

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, 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

2.3 Jenis-Jenis Alat Pengering

Berdasarkan bahan yang akan dipisahkan, *dryer* terdiri dari:

1. Pengering untuk Zat Padat dan Tapal

a. *Rotary Dryer* (Pengering Putar)

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

b. *Screen Conveyor Dryer*

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

c. *Tower Dryer* (Pengering Menara)

Pengering menara terdiri dari sederetan talam 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. *Screw Conveyor Dryer* (Pengering Konveyor Sekrup)

Pengering konveyor sekrup adalah suatu pengering kontinu 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 (Unari Taib, dkk, 2008).

2. Pengeringan Larutan dan Bubur

a. *Spray Dyer* (Pengering Semprot)

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. *Thin Film Dryer* (Pengering Film Tipis)

Saingan *Spray dryer* dalam beberapa penerapan tertentu adalah pengering film tipis yang 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 padatnya pun kecil. Alat ini relatif lebih mahal dan luas permukaan perpindahan kalornya terbatas (*Unair Thaib, dkk*).

2.4 Perpindahan Panas

Perpindahan panas dibagi menjadi tiga yaitu konduksi (hantaran), konveksi, dan radiasi (sinaran).

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 terjadi 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 :

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

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)

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

(J.P.Holman, 1995)

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 perpindaahn 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 :

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

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)

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 ruang, bahkan bila terdapat ruang hampa di antara benda-benda tersebut. Panas radiasi dipancarkan oleh suatu benda dalam bentuk bak (*bach*) 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 :

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

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).

2.5 Furnace (Tungku Pembakaran)

Furnace adalah alat tempat terjadinya pembakaran suatu bahan bakar (padat, cair, dan 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 padat, cair, dan 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 pada pipa dikenal sebagai konduksi (Putri,2012).

2.5.1 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 MMBtu/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.

2.6 Ketel Uap

Ketel Uap merupakan mesin kalor (*thermal engineering*) yang mentransfer energi-energi kimia atau energi otomis menjadi kerja (usaha) (Muin 1988 : 28). *Boiler* atau ketel uap adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan *steam*. *Steam* diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar (Yohana dan Askhabulyamin 2009: 13).

Boiler mengubah energi-energi kimia menjadi bentuk energi yang lain untuk menghasilkan kerja. *Boiler* dirancang untuk melakukan atau memindahkan kalor dari suatu sumber pembakaran, yang biasanya berupa pembakaran bahan bakar. *Boiler* berfungsi sebagai pesawat konversi energi yang mengkonversikan energi kimia (potensial) dari bahan bakar menjadi energi panas. *Boiler* terdiri dari 2 komponen utama, yaitu:

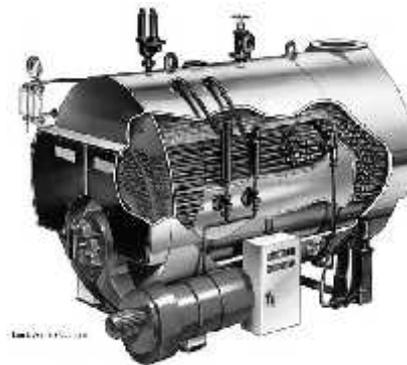
1. Dapur sebagai alat untuk mengubah energi kimia menjadi energi panas.
2. Alat penguap (*evaporator*) yang mengubah energi pembakaran (energi panas) menjadi energi potensial uap (energi panas).

. Uap air adalah sejenis fluida yang merupakan fase gas dari air, bila mengalami pemanasan sampai temperatur didih dibawah tekanan tertentu. Uap air tidak berwarna, bahkan tidak terlihat bila dalam keadaan murni kering. Uap air dipakai pertama sekali sebagai fluida kerja adalah oleh James Watt yang terkenal sebagai penemu Mesin Uap Torak.

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.

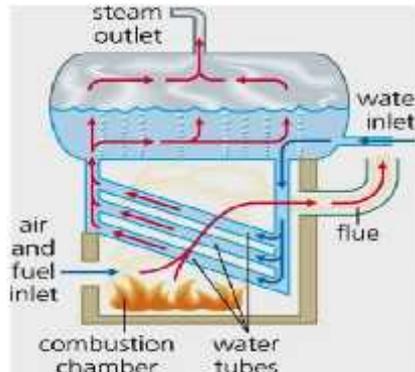


Gambar 1. Ketel Pipa Api

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).



Gambar 2. Ketel Pipa Air

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

2.7 Blower

Blower adalah mesin atau alat yang digunakan untuk menaikkan atau memperbesar tekanan udara atau gas yang akan dialirkan dalam suatu ruangan tertentu juga sebagai pengisapan atau pemvakuman udara atau gas tertentu.

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):

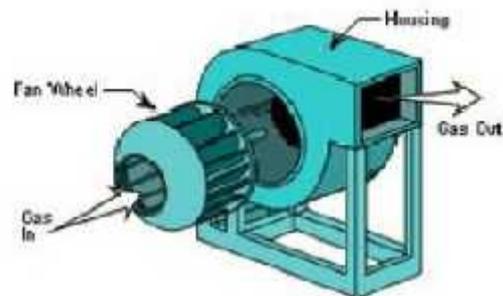
1. Berdasarkan pengaturan kecepatannya

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](http://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 silindrikal pendek, yang aliran masuk dan keluarnya dapat dihubungkan.



Gambar 4. *Axial fan*

Sumber : [www. Academia.edu/blower](http://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*

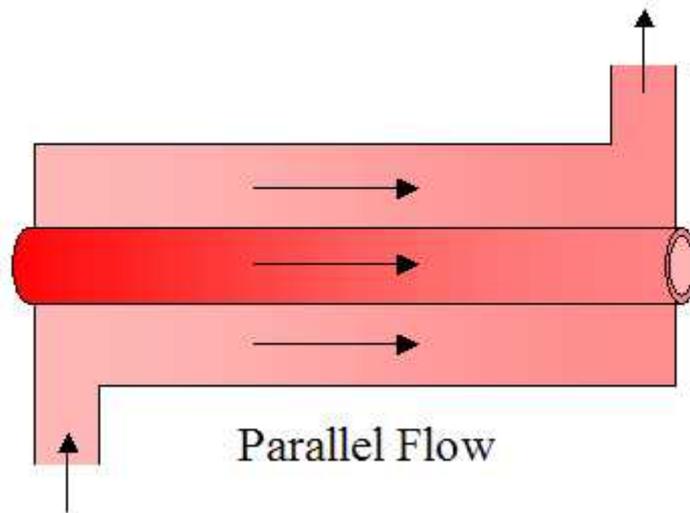
Blower fan adalah *fan* yang ditempatkan sebelum komponen utamanya sehingga fungsinya untuk mendorong udara/gas ke arah komponen tersebut (Rizki Fauzi, Academia.edu).

2.8 Heat Exchanger

Heat exchanger adalah suatu alat yang menghasilkan perpindahan panas dari satu *fluida* ke *fluida* lainnya. Jenis penukar panas yang sederhana ialah sebuah wadah dimana *fluida* yang panas dan *fluida* yang dingin dicampur secara langsung. Dalam sistem demikian kedua suhu mencapai suhu akhir yang sama, dan jumlah panas yang berpindah dapat diperkirakan dengan mempersamakan kerugian energi dari *fluida* yang lebih panas dengan perolehan energi oleh *fluida* yang lebih dingin. Contohnya seperti peralatan perpindahan panas menggunakan pencampuran *fluida-fluida* secara langsung adalah pemanas air pengisi ketel terbuka. Berdasarkan arah aliran *fluida*, *Heat Exchanger* dapat dibedakan menjadi (Frank Kreith, Arko Prijono, M.Sc, 1986):

1. *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. Berikut merupakan gambar aliran searah (Frank Kreith, Arko Prijono, M.Sc, 1986):

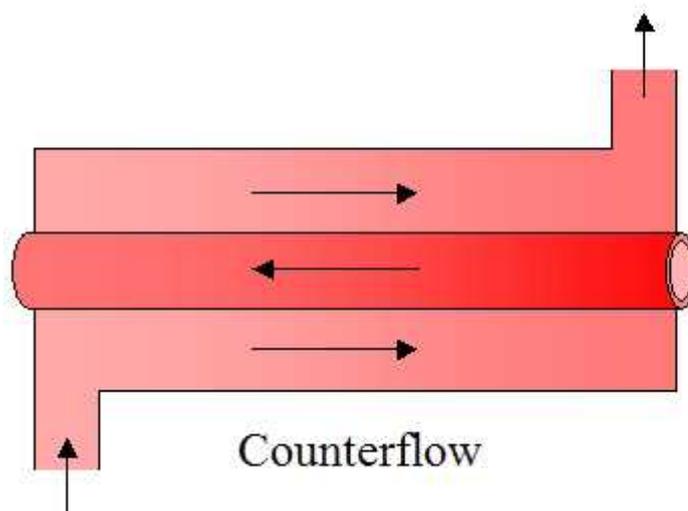


Gambar 5. Aliran searah

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

2. *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. Berikut merupakan gambar aliran berlawanan arah (Frank Kreith, Arko Prijono, M.Sc, 1986):



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

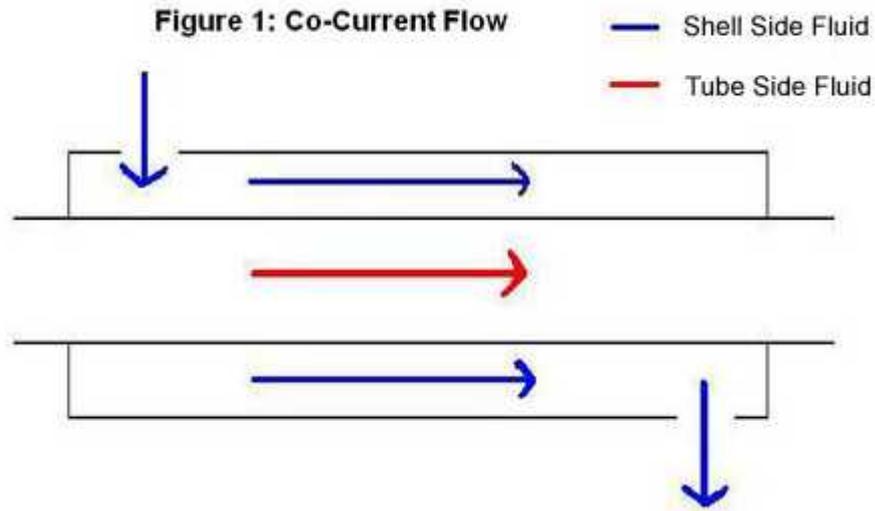
Perpindahan panas terjadi antara fluida panas dan dingin melalui dinding pemisah. Dalam sistem ini, kedua fluida akan mengalir.

2.8.1 Jenis – jenis Heat Exchanger

Ada beberapa jenis heat exchanger yang banyak digunakan dalam industri, yaitu:

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

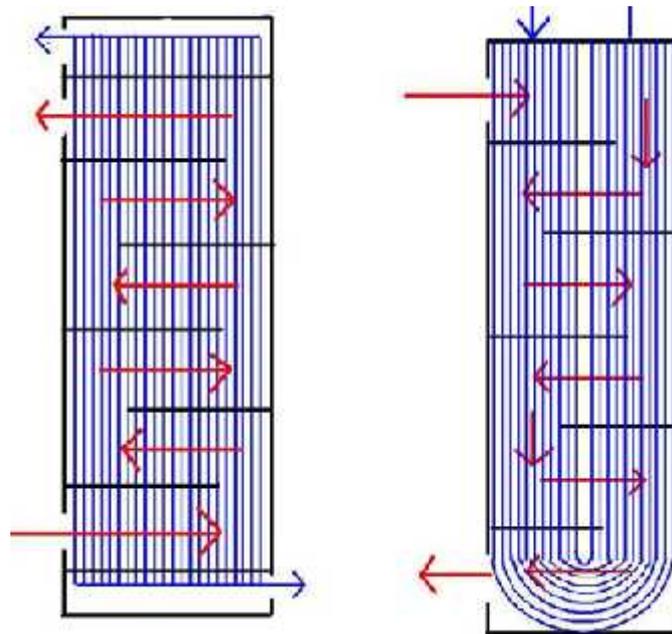
Salah satu jenis penukar panas adalah susunan pipa ganda. Dalam jenis penukar panas dapat digunakan berlawanan arah aliran atau arah aliran, baik dengan cairan panas atau dingin cairan yang terkandung dalam ruang annular dan cairan lainnya dalam pipa. Alat penukar panas pipa rangkap terdiri dari dua 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 cangkang dan pipa (*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

a. Penukar panas cangkang dan pipa (*shell and tube heat exchanger*)

Alat penukar panas cangkang dan pipa terdiri dari sebuah pipa (*tube*) yang terletak konsentrik (sesumbu) didalam pipa lainnya yang merupakan cangkang (*shell*) untuk susunan ini. 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 pipa 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 (Frank Kreith, Arko Prijono, M.Sc, 1986).



Gambar 8. Shell and Tube

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

2.9 Tempurung Kelapa

2.9.1 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.

2.9.2 Tempurung 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 1. 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 Kadar Air

Salah satu faktor yang mempengaruhi proses pengeringan adalah kadar air. Pengeringan bertujuan untuk mengurangi kadar air bahan sehingga menghambat perkembangan organisme pembusuk. Kadar air suatu bahan berpengaruh terhadap banyaknya air yang diuapkan dan lamanya proses pengeringan (Taib, 1988).

Kadar air suatu bahan merupakan banyaknya kandungan air persatuan bobot bahan yang dinyatakan dalam persen basis basah (*wet basis*) atau dalam persen basis kering (*dry basis*). Kadar air basis basah mempunyai batas maksimum teoritis sebesar 100%, sedangkan kadar air basis kering lebih 100%. Kadar air basis basah (M_{wb}) adalah perbandingan antara berat air yang ada dalam bahan dengan berat total bahan.

Struktur bahan secara umum dapat didasarkan pada kadar air yang biasanya ditunjukkan dalam persentase kadar air basis basah atau basis kering. Kadar air basis basah (M_{wb}) banyak digunakan dalam penentuan harga pasar sedangkan kadar air basis kering (M_{db}) digunakan dalam bidang teknik. Persamaan dalam penentuan kadar air (Brooker, 1974) :

$$M_{wb} = \frac{wt - wd}{wd} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan : M_{wb} = kadar air basis basah (%)

W_t = berat total (gram)

W_d = berat padatan (gram)

$$M_{db} = \frac{wt - wd}{wd} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan : M_{db} = kadar air basis kering (%)

W_t = berat total (gram)

W_d = berat padatan (gram)

Metode penentuan kadar air dapat dilakukan dengan dua cara yaitu metode langsung dan metode tidak langsung. Metode langsung menerapkan metode oven dan metode destilasi. Pada metode *oven*, sampel bahan diletakkan ke dalam oven hingga diperoleh berat konstan pada bahan. Penentuan kadar air pada metode oven didasarkan pada banyaknya air yang hilang dari produk. Adapun pada metode destilasi, kadar air dihilangkan dengan memanaskan biji ke dalam air dan selanjutnya menentukan volume atau massa air yang hilang pada biji dalam uap yang terkondensasi atau dengan pengurangan berat sampel. Untuk menghitung kadar air basis basah digunakan rumus perhitungan (Brooker, 1974):

$$K_a = \frac{B_a}{(B_a + B_k)} \times 100\% \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

K_a = Kadar air basis basah (%)

B_a = Massa air dalam bahan (gram)

B_k = Massa bahan kering mutlak (gram)

Laju massa air yang dikeringkan menggunakan perhitungan (Brooker, 1974):

$$W_a = \frac{M_0 - M_1}{\text{waktu pengeringan}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

W_a = Laju massa air yang dikeringkan (gram/menit)

M_0 = Massa air dalam bahan (gram)

M_1 = Massa bahan produk kering (gram)

Laju pengeringan rata-rata dapat dituliskan dengan persamaan (Brooker, 1974):

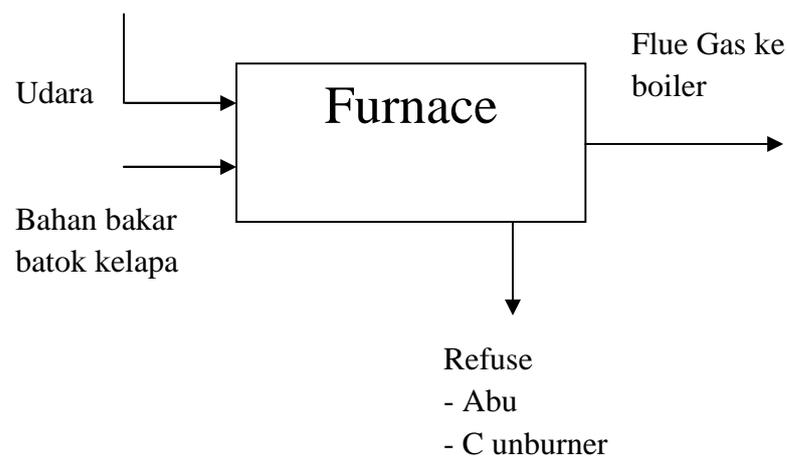
$$\bar{W} = \frac{\text{pengurangan massa air (gram)}}{\text{waktu pengeringan (menit)}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

\bar{W} = Laju pengeringan rata-rata (gram/menit)

2.10 Panas Reaksi Pembakaran

Panas pembakaran bisa juga sebagai panas yang timbul pada pembakaran 1 mole suatu zat. Panas pembakaran dapat juga ditentukan melalui perhitungan termokimia. Dalam hal ini Lavoiser dan Laplace menyatakan bahwa panas yang diserap pada peruraian suatu senyawa kimia harus sama dengan panas yang dikeluarkan pada pembentukannya bila keduanya sama. Hukum Hess dikemukakan oleh *Germain Henri Hess*. Hukum Hess menyatakan bahwa : **"Kalor reaksi yang dibebaskan atau diperlukan pada suatu reaksi tidak bergantung pada jalannya reaksi, tetapi bergantung pada keadaan akhir (zat-zat hasil reaksi)"**. Hukum Hess ini dapat juga dinyatakan sebagai berikut : **"Perubahan entalpi suatu reaksi tetap sama, baik berlangsung dalam satu tahap maupun beberapa tahap"** (*Winandyo, 2013*)



Gambar 9. Skema neraca Massa pada *furnace*

(sumber : *Hougen Book, hal 415*)

2.10.1 Langkah-Langkah dalam Menghitung Panas Reaksi Pembakaran

1. Menghitung Neraca Massa pada *Furnace*, neraca massa dapat dihitung setelah terlebih dahulu mengetahui analisa ultimat dari batok kelapa, dan jumlah udara yang masuk. Udara teoritis dihitung berdasarkan reaksi pembakaran yang terjadi, sehingga membentuk gas produk yang akan dikeluarkan pada *stack gas*. Untuk mendapatkan pembakaran yang baik diperlukan udara *excess*, yang bertujuan untuk mengurangi terbentuknya karbon monoksida (CO) karena pembakaran yang tidak sempurna. Udara excess dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut, setelah terlebih dahulu diketahui jumlah udara masuk ke dalam ruang bakar :

$$\% \text{ udara excess} = \frac{\text{mol } O_2 \text{ udara} - \text{mol } O_2 \text{ teoritis}}{\text{mol } O_2 \text{ udara}} \times 100\%$$

Menghitung H₂O di udara dengan menggunakan *wet bulb*, *dry bulb*, dan *grafik psychometric*. H₂O keluar *stack* dihitung dengan menjumlahkan H₂O dari udara dan H₂O dari reaksi. Untuk menghitung massa *refuse*, harus diketahui massa abu pada analisa ultimat bahan bakar dan massa abu yang berada pada *refuse*. Sehingga massa *refuse* yang terbentuk dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Massa refuse yang terbentuk} = \frac{\text{Massa abu batok kelapa}}{\% \text{ Massa abu di refuse}}$$

Dan berat C pada *refuse* dapat dianalisa dengan alat TRUSPEC CHN.

2. Menghitung Panas reaksi Pembakaran, Panas reaksi pembakaran dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut (*Smith Vames*) :

$$\Delta H_r = \Delta H_R^\circ + \int_{t_{ref}}^t \sum_{p,n} c_p dt - \int_{t_{ref}}^t \sum_{R,n} c_p dt + Q \text{ abu}$$

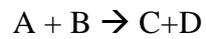
$$\Delta H_R^\circ = \text{nilai HHV batok} + \gamma H_2O$$

Keterangan :

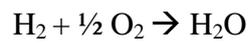
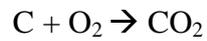
$$\sum_{R,n} c_p dt = (n_c c_{p_c} + n_{N_2} c_{p_{N_2}} + n_{O_2} c_{p_{O_2}} + n_{H_2} c_{p_{H_2}} + n_{H_2O} c_{p_{H_2O}}) \times (t_2 - t_1)$$

$$\sum_{P,n} c_p dt = (n_{CO_2} c_{p_{CO_2}} + n_{N_2} c_{p_{N_2}} + n_{O_2} c_{p_{O_2}} + n_{H_2O} c_{p_{H_2O}}) \times (t_2 - t_1) + (m_{refuse} c_{p_{refuse}} (t_2 - t_1))$$

Produk terbentuk dari reaksi pembakaran sebagai berikut :



Contohnya, produk CO₂ dan H₂O berasal dari reaksi pembakaran berikut :



C_p = kapasitas panas (kcal/kmolK)

Dimana , C_p = $[a + \frac{1}{2}(b)(T_2+T_1) + \frac{1}{3}(c)(T_2^2 + T_1T_2 + T_1^2)]$

ΔH_R° = entalpi pembakaran batok kelapa (KJ)

γ_{H_2O} = panas penguapan air (kkcal)

T₁ = temperatur referen (°C)

T_{2 reaktan} = temperatur pembakaran (°C)

T_{2 produk} = temperatur sekitar (°C)