

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Daun Kelor (*Moringa oleifera*)

Tanaman Kelor telah dikenal selama berabad-abad sebagai tanaman multi guna, padat nutrisi dan berkhasiat obat. Tanaman kelor merupakan tanaman perdu dengan ketinggian 7 - 11 meter dan tumbuh subur mulai dari dataran rendah sampai ketinggian 700 m di atas permukaan laut. Tanaman kelor (*Moringa oleifera*) merupakan salah satu jenis tanaman tropis yang sudah tumbuh dan berkembang di daerah tropis seperti Indonesia. Kelor dapat tumbuh pada daerah tropis dan subtropis pada semua jenis tanah, tahan terhadap musim kering dengan toleransi terhadap kekeringan sampai 6 bulan serta mudah dibiakkan dan tidak memerlukan perawatan yang intensif (Simbolan dkk.,2007).

Kelor merupakan tanaman yang berumur panjang dan berbunga sepanjang tahun. Bunga kelor ada yang berwarna putih, putih kekuning kuningan (krem) atau merah, tergantung jenis atau spesiesnya. Tudung pelepah bunganya berwarna hijau dan mengeluarkan aroma bau semerbak (Palupi dkk., 2007). Tanaman kelor dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Tanaman Kelor

Kelor merupakan tanaman yang dapat mentolerir berbagai kondisi lingkungan, sehingga mudah tumbuh meski dalam kondisi ekstrim seperti temperatur yang sangat tinggi, di bawah naungan dan dapat bertahan hidup di daerah bersalju ringan. Kelor tahan dalam

musim kering yang panjang dan tumbuh dengan baik di daerah dengan curah hujan tahunan berkisar antara 250 sampai 1500 mm. Meskipun lebih suka tanah kering lempung berpasir atau lempung, tetapi dapat hidup di tanah yang didominasi tanah liat (Krisnadi,2015). Tanaman kelor dapat tumbuh pada lingkungan yang berbeda. Tanaman kelor dapat tumbuh dengan baik pada suhu 25-35°C (Palada dan Chang, 2003).

Para peneliti di Pusat Penelitian dan Pengembangan Sayuran Asia (AVRDC, 2004) mengatakan bahwa daun dari empat spesies *Moringa* yang berbeda (*Moringa oleifera*, *Moringa peregrina*, *Moringa stenopetala* dan *Moringa drouhardii*) semuanya mengandung nutrisi dan antioksidan. Klasifikasi tanaman kelor (*Moringa Oleifera Lamk*) adalah sebagai berikut:

Divisi : *Spermatophyta*
Sub divisi : *Angiospermac*
Classis : *Dicotyledoneae*
Sub classis : *Dialypetalae*
Ordo : *Brassicales*
Familia : *Moringaceae*
Genus : *Moringa*
Species : *Moringa oleifera Lamk*
(Rollof dkk., 2009)

Beragam Nama Kelor

Nama latin : *Moringa oleifera Lam*
Nama Umum : Indonesia : Kelor
Inggris : *Moringa, Ben-oil tree, Clarifier tree, Drumstick tree*

Di Indonesia, tanaman Kelor dikenal dengan berbagai nama. Masyarakat Sulawesi menyebutnya kero, wori, kelo, atau Keloro. Orang-orang Madura menyebutnya maronggih. Di Sunda dan Melayu disebut Kelor. Di Aceh disebut murong. Di Ternate dikenal sebagai kelo. Di Sumbawa disebut kawona. Sedangkan orang-orang Minang mengenalnya dengan nama munggai.

Menilik kandungannya, Kelor memang layak mendapat sebutan “*Miracle Tree*” atau “*Trees of Life*”. Bukan tanpa alasan, kandungan super nutrisi yang dimiliki Kelor telah diverifikasi oleh berbagai lembaga ilmiah dan universitas di berbagai belahan dunia. Dan, informasi tersebut kemudian digunakan untuk gerakan kemanusiaan mengatasi malnutrisi

(gizi buruk) di negara-negara miskin Afrika. Jutaan orang telah dapat diselamatkan dengan mengkonsumsi Kelor (Krisnadi, 2015).

2.1.1 Manfaat Daun Kelor

Kelor terbukti secara ilmiah merupakan sumber gizi berkhasiat obat yang kandungannya diluar kebiasaan kandungan tanaman pada umumnya. Sehingga Kelor diyakini memiliki potensi untuk mengakhiri kekurangan gizi, kelaparan, serta mencegah dan menyembuhkan berbagai penyakit di seluruh dunia. Kelor benar-benar tanaman ajaib, dan karunia Tuhan sebagai sumber bergizi dan obat penyembuhan bagi umat manusia (Krisnadi, 2015).

Yayasan Mata Internasional (berbasis di Maryland, USA) mempromosikan Kelor untuk pencegahan kebutaan pada anak (karena kekurangan gizi) di negara-negara miskin. Memang, Kelor yang kaya dengan kandungan vitamin, dapat menyelamatkan penglihatan anak-anak yang rentan kebutaan karena defisiensi vitamin A (Krisnadi, 2015).

Beberapa jurnal ilmiah menyebutkan tanaman kelor memiliki manfaat sebagai antibiotik, antitripanosomal, antispasmodik, antiulkus, aktivitas hipotensif, antiinflamasi, dan dapat menurunkan kolestrol. Pada penelitian yang dilakukan di Bangladesh, ekstrak daun kelor memberikan efek hipolipidemik dan hipokolestrol pada tikus yang di induksi dengan adrenaline. Tanaman kelor juga memiliki kandungan fenolik yang terbukti efektif berperan sebagai antioksidan. Efek antioksidan yang dimiliki tanaman kelor memiliki efek yang lebih baik dari pada Vitamin E secara *in vitro* dan menghambat peroksida lemak dengan cara memecah rantai *Peroxyl Radical*. Fenolik juga secara langsung menghapus *Reactive Oxygen Species* (ROS) seperti hidroksil, superoksida, dan peroksinitrit (Chumark dkk., 2007).

Daun kelor mengandung fenol dalam jumlah yang banyak yang dikenal sebagai penangkal radikal bebas (Folid, dkk., 2007). Selain itu, daun kelor juga mengandung antioksidan tinggi dan antimikrobia (das, dkk., 2012). Hal tersebut disebabkan oleh adanya kandungan asam askorbat, flavonoid, phenolic, dan karatenoid (Anwar, dkk., 2007; Makkar dan Beccker, 1997; Moyo, dkk., 2012; Dahot, 1998). Selain untuk kebutuhan konsumsi, pengobatan alternatif daun kelor juga dapat berfungsi sebagai bahan pengawet alami. Hasil penelitian Shah, dkk., (2015) menunjukkan bahwa ekstrak daun kelor (*Moringa leaf Extract*) dapat mempertahankan warna daging segar dalam kemasan selama 12 hari penyimpanan pada suhu dingin. Karena daun kelor merupakan sumber senyawa phenolik yang baik yang mampu mencegah terjadinya oksidasi lemak pada daging segar selama penyimpanan (Muthukumar, dkk., 2012).

2.1.2 Kandungan Senyawa dalam Daun Kelor

Tanaman Kelor telah dikenal selama berabad-abad sebagai tanaman multi guna, padat nutrisi dan berkhasiat obat. Mengandung senyawa alami yang lebih banyak dan beragam dibanding jenis tanaman lainnya yang ada. Tanaman Kelor mengandung 46 anti oksidan kuat yang melindungi tubuh dari radikal bebas, mengandung 18 asam amino (8 diantaranya esensial) yang dibutuhkan tubuh untuk membangun sel-sel baru, 36 senyawa anti inflamasi, serta 90 nutrisi alami seperti vitamin dan mineral (Krisnadi,2015).

Penelitian yang dilakukan oleh Dahot (1998) melaporkan bahwa dalam ekstrak daun Kelor mengandung protein dengan berat molekul rendah yang mempunyai aktivitas antibakteri dan antijamur, sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Meitzer dan Martin (2000), daun Kelor yang dilarutkan dalam air dapat digunakan untuk antibiotika. Makkar dan Becker (1997) melaporkan bahwa daun Kelor mengandung 27% protein. Sebagai sumber protein, daun Kelor memiliki kandungan asam amino esensial seimbang (Makkar and Becker, 1996).

Kelor kaya dengan senyawa yang mengandung gula sederhana, *rhamnosa* dan kelompok yang cukup unik dari senyawa yang disebut *glucosinolates* dan *isothiocyanates* (Fahey, dkk, 2001; Bennett, dkk, 2003). Kulit batang telah dilaporkan mengandung dua alkaloid, yaitu *moringine* dan *moringinine* (Kerharo, 1969). *Vanili*, β -*sitosterol* [14], β -*sitostenone*, *4-hydroxymellin* dan Asam *octacosanoic* telah diisolasi dari batang tanaman Kelor (Faizi *et al.*, 1994).

Daun Kelor menjadi sumber antioksidan alami yang baik karena kandungan dari berbagai jenis senyawa antioksidan seperti asam *askorbat*, *flavonoid*, *phenolic* dan *karotenoid* (Anwar, dkk, 2005;. Makkar dan Becker, 1996).

Tabel 2.1 Kandungan Gizi Tanaman Kelor per 100 gram

Komposisi	Daun
Kadar air (%)	75,0
Protein (g)	6,7
Lemak (g)	1,7
Karbohidrat (g)	13,4
Minerals (g)	2,3
Fe (mg)	7
Vitamin A-B carotene (mg)	6,8
Vitamin B1-thiamin (mg)	0,21
Vitamin B2-riboflavin (mg)	0,05
Lysine (g/16g N) (%)	4,3
Tryptophan (g/16g N) (%)	1,9
Phenylalanine (g/16g N) (%)	6,4

Methionine (g/16g N) (%)	2,0
Threonine (g/16g N) (%)	4,9
Leucine (g/16g N) (%)	9,3
Isoleucine (g/16g N) (%)	6,3
Valine (g/16g N) (%)	7,1

(Melo, 2013).

Daun kelor mengandung sejumlah asam amino. Asam amino yang terkandung diduga mampu meningkatkan sistem imun. Asam amino dalam tubuh akan mengalami biosintesa protein, dari 20 macam amino yang ada yakni 19 asam α -L-amino dan satu asam L-imino (Montgomery dkk., 1993), dapat disintesa menjadi 50.000 lebih protein yang bersama dengan enzim berperan dalam mengontrol aktivitas kimia antibody untuk mencegah berbagai macam penyakit (Wynsberghe dkk., 1995).

Tabel 2.2. Kandungan Kimia Daun Kelor Segar dan Daun kering Per 100gr Bahan

Komposisi Kimia	Daun Segar	Daun Kering
Kadar air	79gr	-
Energi	92gr	-
Protein	6,8gr	27,1gr
Lemak	1,7gr	22,3gr
Karbohidrat	12,5gr	38,2gr
Serat	0,9gr	-
Zinc (Za)	0,16mg	28,2gr
Kalsium (Ca)	440mg	2003mg
Fospor (p)	70mg	204mg
β – karoten	6,78mg	18,9mg
Tiamin (Vitami B)	0,06mg	2,64mg
Riboflavin (Vitamn B2)	0,05mg	20,5mg
Niacin (Vitamin B3)	0,8mg	8,2mg
Vitamin C	220mg	173mg
Kalori	-	205kal
Serat	-	19,2gr
Magnesium	-	368mg

(Fuglie, 1999)

Kandungan nutrisi tepung daun kelor dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Kandungan Nutrisi Tepung Daun Kelor

Komposisi Kimia	Tepung Daun Kelor
Kadar air (%)	7,5
Protein (g)	27,1
Lemak (g)	2,3

Karbohidrat (g)	38,2
Serat (g)	19,2
Calori (Kcal/100 g)	205
Calsium (mg)	2003
Kalium (mg)	1324
Vitamin C (Ascorbid acid) (mg)	17,3
Vitamin A (B Caratene) (mg)	16,3
Vitamin B1 (Thiamin) (mg)	2,64
Vitamin B2 (Rhiboflavin) (mg)	20,5
Vitamin E (Tocopherol) (mg)	113

(Fuglie, 1999)

2.2 Parameter Fisik dan Kimia pada Daun Kelor

2.2.1 Air

Air merupakan bahan yang sangat penting bagi kehidupan umat manusia dan fungsinya tidak pernah digantikan oleh senyawa lain. Air juga merupakan komponen penting dalam bahan makanan karena air dapat mempengaruhi penampakan, tekstur, serta cita rasa pada makanan. Semua bahan makanan mengandung air dalam jumlah yang berbeda-beda. Air berperan sebagai zat-zat makanan dan sisa-sisa metabolisme, media reaksi yang menstabilkan pembentukan biopolymer, dan sebagainya (Winarno, 2002).

Kadar air suatu bahan yang dikeringkan mempengaruhi beberapa hal yaitu seberapa jumlah penguapan dapat berlangsung, lamanya proses pengeringan dan jalannya proses pengeringan. Air didalam bahan pangan terdapat dalam tiga bentuk yaitu : air bebas (free water) yang terdapat dipermukaan benda padat dan mudah diuapkan, air terikat (bound water) secara fisik yaitu air yang terikat menurut sistem kapiler atau air absorpsi karena tenaga penyerapan, dan air terikat secara kimia misalnya air Kristal dan air terikat dalam suatu dispersi. Kadar air suatu bahan pangan dapat dinyatakan dalam dua cara yaitu berdasarkan bahan kering (dry basis) dan berdasarkan bahan basah (wet basis). Kadar air secara “dry basis” adalah perbandingan antara berat air didalam bahan dengan berat bahan keringnya. Berat bahan kering adalah berat bahan awal setelah dikurangi dengan berat airnya. Kadar air secara “wet basis” adalah perbandingan antara berat air didalam bahan tersebut dengan berat bahan mentah (Winarno, dkk, 1980).

2.2.2 Protein

Protein merupakan salah satu kelompok bahan makronutrien. Protein memiliki struktur yang mengandung N, disamping C, H, O (seperti juga karbohidrat dan lemak), S dan kadang-kadang P, Fe dan Cu (sebagai senyawa kompleks dengan protein). Seperti senyawa

polimer lain (misalnya selulosa, pati) atau senyawa-senyawa hasil kondensasi beberapa unit molekul (misalnya trigliserida) maka protein juga dapat dihidrolisa atau diuraikan menjadi komponen unit-unitnya oleh molekul air. Hidrolisa pada protein akan melepas asam-asam amino penyusunnya (Slamet, dkk., 2003).

2.2.3 Warna

Warna merupakan suatu sifat bahan yang dianggap berasal dari penyebaran spectrum sinar. Warna bukan merupakan suatu zat atau benda melainkan suatu sensasi seseorang, oleh karena itu adanya rangsangan dari seberkas energi radiasi yang jatuh ke indera mata atau retina mata (Kartika, dkk., 1988). Warna yang diharapkan untuk bahan hasil pengeringan yaitu warna tidak terlalu menyimpang dari warna asli (Kusmawati, dkk., 2000).

2.2.4 Bau (Aroma)

Bau-bauan dapat didefinisikan sebagai sesuatu yang dapat diamati dengan indera pembau. menghasilkan bau zat-zat bau harus dapat menguap, sedikit larut dalam air dan sedikit dapat larut dalam lemak. Di dalam industri pangan, pengujian terhadap bau dianggap penting karena dengan cepat dapat memberikan hasil penilaian terhadap produk tentang diterima atau tidaknya produk tersebut. Selain itu, bau dapat dipakai juga sebagai suatu indikator terjadinya kerusakan pada produk misalnya sebagai akibat cara pengemasan atau cara penyimpanan yang kurang baik. Dalam pengujian inderawi bau lebih kompleks dari pada rasa (Kartika, dkk., 2000).

2.2.5 Tekstur

Tekstur bisa diterima bila bahan yang dalam keadaan normal dan tergantung pada spesifik bahan (Kusmawati, dkk., 2000).

2.2.6 Struktur Mutu Daun Kelor

Parameter	Persyaratan Mutu
Warna	Hijau kehitaman sampai dengan kuning kecoklatan
Bentuk	Tergulung/tepilin sempurna sampai dengan bubuk, batang serat
Aroma	Normal, khas daun kelor
Tekstur	Padat sampai dengan tidak padat
Keragaman Ukuran	Sangat seragam sampai dengan kurang seragam
Benda Asing	Tidak ada

2.3 Proses Pengolahan Tepung Daun Kelor

2.3.1 Pengertian Pengeringan

Pengeringan adalah proses pemindahan panas dan uap air secara simultan yang memerlukan panas untuk menguapkan air dari permukaan bahan tanpa mengubah sifat kimia dari bahan tersebut. Dasar dari proses pengeringan adalah terjadinya penguapan air ke udara karena perbedaan kandungan uap air antara udara dan bahan yang dikeringkan. Laju pemindahan kandungan air dari bahan akan mengakibatkan berkurangnya kadar air dalam bahan tersebut. Kandungan zat cair dalam bahan yang dikeringkan berbeda dari satu bahan ke bahan lain. Pada umumnya zat padat selalu mengandung sedikit fraksi air sebagai air terikat. Kandungan air dalam suatu bahan dapat dinyatakan atas dasar basah (% berat) atau dasar kering, yaitu perbandingan jumlah air dengan jumlah bahan kering (Revitasari, 2010).

Dasar pengeringan adalah terjadinya penguapan air ke udara karena perbedaan kandungan uap air antara udara dengan bahan yang dikeringkan. Dalam hal ini, kandungan uap air udara lebih sedikit atau udara mempunyai kelembaban nisbi yang rendah sehingga terjadi penguapan. Kemampuan udara membawa uap air bertambah besar jika perbedaan antara kelembaban nisbi udara pengering dengan udara sekitar bahan semakin besar. Salah satu faktor yang mempercepat proses pengeringan adalah kecepatan angin atau udara yang mengalir. Udara yang tidak mengalir menyebabkan kandungan uap air di sekitar bahan yang dikeringkan semakin jenuh sehingga pengeringan semakin lambat. Proses pengeringan ini dilakukan biasanya sebagai tahap akhir sebelum dilakukan pengepakan suatu produk ataupun proses pendahuluan agar proses selanjutnya lebih mudah, mengurangi biaya pengemasan dan transportasi suatu produk dan dapat menambah nilai guna dari suatu bahan. Dalam industri makanan, proses pengeringan ini digunakan untuk pengawetan suatu produk makanan. Mikroorganisme yang dapat mengakibatkan pembusukan makanan tidak dapat tumbuh pada bahan yang tidak mengandung air, maka dari itu untuk mempertahankan aroma dan nutrisi dari makanan agar dapat disimpan dalam waktu yang lebih lama, kandungan air dalam bahan makanan itu harus dikurangi dengan cara pengeringan (Mott, 2006).

Menurut Apandi (1984), pengeringan ada 2 cara, yaitu :

1. Pengeringan dengan Sinar Matahari atau Energi Surya

Alat pengering energi surya adalah suatu alat yang mengubah energi surya menjadi energi termal atau panas, sehingga bisa digunakan untuk mengeringkan bahan pangan tanpa menggunakan bahan bakar fosil. Alat pengering energi surya merupakan salah satu cara paling efektif untuk memanfaatkan energi yang dapat diperbaharui. Alat pengering energi surya mengurangi ketergantungan terhadap listrik dan bahan bakar minyak, sehingga

mengurangi pencemaran lingkungan. Alat pengering energi surya terdiri dari 4 bagian utama yaitu : kolektor, ruang plenum atau pengumpul panas, ruang pengering, dan ventilasi. Bentuk-bentuk energi yang diperlukan manusia untuk konsumsi langsung adalah kerja, panas, dan listrik.

2. Pengeringan dengan Menggunakan Alat Pengering Buatan

Keuntungan yang diperoleh dengan cara ini yaitu kondisi pengeringan terkontrol dan waktu pengeringan bisa lebih cepat dengan tidak tergantung oleh cuaca. Kedua hal ini menyebabkan produk bisa lebih baik kualitasnya, namun memerlukan banyak biaya (Taib, 1987).

2.3.2. Tujuan Pengeringan

Tujuan pengeringan untuk mengurangi kadar air bahan sampai batas perkembangan organisme dan kegiatan enzim yang dapat menyebabkan pembusukan terhambat atau bakteri terhenti sama sekali sehingga bahan yang dikeringkan mempunyai waktu simpan lebih lama (Hamimi, dkk., 2011). Tujuan lain dari pengeringan adalah untuk pengawetan dan juga untuk meningkatkan daya tahan, mengurangi biaya pengemasan, mengurangi bobot pengangkutan, memperbaiki cita rasa bahan, dan mempertahankan kandungan nutrisi bahan (Achanta dan Okos, 2000).

Heldman dan Singh (1981) serta Henderson dan Perry (1976) menyatakan beberapa keuntungan pengeringan, yaitu:

1. Memperpanjang masa simpan dan penurunan mutu sekecil-kecilnya.
2. Memudahkan pengangkutan karena berat bahan lebih ringan dan volume lebih kecil.
3. Menimbulkan aroma yang khas pada bahan tertentu.
4. Mutu lebih baik dan nilai ekonomi lebih tinggi.

2.3.3 Faktor- Faktor yang Mempengaruhi Pengeringan

Faktor yang dapat mempengaruhi pengeringan suatu bahan pangan adalah sifat fisik dan kimia dari bahan pangan, meliputi bentuk, komposisi, ukuran, dan kadar air yang terkandung di dalamnya, pengaturan geometris bahan pangan, sifat fisik dari lingkungan sekitar alat pengering, meliputi suhu, kecepatan sirkulasi udara, dan kelembaban, serta karakteristik dan efisiensi pemindahan panas alat pengering (Buckle dkk., 1985).

Udara yang terdapat dalam proses pengeringan mempunyai fungsi sebagai pemberi panas pada bahan pangan, sehingga menyebabkan terjadinya penguapan air. Fungsi lain dari udara adalah untuk mengangkut uap air yang dikeluarkan oleh bahan pangan yang dikeringkan. Kecepatan pengeringan akan naik apabila kecepatan udara ditingkatkan. Kadar

air akhir apabila mulai mencapai kesetimbangannya, maka akan membuat waktu pengeringan juga ikut naik atau dengan kata lain lebih cepat (Rukmana dan Bindar, 2017).

1. Luas Permukaan

Makin luas permukaan bahan makin cepat bahan menjadi kering Air menguap melalui permukaan bahan, sedangkan air yang ada di bagian tengah akan merembes ke bagian permukaan dan kemudian menguap.

2. Perbedaan Suhu dan Udara Sekitarnya

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

3. Kecepatan Aliran Udara

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

4. Tekanan Udara

Semakin kecil tekanan udara akan semakin besar kemampuan udara untuk mengangkut air selama pengeringan, karena dengan semakin kecilnya tekanan berarti kerapatan udara makin berkurang sehingga uap air dapat lebih banyak tertampung dan disingkirkan dari bahan pangan. Sebaliknya jika tekanan udara semakin besar maka udara disekitar pengeringan akan lembab, sehingga kemampuan menampung uap air terbatas dan menghambat proses atau laju pengeringan.

5. Kelembapan Udara

Semakin lembab udara maka proses pengeringan semakin lama sedangkan semakin kering udara maka semakin cepat proses pengeringan. Karena udara kering dapat mengabsorpsi dan menahan uap air. Setiap bahan mempunyai keseimbangan kelembaban nisbi masing-masing. Kelembaban pada suhu tertentu dimana bahan tidak akan kehilangan air (pindah) ke atmosfer atau tidak akan mengambil uap air dari atmosfer (Supriyono, 2003).

2.3.4. Mekanisme Pengeringan

Proses pengeringan dimulai pada saat bahan diletakkan pada alat pengering dan terjadi perpindahan air dari bagian bawah bahan pangan. Perpindahan ini disertai dengan evaporasi pada bagian permukaan, sehingga bagian permukaan bahan tetap dalam keadaan basah. Keadaan ini disebut dengan constant rate period, di mana keadaan ini tetap akan berlanjut sampai mencapai titik kandungan uap air tertentu (Rukmana dan Bindar, 2017).

Kadar air suatu bahan berpengaruh terhadap banyaknya air yang diuapkan dan lamanya proses pengeringan. Heldman dan Singh (1981) menyatakan bahwa kadar air pangan terdiri dari dua bagian, yaitu kadar air basis kering dan kadar air basis basah. Kadar air basis kering adalah perbandingan berat air dalam bahan dengan berat bahan keringnya. Kadar air basis basah adalah perbandingan berat air dalam bahan dengan berat bahan total.

Persamaan untuk menentukan kadar air basis kering antara lain:

$$m = \frac{m_{Air}}{m_{Padat}} \times 100\% \dots\dots\dots \text{(Heldman dan Singh, 1981)}$$

Persamaan untuk menentukan kadar air basis basah antara lain:

$$M = \frac{m_{Air}}{m_{Total}} \times 100\% \dots\dots\dots \text{(Heldman dan Singh, 1981)}$$

Di mana:

M = Kadar air basis kering (%)

m = Kadar air basis basah (%)

m_{air} = Massa air yang menguap (gram)

m_{total} = Massa total bahan (gram)

m_{padat} = Massa padatan kering bahan (gram)

Laju pengeringan adalah banyaknya air yang diuapkan per satuan waktu. Laju pengeringan ini dipengaruhi oleh bentuk, ukuran, dan susunan bahan saat dikeringkan, suhu, kelembaban, dan kecepatan aliran udara pengeringan. Menurut Henderson dan Perry (1976) proses pengeringan dapat dibagi dalam dua periode laju pengeringan, yaitu laju pengeringan

tetap dan laju pengeringan menurun. Jika konsentrasi air di permukaan bahan besar sehingga permukaan bahan tetap basah maka akan terjadi laju penguapan yang tetap. Periode ini disebut dengan laju pengeringan tetap. Secara praktis semua pengeringan bahan hasil pertanian terjadi pada periode laju pengeringan menurun. Periode laju pengeringan menurun dibatasi oleh kadar air keseimbangan dari kurva air keseimbangan di antara kelembaban nisbi 0% dan mendekati 100%. Kadar air yang mendekati tingkat 100% akan berada dalam periode laju pengeringan tetap (Henderson dan Perry, 1976).

Air yang diuapkan pada proses pengeringan terbagi menjadi air bebas dan air terikat. Air bebas adalah yang pertama-tama mengalami penguapan. Laju penguapan air bebas sebanding dengan perbedaan tekanan uap pada permukaan air dengan tekanan uap pada udara pengering. Air terikat terdiri dari air yang terikat secara fisik dan air yang terikat secara kimiawi. Air yang terikat secara fisik merupakan bagian air bahan yang terdapat dalam jaringan matriks bahan karena adanya ikatan-ikatan fisik. Jika air permukaan telah habis, maka perpindahan air uap terjadi dari bagian dalam bahan ke permukaan secara difusi. Perpindahan air bahan ini terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi air di bagian dalam dengan bagian luar (Henderson dan Perry, 1976).

2.3.5 Metode Pengeringan Daun Kelor

Ada tiga metode yang umum digunakan untuk mengeringkan daun kelor (Sauveur dan Broin, 2010) yaitu.

1. Room Drying

Daun kelor diletakan secara tipis di atas rak-rak berlobang di dalam ruangan yang berventilasi. Sirkulasi udara bisa ditingkatkan dengan menggunakan atap dan lantai berventilasi yang dilindungi dengan filter. Fan dapat digunakan tetapi udara tidak boleh dihembuskan secara langsung ke daun sebab dapat meningkatkan kontaminasi kuman di udara. Dalam proses pengeringan disarankan untuk membalik daun setidaknya satu kali untuk meningkatkan keseragaman pengeringan. Daun kelor biasanya kering dalam waktu maksimal empat hari. Muatan daun kelor yang dikeringkan seharusnya tidak melebihi 1 kg/m². Metode room drying tidak dapat menjamin kandungan air dalam daun kelor mencapai 10% seperti yang diinginkan (Sauveur dan Broin, 2010).

2. Solar Drying

Penggunaan solar dryer direkomendasikan tetapi perlu diperhatikan peningkatan temperatur dan pastikan temperaturnya tidak melebihi 55°C. Udara yang masuk perlu

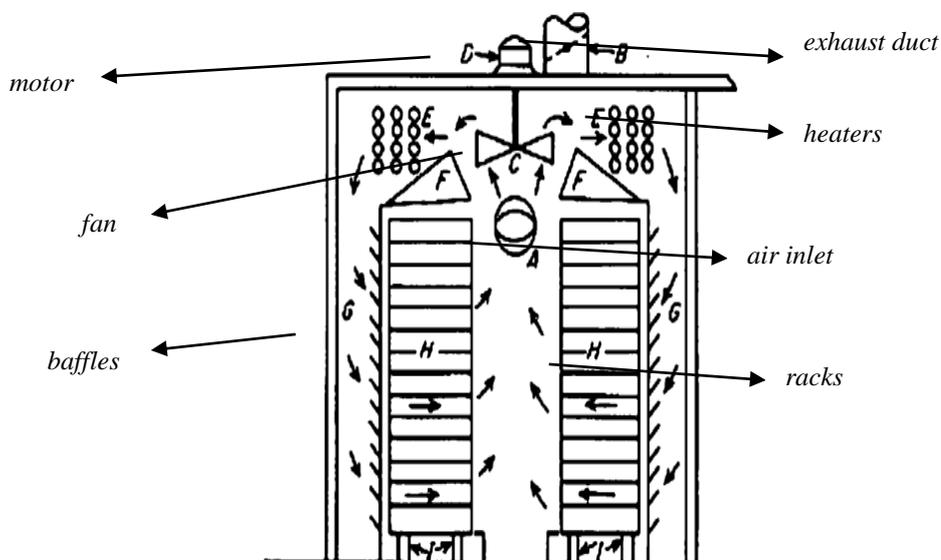
disaring agar debu tidak masuk. Daun kelor diletakkan di atas mesh dan dikeringkan di dalam dryer sekitar empat jam (rentang temperatur 35°C - 55°C). Produk akhirnya menjadi sangat rapuh. Solar drying direkomendasikan dalam proses skala kecil dan besar, terutama di daerah yang belum terjangkau listrik. Muatan tidak boleh melebihi 2 Kg/m² (Sauveur dan Broin, 2010).

3. Mechanical Drying

Mechanical drying menggunakan alat pengering listrik atau pengering udara panas. Rentang temperatur pengeringan antara 50°C - 55°C. Jika temperatur melebihi 55°C. Daun kelor akan burn dan berubah coklat. Daun kelor harus dikeringkan hingga kandungan air di bawah 10%. Metode ini direkomendasikan untuk proses pengeringan skala besar. Muatan daun kelor yang dikeringkan tidak boleh melebihi 2,5 kg/m² (Sauveur dan Broin, 2010).

2.3.6 Tipe Alat Pengering Tray Dryer

Salah satu alat pengering yang umum digunakan adalah *tray type dryer*, yaitu alat pengering yang mempunyai bentuk persegi dan di dalamnya berisi rak yang digunakan sebagai tempat bahan yang akan dikeringkan. Rak ini ada yang dapat dikeluarkan dan ada yang tidak dapat dikeluarkan. Bahan diletakkan di atas rak (*tray*) yang terbuat dari logam yang berlubang. Kegunaan lubang-lubang tersebut adalah untuk mengalirkan udara panas (Sukmawaty dkk., 2019). Gambar alat *tray dryer* dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Tray Dryer (McCabe dkk., 1993)

Prinsip kerja alat pengering rak (*tray type dryer*) adalah panas yang berasal dari

elemen elektrik dibawa oleh medium pembawa panas yaitu udara. Laju aliran udara panas ke ruang pengering diatur oleh blower. Selanjutnya pada ruang pengering terjadi proses pengeringan bahan oleh panas yang dibawa udara tersebut. Bahan yang akan dikeringkan diletakkan di atas rak (Jhondri, 2017).

2.4 Pengeringan Daun Kelor

Produk daun kelor merupakan produk yang dapat diolah dan dapat meningkatkan nilai jual dari daun kelor. Berbagai jenis olahan seperti tepung kelor dan berbagai olahan lain merupakan upaya meningkatkan nilai jual tanaman kelor. Salah satu proses yang dilakukan adalah dengan menggunakan Photovoltaic Tray Dryer.

2.4.1. Photovoltaic

Energi surya adalah energi yang didapat dengan mengubah energi panas surya (matahari) melalui peralatan tertentu menjadi sumber daya dalam bentuk lain. Energi surya menjadi salah satu sumber pembangkit daya selain air, uap, angin, biogas, batu bara, dan minyak bumi. Teknik pemanfaatan energi surya mulai muncul pada tahun 1839, ditemukan oleh A.C. Becquerel. Ia menggunakan kristal silikon untuk mengkonversi radiasi matahari, namun sampai tahun 1955 metode itu belum banyak dikembangkan. Selama kurun waktu lebih dari satu abad itu, sumber energi yang banyak digunakan adalah minyak bumi dan batu bara (Yandri, 2012). Ada dua macam cara merubah radiasi matahari ke dalam energi lain, yaitu melalui *solar cell* dan *collector* (Karmiathi, 2012). Tidak diragukan lagi bahwa energi surya adalah salah satu sumber energi yang ramah lingkungan dan sangat menjanjikan pada masa yang akan datang, karena tidak ada polusi yang dihasilkan selama proses konversi energi, dan juga sumber energinya banyak tersedia di alam (Rahayuningtyas, dkk, 2014). Energi surya telah banyak diterapkan dalam kehidupan sehari-hari. Beberapa aplikasi energi surya menurut Yandri (2012) adalah:

1. Pencahayaan bertenaga surya,
2. Pemanasan bertenaga surya, untuk memanaskan air, memanaskan dan mendinginkan ruangan,
3. Desalinisasi dan desinfektifikasi,
4. Untuk memasak, dengan menggunakan kompor tenaga surya.

Energi surya merupakan salah satu energi yang sedang giat dikembangkan saat ini oleh Pemerintah Indonesia karena sebagai negara tropis, Indonesia memiliki potensi energi surya yang besar. Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia,

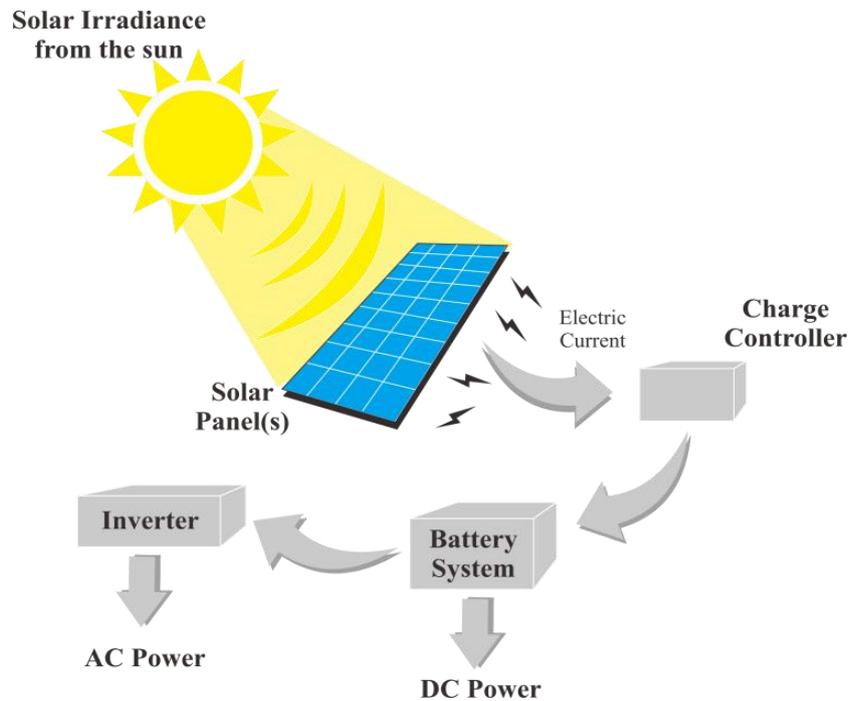
radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan berturut-turut sebagai berikut (Yandri, 2012):

1. Kawasan Barat Indonesia (KBI) dengan distribusi penyinaran sekitar 4,5 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan 10%.
2. Kawasan Timur Indonesia (KTI) dengan distribusi penyinaran sekitar 5,1 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan sekitar 9%.

Pemanfaatan energi surya termal di Indonesia masih dilakukan secara tradisional. Para petani dan nelayan di Indonesia memanfaatkan energi surya untuk mengeringkan hasil pertanian dan perikanan secara langsung. Sebenarnya, pemanfaatan energi surya termal dapat dikembangkan untuk berbagai keperluan (Yandri, 2012), seperti:

1. Pengering pasca panen,
2. Pemasak / kompor,
3. Pompa air,
4. Penyuling air.

Salah satu cara penyediaan energi listrik alternatif yang siap untuk diterapkan secara massal saat ini adalah Sistem Energi Surya Fotovoltaik (SESF) atau secara umum dikenal sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fotovoltaik (PLTS Fotovoltaik). Pada umumnya, modul fotovoltaik dipasarkan dengan kapasitas 50 Watt-peak (Wp) dan kelipatannya. Unit satuan Watt-peak adalah satuan daya (Watt) yang dapat dibangkitkan oleh modul fotovoltaik dalam keadaan standar uji (*Standard Test Condition* – STC). Efisiensi pembangkitan energi listrik yang dihasilkan modul fotovoltaik pada skala komersial saat ini adalah 14 – 15% (Yandri, 2012). Mekanisme kerja dari sistem *photovoltaic* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Mekanisme Kerja Sistem *Photovoltaic* (Shaikh dkk., 2017)

Komponen utama suatu SESF (Yandri, 2012) adalah:

1. Sel fotovoltaik yang mengubah radiasi matahari menjadi listrik secara langsung. Produk akhir dari modul fotovoltaik menyerupai bentuk lembaran kaca dengan ketebalan 6 – 8 mm,
2. *Balance of System* (BOS) yang meliputi *controller*, *inverter*, kerangka modul peralatan listrik, seperti kabel dan stop kontak,
3. Unit penyimpan energi (baterai),
4. Peralatan penunjang lainnya, seperti *inverter* untuk pompa, sistem terpusat dan sistem *hybrid*.

Photovoltaic cell mengubah sinar matahari menjadi aliran listrik *direct current* (DC). *Charge controller* berfungsi untuk mengontrol energi dari panel surya yang mana bila terjadi *reverse back* pada energi tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada panel surya. Sistem baterai berperan sebagai tempat menyimpan energi listrik yang digunakan ketika kondisi tidak ada sinar matahari (misalnya malam). Sistem ini dihubungkan ke *inverter* untuk mengubah listrik *direct current* (DC) ke listrik *alternating current* (AC) (Shaikh dkk., 2017).

Jenis-jenis sel surya (Purwoto dkk., 2018) adalah sebagai berikut:

1. Monokristal (*Mono-crystalline*)

Sel surya monokristal (*mono-crystalline*) merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini dan menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling

tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya mataharianya kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan (Purwoto dkk., 2018).

2. Polikristal (*Poly-Crystalline*)

Panel surya polikristal merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel suraya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah (Purwoto dkk., 2018).

3. *Thin Film Photovoltaic*

Panel surya *thin film photovoltaic* merupakan panel surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokrystal-silicon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8,5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada monokristal dan polykrystal. Inovasi terbaru adalah *Thin Film Triple Junction Photovoltaic* (dengan tiga lapisan) dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dari panel jenis lain dengan daya yang ditera setara (Purwoto dkk., 2018).

2.4.2 *Photovoltaic Tray Dryer*

Salah satu alat pengering yang umum digunakan adalah *tray type dryer*, yaitu alat pengering yang mempunyai bentuk persegi dan di dalamnya berisi rak yang digunakan sebagai tempat bahan yang akan dikeringkan. Rak ini ada yang dapat dikeluarkan dan ada yang tidak dapat dikeluarkan. Bahan diletakkan di atas rak (*tray*) yang terbuat dari logam yang berlubang. Kegunaan lubang-lubang tersebut adalah untuk mengalirkan udara panas (Sukmawaty dkk., 2019).

Prinsip kerja alat pengering rak (*tray type dryer*) adalah panas yang berasal dari elemen elektrik dibawa oleh medium pembawa panas yaitu udara. Laju aliran udara panas ke ruang pengering diatur oleh *blower*. Selanjutnya pada ruang pengering terjadi proses pengeringan bahan oleh panas yang dibawa udara tersebut. Bahan yang akan dikeringkan diletakkan di atas rak (Jhondri, 2017). Penelitian yang menggunakan alat *tray dryer* dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Beberapa Penelitian Tentang *Tray Dryer*

Bahan	Perlakuan			Kadar Air (%)		Referensi
	Massa (Kg)	Temperatur (°C)	Waktu (Jam)	Awal	Akhir	
Kerupuk sayur	0,15	50	3,5	88,22	15,81	Subagya dkk., 2018
Jahe	0,2	60	4	68	12	Haryani dkk., 2015
Bawang putih	-	70	5,5	66	4,93	Prasetyaningsih dan Mulyanti, 2018
Bawang merah		70	7	-	4,2	Manfaati dkk., 2019
Umbi talas	-	70	7	78,80	2	Hawa dkk., 2016
Kelopak bunga rosela merah	-	60	6	-	1,88	Mardiah dkk., 2012
Sukun	-	32,39	13	70,54	9,66	Suhendar dkk., 2017
Bengkuang	10	-	4	84	8,46	Rahbini dkk., 2016
Manisan apel	-	70	9	86,39	14,73	Shabrina dan Susanto, 2017
Kunyit	4,5	70	8	-	5,47	Rohanah dkk., 2005
Kecombrang	10	70	6	-	5,46	Naufalin dkk., 2019

Alat *photovoltaic tray dryer* merupakan alat pengering tipe rak (*tray dryer*) yang memanfaatkan sistem *photovoltaic* sebagai sumber pembangkit untuk mengoperasikan alat pengering tersebut. Komponen utama dari alat pengering tersebut adalah ruang pengeringan (*drying chamber*) yang terdiri dari empat buah rak sebagai tempat untuk mengeringkan daun kelor, cerobong untuk mengeluarkan udara jenuh dari proses pengeringan, pada bagian samping ruang pengering dipasang *heater* dan *fan* sebagai penyedia udara panas untuk proses pengeringan, *thermocouple* sebagai sensor temperatur di dalam ruang pengering, dan pintu yang berfungsi untuk menjaga sirkulasi udara selama pengeringan dan menghindari udara luar masuk ke ruang pengeringan. *Control Panel* digunakan untuk mengatur kondisi operasi pada alat pengering. Pada *control panel* terdapat *temperatur controller* yang berfungsi untuk mengatur temperatur di dalam ruang pengering dan menampilkan temperatur aktual di dalam ruang pengering.

Selain komponen alat pengering terdapat juga komponen sistem *photovoltaic* yang terdiri dari panel surya, *solar charge controller*, baterai, dan *inverter*. Panel surya merupakan perangkat yang mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik dengan proses *photovoltaic*. *Solar charge controller* berfungsi sebagai pengatur arus listrik baik terhadap arus yang masuk dari panel surya maupun arus beban keluar atau arus beban yang digunakan.

Solar charge controller bekerja untuk menjaga baterai dari pengisian yang berlebihan. *Solar charge controller* mengatur tegangan dan arus dari panel surya ke baterai. *Inverter* adalah rangkaian yang mengubah tegangan *direct current* (DC) menjadi *alternating current* (AC) atau lebih tepatnya *inverter* memindahkan tegangan dari sumber *direct current* (DC) ke beban *alternating current* (AC) (Purwoto, dkk., 2018).

Selain menggunakan sistem *photovoltaic* sebagai sumber energi listrik, alat pengering ini juga dapat menggunakan energi listrik dari sumber listrik lain yaitu dari sumber listrik Pembangkit Listrik Negara (PLN). Gambar dari alat *photovoltaic tray dryer* yang digunakan dalam proses pengeringan daun kelor dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Alat *Photovoltaic Tray Dryer*