

BOILER (KETEL UAP)

Ketel Uap (bahasa Inggris:*boiler*) adalah alat untuk menghasilkan uap air, yang akan digunakan untuk pemanasan atau tenaga gerak. Bahan bakar pendidih bermacam-macam dari yang populer batubara dan minyak bakar, sampai listrik, gas, biomasa, nuklir dan lain-lain. Pendidih merupakan bagian terpenting dari penemuan mesin uap yang merupakan pemicu lahirnya revolusi industri.

Sebuah ketel uap harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

1. Dalam waktu tertentu harus dapat menghasilkan uap dengan berat tertentu dan tekanan lebih besar dari 1 atmosfir.
2. Uap yang dihasilkan harus dengan kadar air yang sedikit mungkin
3. Kalau dipakai alat pemanas lanjut, maka pada pemakaian uap yang tidak teratur, suhu uap tidak boleh berubah banyak dan harus dapat diatur dengan mudah
4. Pada waktu olah gerak dimana pemakaian uap berubah-rubah maka tahanan uap tidak boleh berubah banyak
5. Uap harus dapat dibentuk dengan jumlah bahan bakar yang serendah mungkin
6. Susunan pengopakan bahan bakar harus sedemikian rupa sehingga bahan bakar dapat dibakar dengan tidak memerlukan ongkos dan tenaga yang terlalu besar.

Material

Bejana pada suatu ketel uap biasanya terbuat dari baja (steel /alloy steel), atau awalnya dari besi tempa. Baja stainless sebenarnya tidak disarankan (oleh ASME Boiler Code) untuk digunakan pada bagian-bagian yang basah dari ketel uap modern, tapi seringkali digunakan pada bagian *super heater* yang tidak akan terpapar ke cairan ketel uap.Tembaga atau kuningan sering digunakan karena lebih mudah di-pabrikasi untuk ketel uap ukuran kecil. Sejarahnya, tembaga sering digunakan untuk peti api (firebox)(terutama untuk lokomotif uap air, karena kemudahannya dibentuk dan pengantar panas yang tinggi; namun, saat ini, harga tembaga yang tinggi menjadi pilihan yang tidak ekonomis dan lebih murah menggunakan material pengganti (seperti baja)

Untuk kebanyakan ketel uap Victorian, hanya menggunakan besi tempa kualitas paling tinggi, yang dirakit menggunakan keling (rivet). Kualitas yang tinggi dari lembaran dan kecocokan untuk kehandalan yang tinggi digunakan pada aplikasi yang kritis, seperti ketel uap tekanan tinggi. Pada abad 20, untuk praktisnya disain bergerak kearah penggunaan baja, dimana lebih kuat dan lebih murah, dengan konstruksi las, yang lebih cepat dan sedikit pekerja.

Besi tuang (cast iron)digunakan untuk bejana pemanas untuk pemanas air. Walaupun suatu pemanas biasanya disebut "pendidih" (boiler), karena tujuannya adalah untuk membuat air panas, bukan uap air, karena dioperasikan pada tekanan rendah dan menghindari pendidihan sebenarnya. Kerapuhan dari besi tuang menjadikannya tidak cocok untuk ketel uap tekanan tinggi

Peraturan yang berlaku

Sertifikasi bagi operator **Ketel Uap** dan **Ketel Uap** mengacu pada peraturan berikut: 1. ASME sect. I, II, dan V 2. Undang-Undang Uap Thn 1930 3. Peraturan Uap thn 1930 4. Undang- undang No.1 thn 1970

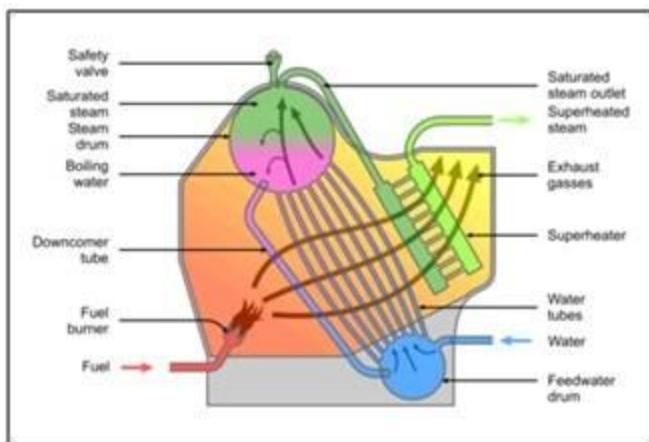
Pemeriksaan dilakukan oleh ahli Keselamatan Kerja Pesawat Uap dan bejana tekan, melalui badan yang ditunjuk oleh Depnaker. Operator harus mengikuti pelatihan boiler melalui pihak ke-3 yang ditunjuk oleh Depnaker utk menyelenggarakan pelatihan dan mengeluarkan sertifikatnya.

Prinsip Kerja Boiler

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*.



Gb water tube boiler

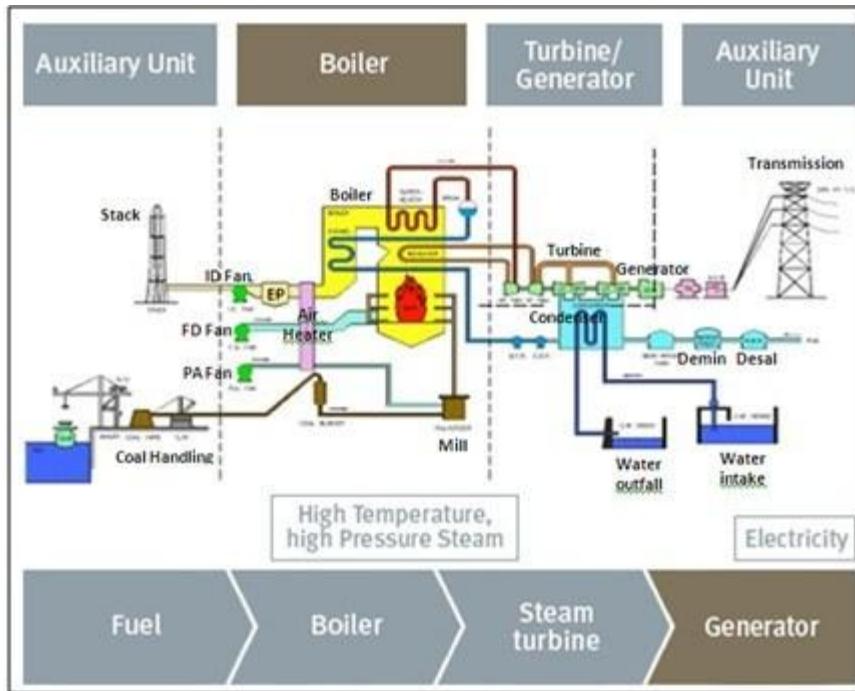
Pada unit pembangkit, boiler juga biasa disebut dengan steam generator (pembangkit uap) mengingat arti kata boiler hanya pendidih, sementara pada kenyataannya dari boiler dihasilkan uap *superheat* bertekanan tinggi.

Ditinjau dari bahan bakar yang digunakan, maka PLTU dapat dibedakan menjadi :

- PLTU Batubara
- PLTU Minyak
- PLTU gas
- PLTU nuklir atau PLTN

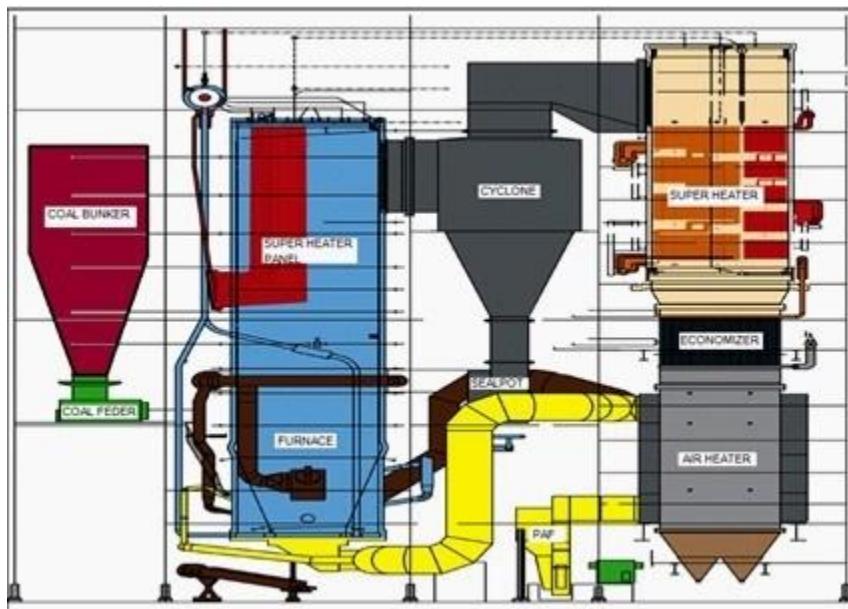
Jenis PLTU batu bara masih dapat dibedakan berdasarkan proses pembakarannya, yaitu PLTU dengan pembakaran batu bara bubuk (*Pulverized Coal / PC Boiler*) dan PLTU dengan pembakaran batu bara curah (*Circulating Fluidized Bed*).

Perbedaan antara PLTU Batu bara dengan PLTU minyak atau gas adalah pada peralatan dan sistem penanganan dan pembakaran bahan bakar serta penanganan limbah abunya. PLTU batubara mempunyai peralatan bantu yang lebih banyak dan lebih kompleks dibanding PLTU minyak atau gas. PLTU gas merupakan PLTU yang paling sederhana peralatan bantunya.



Gb Tata letak

Pulverized Coal (PC) Boiler Batubara

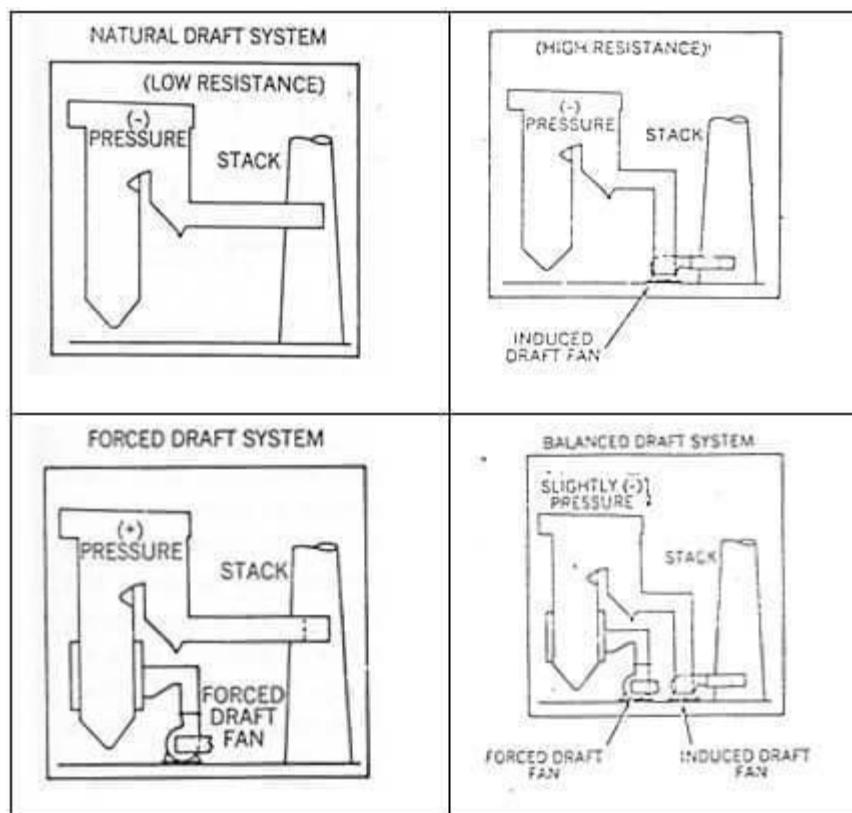


Gb Tata letak Circulating Fluidized Boiler (CFB)

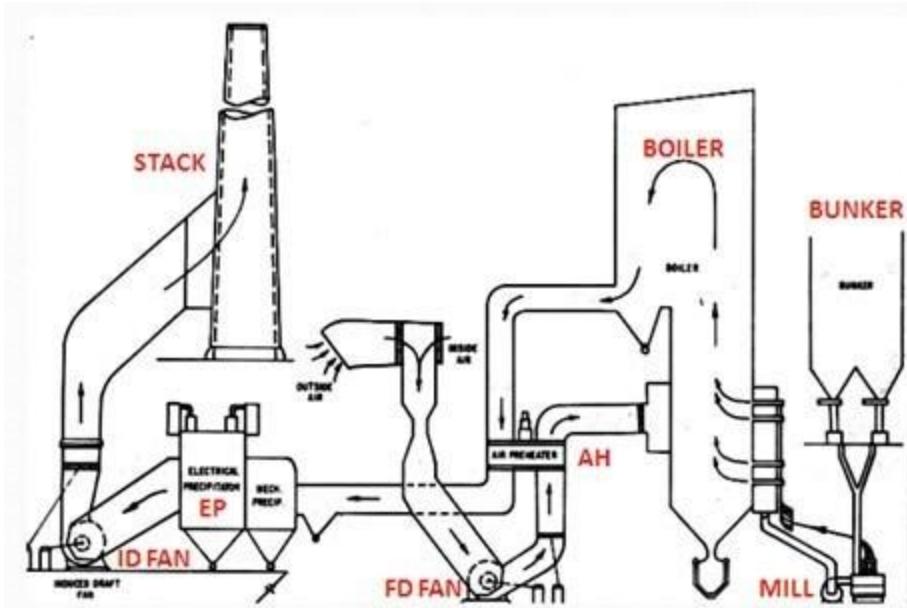
Ditinjau dari tekanan ruang bakar boilernya, PLTU dapat dibedakan menjadi:

- PLTU dengan *Pressurised Boiler*
- PLTU dengan *Balanced Draft Boiler*
- PLTU dengan *Vacuum Boiler*

Sistem pengaturan tekanan ruang bakar (*furnace pressure*) biasa disebut *draft* atau tekanan statik didalam ruang bakar dimana proses pembakaran bahan bakar berlangsung. PLTU dengan *pressurised boiler* (tekanan ruang bakar positif) digunakan untuk pembakaran bahan bakar minyak atau gas. Tekanan ruang bakar yang positif diakibatkan oleh hembusan udara dari kipas tekan paksa (*Forced Draft Fan, FDF*). Gas buang keluar dari ruang bakar ke atmosfer karena perbedaan tekanan.



Gb Jenis-jenis Tekanan
(*Draft*) Boiler



Gb Skema *Balanced Draft Boiler*

PLTU dengan *Balanced Draft Boiler* (tekanan berimbang) biasa digunakan untuk pembakaran bahan bakar batubara. Tekanan ruang bakar dibuat sedikit dibawah tekanan atmosfir, biasanya sekitar $-10 \text{ mmH}_2\text{O}$. Tekanan ini dihasilkan dari pengaturan dua buah kipas, yaitu kipas hisap paksa (*Induced Draft Fan*, IDF) dan kipas tekan paksa (*Forced Draft Fan*, FDF). FDF berfungsi untuk menyuplai udara pembakaran menuju ruang bakar (*furnace*) di boiler, sedangkan IDF berfungsi untuk menghisap gas dari ruang bakar dan membuang ke atmosfir melalui cerobong. Sedangkan PLTU dengan *vacum boiler* tidak dikembangkan lagi, sehingga saat ini tidak ada lagi yang menerapkan PLTU dengan boiler bertekanan negatif.

Siklus Air di Boiler

Siklus air merupakan suatu 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.



Gb Economiser

tipe pipa bersirip (*finned tubes*)

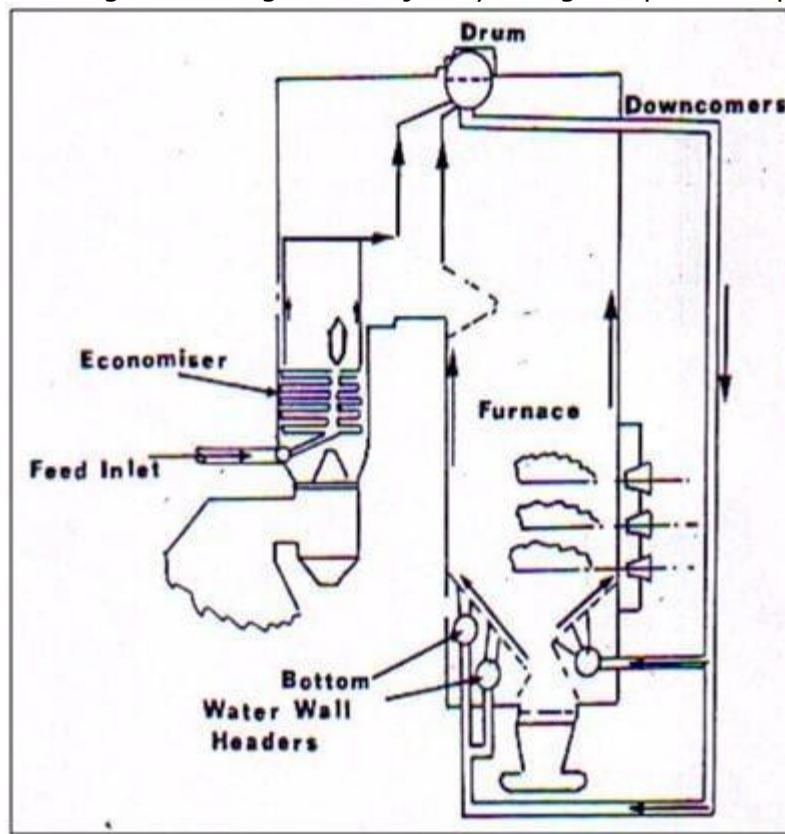
Peralatan yang dilalui dalam siklus air adalah *drum boiler*, *down comer*, *header bawah* (*bottom header*), dan *riser*. Siklus air di *steam drum* adalah, air dari *drum* turun melalui pipa-pipa *down comer* ke *header bawah* (*bottom header*). Dari *header bawah* air didistribusikan ke pipa-pipa 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 :

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



Gb Siklus air

Klasifikasi Ketel Uap

Ketel Uap banyak sekali macamnya, dan perkembangannya dapat mengikuti kemajuan teknologi masa kini. Dari sekian banyak macam ketel perlu dikelompokkan menjadi beberapa bagian. sesuai kegunaannya, konstruksinya dan lain-lain. Di bawah ini akan diuraikan pengelompokan tersebut secara garis besar:

Pembagian Menurut Undang-Undang Uap

Karena tempat penggunaannya berbeda-beda, maka menurut Undang-Undang Uap pasal 9, Ketel Uap dibagi menjadi tiga yaitu :

1. Ketel Tetap atau Ketel Darat, yaitu ketel-ketel yang dipakai di darat seperti pabrik-pabrik, PLTU dan lain-lain yang mempunyai pondasi yang tetap.
2. Ketel Kapal, yaitu ketel-ketel yang dipakai di kapal. Di sini perlengkapan alat-alat keselamatan ketel biasanya mempunyai konstruksi yang sedikit berbeda dengan ketel-ketel lainnya, mengingat keadaan kapal-kapal yang selalu oleng selama berlayar.
3. Ketel-Ketel yang dapat bergerak. yaitu ketel-ketel yang tidak termasuk dalam kedua golongan ketel tersebut di atas, seperti ketel kereta api, ketel tiang pancang dan lain-lain.

Pembagian Menurut Konstruksinya

Ketel dibuat untuk menghasilkan uap dengan jalan memanasi air yang ada di dalamnya oleh gas panas hasil pembakaran bahan bakar. Ketel harus bekerja seefisien mungkin, artinya harus dapat menghasilkan uap sebanyak-banyaknya dengan pemakaian bahan bakar yang seminimal mungkin. Oleh karena itu konstruksi ketel harus sedemikian sehingga panas dari bahan bakar harus sebanyak-banyaknya dapat diserap oleh air ketel guna menghasilkan uap. Untuk mencapai hal tersebut maka konstruksi ketel dibuat dari susunan pipa-pipa yang memisahkan antara air dan gas-gas panas yang memanaskan air tersebut.

Dilihat dari kedudukan pipa ketel dibagi menjadi :

1. Horizontal contoh : B & W Seksi
2. Vertikal contoh : Foster Wheeler
3. Miring contoh : B & W Integral

Dilihat dari zat yang mengalir di dalam pipanya, ketel dibagi menjadi tiga golongan yaitu :

1. **Ketel Pipa Api (*Fire Tube Boiler*)**. Pada ketel ini gas-gas panas mengalir di dalam pipa, sedangkan air yang dipanasi berada di luar pipa. Ketel pipa api biasanya digunakan untuk kapasitas steam sampai 14.000 kg/jam dengan tekanan 18 kg/cm². Ketel pipa api dapat menggunakan bahan bakar minyak bakar, gas atau bahan bakar padat dalam operasinya. Untuk alasan ekonomis,

sebagian besar ketel pipa api dikontruksi sebagai "paket" boiler (dirakit pabrik)untuk semua bahan bakar.

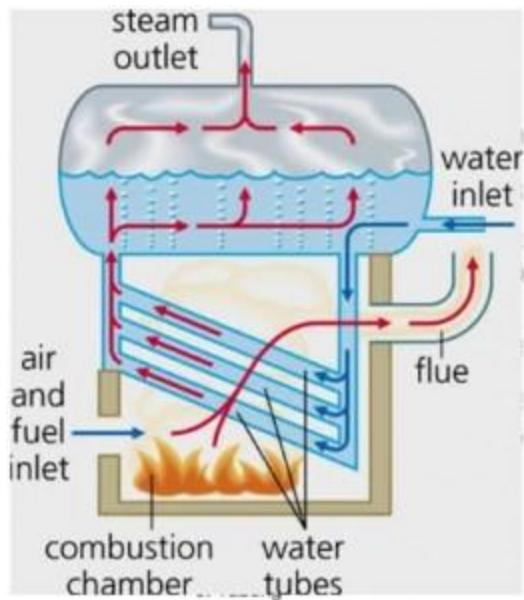


Contohnya : – Ketel Schots

– Ketel Cochran

2. **Ketel Pipa Air (*Water Tube Boiler*)**. Pada ketel ini yang mengalir di dalam pipa adalah air ketel, sedangkan gas-gas pema-nasnya berada di luar pipa. Pada masa kini ketel-ketel pipa air ini lebih pesat perkembangannya. Pada ketel pipa air, air diumpulkan boiler melalui pipa-pipa masuk kedalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakaran membentuk steam pad daerah uapdalam drum. Ketel ini dipilih jika kebutuhan steam dan tekanan steam sangat tinggi seperti pada kasus ketel untuk pembangkit tenaga. Ketel yang modern dirancang dengan kapasitas steam antar 4.500 – 12.000 ton/jam, dengan tekanan sangat tinggi. Banyak ketel pipa air yang dikontruksikan secara paket jika digunakan bahan bakar minyak bakar dan gas. Untuk ketel pipa air yang menggunakan bahan bakar padat, tidak umum dirancang secara paket. Karakteristik ketel pipa air sebagai berikut:

- a. Fored, induced dan balanced draft membantu untuk meningkatkan efisiensi pembakaran.
- b. Kurang toleran terhadap kualitas air yang dihasilkan dari plant pengolahan air.
- c. Memungkinkan untuk tingkat efisiensi panas yang lebih tinggi



Contohnya : – Ketel Babcock dan Wilcox

- Ketel Foster Wheeler
- Ketel Yarrow
- I S D
- E S D (ESD I, II, III dan IV)

3. Ketel Gabungan Pipa Api dan Pipa Air. Pada ketel ini terdapat dua macam jenis pipa, yaitu pipa api dan pipa air. Konstruksinya pada umumnya seperti Ketel Schots. Dan nampaknya dibuatnya ketel ini adalah untuk memperbaiki kekurangan yang terdapat pada Ketel Schots, seperti kurang baiknya sirkulasi air di dalam ketel.

Contohnya : – Ketel Werkspoor

- Ketel Howden – Johnson

Dilihat dari Pemakaianya, ketel dibagi menjadi :

1. **Ketel stasioner (stationary boiler) atau ketel tetap.** Yang termasuk stasioner adalah ketel-ketel yang didudukan pada suatu pondasi yang tetap, seperti ketel untuk pembangkitan tenaga, untuk industri dll.



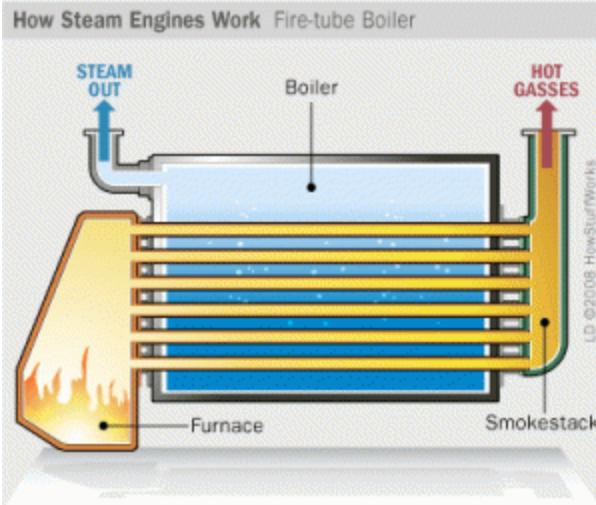
2. **Ketel mobil (mobile boiler), ketel pindah / portable boiler.** Yang termasuk ketel mobil adalah ketel yang dipasang pada pondasi yang berpindah-pindah (mobil), seperti boiler lokomotif, loko mobile dan ketel panjang serta lain yan sepertinya termasuk ketel kapal (marine boiler)



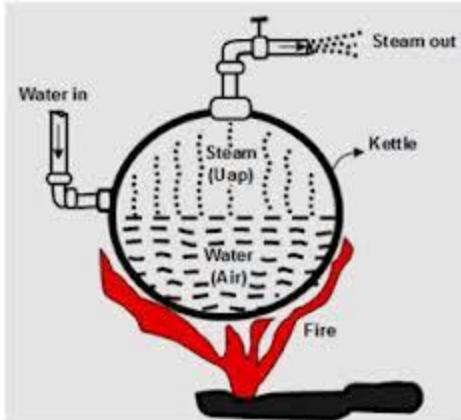
Dilihat dari Letak Dapur (*Furnace Position*), ketel dibagi menjadi :

1. **Ketel dengan pembakaran di dalam (internally fired steam boiler).** Dalam hal ini dapur berada (pembakaran terjadi)di bagian dalam ketel

kebanyakan ketel pipa api memakai system ini.



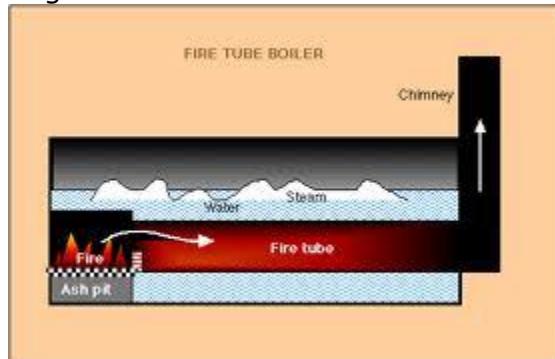
2. **Ketel dengan pembakaran di luar (*externally fired steam boiler*)**. Dalam hal ini dapur berada (pembakaran terjadi)di bagian dalam ketel . kebanyakan ketel pipa air memakai system ini



Dilihat dari Jumlah Lorong (Boiller Tube), ketel dibagi menjadi :

1. **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.



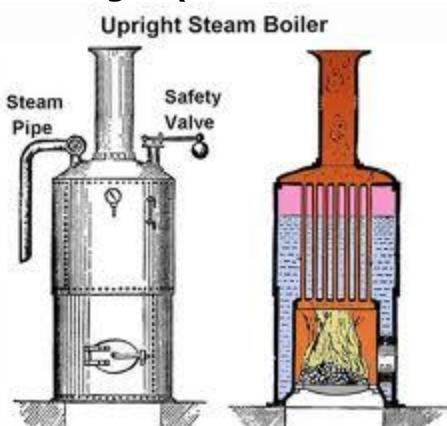
2. **Ketel dengan lorong ganda (multi tube steam boiler).** Multi fire tube boiler misalnya ketel scotch dan multi water tube boiler misalnya ketel B dan W

dll



Dilihat dari Porosnya Tutup Drum (*Shell*), ketel dibagi menjadi :

1. **Ketel tegak (vertical steam boiler)**, seperti ketel cochran, ketel clarkson dll

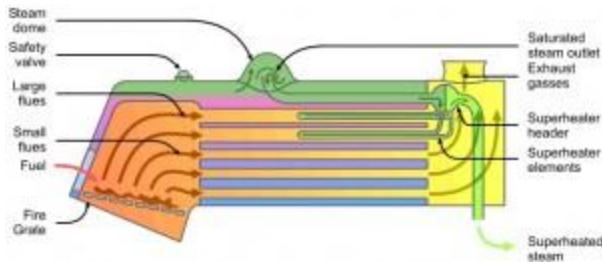


2. **Ketel mendatar (*horizontal steam boiler*),** seperti ketel cornish, lancashire, scotch dll.

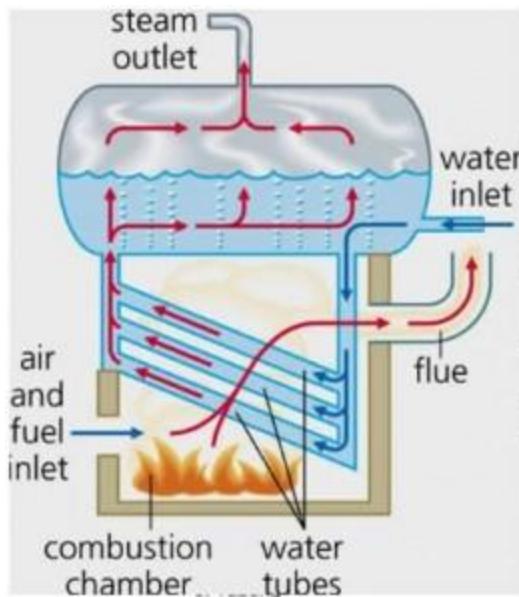


Dilihat dari Bentuk dan Letak Pipa, ketel dibagi menjadi :

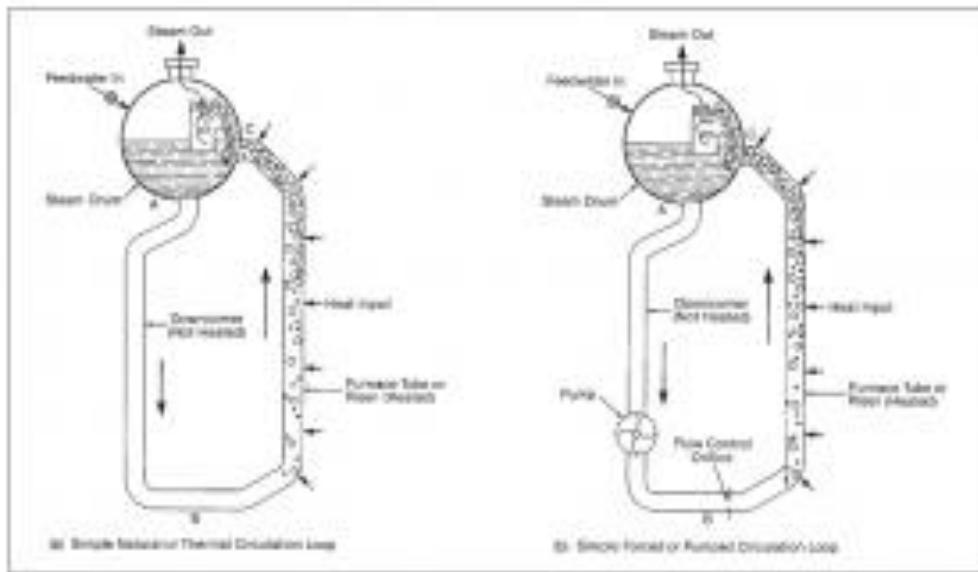
1. **Ketel dengan pipa lurus, bengok dan berlekak-lekuk (*straight, bent and sinous tubeler heating surface*)**



2. **Ketel dengan pipa miring datar dan miring tegak (*horizontal, inclined or vertical tubeler heating surface*)**



Dilihat dari Peredaran Air Ketel (*water circulation*), ketel dibagi menjadi :



- 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 conveksi alami. Umumnya ketel beroperasi secara aliran alami, seperti ketel lancashire, babcock & wilcox
- Ketel dengan peredaran paksa (*forced circulation steam boiler*)**. Pada ketel dengan aliran paksa, aliran paksa diperoleh dari sebuah pompa centrifugal yang digerakkan dengan elektric motor misalnya la-mont boiler, benson boiler, loeffer boiler dan velcan boiler.

Dilihat dari tekanan kerjanya, ketel dibagi menjadi :

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

Dilihat dari kapasitasnya, ketel dibagi menjadi :

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

Dilihat dari pada sumber panasnya (heat source), ketel dibagi menjadi :

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

Ketel Bantu

Yaitu ketel yang menghasilkan uap, yang dipergunakan untuk keperluan pesawat bantu, seperti pompa-pompa, pemanas dan lain-lain. Jenis-jenis ketel yang biasanya dipergunakan sebagai ketel bantu misalnya :

- La Mont Exh Gas Economicer
- Cochran Composite Boiler
- B & W M – type
- Foster Wheeler D – type.

Pada kapal Motor Besar pada umumnya mempunyai ketel bantu. Manfaat ketel bantu ini adalah untuk pemanasan di kapal, seperti pemanas ruangan, dapur, bahan bakar. serta untuk menggerakkan pesawat-pesawat bantu.

Ketel semacam ini pada umumnya selain diopak dengan bahan bakar minyak. biasanya juga dikombinasi dengan memanfaatkan panas dari gas buang yang keluar dari motor

Susunan atau sistemnya ada beberapa macam, diantaranya adalah :

1. Pada sebuah kapal terdapat sebuah ketel bantu yang diopak dengan bahan minyak. dan sebuah ketel tersendiri yang khusus diopak dengan gas buang motor induk. Dan masing-masing bisa terjadi pembentukan uap sendiri-sendiri.
2. Sistem La Mont.

Ketel La Mont banyak dipakai untuk memanfaatkan sebagian dari panas gas buang dari motor induk guna pembentukan uap. Ketel ini biasanya ditempatkan di jalanan gas buang dari motor induk atau di cerobong, dengan demikian letaknya lebih tinggi dari motor induk (Lihat gambar).

Fungsi dari ketel ini sebenarnya hanya sebagai tempat sirkulasi pengambilan panas, sedangkan tempat pembentukan uapnya berada pada ketel bantu lainnya. Dengan demikian diperlukan pompa sirkulasi untuk mengalirkan air yang berada di dalam ketel bantu (misalnya Cochran) ke ketel La Mont untuk akhirnya kembali ke ketel bantu lagi setelah mengambil panas. Pembentukan uap yang dihasilkan oleh ketel bantu biasanya dengan tekanan kira-kira 7 ato dan suhu air ketelnya kira-kira 170°C.

Suhu gas buang berkisar 300 – 400°C dan meninggalkan ketel La Mont kira-kira 220°C.

Ketel La Mont yang dipanaskan oleh gas buang ini, hampir semuanya merupakan sejumlah pipa-pipa yang berbentuk spiral. Masing-masing pipa spiral ujung-ujungnya dihubungkan dengan lemari pemasukan dan pembuangan.