

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengerinan

Pengerinan mempunyai pengertian yaitu aplikasi pemanasan melalui kondisi yang teratur, sehingga dapat menghilangkan sebagian besar air dalam suatu bahan dengan cara diuapkan. Penghilangan air dalam suatu bahan dengan cara pengerinan mempunyai satuan operasi yang berbeda dengan dehidrasi. Dehidrasi akan menurunkan aktivitas air yang terkandung dalam bahan dengan cara mengeluarkan atau menghilangkan air dalam jumlah lebih banyak, sehingga umur simpan bahan pangan menjadi lebih panjang atau lebih lama (Muarif, 2013).

2.1.1 Mekanisme Pengerinan

Udara yang terdapat dalam proses pengerinan 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. Kecepatan pengerinan akan naik apabila kecepatan udara ditingkatkan. Kadar air akhir apabila mulai mencapai kesetimbangannya, maka akan membuat waktu pengerinan juga ikut naik atau dengan kata lain lebih cepat (Muarif, 2013).

Faktor yang dapat mempengaruhi pengerinan suatu bahan pangan adalah (Buckle et al, 1987):

1. Sifat fisik dan kimia dari bahan pangan.
2. Pengaturan susunan bahan pangan.
3. Sifat fisik dari lingkungan sekitar alat pengerin.
4. Proses pemindahan dari media pemanas ke bahan yang dikeringkan melalui dua tahapan proses selama pengerinan yaitu:
 - a. Proses perpindahan panas terjadinya penguapan air dari bahan yang dikeringkan,
 - b. Proses perubahan air yang terkandung dalam media yang dikeringkan menguapkan air menjadi gas.

Prinsip pengeringan biasanya akan melibatkan dua kejadian, yaitu panas harus diberikan pada bahan yang akan dikeringkan, dan air harus dikeluarkan dari dalam bahan. Dua fenomena ini menyangkut perpindahan panas ke dalam dan perpindahan massa keluar. Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam kecepatan pengeringan adalah:

- a. Luas permukaan
- b. Perbedaan suhu sekitar
- c. Kecepatan aliran udara
- d. Tekanan Udara

2.1.2 Kandungan Air

Kandungan air yang terdapat dalam bahan terutama hasil pertanian terbagi menjadi 2 bagian, yaitu air yang terdapat dalam keadaan bebas (free water) dan air yang terdapat dalam keadaan terikat (bound water). Air bebas adalah selisih antara kadar air suatu bahan pada suhu dan kelembaban tertentu dengan kadar air kesetimbangan pada suhu dan kelembaban yang sama. Air bebas umumnya terdapat pada bagian permukaan bahan. Air terikat adalah air yang dinakdung oleh suatu bahan yang berada dalam kesetimbangan tekanan uap kurang dari cairan murni pada suhu yang sama. Air terikat terdapat pada bahan dalam keadaan terikat secara fisis dan kimia (sutijahartini,1985).

Untuk menguapkan air dari bahan pangan diperlukan energy penguapan. Besarnya energy penguapan untuk air terikat secara fisis, dan energy penguapan yang paling besar adalah energy penguapan untuk air terikat secara kimia. Pada proses pengeringan, air yang pertama kali diuapkan adalah air bebas, dilanjutkan dengan air terikat. Air yang dapat diuapkan tersebut dinamakan vaporable water (sutijahartini,1985).

Kadar air suatu bahan merupakan persentase berat air yang terdapt didalamnya terhadap berat bahan keseluruhan. Kadar air dapat dinyatakan dengan dua cara, yaitu kadar air berdasarkan bahan kering (dry basis) dan kadar air berdasarkan bahan basah (wet basis). Dalam proses pengeringan suatu bahan kadar air memegang peranan penting karena sangat berpengaruh terhadap lama

pengeringan, jalannya proses pengeringan, perubahan yang terjadi pada bahan dan alat pengering selama proses pengeringan berlangsung (Hall,1957 dan Richey et al.,1961). Kecepatan pengeringan dai suatu bahan adalah banyaknya kandungan air yang dapat diindahkan atau diuapkan tiap satuan waktu pengeringan. (Richey et, all., 1961).

2.2 Jenis-Jenis Alat Pengering

Berdasarkan bahan yang akan dikeringkan adapun jenis-jenis alat pengering yang terbagi menjadi 2 yaitu (Unari Taib, dkk, 2008)

1. Pengering untuk Zat Padat dan Tapal

a. Pengering Putar (*Rotary Dryer*)

Pengering putar terdiri dari sebuah selongsong berbentuk silinder yang berputar, horisontal atau gerak miring ke bawah kearah keluar. Umpan masuk dari satu ujung silinder, bahan kering keluar dari ujung yang satu lagi.

b. Pengering konveyor (*Screen Conveyor Dryer*)

Lapisan bahan yang akan dikeringkan diangkut perlahan-lahan diatas logam melalui kamar atau terowongan pengering yang mempunyai kipas dan pemanas udara.

c. 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.

d. 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.

e) Alat Pengering Tipe Rak (*Tray Dryer*)

Tray dryer atau alat pengering tipe rak, mempunyai bentuk persegi dan didalamnya berisi rak-rak, yang digunakan sebagai tempat bahan yang akan dikeringkan. Pada umumnya rak tidak dapat dikeluarkan. 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.

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 dialurkan 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 .

2. Pengeringan Larutan dan Bubur

a. Pengering Semprot (*Spray Dryer*)

Pada *spray dryer*, bahan cair berpartikel kasar (*slurry*) dimasukkan lewat pipa saluran yang berputar dan disemprotkan ke dalam jalur yang berudara bersih, kering, dan panas dalam suatu tempat yang besar, kemudian produk yang telah kering dikumpulkan dalam filter kotak, dan siap untuk dikemas.

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

Saingan *Spray dryer* dalam beberapa penerapan tertentu adalah pengering film tipis yang dapat menangani zat padat maupun bubuk dan menghasilkan hasil padat yang kering dan bebas mengalir. Efisiensi termal pengering film tipis biasanya tinggi dan kehilangan zat padatnya pun kecil. Alat ini relatif lebih mahal dan luas permukaan perpindahan kalornya terbatas (Unair Thaib, dkk).

2.3 Klasifikasi Pengering

Pengeringan dimana zat padat bersentuhan langsung dengan gas panas (biasanya udara) disebut pengeringan adiabatik (*adiabatic dryer*) atau pengeringan langsung (*direct dryer*). Bila perpindahan kalor berlangsung dari suatu medium luar dinamakan pengering nonadiabatik atau pengering tak langsung. Pada beberapa unit terdapat gabungan pengeringan adiabatik dan nonadiabatik, pengering ini biasa disebut pengering langsung-tak-langsung (*direct-indirect-dryer*).

Berdasarkan cara penanganan zat padat didalam pengering, klasifikasi pengeringan dikelompokkan menjadi :

a. Pengering Adiabatik

Dalam pengeringan adiabatik, zat padat kontak langsung dengan gas panas dibedakan atas : (McCabe,1985)

1. Gas ditiup melintas permukaan hampan atau lembaran zat padat, atau melintas pada satu atau kedua sisi lembaran. Proses ini disebut pengeringan dengan sirkulasi silang
2. zat padat disiramkan kebawah melalui suatu arus gas yang bergerak perlahan-lahan keatas. Proses ini disebut penyiraman didalam pengering putar.
3. Gas dialirkan melalui zat padat dengan kecepatan yang cukup untuk memfluidisasikan hampan.
4. Zat padat seluruhnya dibawah ikut dengan arus gas kecepatan tinggi dan diangkut secara *pneumatic* dari piranti pencampuran kepemisah mekanik.

b. Pengering Non Adiabatik

Dalam pengering non adiabatik, satu-satunya gas yang harus dikeluarkan ialah uap air atau uap zat pelarut, walaupun kadang-kadang sejumlah kecil “gas penyapu” (biasanya udara atau nitrogen) dilewatkan juga melalui unit itu. (McCabe,1985). Pengering-pengering adiabatik dibedakan terutama menurut zat padat yang kontak dengan permukaan panas atau sumber panas kalor lainnya yang terbagi atas :

1. zat padat dihamparkan diatas suatu permukaan horizontal yang stasioner atau bergerak lambat. Pemanasan permukaan itu dapat dilakukan dengan listrik atau dengan fluida perpindahan kalor seperti uap air panas. Pemberian kalor itu dapat pula dilakukan dengan pemanas radiasi yang ditempatkan diatas zat padat itu.
2. Zat padat itu bergerak diatas permukaan panas, yang biasanya berbentuk silinder, dengan bantuan pengaduk atau konveyor sekrup (*screw konveyor*).
3. Zat padat menggelincir dengan gaya gravitasi diatas permukaan panas yang miring atau dibawa naik bersama permukaan itu selama selang waktu tertentu dan kemudian diluncurkan lagi ke suatu lokasi yang baru.

2.4 Pengelompokan Mesin Pengering

Jenis bahan yang akan dikeringkan, mutu hasil akhir yang dikeringkan dan pertimbangan ekonomi mempengaruhi pemilihan alat dan kondisi pengering yang akan digunakan misalnya untuk jenis bahan padatan atau yang berbentuk lempeng maka alat yang sesuai untuk mengeringkan bahan tersebut adalah pengering Kabinet atau *tray dryer* , *oven* dan *rotary dryer* , sedangkan bahan yang berbentuk pasta alat yang sesuai untuk mengeringkan adalah pengering drum (Brennan et, al., 1974 dan novilia,2006). Ada beberapa criteria yang digunakan untuk mengelompokkan mesin pengering, seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Pengelompokkan Mesin Pengering

Kriteria	Jenis
Modus Operasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Batch. Contohnya: try and compartment dryer, through circulation dryer, vacuum rotary dryer, vacuum tray dryer. 2. Kontinyu. Contohnya : pneumatic dryer, tunnel dryer, rotary dryer, fluidized bed dryer, drum dryer, cylinder dryer, tray dryer, spray dryer.
Metode pindah panas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Konduksi. Contohnya : belt conveyer dryer, rotary dryer flash dryer, spray dryer, tray dryer, fluidized bed dryer 2. Konveksi. Contohnya : drum dryer, vacuum tray dryer, steam jacket rotary dryer 3. Radiasi. Contohnya : microwave
Tekanan Operasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vakum. Contohnya: vacuum rotary dryer, vacuum tray dryer freeze dryer. 2. Tekanan atmosfer. Contohnya : rotary dryer, tunnel dryer, drum dryer, cylinder dryer, tray dryer, spray dryer.
Waktu bahan dalam mesin pengering	<ol style="list-style-type: none"> 1. Singkat (< 1 menit). Contohnya : flash dryer, spray dryer, drum dryer. 2. Sedang (1-120 menit) belt conveyer dryer, fluidized bed dryer, rotary dryer, tray dryer 3. Panjang (> 120 menit). Contohnya : Tray Dryer (Batch)

Sumber : Mujumdar dan Menon, 1995

2.5 Perpindahan Panas

Dalam proses pengeringan terjadi proses perpindahan panas yang terbagi menjadi tiga cara yaitu konduksi (hantaran), konveksi, dan radiasi (sinaran).

c. Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah proses dengan panas 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. Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energy terjjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Menurut teori kinetic, suhu elemen suatu zat sebanding dengan energy kinetik rata-rata molekul –molekul yang membentuk elemen itu. Energy yang dimiliki oleh suatu elemen zat yang disebabkan oleh kecepatan dan positif relative molekul-molekulnya disebut energy dalam. Jadi, semakin cepat molekul-molekul bergerak, semakin tinggi suhu maupun energy dalam elemen zat. Bila molekul-molekul di satu daerah memperoleh energy 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 energy yang lebih besar itu akan memindahkan sebagian energinya kepada molekul-molekul di daerah yang bersuhhu 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 tergabung dengan konveksi. (Frank Kreith, dkk)

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.

$$q_k = - \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2.1)$$

atau

$$\frac{qk}{A} = k \left(- \frac{dT}{dx} \right) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana : T = Suhu °C (°F)

x = jarak/tebal dinding, m (ft)

A = luas dinding (luas perpindahan panas). m² (ft²)

k = konduktivitas termal, W/m.°C (Btu/h.ft.°F)

q_k = laju perpindahan panas konduksi, Watt (Btu/h)

$\frac{q_k}{A}$ = laju perpindahan panas per satuan luas (*heat flux*) W/m² (Btu/h.ft²)

(J.P.Holman, 1995)

d. Perpindahan panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah proses perpindahan energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cairan atau gas. (Frank Kreith,dkk)

Perpindahan energy 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 fluidalainnya. (Frank Kreith,dkk)

Perpindahan panas secara konveksi terjadi melalui 2 cara, yaitu :

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

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*)

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 dasar dari konsep perpindahan panas konveksi adalah hukum Newton. Hukum Newton dinyatakan dengan persamaan berikut ini.

$$q_c = h_c A(T_w - T_s) \dots \dots \dots (2.3)$$

Atau

$$\frac{q_c}{A} = h_c(T_w - T_s) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana : T = suhu, °C (°F)

A = luas permukaan, m² (ft²)

h_c= koefisien perpindahan panas konveksi (*convection heat transfer coefficient*)

q_c = laju perpindahan panas konveksi, Watt (Btu/h)

$\frac{q_c}{A}$ = laju perpindahan panas per satuan luas (*heat flux*) W/m² (Btu/h/ft²)

(J.P. Holman,1995)

Berikut merupakan perbedaan antara konveksi alami dan konveksi paksa yang dapat dilihat pada tabel.1

Tabel.2. Perbedaan Konveksi Alamiah dan Konveksi Paksa.

No	Deskripsi	Konveksi Alamiah	Konveksi Paksa
1	Definisi	Pergerakan fluida (udara, air, gas, dll) tanpa gaya luar	Pergerakan fluida (udara, air, gas, dll) dengan gaya luar seperti fan, kompresor, dll
2	Persamaan mengetahui jenis aliran (laminer atau turbulen)	$Ra = \frac{g\beta(T_H - T_C)x^3}{\alpha\vartheta}$ <p> Ra = Bilangan Raidegh β =Volumetrik coefficient of expansion (1/K) α = Thermal diffucity (m²/s) ϑ = Kinematik viscosity (m²/s) T_H = Temperatur tertinggi (K) T_C = Temperatur terendah (K) g = Gravity (9,81 m/s²) x = Panjang (m); 6 m Nilai : α, β ϑ dari ((T_H+T_C)/2) Aliran turbulen jika Ra>10⁸ </p>	$Re = \frac{\rho v x}{\mu}$ <p> Re = Bilangan Reynold ρ = Density (kg/m³) v = Kecepatan alir (m/s) x = Pipa diameter dalam (m), non pipa panjang (m) μ = dinamik viskositas (kg/m.s) </p> <p>Aliran turbulen jika Re>2000 Note : untuk desain heat exchanger aliran di dalam pipa harus turbulen agar kapasitas pendinginan baik.</p>
3	Aplikasi pada CFD SOFT	Jika aliran turbulen maka turbulensi diaktifkan, jika tidak ada ketidaksesuaian data grafik, temperatur tinggi, tekanan rendah (eror)	

Sumber : CanCFD,2013

c. Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah proses dengan mana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda-benda itu terpisah di dalam ruuag, bahkan bila terdapat ruang hampa di antara benda-benda tersebut. Panas radiasi dipancarkan oleh suatu benda dalam bentuk bac (*bacth*) gelombang (kumpulan) energy yang terbatas. Gerakan panas radiasi di dalam

ruang mirip perambatan cahaya dan dapat diuraikan dengan teori gelombang. Bilamana gelombang radiasi menjumpai benda yang lain, maka energi diserap di dekat permukaan benda tersebut. (Frank Kreith,dkk)

Benda yang dapat memancarkan panas dengan sempurna disebut radiator yang sempurna dan dikenal sebagai benda hitam (*black body*). Sedangkan benda yang tidak dapat memancarkan panas dengan sempurna disebut dengan benda abu-abu (*gray body*). Hukum Stefan-Boltzman dinyatakan dengan persamaan berikut ini.

$$q_r = \varepsilon \sigma AT^4 \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana : ε = Emisivitas

T = suhu absolut benda, K ($^{\circ}$ R)

A = Luas permukaan, m² (ft²)

q_r = laju perpindahan panas radiasi, Watt (Btu/h)

σ = konstanta Stefan-Boltzman, 5,669 x 10⁻⁸ W/m².K⁴ (0,1713 x 10⁻⁸ Btu/h.ft². $^{\circ}$ R⁴) (konstanta proporsional)

Benda hitam, emisvitasnya berharga satu, sedangkan untuk benda abu-abu, nilai emisitasnya selalu lebih kecil dari satu (Luqman Buchori, 2004).

Ada beberapa sumber radiasi yang kita kenal di sekitar kehidupan kita, contohnya adalah televisi, lampu penerangan, alat pemanas makanan (microwave oven), komputer, dan lain-lain. Radiasi dalam bentuk gelombang elektromagnetik atau disebut juga dengan foton adalah jenis radiasi yang tidak mempunyai massa dan muatan listrik. Misalnya adalah gamma dan sinar-X, dan juga termasuk radiasi tampak seperti sinar lampu, sinar matahari, gelombang microwave, radar dan handphone, (BATAN, 2008).

2.6 Furnace (Tungku Pembakaran)

Furnace adalah alat tempat terjadinya pembakaran suatu bahan bakar (*oil* atau *gas*) dimana gas hasil pembakaran tersebut dimanfaatkan panasnya untuk memanaskan suatu bahan. Furnace berfungsi untuk memindahkan panas (kalor) yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar yang berlangsung dalam suatu ruang pembakaran (*combustion chamber*) ke fluida yang dipanaskan dengan

mengalirkannya melalui pipa-pipa pembuluh (*tube*). Tujuan dari pemindahan panas hasil pembakaran ke *fluida* adalah agar tercapai suhu operasi yang diinginkan pada proses berikutnya. Sumber panas *furnace* berasal dari pembakaran antara bahan bakar cair (*fuel oil*) atau bahan bakar (*fuel gas*) dengan udara yang panasnya digunakan untuk memanaskan *crude oil* yang mengalir di dalam tube.

Furnace memiliki struktur bangunan plat baja (*metal*) yang bagian dalamnya dilapisi oleh material tahan api, batu isolasi, dan *refractory* yang fungsinya untuk mencegah kehilangan panas serta dapat menyimpan sekaligus memantulkan panas radiasi kembali ke permukaan *tube* yang dikenal dengan "*Fire Box*" atau "*Combustion Chamber*". *Furnace* pada dasarnya terdiri dari sebuah ruang pembakaran yang menghasilkan sumber kalor untuk diserap kumparan pipa (*tube coil*) yang didalamnya mengalir *fluida*. Dalam konstruksi ini biasanya *tube coil* dipasang menelusuri dan merapat ke bagian lorong yang menyalurkan gas hasil bakar (*flue gas*) dari ruang bakar ke cerobong asap (*stack*). Perpindahan kalor di ruang pembakaran terutama terjadi karena radiasi disebut seksi radiasi (*radiant section*), sedangkan di saluran gas hasil pembakaran terutama oleh konveksi disebut seksi konveksi (*convection section*). Untuk mencegah supaya gas buangan tidak terlalu cepat meninggalkan ruang konveksi maka pada cerobong sering kali dipasang penyekat (*damper*). Perpindahan panas kalor melalui pembuluh dikenal sebagai konduksi. (Putri,2012)

2.6.1 Tipe Furnace

Furnace memiliki beberapa jenis atau tipe. Jenis-jenis *furnace* tersebut terdiri dari (Putri,2012):

a. Tipe Box (*Box Furnace*)

Dapur tipe *box* mempunyai bagian *radiant* dan konveksi yang dipisahkan oleh dinding batu tahan api yang disebut *bridge wall*. Burner dipasang pada ujung dapur dan api diarahkan tegak lurus dengan pipa atau dinding samping dapur (api sejajar dengan pipa).

Aplikasi dapur tipe box :

- 1) Beban kalor berkisar 60-80 MM Btu/Jam atau lebih.
- 2) Dipakai untuk melayani unit proses dengan kapasitas besar.
- 3) Umumnya bahan bakar yang dipakai adalah *fuel oil*.
- 4) Dipakai pada instalasi-instalasi tua, adakalanya pada instalasi baru yang mempunyai persediaan bahan bakar dengan kadar abu (*ash*) tinggi.

b. Tipe Silindris Tegak (*Vertical*)

Furnace ini mempunyai bentuk konstruksi silinder dan bentuk alas (lantai) bulat. *Tube* dipasang *vertical* ataupun *konikal*. Burner dipasang pada lantai sehingga nyala api tegak lurus ke atas sejajar dengan dinding *furnace*. *Furnace* ini dibuat dengan atau tanpa ruang konveksi. Jenis pipa pemanas yang dipasang di ruang konveksi biasanya menggunakan *finned tube* yang banyak digunakan pada *furnace* dengan bahan bakar gas.

Aplikasi dapur tipe silindris :

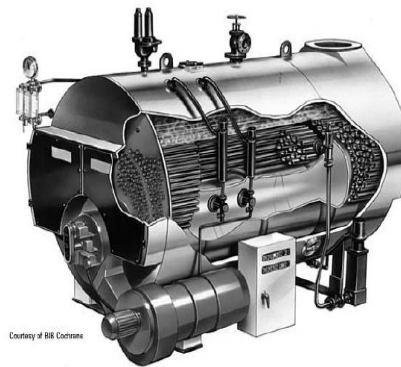
- 1) Digunakan untuk pemanasan *fluida* yang mempunyai perbedaan suhu antara *inlet* dan *outlet* tidak terlalu besar atau sekitar 200⁰F (90⁰C).
- 2) Beban kalor berkisar antara 10 s.d. 200 gj/jam.
- 3) Umumnya dipakai pemanas fluida umpan reaktor.

2.7 Ketel Uap

Ketel uap adalah sebuah alat untuk menghasilkan uap, dimana terdiri dari dua bagian yang penting yaitu: dapur pemanasan, dimana yang menghasilkan panas yang didapat dari pembakaran bahan bakar dan boiler proper, sebuah alat yang mengubah air menjadi uap. Uap atau fluida panas kemudian disirkulasikan dari ketel untuk berbagai proses dalam aplikasi pemanasan (Ridho Fadillah,2015) Klasifikasi ketel uap ada beberapa macam, untuk memilih ketel uap harus mengetahui klasifikasinya terlebih dahulu, sehingga dapat memilih dengan benar dan sesuai dengan kegunaannya di industri. Karena jika salah dalam pemilihan ketel uap akan menyebabkan penggunaan tidak akan maksimal dan dapat menyebabkan masalah dikemudian harinya. Berdasarkan fluida yang mengalir dalam pipa ketel uap dibagi beberapa jenis, yaitu :

a. **Ketel Pipa api (*Fire tube boiler*)**

Pada ketel pipa api, gas panas melewati pipa-pipa dan air umpan ketel ada di dalam *shell* untuk dirubah menjadi *steam*. Ketel pipa api dapat menggunakan bahan bakar minyak bakar, gas atau bahan bakar padat dalam operasinya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar.1 berikut ini.

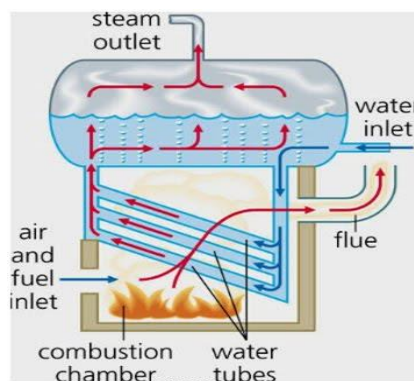


Gambar 1. Ketel Pipa Api

Sumber : (Ridho Fadillah,2015.Academia.com)

b. **Ketel pipa air (*water tube boiler*)**

Pada ketel pipa air, air diumpankan Boiler melalui pipa-pipa masuk kedalam *drum*. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakaran membentuk steam pada daerah uap dalam drum. Ketel ini dipilih jika kebutuhan *steam* dan tekanan steam sangat tinggi (ridho fadillah,2015. Academia.com).untuk lebih jelasnya gambar ketel pipa air dapat dilihat pada gambar.2 berikut ini.



Gambar 2. Ketel Pipa Air

Sumber : (Ridho Fadillah,2015. Academia.com)

2.8 Kipas Angin (*fan*)

Kipas angin (*fan*) adalah perangkat mekanis yang digunakan untuk membuat aliran gas kontinu seperti udara. Dalam setiap sistem pendingin, yang menggunakan gas sebagai penghantar, kipas angin adalah unit wajib yang menciptakan aliran udara dalam sistem. Sistem ini dapat dilihat dalam kipas angin sederhana yang digunakan di rumah tangga. Ketika membutuhkan tekanan yang tinggi diperlukan *blower* yang digunakan sebagai pengganti kipas angin. Sehingga, *Fan* dapat menghasilkan aliran gas dengan sedikit tekanan dan volume gas yang lebih besar, sementara *blower* dapat menghasilkan rasio tekanan yang relative lebih tinggi dengan volume aliran gas yang lebih besar. Adapun jenis-jenis kipas angin (*fan*) antara lain (Rizki Fauzi, Academia.edu):

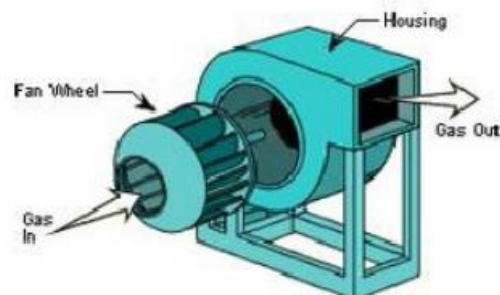
1. Berdasarkan pengaturan kecepatannya

Berdasarkan pengaturan kecepatannya, *fan* ada yang memiliki kecepatan sehingga dapat diatur kecepatannya dan ada pula memiliki kecepatan konstan.

2. Berdasarkan desainnya

a. *Centrifugal fan*

Centrifugal fan adalah mesin yang digunakan untuk menggerakkan udara atau gas lainnya. *Fan* ini menaikkan kecepatan dari aliran udara dengan bagian berputarnya. *Fan* ini memanfaatkan energi kinetic dari kipasnya untuk menaikkan tekanan udara.



Gambar 3. *Centrifugal fan*

Sumber : www.Academia.edu/blower

b. *Axial fan*

Axial fan memakai gaya poros untuk menggerakkan udara atau gas, berputar dengan poros utama dengan kipas yang dipasang secara tegak lurus dari

diameter luar poros. *Axial fan* biasa digunakan pada sistem ventilasi silindris pendek, yang aliran masuk dan keluarnya dapat dihubungkan.



Gambar 4. Axial fan

Sumber : www.Academia.edu/blower

3. Berdasarkan Penempatannya

a. *Exhaust fan*

Exhaust fan adalah *fan* yang ditempatkan setelah komponen utamanya sehingga fungsinya untuk menarik udara/gas ke arah komponen tersebut.

b. *Blower fan*

Blower fan adalah *fan* yang ditempatkan sebelum komponen utamanya sehingga fungsinya untuk mendorong udara/gas ke arah komponen tersebut (Rizki Fauzi, Academia.edu).

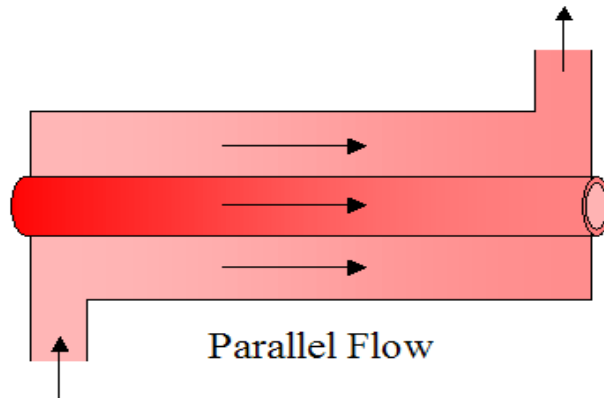
2.9 Alat Penukar Panas (*Heat Exchanger*)

Heat Exchanger merupakan alat pertukaran panas antara dua fluida dengan temperatur yang berbeda, bertujuan memanaskan atau mendinginkan fluida banyak diaplikasikan secara teknik dalam berbagai proses *thermal* dalam dunia industri. Berdasarkan arah aliran fluida, *Heat Exchanger* dapat dibedakan menjadi (Fauzy,2011):

1. Alat Penukar Panas (*Heat Exchanger*) dengan aliran searah (*co-current/parallel flow*)

Pertukaran panas jenis ini, kedua fluida (dingin dan panas) masuk pada sisi *Heat Exchanger* yang sama, mengalir dengan arah yang sama, dan keluar pada

sisi yang sama. Karakter *Heat Exchanger* jenis ini, temperatur fluida dingin yang keluar dari *Heat Exchanger* (T_{co}) tidak dapat melebihi temperatur fluida panas yang keluar (T_{ho}), sehingga diperlukan media pendingin atau media pemanas yang banyak. Alat penukar panas dengan aliran searah dapat dilihat pada gambar.3 berikut ini.

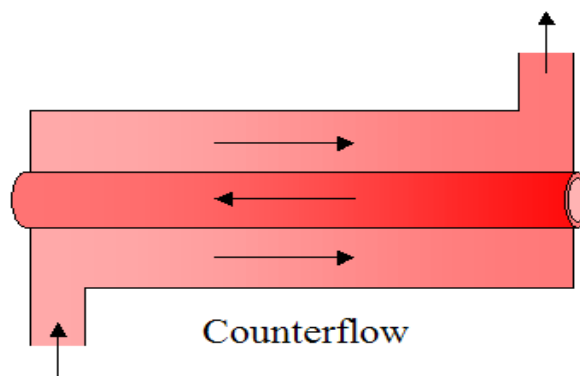


Gambar 5. Aliran searah

Sumber: Frank Kreith, Arko Prijono, M.Sc, 1986

2. Alat Penukar Panas (*Heat Exchanger*) dengan aliran berlawanan arah (*counter-current flow*)

Heat Exchanger jenis ini memiliki karakteristik; kedua fluida (panas dan dingin) masuk ke *Heat exchanger* dengan arah berlawanan, mengalir dengan arah berlawanan dan keluar *Heat exchanger* pada sisi yang berlawanan. Alat penukar panas dengan aliran berlawanan dapat dilihat pada gambar.4 berikut ini.



Gambar 6. Aliran Berlawanan

Sumber: Frank Kreith, Arko Prijono, M.Sc, 1986

Pada Dasarnya prinsip kerja dari alat penukar kalor yaitu memindahkan panas dari dua fluida pada temperatur berbeda di mana transfer panas dapat dilakukan secara langsung ataupun tidak langsung.

a. Secara kontak langsung

Panas yang dipindahkan antara fluida panas dan dingin melalui permukaan kontak langsung berarti tidak ada dinding antara kedua fluida. Transfer panas yang terjadi yaitu melalui interfase / penghubung antara kedua fluida. Contoh : aliran steam pada kontak langsung yaitu 2 zat cair yang immiscible (tidak dapat bercampur), gas-liquid, dan partikel padat-kombinasi fluida.

b. Secara kontak tak langsung

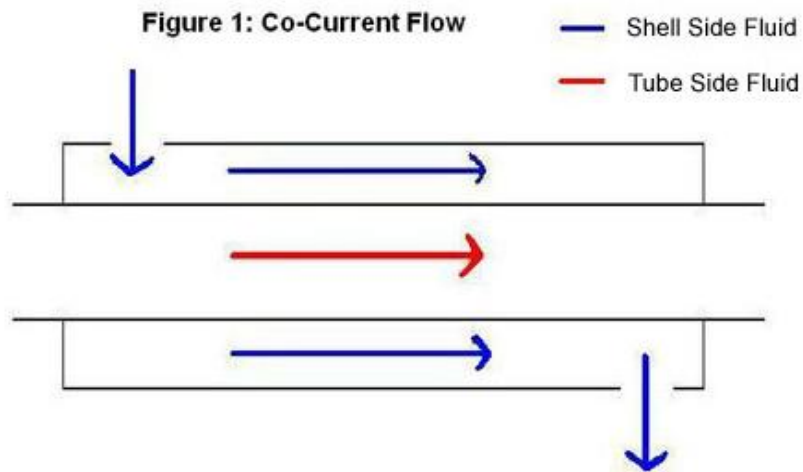
Perpindahan panas terjadi antara fluida panas dan dingin melalui dinding pemisah. Dalam sistem ini, kedua fluida akan mengalir.

2.9.1 Jenis – jenis Alat Penukar Panas

Ada beberapa jenis heat exchanger yang banyak digunakan dalam industri, yaitu (Fauzi,2011):

a. Penukar panas pipa rangkap (*double pipe heat exchanger*)

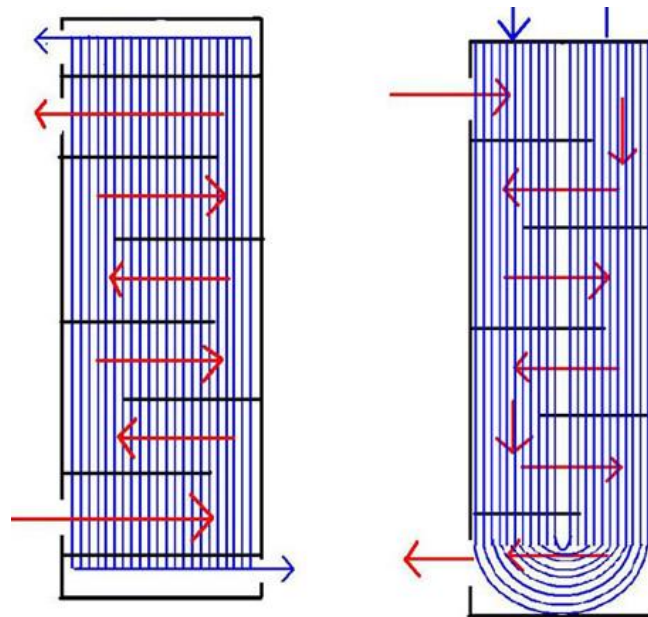
Salah satu jenis penukar panas adalah susunan pipa ganda. Dalam jenis penukar panas dapat digunakan berlawanan arah aliran atau arah aliran, baik dengan cairan panas atau dingin cairan yang terkandung dalam ruang annular dan cairan lainnya dalam pipa. Alat penukar panas pipa rangkap terdiri dari dua pipa logam standart yang di kedua ujungnya dilas menjadi satu atau dihubungkan dengan kotak penyekat. Fluida yang satu mengalir di dalam pipa, sedangkan fluida kedua mengalir di dalam ruang anulus antara pipa luar dengan pipa dalam. Alat penukar panas jenis ini dapat digunakan pada laju alir fluida yang kecil dan tekanan operasi yang tinggi. Sedangkan untuk kapasitas yang lebih besar digunakan penukar panas jenis selongsong dan buluh (*shell and tube heat exchanger*). Berikut merupakan gambar dari penukar panas tipe rangkap :



Gambar 7. Double Pipe Heat Exchanger
Sumber: Frank Kreith, Arko Prijono, M.Sc, 1986

b. Penukar panas cangkang dan buluh (*shell and tube heat exchanger*)

penukar panas cangkang dan buluh terdiri atas suatu bundel pipa yang dihubungkan secara parallel dan ditempatkan dalam sebuah pipa mantel (cangkang). Fluida yang satu mengalir di dalam bundel pipa, sedangkan fluida yang lain mengalir di luar pipa pada arah yang sama, berlawanan, atau bersilangan. Kedua ujung pipa tersebut dilas pada penunjang pipa yang menempel pada mantel. Untuk meningkatkan efisiensi pertukaran panas, biasanya pada alat penukar panas cangkang dan buluh dipasang sekat (*baffle*). Ini bertujuan untuk membuat turbulensi aliran fluida dan menambah waktu tinggal (*residence time*), namun pemasangan sekat akan memperbesar pressure drop operasi dan menambah beban kerja pompa, sehingga laju alir fluida yang dipertukarkan panasnya harus diatur.



Gambar 8. Shell and Tube

Sumber: Frank Kreith, Arko Prijono, M.Sc, 1986

2.10. Tanaman Kelapa

Tanaman kelapa (*Cocos nucifera L.*) merupakan salah satu tanaman yang termasuk dalam *famili Palmae* dan banyak tumbuh di daerah tropis, seperti di Indonesia. Tanaman kelapa membutuhkan lingkungan hidup yang sesuai untuk pertumbuhan dan produksinya. Faktor lingkungan itu adalah sinar matahari, temperatur, curah hujan, kelembaban, dan tanah (Palungkun, 2001).

Kelapa dikenal sebagai tanaman yang serbaguna karena seluruh bagian tanaman ini bermanfaat bagi kehidupan manusia serta mempunyai nilai ekonomis yang cukup tinggi. Salah satu bagian yang terpenting dari tanaman kelapa adalah buah kelapa. Buah kelapa terdiri dari beberapa komponen yaitu kulit luar (*epicarp*), sabut (*mesocarp*), tempurung kelapa (*endocarp*), daging buah (*endosperm*), dan air kelapa.

Tempurung kelapa merupakan bagian buah kelapa yang fungsinya secara biologis adalah pelindung inti buah dan terletak di bagian sebelah dalam sabut dengan ketebalan berkisar antara 3–6 mm. Tempurung kelapa dikategorikan sebagai kayu keras tetapi mempunyai kadar lignin yang lebih tinggi dan kadar selulosa lebih rendah dengan kadar air sekitar enam sampai sembilan persen (dihitung berdasarkan berat kering) dan terutama tersusun dari lignin, selulosa dan

hemiselulosa (Tilman, 1981). Apabila tempurung kelapa dibakar pada temperatur tinggi dalam ruangan yang tidak berhubungan dengan udara maka akan terjadi rangkaian proses penguraian penyusun tempurung kelapa tersebut dan akan menghasilkan arang, destilat, tar dan gas. Destilat ini merupakan komponen yang sering disebut sebagai asap cair (Pranata, 2008).

Tempurung kelapa termasuk golongan kayu keras dengan kadar air sekitar enam sampai sembilan persen (dihitung berdasar berat kering), dan terutama tersusun dari lignin, selulosa dan hemiselulosa. Data komposisi kimia tempurung kelapa dapat kita lihat pada tabel berikut ini.

Tabel 3. Komposisi Kimia Tempurung Kelapa

Komponen	Presentase (%)
Selulosa	26,6
Hemiselulosa	27,7
Lignin	29,4
Abu	0,6
Komponen Ekstraktif	4,2
Uronat Anhidrat	3,5
Nitrogen	0,1
Air	8,0

(Sumber : Suhardiyono, 2008)

2.10 Desain Alat Pengering tipe *Tray*

Tray dryer atau alat pengering tipe rak, mempunyai bentuk persegi dan didalamnya berisi rak-rak, yang digunakan sebagai tempat bahan yang akan dikeringkan. Untuk alat pengering yang akan dirancang ini menggunakan media uap panas yang dihasilkan oleh ketel uap yang akan dihembuskan oleh radiator dengan bantuan *Fan*. Sebelum alat pengering ini dirancang ditentukan terlebih dahulu prosedur pengujian secara tak langsung yang terdiri dari :

a. Perhitungan kadar air kerupuk setelah dikeringkan

Untuk menghitung kadar air kerupuk yang telah dikeringkan dapat diperoleh melalui metode neraca kesetimbangan energi. Metode neraca kesetimbangan energy ini berhubungan dengan kapasitas pengeringan yang dilakukan. Selain

kapasitas pengeringan alat, variable yang dibutuhkan dari neraca massa ini antara lain kadar air bahan sebelum pengeringan. (MAPI,2006)

b. **Perhitungan kebutuhan energi selama proses pengeringan**

Untuk menghitung kebutuhan energy selama proses pengeringan dapat diperoleh melalui metode neraca kesetimbangan energy. Pada prinsipnya energy total (Q_T) yang dibutuhkan pada proses pengeringan digunakan untuk pemanasan bahan (Q_t), pemanasan kandungan air (Q_w) energi untuk menguapkan air dalam bahan ditambah energi yang terbuang dari dinding (Q_{lw}).

2.10.1 Perkiraan Total Energi yang Dibutuhkan untuk Mengeringkan Kerupuk per Jam

Total energy yang dibutuhkan untuk proses pengeringan/jam dengan bahan bakar dihitung sebagai berikut :

- a. Kebutuhan energi untuk pengeringan kerupuk (Q_d), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Q_d = Q_h + Q_w + Q_l \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

- Q_d = energi pengeringan kerupuk, KJ
- Q_h = energi pemanasan kerupuk, KJ
- Q_w = energi pemanasan air kerupuk, KJ
- Q_l = energi penguapan air kerupuk, KJ

Energi untuk pemanasan kerupuk (Q_h), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (hougen,hal258)

$$Q_h = W_{kb} \times C_{pkerupuk} (T_d - T_a) \dots \dots \dots (2.7)$$

Energi pemanasan air kerupuk (Q_w), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (hougen,hal258)

$$Q_w = W_i \times C_p \text{ air} (T_d - T_a) \dots \dots \dots (2.8)$$

Energi penguapan air kerupuk (Q_l), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Q_l = W_r \times \lambda \dots \dots \dots (2.9)$$

- b. Laju aliran energi (kalor) konveksi dalam box pengering dihitung sebagai berikut. (j.p Holman, hal 318)

$$Gr\delta Pr = \frac{g\beta(T_2-T_1)\delta^3}{\nu^2} \times Pr$$

Perpindahan kalor konveksi, q dihitung dengan persamaan berikut :

$$q = \frac{K_e A (T_2 - T_1)}{\delta} \dots \dots \dots (2.10)$$

- c. Energi yang hilang dari dinding ruang pengering (qlw), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan , sebagai berikut. (j.p Holman, hal 33)

$$Q_{lw} = U \cdot A \cdot \Delta T_{\text{menyeluruh}} \dots \dots \dots (2.11)$$

$$U = 1 / (\Delta x_w / K_w + \Delta x_r / K_r)$$

Dimana :

Q_{lw} = energy yang hilang melalui dinding box pengering, Kkal/jam

U = koefisien perpindahan kalor menyeluruh (W/m²°C)

K_w = koefisien perpindahan kalor konduksi plat (W/m²°C)

K_r = koefisien perpindahan kalor konduksi isolasi (W/m²°C)

A = luas penampang (m²)

ΔX_w = tebal plat (m)

ΔX_r = tebal lapisan isolasi (m)

- d. Energy yang hilang dari saluran pembuangan dihitung dengan persamaan :

$$Q_{lv} = m \times h_g \dots \dots \dots (2.12)$$

Dengan

$$m = \rho \times v \times A \rightarrow A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

Dimana :

Q_{lv} = energy yang hilang dari saluran pembuangan (kj)

H_g = entalpi jenis uap (kj/kg)

m = laju aliran massa uap (kg/s)

ρ = massa jenis uap (kg/m³)

v = laju aliran uap keluar pipa saluran uap (m/s)

A = luas penampang (m²)

d = diameter pipa (inchi)

e. total energi yang dibutuhkan untuk mengeringkan kerupuk per jam (Q_t), dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_t = Q_d + (q_{lw} + q_{kv}) \times 1 \text{ jam} + q_{lv} \times \frac{1}{4} \text{ jam} \dots \dots \dots (2.13)$$

Sumber : Farel H.Napitupulu, Yuda Pratama Atmaja, 2011

2.10.2 Perkiraan Kebutuhan Air yang Digunakan Selama Proses Pengeringan Kerupuk

Energi yang dilepaskan air harus mampu memenuhi kebutuhan energy total pengeringan kerupuk hingga mencapai kadar air yang diharapkan, maka hubungannya berlaku persamaan :

$$Q_T = m_a \times C_{p \text{ air}} \times \Delta T + m_a \cdot H_{fg} \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana :

Q_d = energi pengeringan kerupuk, Kj

Q_t = energi total, Kj