

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengeringan

Pengeringan 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 pengeringan 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 Pengeringan

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

Faktor yang dapat mempengaruhi pengeringan 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 pengering.
4. Proses pemindahan dari media pemanas ke bahan yang dikeringkan melalui dua tahapan proses selama pengeringan 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

2.2 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. Umpan 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 diatas 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 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 cm^2 dan ada juga yang 400 cm^2 . 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 bubur 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 Proses Pengeringan

Proses pengeringan adalah proses pemindahan panas dan uap air secara simultan, yang memerlukan energi panas untuk menguapkan kandungan air yang dipindahkan dari permukaan bahan, yang dikeringkan oleh media pengering yang berupa panas udara yang dihasilkan oleh kolektor. Adapun peristiwa yang terjadi selama proses pengeringan adalah :

- a. Proses pemindahan panas, yaitu proses yang terjadi karena perbedaan temperatur, panas yang dialirkan akan meningkatkan suhu bahan yang lebih rendah, menyebabkan tekanan uap air didalam bahan lebih tinggi dari tekanan uap air di udara.
- b. Proses pemindahan massa, yaitu suatu proses yang terjadi karena kelembaban relatif udara pengering lebih rendah dari kelembaban relatif bahan, panas yang dialirkan diatas permukaan bahan akan meningkatkan uap air bahan sehingga tekanan uap air akan lebih tinggi dari tekanan uap udara ke pengering.

Adapun, perpindahan kalor dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu :

1. Konduksi, Adalah proses perpindahan kalor yang terjadi tanpa disertai dengan perpindahan partikel-partikel dalam zat itu, contoh : zat padat (logam) yang dipanaskan. Berdasarkan kemampuan kemudahannya menghantarkan kalor, zat dapat dibagi menjadi : konduktor yang mudah dalam menghantarkan kalor dan isolator yang lebih sulit dalam menghantarkan kalor. Contoh konduktor adalah aluminium, logam besi, dsb, sedangkan contoh isolator adalah plastik, kayu, kain, dll. Besar kalor yang mengalir per satuan waktu pada proses konduksi ini tergantung pada:
 - a. Berbanding lurus dengan luas penampang batang
 - b. Berbanding lurus dengan selisih suhu dengan kedua ujung batang, dan
 - c. Berbanding terbalik dengan panjang batang.

2. Konveksi, adalah proses perpindahan kalor yang terjadi yang disertai dengan perpindahan pergerakan fluida itu sendiri. Ada 2 jenis konveksi, yaitu konveksi alamiah dan konveksi paksa. Pada konveksi alamiah pergerakan fluida terjadi karena perbedaan massa jenis, sedangkan pada konveksi paksa terjadinya pergerakan fluida karena ada paksaan dari luar. Contoh konveksi alamiah : nyala lilin akan menimbulkan konveksi udara disekitarnya, air yang dipanaskan dalam panci, terjadinya angin laut dan angin darat, dsb. Contoh konveksi paksa : sistem pendingin mobil, pengering rambut, kipas angin, dsb.

Pengeringan kerupuk adalah pengurangan sejumlah air dari irisan kerupuk yang dipotong-potong, dalam arti kata dapat diambil sebagian atau seluruhnya sehingga air di dalam kerupuk basah mencapai jumlah tertentu yang diinginkan. Kadar air dapat ditentukan berdasarkan basis basah dan basis kering. Basis basah adalah persen massa air yang terkandung pada komoditi dibandingkan terhadap massa seluruh, yaitu massa bahan kering ditambah massa air yang terkandung.

2.4. 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)

2.4.1 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 :

- Beban kalor berkisar 60-80 MM Btu/Jam atau lebih.
- Dipakai untuk melayani unit proses dengan kapasitas besar.
- Umumnya bahan bakar yang dipakai adalah *fuel oil*.
- 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.

2.5. Ketel Uap

Menurut Yanto,2013 :

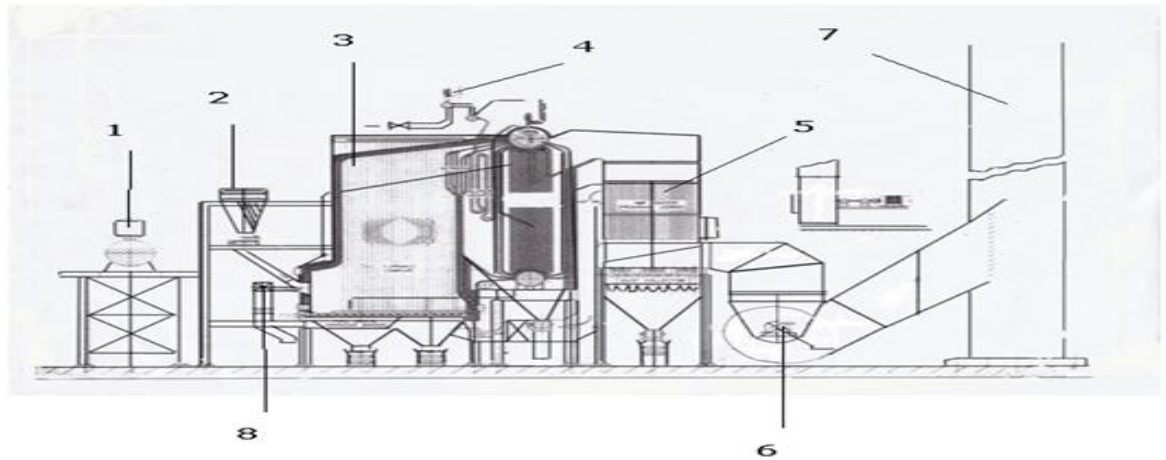
Ketel uap merupakan gabungan yang kompleks dari pipa-pipa penguapan (*evaporator*), pemanas lanjut (*superheater*), pemanas air (*economizer*) dan pemanas udara (*air heater*). Pipa-pipa penguapan (*evaporator*) dan pemanas lanjut (*superheater*) mendapat kalor langsung dari proses pembakaran bahan bakar, sedangkan pemanas air (*economiser*) dan pemanas udara (*air heater*) mendapat kalor dari sisa gas hasil pembakaran sebelum dibuang ke atmosfer.

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. Uap yang dihasilkan bisa dimanfaatkan untuk:

- a. mesin pembakaran luar seperti: mesin uap dan turbin
- b. suplai tekanan rendah bagi kerja proses di industri seperti industri pemintalan, pabrik gula dan sebagainya
- c. menghasilkan air panas, dimana bisa digunakan untuk instalasi pemanas bertekanan rendah.

2.5.1 Komponen Ketel Uap

Komponen sistem ketel uap terdiri dari komponen utama dan komponen bantu yang masing-masing memiliki fungsi untuk menyokong prinsip kerja ketel uap.



Gambar 1. Komponen Ketel Uap

Keterangan:

1. Dearator
2. Bagasse distribution conveyor
3. Dapur (furnace)
4. Superheated steam valve
5. Air heater
6. Induced Draft Fan (I.D.F)
7. Cerobong asap (chimney)
8. Secondary fan

Komponen utama ketel uap terdiri dari:

a. Ruang Pembakaran (*Furnace*)

Furnace adalah dapur sebagai penerima panas bahan bakar untuk pembakaran, yang terdapat *fire gate* di bagian bawah sebagai alas bahan bakar dan yang sekelilingnya adalah pipa-pipa air ketel yang menempel pada dinding tembok ruang pembakaran yang menerima panas dari bahan bakar secara radiasi, konduksi, dan konveksi.

b. *Drum Air dan Drum Uap*

Drum air terletak pada bagian bawah yang berisi dari tangki kondensat yang dipanaskan dalam daerator, disamping itu berfungsi sebagai tempat pengendapan kotoran-kotoran dalam air yang dikeluarkan melalui proses *blowdown*. *Drum uap* terletak pada bagian atas yang berisi uap yang kemudian disalurkan ke *steam header*.

c. Pemanas Lanjut (Super Heater)

Super heater adalah bagian-bagian ketel yang berfungsi sebagai pemanas uap, dari *saturated steam* ($\pm 250^{\circ}\text{C}$) menjadi *super heated steam* ($\pm 360^{\circ}\text{C}$).

d. Air Heater

Air heater adalah alat pemanas udara penghembus bahan bakar.

e. Dust Collector

Dust collector adalah alat pengumpul abu atau penangkap abu pada sepanjang aliran gas pembakaran bahan bakar sampai kepada gas buang.

f. Soot blower

Soot blower adalah alat yang berfungsi sebagai pembersih jelaga atau abu yang menempel pada pipa-pipa.

Sedangkan untuk komponen bantu dalam sistem ketel uap antara lain:

a. Air pengisi ketel (*boiler feed water*)

Air pengisi ketel didapatkan dari 2 sumber yaitu: air condensate, didapatkan dari hasil pengembunan uap bekas yang telah digunakan sebagai pemanas pada evaporator, *juice heater* dan *vacuum pan*. Air condensate ini ditampung dan kemudian dialirkan ke *station boiler* sebagai air umpan pengisi ketel dengan persyaratan Ph: 8,5, Iron (ppm) : 0,002, Oxygen (ppm) : 0,02

b. Dearator

Merupakan pemanas air sebelum dipompa kedalam ketel sebagai air pengisian. Media pemanas adalah *exhaust steam* pada tekanan $\pm 1 \text{ kg/cm}^2$ dengan suhu $\pm 150^{\circ}\text{C}$, sehingga didapatkan air pengisian ketel yang bersuhu antara 100°C - 105°C . Fungsi utamanya adalah menghilangkan oksigen (O_2) dan untuk menghindari terjadinya karat pada dinding ketel.

c. High pressure feed water pump

Berfungsi untuk melayani kebutuhan air pengisi ketel yang dijadikan uap, sampai dengan kapasitas ketel yang maksimum, sehingga ketel uap akan dapat bekerja dengan aman. Kapasitas pompa harus lebih tinggi dari

kapasitas ketel, minimum 1,25 kali, tekanan pompa juga harus lebih tinggi dari tekanan kerja ketel, agar dapat mensupply air kedalam ketel.

d. ***Secondary Fan***

Merupakan alat bantu ketel yang berfungsi sebagai alat penghembus pembakaran bahan bakar yang kedua sebagai pembantu F.D.F. untuk mendapatkan pembakaran yang lebih sempurna lagi.

e. ***Induced Draft Fan (I.D.F)***

Alat bantu ketel yang berfungsi sebagai penghisap gas asap sisa pembakaran bahan bakar, yang keluar dari ketel.

f. ***Force Draft Fan (F.D.F)***

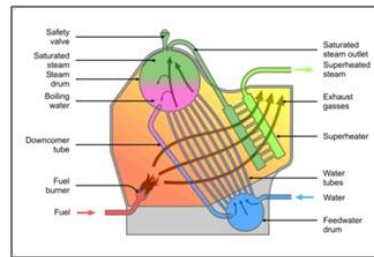
Merupakan alat bantu ketel yang berfungsi sebagai penghembus bahan bakar.

g. ***Cerobong asap (Chimney)***

Berfungsi untuk membuang udara sisa pembakaran. Diameter cerobong berkisar berukuran 3 m dan tinggi cerobong 40 m, ini berbeda setiap industri.

2.5.2. **Proses Terbentuknya Uap Didalam Ketel Uap**

Boiler atau ketel uap adalah suatu perangkat mesin yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap. Proses perubahan air menjadi uap terjadi dengan memanaskan air yang berada didalam pipa-pipa dengan memanfaatkan panas dari hasil pembakaran bahan bakar. Pembakaran dilakukan secara kontinyu didalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar. Uap yang dihasilkan boiler adalah uap *superheat* dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Jumlah produksi uap tergantung pada luas permukaan pemindah panas, laju aliran, dan panas pembakaran yang diberikan. Boiler yang konstruksinya terdiri dari pipa-pipa berisi air disebut dengan *water tube boiler*.



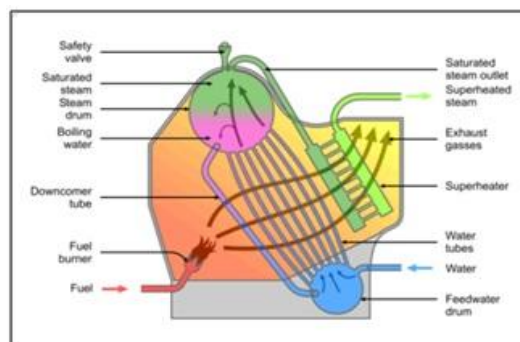
Gambar 2. *Water Tube Boiler*

Pada unit pembangkit, boiler juga biasa disebut dengan steam generator (pembangkit uap) mengingat arti kata boiler hanya pendidih, sementara pada kenyataannya dari boiler dihasilkan uap *superheat* bertekanan tinggi.

2.5.3. Siklus Air di Boiler

Siklus air merupakan suatu mata rantai rangkaian siklus fluida kerja. Boiler mendapat pasokan fluida kerja air dan menghasilkan uap untuk dialirkan ke turbin. Air sebagai fluida kerja diisikan ke boiler menggunakan pompa air pengisi dengan melalui *economiser* dan ditampung didalam *steam drum*.

Economiser adalah alat yang merupakan pemanas air terakhir sebelum masuk ke drum. Di dalam *economiser* air menyerap panas gas buang yang keluar dari *superheater* sebelum dibuang ke atmosfer melalui cerobong.



Gambar 3. *Economizer*

Peralatan yang dilalui dalam siklus air adalah *drum boiler*, *down comer*, *header bawah (bottom header)*, dan *riser*. Siklus air di *steam drum* adalah, air dari *drum* turun melalui pipa-pipa *down comer* ke *header bawah (bottom header)*. Dari *header* bawah air didistribusikan ke pipa-pipa pemanas (*riser*) yang tersusun membentuk dinding ruang bakar boiler. Didalam *riser* air mengalami pemanasan dan naik ke *drum* kembali akibat perbedaan temperatur.

Perpindahan panas dari api (*flue gas*) ke air di dalam pipa-pipa boiler terjadi secara radiasi, konveksi dan konduksi. Akibat pemanasan selain temperatur naik hingga mendidih juga terjadi sirkulasi air secara alami, yakni dari *drum* turun melalui *down comer* ke *header* bawah dan naik kembali ke *drum* melalui pipa-pipa *riser*. Adanya sirkulasi ini sangat diperlukan agar terjadi pendinginan terhadap pipa-pipa pemanas dan mempercepat proses perpindahan panas. Kecepatan sirkulasi akan berpengaruh terhadap produksi uap dan kenaikan tekanan serta temperaturnya.

Selain sirkulasi alami, juga dikenal sirkulasi paksa (*forced circulation*). Untuk sirkulasi jenis ini digunakan sebuah pompa sirkulasi (*circulation pump*). Umumnya pompa sirkulasi mempunyai laju sirkulasi sekitar 1,7, artinya jumlah air yang disirkulasikan 1,7 kali kapasitas penguapan. Beberapa keuntungan dari sistem sirkulasi paksa antara lain :

- a. Waktu start (pemanasan) lebih cepat
- b. Mempunyai respon yang lebih baik dalam mempertahankan aliran air ke pipa-pipa pemanas pada saat start maupun beban penuh.
- c. Mencegah kemungkinan terjadinya stagnasi pada sisi penguapan

2.5.4. Jenis-jenis Ketel Uap

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.

2. Berdasarkan fluida yang mengalir dalam pipa

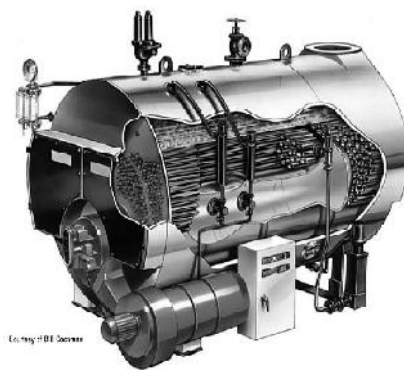
a. Ketel Pipa api (*Fire tube boiler*)

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.

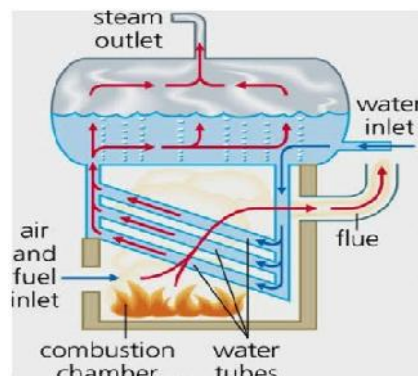
b. Ketel pipa air (*water tube boiler*)

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 seperti pada kasus ketel untuk pembangkit tenaga. Untuk ketel pipa air yang menggunakan bahan bakar padat, tidak umum dirancang secara paket. Karakteristik ketel pipa air sebagai berikut:.

- Kurang toleran terhadap kualitas air yang dihasilkan dari plant pengolahan air.
- Memungkinkan untuk tingkat efisiensi panas yang lebih tinggi.



Gambar 4 Ketel Pipa Air



Gambar 5 Ketel Pipa Api

3. Berdasarkan pemakaiannya

- Ketel *stasioner* (*stationary boiler*) atau ketel tetap

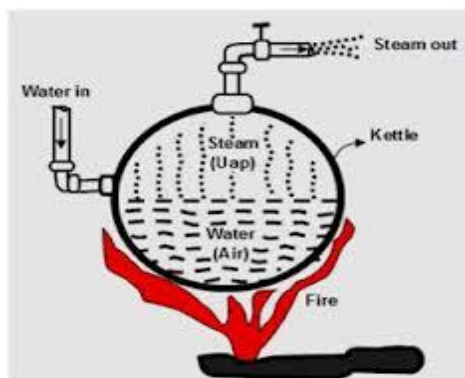
Keetel uap stasioner adalah ketel-ketel yang didudukan pada suatu pondasi yang tetap, seperti ketel untuk pembangkitan tenaga, untuk industri dll

- ketel mobil (*mobile boiler*), ketel pindah / *portable boiler*

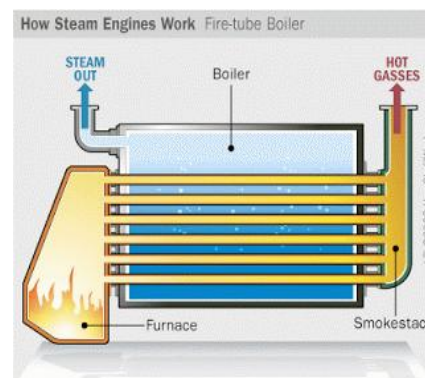
Ketel mobil adalah ketel yang dipasang pada pondasi yang berpindah-pindah (mobil), seperti boiler lokomotif, loko mobile dan ketel panjang serta lain yan sepertinya termasuk ketel kapal (*marine boiler*)

4. Berdasarkan letak dapur (furnace position)

- Ketel dengan pembakaran di dalam (*internally fired steam boiler*) . Dalam ketel uap ini dapur berada (pembakaran terjadi) di dalam.
- Ketel dengan pembakaran di luar (*outernally fired steam boiler*).Dalam ketel uap ini dapur berada (pembakaran terjadi)di bagian dalam ketel . kebanyakan ketel pipa air memakai system ini



Gambar 6 Ketel dengan Pembakaran
Di dalam



Gambar 7 Ketel dengan Pembakaran
Di Luar

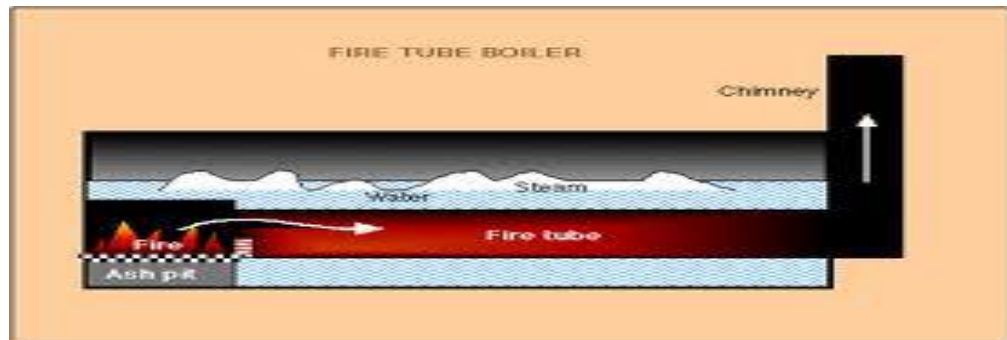
5. Berdasarkan jumlah lorong (boiler tube)

- Ketel dengan lorong tunggal (*single tube steam boiler*)

Pada single tube steam boiler, hanya terdapat 1 lorong saja, lorong api maupun lorong air. *Cornish boiler* adalah *single fire tube boiler* dan simple vertikal boiler adalah *single water tube boiler*.

- *Multi fire tube boiler*

Multi fire tube boiler misalnya ketel *scotch* dan *multi water tube boiler* misalnya ketel B dan W dll



Gambar 8 Ketel dengan Pembakaran Di Luar

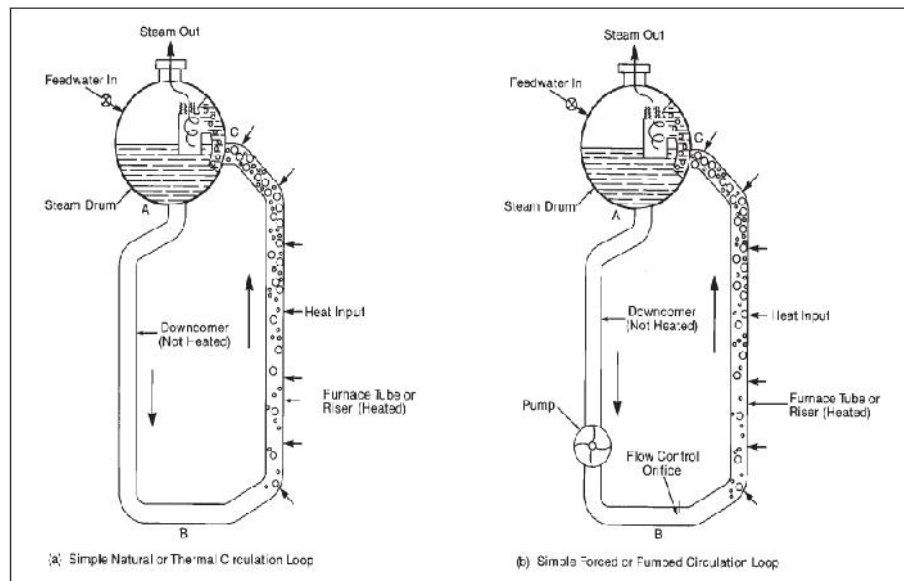
6. Berdasarkan peredaran air ketel (*water circulation*)

a. Ketel dengan peredaran alam (*natural circulation steam boiler*)

Pada *natural circulation boiler*, peredaran air dalam ketel terjadi secara alami yaitu air yang ringan naik, sedangkan terjadilah aliran aliran konveksi alami. Umumnya ketel beroperasi secara aliran alami, seperti ketel *lancashire*, *babcock & wilcox*

b. Ketel dengan peredaran paksa (*forced circulation steam boiler*)

Pada ketel dengan aliran paksa, aliran paksa diperoleh dari sebuah pompa sentrifugal yang digerakkan dengan elektrik motor misalnya *la-mont boiler*, *benson boiler*, *loeffler boiler* dan *velcan boiler*.



Gambar 9 Ketel dengan Peredaran Paksa

c. Berdasarkan tekanan kerjanya

- tekanan kerja rendah : ≤ 5 atm
- tekanan kerja sedang : 5-40 atm
- tekanan kerja tinggi : 40-80 atm
- tekanan kerja sangat tinggi : > 80 atm

d. Berdasarkan Kapasitasnya

- kapasitas rendah : ≤ 2500 kg/jam
- kapasitas sedang : 2500-50000 kg/jam
- kapasitas tinggi : > 50000 kg/jam

e. Berdasarkan pada sumber panasnya (*heat source*)

- ketel uap dengan bahan bakar alami
- ketel uap dengan bahan bakar buatan
- ketel uap dengan dapur listrik
- ketel uap dengan energi nuklir

7. Keuntungan dan kerugian ketel pipa api:

Keuntungan :

- Menghasilkan uap dengan tekanan lebih tinggi daripada ketel pipa api

- Untuk daya yang sama menempati ruang yang lebih kecil daripada ketel pipa api
- Laju aliran uap lebih rendah
- Komponen – komponen yang berbeda bisa diurai sehingga mudah untuk dipindahkan
- Permukaan pemanasan lebih efektif karena gas panas mengalir keatas pada arah tegak lurus
- Pecah pada pipa tidak menimbulkan kerusakan ke seluruh ketel

Kerugian :

- Air umpan mensyaratkan mempunyai kemurnian tinggi untuk mencegah endapan kerak di dalam pipa. Jika terbentuk kerak di dalam pipa bisa menimbulkan panas yang berlebihan dan pecah
- Membutuhkan perhatian yang lebih hati – hati bagi penguapannya. Karena itu akan menimbulkan biaya operasi yang lebih tinggi
- Pembersihan pipa air tidak mudah dilakukan

8. Keuntungan dan kerugian ketel pipa air.

Keuntungan :

- Konstruksi ketel sederhana
- Biaya awal murah
- Baik untuk kapasitas uap yang besar

2.6 Blower

Blower yang digunakan terdiri dari dua yaitu *blower* untuk *heat exchanger* dan *blower* untuk mengeluarkan udara panas (*heat exhauster*). *Blower heat exchanger* berada disisi luar dari pipa-pipa pemanas yang berfungsi mendorong agar terjadi konveksi paksa sehingga mampu membawa udara panas menuju bahan yang dikeringkan. Hal ini juga bertujuan proses pengeringan dapat terjadi secara higienis karena tidak ada volatil matter yang tertiuap dan mengenai bahan yang dikeringkan.

Sedangkan *blower heat exhauster* bekerja secara otomatis mengikuti sistem kerja pengatur suhu otomatis yang dipasang pada alat pengering. *Blower heat Exhauster* berfungsi mengeluarkan panas berlebih sesuai dengan batasan yang diatur oleh pengontrol suhu.

Pengontrol suhu otomatis merupakan serangkaian alat elektronis yang bekerja berdasarkan sensor suhu yang dipasang pada ruang pengeringan bahan. Alat ini dapat diatur sesuai keinginan pengguna dalam rangka membatasi suhu yang ingin dipertahankan. Ketika sensor suhu mendeteksi nilai panas yang berlebih maka akan secara otomatis mengaktifkan *blower heat exhauster* bekerja mengeluarkan udara panas yang ada dalam ruang pengering bahan. Dengan mekanisme ini suhu dalam ruangan pengering dapat stabil sesuai dengan yang diharapkan.

2.7 Tempurung Kelapa

2.7.1 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.

2.7.2 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)

2.8 Heat Loss

2.8.1 Pengertian Heat loss

Heat Loss muncul sejak diawalinya percobaan-percobaan hidrolika abad ke sembilan belas, yang sama dengan energi persatuan berat fluida. Arti head loss sendiri adalah hilangnya energi mekanik persatuan massa fluida. Sehingga satuan Head loss adalah satuan panjang yang setara dengan satu satuan energi yang dibutuhkan untuk memindahkan satu satuan massa fluida setinggi satu satuan panjang yang bersesuaian. (Indra Syifa'i , 2012). Kerugian energi (*Head losses*) bergantung pada:

1. Bentuk, ukuran dan kekasaran saluran.
2. Kecepatan fluida.
3. Kekentalan atau viskositas.
4. Tapi sama sekali tak dipengaruhi oleh tekanan absolut (P_{ab}) dari fluida.

2.8.2 Langkah- langkah untuk Meghitung *Head Loss* Pada Ketel Uap

(Prinsip-Prinsip Konversi Energi,Darwin)

1. Menghitung Kerugian gas kering atau *dry-gas loss* (DGL)

Dry-Gas Loss adalah porsi kerugian ketel yang sehubungan dengan udara yang disuplai ke generator uap sebagai udara pembakaran. Massa gas asap kering yang dibangkitkan persatuan massa bahan bakar adalah sama dengan angka perbandingan udara kering bahan bakar ditambah dengan satuan massa bahan bakar dikurangi fraksi massa buangan dan massa air yang timbul dan terbentuk selama proses pembakaran.

$$\begin{aligned} \text{DGL} &= w_g \cdot c_p (T_{g,\text{out}} - T_{g,\text{in}}) \\ &= \left[\left(\frac{A}{F} \right)_{\text{act},m,d} + 1,0 - R - M - 9H_2 \right] c_p (T_{g,\text{out}} - T_{g,\text{in}}) \text{ Kj/Kg} \dots (1) \end{aligned}$$

Dimana :

w_g = $(A/F)_{\text{actual},m,d} + 1,0 - R - M - 9H_2$, kg gas asap kering/ kg bahan bakar.

c_p = panas jenis gas asap (dianggap sama dengan udara)
 = 1,0048 kJ/kg°C
 = Temperatur Udara masuk °C
 = temperature udara gas asap keluar °C

Dan R,M, H_2 adalah fraksi massa buangan kebasahan dan hydrogen dapat diketahui dari proses analisa ultimate.

2. Menghitung kerugian Kebasahan (ML)

Kerugian Kebasahan (ML) diakibatkan oleh menguapnya kebasahan didalam bahan bakar dan kerugian akibat panas laten.

$$\text{ML} = (M + 9H_2) (h_s - h_w) \text{ kJ/kg} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

H_s = entalpi uap panas lanjutan pada $T_{g, out}$ dan Tekanan 1 lb/in² abs (kira-kira sama dengan tekanan parsial uap air didalam gas asap), kJ/kg

H_w = entalpi air pada temperature masuk $T_{g, in}$, kJ/kg

3. Menghitung Kerugian Kebasahan didalam Udara Pembakaran (MCAL)

Menghitung Kerugian Kebasahan didalam Udara Pembakaran Dalam perhitungan ini panas laten tidak disertakan karena kebasahan masuk dan meninggalkan proses pembakaran sebagai uap.

$$MCAL = \left(\frac{A}{F}\right)_{act, m, d} \omega C_{p, g} (T_{g, out} - T_{g, in}) \text{ kJ/k} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Pada persamaan 3 ω adalah kelembaban spesifik (spesifik humidity) dari udara yang masuk dalam kilogram kebasahan per kilogram udara kering.

4. Menghitung Kerugian Karbon Tak Terbakar (UCL)

Kerugian karbon tak terbakar adalah kerugian ketel yang berkaitan dengan kehadiran karbon dengan buangan. Kerugian ini sama dengan hasil kali massa karbon tak terbakar persatuan massa bahan bakar di dalam buangan (C_r) dan nilai bakar atas karbon (HHV). Dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$UCL = C_r (HHV)_c = 32,778 C_r \quad \dots\dots\dots (4)$$

5. Menghitung Kerugian Pembakaran Tak Sempurna (ICL)

Kerugian Pembakaran tak sempurna adalah kerugian energy akibat terbentuknya karbon monoksida, bukan karbon dioksida, didalam proses pembakaran. Kerugian ini adalah sama dengan massa karbon monoksida yang dihasilkan per satuan massa bahan bakar dikali dengan nilai bahan bakar atas dari karbon monoksida.

$$ICL = \frac{\%CO}{\%CO + \%CO_2} \left(\frac{28,01}{12,01}\right) C_b (HHV)_{co} \dots\dots\dots (5)$$

Sehingga untuk mencari *heat loss* pada ketel uap adalah dengan menjumlahkan kerugian- kerugian pada ketel uap.

$$Heat Loss = DGL + ML + MCAL + UCL + ICL \dots\dots\dots (6)$$

