



PEMBEKUAN

Tujuan

menurunkan suhu sampai batas titik tertentu yang dapat menghambat proses deteriorasi oleh mikroba sehingga diperoleh produk yang lebih awet.

PEMBEKUAN

Mekanisme Pembekuan :

1. Panas bahan pangan diambil → suhu turun hingga titik beku
2. Energi panas terus dilepaskan → air dan bahan pangan membeku
3. Energi panas terus dilepaskan → hingga suhu yang dikehendaki

Waktu pembekuan (Freezing Time)

- → waktu yang diperlukan untuk menurunkan suhu pusat dari suhu awal produk tersebut menjadi suhu yang diinginkan (Muchtadi dan Fitriyono, 2010).

Pendugaan Laju Pembekuan

Persamaan Plank

- Persamaan ini menggambarkan periode perubahan fase pada proses pembekuan untuk air.

- Jumlah pindah panas, q , yang melewati lapisan beku secara konduksi dan konveksi :

$$q = \frac{A(T_f - T_a)}{\frac{1}{h} + \frac{x}{k_f}}$$

- Karena semua panas yang dilepas pada saat pembekuan harus dilepaskan ke sekelilingnya maka :

$$L\rho_f \frac{dx}{dt} = \frac{(T_f - T_a)}{\frac{1}{h} + \frac{x}{k_f}}$$

Waktu pembekuan, t_f (Plank)

$$t_f = \frac{\rho_f L}{(T_f - T_a)} \left[\frac{P' a}{h} + \frac{R' a^2}{k_f} \right]$$

ρ_f = the density of the frozen material

L_f = the latent heat of the food (kJ/kg)

T_f = the freezing temperature ($^{\circ}\text{C}$)

T_a = the freezing air temperature ($^{\circ}\text{C}$)

h = the convective heat transfer coefficient at the surface of the material ($\text{W}/(\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C})$)

k = the thermal conductivity of the frozen material ($\text{W}/\text{m } ^{\circ}\text{C}$)

a = ketebalan slab, atau diameter bahan untuk bentuk silinder

$P^2 = 1/2$, $R^2 = 1/8$ \rightarrow infinite plate

$P^2 = 1/4$, $R^2 = 1/16$ \rightarrow infinite cylinder

$P^2 = 1/6$, $R^2 = 1/24$ \rightarrow sphere

Contoh 1

A spherical food product is being frozen in a freezer. The initial product temperature is 10°C and the cold air -40°C . The product has a 7 cm diameter with density of 1000 kg/m^3 , the initial freezing temperature is $-1,25^{\circ}\text{C}$, the thermal conductivity of the frozen product is $1,2\text{ W/(m}^{\circ}\text{C)}$, the convective heat transfer coefficient is $50\text{ W/(m}^2\text{ }^{\circ}\text{C)}$ and the latent heat of fusion is 250 kJ/kg . Determine the Freezing time



Metode Pham

- Metode ini dapat digunakan untuk bahan yang bentuk tidak beraturan dengan pendekatan elipsoidal.
- Keunggulan dari metode ini adalah mudah digunakan dengan tingkat keakuratan yang dapat dipercaya
- Metode ini menggunakan asumsi sebagai berikut:
 - kondisi lingkungan adalah konstan
 - suhu awal , T_i , konstan
 - nilai suhu akhir, T_c , tetap
 - konveksi pada permukaan bahan mengikuti hukum Newton tentang pendinginan. $dT/dt = k (T - T_o)$

Diagram Pembekuan



Waktu pembekuan untuk beberapa bentuk boyek sederhana:

$$t = \frac{dc}{E_f h} \left[\frac{\Delta H_1}{\Delta T_1} + \frac{\Delta H_2}{\Delta T_2} \right] \left(1 + \frac{N_{Bi}}{2} \right)$$

dc = a characteristic dimension either shortest distance to center, or radius (m)

h = the convective heat transfer coefficient (W/m² K)

E_f = the shape factor, an equivalent heat transfer heat transfer dimension

$E_f = 1 \rightarrow$ infinite slab

$E_f = 2 \rightarrow$ infinite cylinder

$E_f = 3 \rightarrow$ sphere

- ΔH_1 adalah perubahan enthalpi secara volumetrik untuk periode *pre cooling* (J/m³).

$$\Delta H_1 = \rho_u c_u (T_i - T_{fm})$$

c_u = panas spesifik untuk bahan yang tak terbekukan (J/[kg.K]),

T_i = suhu awal bahan (°C)

$$\Delta H_2 = \rho_f [L_f + c_f (T_{fm} - T_c)]$$

- ΔH_2 adalah perubahan enthalpi secara volumetrik pada periode perubahan fase dan *post cooling*.

c_f = panas spesifik untuk bahan beku (J/[kg.K])

L_f = panas laten pembekuan (J/kg)

ρ_f = massa jenis bahan beku

$$L_f = m_m L$$

$$L = 333,2 \text{ kJ/(kg)}$$

$$\Delta T_1 = \left[\frac{T_i + T_{fm}}{2} \right] - T_a$$

$$\Delta T_2 = T_{fm} - T_a$$

$$N_{Bi} = \frac{h \cdot r}{k}$$

T_{fm} = mean freezing temperature

T_a = freezing medium temperature

$$T_{fm} = 1,8 + 0,263T_c + 0,105T_a$$

Contoh 2

A spherical food product ($M=75\%$) is being frozen in an air-blast freezer. The initial product temperature is 10°C and the cold air -15°C . The product has a 7 cm diameter with density of unfrozen product is 1000 kg/m^3 , density of frozen product is 950 kg/m^3 . Final center temperature is -18°C , the thermal conductivity of the frozen product is $1,2\text{ W/(m }^{\circ}\text{C)}$, the convective heat transfer coefficient is $50\text{ W/(m}^2\text{ }^{\circ}\text{C)}$, the specific heat for the unfrozen product is $3,6\text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C}$ and the specific heat for the frozen product is $1,8\text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C}$.



Prediction of Freezing Time of Finite-Shaped Objects



Untuk finite shape object, kita memerlukan faktor bentuk yaitu:

$$E_f = G_1 + G_2 E_1 + G_3 E_2$$

$$E_1 = \frac{X_1}{\beta_1} + [1 - X_1] \frac{0.73}{\beta_1^{2.5}};$$

$$E_2 = \frac{X_2}{\beta_2} + [1 - X_2] \frac{0.73}{\beta_2^{2.5}}$$

$$X_1 = \frac{2.32\beta_1^{-1.77}}{(2N_{Bi})^{1.34} + 2.32\beta_1^{-1.77}};$$

$$X_2 = \frac{2.32\beta_2^{-1.77}}{(2N_{Bi})^{1.34} + 2.32\beta_2^{-1.77}}$$

Dimensional Ratios

$$\beta_1 = \frac{\text{Second Shortest dimension of object}}{\text{Shortest dimension}}$$

$$\beta_2 = \frac{\text{Longest dimension of object}}{\text{Shortest dimension}}$$

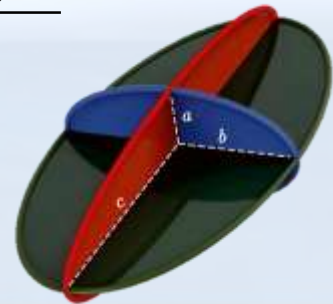




Table G Values for Different Shapes

	G_1	G_2	G_3
Finite cylinder, height < diameter	1	2	0
Finite cylinder, height > diameter	2	0	1
Rectangular rod	1	1	0
Rectangular brick	1	1	1

Contoh 3

Lean beef in the shape of a large slab with 1 m length, 0,6 m width and 0,25 m thickness is to be frozen in an air-blast freezer with a Biot Number of 2,5. Calculate the shape factor from the given dimensions.



Contoh 4

Lean beef in example 3, is being frozen in an air-blast freezer with $h_c = 30 \text{ W/(m}^2 \text{ }^\circ\text{C)}$ and air temperature of -30°C . If the initial product temperature is 5°C , estimate the time required to reduce the product temperature -10°C . An initial freezing temperature of $-1,75^\circ\text{C}$ has been measured for the product. The thermal conductivity of frozen beef is $1,5 \text{ W/(m }^\circ\text{C)}$, and the specific heat of unfrozen beef is $3,5 \text{ kJ/(kg }^\circ\text{C)}$. A product density of 1050 kg/m^3 can be assumed, and a specific heat of $1,8 \text{ kJ/(kg }^\circ\text{C)}$ for frozen beef can be estimated from properties of ice.



Air Blast Freezer



Air Blast Freezer

- Produk pangan diletakkan dalam sistem rak atau konveyor yang dihembus dengan udara dingin berkecepatan tinggi.
- ABF merupakan sebuah ruangan atau kamar dimana udara dingin disirkulasikan di sekitar produk yang dibekukan dengan bantuan fan.
- Untuk membekukan produk perikanan yang sudah dikemas dan diletakkan dalam pan-pan tertutup seperti udang dan fish fillet.
- Pembekuan produk perikanan dengan Air Blast Freezer tergantung pada kecepatannya, makin cepat makin cepat dingin.
- Kelebihan : untuk produk perikanan segala ukuran dan jenis secara bersamaan.

Prinsip Kerja ABF



pembekuan produk dengan udara dingin, dalam hal ini terjadi perpindahan panas secara konveksi dari *refrigerant* di dalam pipa-pipa (koil) evaporator yang dihembuskan dengan bantuan fan (kipas angin) berkekuatan besar.

Keuntungan



- Kecocokan dan keluwesannya akan produk
- Dapat membekukan segala macam produk
- Mudah pengoperasiannya.

Kerugian



- Performansi pindah panas rendah
- Waktu pembekuan yang diperlukan relatif menjadi lebih panjang.
- Kebutuhan akan ruangan yang lebih besar dari pada jenis yang lain
- Laju pembekuan kecil
- Tambahan panas yang tidak diperlukan, yang berasal dari motor penggerak kipas.

Modifikasi dari air blast freezer adalah fluidized bed, dimana produk pangan dibekukan difluidasi dengan udara yang bersuhu rendah. Istilah komersial untuk pembeku ini adalah Instant-Quick-Frozen (IQF). Buah-buahan dan sayuran dapat dibekukan dalam 3 – 5 menit dengan IQF.

Modifikasi lain: Spiral Air Blast Freezer



Gambar Spiral air blast freezer :

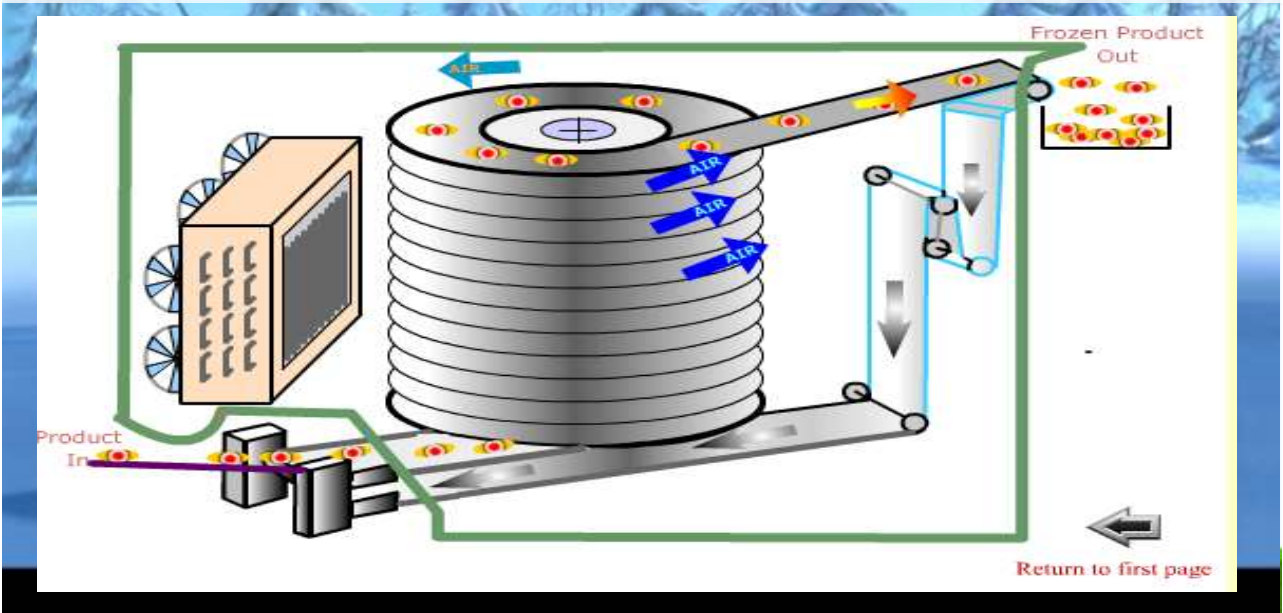
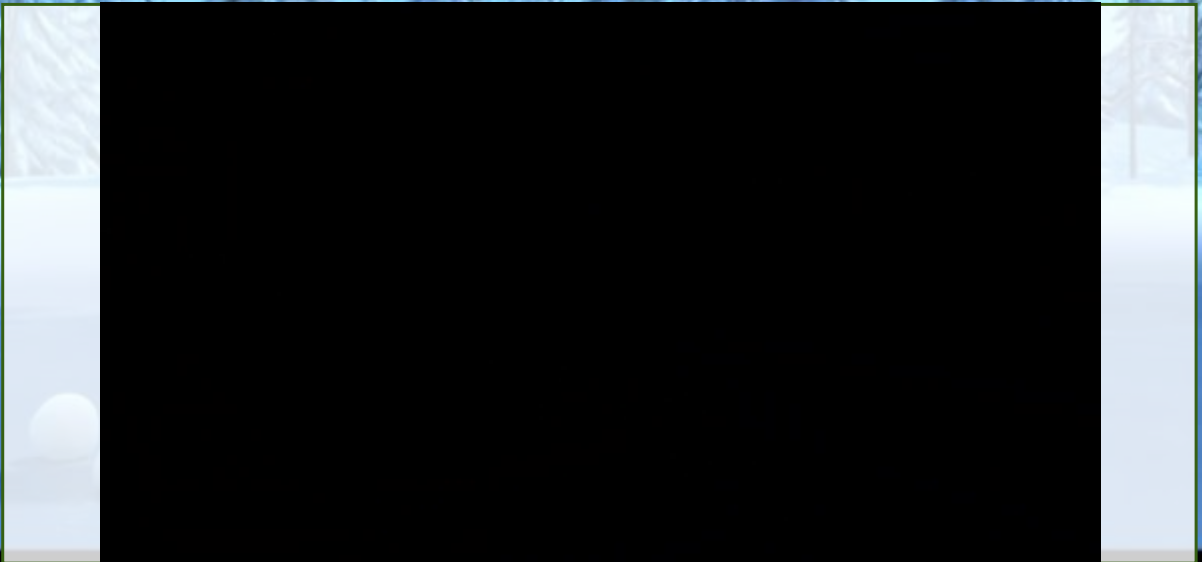
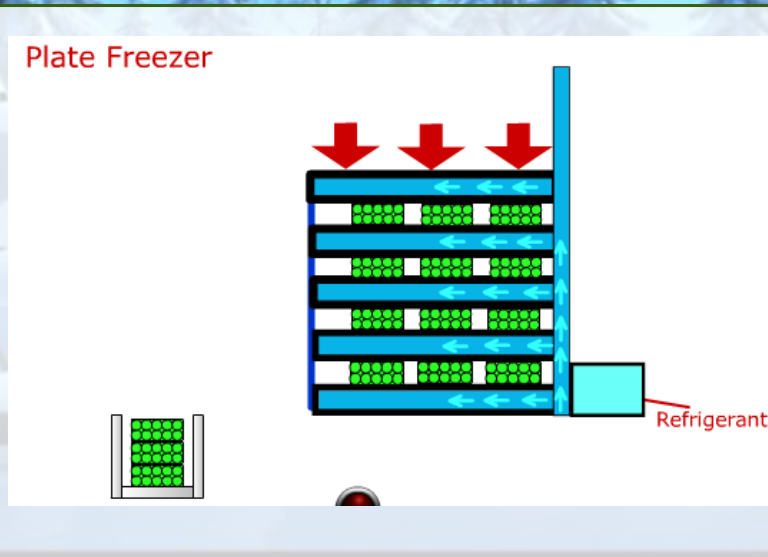


Plate Freezer

- Produk pangan atau dalam kemasannya disentuhkan langsung dengan lempengan yang dijaga pada suhu pembekuan.
- Pembeku ini dapat didesain baik secara batch maupun kontinyu. Pergerakan udara tidak diperlukan sehingga akan menghemat tenaga apabila dibandingkan dengan pembeku semburan udara.
- Pembeku ini biasanya digunakan untuk membekukan ikan atau daging.



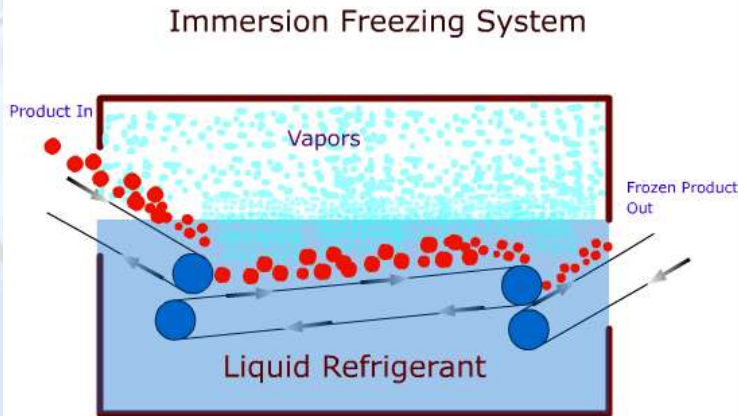
Gambar Pembeku Lempengan



Pembeku Pencelupan

- Produk pangan bersentuhan langsung dengan refrigeran pembeku yang mempunyai suhu rendah.
- Refrigeran yang umum dipakai untuk pembeku ini adalah cairan Nitrogen yang mempunyai titik beku -196°C
- Pembekuan akan cepat apabila produk pangan dipindahkan berlawanan arah dengan aliran refrigeran.
- Dua refrigeran lain yang sudah digunakan dalam pembekuan pencelupan adalah karbon dioksida cair (98°C) dan R-12 (-30°C).

Gambar Pembekuan Pencelupan :

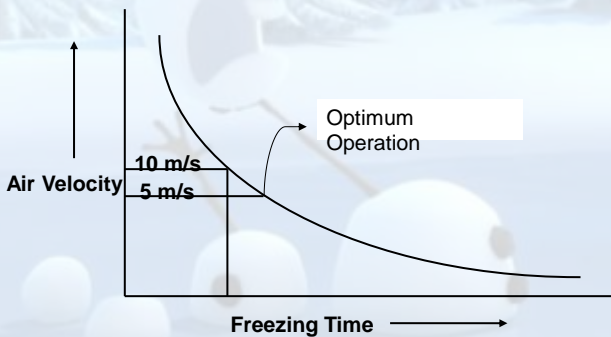


Hal-hal yang harus diperhatikan pada pembekuan

- Kecepatan pembekuan, yaitu jumlah bahan yang dapat dibekukan tiap satuan waktu.
- Waktu pembekuan, dipengaruhi : kecepatan pembekuan, suhu pendinginan, ukuran bahan, suhu dan angka (koefisien) hantaran panas.
- Suhu pembekuan, adalah suhu akhir pembekuan yang dikehendaki dan pada suhu pembekuan titik beku bahan sudah terlampaui sehingga dapat menghambat pertumbuhan jamur dan bakteri.

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Waktu Pembekuan

- Jenis freezer, Suhu kerja, Kecepatan udara di dalam air blast freezer



Gambar Pengaruh Kecepatan Udara terhadap Waktu Pembekuan

- Pada kecepatan udara yang tinggi, waktu pembekuan akan lebih pendek tetapi memerlukan tenaga yang lebih besar.
- Untuk berbagai tujuan disarankan menggunakan kecepatan 5 m/dtk sebagai kecepatan yang optimal.
- Pada kecepatan udara 10-15 m/dtk masih ekonomis dilakukan karena waktu pembekuan menjadi lebih pendek dan biaya menjadi lebih rendah (Muchtadi dan Fitriyono, 2010).

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Waktu Pembekuan :

- Suhu produk sebelum pembekuan
- Tebal produk
- Bentuk produk, bentuk bahan dan kemasan berpengaruh terhadap waktu pembekuan.
- Luas permukaan persinggungan dan kepadatan produk di dalam plate freezer.

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Waktu Pembekuan :

- Pengepakan produk, cara pengepakan, jenis, dan tebal bahan kemasan dapat berpengaruh terhadap kecepatan pembekuan.
- Jenis produk/bahan, semakin tinggi kandungan lemak maka semakin rendah kandungan airnya. Sebagian besar panas yang dikeluarkan dari produk pada proses pembekuan adalah untuk membekukan air, jika airnya sedikit maka semakin sedikit pula panas yang diambil untuk membekukan produk.

