PENGARUH LAJU PEMBEKUAN DAN SUHU PERMUKAAN BAHAN TERHADAP WAKTU PENGERINGAN BEKU DAGING SAPI GILING[1]

The Effects of Freezing Rate and Surface Temperature on Freeze Drying Time of Minched Beef

Yulia Lisnawati[2], Armansyah H. Tambunan[3]

Abstract

Freeze drying of food materials is a time and energy consuming process, hence a high cost process. The drying rate is limited by heat and mass transfer process within the dried portion of the product. In order to improve the freeze drying performance, it is important to know parameters which affect the drying characteristics of each spesific food material, in regard to the drying time and the energy consumption. The objective of this experiment was to study the freeze drying characteristic of miched beef especially the effect of freezing rate and surface temperature of the material to the drying time.

The study was conducted with freezing rate at 7.71 cm/hours and 1.94 cm/hours which are classified into fast and slow freezing rate, while the surface temperature of the material was controlled at 40 °C, 35 °C, and 30 °C. The experimental results confirmed that the faster freezing rate then the longest drying time, while the higher surface temperature give a shorter drying time of miched beef. It is important to determine the optimal freezing rate and surface temperature from the view point of energy consumption.

Key words : *freeze drying, minched beef, freezing rate, surface temperature, drying time*

PENDAHULUAN

Daging sapi adalah salah satu komoditi pertanian yang mengandung protein dan banyak dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia. Namun daging sapi hanya dapat bertahan dalam masa simpan yang relatif singkat, sehingga perlu dilakukan proses pengawetan. Proses pengawetan seringkali menyebabkan perubahan aroma, citarasa, warna, tekstur maupun komponen nutrisi yang dikandung bahan. Pengeringan beku merupakan proses pengeringan yang dapat menghasilkan produk kering bermutu tinggi akibat penggunaan suhu yang rendah, meskipun laju pengeringan relatif lebih lambat.

Laju pengeringan berpengaruh langsung pada waktu pengeringan (*drying time*), yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan produk kering beku. Pemahaman lengkap terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi waktu pengeringan dapat membantu opti-malisasi proses dalam hal biaya pengeringan maupun dari titik pandang energi.

Dua diantara berbagai faktor yang mempengaruhi waktu pengeringan adalah laju pembekuan, sebagai proses awal

[1] Disampaikan pada Seminar Tahunan Perteta di Kampus Unpad Jatinangor, Bandung, Juli 1997

[2] Alumnus Jurusan Teknik Pertanian, FATETA-IPB

3 Staf Pengajar Jurusan Teknik Pertanian, FATETA-IPB

pengeringan beku, dan suhu permukaan bahan. King (1971) mengemukakan bahwa pembekuan yang cepat menyebabkan proses pengeringan yang lama, sedangkan menurut Thijssen (1975) dalam Goldblith *et. al.* (1975) suhu permukaan bahan yang rendah menyebabkan waktu pengeringan yang lebih lama.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari karakteristik pengeringan beku daging sapi giling pada berbagai laju pembekuan dan suhu permukaan bahan serta pengaruh kedua variabel tersebut terhadap waktu pengeringan beku.

PENDEKATAN TEORITIS

Waktu Pengeringan dan Laju Pembekuan

Waktu pengeringan adalah waktu yang diperlukan untuk menghasilkan produk kering beku, yaitu produk dengan kadar air akhir yang diinginkan. Berdasarkan prinsip perpindahan panas, waktu pengeringan dapat dinyatakan dengan waktu yang diperlukan oleh lapisan terdalam bahan untuk mencapai suhu permukaannya. Hal ini didasarkan pada kenyataan bahwa panas yang diberikan melalui lempeng pemanas akan digunakan sebagai panas laten sublimasi, dan selanjutnya untuk meningkatkan suhu bahan setelah proses sublimasi selesai. Dengan demikian, suhu bagian terdalam bahan akan meningkat mendekati suhu permukaan jika proses sublimasi di bagian tersebut telah selesai.

Laju pembekuan pada penelitian ini ditentukan dengan menggunakan konsep TAR (*Thermal Arrest Time*) yaitu waktu yang dibutuhkan oleh titik yang paling lambat membeku pada produk untuk menurunkan suhu dari 0°C sampai -5°C (Long, 1955 dalam Heldman and Singh, 1981).

King (1971) membagi laju pembekuan ke dalam 3 golongan yaitu, 1) Laju pembekuan lambat, jika waktu pembekuan adalah 30 menit atau lebih per sentimeter bahan yang dibekukan, 2) Laju pembekuan sedang, jika waktu pembekuan adalah 20-30 menit per sentimeter bahan yang dibekukan, dan 3) Laju pembekuan cepat, jika waktu pembekuan adalah kurang dari 20 menit per sentimeter bahan yang dibekukan.

Bahan dibekukan sehingga air bahan akan berada pada fase padat sebelum proses pengeringan beku. Kemudian, dilanjutkan dengan proses pengeringan dimana kristal es disublimasi pada kondisi tekanan ruang sangat rendah. Proses sublimasi ini akan terjadi bila suhu bahan dan tekanan yang digunakan berada di bawah titik 'triple' yaitu suhu dibawah 0°C dan tekanan dibawah 4.58 mmHg.

Kadar Air Produk Kering Beku

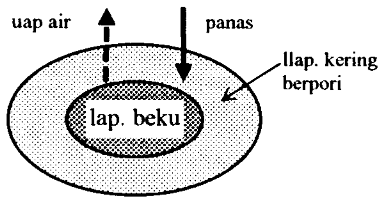
Proses pengeringan beku dapat dijelaskan seperti pada Gambar 1. Pada saat proses pengeringan beku akan terjadi dua lapisan yaitu lapisan beku dan lapisan kering berpori. Kadar air bahan pada saat tertentu merupakan penjumlahan seluruh air yang ada, yaitu meliputi air pada lapisan beku dan uap air yang masih berada pada lapisan kering, dan dinyatakan dalam fraksi air tersisa. Perhitungan fraksi air tersisa dalam bahan pada saat t didekati dengan persamaan berikut (Widodo dan Tambunan, 1996) :

$$x = \frac{mt_t - mt_n}{mt_0 - mt_n} \qquad [1]$$

Selanjutnya, pergerakan lapisan kering pada bahan berlangsung dari bagian luar menuju pusat bahan, dandinyatakan dengan persamaan berikut (Sagara, 1984) :

$$X = (1-x).l \qquad [2]$$

Fraksi air tersisa dan pergerakan lapisan kering, merupakan parameter yang perlu dalam menganalisa karakteristik pengeringan beku.



Gambar 1. Mekanisme pengeringan beku

METODA PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah daging sapi giling, yang diisi ke dalam wadah contoh berbentuk silinder berdiameter 5 cm dan tinggi 2 cm. Bagian atas wadah terbuka sedangkan bagian bawah dan samping tertutup dan diberi insulasi setebal 2,5 cm.

Pengeringan beku dilakukan dengan menggunakan *Experimental Kyowa Freeze Drier* type RL-50 MBW dengan kapasitas pompa vakum sebesar 300 l/min. Alat tersebut dilengkapi dengan sistem akuisisi data yang menggunakan komputer dan Green Kit 88 sebagai multiplexer/ADC. Pengukuran suhu menggunakan termokopel type T (C-C), pengukuran tekanan dengan *difraghm type manometer* (Baratron) dan berat bahan dengan *electronic balance*.

Kadar air akhir bahan ditentukan dengan menggunakan pereaksi Karl-Fischer dan Methanol Anhidrat. Cara pengukuran kadar air akhir adalah sebagai berikut:

1. Tabung titrasi diisi dengan Methanol Anhidrat hingga bagian ujung elektrodanya tercelup, dan dilakukan titrasi untuk menetralkan air yang terkandung dalam methanol.
2. Penentuan faktor dari reagen Karl-Fischer dengan cara :
   a. Memasukkan aquades sebanyak 10 mg ke dalam tabung titrasi, kemudian dititrasi dengan reagen Karl-Fischer yang digunakan.
   b. Menghitung nilai faktor reagen dengan persamaan :

$$F = W_w/C \qquad [3]$$

3. Mengukur kadar air bahan dengan cara:
   a. 100-150 mg produk kering dimasukkan ke dalam tabung titrasi dan dititrasi dengan reagen Karl-Fischer.
   b. Volume reagen Karl-Fischer yang terpakai untuk titrasi dicatat dan kadar air bahan dihitung dengan persamaan :

$$M_c = CF/W_s \times 100 \qquad [4]$$

Metode Penelitian

Pengeringan beku terdiri atas dua proses utama, yaitu pembekuan dan pengeringan (sublimasi). Pembekuan dilakukan pada lempeng pembeku dengan pengaturan laju pembekuan sebagai berikut:

a. Laju pembekuan cepat, dengan pindah panas konduksi melalui persentuhan langsung antara bahan dengan lempeng pembeku.
b. Laju pembekuan lambat, dengan pindah panas konduksi melalui asbes setebal 2 mm di antara bahan dengan lempeng pembeku.

Proses pembekuan selesai jika suhu pusat daging mencapai -19.5 °C.

Selama tahap pengeringan (sublimasi), tekanan ruang pengering diatur pada tingkat kevakuman 0,1 mmHg, sedangkan suhu permukaan bahan dikendalikan pada 30 °C, 35 °C dan 40 °C untuk tiap perlakuan laju pembekuan. Dari berbagai ulangan untuk setiap perlakuan dipilih 1 set data, dengan kriteria tidak terjadi kondisi *collapse*, untuk diolah sesuai dengan tujuan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju Pembekuan

Pada proses pembekuan, permu-kaan bahan yang langsung bersentuhan dengan plat pembeku adalah bagian yang paling cepat membeku, dilanjutkan dengan bagian yang lebih jauh. Dengan menggunakan konsep TAR dan teori King (1971) diperoleh laju pembekuan sebesar 7,14 cm/jam (contoh C1), 8,30 cm/jam (C2) dan 7,69 cm/jam (C3) yang dikategorikan ke dalam laju pembekuan cepat, serta 1,92 cm/jam (contoh L1), 1,85 cm/jam (L2) dan 2,04 cm/jam (L3) yang dikategorikan ke dalam laju pembekuan lambat.

Pada laju pembekuan cepat perpindahan panas dan distribusi suhu berlangsung dalam waktu yang cepat, sehingga kristal es yang terbentuk kecil-kecil. Sedangkan pada laju pembekuan lambat, penambahan isolator akan menghambat distribusi suhu secara cepat sehingga perpindahan panas terjadi secara lambat dan kristal es yang terbentuk berukuran besar.

Gambar 1 dan 2 menunjukkan profil suhu masing-masing untuk laju pembekuan cepat dan lambat. Pada laju pembekuan lambat, profil suhu dapat dibagi ke dalam 3 bagian. Dari suhu awal sampai suhu 0°C, dan dari suhu -5°C sampai akhir proses pembekuan, profil suhu terlihat relatif curam, dimana pada interval tersebut, bahan melepas panas sensibel untuk menurunkan suhunya. Pada interval suhu antara 0°C sampai -5°C profil suhu terlihat relatif landai karena panas yang dilepas adalah panas laten pembekuan sehingga terjadi perubahan fase (pembekuan).

Karakteristik Pengeringan Beku

Karakteristik pengeringan beku yang diamati adalah penurunan massa, pergerakan lapisan kering, penurunan fraksi air tersisa dan kadar air akhir produk kering beku, massa jenis bahan serta profil suhu bahan. Data-data awal penelitian diperlihatkan pada Tabel 1, sedangkan data-data hasil penelitian diperlihatkan pada tabel 2.

Tabel 1. Data-data awal penelitian

Laju pembekuan cepat	**C1**	**C2**	**C3**
Massa Awal (gram)	37.70	37.40	36.00
Volume Wadah (cm^3)	39.27	39.27	39.27
Massa Jenis Awal ($gram/cm^3$)	0.96	0.95	0.92
Laju pembekuan lambat	**L1**	**L2**	**L3**
Massa Awal (gram)	39.80	37.50	37.40
Volume Wadah (cm^3)	39.27	39.27	39.27
Massa Jenis Awal ($gram/cm^3$)	1.01	0.96	0.95

1. Penurunan Massa

Gambar 3 menunjukkan bahwa pada periode awal pengeringan penurunan massa berlangsung lambat karena masih pada tahap penurunan tekanan ruang pengering dari tekanan atmosfir ke tekanan yang diinginkan yaitu 61,3 Pa. Setelah tekanan yang diinginkan tercapai, penurunan massa berlangsung cepat dan pada akhir proses pengeringan kembali lambat. Penurunan massa pada laju pembekuan cepat lebih lambat dibandingkan pada laju pembekuan lambat. Hal ini diduga sebagai akibat bentuk pori yang lebih kecil pada bahan dengan laju pembekuan cepat.

Suhu permukaan yang lebih tinggi, umumnya menyebabkan penurunan massa yang lebih cepat, karena beda suhu dan tekanan antara permukaan atas dengan lapisan beku dibawahnya semakin besar.

2. Pergerakan Lapisan Kering

Gambar 4 menunjukkan bahwa pergerakan lapisan kering dipe-ngaruhi oleh suhu permukaan bahan, dimana suhu permukaan yang lebih tinggi menyebabkan pergerakan lapisan kering lebih cepat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pergerakan lapisan kering lebih cepat pada laju pembekuan lambat, khususnya setelah tahap awal penge-ringan berlalu. Hal ini juga memberi indikasi pengaruh laju pembekuan terhadap besarnya pori yang terbentuk saat pembekuan.

3. *Penurunan Fraksi Air*

Penurunan Fraksi Air tersisa (Gambar 5) dalam bahan tampak berbanding lurus dengan pergerakan lapisan kering. Fraksi air tersisa menggambarkan kandungan air dalam bahan yang belum disublimasikan pada saat tertentu. Besarnya kadar air akhir bahan merupakan kebalikan dari jumlah air yang teruapkan. Jumlah air teruapkan adalah 27.30 gram, 26.40 gram, 25.20 gram, 25.40 gram, 24.90 gram, dan 24.00 gram masing-masing untuk laju pembe-kuan 7,14 cm/jam, 8,30 cm/jam, 7,69 cm/jam, 1,92 cm/jam, 1,85 cm/jam dan 2,04 cm/jam.

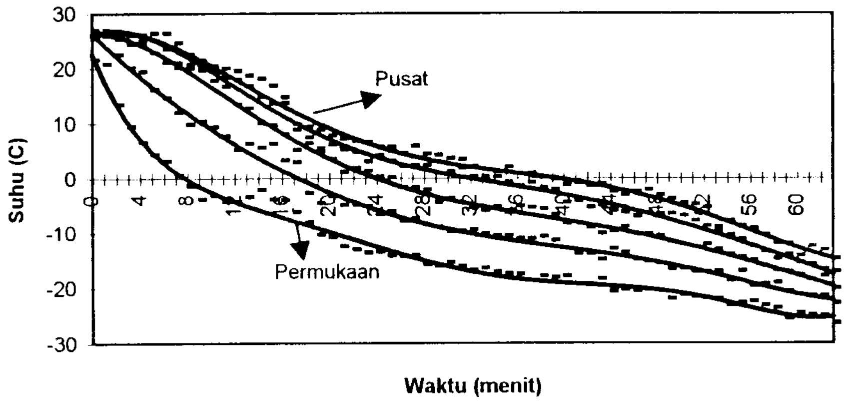
Data tersebut menunjukkan bahwa jumlah air teruapkan pada perlakuan laju pembekuan lambat lebih sedikit diban-dingkan dengan pada laju pembekuan cepat, sehingga kadar air akhir pada proses pembekuan lambat lebih besar dibandingkan dengan kadar air akhir pada proses pembekuan cepat.

4. *Massa Jenis Bahan*

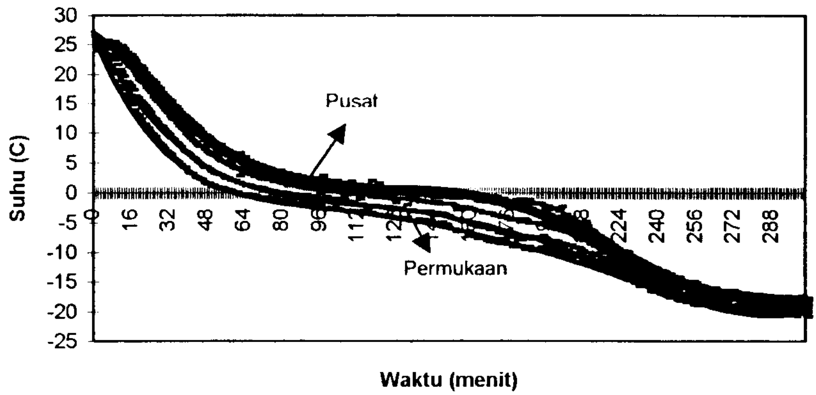
Besarnya selisih massa jenis awal dan akhir adalah 0.69 gram/cm^3, 0.67 gram/cm^3, dan 0.64 gram/cm^3 untuk contoh yang dibekukan dengan laju pembekuan cepat. Untuk laju pembe-kuan lambat besarnya selisih massa jenis awal dan akhir adalah 0.64 gram/cm^3, 0.64 gram/cm^3 dan 0.61 gram/cm^3. Hasil tersebut mengindi-kasikan terjadinya pengkerutan yang lebih besar pada perlakuan laju pembekuan cepat

Tabel 2. Data-data hasil penelitian

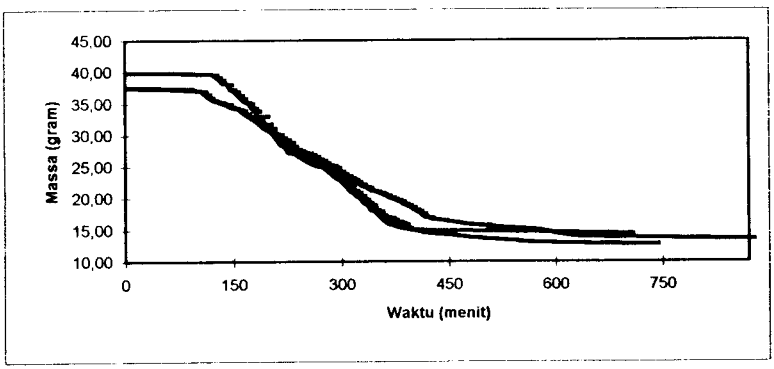
Laju Pembekuan Cepat	**Contoh C1**	**Contoh C2**	**Contoh C3**
Laju Pembekuan (cm/jam)	7.14	8.30	7.69
Waktu Pengeringan (menit)	997	1103	1307
Lama Aliran Tak Mantap (menit)	160	144	103
Lama Aliran Mantap (menit)	837	959	1204
Massa Akhir (gram)	10.40	11.00	10.80
Banyaknya Air yang Diuapkan (gram)	27.30	26.40	25.20
Kadar Air Akhir (% bb)	2.13	2.42	3.33
Massa Jenis Akhir (gram/cm^3)	0.27	0.28	0.28
Laju Pembekuan Lambat	**Contoh L1**	**Contoh L2**	**Contoh L3**
Laju Pembekuan (cm/jam)	1.92	1.85	2.04
Waktu Pengeringan (menit)	699	736	869
Lama Aliran Tak Mantap (menit)	245	119	88
Lama Aliran Mantap (menit)	454	617	781
Massa Akhir (gram)	14.40	12.60	13.40
Banyaknya Air yang Diuapkan (gram)	25.40	24.90	24.00
Kadar Air Akhir (% bb)	3.26	3.87	4.27
Massa Jenis Akhir (gram/cm^3)	0.37	0.32	0.34



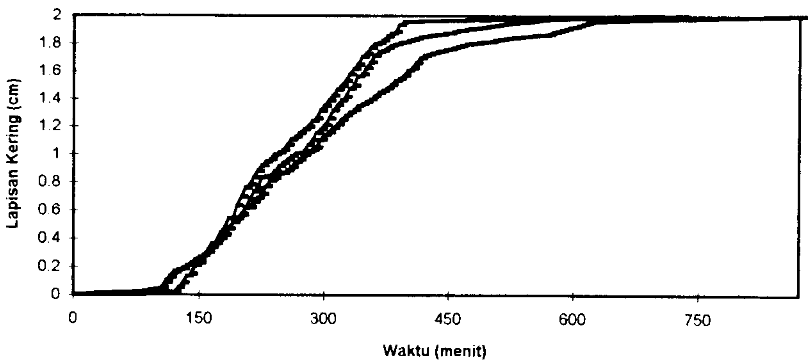
Gambar 1. Profil suhu pada proses pembekuan dengan laju pembekuan 7.14 cm/jam.



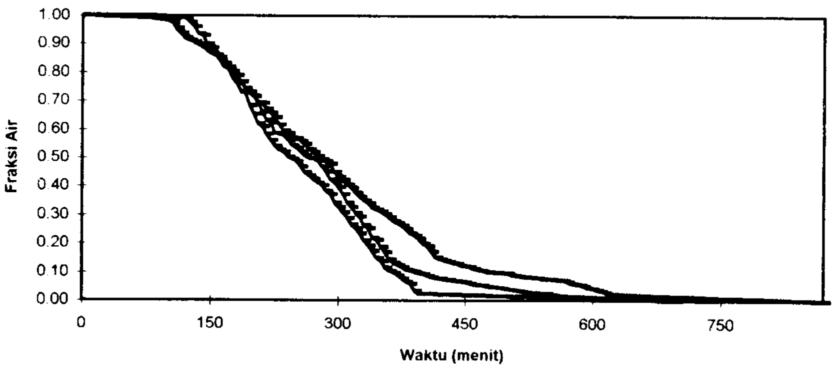
Gambar 2. Profil suhu pada proses pembekuan dengan laju 1.92 cm/jam.



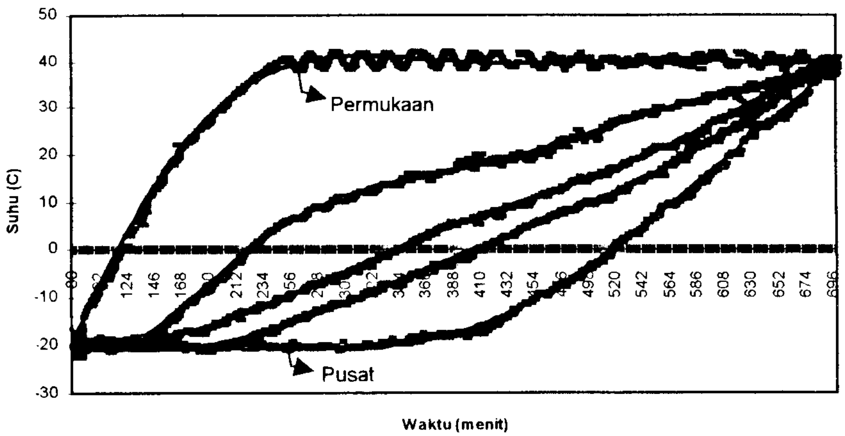
Gambar 3. Grafik penurunan massa pada perlakuan laju pembekuan lambat.



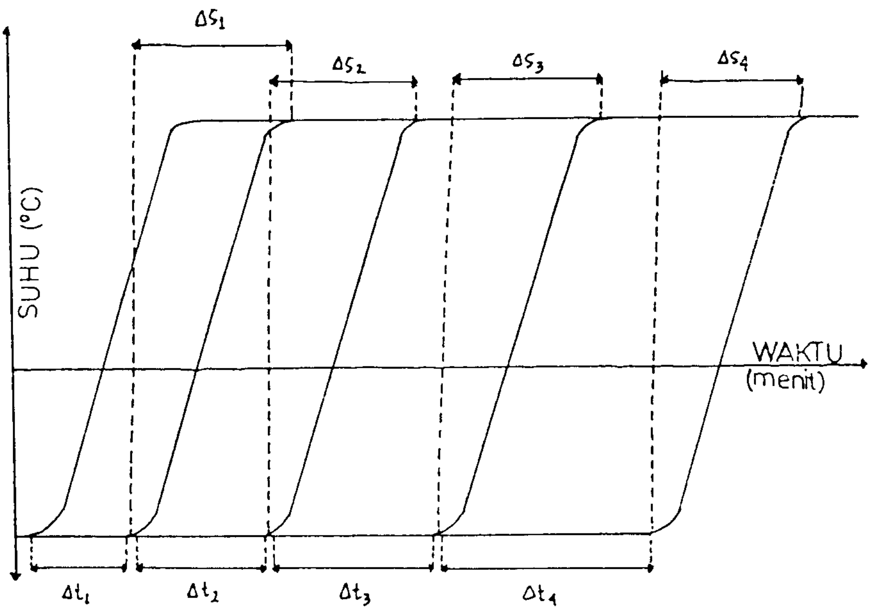
Gambar 4. Grafik pergerakan lapisan kering pada perlakuan laju pembekuan lambat.



Gambar 5. Grafik penurunan fraksi air pada perlakuan laju pembekuan lambat.



Gambar 6. Profil suhu pengeringan (laju pembekuan lambat dan suhu permukaan 40 °C).



Gambar 7. Skema cara penentuan nilai Δt dan Δs

5. Profil Suhu Bahan

Pada gambar 6 dapat dilihat profil suhu bahan selama proses pengeringan beku dengan laju pembekuan lambat dan suhu permukaan 40 °C. Suhu bahan rata-rata selama aliran mantap (*steady-state*) adalah 40,1°C. Pada ketebalan 0.5 cm tidak terjadi *collapse* atau pencairan pada lapisan beku contoh karena gradien suhunya mencapai 0°C setelah lapisan permukaan atas bahan telah mencapai kondisi aliran mantap.

Hubungan Laju Pembekuan, Suhu Permukaan Bahan dan Waktu Pengeringan Beku

Waktu pengeringan dalam hal ini dinyatakan sebagai waktu yang dibutuhkan dari mulai awal proses hingga suhu pada berbagai ketebalan bahan telah mencapai suhu permukaan yang diinginkan. Dari hasil penelitian diperoleh waktu pengeringan 997 menit, 1103 menit, 1307 menit, 699 menit, 736 menit dan 869 menit, masing-masing untuk laju pembekuan 7.14 cm/jam, 8,30 cm/jam, 7,69 cm/jam, 1,92 cm/jam, 1,85 cm/jam dan 2,04 cm/jam. Hasil tersebut belum menujukkan hubungan yang jelas antara laju pembekuan dengan waktu pengeringan, tetapi diperoleh kecenderungan bahwa perlakuan laju pembekuan lambat membutuhkan waktu pengeringan lebih cepat. Hal tersebut kembali mengindikasikan adanya pengaruh laju pembekuan terhadap laju pengeringan beku.

Waktu yang dibutuhkan untuk mensublimasikan lapisan yang lebih bawah akan semakin lama dibandingkan lapisan permukaan atas, karena lapisan yang lebih bawah akan lebih lambat menerima panas. Nilai Δt merupakan selisih waktu yang dibutuhkan oleh tiap-tiap ketebalan bahan untuk mensublimasikan kristal es. Sedangkan nilai Δs merupakan selisih waktu yang dibutuhkan oleh tiap-tiap ketebalan bahan untuk memanaskan bahan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju pembekuan tidak berpengaruh nyata terhadap nilai Δt dan Δs. Sedangkan untuk suhu permukaan yang lebih rendah, diperoleh kecenderungan nilai Δt dan Δs yang semakin besar. Untuk suhu permukaan bahan yang lebih rendah, perbedaan suhu dan tekanan antara lapisan dibawah permukaan dengan permukaan atas semakin kecil, sehingga kecepatan perambatan panas akan semakin lambat dan waktu untuk mensublimasikan maupun memanaskan bahan akan semakin lama.

Tabel 3. Nilai Δt pada berbagai perlakuan (menit)

Suhu Permukaan Bahan (°C)	Δt_1	Δt_2	Δt_3	Δt_4
Laju pembekuan cepat				
40	63	214	457	568
35	101	303	513	756
30	60	312	621	716
Laju pembekuan lambat				
40	66	115	160	332
35	41	169	284	359
30	49	171	350	450

Tabel 4. Nilai Δs pada berbagai perlakuan (menit).

Suhu Permukaan Bahan (°C)	Δs_1	Δs_2	Δs_3	Δs_4
Laju pembekuan cepat				
40	874	723	480	369
35	950	748	538	295
30	1209	957	648	553
Laju pembekuan lambat				
40	553	504	459	287
35	653	525	410	335
30	782	660	481	381

KESIMPULAN

Laju pembekuan tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap waktu pengeringan, tetapi laju pembekuan lambat cenderung menyebabkan waktu pengeringan yang lebih cepat.

Suhu permukaan bahan yang lebih rendah menyebabkan waktu pengeringan yang lebih lama.

DAFTAR PUSTAKA

Desrosier, N.W., 1988, Teknologi Pengawetan Pangan (The Technology of Food Preservation). Diterjemahkan oleh M. Muljoharjo. UI-Press.

Goldblith, S.A., G. Lusk, dan M. Karel, 1965, Effect of some processing parameters on the rates of freeze-drying of shrimp. J:Food Technology. Vol.19, p.620.

Heldman, D.R. dan R.P. Singh, 1981, Food Process Engineering, The AVI Pub. Co. Inc., Westport.

King, C.J, 1971, Freeze Drying of Food. CRC, The Chemical Rubber Co., Cleveland-Ohio.

Potter, N.N. 1980. Food Science. The AVI Pub.Co.Inc. Westport, Connecticut, USA

Sagara, Y. 1984. Freeze drying characteristic and transport properties in concentrated coffee solution system.

Widodo, M. dan A.H. Tambunan, 1996. Penentuan Nilai Konduktivitas dan Permeabilitas Daging Sapi Giling Hasil Pengeringan Beku. Buletin Keteknikan Pert. Tahun X No. 2, Desember 1996, p. 52-60.

DAFTAR SIMBOL

C = Reagen Karl-Fischer terpakai (ml)

F = Faktor reagen (mg H_20/ml)

l = Ketebalan awal bahan (m)

M_c = Kadar air produk kering beku (%bb)

mt_n = Massa bahan terukur pada akhir penge-ringan (g)

mt_t = Massa bahan terukur pada saat t (g)

mt_o = Massa bahan terukur pada awal penge-ringan (g)

W_s = Bobot kering bahan beku (g)

W_w = Bobot aquades (g)

x = Fraksi air tersisa dalam bahan (-)

X(t) = Tebal lapisan kering pada saat t (m)

Δt = Selang waktu yang dibutuhkan untuk mencapai titik sublimasi pada lapisan tertentu (menit)

Δs = Selang waktu yang dibutuhkan untuk meningkatkan suhu lapisan (menit)