

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Histifarina (2004) melakukan penelitian untuk mengkaji pengaruh suhu dan lama pengeringan terhadap karakteristik mutu sayuran wortel kering. Percobaan rancangan pada penelitian ini menggunakan metode pengacakan kelompok pada pola faktorial dan melakukan tiga kali pengulangan dengan dua faktor. Yaitu dengan menggunakan suhu 40, 50, dan 60°C dan menggunakan waktu 17, 22, 27, dan 32 jam selama proses pengeringan. Hasil dari penelitian dengan lama proses pengeringan 32 jam pada suhu 50°C ternyata menghasilkan wortel kering kualitas terbaik dengan nilai kadar air yang didapat (9,15% bb), kadar beta karoten (0,019%), persentase rehidrasi tinggi (520,44%), memiliki tekstur dan warna yang baik pada penilaian sensori.

Lidiasari (2006) melakukan Penelitian dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh suhu pengeringan terhadap sifat fisik dan kimia pada tepung tapai ubi kayu. Penelitian tersebut dilakukan di Laboratorium Kimia Hasil Pertanian Jurusan Teknologi Pertanian Universitas Sriwijaya Indralaya. Pada penelitian ini, menggunakan metode studi kasus. Melakukan 2 kali pengukuran dengan masing-masing sifat fisik dan kimia pada tepung tapai ubi kayu. Pada hasil penelitian, pada proses pengeringan suhu 70 dan 80 °C menghasilkan warna tepung tapai ubi kayu kuning kemerahan, dan pada suhu 70 °C warna tepung tapai ubi kayu terlihat lebih cerah dibandingkan pada suhu 80 °C. karena pada proses pengeringan suhu 70°C daya serap air, kadar abu, kadar pati, dan kadar protein tepung tapai ubi kayu lebih besar dari proses pengeringan pada suhu 80°C. Sedangkan pada suhu

80°C, kadar air dan kadar asam total tepung tapai ubi kayu lebih besar daripada proses pengeringan 70°C.

Fitriani (2008) melakukan penelitian dengan variasi suhu pengeringan yang berbeda (75, 80, 85 dan 90°C) dan waktu pengeringan (12, 13, 14 dan 15 jam) pada produksi belimbing wuluh manis kering. Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwa perbedaan suhu pengeringan dan waktu pengeringan secara signifikan mempengaruhi kadar air dan total padatan, namun tidak ada pengaruh senyawa ini terhadap kadar sukrosa. Kombinasi 90°C suhu pengeringan dan 14 jam waktu pengeringan menunjukkan kadar air terendah dan total padatan tertinggi yang memenuhi SNI.

Hartulistiyoso (2011) melakukan penelitian tentang pengeringan lidah buaya. Lidah buaya (*Aloe vera*) merupakan tanaman yang mempunyai banyak manfaat baik sebagai bahan pangan, obat-obatan dan kosmetika. Karena lidah buaya cukup tinggi kadar airnya, oleh karena itu harus segera diproses setelah dipanen. Proses yang dilakukan adalah pengeringan dengan menggunakan microwave. Proses pengeringan 50 gr gel dan kulit lidah buaya menggunakan microwave untuk mencapai nilai kadar air akhir pada 7 % bb yaitu dengan menggunakan power 80 watt dan waktu 140 menit. Proses pengeringan pada menit-menit awal hingga menit ke-50 terjadi penurunan masa bahan selama, hal ini terjadi karena dipermukaan lidah buaya masih banyak mengandung air bebas. Selanjutnya proses pengeringan yang terjadi mulai melambat dari menit ke-50 hingga menit ke-140. Pada suhu 57,6°C untuk pengeringan gel dan 70,7°C untuk pengeringan kulit lidah buaya merupakan suhu tertinggi selama proses pengeringan. Proses pengeringan tepung lidah buaya dengan menggunakan microwave menghasilkan visual yang baik dan kandungan mikroba berada dalam kisaran standar setelah dilakukan pengujian mutu dari tepung maupun teh lidah buaya. Sedangkan setelah dilakukan kadar keasaman masih menunjukkan hasil mutu rendah. Kesimpulan dari penelitian ini adalah proses pemanasan dengan gelombang mikro mempunyai pengaruh secara kimiawi sehingga dapat mempengaruhi kadar

keasaman dan diharapkan pada kisaran suhu tersebut tidak terjadi kerusakan kandungan gizi lidah buaya.

Othman (2012) melakukan penelitian Sistem pengering suria untuk pengeringan hasil pertanian dan laut telah direka bentuk, dibina dan diuji dalam suasana cuaca di Malaysia. Sistem pengeringan suria yang dibina, diuji untuk mengeringkan rumpai laut *Gracilaria changii*. Rumpai laut yang dikeringkan mempunyai kandungan air sekitar 95% asas berat basah untuk menghasilkan produk kering yang mempunyai kandungan air 10%. Proses pengeringannya mengambil masa selama kira-kira 7 jam, pada purata keamatan sinaran suria 593 W/m² dan kadar aliran udara pengering 0.0613 kg/s. Pemadanan tiga model pengeringan telah dilakukan dengan data uji kaji pengeringan rumpai laut menggunakan sistem pengering suria pada suhu udara purata dalam kebuk 50°C dan purata kelembapan relatif udara 20%. Kejituan padanan model ditentukan berdasarkan nilai R² yang paling tinggi, juga nilai MBE dan RMSE yang paling rendah. Kajian ini mendapati model pengeringan rumpai laut yang sesuai adalah model pengeringan Page dibandingkan dengan model pengeringan yang lain.

Taib (2013) melakukan penelitian tentang pengeringan nangka dengan menggunakan vakum gelombang mikro dan perolakan udara panas telah dijalankan untuk mengkaji kesan cara rawatan pengeringan tersebut terhadap ciri-ciri pengeringan, keupayaan terhidrasi dan kualitinya. Dalam pengeringan vakum gelombang mikro, nangka telah dikeringkan oleh gelombang mikro dengan daya 58, 140, 220 dan 321 W masing-masing bergabung dengan tahap vakum -65 cmHg. Pengeringan ini dilakukan dengan menggunakan suhu 60, 70 dan 80 °C. Pengeringan vakum gelombang mikro dengan kuasa 321W didapati 133 kali lebih cepat berbanding dengan pengeringan perolakan udara panas dengan suhu 60 °C. Semua data pengeringan telah dibandingkan dengan persamaan model Newton dan Page, data-data tersebut adalah sesuai dijelaskan dengan persamaan model Page dengan R² > 0.994. Selain itu, pengeringan vakum gelombang mikro

menghasilkan kualitas nangka kering yang lebih bagus, yaitu lebih tinggi kemampuan terhidrasi dan sifat-sifat deria.

Winangsih (2013) melakukan penelitian tentang pengeringan lempuyang wangi. Pengeringan dilakukan supaya senyawa pada simplisia tetap stabil. Simplisia yang ada pada tanaman lempuyang wangi sudah dikenal sejak lama sebagai bahan untuk ramuan obat diare, disentri penyakit kulit dan antimikroba. Penelitian ini dilakukan di Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Tanaman dan Obat (*B2P2TO2T*). Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah agar mengetahui pengaruh dari metode proses pengeringan terhadap biomassa, kadar air, rendemen dari minyak atsiri dan nilai kesukan terhadap simplisia pada tanaman lempuyang wangi. Cara yang digunakan pada proses pengeringan ini adalah menggunakan oven dengan suhu 50°C, di jemur pada sinar matahari langsung atau dianginkan. Dari hasil proses pengeringan tersebut dapat disimpulkan bahwa pengeringan dengan oven suhu 50°C mendapatkan hasil paling baik dengan nilai kadar air paling sedikit yaitu 8.4% dibandingkan dengan rendemen minyak atsiri yaitu 0.87 % namun hasil biomasa yang didapat paling sedikit yaitu 239,36 g.

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Limbah Kelapa Sawit

Tanaman Kelapa Sawit (*elaeis*) adalah salah satu tanaman perkebunan penghasil minyak makanan, minyak industri, maupun bahan bakar nabati (biodiesel). Salah satu hasil dari pengolahan industri minyak Kelapa Sawit terdapat limbah padat yang berupa cangkang, serat (fibre) dan tandan kosong kelapa sawit. Limbah padat kelapa sawit yang dihasilkan cukup besar dalam pengolahan minyak kelapa sawit yaitu mencapai 60% dari produksi minyak. Pemanfaatan limbah padat dari pengolahan kelapa sawit dilakukan berdasarkan nilai energi panas (*calorific value*).

2.1.2 Pengerinan

Pengerinan secara alami dilakukan dengan menjemur di bawah panas sinar matahari atau mengangin-anginkan pada suhu ruang. Kandungan air dalam limbah kelapa sawit secara perlahan akan menguap menyesuaikan dengan kondisi lingkungan. Terkadang pengerinan alami ini membutuhkan waktu yang lebih lama, tergantung pada kondisi cuaca. Sedangkan pengerinan dengan menggunakan alat pengering, membutuhkan ruangan khusus yang suhu (panas) ruangnya dapat diatur sesuai dengan kebutuhan kecepatan pengerinan limbah kelapa sawit. Proses penguapan air atau pengerinan ini tentu harus dikontrol dengan baik karena akan sangat mempengaruhi kondisi fisik limbah kelapa sawit. Pengerinan harus dilakukan untuk mencapai kadar air yang seimbang, yaitu kadar air dimana limbah kelapa sawit tidak akan mengeluarkan atau menyerap air dari lingkungan sekitarnya. Kadar air yang diinginkan tentunya disesuaikan dengan tujuan pemakaian limbah kelapa sawit nantinya, apakah dalam kondisi lingkungan dengan kelembaban lingkungan tinggi atau rendah, dalam lingkungan yang langsung berhubungan dengan cuaca atau tidak.

Pengerinan didefinisikan sebagai proses pengambilan air yang relatif kecil dari suatu zat padat atau dari campuran gas. Pengerinan meliputi proses perpindahan panas, massa dan momentum. Operasi pengerinan terjadi oleh adanya panas yang terjadi secara fisik yaitu operasi penguapan. Dalam arti umum operasi pengerinan tidak hanya berarti pengambilan sejumlah kecil air saja melainkan berlaku juga untuk cairan-cairan selain air yang menghasilkan bahan padat yang kering. Bahan yang akan dikeringkan dikontakkan dengan panas dari udara (gas) sehingga panas akan dipindahkan dari udara panas ke bahan basah tersebut, dimana panas ini akan menyebabkan air menguap ke dalam udara. Dalam pengerinan ini, dapat mendapatkan produk dengan satu atau lebih tujuan produk yang diinginkan, misalnya diinginkan bentuk fisiknya (bubuk, pipih, atau butiran), diinginkan warna, rasa dan strukturnya,

mereduksi volume, serta memproduksi produk baru. Adapun dasar dari tipe pengering yaitu panas yang masuk dengan cara konveksi, konduksi, radiasi, pemanas elektrik, atau kombinasi antara tipe cara-cara tersebut. (Mujumdar,2004).

Pengeringan merupakan metode pengawetan dengan cara pengurangan kadar air dari bahan pangan sehingga daya simpan menjadi lebih panjang. Perpanjangan masa simpan terjadi karena aktivitas mikroorganisme dan enzim menurun sebagai akibat dari air yang dibutuhkan untuk aktivitasnya tidak cukup (Estiasih, dkk., 2009). Pengeringan juga dapat didefinisikan sebagai suatu operasi di mana terjadi penghantaran panas dan pemindahan massa. Panas dipindahkan ke air dalam produk dan air diuapkan. Kemudian uap air dikeluarkan (Desrosier, 1998).

Tujuan pengeringan adalah mengurangi kadar air pada level tertentu untuk menghambat pertumbuhan mikroba dan serangga serta mengurangi volume bahan pangan sehingga mengefisienkan proses penyimpanan dan distribusi. Kombinasi suhu dan lama pemanasan selama proses pengeringan pada komoditi biji-bijian dilakukan untuk menghindari terjadinya kerusakan biji. Suhu udara, kelembaban relatif udara, aliran udara, kadar air awal bahan dan kadar akhir bahan merupakan faktor yang mempengaruhi waktu atau lama pengeringan (Brooker dan Donald, 1974).

Secara umum, pengering dapat dibedakan menjadi dua kelompok yaitu (Desrosier, 1998) :

a. Pengering adiabatik

Pengering adiabatik adalah pengering di mana panas dibawa ke dalam pengering oleh suatu gas yang panas. Gas memberikan panas kepada air dalam bahan pangan dan membawa keluar uap air yang dihasilkan. Gas panas dapat merupakan hasil pembakaran atau pemanasan udara.

b. Pengeringan Isotermik

Pengeringan isotermik adalah pengeringan yang didasarkan atas adanya kontak langsung antara bahan pangan dengan lembaran (plat) logam yang panas. Dalam hal ini ada juga yang menggunakan pompa vakum untuk mengeluarkan uap air bahan. Alat-alat pengeringan yang termasuk dalam kelompok ini antara lain *drum dryer*, *vaccum shelf dryer* dan *continuous vaccum dryer* (Susanto dan Budi, 1994).

Operasi pengeringan terdiri dari peristiwa perpindahan massa dan panas yang terjadi secara simultan, laju alir yang diupkan tergantung pada laju perpindahan massa dan perpindahan panasnya. Sebelum memulai proses pengeringan, harus diketahui terlebih dahulu data keseimbangan bahan yang akan digunakan.

Mekanisme pengeringan dapat diterangkan dengan teori perpindahan massa. Dimana peristiwa lepasnya molekul air dari permukaan tergantung dari bentuk dan luas permukaan. Bila suatu bahan sangat basah atau lapisan air yang menyelimuti bahan tersebut tebal, maka permukaan bahan berbentuk datar. Bila udara pengering dialirkan di antara bahan tersebut maka akan menarik molekul-molekul air dari permukaan butir tidak rata yang akan memperluas permukaannya sehingga dalam pengeringan ada 2 macam mekanisme, yaitu :

1. Mekanisme penguapan dengan kecepatan tetap (*constant rate period*)
2. Mekanisme penguapan dengan kecepatan berubah (*falling rate period*)

Pada *constant rate period*, umumnya selama pengeringan berlangsung, bahan akan selalu basah dengan cairan sampai titik kritis. Titik kritis yaitu suatu titik dimana permukaan bahan sudah tidak sempurna basah oleh cairan.

Setelah titik kritis tercapai, mulailah dengan periode penurunan kecepatan sampai cairan habis teruapkan. Pada proses ini hubungan antar moisture content dengan drying rate dapat berupa garis lurus atau garis lengkung yang patah. Kecepatan penguapan pada periode tidak tetap tergantung pada zat padatnya, juga cairannya. Pada permukaan zat padat, makin kasar pengeringannya akan semakin cepat jika dibandingkan dengan permukaan yang lebih halus.

Pada prinsipnya, perancangan proses pengeringan menjadi lebih tepat dan untuk menentukan ukuran peralatan, maka perlu mengetahui lebih dulu waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan suatu bahan dari kandungan air tertentu sampai kandungan air yang diinginkan pada kondisi tertentu. Untuk maksud tersebut dibutuhkan data pengeringan yang bisa diperoleh dengan cara percobaan, yaitu:

- a. *Drying Test* (Pengujian Pengeringan) Hubungan antara moisture content suatu bahan dengan waktu pengeringan pada temperature, *humidity*, dan kecepatan pengeringan tetap. Pada percobaan berat dari sampel diukur sebagai fungsi dari waktu.
- b. Kurva laju Pengeringan Yaitu kurva yang menunjukkan hubungan antara laju pengeringan terhadap kandungan air suatu bahan. Laju pengeringan dinyatakan sebagai lb air yang diuapkan tiap jam. Laju Pengeringan didefinisikan sebagai berikut:

$$N = \frac{-Ms}{A} \cdot \frac{dx}{dt}$$

Dalam hubungan ini,

t : Waktu pengeringan, jam

N : Laju pengeringan kritis, kg air yang teruapkan/jam m²

x : Kandungan air padatan basis kering, kg air/kg bahan kering

A : Luas permukaan pengeringan, m²

Ms : Berat bahan kering, kg

Jika mula-mula bahan sangat basah maka permukaan bahan akan tertutup film tipis dari cairan. Cairan yang menutupi bahan ini bias dianggap sebagai air yang terikat. Apabila bahan tersebut dikontakkan dengan udara yang relative kering maka akan terjadi penguapan air yang ada pada permukaan bahan. (Foust dkk, 1960).

Proses pengeringan diperoleh dengan cara penguapan air yaitu dengan menurunkan kelembaban (RH) udara dengan mengalirkan udara panas disekeliling bahan, sehingga tekanan uap air bahan akan lebih besar daripada tekanan uap air di udara. Perbedaan tekanan inilah yang menyebabkan terjadinya aliran uap air dari bahan ke udara. Kecepatan pengeringan maksimum dipengaruhi oleh percepatan pindah panas dan pindah massa selama proses pengeringan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan pindah panas dan massa tersebut adalah sebagai berikut (Estiasih, dkk., 2009):

1. Luas permukaan

Pada pengeringan umumnya, bahan pangan yang akan dikeringkan mengalami pengecilan ukuran, baik dengan cara diiris, dipotong, atau digiling. Proses pengecilan ukuran akan mempercepat proses pengeringan. Hal ini disebabkan pengecilan ukuran akan memperluas permukaan bahan, air lebih mudah berdifusi, dan menyebabkan penurunan jarak yang harus ditempuh oleh panas.

2. Suhu

Semakin besar perbedaan suhu antara medium pemanas dengan bahan pangan semakin cepat pindah panas ke bahan pangan dan semakin cepat pula penguapan air dari bahan pangan. Apabila udara merupakan medium pemanas, maka faktor kecepatan pergerakan udara harus diperhatikan. Pada proses pengeringan, air dikeluarkan dari bahan pangan dapat berupa uap air. Uap air tersebut harus segera dikeluarkan dari atmosfer di sekitar bahan pangan yang dikeringkan. Jika tidak segera keluar, udara di sekitar

bahan pangan akan menjadi jenuh oleh uap air sehingga memperlambat penguapan air dari bahan pangan yang memperlambat proses pengeringan.

3. Kecepatan pergerakan udara

Semakin cepat pergerakan atau sirkulasi udara maka proses pengeringan akan semakin cepat. Prinsip ini menyebabkan beberapa proses pengeringan menggunakan sirkulasi udara atau udara yang bergerak seperti pengering kabinet, *tunnel dryer*, pengering semprot, dan lain-lain.

4. Kelembaban udara (RH)

Semakin kering udara (kelembaban semakin rendah) maka kecepatan pengeringan semakin tinggi. Kelembaban udara akan menentukan kadar air akhir bahan pangan setelah dikeringkan. Proses penyerapan akan terhenti sampai kesetimbangan kelembaban nisbi bahan pangan tercapai. Kesetimbangan nisbi bahan pangan adalah kelembaban pada suhu tertentu di mana tidak terjadi penguapan air dari bahan pangan ke udara dan tidak terjadi penyerapan uap air dari udara oleh bahan pangan.

5. Tekanan atmosfer

Pengeringan pada kondisi vakum menyebabkan pengeringan lebih cepat atau suhu yang digunakan untuk suhu pengeringan dapat lebih rendah. Suhu rendah dan kecepatan pengeringan yang tinggi diperlukan untuk mengeringkan bahan pangan yang peka terhadap panas.

6. Lama pengeringan

Pengeringan dengan suhu tinggi dalam waktu yang pendek dapat lebih menekan kerusakan bahan pangan dibandingkan waktu pengeringan yang lebih lama dan suhu lebih pendek.

7. Penguapan air

Penguapan atau evaporasi merupakan penghilangan air dari bahan pangan yang dikeringkan sampai diperoleh produk kering yang stabil. Penguapan yang terjadi selama proses pengeringan tidak menghilangkan semua air yang terdapat dalam bahan pangan.

Struktur bahan secara umum dapat didasarkan pada kadar air yang biasanya ditunjukkan dalam persentase kadar air basis basah atau basis kering. Kadar air basis basah (M_{wb}) banyak digunakan dalam penentuan harga pasar sedangkan kadar air basis kering (M_{db}) digunakan dalam bidang teknik (Brooker dan Donald,1974). Persamaan dalam penentuan kadar air adalah sebagai berikut :

$$M_{db} = \frac{W_w - W_d}{W_d} \dots\dots\dots (1)$$

$$M_{wb} = \frac{W_w - W_d}{W_w} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana W_w adalah berat sampel sebelum diolah, dan W_d adalah berat sampel setelah di oven.

Metode penentuan kadar air dapat dilakukan dengan dua cara yaitu metode langsung dan metode tidak langsung. Metode langsung menerapkan metode oven dan metode destilasi. Pada metode oven, sampel bahan diletakkan ke dalam oven hingga diperoleh berat konstan pada bahan. Penentuan kadar air pada metode oven didasarkan pada banyaknya air yang hilang dari produk. Adapun pada metode destilasi, kadar air dihilangkan dengan memanaskan biji ke dalam air dan selanjutnya menentukan volume atau massa air yang hilang pada biji dalam uap yang terkondensasi atau dengan pengurangan berat sampel (Brooker dan Donald,1974).

Perhitungan laju pengeringan membutuhkan data hasil pengukuran kadar air awal, kadar air akhir, dan selang waktu diantaranya. Berdasarkan data-data tersebut, laju pengeringan pada setiap periode waktu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Yadollahinia, dkk., 2008).:

$$DR = \frac{w_t - w_{t+1}}{w_a} \times \frac{1}{t_2 - t_1} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana w_t merupakan berat awal bahan, w_{t+1} merupakan berat bahan pada waktu (t, jam) dan w_a merupakan berat bahan saat konstan serta t_1 dan t_2 merupakan

perubahan waktu setiap jam. Laju penguapan air adalah banyaknya air yang diuapkan setiap satuan waktu atau penurunan kadar air bahan dalam satuan waktu (Yadollahinia, dkk., 2008).

Kurva laju pengeringan diperoleh dari data kadar air yang diperoleh dengan mengeluarkan uap air bahan ke udara panas. Bahan biasanya dikeringkan dalam pengering kabinet. Udara panas dengan suhu, kelembaban, kecepatan, aliran udara konstan melewati permukaan pengeringan untuk mengeringkan bahan. Massa sampel diukur berdasarkan fungsi waktu (Yadollahinia, dkk., 2008).

Dalam suatu proses pengeringan, dikenal adanya suatu laju pengeringan yang dibedakan menjadi dua tahap utama, yaitu laju pengeringan konstan dan laju pengeringan menurun. Laju pengeringan konstan terjadi pada lapisan air bebas yang terdapat pada permukaan bahan. Laju pengeringan ini terjadi sangat singkat selama proses pengeringan berlangsung, kecepatan penguapan air pada tahap ini dapat disamakan dengan kecepatan penguapan air bebas, sedangkan laju pengeringan menurun terjadi setelah periode pengeringan konstan selesai. Pada tahap ini kecepatan aliran air bebas dari dalam bahan ke permukaan lebih kecil dari kecepatan pengambilan uap air maksimum (Nurba, 2010). Periode laju pengeringan menurun meliputi 2 proses yaitu perpindahan air dari dalam bahan ke permukaan dan perpindahan uap air dari permukaan ke udara sekitar (Henderson, 1976).

Sama halnya dengan laju kadar air, rasio kelembaban juga mengalami penurunan selama proses pengeringan. Kenaikan suhu udara pengeringan mengurangi waktu yang diperlukan untuk mencapai setiap tingkat rasio kelembaban sejak proses transfer panas dalam ruang pengeringan meningkat. Sedangkan, pada suhu tinggi, perpindahan panas dan massa juga meningkat dan kadar air bahan akan semakin berkurang (Garavand, dkk., 2011).

Karakteristik pengeringan dapat diinvestigasi dengan menggunakan model pengeringan yang efektif. Dalam hal ini, nilai *Moisture Ratio* (MR) memiliki

peranan penting. Nilai MR secara eksperimental selama perlakuan pengeringan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Garavand, dkk., 2011):

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana MR merupakan *moisture ratio* (rasio kelembaban), M_t merupakan kadar air pada saat t (waktu selama pengeringan, menit), M_o merupakan kadar air awal bahan, dan M_e merupakan kadar air yang diperoleh setelah berat bahan konstan (Garavand, dkk., 2011).

Nilai MR (*Moisture Ratio*) juga dapat diprediksi dengan menggunakan model matematis yang bersifat empiris. Terdapat beberapa model empiris yang digunakan dalam pengeringan lapis tipis seperti terlihat pada Tabel 1 (Garavand, dkk., 2011).

Tabel 1. Model Empiris Pengeringan Lapis Tipis

No	Model	Persamaan Model
1	Newton	$MR_{pre} = \exp(-kt)$
2	Henderson-Pabis	$MR_{pre} = a \exp(-kt)$
3	Page	$MR_{pre} = \exp(-kt^n)$
4	Logarithmic	$MR_{pre} = a \exp(-kt) + c$
5	Wang and Singh	$MR_{pre} = 1 + at + bt^2$
6	Two-terms	$MR_{pre} = a \exp(-k_1t) + b \exp(-k_2t)$
7	Diffusion approach	$MR_{pre} = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-kbt)$
8	Verma et al.	$MR_{pre} = a \exp(-k_1t) + (1-a)\exp(-k_2t)$
9	Modified Page	$MR_{pre} = \exp(-kt)^n$

Pada dasarnya, kesesuaian antara hasil eksperimental dengan model empiris pengeringan lapisan tipis dapat dievaluasi dengan menggunakan tiga

parameter statistik, yaitu Koefisien korelasi (R^2), *Chi-Square* (x^2), dan *Root Mean Square Error* (RMSE).

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N-n} \dots\dots\dots (5)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i}) \right]^{1/2} \dots\dots\dots (6)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{i,exp} - MR_{i,exp\ mean})^2 - \sum_{i=1}^N (MR_{i,pre} - MR_{i,exp})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{i,exp} - MR_{i,exp\ mean})^2} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana N = jumlah data, n = suku ke-n, $MR_{exp,i}$ = rasio penguapan eksponensial, dan $MR_{pre,i}$ = rasio penguapan prediksi. Model yang memiliki nilai R^2 terbesar dan *Chi-Square* (x^2), dan *Root Mean Square Error* (RMSE) terkecil menunjukkan model empiris yang paling sesuai untuk menggambarkan karakteristik pengeringan lapisan tipis suatu komoditi pertanian (Yadollahinia, dkk., 2008).

2.1.3 Biomassa

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja dan kotoran ternak. Selain digunakan untuk tujuan primer serat, bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar). Umum yang digunakan sebagai bahan bakar adalah biomassa yang nilai ekonomisnya rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya. Sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan antara lain merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkesinambungan (*sustainable*).

Definisi biomassa menurut UNFCCC adalah bahan organik non-fosil dan dapat diuraikan kembali (*biodegradable*) yang berasal dari tumbuhan, hewan dan mikroorganisme. Termasuk juga produk utama, produk sampingan, residu dan limbah dari pertanian, kehutanan dan industri terkait, dan sampah kota. Biomassa juga mencakup gas dan cairan yang ditemukan dari dekomposisi bahan organik nonfosil dan bersifat biodegradable. Sebagai sumber energi terbarukan, biomassa terus diproduksi oleh interaksi CO₂, udara, air, tanah, dan sinar matahari dengan tanaman dan hewan. Biomassa juga disebut sebagai green-house gas neutral atau GHG Neutral. Dalam sektor energi, biomassa merujuk pada bahan biologis yang hidup atau baru mati yang dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar,

Biomassa dari limbah adalah termasuk biomassa sekunder dikarenakan berasal dari biomassa primer seperti pohon, sayuran, dan daging. Sampah Perkotaan (MSW) merupakan sumber penting biomassa limbah, dan sebagian besar berasal dari sumber yang bersifat terbarukan seperti sisa makanan, daun, dan kertas. Komponen MSW yang tidak terbarukan seperti plastik, kaca, dan logam tidak dianggap sebagai biomassa. Bagian yang mudah terbakar MSW kadang-kadang terpisah dan dijual sebagai bahan bakar pengganti (*Resused Derived Fuel/RDF*).

Sebagian besar kandungan dalam biomassa adalah lignoselulosa. Lignoselulosa adalah bagian dari tanaman selain pati dan berserat yang terdiri atas selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Tidak seperti karbohidrat atau pati, lignoselulosa tidak mudah dicerna manusia. Biomassa lignoselulosa bukan bagian dari rantai makanan manusia, dan karena itu penggunaannya untuk biogas atau bio-oil. Tumbuhan dibagi dalam kategori 1. *herbaceous* (contoh: padi) dan 2. *nonherbaceous* (contoh: pohon Jati).

- a) *Selulosa* adalah senyawa organik yang paling umum di Bumi, merupakan komponen utama dalam struktur dinding sel biomassa.

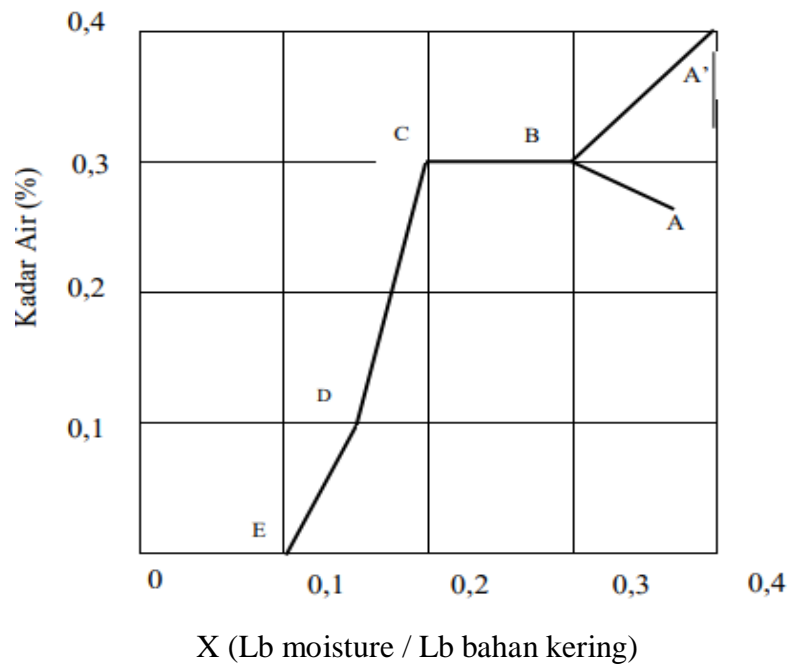
Jumlahnya bervariasi dari 90% (berat) pada kapas dan s/d 33% untuk kebanyakan tanaman lainnya. Hemiselulosa adalah unsur lain dari dinding sel tanaman. Jika selulosa memiliki struktur kristal dan kuat yang tahan terhadap hidrolisis, hemiselulosa memiliki struktur acak dengan kekuatan rendah. Hemiselulosa dapat dengan mudah dihidrolisis oleh asam encer atau basa dan juga oleh enzim hemiselulosa.

- b) *Hemiselulosa* adalah bio-degradable dan terdegradasi melalui aksi sinergis dari beberapa enzim dari beberapa bakteri dan jamur. Hemiselulosa memiliki berat molekul lebih rendah dibandingkan dengan selulosa.
- c) *Lignin* adalah komponen penyusun utama dari dinding sel tumbuhan dan beberapa algae. Lignin juga masih berikatan erat dengan selulosa dan hemiselulosa. Komponen ini merupakan komponen rantai atau cabang panjang yang terbentuk di dalam dinding sel. Keberadaan lignin sangat melimpah di alam yang mana merupakan komponen polimer organik kedua terbanyak di bumi setelah selulosa. Struktur dari lignin adalah kompleks, tidak teratur, acak, dan penyusun utamanya dari senyawa aromatic, yang mana menambah elastisitas matrik selulosa dan hemiselulosa. Akibat dari kekompleksan inilah lignin merupakan komponen lino selulosa yang sulit untuk dipecah. Hal ini dikarenakan struktur kristal pada lignin lebih tinggi daripada selulosa dan hemiselulosa.

2.1.4 Mekanisme Perpindahan Pada Pengeringan

Peristiwa pengeringan dengan menggunakan panas (*thermal drying*) merupakan system pengeringan yang sering digunakan oleh beberapa peneliti pada beberapa jenis pengering. Pada pengeringan ini terjadi proses-proses perpindahan atau massa dan panas secara simultan yaitu:

1. Perpindahan energi antar fasa dari udara ke permukaan butiran untuk menguapkan air dari permukaan butiran.
2. Perpindahan energi dari permukaan butiran ke dalam butiran secara konduksi.
3. Perpindahan massa air dari bagian dalam ke permukaan butiran secara difusi atau kapiler.
4. Perpindahan massa air antar fasa dari permukaan butiran ke fasa udara pngering. Dalam beberapa model diasumsikan bahwa penguapan air hanya terjadi dipermukaan butiran saja, sedangkan didalam butiran hanya difusi atau aliran kapiler saja yang terjadi.



Gambar 2. 1 Hubungan Laju Pengeringan terhadap moisture content

2.1.5 Oven

Oven adalah alat untuk memanaskan, memanggang, dan mengeringkan. Oven dapat digunakan sebagai pengering apabila dengan kombinasi pemanas dengan humidity rendah dan sirkulasi udara yang cukup. Pengeringan menggunakan oven lebih cepat dibandingkan dengan pengeringan menggunakan panas matahari. Akan tetapi, kecepatan pengeringan tergantung dari tebal bahan yang dikeringkan. Penggunaan oven biasanya digunakan untuk skala kecil. Oven yang paling umum digunakan yaitu elektrik oven yang dioperasikan pada tekanan atmosfer. Oven yang kita gunakan adalah elektrik oven yaitu oven yang terdiri dari beberapa tray didalamnya, serta memiliki sirkulasi udara didalamnya. Kelebihan dari oven adalah dapat dipertahankan dan diatur suhunya. Suhu yang digunakan untuk pengeringan waluh antara 70 - 120°C, sehingga kandungan bahan yang dikeringkan tidak tergedradasi karena suhu yang naik turun. Apabila oven tidak memiliki fan dan sirkulasi didalamnya maka pintu oven harus dibuka sedikit agar ada sirkulasi udara didalam oven, sehingga karamelisasi tidak terjadi. Bahan yang akan dikeringkan diletakkan pada tray-traynya, bila oven yang digunakan memiliki sirkulasi, pintu oven harus ditutup agar suhu didalam tetap terjaga. Pengeringan dengan oven menggunakan udara panas. (Harrison,2000)

2.1.6 Microwave

Microwave adalah sebuah peralatan dapur yang menggunakan radiasi gelombang mikro untuk memasak atau memanaskan makanan. Microwave bekerja dengan melewati radiasi gelombang mikro pada molekul air, lemak, maupun gula yang sering terdapat pada bahan makanan. Molekul-molekul ini akan menyerap energi elektromagnetik tersebut. Proses penyerapan energi ini disebut sebagai pemanasan dielektrik (*dielectric heating*). Molekul-molekul pada makanan bersifat elektrik dipol (*electric dipoles*), artinya molekul tersebut

memiliki muatan negatif pada satu sisi dan muatan positif pada sisi yang lain. Akibatnya, dengan kehadiran medan elektrik yang berubah-ubah yang diinduksikan melalui gelombang mikro pada masing-masing sisi akan berputar untuk saling mensejajarkan diri satu sama lain. Pergerakan molekul ini akan menciptakan panas seiring dengan timbulnya gesekan antara molekul yang satu dengan molekul lainnya. Energi panas yang dihasilkan oleh peristiwa inilah yang berfungsi sebagai agen pemanasan bahan makanan di dalam dapur microwave.

Dalam microwave terdapat sebuah tabung vakum elektronik yang disebut magnetron yang menghasilkan pancaran gelombang radio yang sangat pendek (microwave). Gelombang tersebut dipancarkan ke sebuah kincir yang terbuat dari logam yang disebut "*stirrer*" atau pengaduk. Stirrer ini berputar selama magnetron memancarkan gelombang radio sehingga gelombang radio tersebut terpancarkan dan terdistribusi secara merata ke dalam ruang masak dari microwave. Dalam ruang masak, gelombang microwave yang sudah didistribusikan akan mengubah arah molekul-molekul bahan makanan (terutama air). Perubahan tersebut terjadi dengan sangat cepat yaitu sekitar 2450 megahertz atau 2,45 milyar siklus perdetik. Perubahan sedemikian cepat menimbulkan panas yang akhirnya memasak makanan tersebut. Microwave memasak makanan dengan cepat karena panas langsung ditimbulkan di dalam makanan itu sendiri, berbeda dengan oven konvensional yang cuma memanaskan dinding tempat makanan dan udara di sekitarnya.

Berikut adalah cara kerja dari sebuah microwave dalam memanaskan sebuah objek:

1. Arus listrik bolak-balik dengan beda potensial rendah dan arus searah dengan beda potensial tinggi diubah dalam bentuk arus searah.
2. Magnetron menggunakan arus ini untuk menghasilkan gelombang mikro dengan frekuensi 2,45 GHz.

3. Gelombang mikro diarahkan oleh sebuah antenna pada bagian atas magnetron ke dalam sebuah *waveguide*.
4. Waveguide meneruskan gelombang mikro ke sebuah alat yang menyerupai kipas, disebut dengan stirrer. Stirrer menyebarkan gelombang mikro di dalam ruang microwave.
5. Gelombang mikro ini kemudian dipantulkan oleh dinding dalam microwave dan diserap oleh molekul –molekul makanan.
6. Karena setiap gelombang mempunyai sebuah komponen positif dan negatif, molekul-molekul makanan didesak kedepan dan kebelakang selama 2 kali kecepatan frekuensi gelombang mikro, yaitu 4,9 juta kali dalam setiap detik.

Gelombang mikro merupakan hasil radiasi yang dapat ditransmisikan, dipantulkan atau diserap tergantung dari bahan yang berinteraksi dengannya. Microwave memanfaatkan 3 sifat dari gelombang mikro tersebut dalam proses memasak. Gelombang mikro dihasilkan oleh magnetron, gelombang tersebut ditransmisikan ke dalam *waveguide*, lalu gelombang tersebut dipantulkan ke dalam fan stirrer dan dinding dari ruangan didalam oven, dan kemudian gelombang tersebut diserap oleh makanan. Microwave dapat membuat air berputar, putaran molekul air akan mendorong terjadinya tabrakan antar molekul. Tabrakan antar molekul inilah yang akan membuat molekul-molekul tersebut memanaskan. Perlu diingat bahwa sebagian besar makanan memiliki kadar air didalamnya dan jika makanan tersebut memiliki kadar air berarti efek yang sama akan terjadi jika makanan tersebut dimasukan dalam microwave. Selain itu harus diingat juga bahwa molekul makanan yang lain akan menjadi panas karena ada kontak langsung antara molekul tersebut dengan molekul air yang memanaskan. Melalui perpindahan energi, panas disebabkan oleh pergerakan molekul-molekul.

Perpindahan energi ini dapat terjadi dengan 3 cara berbeda, yaitu:

➤ Konduksi

Terjadi karena adanya kontak langsung dengan sumber panas, contoh papan penggorengan yang menjadi panas setelah bersentuhan dengan sumber api pada kompor.

➤ Konveksi

Konveksi terjadi ketika uap panas naik atau uap berputar di dalam ruangan tertutup seperti oven. Panas uap ini akan memanaskan bagian luar makanan dan diteruskan sampai bagian dalam makanan tersebut.

➤ Radiasi

Terjadi karena adanya gelombang elektromagnetik yang membuat molekul-molekul air bergerak.