

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanaman Kelor (*Moringa oleifera*)

2.1.1. Klasifikasi Tanaman Kelor (*Moringa oleifera*)

Tanaman Kelor (*Moringa oleifera*) merupakan salah satu jenis tanaman tropis yang mudah tumbuh di daerah tropis seperti Indonesia. 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. Kelor dapat tumbuh pada daerah tropis dan subtropis pada semua jenis tanah dan tahan terhadap musim kering dengan toleransi terhadap kekeringan sampai enam bulan (Mendieta dkk., 2013).

Kelor merupakan tanaman yang berumur panjang dan berbunga sepanjang tahun. Bunga kelor ada yang berwarna putih, putih kekuningan (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

Di Indonesia tanaman kelor dikenal dengan nama yang berbeda di setiap daerah, di antaranya kelor (Jawa, Sunda, Bali, Lampung), maronggih (Madura),

moltong (Flores), keloro (Bugis), ongge (Bima), murong atau barunggai (Sumatera) dan hau fo (Timur). Kelor merupakan spesies dari keluarga monogenerik yang paling banyak dibudidayakan, yaitu *Moringaceae* yang berasal dari India sub-Himalaya, Pakistan, Bangladesh dan Afghanistan. Pohon yang tumbuh dengan cepat ini telah digunakan sejak zaman dulu oleh orang Romawi kuno, Yunani dan Mesir dan sampai saat ini banyak dibudidayakan dan telah menjadi tanaman naturalisasi di daerah tropis (Fahey, 2005).

Klasifikasi tanaman kelor (Krisnadi, 2015) sebagai berikut.

Kingdom	: Plantae (Tumbuhan)
Subkingdom	: Tracheobionta (Tumbuhan berpembuluh)
Super Divisi	: Spermatophyta (Menghasilkan biji)
Divisi	: Magnoliophyta (Tumbuhan berbunga)
Kelas	: Magnoliopsida (berkeping dua/dikotil)
Sub Kelas	: Dilleniidae
Ordo	: Capparales
Famili	: Moringaceae
Genus	: Moringa
Spesies	: <i>Moringa oleifera</i> Lam

2.1.2. Kandungan Gizi Tanaman Kelor

Menurut Krisnadi (2015) salah satu hal yang membuat kelor menjadi perhatian dunia dan memberikan harapan sebagai tanaman sumber nutrisi yang dapat menyelamatkan jutaan manusia dari kekurangan gizi, adalah kelor kaya serta padat dengan kandungan nutrisi dan senyawa yang dibutuhkan tubuh untuk menjadi bugar. Seluruh bagian tanaman kelor dapat dimanfaatkan untuk penyembuhan, menjaga dan meningkatkan kualitas kesehatan manusia dan terutama sumber asupan gizi keluarga. Bahkan, kandungan kelor diketahui berkali lipat dibandingkan bahan makanan sumber nutrisi lainnya. Sebagaimana diuraikan sebelumnya bahwa tanaman kelor merupakan tanaman yang mendapat beberapa julukan karena nilai manfaatnya yang beraneka ragam. Manfaat tersebut terkait dengan kandungan nutrisi pada masing-masing bagian tanaman kelor. Kandungan bunga, buah, dan biji kelor dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Salah satu manfaat yang dapat diambil dari pohon kelor terdapat pada daunnya (Kouevi, 2013). Hasil penelitian Fuglie (2001) menyatakan bahwa daun kelor memiliki berbagai kandungan nutrisi yang bermanfaat. Kandungan yang paling diunggulkan pada tanaman ini yaitu protein, vitamin A (β -karoten), dan zat besinya yang tinggi sehingga bagus untuk dikonsumsi dan dapat memenuhi kebutuhan gizi terutama pada kelompok rawan (Madukwe dkk., 2013). Tidak hanya itu, daun kelor juga mengandung berbagai macam asam amino di mana hal ini jarang sekali ditemui pada sayuran (Kasolo, 2010). Penelitian lain menyatakan bahwa menunjukkan bahwa daun kelor mengandung vitamin C setara vitamin C dalam 7 jeruk, vitamin A setara vitamin A pada 4 wortel, kalsium setara dengan kalsium dalam 4 gelas susu, potasium setara dengan yang terkandung dalam 3 pisang, dan protein setara dengan protein dalam 2 yoghurt (Mahmood, 2011).

Tabel 2.1 Kandungan Nutrisi Bunga, Buah, dan Biji Kelor Per 100 Gram

Kandungan Nutrisi	Bunga	Buah	Biji
Kadar Air (%)	93,02	90,86	3,11
Protein (gram)	24,5	12,36	32,19
Lemak (gram)	6,01	0,98	32,40
Serat (gram)	5,07	22,57	15,87
Mineral (gram)	58,08	13,40	5,58
Kalori (Kcal)	6,2	50,73	15,96

(Aminah, 2015)

Daun kelor yang dikeringkan menjadi bubuk memiliki kandungan gizi yang lebih banyak daripada saat tanaman ini berbentuk daun mentah. *Trees for life*, yang merupakan sebuah organisasi di Amerika melaporkan bahwa per gram daun kelor kering (bubuk) mengandung 10 kali vitamin A lebih banyak dari wortel, 17 kali kalsium lebih banyak dari susu, 25 kali lebih banyak zat besi dari bayam, 9 kali lebih banyak protein dari yogurt, dan 15 kali lebih banyak potasium dari pisang (Thurber dan Fahey, 2009). Selain itu, telah diidentifikasi bahwa daun kelor mengandung antioksidan tinggi dan antimikroba (Das dkk., 2012). Hal ini disebabkan oleh adanya kandungan asam askorbat, flavonoid, phenolic, dan

karatenoid (Moyo, 2012). Perbandingan kandungan gizi daun kelor segar dan kering dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kandungan Nutrisi Daun Kelor Segar dan Kering Per 100 Gram

Kandungan Nutrisi	Daun Segar	Daun Kering
Kalori (cal)	92	329
Protein (g)	6.7	29.4
Lemak (g)	1.7	5.2
Karbohidrat (g)	12.5	41.2
Serat (g)	0,9	12.5
Kalsium (mg)	440	2185
Magnesium(mg)	42	448
Phospor (mg)	70	225
Potassium (mg)	259	1236
Tembaga (mg)	0.07	0.49
Besi (mg)	0.85	25.6
Sulphur (mg)	-	-
Vitamin B1 (mg)	0.06	2.02
Vitamin B2 (mg)	0.05	21.3
Vitamin B3 (mg)	0.8	7.6
Vitamin C (mg)	220	15.8
Vitamin E (mg)	448	10.8

(Gopalakrishnan dkk., 2016)

2.1.3. Manfaat Tanaman Kelor

Kelor tidak hanya kaya akan nutrisi akan tetapi juga memiliki sifat fungsional karena tanaman ini mempunyai khasiat dan manfaat buat kesehatan manusia. Baik kandungan nutrisi maupun berbagai zat aktif yang terkandung dalam tanaman ini dapat dimanfaatkan untuk kepentingan makhluk hidup dan lingkungan. Oleh karena itu kelor mendapat julukan sebagai “*miracle tree*” (Fuglie, 2001). Disamping itu,. Kelor sangat berpotensi digunakan dalam pangan, kosmetik dan industri (Anwar dkk., 2007).

Di beberapa wilayah di Indonesia, utamanya Indonesia bagian timur kelor dikonsumsi sebagai salah satu menu sayuran. Di Filipina, daun kelor sangat terkenal dikonsumsi sebagai sayuran dan dapat berfungsi meningkatkan jumlah ASI (air susu ibu) pada ibu menyusui sehingga mendapat julukan *Mother’s Best Friend* (Jongrungruangchok dkk, 2010). Hal ini disebabkan karena daun kelor

mengandung unsur zat gizi mikro yang sangat dibutuhkan oleh ibu hamil, seperti beta (B3), kalsium, zat besi, fosfor, magnesium, seng, vitamin C, sebagai alternatif untuk meningkatkan status gizi ibu hamil.

Sebagai pangan fungsional, bagian daun, kulit batang, biji hingga akar dari tanaman kelor tidak hanya sebagai sumber nutrisi tetapi juga berfungsi sebagai herbal buat kesehatan yang sangat berkhasiat (Simbolan dkk., 2007). Saat ini penelitian dan uji klinis tentang fungsi kelor sebagai obat mulai berkembang meskipun manfaat dan khasiatnya belum banyak diketahui oleh masyarakat.

Penemuan terbaru adalah fungsi daun kelor sebagai farmakologis, yaitu antimikroba, antijamur, antihipertensi, antihyperglukemik, antitumor, antikanker, anti-inflamasi (Toma dan Deyno, 2014). Hal ini karena adanya kandungan diantaranya asam askorbat, flavonoid, phenolic, dan karetonoid. Selain itu hasil penelitian telah menunjukkan bahwa ekstrak daun kelor dapat berfungsi sebagai antidiare (*antidiarrheal activity*) dengan dosis oral 300 mg/kg berat badan (Misra dkk., 2014).

2.2. Pengerinan

2.2.1. Definisi Pengerinan

Salah satu jenis pengawetan yang baik tanpa bahan kimia adalah dengan pengerinan. Selain untuk pengawetan maka proses pengerinan juga diperlukan sebelum bahan diolah lebih lanjut. Pengerinan dengan cara tradisional dengan menjemur langsung terkena sinar matahari memiliki beberapa kekurangan, antara lain membutuhkan waktu yang cukup lama, tempat yang luas karena material tidak dapat ditumpuk dan proses pengerinan yang sangat tergantung pada kondisi cuaca (Murti, 2010).

Proses pengerinan merupakan proses pengeluaran air dari bahan pertanian menuju kadar air keseimbangan dengan udara di sekelilingnya atau pada tingkat dimana mutu bahan pertanian dapat dijaga dari serangan kapang, aktivitas serangga, dan enzim (Henderson dan Perry, 1976). Menurut Pinem (2004) pengerinan merupakan proses penurunan kadar air bahan sampai mencapai kadar air tertentu sehingga dapat memperlambat laju kerusakan produk akibat aktivitas biologi dan kimia. Proses pengerinan adalah salah satu tahapan utama dalam

proses pembuatan tepung. Proses pengeringan membutuhkan panas untuk memisahkan cairan dari bahan. Kebutuhan panas biasanya diperoleh dari kondisi pengeringan pada temperatur tinggi, namun beberapa jenis bahan pangan mudah mengalami kerusakan dan penurunan kualitas pada temperatur tinggi (Rukmana dan Bindar, 2017).

2.2.2. Tujuan Pengeringan

Tujuan dari pengeringan adalah untuk untuk pengawetan. Selain itu, tujuan dari pengeringan 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.

2.2.3. 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 pemidahan 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).

Berikut faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengeringan (Misha dkk., 2014) yaitu:

1. Luas Permukaan

Menurut Misha dkk. (2014) air menguap melalui permukaan bahan, sedangkan air yang ada di bagian tengah akan merembes ke bagian permukaan dan kemudian menguap. Untuk mempercepat pengeringan umumnya bahan pangan yang akan dikeringkan dipotong-potong atau diiris - iris terlebih dulu. Hal ini terjadi karena:

- a. Pemotongan atau pengirisan tersebut akan memperluas permukaan bahan dan permukaan yang luas dapat berhubungan dengan medium pemanasan sehingga air mudah keluar.
- b. Potongan - potongan kecil atau lapisan yang tipis mengurangi jarak dimana panas harus bergerak sampai ke pusat bahan pangan. Potongan kecil juga akan mengurangi jarak melalui massa air dari pusat bahan yang harus keluar ke permukaan bahan dan kemudian keluar dari bahan.

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 (Misha dkk., 2014).

3. Kecepatan Aliran Udara

Udara yang bergerak dan mempunyai gerakan yang tinggi selain dapat mengambil uap air juga akan menghilangkan uap air tersebut dari permukaan bahan pangan, sehingga akan mencegah terjadinya atmosfer jenuh yang akan memperlambat penghilangan air. Apabila aliran udara di sekitar tempat

pengeringan berjalan dengan baik, proses pengeringan akan semakin cepat, yaitu semakin mudah dan cepat uap air terbawa dan teruapkan (Misha dkk., 2014).

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 di sekitar pengeringan akan lembab, sehingga kemampuan menampung uap air terbatas dan menghambat proses atau laju pengeringan (Misha dkk., 2014).

2.2.4. 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).

Persamaan untuk menentukan laju pengeringan antara lain:

$$R = \frac{\Delta W}{A \times \Delta t} \dots\dots\dots(\text{McCabe dkk., 1993})$$

Di mana:

- R = Laju pengeringan ($\text{Kg}/\text{m}^2\text{Jam}$)
 Δw = Massa air yang menguap (kg)
 A = Luas permukaan (m^2)
 Δt = waktu pengeringan (Jam)

Dalam proses pengeringan, air yang diuapkan terdiri dari 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).

2.2.5. Macam-Macam Proses Pengeringan

Earle (1982) menyatakan bahwa proses pengeringan terbagi menjadi tiga kategori, yaitu:

1. Pengeringan Udara

Pengeringan udara adalah pengeringan yang berhubungan langsung di bawah tekanan atmosfer. Pada pengeringan ini panas dipindahkan menembus bahan, baik dari udara maupun dari permukaan yang dipanaskan.

2. Pengeringan Hampa Udara

Pengeringan hampa udara yaitu panas dipindahkan secara konduksi dan terjadi lebih cepat pada tekanan rendah.

3. Pengeringan Beku

Pada pengeringan beku, uap disublimasikan keluar dari bahan pangan beku. Struktur bahan pangan tetap dipertahankan, suhu dan tekanan yang sesuai harus dipersiapkan dalam mesin pengering untuk menjamin terjadinya proses sublimasi.

Berdasarkan ketebalan lapisan, proses pengeringan dibagi menjadi dua proses antara lain:

1. Pengeringan Lapisan Tebal

Pengeringan lapisan tebal adalah pengeringan yang di dalam prosesnya terdapat gradien kadar air pada lapisan pengeringan untuk setiap waktu (Henderson dan Perry, 1976). Brooker dkk. (1974) menyatakan bahwa pada awal proses pengeringan, pengeringan terjadi pada lapisan paling bawah. Kemudian selanjutnya proses pengeringan terjadi pada lapisan yang ada di atasnya. Ketika pengeringan telah terjadi pada semua lapisan, semua bahan telah dikeringkan sampai terjadi keseimbangan dengan udara pengering. Pengeringan lapisan tebal biasanya digunakan untuk pengeringan biji-bijian, dimana bahan ditumpuk

sampai ketinggian tertentu. Udara pengering bergerak dari bawah tumpukan ke bagian atas melewati bahan yang akan dikeringkan.

2. Pengeringan Lapisan Tipis

Henderson dan Perry (1976) menyatakan bahwa pengeringan lapisan tipis adalah pengeringan yang terjadi pada seluruh bahan dalam lapisan tersebut dapat menerima langsung aliran udara pengering yang melewatinya dengan kelembaban relatif dan suhu yang konstan. Pengeringan lapisan tipis didasarkan pada pengeringan bahan yang sepenuhnya terbuka terhadap hembusan udara yang menyebabkan semua bahan dalam lapisan tersebut mengalami pengeringan secara seragam. Aliran udara pada proses pengeringan bergerak secara vertikal. Perubahan kadar air bahan selama proses pengeringan lapisan tipis dapat diduga dengan mengembangkan model matematik baik secara teoritis, semi teoritis, dan empiris.

Beberapa metode pengeringan menggunakan alat pengering memang telah terbukti efektif jika dibandingkan dengan pengeringan tradisional (Darniati dkk., 2015). 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/m^2 . 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 temperature 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).

2.2.6. Pemilihan Tipe Alat Pengering

Hal pertama yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan suatu alat pengering adalah kemampuan operasinya. Alat pengering harus menghasilkan produk yang sesuai dengan bentuk dan laju pengeringan yang diinginkan. (McCabe dkk., 1993). Menurut Keey (1972) dalam Mujumdar (2006) terdapat tiga faktor yang dapat dipergunakan dalam mengelompokkan alat pengering antara lain:

1. Cara bagaimana panas disuplai untuk material.
2. Temperatur dan tekanan operasi (temperatur tinggi, menengah, atau rendah; pengeringan vakum atau atmosferik).
3. Cara bagaimana material dikelola di dalam alat pengering.

Sclunder (1982) mengklasifikasikan alat pengering dilihat dari lamanya waktu tinggal bahan di dalam alat pengering. Alat pengering yang digunakan untuk proses pengeringan dengan waktu yang singkat (kurang dari satu menit) adalah *flash dryer*, *spray dryer* atau *drum dryer*. Alat pengering yang digunakan untuk proses pengeringan yang lama (lebih dari satu jam) adalah *tunnel dryer*, *truck dryer*, dan *conveyor dryer*. Penggunaan alat pengering berdasarkan bentuk bahan yang dikeringkan dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Penggunaan Alat Pengering berdasarkan Bentuk Bahan

<i>Nature of Feed</i>	<i>Liquid</i>			<i>Cakes</i>		<i>Free Flowing Solids</i>					<i>Formed Solid</i>
	<i>Solution</i>	<i>Slurry</i>	<i>Paste</i>	<i>Cenntrifuge</i>	<i>Filter</i>	<i>Powder</i>	<i>Granule</i>	<i>Fragile Crystal</i>	<i>Pellet</i>	<i>Fiber</i>	
<i>Convective Dryer</i>											
<i>Belt Conveyer Dryer</i>							×	×	×	×	×
<i>Flash dryer</i>				×	×	×	×			×	
<i>Fluid Bed Dryer</i>	×	×		×	×	×	×		×		
<i>Rotary Dryer</i>				×	×	×	×		×	×	
<i>Spray Dryer</i>	×	×	×								
<i>Tray Dryer (Batch)</i>				×	×	×	×	×	×	×	×
<i>Tray Dryer (Continuous)</i>				×	×	×	×	×	×	×	
<i>Conductive Dryer</i>											
<i>Drum Dryer</i>	×	×	×								
<i>Steam Jacket Rotary Dryer</i>				×	×	×	×		×	×	
<i>Steam Tube Rotary Dryer</i>				×	×	×	×		×	×	
<i>Tray Dryer (Batch)</i>				×	×	×	×	×	×	×	×
<i>Tray Dryer (Continuous)</i>				×	×	×	×	×	×	×	

(Mujumdar, 2006)

2.3. Photovoltaic Tray Dryer

2.3.1. 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.

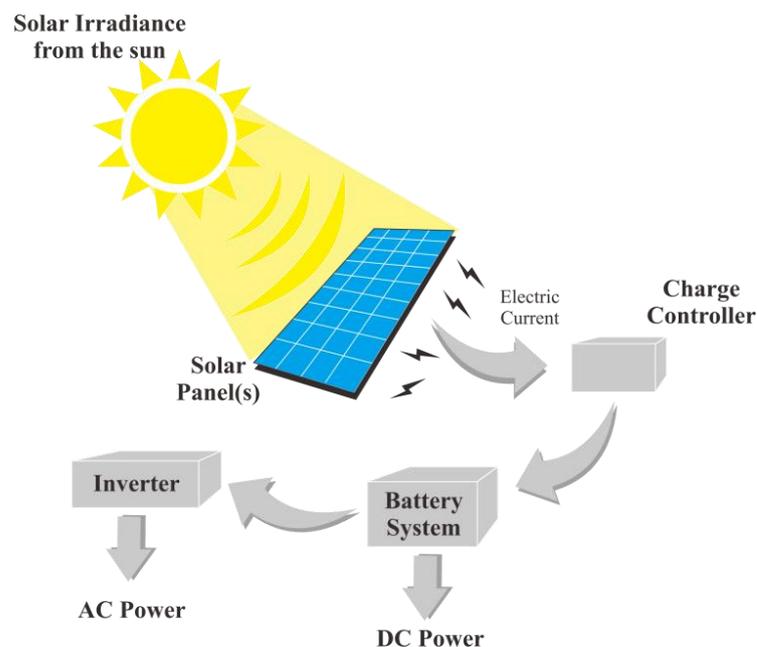
Energi surya merupakan salah satu energi yang sedang giat dikembangkan saat ini oleh Pemerintah Indonesia karena sebagai negara tropis, Indonesia memiliki potensi energi surya yang besar. Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia, radiasi surya di Indonesia dapat 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 2.2.



Gambar 2.2 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 matahari 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 mikrokristal-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 polykristal. 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).

2.3.2. *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.

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* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Alat *Photovoltaic Tray Dryer*

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