

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Reyes *et. al* (2015) dalam penelitiannya mengenai perubahan berat *soymilk* selama proses *freeze drying* dengan vakum dan tanpa vakum memperlihatkan waktu yang dibutuhkan dalam *freeze drying* cukup lama, akan tetapi penggunaan vakum dapat memakan waktu yang lebih lama lagi karena penggunaan pompa vakum mengakibatkan banyak air yang akan diuapkan, namun hal ini dapat membuat hasil pengeringan menjadi lebih maksimal.

S. de la Fuente-Blanco *et. al* (2006) dalam penelitiannya menggunakan gelombang mikro dalam proses pengeringan pada wortel. Hasilnya menunjukkan bahwa gelombang mikro dapat menyebabkan keluarnya molekul air dari wortel. Daya optimal yang dapat diberikan pada transduser gelombang mikro adalah sebesar 100 watt karena dapat mengurangi berat buah wortel sebesar 72% dalam waktu 90 menit.

Bai-Ngew *et.al* (2010) dalam penelitian mengenai karakteristik *microwave vacuum drying* pada keripik durian menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan kadar air yang diserap antara pengeringan tanpa proses pembekuan maupun dengan adanya penambahan proses pembekuan sebelum pengeringan. Akan tetapi, dengan adanya penambahan proses pembekuan sebelum proses pengeringan dapat menyebabkan laju pengeringan pada spesimen semakin cepat. Hal ini disebabkan karena energi yang dihasilkan oleh *microwave* dapat mengalami penetrasi yang lebih dalam pada spesimen yang mengalami proses pembekuan sebelumnya.

2.2 Pengertian Pengeringan

Pengeringan merupakan salah satu metode pengawetan makanan yang telah dikenal sejak lama dimana pengeringan merupakan proses pengeluaran air atau pemisahan air dalam jumlah yang relatif kecil pada bahan pangan dengan menggunakan energi panas.

Tujuan dari proses pengeringan adalah menghilangkan kadar air pada suatu bahan untuk menghilangkan media bagi bakteri untuk hidup sehingga pertumbuhan bakteri dapat terhambat, serta memudahkan dan menghemat biaya pengangkutan, pengemasan dan penyimpanan. Di samping itu banyak bahan hasil pertanian yang hanya digunakan setelah dikeringkan terlebih dahulu seperti tembakau, kopi, dan biji-bijian. Meskipun demikian,

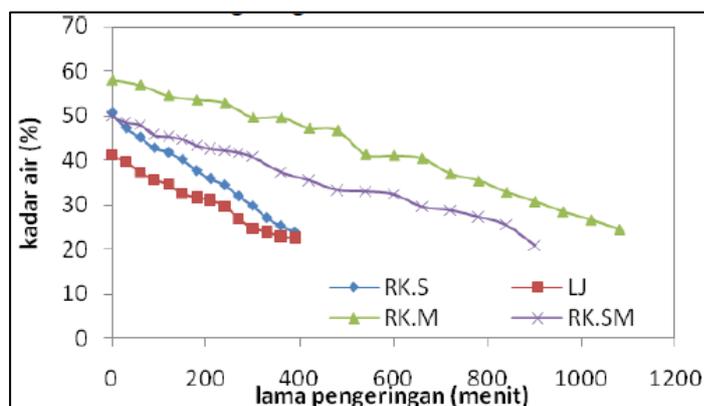
terdapat kerugian yang ditimbulkan selama pengeringan yaitu terjadinya perubahan sifat fisik dan kimiawi bahan serta terjadinya penurunan mutu bahan.

2.3 Perkembangan Proses Pengeringan

Dalam proses pengeringan pangan, terdapat banyak metode yang digunakan seperti halnya penjemuran (*Sun Drying*), pengeringan udara panas (*Hot Air Drying*), pengeringan kabinet (*Cabinet Drying*), pengeringan terowongan (*Tunnel Drying*), pengeringan ban berjalan (*Conveyor Drying*), pengeringan semprot (*Spray Drying*), pengeringan drum (*Drum Drying*), pengeringan vakum (*Vacuum Drying*), pengeringan beku (*Freeze drying*), pengeringan gelombang mikro dan pengeringan vakum gelombang mikro. Namun dalam penggunaannya yang paling banyak digunakan adalah pengeringan udara panas (*Hot Air Drying*) dan pengeringan beku (*Freeze drying*) karena proses tersebut lebih efektif dibanding yang lain.

2.3.1 Penjemuran (*Sun Drying*)

Pengeringan dengan matahari menggunakan radiasi sinar matahari dimana pengeringan ini sangat sederhana dan tidak memerlukan bahan bakar fosil untuk membangkitkan panas. Kekurangan sistem ini memerlukan tempat yang luas, waktu pemanasan yang lama (2-7 hari tergantung dari produk yang dikeringkan), ongkos buruh tinggi, kualitas produk hasil pengeringan tidak seragam, dan sangat tergantung pada cuaca. Terlebih lagi, produk menjadi tidak higienis karena ditempatkan pada ruang terbuka, sehingga kadang-kadang produk pengeringan dengan sinar matahari tidak dapat laku di pasaran. Maka Pengeringan Udara Panas (*Hot Air Drying*) dikembangkan untuk mengatasi masalah tersebut, serta pengeringan beku (*Freeze drying*) sebagai alternatif proses untuk menggantikan penjemuran bagi bahan yang sensitif terhadap panas.

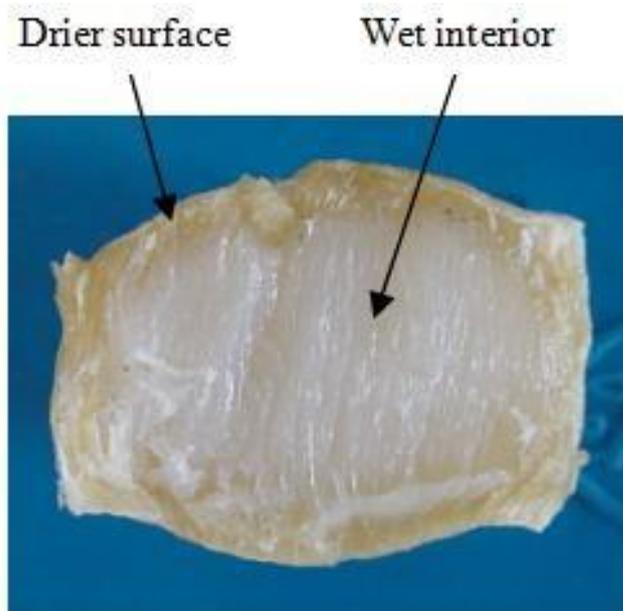


Gambar 2.1 Laju pengeringan *sun drying* jagung tongkol
Sumber: Apriadi, et al. (2011)

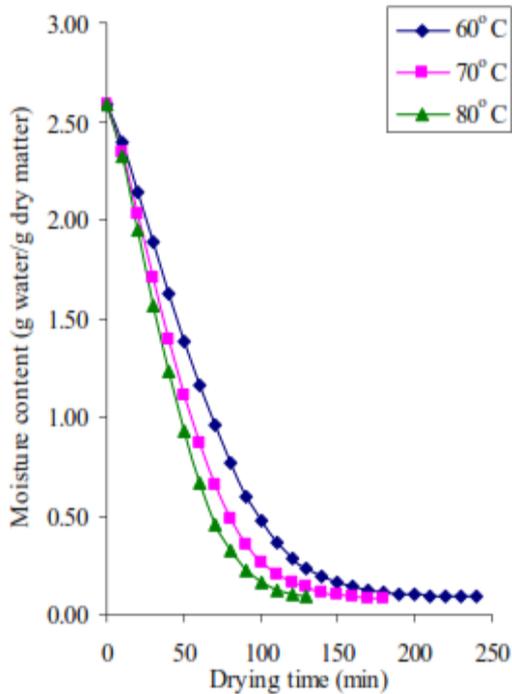
Gambar 2.1 menunjukkan laju pengeringan pada jagung tongkol dengan beberapa metode RK.S (Rumah Kaca Siang), LJ (Lantai Jemur), RK.M (Rumah Kaca Malam), dan RK.SM (Rumah Kaca Siang Malam). Pengeringan tercepat adalah pada metode lantai jemur karena langsung terkena radiasi sinar matahari, sedangkan rumah kaca siang juga relatif cepat. Pengeringan rumah kaca malam memiliki waktu paling lama dibanding yang lain karena pada saat malam hari panas yang diserap sangat sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa proses penjemuran sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari sehingga proses ini cenderung memakan banyak waktu.

2.3.2 Pengeringan Udara Panas (*Hot Air Drying*)

Pengeringan dengan cara ini merupakan pengembangan dari *Sun Drying* dimana metode ini sudah tidak dipengaruhi oleh faktor cuaca. Metode ini menggunakan udara panas yang dihembuskan. Peralatan pengering udara panas terdiri dari pembakar gas yang menghasilkan udara panas dimana udara tersebut dialirkan ke bagian atas alat. Waktu pengeringan dengan cara ini *relative* lebih cepat, namun produk yang dihasilkan masih belum cocok untuk produk dengan kualitas baik. Udara panas cenderung merusak kualitas warna, rasa, dan kualitas produk seperti terlihat pada Gambar 2.2 dimana terlihat ujung dari spesimen yang terlalu kering sehingga merusak tekstur spesimen sedangkan bagian dalam yang masih belum kering sempurna.



Gambar 2.2 Potongan longitudinal dari produk yang dikeringkan menggunakan sistem *hot air drying*
Sumber: Hayashi (2006)



Gambar 2.3 Moisture content hot air drying pada thai red curry paste

Sumber: Sudatip (2008)

Gambar 2.3 menunjukkan perubahan kadar air dari *thai red curry paste* selama proses pengeringan. Hasilnya dengan jelas menunjukkan bahwa pengeringan dengan udara panas dapat mempercepat proses pengeringan. Semakin besar temperatur yang di berikan maka semakin cepat proses pengeringan akan tetapi hasil pengeringannya tidak maksimal pada temperatur yang tinggi, sesuai dengan Gambar 2.3 yang memperlihatkan bagaimana terlalu cepatnya bagian luar dari spesimen yang mengering sehingga air dibagian dalam tidak bisa keluar secara sempurna karena tidak adanya jalan keluar untuk air pada bagian dalam agar dapat menguap secara sempurna. Untuk hasil yang lebih konstan bisa dihasilkan oleh pemanasan pada temperatur antara 40-50°C (Mj. Int. J. Sci. Tech. 2008, 1(*Special Issue*), 38-49)

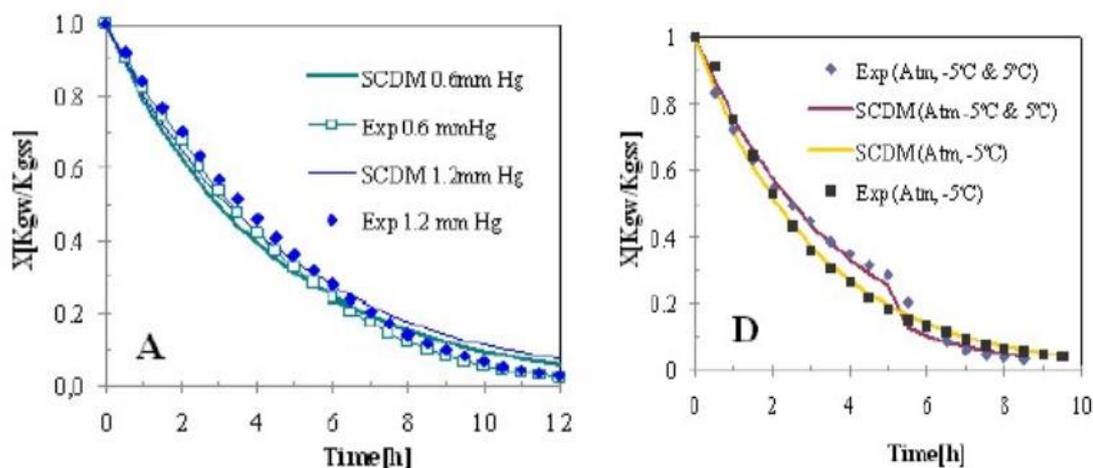
2.3.3 Pengeringan Beku (*Freeze drying*)

Pengering vakum dan pengering berhawa dingin dapat bekerja pada temperatur rendah serta diaplikasikan pada tekanan rendah. Pengeringan beku (*freeze drying*) adalah salah satu metode pengeringan yang mempunyai keunggulan dalam mempertahankan mutu hasil pengeringan, khususnya untuk produk-produk yang sensitif terhadap panas. Keunggulan pengeringan beku, dibandingkan metode lainnya, antara lain ialah:

1. Dapat mempertahankan stabilitas produk (menghindari perubahan aroma, warna, dan unsur organoleptik lain)
2. Dapat mempertahankan stabilitas struktur bahan (pengkerutan dan perubahan bentuk setelah pengeringan sangat kecil)
3. Dapat meningkatkan daya rehidrasi (hasil pengeringan sangat berongga dan lyophile sehingga daya rehidrasi sangat tinggi dan dapat kembali ke sifat fisiologis, organoleptik dan bentuk fisik yang hampir sama dengan sebelum pengeringan).

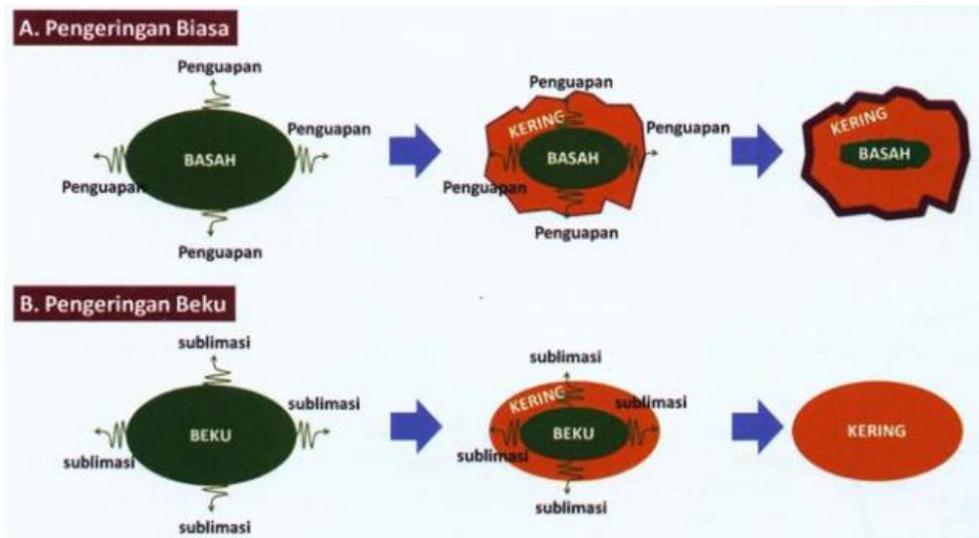
Keunggulan-keunggulan tersebut tentu saja dapat diperoleh jika prosedur dan proses pengeringan beku yang diterapkan tepat dan sesuai dengan karakteristik bahan yang dikeringkan.

Cara kerja alat dengan metode *freeze drying* adalah sebagai berikut. ekstrak cairan sebelum dimasukkan kedalam freeze dryer telah dibekukan dalam refrigerator (lemari es) minimal semalam. Setelah membeku kemudian dimasukkan ke dalam alat, alat diatur sesuai dengan yang diinginkan. Kemudian alat pemvacum akan menghisap *solvent* yang telah beku (*freeze*) menjadi uap. Prinsip kerja alat ini adalah merubah fase padat(es) menjadi fase gas (uap).



Gambar 2.4 Grafik pengeringan a) vakum *freeze drying* b) atmosfer *freeze drying*
Sumber: Alejandro Reyes (2015)

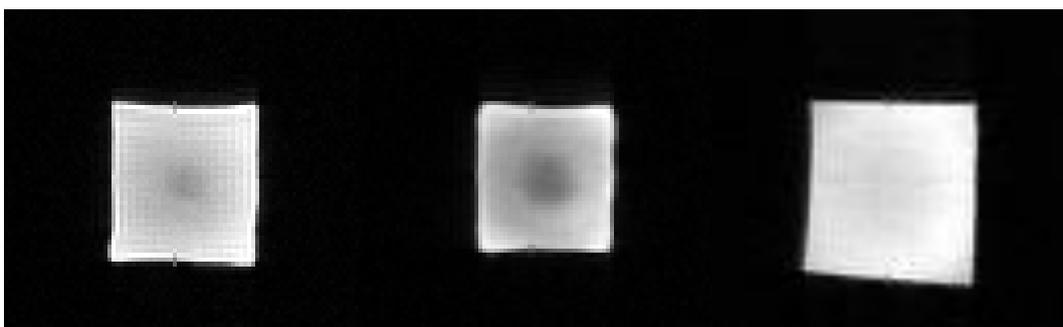
Gambar 2.4 menunjukkan perubahan berat *soymilk* selama proses *freeze drying* dengan vakum dan tanpa vakum. Hasilnya memperlihatkan waktu yang di butuhkan dalam *freeze drying* cukup lama, akan tetapi penggunaan vakum dapat memakan waktu yang lebih lama lagi dikarenakan penggunaan pompa vakum mengakibatkan makin banyaknya air yang di uapkan, namun hal ini dapat membuat hasil pengeringan menjadi lebih maksimal.



Gambar 2.5 Perbedaan mekanisme (a) proses pengeringan biasa dan (b) proses pengeringan beku
 Sumber: *foodreview indonesia, Freeze drying Technology (2013)*

2.3.4 Microwave Vacuum Drying

Pengeringan ini dilakukan dengan cara menurunkan temperatur didih dari air sehingga air bisa mendidih dan menguap di bawah temperatur 100 °C. Pengeringan ini membutuhkan waktu yang relatif lebih singkat dari yang lain. *Microwave vacuum drying* memiliki kelebihan memperpendek waktu pengeringan dan meningkatkan kualitas produk. Penyerapan energi dengan bahan basah tergantung pada distribusi air, yang menyebabkan pemanasan selektif bagian *interior*, melindungi bagian kelembaban rendah, misalnya permukaan bahan, dari *overheating*. Gambar 2.6 menunjukkan hasil dari penggunaan *microwave vacuum drying* dimana bagian putih menunjukkan daerah dengan kelembaban tinggi dan bagian abu-abu menunjukkan area dengan kurang kelembaban.



(a) 17.5 g/g-dry
(100%)

(b) 12.0 g/g-dry
(68.8%)

(c) 8.65 g/g-dry
(49.4%)

Gambar 2.6 Gambar mri dari lobak selama dehidrasi pengeringan vakum menggunakan gelombang mikro

Sumber: Tanaka (2007)

2.4 Mekanisme pengeringan

Dalam pengeringan, air dihilangkan dengan menggunakan prinsip dasar difusi dimana terdapat perbedaan kelembaban antara udara dengan bahan makanan yang dikeringkan. Material dikontakkan dengan udara kering dimana terjadi perpindahan massa air dari material ke udara pengering. Berdasarkan kondisi fisik yang digunakan untuk memberikan panas pada sistem dan memindahkan uap air, proses pengeringan dapat dibagi menjadi tiga, yaitu: (Geankoplis, 1993).

1. Pengeringan kontak langsung.

Pengeringan dengan penggunaan udara panas secara langsung sebagai medium pengering yang dilakukan pada tekanan *atmosferik*. Pada proses ini uap yang terbentuk akibat pemanasan terbawa oleh udara sebagai medium pengeringannya. Contoh dari pengeringan kontak langsung yaitu *hot air drying*.

2. Pengeringan vakum

Pengeringan dengan penggunaan logam sebagai medium pengontak panas atau efek radiasi yang dihasilkan oleh gelombang elektromagnetik sebagai medium pengeringnya dengan dibantu tekanan vakum. Pada proses ini penguapan air dapat berlangsung lebih cepat ketika digunakan pada tekanan rendah sehingga mengakibatkan pengeringan dapat terjadi pada suhu rendah. Contoh dari pengeringan vakum yaitu *microwave vacuum drying*.

3. Pengeringan beku

Pengeringan yang melibatkan proses *sublimasi* air dari suatu material beku dengan cara membekukan spesimen terlebih dahulu sebelum proses pengeringan dilakukan. Proses ini dilakukan dengan cara merubah fase zat cair dari fase padatan menuju fase gas. Contoh dari pengeringan beku yaitu *freeze drying*.

Pada saat suatu spesimen dikeringkan menggunakan pemanasan pada suhu *thermal*, akan terjadi dua buah proses, yaitu:

1. Perpindahan energi dari lingkungan ke sistem untuk menguapkan air yang terdapat pada permukaan suatu spesimen. Perpindahan energi berupa energi panas ini dapat berlangsung melalui 3 buah cara, yaitu konduksi, konveksi, radiasi, maupun kombinasi dari ketiganya. Banyak faktor yang berpengaruh pada proses ini, diantaranya ialah temperatur, kelembapan, laju dan arah aliran udara, bentuk fisik padatan, luas permukaan kontak dengan udara dan tekanan. Proses ini merupakan tahap penting pada awal pengeringan yaitu pada saat air bebas dihilangkan. Pada proses ini terjadi proses

difusi uap pada bagian permukaan padatan dari sistem ke lingkungan melalui lapisan film berupa udara tipis.

2. Perpindahan massa air yang terdapat di dalam suatu spesimen menuju ke permukaan. Akibat adanya perbedaan temperatur yang terjadi ketika proses penguapan berlangsung, air yang terdapat pada bagian dalam akan menuju ke permukaan spesimen tersebut. Struktur spesimen tersebut juga dapat menentukan bagaimana mekanisme aliran air yang terdapat di dalam spesimen.

Beberapa mekanisme aliran internal air yang dapat berlangsung :

1. *Difusi*

Proses mekanisme pergerakan molekul air terjadi bila nilai *equilibrium moisture content* berada di bawah titik jenuh *atmosferik* akibat adanya perbedaan konsentrasi. Contoh: pengeringan tepung, kertas, kayu, tekstil dan sebagainya.

2. *Capillary flow*.

Proses mekanisme aliran ini akan terjadi dengan cara bergerak mengikuti gaya gravitasi dan melalui celah-celah kapiler pada suatu spesimen. Hal ini akan terjadi apabila *equilibrium moisture content* berada di atas titik jenuh *atmosferik*. Contoh: pada pengeringan tanah, pasir, dll.

Equilibrium merupakan keadaan yang terjadi pada saat konsentrasi uap air di dalam padatan sama dengan konsentrasi uap air dalam gas. Sedangkan *equilibrium moisture content* merupakan kandungan air yang berada di dalam suatu spesimen. Proses hilangnya air tidak akan terjadi lagi apabila telah berada pada titik kesetimbangan (*equilibrium*). Tetapi kandungan air tersebut dapat berpindah lagi apabila spesimen diletakkan pada lingkungan dengan kondisi *relative humidity* yang lebih rendah (tekanan parsial uap air yang lebih rendah).

2.5 Faktor Pengeringan

Proses pengeringan bahan pangan dipengaruhi oleh banyak faktor dimana secara umum faktor-faktor tersebut dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu:

1. Faktor Internal

Faktor internal merupakan faktor yang berasal dari bahan pangan tersebut. Faktor-faktor tersebut adalah:

- a. Luas permukaan bahan pangan

Air menguap melalui permukaan bahan, sedangkan air yang berada dibagian tengah akan menuju permukaan dan kemudian menguap. Untuk mempercepat

pengeringan, umumnya bahan pangan yang akan dikeringkan dipotong atau diiris terlebih dahulu. Pemotongan atau pengirisan akan memperluas permukaan bahan dan permukaan yang luas dapat mempermudah proses keluarnya air. Potongan kecil atau membuat lapisan yang tipis juga berguna untuk mengurangi jarak keluarnya air dari benda tersebut.

b. Kadar air bahan pangan sebelum dikeringkan

Semakin besar kadar air didalam bahan maka pengeringan yang terjadi akan semakin lambat.

c. Komposisi kimia bahan

Apabila bahan pangan tersebut memiliki komposisi kimia yang mampu mengikat air maka proses pengeringan akan berlangsung lebih lama.

d. Ukuran bahan pangan

Semakin tebal ukuran suatu bahan maka semakin lama proses pengeringan akibat sulitnya air yang berada dibagian tengah untuk menguap.

e. Tekanan parsial dalam bahan pangan

Tekanan parsial adalah tekanan hipotesis gas pada saat menempati volume campuran pada temperatur yang sama. Semakin rendah tekanan parsial maka semakin rendah kelembapan udara sehingga dapat mempengaruhi proses pengeringan.

2. Faktor Eksternal

Faktor eksternal merupakan faktor yang berasal dari lingkungan atau dari luar bahan pangan. Faktor-faktor tersebut adalah:

a. Suhu

Semakin besar perbedaan suhu antar medium pemanas dengan bahan pangan akan menyebabkan semakin cepat pemindahan panas pada bahan dan semakin cepat pula penghilangan air dari bahan. Akan tetapi bila suatu bahan yang dikeringkan tidak sesuai maka akan terjadi *case hardening* atau keadaan dimana bagian luar bahan sudah kering sedangkan bagian dalam masih basah. Untuk mengatasi hal ini maka dibutuhkan suhu yang sesuai serta merata pada semua permukaan bahan yang dikeringkan sehingga *case hardening* dapat dihindari.

b. Tekanan

Semakin kecil tekanan udara akan semakin besar kemampuan udara untuk mengangkut air selama pengeringan karena semakin kecil tekanan maka kerapatan

udara semakin berkurang sehingga uap air dapat lebih banyak tertampung dan dihilangkan dari bahan.

c. Kelembapan udara

Kelembapan udara mempengaruhi pengeringan dimana semakin rendah kelembapan maka semakin cepat pengeringan. Kelembapan yang rendah mengakibatkan perbedaan konsentrasi di udara dan di spesimen semakin besar sehingga mempercepat keluarnya udara di dalam spesimen.

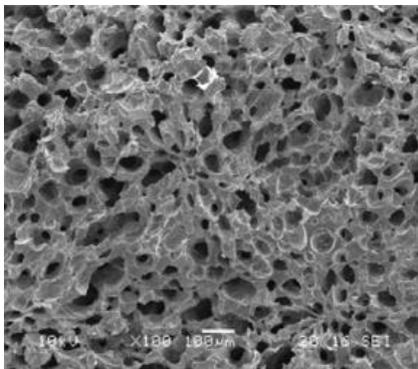
d. Kecepatan volumetrik aliran udara mesin pengering

2.6 Proses Pembekuan

Proses pembekuan adalah proses perubahan fase dari fase cairan menuju fase padatan yang terjadi pada titik beku suatu zat. Pada molekul air (H_2O) proses ini terjadi pada temperatur $0^{\circ}C$. Pembekuan sendiri telah dikenal sebagai salah satu metode dalam pengawetan makanan dimana dengan adanya pembekuan, struktur serta kandungan dalam suatu bahan makanan relatif lebih dapat terjaga.

Dengan adanya proses pembekuan pada spesimen juga dapat menimbulkan celah yang tidak beraturan dan pembengkakan pada spesimen, termasuk deformasi pada spesimen tersebut. Hal ini terjadi karena adanya pembesaran volume akibat timbulnya kristal es pada spesimen tersebut (Wang *et. al*, 2010).

Penambahan pembekuan sebelum proses pengeringan dapat menimbulkan celah pada bagian dalam spesimen seperti yang dapat terlihat pada Gambar 2.7. Lain halnya dengan penambahan proses pembekuan diantara 2 buah proses pengeringan menggunakan *microwave* yang menunjukkan banyaknya celah pada bagian permukaan spesimen yang dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.7 Celah yang timbul pada bagian dalam spesimen dengan penambahan proses pembekuan sebelum pengeringan

Sumber: S. de la Fuente-Blanco *et. al* (2006)



Gambar 2.8 Celah yang timbul pada bagian permukaan spesimen dengan penambahan proses pembekuan di antara pengeringan
 Sumber: Wang *et. al* (2010)

2.7 Karakteristik Penguapan Air

2.7.1 Kadar Air

Kadar air suatu bahan menunjukkan banyaknya air persatuan bobot yang dapat dinyatakan dalam persen berat basah (*wet basis*) atau dalam persen berat kering (*dry basis*). Kadar air berat basah (b.b) adalah perbandingan antara berat air yang ada dalam bahan dengan berat total bahan. Kadar air berat basah dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini:

$$\text{Kadar air berat basah (\%)} = \frac{\text{berat awal spesimen (g)} - \text{berat kering (g)}}{\text{berat awal spesimen (g)}} \times 100 \% \quad (2-1)$$

Sumber: Surdia dan Chijiwa (1980)

Pengukuran kadar air dapat dilakukan secara praktis dengan menggunakan alat yang bernama *moisture analyzer* yaitu suatu alat pengukur yang akan menampilkan data kadar air suatu bahan dengan prinsip perhitungan kadar air berat basah.

Kandungan air yang terdapat di dalam suatu spesimen terdiri dari 3 jenis yaitu sebagai berikut.

1. Air bebas (*free water*), air ini merupakan air yang tidak terikat secara fisik maupun kimia di dalam suatu spesimen dan biasanya terdapat di permukaan bahan, sehingga air ini dapat dengan mudah di uapkan.
2. Air terikat secara fisik, air ini merupakan air yang terikat secara fisik pada jaringan matriks bahan seperti membran, kapiler, serat, dan lain-lain. Air jenis ini terdiri atas:
 - a. Air yang terikat pada sistem kapiler suatu spesimen dikarenakan pipa-pipa kapiler pada bahan tersebut.

- b. Air *absorpsi* yaitu air yang terdapat di dalam suatu speimen karena diserap oleh spesimen tersebut.
 - c. Air yang terkurung diantara serat spesimen karena adanya hambatan mekanis pada bahan tersebut.
3. Air terikat secara kimia, yaitu air yang berikatan baik dengan molekul air yang lain maupun dengan molekul lainnya di dalam spesimen tersebut dimana hal ini terjadi karena adanya ikatan hidrogen. Dibutuhkan energi yang cukup besar untuk menghilangkan air jenis ini dari dalam suatu spesimen. Air terikat secara kimia terdiri dari:
- a. Air yang terikat pada molekul-molekul lain pada suatu spesimen dan akan membentuk hidrat dengan molekul lain yang mengandung atom O dan N seperti karbohidrat, protein, atau garam.
 - b. Air yang terikat dengan molekul air yang lain pada suatu spesimen yang biasanya terdapat dalam mikrokapiler.

2.7.2 Anomali Air

Anomali diartikan sebagai keanehan akibat penyimpangan teori umum termodinamika. Setiap zat akan memuai atau bertambah volumenya apabila dipanaskan, namun hal ini tidak berlaku pada air yang berada temperatur 4 derajat celcius yang baru saja mengalami proses pencairan dari es (temperatur dibawah 0 derajat celcius). Oleh karena massa jenis air adalah massa per satuan volume maka pada temperatur 4 derajat celcius, air mengalami fase volume terkecil dan massa jenis terbesar dalam siklusnya:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2-2)$$

Sumber: Cengel (2004)

Dimana:

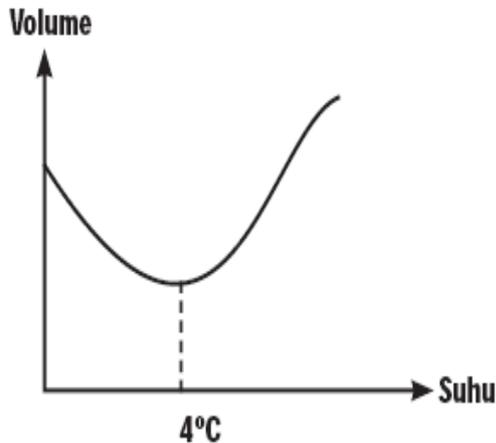
ρ = Massa jenis (kg/m^3)

m = Massa (kg)

V = Volume (m^3)

Sesuai dengan Gambar 2.7 dimana apabila sejumlah air pada suhu 0°C dipanaskan, volumenya menurun sampai mencapai suhu 4°C . Kemudian, ketika suhu telah berada di atas 4°C air akan kembali berperilaku normal dan volumenya memuai terhadap pertambahan suhu secara teratur. Sifat pemuaian air yang tidak teratur ini disebut *anomali* air dimana air memiliki massa jenis yang paling tinggi pada suhu 4°C . Perilaku air yang menyimpang ini sangat penting untuk keberadaan air selama musim dingin.

Rosyidah (2005) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa massa jenis fluida dapat menentukan laju perpindahan yang akan menentukan nilai koefisien difusi fluida tersebut. Beberapa eksperimen menunjukkan bahwa fluida yang lebih rapat, berdifusi lebih lambat dari fluida yang kurang rapat. Hal ini menunjukkan bahwa air pada saat kondisi anomali memiliki laju difusi paling lambat karena memiliki massa jenis (densitas) terbesar dalam siklusnya.



Gambar 2.9 Volume air pada suhu 4°C
Sumber: Ruddi (2015)

2.7.3 Laju Pengeringan Air

Laju pengeringan air merupakan suatu perhitungan yang digunakan untuk mengetahui seberapa cepat air dikeringkan dari dalam suatu spesimen tiap satuan waktu. Secara matematis, laju pengeringan air dirumuskan sebagai berikut.

$$\bar{V} = \frac{\Delta m}{t} \quad (2-3)$$

Sumber: Hamidi (2008)

Dimana:

Δm = Selisih massa spesimen (massa sebelum dikeringkan dengan yang sesudah dikeringkan) (gram)

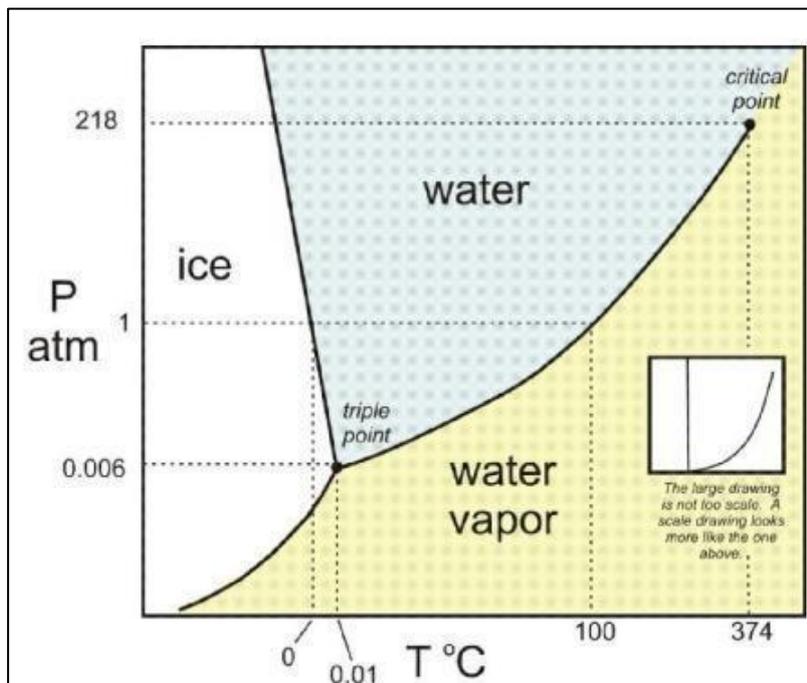
t = Waktu pengeringan (menit)

2.8 Komponen Mesin Pendingin

Komponen-komponen pendinginan yang dibutuhkan untuk membentuk sistem pengeringan beku (*freeze drying*) menggunakan sistem pendinginan dengan siklus kompresi uap. Sistem ini menggunakan kompresor untuk menaikkan tekanan uap zat pendinginan dari evaporator kemudian mendorongnya ke dalam kondensor agar mudah diembunkan. Siklus pada mesin ini menggunakan klep yang menghasilkan penurunan tekanan secara *isoenthalpy*.

2.9 Pompa Vakum

Dalam sistem pengeringan ini dibutuhkan alat pendukung berupa pompa vakum yang berfungsi untuk menurunkan tekanan ruang pengeringan agar terjadi *evaporasi* dan menghisap air yang menguap dalam ruang pengeringan. Untuk menurunkan titik uap air agar terjadi *sublimasi* maka tekanan dalam ruang pengeringan tersebut perlu diturunkan berdasarkan diagram fase air. Penggunaan kondisi udara vakum (dibawah tekanan 1 atm) bertujuan untuk menurunkan titik didih dari uap air, sehingga proses pengeringan dapat dilakukan pada suhu rendah.



Gambar 2.10 Diagram fase H₂O (air)

Sumber: Cengel (2006)

Untuk menentukan nilai tekanan yang dibutuhkan untuk mencapai titik *evaporasi*, maka dapat dilihat sesuai dengan Tabel 2.1.

Tabel 2.1
Tekanan Uap Jenuh Air

Suhu°C	Tekanan Uap Jenuh (mmHg)
0	4.579
1	4.926
2	5.294
3	5.685
4	6.101
5	6.543
6	7.013
7	7.513
8	8.045
9	8.609
10	9.209

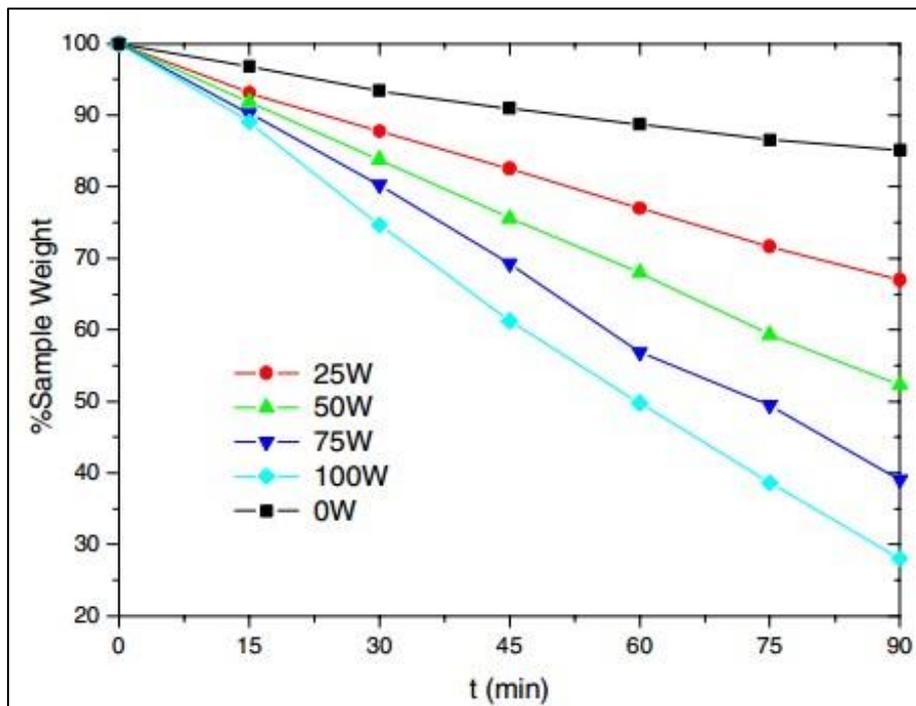
Sumber: Labuza (1982)

2.10 Pemakaian Teknologi Gelombang Elektromagnetik dalam Perindustrian

Gelombang mikro (*microwave*) merupakan salah satu jenis gelombang elektromagnetik yang memiliki efek pemanasan jika diserap oleh suatu benda. Efek pemanasan yang dimiliki oleh gelombang mikro lebih merata, hal ini dikarenakan transfer panas yang terjadi tidak dilakukan dari luar tetapi dibangkitkan dari dalam bahan tersebut. Berbagai kelebihan efek pemanasan yang ditimbulkan oleh gelombang mikro membuat gelombang ini dimanfaatkan untuk *food processing*, kesehatan, maupun dalam bidang industri.

Pengaruh gelombang mikro dalam proses pengeringan begitu menjanjikan. Gelombang mikro dengan daya yang diijinkan dapat memicu molekul air keluar dari sel tanpa terjadi perubahan fase air. Efeknya sangat signifikan dan tanpa menyebabkan kerusakan pada makanan yang dikeringkan. Pengeringan menggunakan gelombang mikro merupakan salah satu contoh dari pemanfaatan gelombang mikro pada industri makanan.

Gambar 2.9 menunjukkan penelitian dengan penggunaan *microwave* pada sampel berupa wortel yang berukuran tabung (silinder) dengan diameter sebesar 24 mm dan ketebalan 8 mm. Adapun daya yang digunakan dalam percobaan ini ialah 0 W, 25 W, 50 W, 75 W dan 100 W. Dapat terlihat dari hasil yang diperoleh bahwa penggunaan gelombang mikro dapat menyebabkan molekul air keluar dari dalam sel wortel. Daya yang dapat bekerja secara optimal pada gelombang mikro ialah sebesar 100 W karena terlihat dengan daya tersebut dapat mengurangi berat buah wortel secara signifikan sebesar 72% dalam waktu sebesar 90 menit (S. de la Fuente-Blanco et al).



Gambar 2.11 Pengaruh gelombang mikro dalam proses pengeringan pada wortel
Sumber: S. De la Fuente-Blanco (2006)

2.11 Hipotesis

Laju pengeringan pada *microwave vacuum drying* dapat menjadi lebih cepat dengan adanya gelombang mikro yang dapat mendesak air menuju permukaan spesimen. Selain itu penambahan proses pembekuan pada *microwave vacuum drying* akan menghasilkan kristal es, dimana pada proses pembekuan sebelum pengeringan akan menghasilkan kristal es pada bagian dalam (*intracellular*), sedangkan pada proses pembekuan yang dilakukan diantara proses pengeringan akan menghasilkan kristal es pada bagian permukaan (*extracellular*). Dengan adanya penambahan proses pembekuan akan membentuk celah pada spesimen sebagai jalur keluarnya air yang dapat mempercepat laju proses pengeringan.