

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Pulp* (Bubur Kertas)

Pulp adalah hasil pemisahan serat dari bahan baku berserat (kayu maupun non kayu) melalui berbagai proses pembuatannya (mekanis, semi-kimia, kimia). *Pulp* terdiri dari serat-serat (selulosa dan hemiselulosa) sebagai bahan baku kertas atau rayon (Kementrian Perindustrian Republik Indonesia, 2018).

Proses pembuatan *pulp* pada dasarnya adalah memisahkan serat selulosa dari bahan baku melalui delignifikasi (penghilang lignin) tanpa terdegradasi karbohidrat. Proses delignifikasi dilakukan untuk melarutkan lignin dan sebagian hemiselulosa dengan merendam bahan lignoselulosa dalam larutan. Ada beberapa metode untuk pembuatan *pulp* yang merupakan proses pemisahan selulosa dari senyawa pengikatnya, terutama lignin yaitu secara mekanis, semikimia dan kimia. Pada proses secara kimia ada beberapa cara tergantung dari larutan pemasak yang digunakan, yaitu proses sulfit, proses sulfat, proses *kraft* dan lain-lain. Syarat-syarat bahan baku yang digunakan dalam pembuatan *pulp* menurut Harsini dan Susilowati (2010) antara lain :

- a. Berserat
- b. Kadar alfa selulosa lebih dari 40%
- c. Kadar lignin lebih dari 25%
- d. Kadar air 10–14 %
- e. Memiliki kadar abu yang kecil

Standar kualitas *pulp* yang dihasilkan dapat dilihat pada **Tabel 2.1** dibawah ini.

Tabel 2.1 Standar Kualitas *Pulp*

Komposisi	Nilai (%)
Selulosa	45-60
Lignin	4-16
Hemiselulosa	35-40
HoloSelulosa	60-64
<i>Ash</i>	Maks 3
Air	Maks 12

(Sumber: PT. Tanjung Enim Lestari, 2009 (Sesuai dengan SNI 6106:2016))

2.2 Tandan Kosong Kelapa Sawit

Tanaman kelapa sawit yang memiliki nama latin *Elaeis guineensis Jacq* adalah tanaman perkebunan berupa pohon berbatang lurus dari famili *palmae*. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah utama dari industri pengolahan kelapa sawit. Basis satu ton tandan buah segar (TBS) yang diolah akan dihasilkan minyak sawit kasar (CPO) sebanyak 0,21 ton (21%) serta minyak inti sawit (PKO) sebanyak 0,05 ton (5%) dan sisanya merupakan limbah dalam bentuk tandan buah kosong, serat, dan cangkang biji yang jumlahnya masing-masing 23%, 13,5%, dan 5,5% dari tandan buah segar (Darnoko,2002). Bentuk TKKS dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



(sumber: Azizah,2013)

Gambar 2.1 Tandan Kosong Kelapa Sawit

Pengolahan TKKS belum dimanfaatkan secara optimal oleh sebagian besar pabrik kelapa sawit di Indonesia sebagian karena pabrik masih membakar TKKS dalam *incinerator*. Alternatif pengolahan lainnya adalah dengan cara menimbun (*open dumping*), dijadikan mulsa, atau diolah menjadi kompos. Namun karena kendala seperti waktu pengomposan yang cukup lama sampai 6–12 bulan, maka cara tersebut kurang diminati oleh pabrik kelapa sawit. Sehingga limbah TKKS tersebut masih tetap dijumpai setiap hari berupa tumpukan dalam jumlah besar yang menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan (Isroi, 2009). Komponen utama dari limbah padat kelapa sawit adalah selulosa dan lignin sehingga limbah ini disebut juga limbah lignoselulosa. Kandungan selulosa yang cukup tinggi pada TKKS dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan *pulp* untuk kertas. Komposisi TKKS dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Komposisi Tandan Kosong Kelapa Sawit

Komponen	Nilai (%)			
	A	B	C	D
Selulosa	37,5	51,28	45,95	40,79
Hemiselulosa	-	15,6	22,84	-
Holoseululosa	66,07	-	-	69,33
Pantosan	25,34	-	-	29,40
Lignin	20,62	16,34	16,49	22,67
Kadar Abu	6,23	4,88	1,23	2,05
Kadar Sari/ ekstraktif	7,78	-	-	3,30
Kadar Air	-	-	3,74	9,35
Kelarutan dalam air dingin	15,71	14,91	-	5,87
Kelarutan dalam air panas	13,61	14,99	-	4,92
Kelarutan dalam NaOH 1%	30,32	-	-	25,56

(Sumber: A: Darnoko, 1995; B: Lukman, 2008, C; Afriani, 2011; D: Erwiansyah dkk., 2012)

2.3 Pelepah Pisang

Pisang (*Musa paradisiaca*) adalah tumbuhan terana yang memiliki ukuran relatif besar atau raksasa berdaun besar memanjang dari suku *Musaceae*. Pisang merupakan tanaman yang tidak mempunyai batang sejati, batang pisang sebenarnya bukan batang melainkan batang semu yang terdiri dari pelepah yang berlapis menjulang menguat dari bawah keatas sehingga dapat menopang daun dan buah pisang. Pelepah pisang dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



Sumber: (Yunifath, 2012)

Gambar 2.2 Pelepah Pisang

Pelepah pisang mempunyai kandungan selulosa yang tinggi akan tetapi belum dimanfaatkan secara optimal. Menurut Hobir (1997) setiap pohon pisang berpotensi menghasilkan pelepah kering sebanyak 6,15 kg. Perbandingan bobot segar antara daun, batang, dan buah pisang berturut-turut yaitu 14, 63, 23%.

Menurut Nopriantina (2013), pelepah pisang memiliki jaringan dengan pori-pori yang saling berhubungan, serta jika dikeringkan akan menjadi padat dan menjadi suatu bahan yang memiliki daya serap yang baik dan cukup tinggi. Komposisi pelepah pisang dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Komposisi Pelepah Pisang

Parameter	Nilai		
	A	B	C
Selulosa (%)	63-64	60-65	46
Hemiselulosa (%)	20	6-8	38,54
Lignin (%)	5	5-10	9
Kadar Air (%)	9-11	10-15	-
Kadar abu (%)	-	-	8,3
Diameter serat (μm)	5,8	-	-
Panjang serat (cm)	30,92	-	-
Densitas (gr/cm^3)	1,35	-	-
Kekuatan Tarik rata-rata (Mpa)	600	-	-
Modulus Tarik rata-rata (Gpa)	17,85	-	-
Pertambahan panjang (%)	3,36	-	-

(Sumber: A: Lokantara, 2007 ; B: Asosiasi Pulp dan Kertas Indonesia, 2008 dalam Ningtyas, 2014; C: Venkateshwaran dan elayaperumal, 2010)

Pelepah pisang memiliki serat putih yang sangat kuat sehingga tidak diperlukan pemutihan dan dapat diproduksi setebal 20 gsm (Gram per *Square Meter*). Pelepah pisang terdiri dari 2 lapisan yang dapat menghasilkan bermacam produk sekaligus. Lapisan luar berstruktur kasar, kekuatan basah tinggi, sifat *barrier*, dan tidak mudah terbakar. Lapisan dalam mempunyai sifat yang sama namun berstruktur serat lebih halus. (Asosiasi Pulp dan Kertas Indonesia, 2008 dalam Yunifath, 2012).

2.4 Pengeringan

Pengeringan merupakan proses pengurangan kadar air suatu bahan hingga mencapai kadar air tertentu. 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 (Treyball E.Robert, 1981). Definisi lain dari proses pengeringan yaitu pemisahan sejumlah kecil air atau zat cair lain dari suatu bahan,

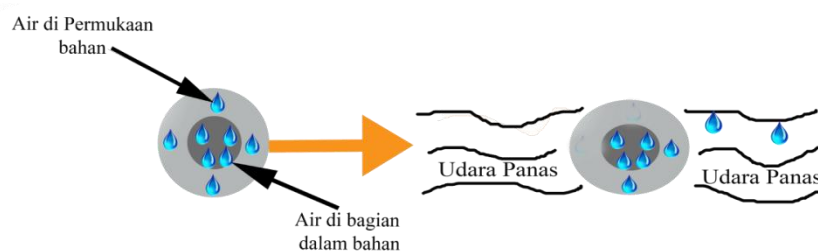
sehingga mengurangi kandungan zat cair tersebut. Pengeringan biasanya merupakan langkah terakhir dari sederetan operasi dan hasil pengeringan biasanya siap untuk dikemas (Mc Cabe, 1993).

Secara umum proses pengeringan terdiri dari dua langkah proses yaitu penyiapan media pengering (udara) dan proses pengeringan bahan. Penyiapan media dilakukan dengan memanaskan udara, yang dapat dilakukan dengan pemanas alam (matahari, panas bumi) atau buatan (listrik, pembakaran kayu, arang, batubara, gas alam dan bahan bakar minyak) (Kudra dan Mujumdar, 2002). Udara yang terdapat dalam proses pengeringan mempunyai fungsi sebagai pemberi panas pada bahan, sehingga menyebabkan terjadinya penguapan air. Fungsi lain dari udara adalah untuk mengangkut uap air yang dikeluarkan oleh bahan yang dikeringkan (Muarif, 2013).

2.4.1 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). Berikut ini merupakan tahapan proses terjadinya pengeringan :

1. Kandungan air yang terdapat didalam bahan (padatan) terbagi menjadi 2 yaitu air di bagian dalam bahan dan air yang terdapat di permukaan. Ketika bahan dipanaskan (dengan menggunakan udara kering) maka air yang terdapat dibagian permukaan bahan akan menguap terlebih dahulu dan terbawa oleh udara seperti terlihat pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Proses Perpindahan Air
(Sumber : Geankoplis, 1993)

- Air di bagian permukaan bahan akan berkurang, sehingga jumlah air di permukaan padatan lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah air di bagian dalam bahan. Akibatnya air yang berada di bagian dalam bahan akan berpindah ke bagian permukaan bahan secara difusi(perpindahan suatu zat di dalam suatu bahan dari bagian konsentrasi tinggi ke bagian konsentrasi rendah). Air tersebut akan terakumulasi dibagian permukaan bahan seperti terlihat pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Proses Difusi Air di dalam Bahan

(Sumber : Geankoplis, 1993)

- Setelah itu air yang terakumulasi dibagian permukaan akan menguap dan dibawa oleh udara (Geankoplis, 1993). Jumlah air yang dapat berpindah dari bahan ke udara tergantung dari massa udara dan kelembabannya. Semakin besar massa udara yang digunakan maka semakin banyak air yang dapat diangkut oleh udara tersebut. Dengan catatan bahwa kelembaban udara harus lebih rendah dari pada kelembaban bahan yang akan dikeringkan, karena apabila kelembaban udara lebih tinggi dari bahan yang akan dikeringkan maka air tidak dapat berpindah ke udara tersebut, yang terjadi sebaliknya air yang terdapat di udara akan berpindah ke bahan yang akan dikeringkan. Oleh karena itu udara harus dikeringkan terlebih dahulu dengan cara dipanaskan sebelum dilakukan proses pengeringan (Sotocinal, 1992).

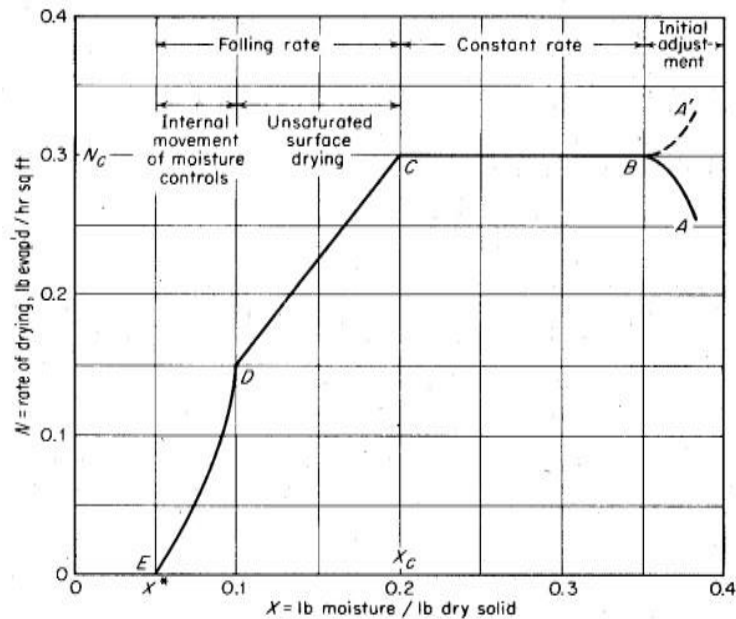
Ketika benda basah dikeringkan secara termal, ada dua proses yang berlangsung secara simultan, yaitu: (Rohman, 2008)

- Perpindahan energi dari lingkungan untuk menguapkan air yang terdapat di permukaan benda padat. Perpindahan energi dari lingkungan ini dapat berlangsung secara konduksi, konveksi, radiasi, atau kombinasi dari ketiganya. Proses ini dipengaruhi oleh temperatur, kelembapan, laju dan arah aliran udara, bentuk fisik padatan, luas permukaan kontak dengan udara dan

tekanan. Proses ini merupakan proses penting selama tahap awal pengeringan ketika air tidak terikat dihilangkan. Penguapan yang terjadi pada permukaan padatan dikendalikan oleh peristiwa difusi uap dari permukaan padatan ke lingkungan melalui lapisan film tipis udara.

2. Perpindahan massa air yang terdapat di dalam benda ke permukaan. Ketika terjadi penguapan pada permukaan padatan, terjadi perbedaan temperatur sehingga air mengalir dari bagian dalam benda padat menuju ke permukaan benda padat. Struktur benda padat tersebut akan menentukan mekanisme aliran internal air. Beberapa mekanisme aliran internal air yang dapat berlangsung diantaranya adalah:
 - a) Difusi, pergerakan ini terjadi bila kandungan air pada padatan berada di bawah titik jenuh atmosferik dan padatan dengan cairan di dalam sistem bersifat mutually soluble. Contoh: pengeringan tepung, kertas, kayu, tekstil dan sebagainya.
 - b) *Capillary flow*, cairan bergerak mengikuti gaya gravitasi dan kapilaritas. Pergerakan ini terjadi bila *equilibrium moisture content* berada di atas titik jenuh atmosferik. Contoh pada pengeringan tanah dan pasir.

Pada pengeringan terjadi dalam 3 tahapan, yaitu pemanasan pendahuluan atau penyesuaian temperatur bahan yang dikeringkan, pengeringan dengan kecepatan konstan (*Constant Rate Periode*), dan pengeringan dengan kecepatan menurun (*Falling Rate Periode*) (Treyball, 1999). Periode kecepatan konstan seringkali disebut sebagai periode awal, di mana kecepatannya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan perpindahan massa dan panas (Rao dkk., 2005). Grafik hubungan kecepatan pengeringan terhadap kadar air dapat dilihat **Gambar 2.5**.



(Sumber : Treyball, 1999)

Gambar 2.5. Hubungan Kecepatan Pengeringan Terhadap Kadar Air

Keterangan :

- AB = A'B' : periode penyesuaian suhu
- BC : Periode pengeringan kecepatan konstan
- CD : Periode pengeringan kecepatan menurun
- DE : Pencapaian kadar air keseimbangan

2.4.2 Faktor - Faktor yang Mempengaruhi Proses Pengeringan

Faktor yang dapat mempengaruhi pengeringan suatu bahan pangan adalah (Buckle dkk., 1987):

1. Sifat fisik dan kimia dari bahan, meliputi bentuk, komposisi, ukuran, dan kadar air yang terkandung di dalamnya.
2. Pengaturan geometris bahan. Hal ini berhubungan dengan alat atau media yang digunakan sebagai perantara pemindah panas.
3. Sifat fisik dari lingkungan sekitar alat pengering, meliputi suhu, kecepatan sirkulasi udara, dan kelembaban.
4. Karakteristik dan efisiensi pemindahan panas alat pengering.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengeringan dibagi kedalam dua golongan yaitu faktor yang berhubungan dengan Udara Pengering dan faktor yang berhubungan dengan Sifat Bahan yang dikeringkan. Faktor-faktor yang termasuk

adalah temperatur, kecepatan volumetric aliran udara pengering, kelembaban udara, dan waktu pengeringan. Sedangkan faktor lainnya yaitu ; ukuran bahan, sifat fisik dan kimia bahan, kadar air awal, jumlah dan varietas bahan, dan tekanan parsial di dalam bahan juga termasuk dalam faktor yang mempengaruhi proses pengeringan bahan.

1. Temperatur

Laju penguapan air bahan dalam pengeringan sangat ditentukan oleh kenaikan suhu. Semakin besar perbedaan antara suhu media pemanas dengan bahan yang dikeringkan, semakin besar pula kecepatan perpindahan panas ke dalam bahan, sehingga penguapan air dari bahan akan lebih banyak dan cepat (Taib, G. et al., 1988). Makin tinggi suhu dan kecepatan aliran udara pengering makin cepat pula proses pengeringan berlangsung. Semakin tinggi suhu yang digunakan untuk pengeringan, makin tinggi energi yang disuplai dan makin cepat laju pengeringan. Akan tetapi pengeringan yang terlalu cepat dapat merusak bahan, yakni permukaan bahan terlalu cepat kering, sehingga tidak sebanding dengan kecepatan pergerakan air bahan ke permukaan. Hal ini menyebabkan pengerasan permukaan bahan. Oleh karena itu proses Pengeringan ubi kayu yang baik yaitu dengan menggunakan udara pengering yang baik antara 40°C sampai 60°C.

2. Kecepatan Volumetrik Aliran Udara Pengering

Udara yang bergerak atau bersirkulasi akan lebih cepat mengambil uap air dibandingkan udara diam. Pada proses pergerakan udara, uap air dari bahan akan diambil dan terjadi mobilitas yang menyebabkan udara tidak pernah mencapai titik jenuh. Semakin cepat pergerakan atau sirkulasi udara, proses pengeringan akan semakin cepat. Prinsip ini yang menyebabkan beberapa proses pengeringan menggunakan sirkulasi udara.

3. Kelembaban Udara

Kelembaban udara berpengaruh terhadap proses pemindahan uap air. Apabila kelembaban udara tinggi, maka perbedaan tekanan uap air di dalam dan di luar bahan menjadi kecil sehingga menghambat pemindahan uap air dari dalam bahan ke luar. Kelembaban udara juga menentukan kadar air akhir bahan pangan setelah dikeringkan. Bahan pangan yang telah dikeringkan dapat menyerap

air dari udara di sekitarnya. Jika udara disekitar bahan pengering tersebut mengandung uap air tinggi atau lembab, maka kecepatan penyerapan uap air oleh bahan pangan tersebut akan semakin cepat.

4. Waktu Pengeringan

Waktu pengeringan menentukan lama kontak bahan dengan panas. Karena sebagian besar bahan pangan sensitif terhadap panas maka waktu pengeringan yang digunakan harus maksimum, yaitu kadar air bahan akhir yang diinginkan telah tercapai dengan lama pengeringan yang pendek. Pengeringan dengan suhu yang tinggi dan waktu yang pendek dapat lebih menekan kerusakan bahan pangan dibandingkan dengan waktu pengeringan yang lebih lama dan suhu lebih rendah.

5. Ukuran Bahan

Pada umumnya, bahan pangan yang dikeringkan mengalami pengecilan ukuran, baik dengan cara diiris, dipotong, atau digiling. Proses pengecilan ukuran dapat mempercepat proses pengeringan dengan mekanisme sebagai berikut, Pengecilan ukuran memperluas permukaan bahan, Ukuran yang kecil menyebabkan penurunan jarak yang harus ditempuh oleh panas. Panas harus bergerak menuju pusat bahan pangan yang dikeringkan. Demikian juga jarak pergerakan air dari pusat bahan pangan ke permukaan bahan menjadi lebih pendek.

6. Sifat Fisik dan Kimia Bahan

Tujuan dari pengeringan ini merupakan penghilangan kadar air dari bahan. biasanya dilakukan pengeringan untuk mengawetkan bahan atau menaikkan nilai ekonomis suatu bahan. Sehingga perlu diperhatikan sifat fisik dan kimia bahan yang akan dikeringkan.

7. Kadar Air Awal

Kadar air bahan menunjukkan banyaknya kandungan air per satuan bobot bahan. Terdapat dua metode untuk menentukan kadar air bahan, yaitu berdasarkan bobot kering (*dry basis*) dan berdasarkan bobot basah (*wet basis*). Untuk memperpanjang daya tahan suatu bahan maka sebagian air dari bahan harus dihilangkan sehingga mencapai kadar air tertentu. Bahan pangan yang mempunyai kandungan air atau nilai aw (*Water Activity*) tinggi pada umumnya cepat mengalami kerusakan, baik akibat pertumbuhan mikroba maupun akibat reaksi

kimia tertentu seperti oksidasi dan reaksi enzimatik.

8. Jumlah dan Varietas Bahan.

Banyaknya bahan yang akan dikeringkan berpengaruh terhadap proses pengeringan. Apabila jumlah bahan yang dikeringkan semakin banyak, maka semakin banyak pula air yang harus dikeluarkan dari bahan. Hal tersebut berhubungan dengan waktu pengeringan, temperatur, dan laju volumetric udara yang dibutuhkan. Sedangkan varietas berpengaruh pada lamanya pengeringan. Setiap bahan memiliki kadar air yang berbeda dalam varietasnya.

2.4.3 Jenis-Jenis Pengering

Pemilihan jenis pengeringan yang sesuai untuk suatu produk ditentukan oleh kualitas produk akhir yang diinginkan, sifat bahan yang dikeringkan, dan biaya produksi atau pertimbangan ekonomi. Berdasarkan bahan yang akan dipisahkan, *dryer* terdiri dari:

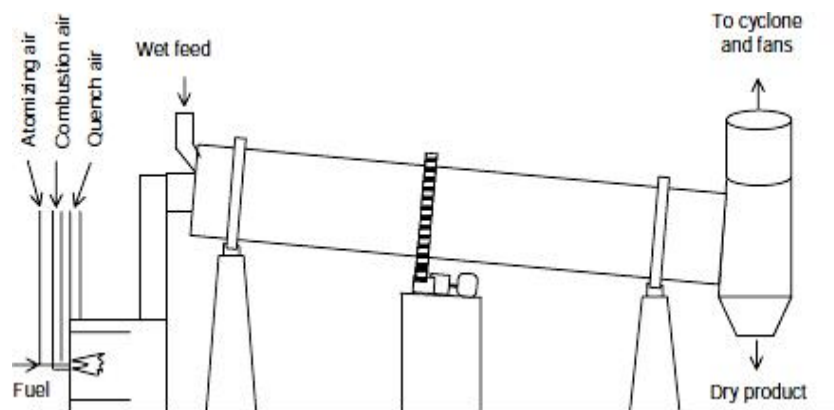
1. Pengering untuk Zat Padat

a. Pengering Putar (*Rotary Dryer*)

Rotary dryer atau bisa disebut *drum dryer* merupakan alat pengering yang berbentuk sebuah drum dan berputar secara kontinyu yang dipanaskan dengan tungku atau *gasifier*. Permukaan dalam silinder dilengkapi dengan penggerak bahan yang berfungsi untuk mengaduk bahan. Udara panas mengalir searah dan dapat pula berlawanan arah jatuhnya bahan kering pada alat pengering. *Rotary dryer* sudah sangat dikenal luas di kalangan industri karena proses pengeringannya jarang menghadapi kegagalan baik dari segi output kualitas maupun kuantitas. Namun sejak terjadinya kelangkaan dan mahalnya bahan bakar minyak dan gas, maka teknologi *rotary dryer* mulai dikembangkan untuk berdampingan dengan teknologi bahan bakar substitusi seperti *burner*, batubara, gas sintesis dan sebagainya. Pengering *rotary dryer* biasa digunakan untuk mengeringkan bahan yang berbentuk bubuk, granula, gumpalan partikel padat dalam ukuran besar. Sumber panas yang digunakan dapat berasal dari uap listrik, batubara, minyak tanah dan gas (Octaria, 2015).

Secara umum, alat *rotary dryer* terdiri dari sebuah silinder yang berputar dan digunakan untuk mengurangi atau meminimalkan cairan kelembaban isi materi dan

penanganannya ialah kontak langsung dengan gas panas di dalam ruang pengering. Pada alat pengering *rotary dryer* terjadi dua hal yaitu kontak bahan dengan dinding dan aliran uap panas yang masuk ke dalam drum. Pengeringan yang terjadi akibat kontak bahan dengan dinding disebut konduksi karena panas dialirkan melalui media yang berupa logam. Sedangkan pengeringan yang terjadi akibat kontak bahan dengan aliran uap disebut konveksi karena sumber panas merupakan bentuk aliran. (McCabe dkk, 1993). *Rotary dryer* dapat dilihat pada **Gambar 2.6**.



(Sumber: Mujumdar, 2006)

Gambar 2.6 *Rotary Dryer*

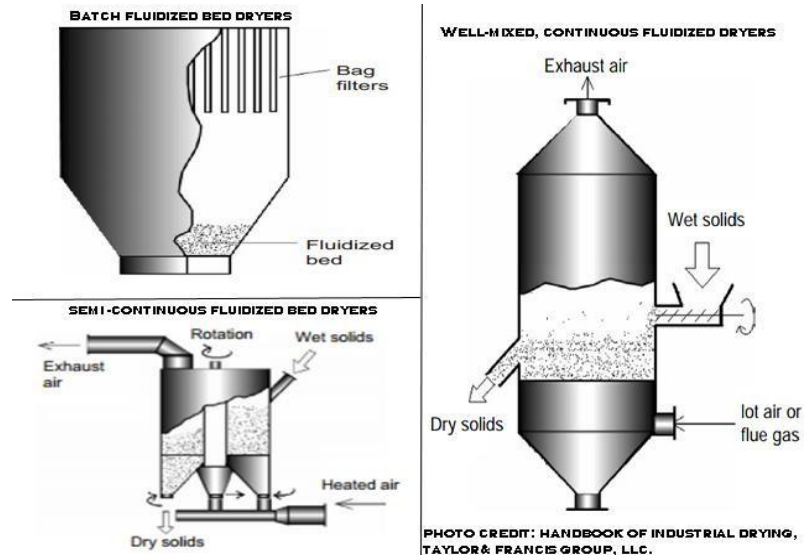
b. Pengeringan Hampan Terfluidisasi (*Fluidized Bed Dryer*)

Pengeringan hampan terfluidisasi (*Fluidized Bed Drying*) adalah proses pengeringan dengan memanfaatkan aliran udara panas dengan kecepatan tertentu yang dilewatkan menembus hampan bahan sehingga hampan bahan tersebut memiliki sifat seperti fluida. Metode pengeringan fluidisasi digunakan untuk mempercepat proses pengeringan dan mempertahankan mutu bahan kering. Pengeringan ini banyak digunakan untuk pengeringan bahan berbentuk partikel atau butiran, baik untuk industri kimia, pangan, keramik, farmasi, pertanian, polimer dan limbah. Proses pengeringan dipercepat dengan cara meningkatkan kecepatan aliran udara panas sampai bahan terfluidisasi. Dalam kondisi ini terjadi penghambusan bahan sehingga memperbesar luas kontak pengeringan, peningkatan koefisien perpindahan kalor konveksi, dan peningkatan laju difusi uap air (Carmelitha, 2015).

Kecepatan minimum fluidisasi adalah tingkat kecepatan aliran udara terendah dimana bahan yang dikeringkan masih dapat terfluidisasi dengan baik, sedangkan

kecepatan udara maksimum adalah tingkat kecepatan tertinggi dimana pada tingkat kecepatan ini bahan terhembus ke luar ruang pengering (Carmelitha, 2015).

Gambar alat *Fluidized Bed Dryer* dapat dilihat pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7 *Fluidized Bed Dryer*

(Sumber: Mujumdar, 2006)

c. *Freeze Dryer*

Freeze Dryer merupakan suatu alat pengeringan yang termasuk ke dalam *Conduction Dryer/Indirect Dryer* karena proses perpindahan terjadi secara tidak langsung yaitu antara bahan yang akan dikeringkan (bahan basah) dan media pemanas terdapat dinding pembatas sehingga air dalam bahan basah/lembab yang menguap tidak terbawa bersama media pemanas. Hal ini menunjukkan bahwa perpindahan panas terjadi secara hantaran (konduksi), sehingga disebut juga *Conduction Dryer/ Indirect Dryer*. Prinsip kerja *Freeze Dryer* meliputi pembekuan larutan, menggranulasikan larutan yang beku tersebut, mengkondisikannya pada vakum *ultra-high* dengan pemanasan pada kondisi sedang, sehingga mengakibatkan air dalam bahan pangan tersebut akan menyublim dan akan menghasilkan produk padat. *Freeze dryer* dapat dilihat pada **Gambar 2.8**.

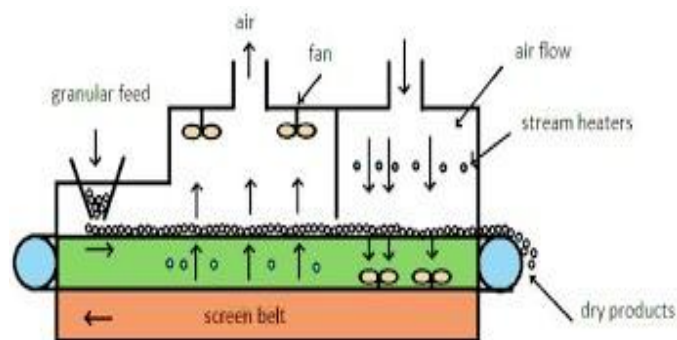


(Sumber: *Medical Polymer Chemistry lab, 2013*)

Gambar 2.8. *Freeze Dryer*

d. Pengering Konveyor (*Screen Conveyor Dryer*)

Pengeringan jenis ini merupakan pengeringan kontinyu yang dilengkapi oleh ban berjalan yang membawa produk melalui terowongan pengering dengan udara panas yang bersirkulasi. Pada pengering konveyor lapisan bahan yang akan dikeringkan diangkut perlahan-lahan diatas logam melalui kamar atau terowongan pengering yang mempunyai kipas dan pemanas udara. Pengering konveyor dapat dilihat pada **Gambar 2.9**.

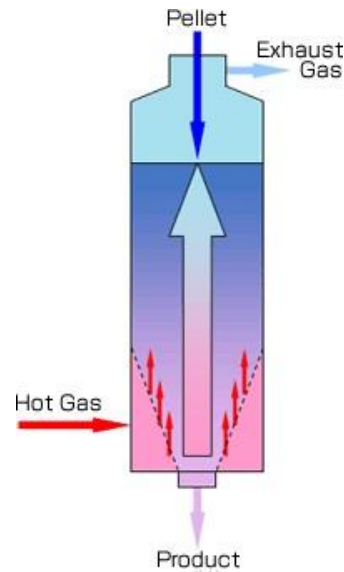


(Sumber: *Taib dkk., 2008*)

Gambar 2.9. *Screen Conveyor Dryer*

e. Pengering Menara (*Tower Dryer*)

Pengering menara terdiri dari sederetan talem bundar yang dipasang bersusun keatas pada suatu poros tengah yang berputar. Zat padat itu menempuh jalan seperti melalui pengering, sampai keluar sebagian hasil yang kering dari dasar menara. Pengering menara dapat dilihat pada **Gambar 2.10**.

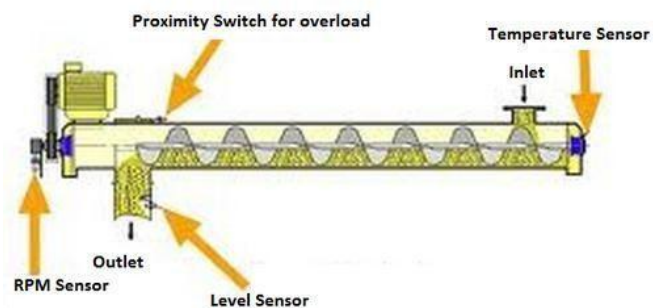


(Sumber: Taib dkk., 2008)

Gambar 2.10. *Tower Dryer*

f. Pengering Konveyor Sekrup (*Screw Conveyor Dryer*)

Pengering konveyor sekrup adalah suatu pengering kontinyu kalor tak langsung, yang pada pokoknya terdiri dari sebuah konveyor sekrup horizontal (konveyor dayung) yang terletak di dalam selongsong bermantel berbentuk silinder. Pengering konveyor sekrup dapat dilihat pada **Gambar 2.11**.



(Sumber: Taib dkk., 2008)

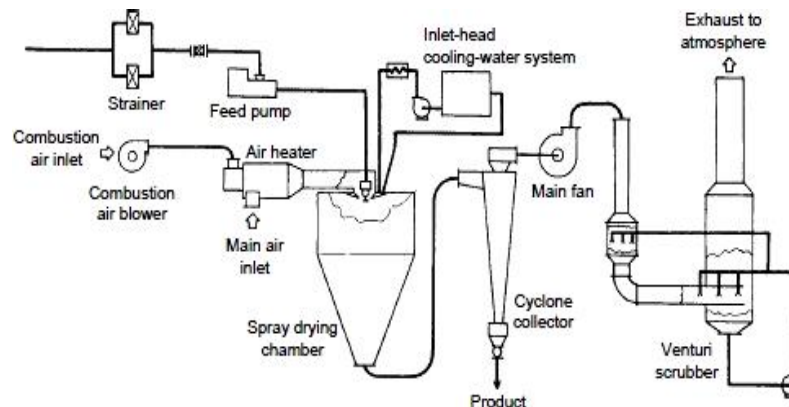
Gambar 2.11. *Screw Conveyor Dryer*

2. Pengeringan Larutan dan Bubur

a. Pengering Semprot (*Spray Dyer*)

Pengeringan semprot (*spray dryer*) merupakan jenis pengering yang digunakan untuk menguapkan dan mengeringkan larutan dan bubur (*slurry*) sampai

kering dengan cara termal, sehingga didapatkan hasil berupa zat padat yang kering. Pengeringan semprot dapat menggabungkan fungsi evaporasi, kristalisator, pengering, unit penghalus dan unit klasifikasi. Penguapan dari permukaan tetesan menyebabkan terjadinya pengendapan zat terlarut pada permukaan. *Spray drying* ini menggunakan atomisasi cairan untuk membentuk droplet, selanjutnya droplet yang terbentuk dikeringkan menggunakan udara kering dengan suhu dan tekanan yang tinggi. Dalam pengering semprot, bubur atau larutan didispersikan ke dalam arus gas panas dalam bentuk kabut atau tetesan halus (Mujumdar, 2006). Ciri khas dari proses *spray drying* adalah siklus pengeringan yang cepat, retensi produk dalam ruang pengering singkat dan produk akhir yang dihasilkan siap dikemas ketika proses pengeringan selesai (Heldman dkk., 1981). *Spray dryer* dapat dilihat pada **Gambar 2.12**.



(Sumber: Mujumdar, 2006)

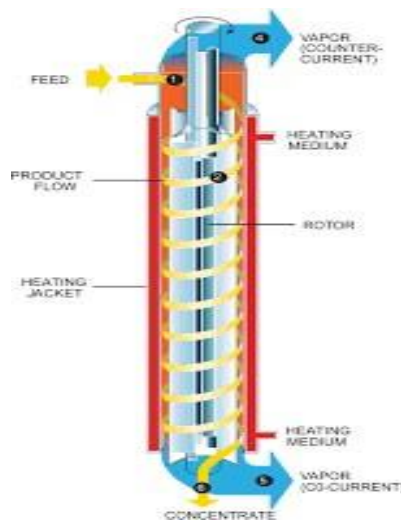
Gambar 2.12 *Spray Dryer*

Konstruksi alat pengering semprot secara umum terdiri dari:

- 1) Pemanas dengan satu atau lebih kipas untuk menghasilkan udara panas dengan suhu dan kecepatan tertentu,
- 2) *Atomizer*, nozel, atau jet untuk menghasilkan partikel-partikel cairan dengan ukuran tertentu,
- 3) *Chamber* atau wadah pengering dimana partikel-partikel kontak dengan udara pengering,
- 4) Wadah penampung untuk menampung produk yang sudah dikeringkan.

b. Pengering Film Tipis (*Thin Film Dryer*)

Pengering film tipis dapat menanganani zat padat maupun bubuk dan menghasilkan hasil padat yang kering dan bebas mengalir. Efisiensi termal pengering film tipis biasanya tinggi dan kehilangan zat padatnyaapun kecil. Alat ini relatif lebih mahal dan luas permukaan perpindahan kalornya terbatas (Thaib dkk, 2008). Pengering film tipis dapat dilihat pada **Gambar 2.13**.



(Sumber: Taib dkk., 2008)

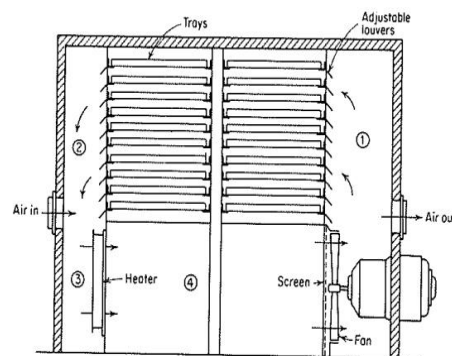
Gambar 2.13 *Thin Film Dryer*

2.5 Pengering Tipe Tray (*Tray Dryer*)

Tray Dryer (Cabinet Dryer) merupakan salah satu alat pengeringan yang mempunyai bentuk persegi dan tersusun dari beberapa buah baki, dapat digunakan untuk mengeringkan padatan bergumpal atau pasta yang ditebarkan pada baki logam dengan ketebalan 10-100 mm. Beberapa alat pengering jenis ini rak-raknya mempunyai roda sehingga dapat dikeluarkan dari alat pengeringnya. Bahan diletakan di atas rak (*tray*) yang terbuat dari logam yang berlubang. Kegunaan lubang- lubang tersebut untuk mengalirkan udara panas (Taib dkk., 2008).

Tray dryer termasuk kedalam system pengering konveksi dan konduksi menggunakan aliran udara panas untuk mengeringkan produk dimana material yang akan dikeringkan pada baki yang langsung berhubungan dengan media pengering. Cara perpindahan panas yang umum digunakan adalah konveksi dan perpindahan

panas secara konduksi juga dimungkinkan dengan memanaskan baki tersebut. Proses pengeringan terjadi saat aliran udara panas ini bersinggungan langsung dengan permukaan produk yang akan dikeringkan. Produk ditempatkan pada setiap rak yang tersusun sedemikian rupa agar dapat dikeringkan dengan sempurna. Udara panas sebagai fluida kerja bagi jenis ini diperoleh dari pembakaran bahan bakar, panas matahari atau listrik. Pengering Tipe *Tray* dapat dilihat pada **Gambar 2.14**.



(Sumber: Yuliasdini, 2019)

Gambar 2.14 Pengering Tipe *Tray*

Ukuran yang digunakan bermacam-macam, ada yang luasnya 200 cm² dan ada juga yang 400 cm². Luas rak dan besar lubang-lubang rak tergantung pada bahan yang dikeringkan. Apabila bahan yang akan dikeringkan berupa butiran halus, maka lubangnya berukuran kecil. Pada alat pengering ini bahan selain ditempatkan langsung pada rak-rak dapat juga ditebarkan pada wadah lainnya misalnya pada baki dan nampan. Kemudian pada baki dan nampan ini disusun diatas rak yang ada di dalam pengering.

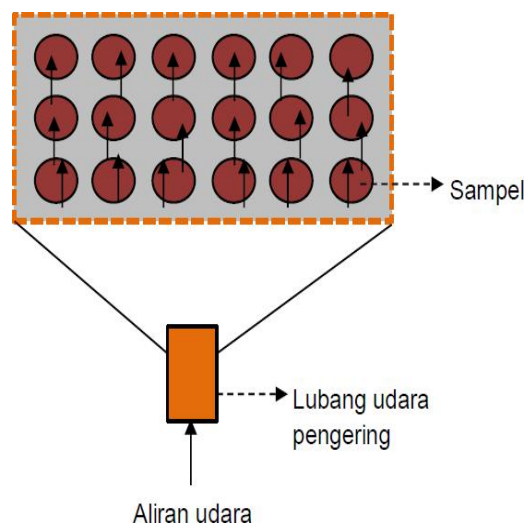
Selain alat pemanas udara, biasanya juga digunakan juga kipas (*fan*) untuk mengatur sirkulasi udara dalam alat pengering. Udara yang telah melewati kipas masuk ke dalam alat pemanas, pada alat ini udara dipanaskan lebih dulu kemudian dialirkan diantara rak-rak yang sudah berisi bahan. Arah aliran udara panas didalam alat pengering bisa dari atas ke bawah dan bisa juga dari bawah ke atas, sesuai dengan dengan ukuran bahan yang dikeringkan. Untuk menentukan arah aliran udara panas ini maka letak kipas juga harus disesuaikan (Taib dkk., 2008). Proses pengeringan dengan *Tray Dryer* merupakan proses dikategorikan sebagai

proses dengan tingkat efisiensi penggunaan energi cukup efisien. Menurut Carmelitha (2015) keuntungan dari alat pengering tipe *tray* sebagai berikut :

- 1) Laju pengeringan yang lebih tinggi, baik dalam periode laju konstan maupun laju menurun,
- 2) Kemungkinan terjadinya *over drying* lebih kecil
- 3) Tekanan udara pengering yang rendah dapat melalui lapisan bahan yang dikeringkan
- 4) Tidak ada reaksi oksidasi atau pembakaran dalam alat pengering. Hal ini berarti tidak ada bahaya kebakaran atau ledakan dan juga menghasilkan mutu yang baik.
- 5) Alat pengering tipe *tray* ini juga memiliki sirkulasi untuk udara panas yang berfungsi agar udara dapat menyebar secara merata di dalam ruang pengeringan yang dapat dilihat pada **Gambar 2.15**.

Menurut Carmelitha (2015) kekurangan alat pengering tipe *tray dryer* sebagai berikut :

- 1) Efisiensi rendah
- 2) Kecenderungan *tray* terbawah panas dan *tray* teratas kurang panas.



(Sumber: Revitasari, 2010)

Gambar 2.15 Sirkulasi Udara Panas pada Ruang Pengeringan Tipe *Tray*

Perbedaan hasil penelitian pengering tipe *tray* terdahulu dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Perbedaan Hasil Penelitian Terdahulu

Bahan	Metode Pengeringan	Suhu (°C)	Waktu (Jam)	Kadar Air (%)		Laju Perpindahan Panas (J)			Laju Pengeringan (kg/jam m ²)	Efisiensi (%)		Referensi
				Sebelum	Sesudah	Konduksi	Konveksi	Radiasi		Thermal	Pengeringan	
Silika Gel	<i>Tray Dryer</i> Panas Koil Heater	80	360 menit	84,94	0,814	0,327	0,082	-	0,01941	61,9886	-	Putri dkk., 2020
Mie	<i>Tray Dryer</i> Panas Koil Heater	70	120 menit	38	9,3	-	-	-	-	-	61,99	Hadi dkk., 2019
Ikan Asin	<i>Tray Dryer</i> Hibrid (Surya-Listrik)	70	300 menit	79,9	31,2	52,01	71,15	0,048	-	53,28	-	Rahman, 2017
Bengkuang	<i>Tray Dryer</i> Berbahan Bakar LPG <i>Double Blower</i>	-	4 jam	84	8,46	-	-	-	-	-	-	Rahbini, 2016
Kunyit	<i>Tray Dryer</i> Panas Terbuang Kondensor AC	42,2	6 jam	-	4,3	-	-	-	-	-	-	Syam, 2019
Kopra	<i>Tray Dryer</i> Panas Buang PLTU Berbahan Bakar Arang Tempurung Kelapa	68,13	6 jam	46,64	16,05	-	-	-	5,1	55,57	8,25	Suntoro, 2018
Ampas Tahu	<i>Tray Dryer</i> Panas Buang dari <i>Boiler</i>	42	1,5 jam	-	-	-	-	-	-	41,013	-	Syawaluddin, 2017
Bunga Rosella	<i>Tray Dryer</i> Berbahan Bakar Arang Batok Kelapas	31	17 jam	90	12	-	-	-	-	-	4,58	Safrizal, 2012
Cengkeh	<i>Sliding Tray Dryer</i> Berbahan Bakar LPG	52,1	10,4 jam	72,1	19,8	-	-	-	-	16,7	-	Johannes, 2017
Cengkeh	<i>Rotating Parts of Tray</i> Berbahan bakar LPG	52,02	4,2 menit	73,18	26,78	-	-	-	5,9	11,57	-	Johannes, 2016

2.6 Perpindahan Panas

Dalam proses pengeringan terjadi proses perpindahan panas yang terbagi menjadi konduksi (hantaran), dan konveksi.

2.6.1 Perpindahan Panas Konduksi

Konduksi adalah suatu proses perpindahan panas yang mengalir dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung (Geankoplis, 1978). Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Menurut teori kinetik, temperatur elemen suatu zat sebanding dengan energi kinetik rata-rata molekul-molekul yang membentuk elemen itu. Energi yang dimiliki oleh suatu elemen zat yang disebabkan oleh kecepatan dan positif relatif molekul-molekulnya disebut energi dalam. Jadi, semakin cepat molekul-molekul bergerak, semakin tinggi suhu maupun energi dalam elemen zat.

Bila molekul-molekul di satu daerah memperoleh energi kinetik rata-rata yang lebih besar daripada yang dimiliki oleh molekul-molekul disuatu daerah yang berdekatan, sebagaimana diwujudkan 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 tembus cahaya. Konduksi penting pula dalam fluida-fluida, tetapi di dalam medium yang bukan padat biasanya bergabung dengan konveksi.

Jika media perpindahan panas konduksi berupa cairan, mekanisme perpindahan panas yang terjadi sama dengan konduksi dengan media gas, hanya kecepatan gerak molekul cairan lebih lambat daripada molekul gas. Tetapi jarak antara molekul-molekul pada cairan lebih pendek dari pada jarak antara molekul-molekul pada fase gas. Persamaan dasar dari konsep perpindahan panas konduksi adalah hukum fourier. Hukum fourier dinyatakan dengan persamaan berikut ini.

$$q_k = U_k(T - T_s)A \quad (2.1)$$

(Geankoplis, 1978)

$$U_k = \frac{1}{1/hc + z_m/k_m + z_s/k_s} \quad (2.2)$$

Keterangan :

q_k = Laju perpindahan panas konduksi	z_m = Ketebalan pelat)
A = Luas penampang	z_s = Ketebalan bahan)
T = Temperatur udara	k_m = Konduktivitas termal pelat)
T_s = Temperatur pelat	k_s = Konduktivitas termal bahan)
	h_c = Koefisien perpindahan panas)

2.6.2 Perpindahan Panas Konveksi

Konveksi adalah suatu proses perpindahan panas yang terjadi antara suatu permukaan benda padat dan fluida (cairan atau gas) yang mengalir akibat adanya perbedaan temperatur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cairan atau gas. Perpindahan energi dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu fluida sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida ini. Kemudian partikel-partikel fluida ini. Kemudian partikel-partikel fluida tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam fluida dimana mereka akan bercampur, dan memindahkan sebagian energinya kepada partikel-partikel fluida lainnya. Perpindahan panas secara konveksi terjadi melalui dua cara, yaitu:

1. Konveksi bebas/konveksi alamiah (*free convection/natural convection*)

Konveksi bebas/konveksi alamiah adalah perpindahan panas yang disebabkan oleh beda suhu dan beda rapat saja dan tidak ada tenaga dari luar yang mendorongnya. Contoh: *plat* panas dibiarkan berada di udara sekitar tanpa ada sumber gerakan dari luar.

2. Konveksi paksaan (*forced convection*)

Konveksi paksaan adalah perpindahan panas yang aliran panas yang aliran gas atau cairannya disebabkan adanya tenaga dari luar. Contoh: *plat* panas dihembus udara dengan kipas/*blower*.

Persamaan untuk menghitung laju perpindahan panas konveksi dikenal dengan hukum pendinginan Newton (*Newton's Law of Cooling*) yang dirumuskan sebagai berikut.

$$q_c = h_c A(T - T_s) \quad (2.3)$$

(Geankoplis, 1978)

Keterangan:

q_c = Laju perpindahan panas konveksi

A = Luas penampang

h_c = Koefisien perpindahan panas

T = Temperatur udara

T_s = Temperatur pelat

2.7 Efisiensi *Thermal*

Dalam termodinamika, efisiensi *thermal* adalah ukuran tanpa dimensi yang menunjukkan performa peralatan *thermal* seperti mesin pembakar dalam dan sebagainya. Panas yang masuk adalah energi yang didapatkan dari sumber energi. *Output* yang diinginkan dapat berupa panas atau kerja, atau mungkin keduanya. Efisiensi *thermal* merupakan perbandingan antara total *output* energi yang terpakai oleh produk yang dikeringkan dengan total *input* energi yang digunakan oleh alat pengering. Untuk mengetahui nilai efisiensi *thermal* dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Efisiensi Thermal} = \frac{Q_{\text{Output}} - Q_{\text{Heat Loss}}}{Q_{\text{Input}}} \quad (2.5)$$

(Himmelblau 7ed, 2004)

Keterangan:

Q_{Output} = Total *output* energi yang dihasilkan oleh alat pengering

Q_{Input} = Total *input* energi yang digunakan oleh alat pengering