

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kelapa

Kelapa adalah tanaman perkebunan/industri berupa pohon batang lurus dari famili Palmae. Kelapa banyak terdapat di negara-negara Asia dan Pasifik yang menghasilkan 5.276.000 ton (82% produksi dunia) dengan luas \pm 8.875.000 Ha pada tahun 1984, sedangkan sisanya oleh negara di Afrika dan Amerika Selatan. Indonesia merupakan negara perkelapaan terluas (3.334.000 Ha pada tahun 1990) tetapi produksinya masih dibawah Philipina (2.472.000 ton dengan areal 3.112.000 Ha), yaitu sebesar 2.346.000 ton (Dwiyuni, 2006). Kelapa menempati areal seluas 3,70 juta ha atau 26 persen dari 14,20 juta ha total areal perkebunan. Sekitar 96,60 persen pertanaman kelapa dikelola oleh petani dengan rata- rata pemilikan 1 ha/KK (Allorerung et al, 2005), dan sebagian besar diusahakan secara monokultur (97 persen), kebun campuran atau sebagai tanaman pekarangan. Kelapa (*Cocos nucifera* L.) merupakan komoditas strategis yang memiliki peran sosial, budaya, dan ekonomi dalam kehidupan masyarakat Indonesia.



Sumber : exportersindia, 2019

Gambar 2.1 Buah Kelapa

Buah kelapa terdiri atas empat komponen, yaitu sabut 33%, tempurung 15%, air kelapa 22%, dan daging buah 30% (Karow, 2019). Kelapa merupakan tanaman perkebunan yang sangat serbaguna, karena seluruh komponennya dapat

digunakan. Namun, daging buah kelapa merupakan komponen yang paling sering dimanfaatkan untuk kebutuhan pangan maupun nonpangan. Daging buah kelapa merupakan salah satu sumber minyak dan protein yang penting, dan dapat diolah menjadi kopra dan minyak. Pemanfaatan utama kelapa selain dijadikan kopra, juga dapat diambil santannya untuk berbagai keperluan membuat masakan.

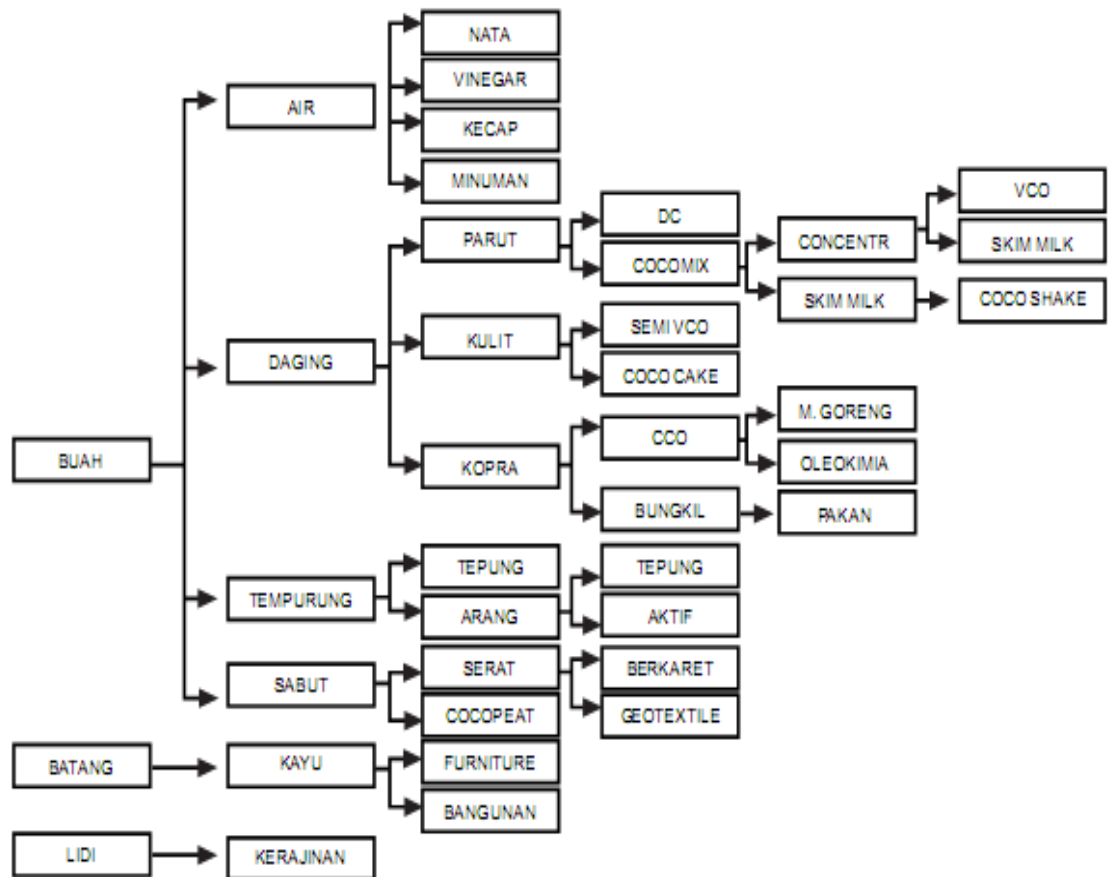
Pada **Tabel 2.1** dapat dilihat komposisi kimia buah kelapa pada berbagai tingkat kematangan, semakin tua umur buah kelapa maka kandungan lemaknya semakin tinggi. Komposisi kimia daging buah kelapa ini dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain varietas, keadaan tempat tumbuh, umur tanaman, dan umur buah. Umur buah merupakan faktor penting yang nyata mempengaruhi komposisi kimia daging buah kelapa.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Daging Buah Kelapa pada Berbagai Tingkat Kematangan

Analisis (dalam 100 gr)	Buah Muda	Buah Setengah Tua	Buah Tua
Kalori	68,0 kal	180,0 kal	359,0 kal
Protein	1,0 g	4,0 g	3,4 g
Lemak	0,9 g	13,0 g	34,7 g
Karbohidrat	14,0 g	10,0 g	14,0 g
Kalsium	17,0 mg	8,0 mg	21,0 mg
Fosfor	30,0 mg	35,0 mg	21,0 mg
Besi	1,0 mg	1,0 mg	2,0 mg
Thiamin	0,0 mg	0,5 mg	0,1 mg
Asam Askorbat	4,0 mg	4,0 mg	2,0 mg
Air	83,3 g	70,0 g	46,9 g
Bagian yang dapat dimakan	53,0 g	53,0 g	53,0 g

Sumber: Thieme, 1968

Daging buah kelapa muda memiliki manfaat diantaranya dapat sangat berpeluang untuk digunakan sebagai salah satu sumber bahan baku dalam proses pembuatan makanan bayi yang memanfaatkan potensi nutrisi yang terkandung didalamnya (Arwizet dkk, 2012). Berikut beberapa produk turunan dari buah kelapa:



Sumber : Abidanish, 2009

Gambar 2.2 Pohon Industri Kelapa

2.2 Air Skim Santan Kelapa

Air Skim Santan Kelapa diperoleh dengan melakukan pemerasan terhadap daging buah kelapa parutan dengan tambahan air. Air Skim Santan Kelapa merupakan salah satu hasil samping dari pembuatan VCO, selain itu juga ada ampas, blondo, dan air kelapa. Komposisi air skim santan kelapa mirip dengan susu sapi, sehingga dengan menggunakan alat pengering, dapat diolah menjadi produk kering seperti susu bubuk skim. Air Skim Santan Kelapa dapat bermanfaat menjadi bahan baku pengolahan nata. Di Filipina pengolahan nata de coco sebagian telah memanfaatkan skim kelapa (Barlina, 2007).

Tabel 2.2 Komposisi gizi hasil samping kelapa

No.	Komposisi Gizi	Skim Kelapa ^a	Ampas Kelapa ^b	Blondo ^c	Air Kelapa ^d
1.	Kadar Air	85,80	4,65	6,48	91,23
2.	Lemak (%bk)	2,00	15,89	10,23	0,15
3.	Protein (%bk)	35,00	4,11	21,60	0,29
4.	Abu (%bk)	9,00	0,66	1,65	1,06
5.	Karbohidrat (%bk)	55,00	79,34	17,02	-
6.	Gula reduksi (%bk)	2,20	-	32,40*	5,34*
7.	Serat Kasar (%bk)	0,20	30,58	17,10	-

Keterangan : a. Hagenmaior (1980), b. Rindengan *at al.* (1997), c. Utari(1989), d. Grimwood (1975) dan Thampan (1981)

bk= berat kering, *gula total

Sumber : Barlina, 2007

Berdasarkan **Tabel 2.2** diketahui Air Skim Santan Kelapa masih memiliki kandungan nutrisi yang cukup tinggi terutama kandungan protein pada air skim santan kelapa yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan produk pangan yang bergizi dengan nilai lemak (kalori) yang rendah. Air Skim Santan kelapa dapat dilihat pada **Gambar 2.3** berikut ini:

**Gambar 2.3** Air Skim Santan Kelapa

Air Skim Santan Kelapa biasanya hanya akan langsung dibuang dan diabaikan karena sudah tidak menghasilkan minyak. Hal ini selain kurang menguntungkan juga dapat menyebabkan pencemaran bila dibuang ke lingkungan. Air Skim

Santan Kelapa masih mengandung komponen buah kelapa yang larut dalam air, antara lain protein (yang mengandung sedikit minyak), karbohidrat, mineral dan lain-lain. Pemanfaatan Air Skim Santan Kelapa ini menarik karena dapat memberi nilai tambah pada proses pengolahan kelapa dan mengurangi limbah yang dihasilkan. Pemanfaatan Air Skim Santan Kelapa ini dapat diolah menjadi makanan bayi seperti susu skim kelapa bubuk sehingga dapat menjadi salah satu alternatif dalam rangka penganekaragaman produk makanan bayi dan pemanfaatan hasil produk samping dari turunan kelapa.

Tabel 2.3 Komposisi asam amino esensial dan non esensial daging kelapa dan hasil samping (g/16 g N)

No	Asam amino	Daging Kelapa ¹	Ampas Kelapa/ Tepung kelapa ²	Skim Kelapa ²	KPK ³		FAO
					A	b	
	Esensial						
1.	Isoluesin (ILE)	2,50	3,40	2,50	3,30	3,70	4,00
2.	Leusin (LEU)	4,90	6,00	5,10	5,90	6,70	7,00
3.	Lisin (LYS)	2,70	3,80	4,10	4,10	3,80	5,50
4.	Fenilalanin (PHE)	2,90	3,50	3,60	4,80	4,90	PHE+TYR=6,00
5.	Tirosin (TYR)	1,70	1,60	2,10	2,60	2,70	PHE+TYR=6,00
6.	Sistein/Sistin (CYS)	-	1,40	1,80	1,70	1,50	CYS/SYS+MET=3,50
7.	Metionin (MET)	1,50	1,50	1,20	1,80	2,10	CYS/SYS+MET=3,50
8.	Treonin (THE)	2,50	3,40	2,40	2,80	3,40	4,00
9.	Triptopan (TRY)	0,60	0,70	0,90	-	-	1,00
10.	Valin (VAL)	3,60	4,90	4,10	5,10	6,70	5,00
	Non-Esensial						
1.	Histidin (HIS)		1,80	2,20	2,20	2,00	
2.	Arginin (ARG)		11,70	14,40	14,4	13,1	
3.	Aspartat (ASP)		8,30	7,30	8,20	8,70	
4.	Glutamat (GLU)		19,30	20,60	33,3	18,8	
5.	Serin (SER)		4,70	3,60	4,20	4,50	
6.	Prolin (PRO)		3,80	3,10	-	-	
7.	Alanin (ALA)		4,30	4,00	3,80	4,50	
8.	Glisin (GLY)		4,10	3,80	4,20		

Keterangan: 1. Lachance and Molina (1974)

2. *Hagenmaier (1980)*

3. *Rindengan (1988), KPK=Konsentrat Protein Kelapa, A= Protein 31.49%,
b=Protein 46.63%*

Sumber : Barlina, 2007

2.3 Pengeringan

Pengeringan (*drying*) zat padat berarti pemisahan sejumlah kecil air atau zat cair lain dari bahan padat, sehingga mengurangi kandungan sisa zat cair di dalam zat padat itu sampai suatu nilai terendah yang dapat diterima. Pengeringan biasanya merupakan alat terakhir dari sederetan operasi, dan hasil pengeringan biasanya siap untuk dikemas (McCabe, 2002). Pengeringan merupakan proses pengurangan kadar air suatu bahan hinggamencapai kadar air tertentu. Dasar proses pengeringan adalah terjadinya penguapan air bahan ke udara karena perbedaan kandungan uap air antara udara dengan bahan yang dikeringkan. Agar suatu bahan dapat menjadi kering, maka udara harus memiliki kandungan uap air atau kelembaban yang lebih rendah dari bahan yang akan dikeringkan (Treyball, 1981).

Pengeringan pada suatu benda atau bahan pada dasarnya adalah suatu proses pengurangan kadar air dari bahan tersebut. Dalam proses pengeringan benda basah ada dua proses yang berlangsung secara simultan. Pada proses pengeringan terjadinya proses perpindahan panas dan uap air secara bersamaan antara permukaan bahan basah dengan udara panas yang mengalir di atas permukaan bahan tersebut (Arwizet dkk, 2012). Pengeringan adalah pemisahan sejumlah kecil air dari suatu bahan sehingga mengurangi kandungan sisa zat cair di dalam zat padat itu sampai suatu nilai rendah yang dapat diterima, menggunakan panas dengan waktu dan suhu tertentu.

Pengaturan suhu dan lamanya waktu pengeringan dilakukan dengan memperhatikan kontak antara alat pengering dengan alat pemanas baik itu berupa udara panas yang dialirkan maupun alat pemanas lainnya. Tujuan pengeringan antara lain (McCabe, 2002) :

1. Agar produk dapat disimpan lebih lama.
2. Mempertahankan daya fisiologik bahan

3. Mendapatkan kualitas yang lebih baik,
4. Menghemat biaya pengangkutan.

Pada proses pengeringan ini air diuapkan menggunakan udara tidak jenuh yang dihembuskan pada bahan yang akan dikeringkan. Air (atau cairan lain) menguap pada suhu yang lebih rendah dari titik didihnya karena adanya perbedaan kandungan uap air pada bidang antar-muka bahan padat-gas dengan kandungan uap air pada fasa gas. Gas panas disebut medium pengering, menyediakan panas yang diperlukan untuk penguapan air dan sekaligus membawa air keluar. Air juga dapat dipisahkan dari bahan padat, secara mekanik menggunakan cara pengepresan sehingga air keluar, dengan pemisah sentrifugal, dengan penguapan termal ataupun dengan metode lainnya. Pemisahan air secara mekanik biasanya lebih murah biayanya dan lebih hemat energi dibandingkan dengan pengeringan.

Di Industri kimia proses pengeringan adalah salah satu proses yang penting. Proses pengeringan ini dilakukan biasanya sebagai tahap akhir sebelum dilakukan pengepakan suatu produk ataupun proses pendahuluan agar proses selanjutnya lebih mudah, mengurangi biaya pengemasan dan transportasi suatu produk dan dapat menambah nilai guna dari suatu bahan. Dalam industri makanan, proses pengeringan ini digunakan untuk pengawetan suatu produk makanan. Mikroorganisme yang dapat mengakibatkan pembusukan makanan tidak dapat tumbuh pada bahan yang tidak mengandung air, maka dari itu untuk mempertahankan aroma dan nutrisi dari makanan agar dapat disimpan dalam waktu yang lebih lama, kandungan air dalam bahan makanan itu harus dikurangi dengan cara pengeringan (Revitasari, 2010).

Prinsip pengeringan biasanya akan melibatkan dua kejadian, yaitu panas harus diberikan pada bahan yang akan dikeringkan, dan air harus dikeluarkan dari dalam bahan. Pengeringan memiliki beberapa faktor yang akan menunjang proses pengeringan suatu bahan. Menurut Berikut ini dijelaskan tentang faktor-faktor pengeringan tersebut:

- a. Luas Permukaan

Air menguap melalui permukaan bahan, sedangkan air yang ada dibagian tengah akan merembes ke bagian permukaan dan kemudian menguap.

Untuk mempercepat pengeringan umumnya bahan yang akan dikeringkan dipotong-potong atau dihaluskan terlebih dahulu. Hal ini terjadi karena :

1. Pemotongan atau penghalusan tersebut akan memperluas permukaan bahan dan permukaan yang luas dapat berhubungan dengan medium pemanasan sehingga air mudah keluar.
2. Partikel-partikel kecil ataupun lapisan yang tipis mengurangi jarak dimana panas harus bergerak sampai ke pusat bahan.

b. Perbedaan Suhu dan Udara Sekitar

Semakin besar perbedaan suhu antara medium pemanas dengan bahan, makin cepat pemindahan panas ke dalam bahan dan makin cepat pula penghilangan air dari bahan. Air yang keluar dari bahan yang dikeringkan akan menjenuhkan udara sehingga kemampuannya untuk menyingkirkan air berkurang. Jadi dengan semakin tinggi suhu pengeringan maka proses pengeringan akan semakin cepat. Akan tetapi bila tidak sesuai dengan bahan yang dikeringkan, akibatnya akan terjadi suatu peristiwa yang disebut “case hardening”, yaitu suatu keadaan dimana bagian luar bahan sudah kering sedangkan bagian dalamnya masih basah.

c. Kecepatan Aliran Udara

Udara yang bergerak dan mempunyai gerakan yang tinggi selain dapat mengambil uap air juga akan menghilangkan uap air tersebut dari permukaan bahan pangan, sehingga akan mencegah terjadinya atmosfer jenuh yang akan memperlambat penghilangan air. Apabila aliran udara disekitar tempat pengeringan berjalan dengan baik, proses pengeringan akan semakin cepat, yaitu semakin mudah dan semakin cepat uap air terbawa dan teruapkan.

d. Tekanan Udara

Semakin kecil tekanan udara akan semakin besar kemampuan udara untuk mengangkut air selama pengeringan, karena dengan semakin kecilnya tekanan berarti kerapatan udara makin berkurang sehingga uap air dapat lebih banyak tertampung dan disingkirkan dari bahan. Sebaliknya, jika tekanan udara semakin

besar maka udara disekitar pengeringan akan lembab, sehingga kemampuan menampung uap air terbatas dan menghambat proses atau laju pengeringan.

2.4 Pengeringan Beku Vakum (*Vacuum Freeze Dry*)

Pengeringan beku (*Vacuum Freeze Dry*) adalah salah satu metode pengeringan yang mempunyai keunggulan dalam mempertahankan mutu hasil pengeringan, khususnya untuk produk-produk yang sensitif terhadap panas. Pengeringan beku vakum dilakukan pada kondisi di bawah titik *triple* air yakni di bawah temperatur 0°C dan tekanan di bawah 610,5 Pa sehingga dalam proses pengeringan beku vakum tidak terjadi perubahan tekstur, rasa dan warna (Brama dan Martin, 2014).

Pengeringan ini dilakukan dengan cara semua bahan pada awalnya dibekukan, kemudian diperlakukan dengan suatu proses pemanasan ringan dalam suatu lemari hampa udara. Kristal-kristal es ini yang terbentuk selama tahap pembekuan, menyublim jika dipanaskan pada tekanan hampa yaitu berubah secara langsung dari es menjadi uap air tanpa melewati fase cair (Gaman dan Sherrington, 1981).

Pengertian lainnya tentang pengeringan beku, air dihilangkan dengan mengubahnya dari bentuk beku (es) ke bentuk gas (uap air) tanpa melalui fase cair-fase yang disebut sublimasi. Pengeringan beku dilakukan dalam hampa udara dan suhu sangat rendah. Pengeringan beku ini menghasilkan produk terbaik, terutama karena pangan tidak kehilangan banyak aroma dan rasa atau nilai gizi. Namun, proses ini mahal karena memerlukan suhu rendah maupun tinggi dan keadaan hampa udara (WHO, 1988).

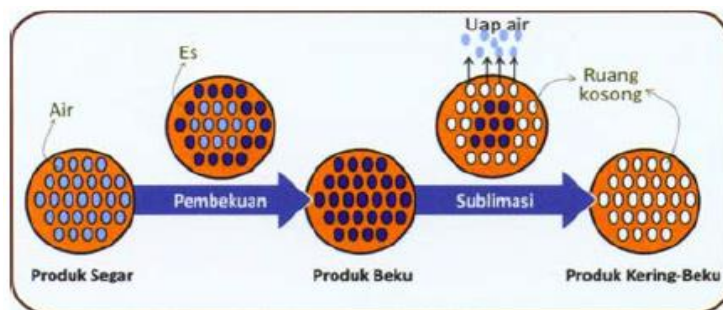
Kelebihan dari proses *freeze drying* ini adalah hasil pengeringan yang dilakukan dapat mempertahankan stabilitas struktur bahan dan tidak menyebabkan keriput pada permukaan bahan yang dikeringkan. Selain itu juga pengeringan ini dapat mempertahankan stabilitas produk tidak menyebabkan perubahan warna pada produk, dan mudah untuk melakukan penyegaran kembali setelah dikeringkan. Oleh karena itu, biasanya proses pengeringan menggunakan metode *freeze drying* ini akan menambah nilai jual yang cukup tinggi dibandingkan dengan produk sama yang dilakukan tanpa menggunakan pengeringan *freeze drying* (Hariyadi, 2013).

Dari proses pengeringan *freeze drying* ini memiliki ciri khas atau karakteristik berupa produk yang dihasilkan ringan, mudah disimpan di tempat non-refrigerator, dan sangat tahan terhadap lingkungan yang dapat menyebabkan tumbuhnya jamur, kapang dan sejenisnya. Selain itu juga, poses pengeringan *freeze drying* yang dilakukan pada saat suhu rendah ini juga menghasilkan produk yang lebih tahan lama dengan kualitas yang sama berupa warna dan tekstur khas dari produk (Vironika, 2018).

Pengeringan beku atau yang dikenal dengan istilah lyophilisasi merupakan proses pengeringan yang memanfaatkan teknis sublimasi atau perubahan fasa dari beku menjadi. Perubahan fasa yang demikian dapat terjadi pada tekanan rendah dan suhu rendah. Metode yang demikian mengakibatkan kandungan uap air dari produk dapat dikontrol selama proses, bahkan produk dapat dikembalikan seperti keadaan sebelum dikeringkan. Karenanya, produk hasil pengeringan beku merupakan produk kering kualitas premium. Di mana produk tersebut tidak kehilangan rasa, warna, maupun bentuknya.

2.5 Mekanisme Pengeringan Beku Vakum

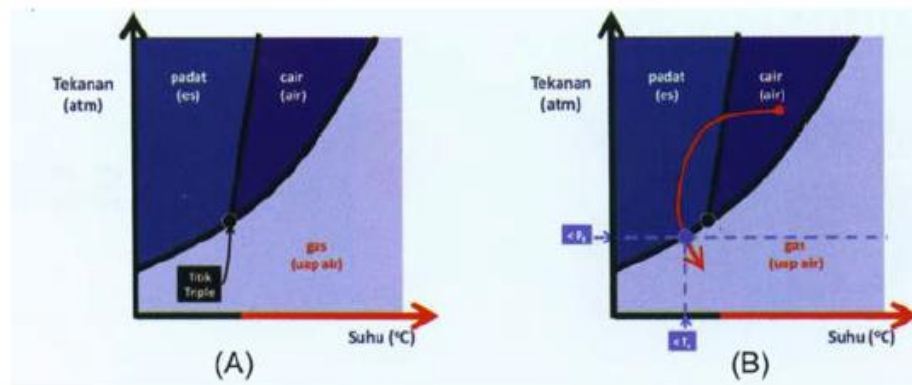
Prinsip teknologi pengeringan beku ini dimulai dengan proses pembekuan pangan, dan dilanjutkan dengan pengeringan; yaitu mengeluarkan/ memisahkan hampir sebagian besar air dalam bahan yang terjadi melalui mekanisme sublimasi. Secara ilustratif, proses pengeringan beku ini dijelaskan seperti pada **Gambar 2.4**.



Sumber: foodreview, 2013

Gambar 2.4 Skema ilustratif mekanisme terjadinya pengeringan beku

Proses pengeringan beku sebagaimana diilustrasikan pada **Gambar 2.4**, dapat dijelaskan dengan menggunakan diagram fase air pada **Gambar 2.5**.

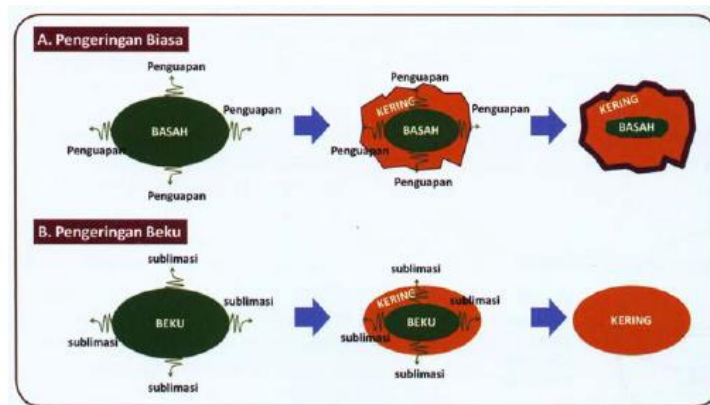


Sumber: foodreview indonesia, 2013

Gambar 2.5 Diagram fase air untuk menjelaskan proses sublimasi pada pengeringan beku vakum

Dari Gambar tersebut bisa diketahui bahwa dengan mengendalikan kondisi tekanan (P) dan suhu (T), air dapat berbentuk gas (uap), cair (air) atau padatan (es). Pada kondisi tertentu - yaitu pada kondisi tekanan 4,58 torr (610,5 Pa) dan suhu 0°C , air akan berada pada kondisi kesetimbangan antara uap, air dan es (**Gambar 2.5A**). Titik dimana terjadi kesetimbangan antar ketiga fase tersebut disebut sebagai titik triple. Titik triple untuk air terjadi pada tekanan (P) 4.58 torr dan suhu (T)= 0°C . Untuk bahan dalam kondisi beku pada tekanan yang dipertahankan tetap dibawah tekanan triple ($P_t=4,58$ torr), dan kemudian suhu produk dinaikkan maka yang terjadi adalah peristiwa sublimasi, yaitu perubahan fase dari padat (es) ke uap (lihat Gambar 2B). Jika kondisi ini dipertahankan, maka air (es) dalam bahan pangan secara kontinyu akan berkurang melalui proses sublimasi.

Mekanisme ini berbeda dengan proses pengeringan biasa; dimana pengeringan biasa terjadi melalui mekanisme penguapan (evaporasi) yang biasanya terjadi pada suhu tinggi. Perbedaan antara proses pengeringan beku dengan pengeringan biasa dapat diilustrasikan pada **Gambar 2.6**.



Sumber: *foodreview indonesia, 2013*

Gambar 2.6 Perbedaan mekanisme proses pengeringan biasa (A) dan proses pengeringan beku vakum (B)

Pada **Gambar 2.6A**, proses pengeringan biasa terjadi melalui mekanisme penguapan pada suhu panas, sehingga bagian pangan yang kering akan terjadi perubahan kimia (gelatinisasi pati, karamelisasi gula, dan/ atau denaturasi protein) yang menyebabkan terbentuknya kerak (crust) di permukaan; yang akan memberikan hambatan bagi difusi uap dari bagian basah ke udara lingkungan. Akibatnya, proses pengeringan akan terhambat dan terhenti, menghasilkan produk yang bagian luar sudah kering -bahkan terlalu kering dan menjadi kerak- tetapi bagian tengahnya masih basah. Kasus demikian sering disebut sebagai case-hardening. Pada **Gambar 2.6B**, proses pengeringan beku terjadi melalui mekanisme sublimasi yang terjadi pada suhu dingin. Karena itu, proses gelatinisasi, karamelisasi, dan denaturasi tidak terjadi, sehingga pada bagian pangan yang kering tidak terjadi perubahan pembentukan kerak. Dengan demikian, uap air bisa berdifusi dengan baik dari bagian basah ke udara lingkungan, sehingga bisa dihasilkan produk yang kering dengan baik. Secara detail perbedaan utama di antara pengeringan udara panas biasa dan pengeringan beku ditunjukkan pada **Tabel 2.4**.

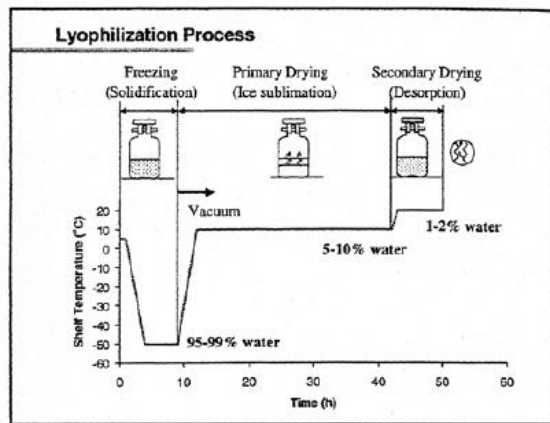
Tabel 2.4 Perbedaan antara pengeringan biasa/vakum dan pengeringan beku

Kriteria	Pengeringan Biasa /Vakum	Pengeringan Beku
Suhu Pengeringan	37-93°C (tergantung tekanan dan aliran udara)	Di bawah titik beku
Mekanisme Pengeringan	Penguapan (evaporasi)	Sublimasi
Tekanan	Tekanan atmosfer – vakum (di atas <i>P triple</i>)	Tekanan vakum (di bawah <i>P triple</i>)
Mutu Produk	Sering menghasilkan permukaan yang keriput, kurang porus, densitas tinggi, kurang mudah dibasahkan (disegarkan) kembali, warna kegelapan, mutu <i>flavor</i> , nilai gizi berkurang	Tidak menyebabkan permukaan yang keriput, lebihporus, densitas lebih rendah, mudah disegarkan kembali, warna normal, mutu <i>flavor</i> dan nilai gizi lebih dapat dipertahankan
Biaya	Lebih murah	Lebih mahal
Kegunaan Umum	Untuk pengeringan umum, cocok untuk sayur-sayuran dan biji-bijian, kurang/tidak cocok untuk daging dan produk daging	Untuk produk dengan nilai ekonomi cukup tinggi, mikro enkapsulasi, produk instan, cocok untuk daging dan produk daging

Sumber: Hariyadi, 2009

2.6 Tahapan *Vacuum Freeze Drying*

Vacuum Freeze Drying terdiri dari tiga tahap, yaitu tahap pembekuan, pengeringan primer dan pengeringan sekunder (Mujumdar, 2006). **Gambar 2.7** menunjukkan keadaan produk selama tiga tahapan *freeze drying*. Saat tahap pembekuan, produk segar masih memiliki kadar air hingga 90-95%. Saat tahap pengeringan primer, kadar air tersebut turun hingga 5-10%. Selanjutnya saat pengeringan sekunder, produk kering telah berhasil diproduksi dengan kadar air mencapai 1-2 % saja.



Sumber : Khalloufi, 2004

Gambar 2.7 Tahapan *Vacuum Freeze Drying*

Secara detail, penjelasan tahap-tahap tersebut adalah sebagai berikut. Proses pembekuan pada *freeze drying* terjadi secara vakum, di mana proses penurunan tekanan akan diikuti dengan adanya evaporasi uap air dari permukaan produk. Panas laten evaporasi akan membutuhkan energi yang besar sehingga akan menyebabkan turunnya temperatur pada produk. Pembekuan yang terjadi diharapkan tidak menyebabkan kerusakan sel dan struktur produk akibat pembentukan kristal es. Maka proses pembekuan dalam *freeze drying* dapat dikontrol dengan menghentikan tekanan dan temperatur yang telah ditentukan (kondisi tekanan masih di atas tekanan triple point dari air). Secara keseluruhan, proses pembekuan pada pengeringan beku membekukan bagian yang cair dari produk serta memastikan struktur produk telah siap untuk dikeringkan.

Proses selanjutnya adalah pengeringan primer. Di sinilah proses sublimasi terjadi. Sublimasi menyebabkan bagian cair pada produk yang membeku berubah secara langsung menjadi gas. Selama pengeringan primer, tekanan diturunkan sampai kurang dari 1 Torr dan temperatur ruang *freeze drying* dinaikkan agar terjadi sublimasi. Pengeringan primer membutuhkan waktu yang lama dalam prosesnya sehingga biaya proses pengeringan primer ini sendiri menjadi sangat mahal. Proses selanjutnya adalah pengeringan sekunder. Lanjutan dari pengeringan primer ini ditujukan untuk menguransi sisa kadar air hingga mendekati nilai kadar air yang diinginkan. Namun kenyataannya, banyak dari air

yang diserap telah dihilangkan dalam proses pengeringan primer (Marati dan Acep, 2015).

- **Pembekuan**

Pada tahap pembekuan, bahan makanan atau larutan didinginkan pada temperatur dimana semua material dalam keadaan beku.

- **Pengeringan Primer**

Pengeringan primer adalah proses menghilangkan air dari larutan beku yang terkandung dalam produk yang akan dikeringkan melalui proses sublimasi. Selama fase pengeringan primer tekanan diturunkan dan panas yang cukup dialirkan pada bahan sehingga air dalam bahan dapat tersublimasi. Pada fase ini 98% persen air dalam bahan tersublimasikan. Fase ini terjadi dengan lambat karena jika panas yang dialirkan berlebih dapat merusak struktur bahan.

- **Pengeringan Sekunder**

Pengeringan sekunder berfungsi untuk mensublimasikan molekul air yang diserap pada saat proses pembekuan. Bagian *freeze-drying* ini bekerja berdasarkan adsorpsi isothermal bahan. Pada fase ini, suhu dinaikkan lebih tinggi dari suhu pada pengeringan primer untuk memutuskan interaksi psikokimia yang terbentuk antara molekul air dan bahan beku. Pengeringan beku juga menyebabkan lebih sedikit kerusakan jika dibandingkan dengan metode lain yang menggunakan temperatur tinggi. Pengeringan beku biasanya tidak mengakibatkan pengerutan/srinkage atau toughening/pengerasan pada bahan yang dikeringkan. Aroma dan rasa pun biasanya tidak berubah, dan hal ini lah yang membuat proses ini banyak digunakan dalam pengawetan makanan.

2.7 Laju Pengeringan

Laju pengeringan suatu bahan padat yang basah tergantung pada kondisi pengeringan yaitu, kondisi udara pengeringan seperti; temperatur, kelembaban, laju aliran massa udara dan kondisi bahan yang akan dikeringkan (luas permukaan bahan, volume bahan, massa bahan, densitas bahan, kadar air awal bahan dan kadar air akhir bahan yang diharapkan setelah proses pengeringan) (Arwizet dkk, 2012). Laju pengeringan dalam proses pengeringan suatu bahan menggambarkan

bagaimana kecepatan pengeringan berlangsung. Laju pengeringan dinyatakan dengan berat air yang diuapkan per satuan berat kering per jam (Susanto, 2011).

Mekanisme pengeringan sering dijelaskan melalui teori tekanan uap. Air yang dapat diuapkan dari bahan yang akan dikeringkan terdiri dari air bebas dan air terikat. Air bebas berada di permukaan dan pertama kali mengalami penguapan. Laju penguapan air bebas sebanding dengan perbedaan tekanan uap pada permukaan air terhadap uap air pengering. Setelah air permukaan habis, maka selanjutnya difusi air dan uap air dari bagian dalam bahan terjadi karena perbedaan konsentrasi atau tekanan uap antara bagian dalam dan bagian luar bahan. Laju pengeringan pada periode ini sebanding dengan perbedaan tekanan uap antar bagian dalam dan luar bahan. Pada laju pengeringan konstan, perbedaan tekanan uapnya juga konstan, tetapi dengan adanya penguapan maka tekanan uap didalam bahan semakin rendah. Oleh karena itu, laju pengeringannya semakin menurun (Susanto, 2011).

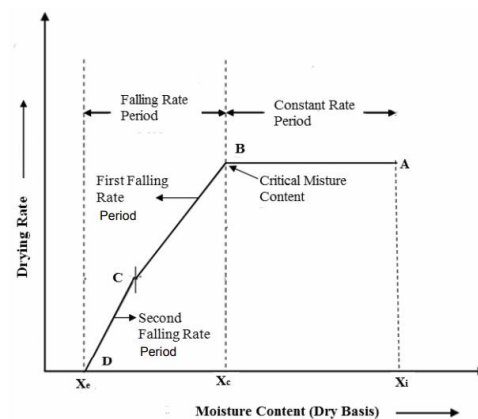
Untuk mengetahui laju pengeringan perlu mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan suatu bahan dari kadar air tertentu sampai kadar air yang diinginkan pada kondisi tertentu, maka bisa dilakukan dengan cara (Utami, 2014):

1. Drying test yaitu hubungan antara moisture content suatu bahan vs waktu pengering pada temperatur, humidity, dan kecepatan pengering tetap. Kandungan air dari suatu bahan akan menurun karena adanya pengeringan, sedangkan kandungan air yang hilang akan semakin meningkat seiring dengan penambahan waktu.
2. Kurva Laju Pengeringan menunjukkan hubungan antara laju pengeringan vs kandungan air, kurva ini terdiri dari 2 bagian yaitu periode kecepatan tetap dan pada kecepatan menurun.

Jika mula-mula bahan sangatlah basah bila dikontakkan dengan udara yang relatif kering maka akan terjadi penguapan air yang ada pada permukaan bahan tersebut.

Kurva laju pengeringan dapat dilihat pada **Gambar 2.8**, Periode antara A (atau A') dan B biasanya singkat dan sering diabaikan dalam analisa waktu pengeringan. Periode B-C disebut juga laju pengeringan konstan yang mewakili proses pengeluaran air tidak terikat dari produk yaitu air yang terdapat di permukaan

produk. Laju pengeringan konstan ini terjadi pada awal proses pengeringan yang selanjutnya diikuti oleh pengeringan menurun (titik C), kedua periode laju pengeringan ini dibatasi oleh kadar air kritis.



Sumber : Kaur dkk, 2014

Gambar 2.8 Kurva Laju Pengeringan

Laju pengeringan bahan diukur dengan banyaknya air yang dikeluarkan per satuan waktu tertentu, secara linier dengan penurunan kadar air pada bagian akhir proses ini. Pada laju pengeringan terdapat beberapa periode laju pengeringan, yaitu:

- Tahap *first falling rate period*, tahap kecepatan laju pengeringan menurun yang pertama, yang terjadi jika air dipermukaan produk sudah habis dan permukaan mulai mengering
- Tahap *second falling rate period*, tahap laju pengeringan menurun yang kedua, dimulai dari titik D ketika permukaan sudah kering sempurna.
- Tahap *constant rate period*, tahap kecepatan laju pengeringan tetap.
- Tahap *falling rate period*, tahap kecepatan pengeringan menurun.

Waktu yang dibutuhkan oleh bahan untuk melewati keempat periode pengeringan ini berbeda-beda tergantung dari kadar air awal bahan dan kondisi pengeringan. Laju pengeringan yang terlalu cepat pada bahan pangan dengan laju pengeringan menurun menyebabkan kerusakan fisik dan kimia pada bahan pangan. Terjadinya *case hardening* dan *cracking* (patah) adalah bentuk kerusakan secara fisik akibat dari laju pengeringan yang kurang terkontrol. Hal ini terjadi akibat kecepatan difusi dalam bahan pangan menuju permukaan tidak dapat

mengimbangi kecepatan penguapan air di permukaan bahan. Sedangkan permukaan bahan sudah tidak jenuh dengan air, bahan makin berkurang terus sehingga pada permukaan terjadi penguapan sampai menjadi tidak jenuh. Ini merupakan tahapan dari kecepatan menurun yang kedua (*second falling rate period*) dimana kecepatan aliran atau gerakan air dalam bahan menentukan kecepatan laju pengeringan (Susanto, 2011).

Rumus laju pengeringan massa menurut Aremu dkk, 2019 dinyatakan:

$$R = \frac{W_0 - W_t}{t} = \frac{\Delta W}{t}$$

Keterangan:

R = laju pengeringan (gr/menit)

W_0 = berat bahan mula-mula (gr)

W_t = berat bahan akhir (gr)

t = waktu (jam)