Sebagian air masih cair dan jumlahnya tergantung pada tipe dan komposisi bahan serta suhu penyimpanan, Misal : pada suhu penyimpanan -20°C %tase air yang beku : 88% pada daging domba, 91% pada ikan dan 93% pada albumin telur.

- ### PERALATAN PEMBEKUAN
- Faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dalam memilih peralatan pembekuan :
 - ✓ Laju pembekuan yang diinginkan
 - ✓ Ukuran, bentuk dan kemasan yang dibutuhkan produk
 - ✓ Proses batch atau kontiniu
 - ✓ Skala produksi
 - ✓ Banyaknya produk yang diolah
 - ✓ Biaya peralatan dan proses

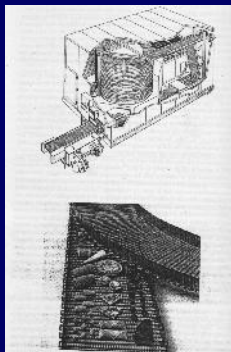
- ### PERALATAN PEMBEKUAN.....
- Freezer dibedakan atas :
 - Mechanical refrigerator
 - Cryogenic freezers
 - berdasarkan laju pergerakan es dibedakan atas :
 - ✓ Slow freezers dan sharp freezers (0.2 cm/jam) : still-air freezers dan cold stores.
 - ✓ Quick freezers (0.5-3 cm/jam) : air-blast dan plate freezer
 - ✓ Rapid Freezers (5-10 cm/jam) : fluidised-bed freezers
 - ✓ Ultrarapid Freezers (10-100 cm/jam) : cryogenic Freezers.

PERALATAN PEMBEKUAN.....

- Freezer diinsulasi dengan polystiren atau bahan lain dengan konduktivitas panas rendah.
- Saat ini dikembangkan freezer yang dilengkapi dengan "computer control" untuk memonitor parameter proses dan status peralatan.

PERALATAN PEMBEKUAN.....

- Cooled-Air Freezers
 - ✓ Chest Freezers (Lemari Pembeku) : Produk didinginkan dengan udara bersuhu -20°C dan -30°C \Rightarrow tidak digunakan untuk komersial karena laju pembekuan rendah (3-72 jam).
 - ✓ Cold stores : digunakan untuk membekukan karkas, menyimpan produk beku dan sebagai ruang pengerasan untuk es krim.
 - ✓ Blast Freezers : udara disirkulasikan pada produk dengan suhu $(-30) - (-40)^{\circ}\text{C}$ dan kecepatan 1.5-6.0 m/dtk.
 - ✓ Belt Freezers (Spiral Freezers) : baik untuk pizza, cakes, pie, ikan dan daging ayam.
 - ✓ Fluidised Bed Freezers : modifikasi blast freezers dimana udara bersuhu $(-25) - (-35)^{\circ}\text{C}$ dengan kecepatan tinggi (2-6 m/dtk) dilewatkan pada bahan pangan yang ditempatkan pada wadah berporasi atau conveyor belt.



Spiral Freezer

PERALATAN PEMBEKUAN.....

- Cooled-Surface Freezers :
 - ✓ Plate Freezers tdd hollow plates vertikal atau horizontal yang dipompakan refrigeran bersuhu -40°C . Aplikasi pada : produk berbentuk datar dan tipis : fillet ikan, fish fingers, beefburger.
 - ✓ Scraped-surface freezers : digunakan untuk bahan pangan cair atau semi padat seperti es krim.

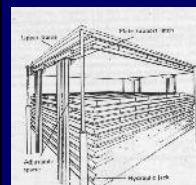
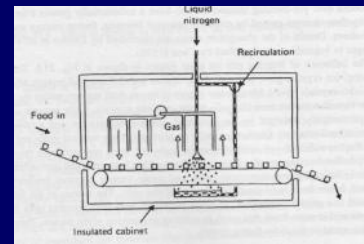


Plate Freezer

PERALATAN PEMBEKUAN.....

■ Cryogenic Freezers :

- ✓ Terjadi perubahan keadaan refrigeran setelah mengabsorpsi panas laten dari produk. Panas dari produk memberikan panas laten penguapan atau sublimasi cryogen.
- Cryogen kontak dengan produk dan dengan cepat mengeluarkan panas dari permukaan produk.
- ✓ Jenis cryogen : CO₂ cair dan N₂ cair, Diklorodiflorometan (Freon 12) ⇒ untuk produk pangan lengket dan mudah pecah seperti pasta daging, udang, irisan tomat.
- ✓ Freon 12 dilarang penggunaannya berdasarkan Protokol Montreal.



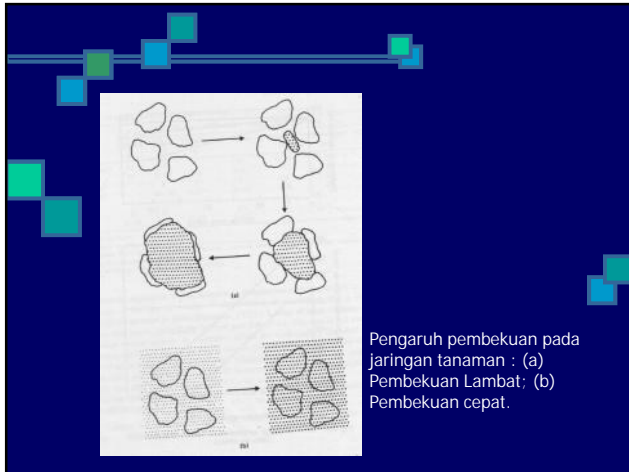
Liquid-nitrogen Freezer.

PENGARUH PEMBEKUAN TERHADAP BAHAN PANGAN

- Perubahan pigmen, flavor dan gizi sedikit (kehilangan disebabkan pada proses pengolahan sebelumnya).
- Emulsi pangan dapat menjadi tidak stabil
- Protein kadang-kadang dipresipitasi dari larutan ⇒ tidak boleh mengkonsumsi susu beku
- Terjadi retrogradasi dan staling pada produk bakery ⇒ dicegah dengan menambahkan sejumlah amilopektin.

PENGARUH PEMBEKUAN TERHADAP BAHAN PANGAN.....

- Pengaruh laju pembekuan terhadap jaringan tanaman :
 - ✓ Pada pembekuan lambat, kristal es tumbuh di antara ruang intraseluler dan memecahkan dinding sel. Kristal es mempunyai tekanan uap air < dari daerah di dalam sel sehingga air bergerak dari sel ke kristal es yang tumbuh ⇒ sel mengalami dehidrasi dan rusak secara permanen karena peningkatan konsentrasi zat terlarut. Pada proses thawing sel tidak dapat kembali ke bentuk semula.
 - ✓ Pada pembekuan cepat terbentuk kristal es yang lebih kecil di dalam sel dan pada ruang antar sel. Kerusakan fisik sel hanya sedikit, dan tidak terdapat perbedaan tekanan uap air sehingga dehidrasi sel sedikit. Pada proses thawing tekstur bahan dapat dipertahankan.
 - ✓ Pada laju pembekuan sangat tinggi dapat menyebabkan stres pada produk yang menyebabkan jaringan menjadi pecah.



PENGARUH PEMBEKUAN TERHADAP BAHAN PANGAN.....

- Secara umum perubahan produk pangan beku selama penyimpanan adalah :
 - ✓ Terjadi degradasi pigmen : kloroplas dan kromoplast pecah, klorofil didegradasi menjadi feofitin. Pada buah perubahan pH karena presipitasi garam akan merubah warna antosianin.
 - ✓ Kehilangan vitamin larut air (vitamin C dan asam pantotenat)
 - ✓ Aktivitas residu enzim \Rightarrow pada sayuran yang diblansir tidak sempurna, sehingga polifenoloksidase dan lipksigenase masih aktif yang menyebabkan off-flavor dan off-odours.
 - ✓ Oksidasi lemak (lambat pada suhu -18°C) menyebabkan off-odours dan off-flavors.

REKRISTALISASI

- adalah perubahan fisik kristal es (misalnya perubahan bentuk, ukuran dan orientasi) yang menyebabkan kehilangan mutu produk.
- 3 type rekristalisasi pada produk :
 1. Rekristalisasi isomass : perubahan pada bentuk permukaan atau struktur internal.
 2. Rekristalisasi Akretif : 2 kristal es yang berdekatan bergabung membentuk kristal yang lebih besar menyebabkan pengurangan jumlah kristal secara keseluruhan pada bahan pangan.
 3. Rekristalisasi Migratori : peningkatan ukuran dan pengurangan jumlah kristal karena pertumbuhan kristal yang lebih besar \Rightarrow yang paling penting (disebabkan oleh fluktuasi suhu ruang).