

## BAB II

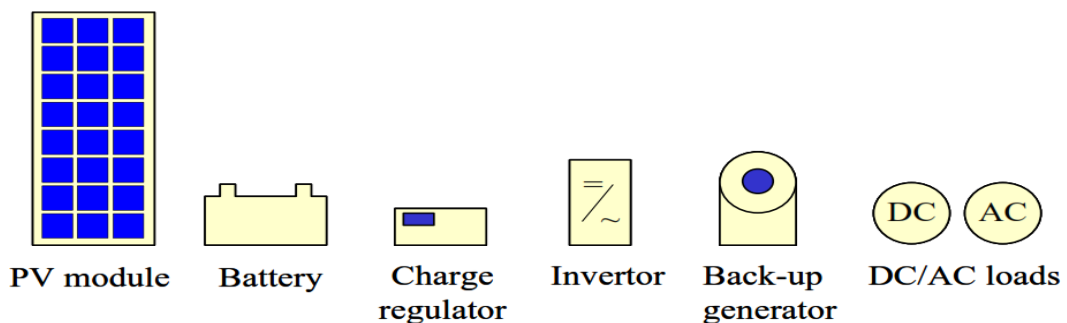
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pengertian Sel Surya ( Fotovoltaik )

Panel surya merupakan pembangkit listrik yang mampu mengkonversi penyinaran matahari yang diubah menjadi arus listrik. Panel surya juga memiliki kelebihan menjadi sumber energi yang praktis dan ramah lingkungan mengingat tidak membutuhkan transmisi seperti jaringan listrik konvensional, karena dapat dipasang secara modular di setiap lokasi yang membutuhkan. Ketinggian tempat dari permukaan laut, suhu udara, kabut (berawan tebal), kadar polusi udara dan intensitas matahari adalah faktor-faktor yang banyak mempengaruhi nilai arus dan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya. Posisi kemiringan panel surya juga dapat menentukan daya yang di hasilkan panel surya. Kemiringan panel surya dapat ditentukan dari garis lintang lokasi pemasangan panel surya. (Zian, 2018)

##### 2.1.1 Teknologi Energi Surya Fotovoltaik

Kolektor surya komersial yang umumnya dikenal dunia saat ini adalah modul fotovoltaik. Modul fotovoltaik adalah salah satu bagian dari *PV solar system*. Modul fotovoltaik merupakan bagian inti dari sistem pembangkit tenaga surya, seperti halnya generator yang mengkonversi suatu bentuk energi ke bentuk energi lainnya. Dalam *PV system* dibutuhkan baterai, *charge regulator*, inverter dan beban AC/DC sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *PV Solar system*

(Sumber : Zeman, Miro. 2011. *Solar Cells*)

Sel surya fotovoltaik adalah peralatan yang mampu mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi listrik. Saat kondisi gelap atau tidak cukup cahaya sel

surya berfungsi seperti dioda, dan saat disinari dengan cahaya matahari sel surya dapat menghasilkan tegangan. Ketika disinari, umumnya satu sel surya komersial menghasilkan tegangan DC sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus short-circuit dalam skala milliampere per  $\text{cm}^2$ . Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya. Satu modul surya biasanya terdiri dari 28-36 sel surya, dan total menghasilkan tegangan DC sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar (Zeman, Miro. 2011). Adapun komponen dari sel surya dijelaskan sebagai berikut:

#### 1. Substrat/*Metal backing*

Substrat adalah material yang menopang seluruh komponen sel surya. Material substrat juga harus mempunyai konduktifitas listrik yang baik karena juga berfungsi sebagai kontak terminal positif sel surya, sehingga umumnya digunakan material metal atau logam seperti aluminium atau molybdenum.

#### 2. Material semikonduktor

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari sel surya yang biasanya mempunyai tebal sampai beberapa ratus mikrometer untuk sel surya generasi pertama (silikon), dan 1-3 mikrometer untuk sel surya lapisan tipis. Material semikonduktor inilah yang berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari. Material semikonduktor yang umum digunakan adalah material silikon, yang umum diaplikasikan di industri elektronik.

#### 3. Kontak metal / *contact grid*

Selain substrat sebagai kontak positif, diatas sebagian material semikonduktor biasanya dilapiskan material metal atau material konduktif transparan sebagai kontak negatif.

#### 4. Lapisan antireflektif

Refleksi cahaya harus diminimalisir agar mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semikonduktor. Oleh karena itu biasanya sel surya dilapisi oleh lapisan anti-refleksi. Material anti-refleksi ini adalah lapisan tipis material dengan besar indeks refraktif optik antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan cahaya dibelokkan ke arah semikonduktor sehingga meminimumkan cahaya yang dipantulkan kembali.

#### 5. Enkapsulasi / *cover glass*

Bagian ini berfungsi sebagai enkapsulasi untuk melindungi modul surya dari hujan atau kotoran.

## 2.2 Pengeringan

Pengeringan merupakan proses pengurangan kadar air suatu bahan hingga mencapai kadar air tertentu (Trayball E.Robert, 1981). Parameter-parameter yang mempengaruhi proses pengeringan antara lain waktu pengeringan, suhu, kelembaban udara, laju aliran udara, kadar air awal bahan dan kadar air bahan kering (Hall, 1957).

Dasar proses pengeringan adalah terjadinya penguapan air bahan ke udara karena perbedaan kandungan uap air antara udara dengan bahan yang dikeringkan. Agar suatu bahan dapat menjadi kering, maka udara harus memiliki kandungan uap air atau kelembaban yang lebih rendah dari bahan yang akan dikeringkan.

Buckle, et al., (1987). Menyatakan bahwa kecepatan pengeringan suatu bahan dipengaruhi oleh beberapa factor, antara lain : (1) sifat fisik bahan, (2) pengaturan geometris produk sehubungan dengan permukaan alat atau media perantara pemindahan panas, (3) sifat-sifat dari lingkungan alat pengering (suhu, kelembaban dan kecepatan udara, serta (4) karakteristik alat pengering (efisiensi perpindahan panas).

Menurut Brooker, et al., (1974), beberapa parameter yang mempengaruhi waktu yang dibutuhkan dalam proses pengeringan, antara lain :

### a. Suhu Udara Pengering

Laju penguapan air bahan dalam pengeringan sangat ditentukan oleh kenaikan suhu. Bila suhu pengeringan dinaikkan maka panas yang dibutuhkan untuk penguapan air bahan menjadi berkurang. Suhu udara pengering berpengaruh terhadap lama pengeringan dan kualitas bahan hasil pengeringan. Makin tinggi suhu udara pengering maka proses pengeringan makin singkat. Biaya pengeringan dapat ditekan pada kapasitas yang besar jika digunakan pada suhu tinggi, selama suhu tersebut sampai tidak merusak bahan.

### b. Kelembaban Relatif Udara Pengering

Kelembaban udara berpengaruh terhadap pemindahan cairan dari dalam ke permukaan bahan. Kelembaban relative juga menentukan besarnya tingkat kemampuan udara pengering dalam menampung uap air di permukaan bahan.

Semakin rendah RH udara pengering, maka makin cepat pula proses pengeringan yang terjadi, karena mampu menyerap dan menampung uap air lebih banyak dari pada udara dengan RH yang tinggi.

Laju penguapan air dapat ditentukan berdasarkan perbedaan tekanan uap air pada udara yang mengalir dengan tekanan uap air pada permukaan bahan yang dikeringkan. Tekanan uap jenuh ini ditentukan oleh besarnya suhu dan kelembaban relative udara. Semakin tinggi suhu, kelembaban relatifnya akan turun sehingga tekanan uap jenuhnya akan naik dan sebaliknya.

c. Kecepatan Aliran Udara Pengering

Pada proses pengeringan, udara berfungsi sebagai pembawa panas untuk menguapkan kandungan air pada bahan serta mengeluarkan uap air tersebut. Air dikeluarkan dari bahan dalam bentuk uap dan harus secepatnya dipindahkan dari bahan. Bila tidak segera dipindahkan maka air akan menjenuhkan atmosfer pada permukaan bahan, sehingga akan memperlambat pengeluaran air selanjutnya. Aliran udara yang cepat akan membawa uap air dari permukaan bahan dan mencegah uap air tersebut menjadi jenuh di permukaan bahan. Semakin besar volume udara yang mengalir, maka semakin besar pula kemampuannya dalam membawa dan menampung air di permukaan bahan.

d. Kadar Air Bahan

Pada proses pengeringan sering dijumpai adanya variasi kadar air bahan. Variasi ini dapat dipengaruhi oleh tebalnya tumpukan bahan, RH udara pengering serta kadar air awal bahan. Hal tersebut dapat diatasi dengan cara : (1) mengurangi ketebalan tumpukan bahan, (2) menaikkan kecepatan aliran udara pengering, (3) pengadukan bahan.

Pengeringan yang terlampau cepat dapat merusak bahan, oleh karena permukaan bahan terlalu cepat kering sehingga kurang bisa diimbangi dengan kecepatan gerakan air di dalam bahan yang menuju permukaan bahan tersebut. Adanya pengeringan cepat menyebabkan pengerasan pada permukaan bahan, selanjutnya air di dalam bahan tersebut tidak dapat lagi menguap karena terhambat.

Dalam pengeringan, keseimbangan kadar air menentukan batas akhir dari proses pengeringan. Kelembaban udara nisbi serta suhu udara pada bahan kering

biasanya mempengaruhi keseimbangan kadar air. Pada saat kadar air seimbang, penguapan air pada bahan akan berhenti dan jumlah molekul - molekul air yang akan diuapkan sama dengan jumlah molekul air yang diserap oleh permukaan bahan. Laju pengeringan amat bergantung pada perbedaan antara kadar air bahan dengan kadar air keseimbangan. Semakin besar perbedaan suhu antara medium pemanas dengan bahan semakin cepat pindah panas ke bahan dan semakin cepat pula penguapan air dari bahan. Pada proses pengeringan, air dikeluarkan dari bahan dapat berupa uap air. Uap air tersebut harus segera dikeluarkan dari atmosfer di sekitar bahan 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.

### **2.2.1 Mekanisme Pengeringan**

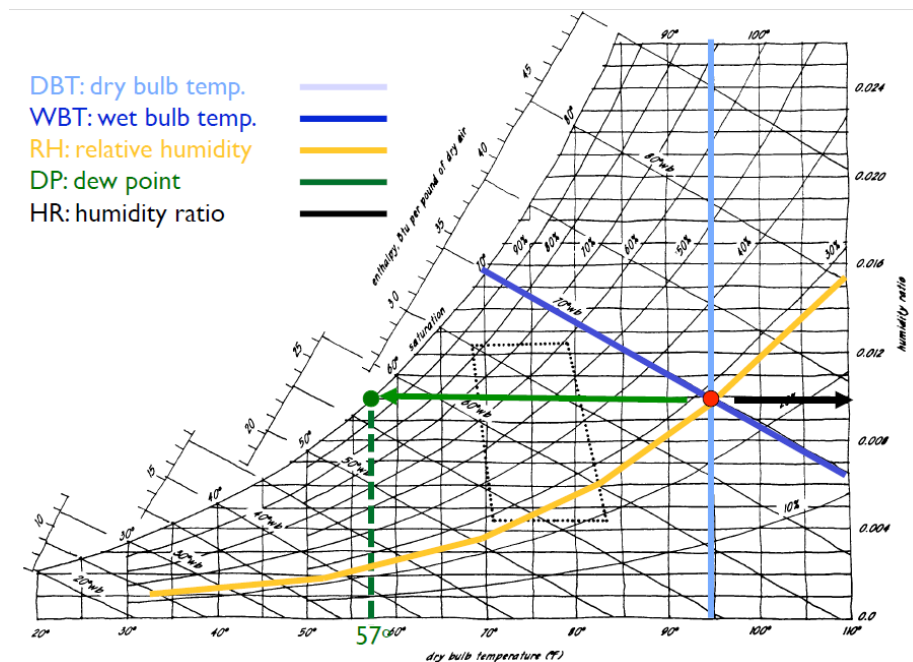
Mekanisme pengeringan diterangkan melalui teori tekanan uap. Air yang diuapkan terdiri dari air bebas dan air terikat. Air bebas berada di permukaan dan yang pertama kali mengalami penguapan. Bila air permukaan telah habis, maka terjadi migrasi air dan uap air dari bagian dalam bahan secara difusi. Migrasi air dan uap terjadi karena perbedaan tekanan uap pada bagian dalam dan bagian luar bahan (Handerson dan Perry, 1976).

Sebelum proses pengeringan berlangsung, tekanan uap air di dalam bahan berada dalam keseimbangan dengan tekanan uap air di udara sekitarnya. Pada saat pengeringan dimulai, uap panas yang dialirkan meliputi permukaan bahan akan menaikkan tekanan uap air, terutama pada daerah permukaan, sejalan dengan kenaikan suhunya.

Pada saat proses ini terjadi, perpindahan massa dari bahan ke udara dalam bentuk uap air berlangsung atau terjadi pengeringan pada permukaan bahan. Setelah itu tekanan uap air pada permukaan bahan akan menurun. Setelah kenaikan suhu terjadi pada seluruh bagian bahan, maka terjadi pergerakan air secara difusi dari bahan ke permukaannya dan seterusnya proses penguapan pada permukaan bahan diulang lagi. Akhirnya setelah air bahan berkurang, tekanan uap air bahan akan menurun sampai terjadi keseimbangan dengan udara sekitarnya.

Selama proses pengeringan terjadi penurunan suhu bola kering udara, disertai dengan kenaikan kelembaban mutlak, kelembaban nisbi, tekanan uap dan suhu

pengembunan udara pengering. Entalpi dan suhu bola basah udara pengering tidak menunjukkan perubahan sebagaimana yang ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 2. Kurva Psikometrik Proses Pengeringan

(Sumber : Perry's Chemical Handbook, 1989)

### 2.2.2 Periode Pengeringan

Menurut Henderson dan Perry (1995), proses pengeringan mempunyai dua periode utama yaitu periode pengeringan dengan laju pengeringan tetap dan periode pengeringan dengan laju pengeringan menurun. Kedua periode utama ini dibatasi oleh kadar air kritis. Pada periode pengeringan dengan laju tetap, bahan mengandung air yang cukup banyak, dimana pada permukaan bahan berlangsung penguapan yang lajunya dapat disamakan dengan laju penguapan pada permukaan air bebas. Laju penguapan sebagian besar tergantung pada keadaan sekeliling bahan, sedangkan pengaruh bahannya sendiri relatif kecil.

Laju pengeringan akan menurun seiring dengan penurunan kadar air selama pengeringan. Jumlah air terikat makin lama semakin berkurang. Perubahan dari laju pengeringan tetap menjadi laju pengeringan menurun untuk bahan yang berbeda akan terjadi pada kadar air yang berbeda pula.

Laju pengeringan menurun terjadi setelah laju pengeringan konstan dimana kadar air bahan lebih kecil daripada kadar air kritis. Periode laju pengeringan

menurun meliputi dua proses yaitu : perpindahan dari dalam ke permukaan dan perpindahan uap air dari permukaan bahan ke udara sekitarnya.

## **2.3 Jenis Pengeringan**

### **2.3.1 Pengeringan Langsung**

Aplikasi pengeringan yang paling disesuaikan yang diterapkan sejak zaman kuno adalah pengeringan matahari terbuka. Dalam metode pengeringan tradisional, yaitu dengan sinar matahari terbuka, semua produk tersebar pada permukaan yang tepat dan langsung dikeringkan di bawah matahari. Meskipun ini adalah metode termurah dan paling banyak diterapkan tetapi jenis pengeringan ini membutuhkan tenaga kerja manual yang sangat besar dan sering mengakibatkan kontaminasi makanan oleh debu dan kotoran yang tertiuap angin, merusak burung atau hewan pengerat, degradasi nutrisi dan kualitas tidak teratur. Sinar matahari langsung menghancurkan beberapa vitamin, enzim, dan yang lebih rapuh menyebabkan makanan kehilangan warna. Tingkat pengeringan yang rendah pengeringan matahari terbuka menghasilkan produk kering berkualitas rendah dalam hal warna, aroma dan tekstur. Dapat disimpulkan bahwa pengeringan matahari terbuka bukanlah cara yang tepat untuk aplikasi pengeringan.



Gambar 3. Pengeringan Secara Langsung

*(Sumber :gambar ketika observasi)*

### **2.3.2 Pengeringan Tidak Langsung**

Solar Drying adalah alternatif yang tepat dari teknologi pengeringan. Telah terbukti menjadi alternatif yang efisien untuk sistem pengeringan tradisional,

terutama di daerah yang baik sinar matahari seperti Indonesia. Solar mengacu pada metode penggunaan energi matahari untuk pengeringan di zona tertutup yang membutuhkan suhu rendah hingga sedang di bawah 80°C. Aplikasi pengering surya mampu mengurangi polusi atmosfer akibat bahan bakar fosil konvensional. Oleh karena itu, penggunaan sistem panas matahari untuk pengeringan telah terbukti praktis, ekonomis dan ramah lingkungan terutama di daerah terpencil di mana energi surya adalah satu-satunya sumber panas.

Proses pengeringan pada dasarnya melibatkan 3 mode pemanasan yang terjadi secara bersamaan di dalam pengering surya. Panas ditransfer ke pengering surya melalui konveksi, konduksi dan radiasi.

#### 2.4 Tipe-Tipe Alat Pengering

Menurut McCabe, dkk : 1899, dari banyak jenis pengering komersial yang tersedia, hanya sejumlah kecil jenis penting yang akan dipertimbangkan disini. Kelompok pertama dan yang lebih besar terdiri dari pengering untuk padatan kaku atau granular dan pasta semi padat ; kelompok kedua terdiri dari pengering yang dapat menerima umpan cair bubuk.

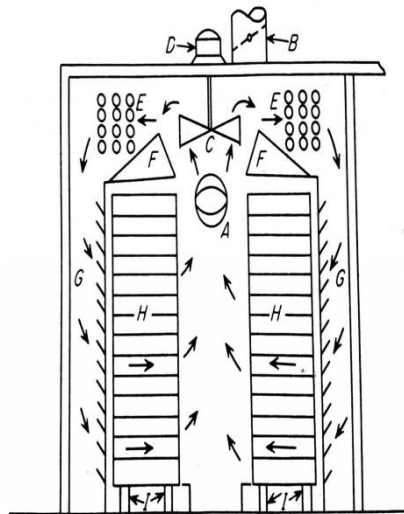
##### 1. Pengering untuk Padatan dan Pasta

Tipe pengering untuk padatan dan pasta termasuk *tray dryer* dan *screen-conveyer dryer* untuk material yang tidak dapat diaduk dan *tower, rotary, screw-conveyer, fluid bed*, dan *flash dryer* jika agitasi diizinkan.

##### a. Tray Dryer

*Tray Dryer* secara *batch* dapat dilihat pada gambar 4. Terdiri dari ruang persegi panjang dari lembaran logam yang terdiri dari dua beban yang mendukung rak H. setiap rak membawa sejumlah baki dangkal, kira-kira 750 mm (30 inchi) persegi dan 50 hingga 150 mm (2 hingga 6 inchi) yang di dalamnya dimuat bahan yang akan dikeringkan. Udara panas diedarkan pada 2 sampai 5 m/s (7 hingga 15 ft/s) antara baki dengan kipas C dan motor D dan melewati pemanas E. Baffles G mendistribusikan udara secara seragam di atas tumpukan baki. Beberapa udara lembab terus menerus dibuang melalui saluran buang B; *makeup* udara segar masuk melalui inlet A. Rak-rak dipasang roda pada I, sehingga pada akhir siklus pengeringan dapat ditarik keluar ruangan dan dibawa ke stasiun pembuangan nampun.





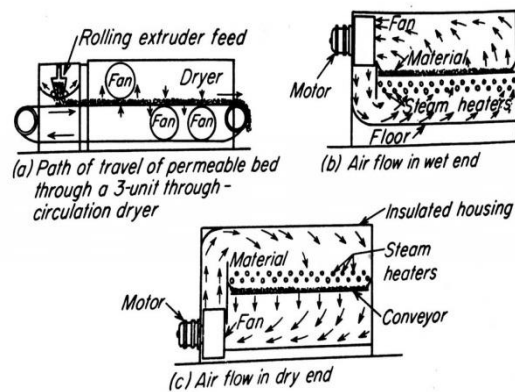
Gambar 4. *Tray Dryer*

(Sumber : McCabe dkk, 1899)

*Tray Dryer* berguna ketika tingkat produksi kecil. Jenis ini dapat mengeringkan semua hal, tetapi karena tenaga kerja yang diperlukan untuk bongkar muat, jenis ini mahal dalam operasi. Aplikasi ini sering ditemukan pada produk berharga seperti pewarna dan obat-obatan. Pengeringan dengan melintasi lapisan stasioner padat lambat, dan siklus pengeringan panjang : 4 hingga 48 jam.

b. *Screen-Conveyor Dryers*

Tipe sirkulasi sebuah *screen-conveyor dryer* ditunjukkan pada Gambar 5. Ketebalan 25 sampai 150 mm (1 hingga 6 inch). Material tebal yang akan dikeringkan secara perlahan dibawa pada *screen* logam yang bergerak melalui ruang pengering atau terowongan yang panjang. Terowongan ini terdiri dari serangkaian bagian yang terpisah, masing-masing dengan kipas dan pemanas udara sendiri. Pada ujung inlet pengering udara biasanya melewati ke atas *screen* padatan; dekat ujung pembuangan, dimana material kering dan mungkin berdebu, udara dilewatkan ke bawah melalui *screen*. Suhu dan kelembaban udara mungkin berbeda di beberapa bagian, untuk memberikan kondisi pengeringan yang optimal di setiap titik.

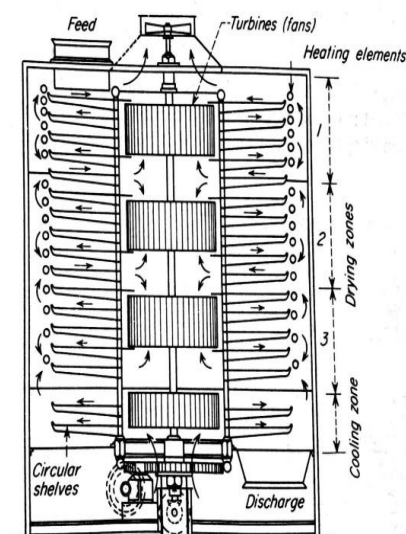


Gambar 5. Screen-Conveyor Dryer

(Sumber : McCabe dkk, 1899)

### c. Tower Dryer

*Turbodryer* diilustrasikan pada Gambar 6 adalah *tower dryer* dengan resirkulasi internal gas pemanas. Kipas turbin mengalirkan udara atau gas keluar di antara beberapa baki, elemen pemanas, dan ke dalam di antara baki-baki lain. Kecepatan gas diantara 0,6 hingga 2,4 m/d (2 hingga 8 ft/d). Dua baki bawah pengering yang ditunjukkan pada gambar di bawah yang merupakan bagian pendingin untuk padatan kering. Udara yang dipanaskan terlebih dahulu biasanya ditarik di bagian bawah menara dan dikeluarkan dari atas, memberikan aliran berlawanan. *Turbodryer* berfungsi sebagai dengan pengering *cross-circulation*, seperti dalam pengering baki, dan sebagian dengan menghujani partikel melalui gas panas saat mereka jatuh dari satu baki ke lainnya.

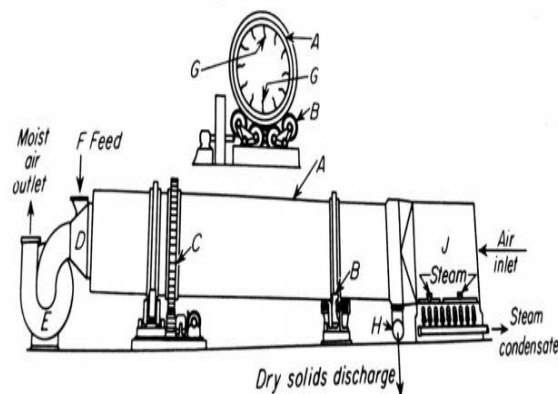


Gambar 6. Tower Dryer

Sumber : McCabe dkk, 1899

#### d. Rotary Dryers

*Rotary dryer* dengan pemanas udara adiabatic ditunjukkan pada Gambar 7 Cangkang A berputar terbuat dari baja lembaran didukung pada dua set rol B dan digerakkan oleh roda gigi dan pinion C. Pada ujung atas adalah tudung D, yang dihubungkan melalui kipas E ke tumpukan, dan cerat F yang membawa bahan basah dari hopper pakan. Bagian G, mengangkat material yang dikeringkan dan menghujannya melalui arus udara panas di dalam cangkang. Di ujung bawah luar produk kering dikeluarkan ke konveyor ulir H. tepat di luar konveyer ulir terdapat seperangkat pipa permukaan panjang yang dipanaskan dengan uap yang memanaskan udara. Udara yang dipindahkan mealalui pengeringan dengan kipas, jika diinginkan dibuang ke pemanas udara sehingga seluruh sistem berada d bawah tekanan positif. Atau kipas dapat ditempatkan di tumpukan seperti yang ditunjukkan, sehingga menarik udara melalui pengering dan menjaga sistem di bawah sedikit kekosongan, ini diinginkan ketika bahan cenderung berdebu.



Gambar 7. *Rotary Dryer*

(Sumber : McCabe dkk, 1899)

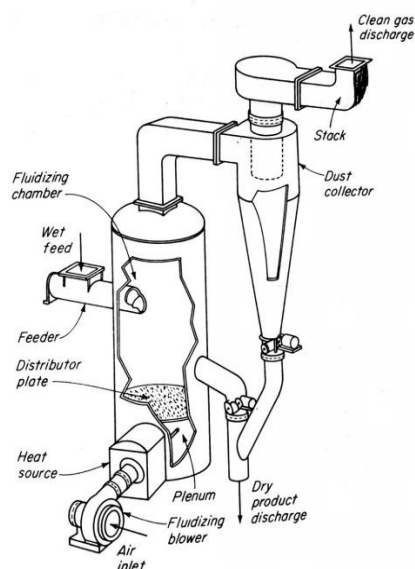
#### e. Screw-Conveyor Dryer

*Screw-conveyor dryer* adalah pengering panas tidak langsung kontinu, yang pada dasarnya terdiri dari konveyer sekrup horizontal (atau konveyer dayung) yang tertutup dalam selubung berjaket silinder. Pengumpanan paat dalam salah satu ujungnya disampaikan secara perlahan melalui zona panas dan dikeluarkan dari ujung lainnya. Uap yang dikembangkan ditarik melalui pipa-pipa yang dipasang di atap cangkang. Cangkangnya berdiameter 75 hingga 600 mm (3 hingga 24 in) dan panjangnya hingga 6 m (20 ft); ketika dibutuhkan lebih banyak konveyer, maka

satu di atas yang lainnya. Seringkali unit dasar seperti itu adalah pendinginan dimana air atau pendingin lain dalam jaket menurunkan suhu padatan yang dikeringkan sebelum dibuang.

f. *Fluid-Bed Dryer*

Pengering dimana padatan difluidisasi oleh gas pengering. Partikel-partikel difluidisasi oleh udara atau gas dalam unit mendidih, seperti ditunjukkan pada Gambar .. Perpaduan dan perpindahan panas sangat cepat. Pakan basah dimasukkan ke bagian atas, produk kering dikeluarkan dari samping, dekat bagian bawah. Dalam pengeringan yang ditunjukkan pada Gambar 8 ada distribusi acak waktu tinggal; waktu rata-rata partikel tetap pengeringan biasanya 30 sampai 120 detik ketika hanya cairan permukaan yang diuapkan dan 15 sampai 30 menit juga ada difusi internal. Partikel kecil pada dasarnya dipanaskan sampai keluar suhu umbi kering dari gas fluidisasi; akibatnya, bahan yang sensitif terhadap panas harus dikeringkan dalam media penskorsan yang relative dingin. Meski begitu, gas saluran masuk mungkin panas, karena gas itu bercampur dengan sangat cepat sehingga suhunya hamper seragam, pada suhu gas keluar, di seluruh lapisan. Jika partikel halus ada, baik dari umpan atau dari kerusakan partikel di unggun terfluidisasi, akan ada sisa padatan yang dapat dipertimbangkan dengan gas keluar dan filter kantong diperlukan untuk pemulihan.

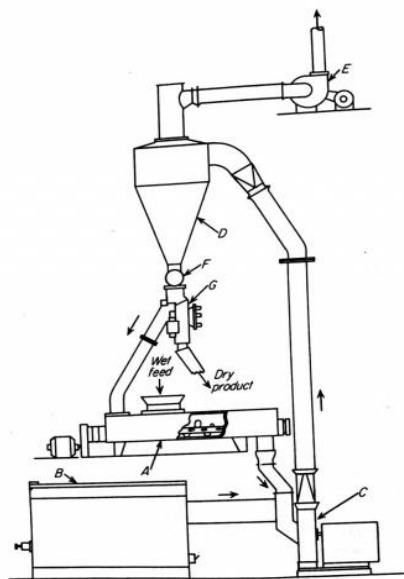


Gambar 8. *Fluid-Bed Dryer*

(Sumber : McCabe dkk, 1899)

g. *Flash Dryer*

Dalam pengeringan *flash dryer*, bubuk padat basah diangkut selama beberapa detik dalam aliran gas panas. Pengeringan jenis ini ditunjuk pada Gambar 9. Pengeringan terjadi selama transportasi. Laju perpindahan panas dari gas ke partikel padat tersuspensi tinggi, dan pengeringan cepat, sehingga tidak lebih dari 4 detik diperlukan untuk menguapkan secara substansial semua uap air dari padatan. Suhu gas tinggi sekitar  $650^{\circ}\text{C}$  ( $1200^{\circ}\text{F}$ ) selama pengeringan. Oleh karena itu *flash drying* dapat diterapkan pada bahan sensitif yang dalam pengering lain harus dikeringkan secara tidak langsung oleh media pemanas yang jauh lebih dingin.



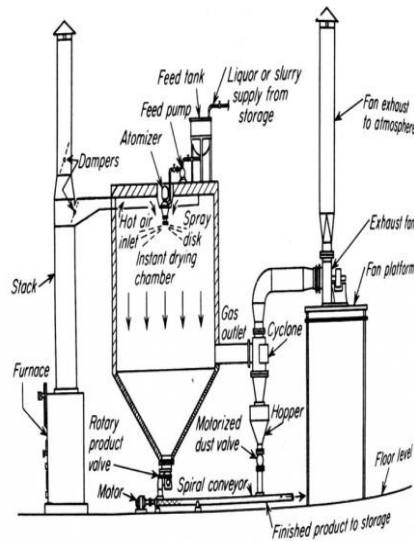
Gambar 9. *Flash Dryer*

(Sumber : McCabe dkk, 1899)

2. Pengering untuk Larutan dan Bubur

Beberapa jenis pengering menguapkan larutan dan bubur seluruhnya sampai kering dengan cara termal. Contoh umum adalah *spray dryer*, *thin-film dryer*, dan *drum dryer*.

a. *Spray Dryer*



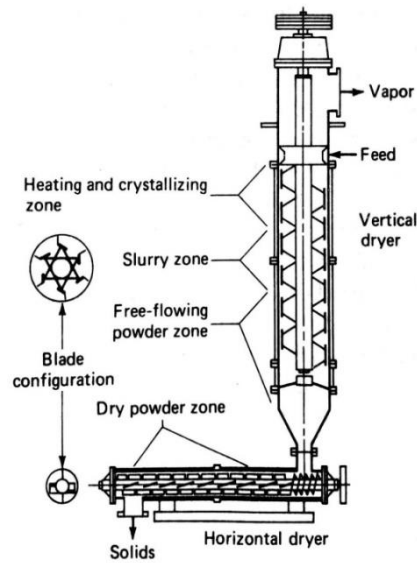
Gambar 10. *Spray Dryer*

Sumber : McCabe dkk, 1899

*Spray dryer* umumnya dapat dilihat pada Gambar 10 ruang adalah silinder dengan dasar kerucut pendek. Pakan cair dipompa ke alat *spray-disk atomizer* yang dipasang di atap bilik. Dalam pengeringan ini *spray-disk* berdiameter sekitar 300 mm (12 in), dan berputar pada 5.000 hingga 10.000 r/menit. Mengatomisasi cairan ke tetesan kecil, yang dilemparkan secara radial ke dalam aliran gas panas masuk dekat bagian atas ruangan. Gas yang didinginkan ditarik oleh kipas buang melalui horizontal. Gas melewati pemisah siklon dimana setiap partikel dari garis buangan padat diatur di sisi ruang di bagian bawah bagian silinder. Sebagian besar padatan kering mengendap dari gas ke bagian bawah ruang pengering, yang darinya dihilangkan dengan katup putar dan dikombinasikan dengan padatan apapun yang terkumpul dalam siklon.

b. *Thin-Film Dryer*

Efisiensi termal dari *thin-film dryer* tinggi, dan ada sedikit kehilangan padatan, karena sedikit atau tidak ada gas yang perlu ditarik unit. Mereka berguna dalam menghilangkan dan memulihkan pelarut dari produk padat. Harga relative mahal dan agak terbatas di daerah perpindahan panas. Gambar *thin-film dryer* pada Gambar 11.

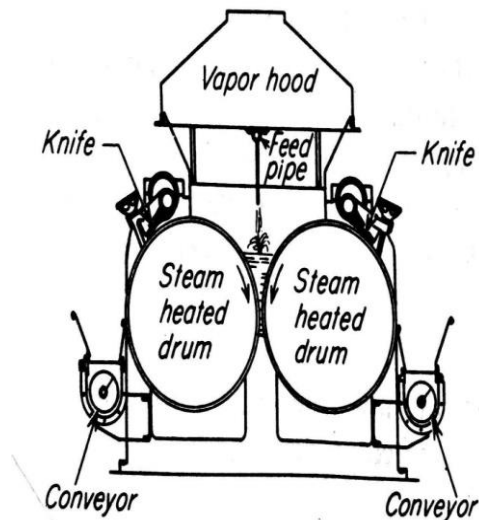


Gambar 11. *Thin-Film Dryer*

Sumber : McCabe dkk, 1899

c. *Drum Dryer*

*Drum drying* terdiri dari satu atau lebih rol yang dipanaskan di bagian luar dimana lapisan tipis cairan diuapkan hingga kering. Padatan kering tergores dari gulungan saat perlahan berputar. *Double drum dryer* adalah salah satu contoh *drum dryer* yang dapat dilihat pada Gambar 12.



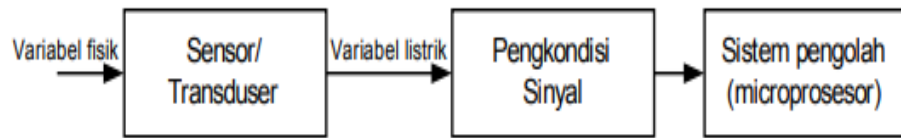
Gambar 12. *Double Drum Dryer*

Sumber : McCabe dkk, 1899

Semakin berkembangnya penggunaan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) maka muncullah teknologi yang memanfaatkan energi surya yaitu kolektor surya

dan fotovoltaik. Berdasarkan teknologi-teknologi di atas maka sistem yang digunakan peneliti adalah Menggunakan Sumber Daya Sel Surya Fotovoltaik.

## 2.5 Sensor dan Transduser



Gambar 13. Blok Fungsional Sensor / Transduser

(sumber : Setiawan, 2009)

Sensor dan transduser pada dasarnya dapat dipandang sebagai sebuah perangkat atau *device* yang berfungsi mengubah suatu besaran fisik menjadi besaran listrik, sehingga keluarannya dapat diolah dengan rangkaian listrik atau sistem digital. Proses sensor dan transduser dapat dilihat pada gambar 13. Sensor yang biasa digunakan adalah sebagai berikut : sensor *proximity*, sensor magnet, sensor sinar, sensor ultrasonik, sensor tekanan, sensor kecepatan, sensor penyandi, sensor suhu, dan sebagainya.

*Prototype* ini menggunakan sensor berupa sensor suhu dan sensor sinar. Sensor sinar digunakan pada panel surya fotovoltaik, sedangkan sensor suhu pada pengukuran temperatur dan RH.

### 1. Sensor Sinar



Gambar 14. Sensor Sinar

(Sumber : Fahmeeda, 2014)

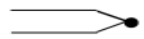
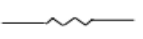
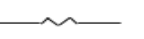

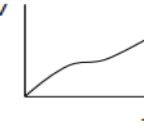
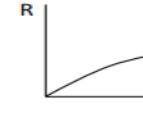
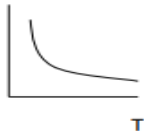
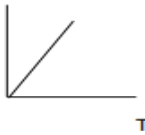
Sensor sinar terdiri dari 3 kategori. *Fotovoltaic* atau sel solar adalah alat sensor sinar yang mengubah energi sinar langsung menjadi energi listrik, dengan adanya penyinaran cahaya akan menyebabkan pergerakan elektron dan menghasilkan tegangan. Demikian pula dengan Fotokonduktif (fotoresistif) yang akan



memberikan perubahan tahanan (resistansi) pada sel-selnya, semakin tinggi intensitas cahaya yang diterima, maka akan semakin kecil pula nilai tahanan. Sedangkan Fotolistrik adalah sensor yang berprinsip kerja berdasarkan pantulan karena perubahan posisi/jarak suatu sumber sinar (inframerah atau laser) ataupun target pemantulnya, yang terdiri dari pasangan sumber cahaya dan penerima. Gambar sensor sinar dapat dilihat pada Gambar 14.

## 2. Sensor Suhu

Setiap sensor suhu memiliki temperatur kerja yang berbeda, untuk pengukuran suhu disekitar kamar yaitu antara  $-35^{\circ}\text{C}$  sampai  $150^{\circ}\text{C}$ , dapat dipilih NTC, PTC, transistor, dioda dan IC Hibrid. Untuk suhu menengah yaitu antara  $150^{\circ}\text{C}$  sampai  $700^{\circ}\text{C}$  dapat dipilih *thermocouple* dan RTD. Untuk suhu yang lebih tinggi sampai  $1500^{\circ}\text{C}$ , tidak memungkinkan lagi dipergunakan sensor-sensor kontak langsung, maka teknis pengukurannya dilakukan menggunakan cara radiasi. Untuk pengukuran suhu pada daerah sangat dingin dibawah  $65\text{K} = -208^{\circ}\text{C}$  ( $0^{\circ}\text{C} = 273,16\text{K}$ ) dapat digunakan resistor karbon biasa karena pada suhu ini karbon berlaku seperti semikonduktor. Untuk suhu antara  $65\text{K}$  sampai  $-35^{\circ}\text{C}$  dapat digunakan kristal silikon dengan kemurnian tinggi sebagai sensor. Gambar 15 memperlihatkan karakteristik dari beberapa jenis sensor suhu yang ada.

	Thermocouple	RTD	Thermistor	IC Sensor
				
				
Advantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>- self powered</li> <li>- simple</li> <li>- rugged</li> <li>- inexpensive</li> <li>- wide variety</li> <li>- wide temperature range</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- most stable</li> <li>- most accurate</li> <li>- more linear than thermocouple</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- high output</li> <li>- fast</li> <li>- two-wire ohms measurement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- most linear</li> <li>- highest output</li> <li>- inexpensive</li> </ul>
Disadvantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>- non linear</li> <li>- low voltage</li> <li>- reference required</li> <li>- least stable</li> <li>- least sensitive</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- expensive</li> <li>- power supply required</li> <li>- small <math>\Delta R</math></li> <li>- low absolute resistance</li> <li>- self heating</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- non linear</li> <li>- limited temperature range</li> <li>- fragile</li> <li>- power supply required</li> <li>- self heating</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>T &lt; 200^{\circ}\text{C}</math></li> <li>- power supply required</li> <li>- slow</li> <li>- self heating</li> <li>- limited configuration</li> </ul>

Gambar 15. Karakteristik Sensor Temperatur

(Sumber : Schuller, Mc.Name, 1986)

Pada *prototype* ini temperature dan humiditas diukur dengan sensor suhu. Sensor suhu terbagi menjadi 4 jenis utama yang umum digunakan yaitu,

*thermocouple* (T/C), *resistance temperatre detector* (RTD), thermistor, dan *IC sensor*. *Prototype* ini menggunakan jenis *thermocouple* (T/C). *Thermocouple* pada intinya terdiri dari sepasang transduser panas dan dingin yang disambungkan dan dilebur bersama, dimana terdapat perbedaan yang timbul antara sambungan tersebut dengan sambungan referensi yang berfungsi sebagai pembanding.

## 2.6 Heater/Elemen Pemanas

*Electrical Heating Element* (Elemen Pemanas Listrik) banyak dipakai dalam kehidupan sehari-hari, baik di dalam rumah tangga ataupun peralatan dan mesin industri. Bentuk dan tipe dari elemen pemanas listrik ini bermacam-macam disesuaikan dengan fungsi, tempat pemasangan, dan media yang akan dipanaskan.

Panas yang dihasilkan oleh elemen pemanas listrik ini bersumber dari kawat ataupun pita bertahanan listrik tinggi (*resistance wire*) biasanya bahan yang digunakan adalah Niklin yang dialiri arus listrik pada kedua ujungnya dan dilapisi oleh isolator listrik yang mampu meneruskan panas dengan baik hingga aman jika digunakan. Ada 2 jenis utama pada elemen pemanas listrik :

### 1. Elemen Pemanas Listrik Bentuk Dasar

Yaitu elemen pemanas dimana *resistance wire* hanya dilapisi oleh isolator listrik, macam-macam elemen pemanas bentuk ini adalah : *Ceramic Heater*, *Silica and Quartz Heater*, *Bank Channel Heater*, *Black Ceramic Heater*, dan sebagainya. *Silica*, *Ceramic*, dan *Quartz Heater*.

### 2. Elemen Pemanas Bentuk Lanjutan

Merupakan elemen pemanas dari bentuk dasar yang dilapisi oleh pipa atau lembaran plat logam untuk maksud sebagai penyesuaian terhadap penggunaan dari elemen pemanas tersebut. Bahan logam yang biasa digunakan adalah : *mid stell*, *stanles stell*, tembaga dan kuningan. *Heater* yang termasuk dalam jenis ini adalah : *tubular heater*, *catridge heater*, dan *band*, *nozzle*, *stripe*, *plate heater*.



Gambar 16. Macam-Macam Elemen Pemanas Bentuk Dasar

(Sumber : Arsyad, 2018)

a. *Tubular Heater*

*Tubular heater* merupakan elemen pemanas listrik dimana dulungan *coil resistance wire* dimasukkan ke dalam pipa dan di cor bersama-sama bubuk isolator (*MgO powder*) yang berkemampuan meneruskan panas dan isolator listrik yang baik. Kawat tahanan yang digunakan adalah kawat tahanan yang dimensinya dapat disesuaikan dengan daya yang diminta, dimana kawat ini tahan pada suhu kerja maksimal 1300°C. Elemen yang menggunakan *tubular heater* adalah : *water heater, immersion heater, finned heater, cast in heater, multy form heater, over the sides heater, defrost heater, radiant heater*, dan sebagainya.

b. *Finned Heater*

Merupakan *tubular heater* yang ditambahkan *finned* (sirip) berpenampang bulat atau persegi yang dipasang sepanjang *hot zone*. Tubular untuk maksud memperluas permukaan panas. *Finned heater* dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 17. *Finned Heater*

(Sumber : Arsyad, 2018)

### c. *Cast-In Heater*

Merupakan *heater* bentuk lanjut dari *tubular heater*, dimana *tubular heater* dicor bersama dengan bahan cor sesuai bentuk yang diinginkan. Ada 2 macam bahan cor yang digunakan yaitu aluminium dan kuningan, *Cast-in heater* dapat dilihat pada Gambar 17.

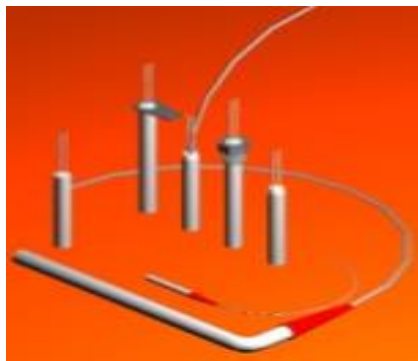


Gambar 18. *Cast-In Heater*

(Sumber : Arsyad, 2018)

### d. *Cartridge Heater*

Merupakan elemen pemanas listrik berbentuk pipa dengan kedua terminal terletak pada satu sisi peanmpang bulat pipa. Bahan pipa yang digunakan biasanya *stainless steel 304* dimana dimensinya disesuaikan kebutuhan. Coil kawat tahanan dengan kualitas yang cukup baik digulung pada sebuah batang isolator , yang kemudian dicor. Macam-macam bentuk *cartridge heater* dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 19. Bentuk *Cartridge Heater*

(Sumber : Arsyad, 2018)

e. *Band, Nozzle, dan Stripe Heater*

Merupakan elemen pemanas yang terbuat dari kumparan (gulungan) kawat/pita bertahanan listrik tinggi (Niklin), yang kemudia dilapisi oleh isolator tahan panas (mica), dan pada bagian lua dilapisi lagi dengan plat berbahan kuningan, aluminium, atau *stainless* yang kemudian dibentuk menjadi lempengan *heater* berbentuk *stripe*. Macam-macam bentuk *catridge heater* dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 20. Bentuk *Band, Nozzle, dan Stripe Heater*

(Sumber : Arsyad, 2018)

## 2.7 Pisang Raja

Menurut ahli sejarah dan botani secara umum pisang raja berasal dari kawasan Asia Tenggara dan pulau-pulau pasifik barat. Selanjutnya menyebar ke berbagai negara baik negara tropis maupun negara subtropis. Akhirnya buah pisang dikenal di seluruh dunia. Jadi pisang raja termasuk tanaman asli Indonesia dan kultivar-kultivarnya banyak ditemukan di pulau Jawa (Siti, N, 2009). Pisang Raja merupakan jenis tanaman berbiji, berbatang semu yang dapat tumbuh sekitar 2,1 - 2,9 meter, berakar serabut yang tumbuh menuju bawah sampai kedalaman 75 - 150 cm, memiliki batang semu tegak yang berwarna hijau hingga merah dan memiliki noda coklat atau hitam pada batangnya. Helaihan daunnya berbentuk lanset memanjang yang letaknya tersebar dengan bagian bawah daun tampak berlilin. Daun ini diperkuat oleh tangkai daun yang panjangnya antara 30 - 40 cm. Buahnya melengkung ke atas, dalam satu kesatuan terdapat 13 - 16 buah dengan panjang

sekitar 16 - 20 cm (Daniells, dkk., 2001). Termasuk dalam kelompok pisang Raja adalah pisang Songit, Raja Bulu, Raja Sere, Udang Potho dan Pulo (Siti, N, 2009).



Gambar 21. Pisang Raja

(Sumber : gambar diambil ketika melakukan penelitian)

Menurut (Siti, N, 2009) sistematika tumbuhan pisang raja adalah:

Kingdom : Plantae

Divisi : Spermatophyta

Class : Monocotyledonae

Ordo : Zingiberales

Familia : Musaceae

Genus : *Musa*

Species : *Musa X paradisiaca* AAB.

Kulit buah pisang raja mengandung zat seperti protein, karbohidrat, kalsium, fosfor, besi, vitamin A, B dan C (Siti, N, 2009), senyawa golongan flavonoid yaitu katekin, gallokatekin dan epikatekin serta senyawa golongan tanin (Siti, N, 2009).

Tabel 1. Komposisi Gizi Berbagai Jenis Buah Pisang Tiap 100 gram Bagian yang dimakan

Jenis Pisang	Kalori (kal)	Protein (gram)	Lemak (gram)	Karbohidrat (gram)	Vit. A (SI)	Vit. C (mg)	Air (%)
Ambon	99	1.2	0.2	25.80	146	3	72
Raja Bulu	120	1.2	0.2	31.8	950	10	65.80
Raja Sereh	118	1.2	0.2	31.1	112	4	67
Mas	127	1.4	0.2	33.6	79	2	64.2

<b>Jenis Pisang</b>	<b>Kalori (kal)</b>	<b>Protein (gram)</b>	<b>Lemak (gram)</b>	<b>Karbohidrat (gram)</b>	<b>Vit. A (SI)</b>	<b>Vit. C (mg)</b>	<b>Air (%)</b>
Lampung	99	1.3	0.2	25.6	618	4	72.1
Angleng	68	1.3	0.2	17.2	76	6	80.3
Uli	146	2.0	0.2	38.2	75	3	59.1

(Sumber: *Direktor Jenderal Bina Reproduksi Hortikultura, 2003*)

Pisang raja memiliki bentuk buah yang besar dan umumnya melengkung dengan ukuran 12-18 cm (Siti, N, 2009). Kulit pisang raja cukup tebal, sehingga hanya 70–75 % bagian yang dapat dimakan dari pisang raja. Buah pisang raja yang telah matang berwarna kuning berbintik hitam dan memiliki aroma yang harum. Dalam satu tandan terdapat 6 – 7 sisir dan di tiap sisir terdapat 10 – 16 buah. Berat setiap tandan berkisar antara 4 – 22 kg dengan berat per buah pisang yaitu 92 g (Siti, N, 2009).

## **2.8 Perpindahan Panas**

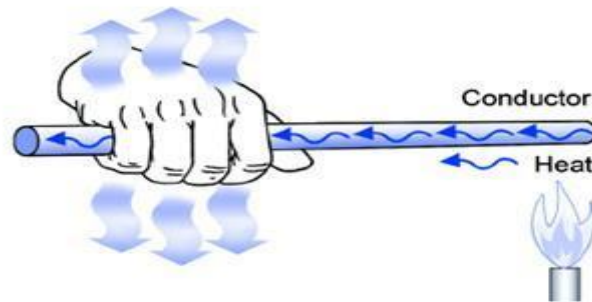
Energi matahari yang dipancarkan ke suatu permukaan dapat menyebabkan terjadinya transfer panas. Transfer panas atau perpindahan panas yang terjadi dalam proses pengeringan dapat meliputi konduksi, konveksi, dan radiasi, sebagaimana yang dijelaskan sebagai berikut (Mc Cabe, 1993).

### **2.8.1 Perpindahan Panas Konduksi**

Perpindahan panas konduksi secara umum adalah proses dengan panas mengalir dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah didalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium–medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Energi yang dimiliki oleh suatu elemen zat yang disebabkan oleh kecepatan posisi relatif molekul–molekulnya disebut energi dalam. Jadi, semakin cepat molekul–molekul bergerak, semakin tinggi suhu meupun energi dalam elemen zat. Bila molekul–molekul di satu daerah memperoleh energi kinetik rata–rata yang lebih besar dari pada yang dimiliki oleh molekul–molekul di suatu daerah yang berdekatan, sebagaimana ditunjukkan oleh adanya beda suhu, maka molekul–molekul yang memiliki energi yang lebih besar

itu akan memindahkan sebagian energinya kepada molekul – molekul di daerah yang bersuhu lebih rendah.

Konduksi adalah satu – satunya mekanisme dimana panas dapat mengalir dalam zat padat yang tidak dapat tembus cahaya. Konduksi penting dalam fluida, tetapi di dalam medium yang bukan padat biasanya tergabung dengan konveksi, dan radiasi.



Gambar 22. Proses Terjadinya Konduksi

(Sumber : <https://taufiqurrokhman.wordpress.com/2014/03/06/mode-perpindahan-panas-konduksi>)

Energi berpindah secara konduksi (*conduction*) atau hantaran dan bahwa laju perpindahan kalor itu berbanding dengan gradien suhu normal (Mc Cabe, 1993):

$$q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (\text{Mc Cabe, 1993})$$

Dengan :

Q = Laju perpindahan panas (Watt)

k = Konduktivitas termal (W/mK)

A = Luas Penampang yang terletak pada aliran panas (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  = Perbedaan temperatur diantara dua permukaan (K)

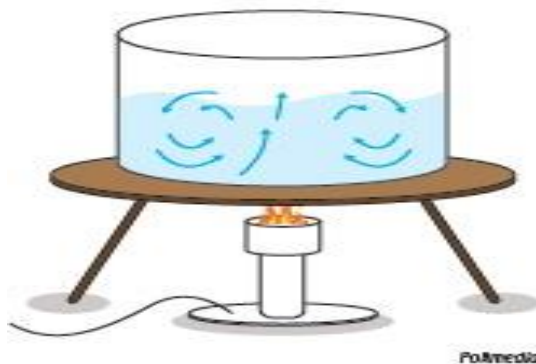
$\Delta x$  = Tebal permukaan (m)

### 2.8.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi bergantung pada nilai koefisien konveksi fluidanya. Konveksi merupakan perpindahan kalor yang disertai dengan perpindahan massa medianya, dan media konveksi adalah fluida. Konveksi terjadi karena adanya perbedaan kecepatan fluida bila suhunya berbeda, yang tentunya akan berakibat pada perbedaan berat jenis (berat tiap satuan volume). Fluida yang bersuhu tinggi akan mempunyai berat jenis yang lebih kecil bila dibandingkan



dengan fluida sejenisnya yang bersuhu lebih rendah. Karena itu, maka fluida yang bersuhu tinggi akan naik sambil membawa energi. Hal inilah yang berakibat pada terjadinya perpindahan kalor konveksi. Konveksi adalah proses transfer energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur.



Gambar 23. Proses Terjadinya Konveksi

(Sumber : <https://kelassainsedu.wordpress.com/konveksi>)

Perpindahan panas konveksi diklasifikasikan dalam konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*) menurut cara menggerakkan cara alirannya. Bila gerakan mencampur berlangsung semata-mata sebagai akibat dari perbedaan kerapatan yang disebabkan oleh gradient suhu, maka proses ini yang disebut dengan konveksi bebas atau alamiah (*natural*). Bila gerakan mencampur disebabkan oleh suatu alat dari luar, seperti pompa atau kipas, maka prosesnya disebut konveksi paksa. Tabel 3 berikut ini menyajikan data berupa koefisien perpindahan panas secara konveksi.

Tabel 2. Perpindahan Panas Secara Konveksi

No	Proses	H (Watt/m <sup>2</sup> K)
1	Konveksi Alami	
	- Gas	2 – 25
	- Cairan	50 – 1000
2	Konveksi Paksa	
	- Gas	25 – 250
	- Cairan	100 – 20.000
3	Konveksi dengan perubahan fasa (mendidih dan mengembun)	2500 – 100.000

(Sumber : Suryanto, Ari dkk. 2012. Modifikasi plat penyerap kalor matahari)

Perpindahan panas secara konveksi dirumuskan sebagai berikut (Mc Cabe, 1993) :

$$q = HA(T_w - T_\infty) \quad (\text{Mc Cabe, 1993}).$$

Dimana :

H = Koefisien perpindahan kalor konveksi (W/m<sup>2</sup>°C)

A = Luas Penampang yang terletak pada aliran panas (m<sup>2</sup>)

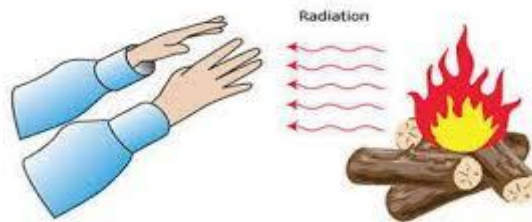
T<sub>w</sub> = Temperatur dinding (°C)

T<sub>f</sub> = Temperatur fluida (°C)

Q = Laju perpindahan panas konveksi (watt)

### 2.8.3 Perpindahan Panas Radiasi

Jika suatu benda ditempatkan di dalam sebuah ruangan, dan suhu dinding – dinding ruangan lebih rendah dari pada suhu benda maka suhu benda tersebut akan turun sekalipun ruangan tersebut ruang hampa. Proses dengan perpindahan panas dari suatu benda terjadi berdasarkan suhunya tanpa bantuan dari suatu zat antara (medium) disebut radiasi termal. Defenisi lain dari radiasi termal ialah radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh suatu benda karena suhunya.



Gambar 24. Proses Terjadinya Radiasi

(Sumber : <https://dwirahmawati41.wordpress.com/2015/04/03/perpindahan-kalor-secara-radiasi>)

Radiasi adalah proses perpindahan panas melalui gelombang elektromagnetik atau paket-paket energi (*photon*) yang dapat dibawa sampai pada jarak yang sangat jauh tanpa memerlukan interaksi dengan medium (ini yang menyebabkan mengapa perpindahan panas radiasi sangat penting pada ruang vakum), disamping itu jumlah energi yang dipancarkan sebanding dengan temperatur benda tersebut. Tidak seluruh energi yang disebutkan dalam konstanta surya mencapai permukaan bumi, karena terdapat absorpsi yang kuat dari karbondioksida dan uap air di atmosfer. Perpindahan panas secara radiasi dapat dirumuskan sebagai berikut (Mc Cabe, 1993) :

$$q_{rad} = \sigma \epsilon (T_1^4 - T_2^4) \quad (\text{Mc Cabe, 1993}).$$

Dimana  $\sigma$  adalah konstanta Stefan-Boltzman dengan nilai  $5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$ ,  $\epsilon$  adalah emisivitas benda dan T adalah beda temperatur.

## 2.9 Analisa Perhitungan

### 2.9.1 Kadar Air

Kadar air suatu bahan perlu diketahui, karena air dapat mempengaruhi cita rasa. Di samping itu, kadar air juga mempengaruhi kesegaran dan daya tahan tersebut terhadap serangan mikroorganisme selama penanganannya (Winarto, 1984). Kadar air yang diharapkan dari produk yang akan dihasilkan adalah kadar air yang terendah. Semakin rendah kadar air maka penyerapan uap air dari udara akan semakin lama. Hal ini akan menjaga ketahanan bahan dari kerusakan dari mikroorganisme selama penyimpanan. Kadar air yang terus bertambah juga dapat menyebabkan kerusakan pada produk yang ditandai dengan penggumpalan produk. (Irma,2010)

Untuk mengetahui kadar air bahan baku digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\% \text{ kadar air} = \frac{(W_1 - W_2)}{(W_1 - W_0)} \times 100\% \quad (\text{Sahrul Effendy, 2017})$$

Keterangan :

$W_0$  = berat cawan kosong + tutup (gr)

$W_1$  = berat cawan + tutup + sampel sebelum dikeringkan (gr)

$W_2$  = berat cawan + tutup + sampel setelah dikeringkan (gr)

### 2.9.2 Efisiensi Termal pada Tray Dyer

$$\eta = \frac{\text{Panas laten dan Sensibel air teruapkan}}{\text{Energi listrik yang digunakan}} \times 100\% \quad (\text{Himmelblau, 2004})$$

Dimana :

$\eta$  = Efisiensi panas