

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Ubi Kayu

Umbi-umbian merupakan sumber karbohidrat yang mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai bahan pangan alternatif, salah satu jenisnya adalah ubi kayu. Ubi kayu merupakan produksi hasil pertanian pangan ke dua terbesar setelah padi sehingga ubi kayu mempunyai potensi sebagai bahan baku yang penting bagi berbagai produk pangan dan industri dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber kalori (Siboro, 2016).

Dalam sistematika tanaman, ubi kayu mempunyai 7.200 spesies, beberapa diantaranya, seperti karet (*Hevea brasiliensis*), jarak (*Ricinus communis* dan *Jatropha curca*), umbi-umbian (*Manihot* spp), dan tanaman hias (*Euphorbia* spp). Klasifikasi ubi kayu dapat dilihat sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae (tumbuh-tumbuhan)
Divisio	: Spermatophyta (Tumbuhan berbiji)
Sub divisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledonae (Biji berkeping dua)
Ordo	: Euphorbiales
Famili	: Euphorbiaceae
Genus	: <i>Manihot</i>
Species	: <i>Manihot esculenta</i> Crantz

Umbi yang terbentuk merupakan akar yang menggelembung dan berfungsi sebagai tempat penampung makanan cadangan, bentuk umbi biasanya bulat memanjang terdiri atas kulit tipis berwarna kecoklat-coklatan, kulit dalam agak tebal berwarna keputih-putihan, dan daging berwarna putih (Siboro, 2016).

Sebagai makanan, ubi kayu memiliki beberapa kekurangan diantaranya kadar protein dan vitamin yang rendah serta nilai gizi yang tidak seimbang. Untuk mengatasi hal tersebut, perlu adanya proses untuk mengolah bahan mentah tersebut menjadi bahan lain yang lebih tinggi daya gunanya maupun nilai ekonominya. Ubi

kayu yang banyak beredar di pasaran adalah ubi kayu yang telah dikeringkan terlebih dahulu seperti keripik dan tepung tapioka agar tahan lama dan meningkatkan daya jual yang tinggi. Ubi kayu dikeringkan ditempat terbuka dimana pengeringan dilakukan untuk mengurangi sebagian air dari suatu bahan pangan (Ardianto, 2017).

2.1.1. Kandungan Gizi dalam Ubi Kayu

Kandungan gizi ubi kayu dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan Gizi Ubi Kayu per 100 gram

No	Kandungan Gizi	Ubi Kayu
1	Energi (Kal)	154,0
2	Protein (g)	1,0
3	Lemak(g)	0,3
4	Karbohidrat(g)	36,8
5	Ca(mg)	77,0
6	Phospor(mg)	44,0
7	Besi(mg)	1,1
8	Vit. A (SI)	0
9	Vit. B1 (SI)	0,06
10	Vit. C (SI)	31,0
11	Air (g)	61,4
12	Serat (g)	0,9
13	Abu (g)	0,5

Sumber: Direktorat Gizi Depkes RI, 1995

Selain kandungan gizi diatas, ubi kayu juga mengandung senyawa kimia beracun berupa asam sianida. Baik daun maupun umbinya mengandung glikosida sianogenik dalam bentuk linamarin, artinya suatu ikatan organik yang dapat menghasilkan asam sianida yang bersifat sangat toksik (Sosrosoedirdjo, 2018). Kadar sianida rata-rata dalam ubi kayu manis dibawah 50 mg/kg berat asal, sedangkan ubi kayu pahit/racun diatas 50 mg/kg. Akan tetapi, menurut FAO (dalam Winarno, 1986), ubi kayu dengan kadar 50 mg/kg masih aman untuk dikonsumsi manusia.

Pengurangan kadar HCN dapat dilakukan dengan beberapa proses, seperti pengupasan kulit ubi kayu sebelum diolah, pengeringan singkong, perendaman, dan fermentasi selama beberapa hari. Hal ini dilakukan agar senyawa glikosida sianogenik dalam bentuk linamarin yang menghasilkan asam sianida banyak yang

rusak sehingga hidrogen sianida ikut terbuang keluar menyisakan sekitar 10-40 mg/kg (Winarno, 1986).

2.2. MOCAF (*Modified Cassava Flour*)

Mocaf (*Modified Cassava Flour*) merupakan tepung ketela pohon yang dimodifikasi. Mocaf ini dapat dijadikan bahan substitusi tepung terigu sebagai bahan baku dari berbagai jenis makanan, mulai dari mie, roti, snack hingga makanan semi basah. Mocaf yang baik tentunya memiliki syarat mutu untuk menjaga kualitasnya. Syarat mutu lainnya dari mocaf dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Syarat Mutu Tepung Mocaf

Kriteria Uji	Satuan	Persyaratan
Kedaaan		
Bentuk	-	Serbuk halus
Bau	-	Netral
Warna	-	Putih
Benda-benda asing	-	Tidak ada
Serangga dalam semua bentuk dan stadia potongan-potongannya yang tampak	-	Tidak ada
Kehalusan		
Lolos ayakan 100 mesh	% b/b	Min. 90
Lolos ayakan 80 mesh	% b/b	100
Kadar air	% b/b	Maks. 13
Abu	% b/b	Maks. 1,5
Serat kasar	% b/b	Maks. 2,0
Derajat putih (MgO = 100)	-	Min 87
Belarang dioksida (SO ₂)	% b/b	Negatif
Derajat asam	ml NaOH	1 N Maks. 4,0
HCN	mg/kg	Maks. 10
Cemaran logam		
Cadmium (Cd)	mg/kg	Maks. 0,2
Timbal (Pb)	mg/kg	Maks. 0,3
Timah (Sn)	mg/kg	Maks. 40,0
Merkuri (Hg)	mg/kg	Maks. 0,05
Cemaran Arsen (As)	mg/kg	Maks. 0,5
<i>Escherichia coli</i>	APM/g	Maks. 10
<i>Bacillus cereus</i>	Koloni/g	< 1 x 10 ⁴
Kapang	Koloni/g	Maks. 1 x 10 ⁴

Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2011

Tepung mocaf memiliki kandungan nutrisi yang berbeda dengan tepung terigu. Perbedaan kandungan nutrisi yang mendasar adalah, bahwa tepung mocaf memiliki sedikit protein sedangkan tepung terigu berbahan gandum kaya dengan protein. Selain itu, tepung mocaf lebih kaya karbohidrat dan memiliki gelasi yang lebih rendah dibandingkan tepung terigu, sedangkan dibandingkan dengan tepung singkong biasa atau tapioka, tepung mocaf memiliki karakter derajat viskositas, kemampuan gelasi, daya rehidrasi dan kemudahan melarut yang lebih baik. Perbedaan mocaf dan tepung terigu berdasarkan komposisi kimia dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbedaan Komposisi Kimia Mocaf dan Tepung Terigu

Komposisi	Tepung Mocaf	Tepung Terigu
Air (%)	Max. 13	Max. 13
Protein (%)	Max. 1,0	Max. 1,2
Abu (%)	Max. 0,2	Max. 2
Pati (%)	82-85	69,32
Serat (%)	1,9-3,4	0,4
Lemak (%)	0,4-0,8	0,85
HCN (mg/kg)	Tidak terdeteksi	Tidak terdeteksi

Sumber: Subagio, 2006

Modifikasi tepung singkong (mocaf) mampu mensubstitusi tepung terigu yang telah lama berkembang karena memiliki karakteristik mirip terigu sehingga dapat digunakan sebagai pengganti terigu atau campuran terigu. Tepung mocaf memiliki kandungan nutrisi yang berbeda dari tepung terigu. Perbedaan kandungan nutrisi yang mendasar adalah tepung mocaf tidak mengandung zat gluten, yang menentukan kekenyalan. Tepung mocaf berbahan baku singkong memiliki sedikit protein, sedangkan tepung terigu berbahan gandum kaya protein (Nusa, 2012).

Proses modifikasi pada pembuatan mocaf dilakukan dengan proses khusus yang disebut dengan fermentasi yang melibatkan bakteri asam laktat mampu mengubah karakteristik tepung sehingga meningkatnya viskositas, kemampuan gelasi, daya rehidrasi, dan kemudahan melarut. Mikroba juga menghasilkan asam-asam organik, terutama asam laktat. Selama proses fermentasi, terjadi pula penghilangan warna dan protein yang dapat menimbulkan warna coklat ketika pengeringan. Dampaknya adalah warna mocaf yang dihasilkan lebih putih

dibandingkan dengan warna tepung biasa. Selain itu, waktu fermentasi pada pembuatan mocaf akan berpengaruh pada viskositas karena selama fermentasi, mikroba mendegradasi dinding sel sehingga pati dalam sel keluar dan mengalami gelatinisasi bila dipanaskan. Dengan fermentasi tersebut, umbi menjadi lunak, cyanogenik glioksida akan terdegradasi (Loebis, 2013).

Prinsip pembuatan mocaf sama dengan pembuatan tepung tapioka, tetapi setelah perajangan dilakukan perendaman/fermentasi ubi kayu *chip* dengan bakteri asam laktat. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian telah mengembangkan starter bakteri asam laktat bimo-CF dalam bentuk bubuk dan diperkaya dengan nutrisi (Misgiyarta, 2009). Bakteri asam laktat bersifat fakultatif anaerob yang tumbuh optimal pada suhu 30–37°C dan pH 3–8 serta memerlukan nutrisi sebagai sumber energi untuk pertumbuhannya. Bakteri asam laktat tidak menghasilkan toksin sehingga aman digunakan untuk bahan pangan. Asam laktat yang dihasilkan juga dapat memberi aroma dan cita rasa khas yang disukai.

Proses pengolahan mocaf meliputi pengupasan, pencucian, penyawutan (pembuatan *chips*), perendaman dan fermentasi, pengeringan, penepungan, dan pengayakan. Alur proses produksi tepung mocaf (*modified cassava flour*) adalah sebagai berikut (Misgiyarta, 2009):

1. Pengupasan

Pengupasan kulit ubi kayu dapat dilakukan menggunakan pisau. Cara tersebut dapat menghasilkan rendemen yang tinggi namun memerlukan waktu yang lama dan tenaga kerja yang banyak. Singkong yang telah dikupas ditampung dalam ember yang berisi air agar tidak menimbulkan warna kecoklatan dan sekaligus menghilangkan asam sianida (HCN).

2. Pencucian

Setelah dikupas, ubi kayu dicuci menggunakan air bersih. Penggunaan air bersih bertujuan untuk menghindari dari kontaminan bahan kimia dan mikroba yang tidak diinginkan.

3. Pemotongan/Perajangan

Ubi kayu yang telah dicuci bersih dipotong atau dirajang menjadi berbentuk *chips* dengan ukuran ketebalan sekitar 1-3 mm. Pemotongan bisa secara manual dengan menggunakan pisau atau dengan menggunakan mesin *chipper*. Pemotongan bertujuan untuk memperkecil ukuran ubi kayu sehingga mudah dikeringkan dan tidak menyebabkan perubahan warna serta timbulnya bau asam.

4. Fermentasi

Proses fermentasi *chips* ubi kayu dilakukan menggunakan drum plastik berisi starter mikroba yang telah dilarutkan dalam air (0,01% berat/volume air). Pemberian starter mikobra bertujuan untuk menghidrolisis pati dalam ubi kayu. Fermentasi dilakukan dengan merendam *chips* ubi kayu hingga seluruh *chips* singkong tertutup air. Fermentasi dilakukan selama 12 jam pada suhu kamar (Subagio, 2009).

5. Pencucian

Pencucian setelah proses fermentasi bertujuan untuk menghilangkan sifat asam sekaligus HCN pada *chips* ubi kayu hingga tidak berasa dan tidak berbau. lebih cepat kering. Setelah fermentasi, *chips* ubi kayu ditiriskan kemudian dibilas dengan air mengalir.

6. Pengeringan

Setelah *chips* dibilas, kemudian dilakukan pengeringan terhadap *chips* ubi kayu. Umumnya, pengeringan dilakukan dengan menggunakan energi matahari atau disebut penjemuran. Pengeringan dengan sinar matahari praktis dan murah biayanya. Penjemuran menggunakan terpal lebih praktis penanganannya jika terjadi hujan. Jika panas matahari normal maka penjemuran dapat dilakukan minimal 3 hari. Penjemuran menggunakan energi matahari tersebut memerlukan lahan yang datar, luas, dan tidak terhalang oleh pepohonan.

Pengeringan bisa juga dilakukan menggunakan mesin pengering. Penggunaan mesin pengering ini dapat dilakukan kapasitas yang besar (sesuai keinginan) dan dapat diatur temperatur bahkan waktu pengeringannya sesuai kebutuhan. Pengeringan dilakukan sampai kadar air tepung aman disimpan (<13%).

Mesin pengering yang umum dipakai adalah oven. Suhu pengeringan *chips* ubi kayu berkisar 50-70°C.

7. Penepungan dan Pengayakan

Setelah *chips* ubi kayu kering hingga mencapai kadar air maksimal 13%, dapat dilakukan proses penggilingan menggunakan mesin penepung. Penepungan dilanjutkan dengan proses pengayakan. Pengayakan dilakukan untuk menghasilkan tepung mocaf yang lembut. Pengayakan dapat dilakukan secara manual menggunakan saringan atau menggunakan mesin. Penggunaan menggunakan mesin pengayak lebih baik untuk mendapatkan tepung dengan tingkat keseragaman dan kehalusan yang tinggi mendekati tepung terigu (100 mesh).

8. Pengemasan.

Setelah dihasilkan produk tepung mocaf, tepung dikemasi sesuai ukuran yang diinginkan. Jenis kemasan sesuai dengan tujuan pasar. Kemasan plastik umumnya digunakan untuk produk eceran, sedangkan kemasan karung umumnya pemasaran ke industri atau pedagang besar.

2.3. Pengeringan

Pengeringan adalah proses mengeluarkan atau menghilangkan kandungan air dari suatu bahan, dengan cara menguapkan sebagian besar air yang terkandung menggunakan energi panas. Prinsipnya yaitu adanya perbedaan antara temperatur di dalam dan di luar bahan yang dikeringkan. Di dalam alat pengering, terjadi sirkulasi udara oleh udara panas yang berasal dari udara lingkungan yang dihisap oleh *blower* kemudian dipanaskan melalui *heater*. Jadi laju aliran udara dapat menentukan laju pengeringan (Sugiyono, 1989). Perubahan suhu di dalam pengeringan tergantung pada sifat bahan umpan dan kandungan airnya, suhu pada media pemanas, waktu pengeringan, serta suhu akhir yang diperoleh dalam pengeringan zat padat.

Tujuan pengeringan adalah mengurangi kadar air bahan sampai batas di mana perkembangan mikroorganisme dan kegiatan enzim yang dapat menyebabkan

pembusukan terhambat atau terhenti, dengan demikian bahan yang dikeringkan dapat mempunyai waktu simpan yang lama.

Menurut Rahayu (2018), faktor – faktor yang mempengaruhi penguapan adalah:

- a. Laju pemanasan waktu energi dipindahkan ke bahan
- b. Jumlah panas yang dibutuhkan untuk menguapkan air
- c. Suhu maksimum pada bahan
- d. Perubahan lain yang mungkin terjadi di dalam bahan selama proses penguapan berlangsung

Proses pengeringan memberikan panas pada lapisan permukaan bahan yang dikeringkan sehingga terdifusi ke dalam bahan secara konduktif. Air dalam bahan akan bergerak ke lapisan batas, menguap dan dibawa oleh udara pengeringan. Penguapan air tersebut dapat menurunkan kelembaban udara (RH) sehingga tekanan uap air bahan akan lebih besar daripada tekanan uap air dari bahan ke udara. Proses pengeringan biasanya dipengaruhi oleh kondisi eksternal yaitu suhu, kelembaban, kecepatan, dan tekanan udara panas kondisi internal seperti kadar air, bentuk, luas permukaan dan keadaan fisik bahan. Setiap kondisi yang berpengaruh diatas dapat menjadi faktor pembatas laju pengeringan (Nuraeni, 2018).

Laju pengeringan suatu bahan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain (Putra, 2017):

- a. sifat fisik bahan,
- b. sifat-sifat lingkungan alat pengering (temperatur, kelembaban dan kecepatan udara, dan
- c. karakteristik alat pengering (efisiensi perpindahan panas).

Semakin tinggi temperatur dan laju aliran udara pengeringan makin cepat pula proses pengeringan berlangsung. Semakin tinggi temperatur udara pengering, makin besar energi panas yang dibawa udara sehingga makin banyak jumlah air yang teruapkan. Apabila laju aliran udara pengering makin tinggi maka makin cepat massa uap air berpindah dari bahan ke atmosfer. Penguapan air tersebut memengaruhi kelembaban udara. Semakin tinggi kelembaban udara, perbedaan

tekanan uap air didalam dan diluar bahan makin kecil, sehingga pemindahan uap air dari dalam bahan keluar menjadi terhambat (Rachmawan, 2001).

Pada industri makanan, umumnya bahan pangan yang dikeringkan mengalami perubahan warna menjadi coklat (*browning*). Apabila pengeringan dilakukan pada temperatur yang terlalu tinggi, ketika kontak dengan bahan yang masih basah maka dapat terjadi *case hardening*. *Case hardening* adalah suatu keadaan di mana bagian permukaan bahan telah kering, sedangkan di bagian dalam masih basah. Temperatur yang tinggi di awal pengeringan akan menguapkan air di permukaan bahan secara cepat sehingga permukaan bahan menjadi kering dan keras. Hal ini menghambat penguapan air yang terdapat di bagian dalam bahan tersebut (Rachmawan, 2001).

2.3.1. Mekanisme Pengeringan

Mekanisme pengeringan dibutuhkan untuk memperkirakan jumlah energi dan waktu proses optimum. Energi yang diperlukan dalam pengeringan berupa energi panas untuk meningkatkan temperatur dan menambah tenaga pemindahan air. Sedangkan waktu proses berkaitan dengan laju pengeringan dan tingkat kerusakan yang dapat dikendalikan akibat pengeringan.

a. Kebutuhan Energi

Energi panas yang diberikan untuk mengurangi kadar air bahan diharapkan mobilitas air dalam bahan pangan akan meningkat dan tekanan uapnya bertambah sehingga air tersebut dapat keluar dari bahan pangan. Penggunaan energi panas ditujukan untuk dua hal, yaitu:

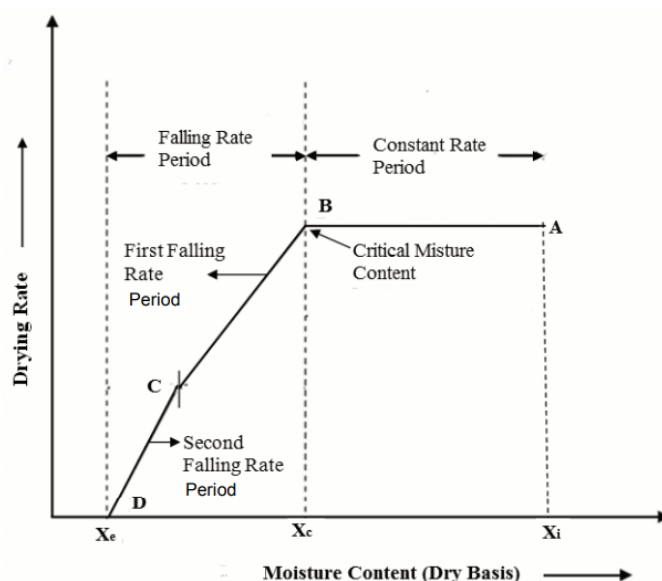
- Energi panas untuk menaikkan suhu dari suhu pangan awal (T_1) ke suhu pengeringan konstan untuk menguapkan air (T_2).
- Energi panas untuk penguapan air pada suhu T_2 atau energi panas untuk melengkapi panas laten dalam penguapan air pada suhu T_2 .

b. Laju Pengeringan

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).

Kurva laju pengeringan dapat dilihat pada Gambar 1. 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 pengering ini dibatasi oleh kadar air kritis.



Sumber: Kaur, 2015

Gambar 1. 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).

Selama tahap laju pengeringan tetap, kecepatan pengeringan dibatasi oleh kecepatan penguapan dari permukaan air yang terdapat dalam bahan. Kecepatan pengeringan akan terus sama selama migrasi air dari lapisan sebelum ke permukaan dan penguapan akan terjadi lebih cepat dibanding kecepatan penguapan pada permukaan. Setelah mencapai kadar air kritis (*critical moisture content*), maka

proses pengeringan selanjutnya berlangsung dengan kecepatan menurun (Susanto, 2011).

Pada pengeringan konveksi, panas yang dibutuhkan untuk menguapkan kandungan air dari produk diberikan oleh udara suhu permukaan mendekati suhu *wet bulb* dari udara masuk. Laju pengeringan suatu bahan ditentukan oleh temperatur bola basah dan bola kering, kecepatan massa udara dan koefisien perpindahan panas (h_y). Pada periode laju konstan, laju pengeringan per satuan luas dapat ditaksir untuk evaporasi dari permukaan zat cair bebas. untuk memperoleh nilai laju pengeringan terdapat beberapa persamaan.

Volume humid (V_h) adalah volume total massa satuan gas dan uap yang dikandungnya pada 1 atm dan suhu gas. Volume humid dapat dihitung pada persamaan 1 (Mc Cabe, 1993).

$$V_h = \frac{0,0224}{273} T \left(\frac{1}{M_B} + \frac{h}{M_A} \right) \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

- V_h = volume humid (m^3/kg)
- T = Temperatur (Kelvin)
- M_b = Berat molekul udara ($kg/kmol$)
- M_a = Berat molekul air ($kg/kmol$)
- h = *humidity*

Volume humid digunakan untuk menghitung densitas dari harga G atau kecepatan massa udara pengering. Kecepatan massa dapat dihitung dengan persamaan 2 (Mc Cabe, 1993).

$$\rho_G = \frac{1+h}{V_h} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

- ρ_G = densitas (kg/m^3)

Densitas (ρ_G) digunakan pada persamaan 3 untuk menghitung kecepatan massa udara pengering (Mc Cabe, 1993).

$$G = V_{udara} \times \rho_G \times 3600 \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

G = Kecepatan massa udara ($\text{kg/m}^2 \text{ h}$)

V_{udara} = Kecepatan udara (m/jam)

setelah mendapat nilai kecepatan massa udara pengering (G), maka dihitung pula nilai koefisien perpindahan panas (h_y). Perhitungan dapat dilihat pada persamaan 4 (Mc Cabe, 1993).

$$h_y = 0,0204 G^{0,8} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

h_y = koefisien perpindahan panas ($\text{W/m}^2 \text{ K}$)

Sehingga substitusi persamaan diatas untuk digunakan pada perhitungan laju pengeringan (R_c). Perhitungan dapat dilihat pada persamaan 5 (Mc Cabe, 1993).

$$R_c = \frac{h_y (T - T_i)}{\lambda_i} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

R_c = laju pengeringan (kg/jam m^2)

h_y = koefisien perpindahan kalor ($\text{W/m}^2 \text{ jam}$)

T = Temperatur bola kering ($^{\circ}\text{C}$)

T_i = Temperatur bola basah ($^{\circ}\text{C}$)

λ_i = panas laten penguapan

ρ_G = Densitas (kg/m^3)

V_{udara} = kecepatan (m/jam)

c. Sifat-Sifat Bahan Pangan

Berdasarkan susunan kimia dan struktur fisiknya, maka akan sulit membandingkan laju pengeringan dari berbagai jenis bahan. Namun, setiap bahan yang mempunyai sifat-sifat berbeda maka pengaruhnya terhadap proses pengeringan berbeda tergantung dari jenis bahan yang dikeringkan. Sifat-sifat bahan yang akan dikeringkan meliputi (Afrianti, 2013):

- sifat fisik dan kimia dari bahan yang akan dikeringkan,
- ukuran bahan yang dikeringkan,

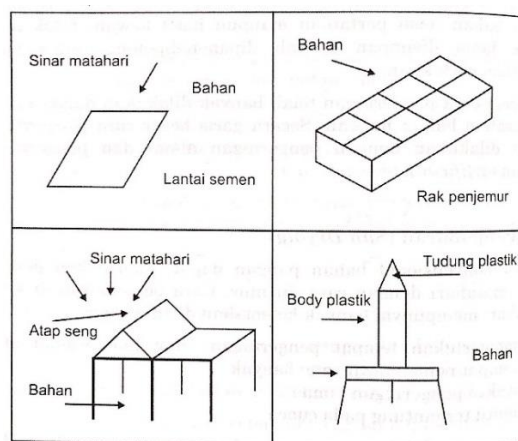
- bentuk bahan yang dikeringkan, dan
- komposisi kadar air bahan yang dikeringkan.

2.3.2. Metode Pengeringan

Berbagai cara pengeringan telah dilakukan dalam proses pengolahan bahan pangan. Secara garis besar, pengeringan dilakukan dengan dua cara, yaitu pengeringan alami dan pengeringan buatan (*artificial*).

a. Pengeringan Alami atau Penjemuran (*Sun Drying*)

Secara konvensional, bahan pangan dikeringkan dengan cara dijemur dibawah sinar matahari, dapat dilihat pada Gambar 2. Teknik pengeringan ini dilakukan langsung maupun tidak langsung (dikeringanginkan), dengan menempatkan bahan pada rak-rak. Meskipun biaya pengeringan tersebut relatif murah, tetapi kemampuan pengeringannya hanya dapat dicapai sampai kadar air kesetimbangan. Sistem pengeringan dengan penjemuran ini bergantung pada cuaca dan masalah sekitar lingkungan karena dilakukan di lapangan terbuka yang rentan kontaminasi debu, insekta, dan burung.



Sumber: Afrianti, 2013

Gambar 2. Berbagai Cara Pengeringan dengan Tenaga Sinar Matahari

b. Pengeringan Buatan (*Artificial Drying*)

Pengeringan buatan mempunyai kelebihan dibanding pengeringan alami, yaitu dapat mempercepat waktu pengeringan, mengurangi kehilangan dan didapatkan hasil bahan kering yang lebih baik. Namun, pengeringan buatan cenderung mahal karena menggunakan alat pengering untuk mengontrol

pengeringannya. Kelebihan dan kekurangan pengeringan buatan terhadap pengeringan alami dapat dilihat pada Tabel 4.

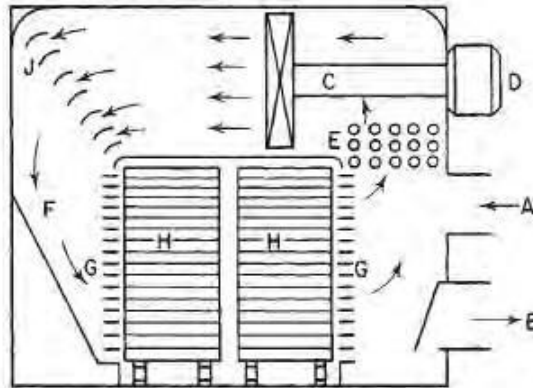
Tabel 4. Kelebihan dan Kekurangan Pengeringan Alami (Penjemuran) dan Pengeringan Buatan (Alat Pengering)

Parameter	Penjemuran	Alat Pengering
Cuaca	Tergantung	Tidak tergantung
Suhu	Tidak dapat diatur	Dapat diatur
Waktu	Lama	Lebih cepat (dapat diatur)
Sanitasi	Sulit diawasi (di alam terbuka)	Diawasi
Mutu Hasil Kering	Kurang baik	Mutu lebih baik karena waktu pengeringan yang lebih pendek, keadaan pengeringan sanitasi dapat dijaga sehingga terjadinya kerusakan selama pengeringan kecil sekali.
Warna dan Cita Rasa	Kurang baik	Warna tidak berubah seperti keadaan bahan awal
Biaya	Murah	Mahal

Sumber: Afrianti, 2013

- Pengering Rak (*Tray Dryer*)

Tray dryer merupakan jenis pengering berkapasitas kecil. Pengeringan ini mensirkulasikan udara melalui layer berlangsung sangat lambat. *Tray dryer* dari satu ruangan dimana terdapat rigen-rigen (rak-rak) di dalamnya. Prinsipnya adalah udara dihembuskan menggunakan blower melalui heater, kemudian udara terdistribusi menembus rigen-rigen yang berisi bahan-bahan yang dikeringkan. Pengeringan ini biasanya digunakan untuk mengeringkan sayuran dan buah-buahan dalam skala kecil yang bersifat musiman. Pengeringan tipe kabinet ini dapat dilihat pada Gambar 3.



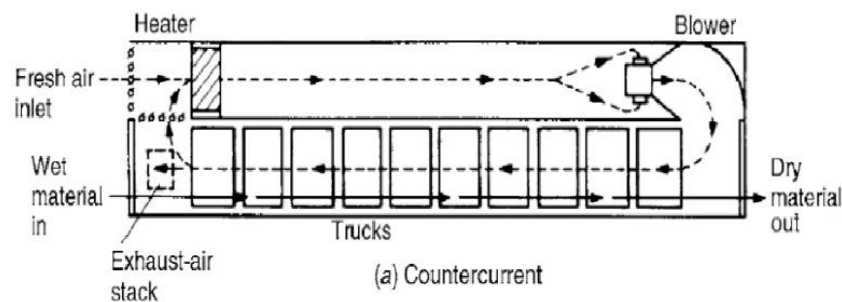
Sumber: Sajida, 2012

Gambar 3. Pengering Tray

Pengering baki (*tray dryer*) disebut juga pengering kabinet, digunakan untuk mengeringkan padatan bergumpal atau pasta pada rak logam dengan ketebalan 10 - 100 mm. Pengeringan ini meletakkan material yang akan dikeringkan pada baki yang langsung berhubungan dengan media pengering. Prinsip kerja pengering *tray dryer* yaitu dapat beroperasi dalam keadaan vakum dan dengan pemanasan tak langsung. Uap dari zat padat dikeluarkan dengan ejector atau pompa vakum. Pengeringan zat padat memerlukan waktu sangat lama dan siklus pengeringan panjang yaitu 4 - 8 jam per tray (Rahayu, 2018).

- Pengering Terowongan (*Tunnel Dryer*)

Bahan yang dikeringkan diletakkan pada *conveyor* yang bergerak dalam terowongan, kemudian dihembuskan aliran udara panas pada suhu yang dikendalikan. Aliran udara tersebut dapat mengalir secara co-current, countercurrent, atau kombinasi keduanya. Beberapa tipe pengering ini juga mengalirkan udara secara tegak lurus dengan arah aliran bahan yang akan dikeringkan. Udara panas masuk melalui conveyor, baik ke arah atas ataupun bawah. Pengering ini dilengkapi juga dengan kipas dan coil pemanas. Umumnya pengering ini digunakan untuk mengeringkan buah-buahan, biji-bijian, jagung, dan lain-lain. Pengeringan tipe *Tunnel* ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Sumber: Andari, 2013

Gambar 4. Pengering Terowongan

- Pengering Tipe Rotari (*Rotary Dryer*)

Dalam industri makanan, pengering ini digunakan untuk mengeringkan berbagai jenis produk makanan berpati, makanan bayi, maltodekstrin, suspensi dan pasta dengan viskositas tinggi (*heavy pastes*), dan dikenal sebagai metode pengeringan yang paling hemat energi untuk jenis produk tersebut (Sajida, 2012). Pengering rotari (*rotary dryer*) adalah pengering yang beroperasi berdasarkan putaran tabung silinder. Pengering rotary menggunakan udara pemanas dari udara sekitar yang dihisap oleh *blower* kemudian dipanaskan dengan *heater*. Prinsip dari pengering ini adalah pergerakan atau pengangkatan secara terus-menerus terhadap bahan yang dikeringkan oleh putaran silinder pengering. Tabung silinder akan terus berputar sehingga bahan di dalamnya ikut terbawa. Bahan basah masuk dari salah satu sisi pengering yang berlawanan arah dengan lewatnya udara panas (*countercurrent*) atau searah (*cocurrent*).

Rotary dryer secara umum terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu sebagai berikut (Santri, 2006).

1. *Blower*

Blower berfungsi menarik udara lingkungan untuk masuk ke ruang pemindah panas dan menghembuskannya melalui pipa udara panas menuju ruang pengering.

2. *Heater*

Heater berfungsi memberikan panas terhadap udara yang hendak masuk ke ruang pengeringan.

3. Ruang Pengering

Ruang pengering merupakan tempat terjadinya proses pengeringan bahan dengan menggunakan panas secara kontak langsung.

4. Cerobong

Cerobong digunakan untuk membuang udara atau uap hasil pengeringan sehingga tidak mengganggu proses pengeringan yang berlangsung.

5. Rangka

Rangka berfungsi sebagai tempat untuk menyangga bagian-bagian dari alat pengering.

Rotary dryer memiliki beberapa keuntungan dan kekurangan tersendiri. Adapun keunggulan dari rotary dryer, yaitu (Rahayu, 2018):

- a. Dapat mengeringkan lapisan luar maupun dalam dari suatu padatan
- b. Proses pencampuran yang baik, memastikan bahwa terjadinya proses pengeringan bahan yang seragam dan merata
- c. Operasi sinambung
- d. Instalasi yang mudah
- e. Menggunakan daya listrik yang sedikit

Sedangkan kekurangan yang dimiliki oleh rotary dryer, yaitu :

- a. Dapat menyebabkan reduksi ukuran karena erosi atau pemecahan
- b. Karakteristik produk yang inkonsisten
- c. Perawatan alat yang susah
- d. Tidak ada pemisahan debu yang jelas.

Rotary dryers diklasifikasikan sebagai *direct*, *direct-indirect*, *indirect* dan *special types*. Klasifikasi ini ditentukan berdasarkan metode perpindahan panasnya yaitu “*direct*” ketika panas ditambahkan atau dihilangkan dari padatan dengan pertukaran langsung antara gas dan padatan. Sedangkan “*indirect*” ketika media pengering dan material padatan tidak berkontak langsung dimana perpindahan panasnya melalui dinding logam atau *tube*. Klasifikasi *rotary dryers* berdasarkan metode perpindahan panasnya antara lain.

1. *Direct heat, counter current flow.* Rotary dryer dengan metode ini digunakan untuk material yang dapat dipanaskan sampai suhu tinggi seperti mineral, pasir, dan lain-lain.
2. *Direct heat, co-current flow.* Metode ini digunakan untuk material yang rentan terhadap suhu tinggi. Operasi pengeringan ini dapat mengontakkan gas secara langsung dengan material padatan tanpa khawatir terkontaminasi dan tidak perlu dipanaskan sampai suhu tinggi.
3. *Indirect heat, counter current flow.* Metode ini digunakan untuk material yang dapat dipanaskan sampai suhu tinggi namun tidak boleh berkontakkan langsung dengan gas pengering.

Rotary dryer dengan jenis direct-heat rotary dryer merupakan salah satu jenis pengering yang sering digunakan untuk operasi pengeringan pada material berbentuk butiran atau granular. Aliran udara yang digunakan biasanya aliran counter current atau co-current. Pada bagian dalam silinder pengering ini terdapat sirip-sirip/flights untuk mengangkat dan menaburkan material padatan melewati aliran gas selama berada di dalam silinder. Hal ini dilakukan untuk memperluas permukaan dan pengeringan terjadi secara menyeluruh.

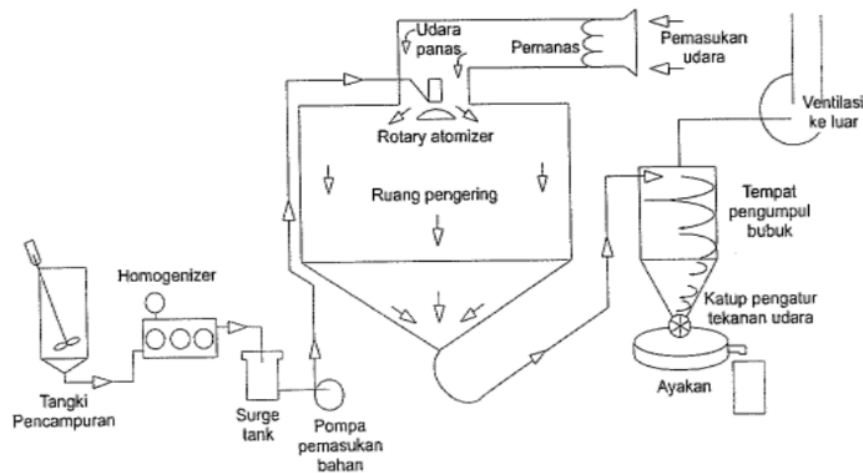
Bahan yang dikeringkan dimasukkan ke dalam silinder yang berputar yang telah dialiri udara panas. Biasanya digunakan untuk mengeringkan bahan tepung. Alat pengering tipe rotary dapat dilihat pada Gambar 5.



Sumber: dokumen pribadi

Gambar 5. Pengering Tipe Rotari

- Pengeringan Semprot (*Spray Dryer*)



Sumber: Septevani, 2012

Gambar 6. Pengering Semprot

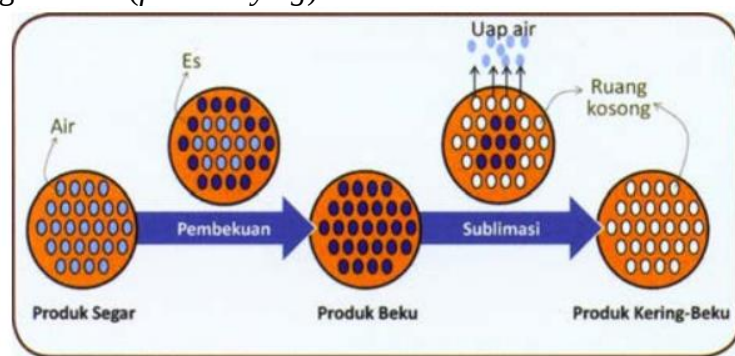
Metode pengeringan menggunakan spray dryer banyak digunakan untuk menghasilkan partikel halus berupa serbuk atau kristal dengan cara endispersikan larutan ke dalam udara panas dalam bentuk droplet atau tetesan kecil. Pemodelan pengeringan Semprot dapat dilihat pada Gambar 6. Droplet kemudian kontak dengan udara panas pada unit proses pencampuran gas-droplet. Udara panas menguapkan kandungan air dalam droplet sehingga dihasilkan droplet kering yang berbentuk partikel halus. Pengeringan semprot dapat menggabungkan fungsi evaporasi, kristalisator, pengering, unit penghalus dan unit klasifikasi. Penguapan dari permukaan tetesan menyebabkan terjadinya pengendapan zat terlarut pada permukaan. Spray drying ini, menggunakan atomisasi cairan untuk membentuk droplet, selanjutnya droplet yang terbentuk dikeringkan menggunakan udara kering dengan suhu dan tekanan yang tinggi. Dalam pengering semprot, bubur atau larutan didispersikan ke dalam arus gas panas dalam bentuk kabut atau tetesan halus (Rahayu, 2018).

Teknik pengeringan semprot memiliki beberapa keuntungan yaitu mudah dilakukan, tidak menggunakan tahapan yang banyak, alat yang relatif murah, waktu pengerjaan yang lebih singkat, kadar air yang rendah dan hasil yang diperoleh juga relatif lebih baik daripada hanya menggunakan alat pengeringan biasa. Pada penggunaan pengeringan semprot juga terdapat bahan-bahan yang sebaiknya

ditambahkan dan diperlukan dalam langkah pengeringan. Penggunaan bahan-bahan tersebut berfungsi sebagai pengikat, selain itu sebagai materi yang melapisi sel bakteri sehingga mencegah dari bersinggungannya langsung dengan ekstrimnya suhu lingkungan.

Penggunaan spray drying atau pengering semprot biasanya menggunakan suhu tinggi pada pengawetan kulturnya, sehingga perlu dititik beratkan dalam usaha mempertahankan kultur agar selalu tetap hidup. Penggunaan kering semprot sering digunakan suhu inlet dan suhu outlet yang tergantung pada zat atau bahan yang akan dikering semprot, selain itu penggunaan pola aliran udara, penggunaan kelembaban dan suhu, aliran cairan dan pembentukan butiran merupakan variabel-variabel proses utama dari pengeringan semprot (Seveline, 2017).

- Pengeringan Beku (*freeze drying*)



(Sumber: Hariyadi, 2013)

Gambar 7. Pengeringan Beku

Pengeringan dengan cara pembekuan yaitu membekukan bahan dan mengeluarkan air dari bahan dengan cara sublimasi. Proses ini dilakukan dalam keadaan vakum ($P < 4 \text{ mmHg}$) dan pada suhu -12°C . Dengan demikian, bahan pangan akan terhindar dari kerusakan kimiawi dan mikrobiologi sehingga cita rasanya akan tetap dan daya dehidrasi akan baik (Afrianti, 2013).

Freeze dryer merupakan suatu alat pengeringan yang termasuk ke dalam indirect dryer karena proses perpindahan terjadi secara tidak langsung yaitu antara bahan yang akan dikeringkan (bahan basah) dan media pemanas terdapat dinding pembatas sehingga air dalam bahan basah/lembab yang menguap tidak dibawa bersama media pemanas. Hal ini menunjukkan bahwa perpindahan panas terjadi

secara hantaran (konduksi), sehingga disebut juga *conduction dryer/ indirect dryer*. Prinsip kerja *freeze dryer* meliputi pembekuan larutan, menggranulasikan larutan yang beku tersebut, mengkondisikannya pada vakum dengan pemanasan pada kondisi sedang, sehingga mengakibatkan air dalam bahan pangan tersebut akan menyublim dan akan menghasilkan produk padat (Rahayu, 2018). Pengeringan Beku dapat dilihat pada Gambar 7

