

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Boiler

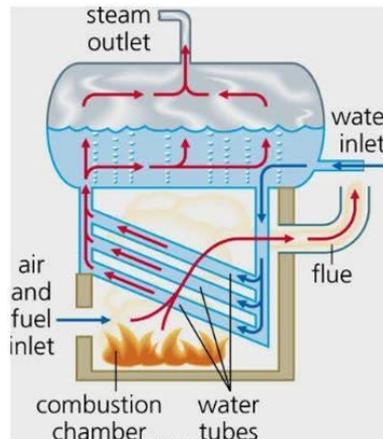
Menurut Sugiharto Agus (2016), *Boiler* adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang terbuat dari baja dan digunakan untuk menghasilkan uap (*steam*). *Steam* diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar. Pada umumnya *boiler* memakai bahan bakar cair (residu, solar), padat (batubara) , atau gas. Air di dalam *boiler* dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar (sumber panas lainnya) sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air yang mengakibatkan air tersebut menjadi panas atau berubah wujud menjadi uap.

Ketel uap (*boiler*) menurut Sutikno, D. (2011) dalam Pravitarsi Yolanda (2017) adalah sebuah alat untuk menghasilkan uap, yang terdiri atas dua bagian penting yaitu dapur pemanasan untuk menghasilkan panas yang didapat dari pembakaran bahan bakar dan *boiler proper* untuk mengubah air menjadi uap.

Pengertian lain menurut P. Daeng Yudi (2019) bahwa *Boiler* adalah suatu peralatan atau mesin berbentuk bejana tertutup yang terbuat dari baja dan digunakan untuk menghasilkan uap (*steam*). *Steam* diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar. Pada umumnya *boiler* memakai bahan bakar cair (residu, solar), padat (batu bara) atau gas. Air yang ada dalam boiler lalu dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar (sumber panas lainnya) sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air yang mengakibatkan air tersebut menjadi panas atau berubah wujud menjadi uap

Berdasarkan tiga pengertian tentang *boiler* di atas dapat disimpulkan bahwa *boiler* adalah suatu mesin yang digunakan untuk menghasilkan uap bisa menggunakan bahan bakar cair, padat maupun gas.

2.2 Boiler Pipa Api (*Fire Tube Boiler*)



Sumber : <https://images.app.goo.gl/94Rk8VkkqYUhz5vv9>

Gambar 1 Boiler pipa api

Boiler pipa api merupakan pengembangan dari ketel lorong api dengan menambah pemasangan pipa –pipa api, dimana gas panas hasil pembakaran dari ruang bakar mengalir didalamnya, sehingga akan memanasi dan menguapkan air yang berada di sekeliling pipa –pipa api tersebut. Pipa - pipa api berada atau terendam didalam air yang akan diuapkan. Volume air kira – kira $\frac{3}{4}$ dari tangki ketel.

Jumlah pass dari *boiler* tergantung dari jumlah laluan vertikal dari pembakaran diantara *furnace* dan pipa –pipa api. Laluan gas pembakaran pada *furnace* dihitung sebagai pass pertama *boiler* jenis ini banyak dipakai untuk industri pengolahan mulai skala kecil sampai skala menengah (Raharjo dan Karnowo 2008: 180).

Dalam perancangan *boiler* ada beberapa faktor penting yang harus dipertimbangkan agar *boiler* yang direncanakan dapat bekerja dengan baik sesuai dengan yang dibutuhkan. Faktor yang mendasari pemilihan jenis *boiler* adalah sebagai berikut :

- a. Kapasitas yang digunakan
- b. Kondisi *steam* yang dibutuhkan
- c. Bahan bakar yang dibutuhkan
- d. Konstruksi yang sederhana dan perawatan mudah
- e. Tidak perlu air isian yang berkualitas tinggi

Kerugian ketel pipa api :

- a. Tekanan *steam* hasil rendah
- b. Kapasitas kecil
- c. Pemanasan relatif lama

Prinsip aliran gas dalam ketel *steam* pipa api ada 3 macam :

- a. Konstruksi dua laluan (pass)

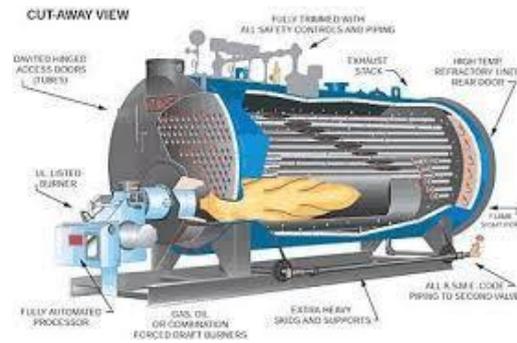
Konstruksi ini merupakan konstruksi ketel *scotch* yang mula – mula lorong api yang besar dibutuhkan untuk mendapatkan bidang – bidang pemanas yang luas.

- b. Konstruksi tiga laluan (pass)

Konstruksi ini gas asap melewati jalan yang lebih panjang sebelum meninggalkan cerobong, sehingga dapat menaikkan efisiensi kalor, akan tetapi tenaga yang dibutuhkan *draft fan* akan membesar akibat kerugian tekanan gas asap.

- c. Konstruksi empat laluan (pass)

Konstruksi ini merupakan unit yang mempunyai efisiensi yang lebih tinggi, karena jalan asap menjadi lebih panjang, maka tenaga *draft fan* menjadi lebih besar pula. Agar gas asap lebih tinggi dibuat ukuran pipa – pipa untuk pass – pass berikut yang lebih kecil. Untuk lebih jelas *boiler* pipa api tipe vertikal dapat dilihat pada gambar 2.



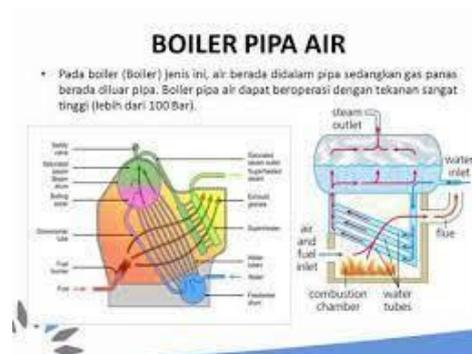
Sumber :

https://lh3.googleusercontent.com/proxy/pK9zYyVXFyIkOuun7amnXiJ7k69im8JjLPwHl9jcyt1nWhLgIRP88ryxZUUWcxjIfiLtD4OQ3EDr8ALAGCfqDOiD8tsckcn89_sqZV97Q5Gptji8HITO9-xlJI

Gambar 2 Boiler Vertikal

2.3 Boiler Pipa Air (*Water Tube Boiler*)

Pada ketel pipa air, fluida yang mengalir dalam pipa adalah air, energi panas ditransfer dari luar pipa (yaitu ruang dapur) ke air ketel. Pada *boiler* pipa air, air berada di dalam pipa sedangkan gas panas berada di luar pipa. *Boiler* pipa air ini dapat beroperasi pada tekanan yang sangat tinggi yaitu hingga lebih dari 100 Bar. *Boiler* pipa air memiliki karakteristik menghasilkan kapasitas dan tekanan *steam* yang tinggi. Berdasarkan jenis ketelnya, konstruksi yang dipasang dalam ketel dapat lurus dan melengkung. Secara parallel dipasang pipa-pipa yang lurus di dalam ketel dihubungkan dengan 2 buah *header*. Secara horizontal di atas susunan pipa dipasang *header* yang dihubungkan dengan *drum* uap. Susunan kedua *header* memiliki kecondongan tertentu yang bertujuan dapat mengatur sirkulasi uap dalam ketel.



Sumber :

<https://data:image/jpeg;base64,/9j/4AAQSkZJRgABAQAAQABAAD/>

Gambar 3 Boiler Pipa Air

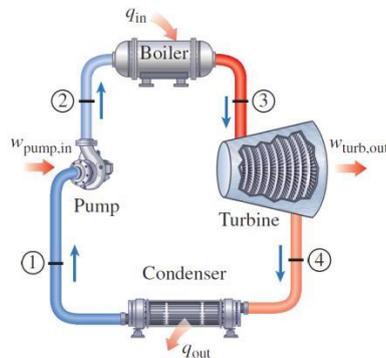
Cara kerja ketel pipa air :

Proses pengapian terjadi di luar pipa. Panas yang dihasilkan digunakan untuk memanaskan pipa yang berisi air. *Steam* yang dihasilkan kemudian dikumpulkan terlebih dahulu didalam sebuah *steam drum* sampai sesuai lalu dilepaskan ke pipa utama distribusi. Energi listrik (energi kalor yang dibangkitkan dalam system *boiler* memiliki nilai tekanan, temperature, dan laju aliran yang menentukan pemanfaatan *steam* yang akan digunakan. Berdasarkan ketiga hal tersebut system *boiler* mengenai keadaan tekanan temperature rendah (*low pressure/LP*), dan tekanan temperature tinggi (*high pressure/HP*), dengan perbedaan itu pemanfaatan *steam* yang keluar dari system *boiler* dimanfaatkan dalam suatu proses untuk memanaskan cairan dan menjalankan suatu mesin (*commercial and industrials boilers*), atau membangkitkan energi listrik dengan merubah energi kalor menjadi energimekanik kemudian memutar generator sehingga menghasilkan *power boilers*.

2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Dalam pembangkit listrik tenaga uap, energi primer yang dikonversikan menjadi energi listrik adalah bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan dapat berupa batubara (padat), minyak (cair), dan gas. Konversi energi tingkat pertama yang terjadi di pembangkit listrik tenaga uap adalah konversi energi

Primer menjadi energi panas (Kalor). Hal ini dilakukan dalam ruang bakar dari ketel uap. Energi panas ini kemudian dipindahkan ke dalam air yang ada dalam steam drum. Uap dari steam drum dialirkan ke turbin uap. Dalam turbin uap, energi uap dikonversikan menjadi energi mekanis penggerak generator, dan akhirnya energi mekanik dari turbin uap dikonversikan menjadi energi listrik oleh generator. Secara skematis proses pembangkit listrik tenaga uap dapat dilihat pada Gambar 4.

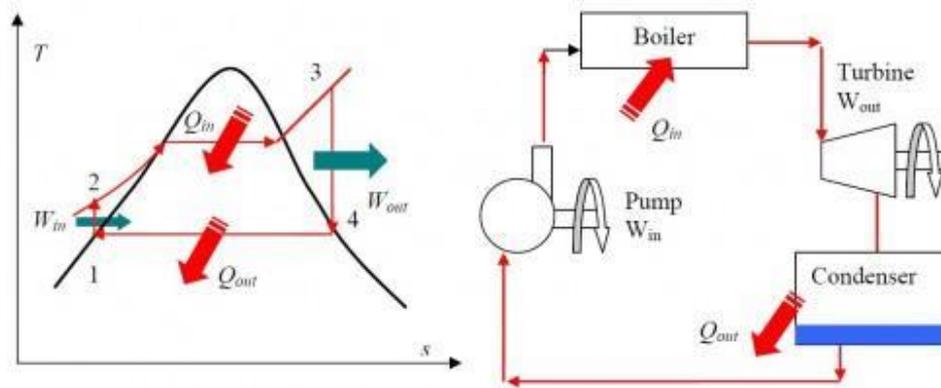


Sumber : <https://rakhman.net/power-plants-id/fungsi-dan-prinsip-kerja-pltu/>

Gambar 4 Skematik Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Siklus ideal yang mendasari siklus kerja dari suatu pembangkit daya uap adalah siklus *Rankine*. Siklus *Rankine* berbeda dengan siklus-siklus udara ditinjau dari fluida kerjanya yang mengalami perubahan fase selama siklus pada saat evaporasi dan kondensasi. Perbedaan lainnya secara termodinamika, siklus uap dibandingkan dengan siklus gas adalah bahwa perpindahan kalor pada siklus uap dapat terjadi secara isothermal. Proses perpindahan kalor yang sama dengan proses perpindahan kalor pada siklus *Carnot* dapat dicapai pada daerah uap basah dimana perubahan entalpi fluida kerja akan menghasilkan penguapan atau kondensasi, tetapi tidak pada perubahan temperatur. Temperatur hanya diatur oleh tekanan uap fluida.

Kerja pompa pada siklus *Rankine* untuk menaikkan tekanan fluida kerja dalam fase cair akan jauh lebih kecil dibandingkan dengan pemampatan untuk campuran uap dalam tekanan yang sama pada siklus *carnot*. Siklus *Rankine* ideal dapat dilihat pada Gambar 5.



Sumber : <https://www.insinyoer.com/wp-content/uploads/2015/04/Gambar-2-Siklus-Rankine.jpg>

Gambar 5 Siklus Rankine Sederhana

Siklus *Rankine* ideal terdiri dari 4 tahapan proses :

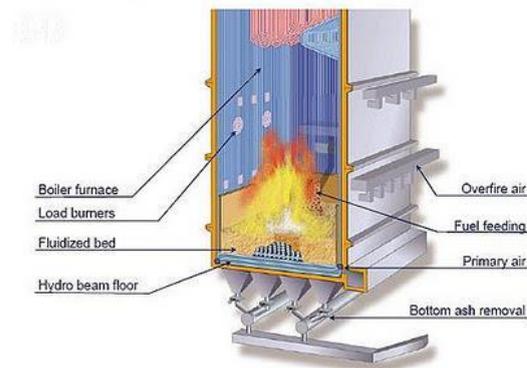
- 1-2 kompresi isentropik dengan pompa
- 2-3 penambahan panas dalam *boiler* secara isobar
- 3-4 ekspansi isentropik pada turbin
- 4-1 pelepasan panas pada kondenser secara isobar dan isotermal

Air masuk pompa pada kondisi 1 sebagai cairan jenuh dan dikompresi sampai tekanan operasi *boiler*. Temperatur air akan meningkat selama kompresi isentropik karena menurunnya volume spesifik air. Air memasuki *boiler* sebagai cairan terkompresi (*compressed liquid*) pada kondisi 2 dan akan menjadi uap *superheated* pada kondisi 3. Dimana panas diberikan ke *boiler* pada tekanan yang tetap. *Boiler* dan seluruh bagian yang menghasilkan *steam* ini disebut steam generator. Uap *superheated* pada kondisi 3 kemudian akan memasuki turbin 11 untuk diekspansi secara isentropik dan akan menghasilkan kerja untuk memutar *shaft* yang terhubung dengan generator listrik sehingga dapat dihasilkan listrik. Tekanan dan temperatur dari steam akan turun selama proses ini menuju keadaan 4 dimana *steam* akan masuk kondenser dan biasanya sudah berupa uap jenuh. *Steam* ini akan dicairkan pada tekanan konstan didalam

kondenser dan akan meninggalkan kondenser sebagai cairan jenuh yang akan masuk pompa untuk melengkapi siklus ini (Cengel dan Boles, 1994 : 553).

2.5 Komponen – Komponen Boiler

a. Tungku Pengapian (*Furnace*)



Sumber :

<https://images.app.goo.gl/Jsti1HVRAjkcJxST9>

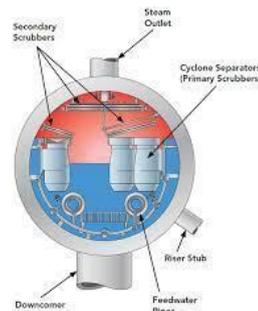
Gambar 6 Tungku Pengapian

Bagian ini merupakan tempat terjadinya pembakaran bahan bakar yang akan menjadi sumber panas, proses penerimaan panas oleh media air dilakukan melalui pipa yang telah dialiri air, pipa tersebut menempel pada dinding tungku pembakaran. Proses perpindahan panas pada furnace terjadi dengan tiga cara:

- 1) Perpindahan panas secara radiasi, dimana akan terjadi pancaran panas dari api atau gas yang akan menempel pada dinding tube sehingga panas tersebut akan diserap oleh fluida yang mengalir di dalamnya.
- 2) Perpindahan panas secara konduksi, panas mengalir melalui hantaran dari sisi pipa yang menerima panas kedalam sisi pipa yang memberi panas pada air.
- 3) Perpindahan panas secara konveksi. panas yang terjadi dengan singgungan molekul-molekul air sehingga panas akan menyebar kesetiap aliran air.

Di dalam *furnace*, ruang bakar terbagi atas dua bagian yaitu ruang pertama dan ruang kedua. Pada ruang pertama, di dalamnya akan terjadi pemanasan langsung dari sumber panas yang diterima oleh *tube* (pipa), sedangkan pada ruang kedua yang terdapat pada bagian atas, panas yang diterima berasal dari udara panas hasil pembakaran dari ruang pertama. Jadi, fungsi dari ruang pemanas kedua ini yakni untuk menyerap panas yang terbuang dari ruang pemanasan pertama, agar energi panas yang terbuang secara cuma-cuma tidak terlalu besar, dan untuk mengontrol panas fluida yang telah dipanaskan pada ruang pertama agar tidak mengalami penurunan panas secara berlebihan.

b. *Steam Drum*

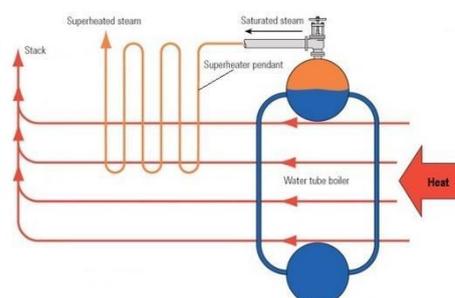


Sumber : <https://data:image/jpeg;base64>

Gambar 7 *Steam Drum*

Steam drum berfungsi sebagai tempat penampungan air panas serta tempat terbentuknya uap. Drum ini menampung uap jenuh (*saturated steam*) beserta air dengan perbandingan antara 50% air dan 50% uap. Untuk menghindari agar air tidak terbawa oleh uap, maka dipasang sekat-sekat, air yang memiliki suhu rendah akan turun ke bawah dan air yang bersuhu tinggi akan naik ke atas dan kemudian menguap.

c. *Superheater*

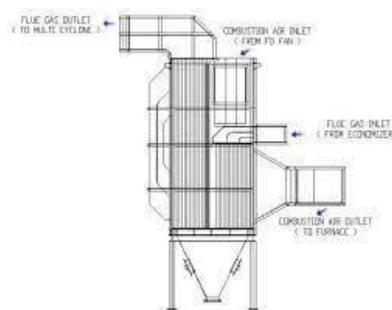


Sumber : <https://artikel-teknologi.com/wp-content/uploads/2017/11/C3CC0EB9-C518-447F-8C9A-42874F5A688F.jpeg>

Gambar 8 Superheater

Merupakan tempat pengeringan *steam*, dikarenakan uap yang berasal dari *steam drum* masih dalam keadaan basah sehingga belum dapat digunakan. Proses pemanasan lanjutan menggunakan *superheater pipe* yang dipanaskan dengan suhu 260°C sampai 350°C. Dengan suhu tersebut, uap akan menjadi kering dan dapat digunakan untuk menggerakkan turbin maupun untuk keperluan peralatan lain.

d. Air Heater



Sumber :
data:image/jpeg;base64,/9j/4AAQSkZJRgABAQAAQQA
BAAD

Gambar 9 Air Heater

Komponen ini merupakan alat yang berfungsi untuk memanaskan udara yang digunakan untuk menghembus/meniup bahan bakar agar dapat terbakar sempurna. Udara yang akan dihembuskan, sebelum melewati air *heater* memiliki suhu yang sama dengan suhu udara normal (suhu luar) yaitu 38°C. Namun, setelah melalui air *heater*, suhunya udara tersebut akan meningkat menjadi 230°C sehingga sudah dapat digunakan untuk menghilangkan kandungan air yang terkandung didalamnya karena uap air dapat mengganggu proses pembakaran.

e. Dust Collector (Pengumpul Abu)

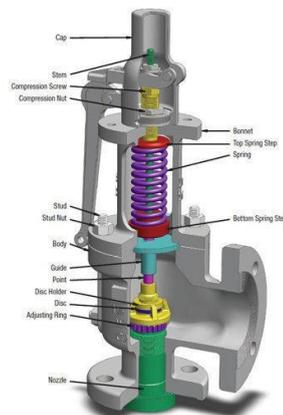


Sumber :
data:image/jpeg;base64,/9j/4AAQSkZJRgABAQAAQABAAD/

Gambar 10 Dut Collector

Bagian ini berfungsi untuk menangkap atau mengumpulkan abu yang berada pada aliran pembakaran hingga debu yang terikut dalam gas buang. Keuntungan menggunakan alat ini adalah gas hasil pembakaran yang dibuang ke udara bebas dari kandungan debu. Alasannya tidak lain karena debu dapat mencemari udara di lingkungan sekitar, serta bertujuan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan pada alat akibat adanya gesekan abu maupun pasir.

f. *Safety Valve* (Katup pengaman)



Sumber : <https://insinyoer.com/wp-content/uploads/2015/05/Gambar-1-Bagian-bagian-PSV-www.flowstarvalveshop.com.jpg>

Gambar 11 Katup Pengaman

Alat ini berfungsi untuk membuang uap apabila tekanan uap telah melebihi batas yang telah ditentukan. Katup ini terdiri dari dua jenis, yaitu katup pengaman uap basah dan katup pengaman uap kering. *Safety*

valve ini dapat diatur sesuai dengan aspek maksimum yang telah ditentukan. Pada uap basah biasanya diatur pada tekanan 21 kg per cm kuadrat, sedangkan untuk katup pengaman uap kering diatur pada tekanan 20,5 kg per cm kuadrat.

g. Gelas Penduga (*Sight Glass*)



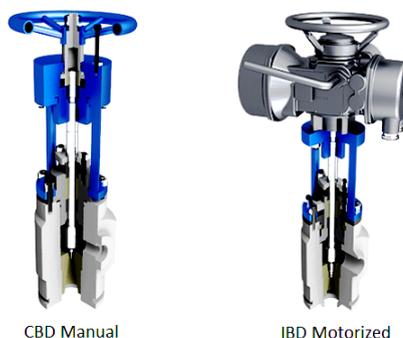
Sumber : <http://www.jualboiler.co.id/product/gelas-penduga-p595898.aspx>

Gambar 12 Gelas Penduga

Gelas penduga dipasang pada drum bagian atas yang berfungsi untuk mengetahui ketinggian air di dalam drum. Tujuannya adalah untuk memudahkan pengontrolan ketinggian air dalam ketel selama boiler sedang beroperasi. Gelas penduga ini harus dicuci secara berkala untuk menghindari terjadinya penyumbatan yang membuat level air tidak dapat dibaca.

h. Pembuangan Air Ketel

Blowdown Valve (BDV)



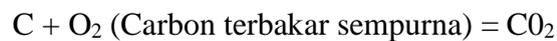
Sumber <https://instrumentationtools.com/wp-content/uploads/2019/07/What-is-Blowdown-Valve-BDV.png>

Gambar 13 Pembuangan Air Ketel

Komponen boiler ini berfungsi untuk membuang air dalam drum bagian atas. Pembuangan air dilakukan bila terdapat zat-zat yang tidak dapat terlarut, contoh sederhananya ialah munculnya busa yang dapat mengganggu pengamatan terhadap gelas penduga. Untuk mengeluarkan air dari dalam drum, digunakan *blowdown valve* yang terpasang pada drum atas, katup ini bekerja bila jumlah busa sudah melewati batas yang telah ditentukan.

2.6 Proses Pembakaran

Pembakaran merupakan oksidasi cepat bahan bakar disertai dengan produksi panas, atau panas dan cahaya. Pembakaran sempurna bahan bakar terjadi hanya jika ada pasokan oksigen yang cukup. Dalam setiap bahan bakar, unsur yang mudah terbakar adalah karbon, hidrogen dan sulfur. Dalam proses suatu pembakaran jika tidak ada cukup oksigen, maka karbon tidak akan terbakar seluruhnya, contohnya sebagai berikut :



Tujuan dari pembakaran yang baik adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Hal ini dilakukan dengan pengontrolan “tiga T” yaitu:

1. T- Temperatur

Temperatur yang digunakan untuk pembakaran yang baik harus cukup tinggi sehingga dapat menyebabkan terjadinya reaksi kimia.

2. T- Turbulensi

Turbulensi yang tinggi menyebabkan terjadinya pencampuran yang baik antara bahan bakar dan pengoksidasi.

3. T- Time

Waktu harus cukup agar input panas dapat terserap oleh reaktan sehingga berlangsung proses termokimia.

Dalam proses pembakaran tidak terlepas dari penyalaan yaitu sebuah keadaan transisi dari tidak reaktif ke reaktif karena rangsangan atau dorongan eksternal yang memicu reaksi termokimia diikuti dengan transisi yang cepat sehingga pembakaran dapat berlangsung. Penyalaan terjadi bila panas yang dihasilkan oleh pembakaran lebih besar dari panas yang hilang ke lingkungan. Dalam proses penyalaan ini dapat dipicu oleh energi thermal yang merupakan transfer energi thermal ke reaktan oleh konduksi, konveksi, radiasi atau kombinasi dari ketiga macam proses tersebut, Kimia yaitu dengan memasukan bahan kimia reaktif.

Temperatur adiabatik merupakan temperatur teoritis maksimum yang dicapai oleh produk-produk pembakaran bahan bakar dengan oksigen atau udara. Temperatur adiabatik terjadi pada udara lebih sama dengan nol (kondisi stokiometrik).

Namun temperatur adiabatik juga bisa tidak tercapai hal ini disebabkan oleh:

1. Kehilangan panas

Yaitu proses pembakaran tidak terjadi seketika. Pembakaran yang cepat akan mereduksi kehilangan panas. Akan tetapi jika pembakaran berjalan lambat maka gas terdinginkan dan akan terjadi pembakaran yang tidak sempurna.

2. Terjadinya diasosiasi CO₂ dan H₂O

Pada temperatur diatas 3000 F, CO₂ dan H₂O terdisosiasi dengan menyerap panas. Jika gas mendingin produk disosiasi berekombinasi dan melepas energi disosiasinya. Jadi panasnya tidak hilang akan tetapi temperatur nyala aktual lebih rendah. (Hidayat: 2004).

1. **Kebutuhan Udara Pembakaran**

Dalam suatu pembakaran perbandingan campuran bahan bakar dan udara memegang peranan yang penting dalam menentukan hasil proses pembakaran. Rasio campuran bahan bakar dan udara dapat dinyatakan dalam beberapa parameter yang lazim antara lain AFR (*Air Fuel Ratio*), FAR (*Fuel Air Ratio*), dan Rasio Ekivalen.

2. Rasio Udara-Bahan Bakar (*Air Fuel Ratio/AFR*)

Rasio ini merupakan parameter yang paling sering digunakan dalam mendefinisikan campuran dan merupakan perbandingan antara massa dari udara dengan bahan bakar pada suatu titik tinjau.

3. Rasio Bahan Bakar-Udara (*Fuel Air Ratio/ FAR*)

FAR dan AFR dapat juga dinyatakan dalam perbandingan volume. Untuk bahan bakar gas, perbandingan volume lebih sering dipergunakan karena sebanding dengan perbandingan jumlah mol. 2.7.4 Rasio Ekuivalen (*Equivalent Ratio*) Rasio ini termasuk juga rasio yang umum digunakan. Rasio ekuivalen didefinisikan sebagai perbandingan antara rasio udara-bahan bakar (AFR) stokiometri dengan rasio udara-bahan bakar (AFR) aktual atau juga sebagai perbandingan antara rasio bahan bakar-udara (FAR) aktual dengan rasio bahan bakar-udara (FAR) stoikiometri (Mahandri,2010).

2.7 Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan pada *boiler* adalah serbuk kayu. Serbuk gergaji kayu dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap guna untuk mengurangi pencemaran lingkungan.

Serbuk kayu yang sudah di proses menjadi briket, pada sistem pembangkit listrik tenaga uap ada hal yang harus di perhatikan yaitu pembakaran briket serbuk kayu, tekanan uap, putaran, dan tegangan listrik yang di hasilkan. Adapun alat yang di gunakan adalah *Boiler* Pipa Api di mana uap akan menghasilkan berupa tekanan, dari tekanan uap tersebut akan di konversi ke Turbin *Impuls Pelton* maka akan menghasilkan putaran (RPM), sehingga putaran dari turbin di kopelkan ke rotor Generator DC sampai mendapatkan tegangan listrik.

2.8 Perpindahan Kalor

Perpindahan Kalor adalah bentuk kalor yang dapat berpindah dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah. Sedangkan kalor ini

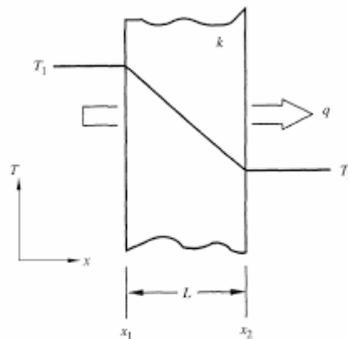
merupakan suatu bentuk energi atau dapat juga didefinisikan sebagai jumlah panas yang ada dalam suatu benda.

1. Macam – Macam Perpindahan kalor

Perpindahan dari suatu tempat ke tempat yang lain melalui 3 cara, yaitu Konduksi, Konveksi dan Radiasi.

a. Konduksi (Hantaran).

Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam suatu medium (padat, cair, atau gas) atau antara medium –medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum. Perpindahan Panas Konduksi pada dinding dapat dilihat pada gambar 5.



Sumber : [https://encrypted-](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTRA0yDNI27PI63bPKJ4REH9heaaDV6XLxwWPHfLKeKm2ARNpifiVzoEDAWTDJlEhNmTA&usqp=CAU)

[tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTRA0yDNI27PI63bPKJ4REH9heaaDV6XLxwWPHfLKeKm2ARNpifiVzoEDAWTDJlEhNmTA&usqp=CAU](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTRA0yDNI27PI63bPKJ4REH9heaaDV6XLxwWPHfLKeKm2ARNpifiVzoEDAWTDJlEhNmTA&usqp=CAU)

Gambar 14 Perpindahan Panas Konduksi pada Dinding

Laju perpindahan panas yang terjadi pada perpindahan panas konduksi adalah berbanding dengan gradien suhu normal.

$dT/dx = \text{gradient}$ temperatur ke arah perpindahan kalor. Konstanta positif “k” disebut konduktifitas atau kehantaran termal benda itu,

sedangkan tanda minus disisipkan agar memenuhi hukum kedua termodinamika, yaitu bahwa kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala temperatur. (J.P. Holman, hal :2)

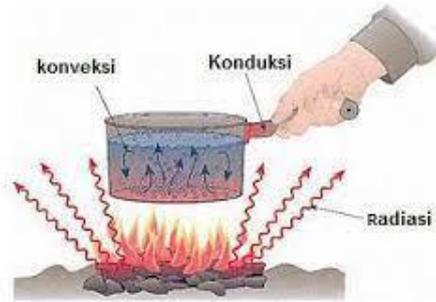
Hubungan dasar aliran panas melalui konduksi adalah perbandingan antara laju aliran panas yang melintas permukaan isothermal dan gradien yang terdapat pada permukaan tersebut berlaku pada setiap titik dalam suatu benda pada setiap waktu yang dikenal dengan hukum *fourier*. Dalam penerapan hukum *Fourier* (persamaan 6) pada suatu dinding datar, jika persamaan tersebut diintegrasikan maka akan didapatkan, (J.P. Holman, hal : 26).

$$q_k = -k \cdot \frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{dT}{dx}$$

Tetapan kesebandingan (k) adalah sifat fisik bahan atau material yang disebut konduktivitas termal. Persamaan (6) merupakan persamaan dasar tentang konduktivitas termal. Berdasarkan rumusan itu maka dapatlah dilaksanakan pengukuran dalam percobaan untuk menentukan konduktivitas termal berbagai bahan. Pada umumnya konduktivitas termal itu sangat tergantung pada suhu. Konduktivitas termal pada berbagai bahan dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

b. Konveksi (aliran)

Konveksi adalah perpindahan panas karena adanya gerakan/aliran/pencampuran dari bagian panas ke bagian yang dingin. Menurut cara menggerakkan alirannya, perpindahan panas konveksi diklasifikasikan menjadi dua, yakni konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Bila gerakan fluida disebabkan karena adanya perbedaan kerapatan karena suhu, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi bebas (*free/ natural convection*). Bila gerakan fluida disebabkan oleh gaya pemaksa/ eksitasi dari luar, misalkan dengan pompa atau kipas yang menggerakkan fluida sehingga fluida mengalir di atas permukaan, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi paksa (*forced convection*). Berikut gambar perpindahan panas konveksi dapat dilihat pada gambar 6.

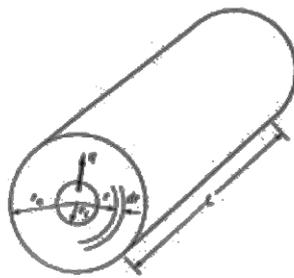


Sumber : <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTpiFF0eJhCdxGnX7LhuHMavsURy8zUwkXYcAellWStSIAfpwB8jcdfP9EUWaTktiWCh0&usqp=CAU>

Gambar 15 Perpindahan Panas Konveksi

Proses pemanasan atau pendinginan fluida yang mengalir di dalam saluran tertutup seperti pada gambar merupakan contoh proses perpindahan panas. Laju perpindahan panas pada beda suhu tertentu dapat dihitung dengan persamaan, (J.P. Holman, 1994 hal: 11)

Perpindahan panas pada sistem radial silinder dapat dilihat pada gambar 7 berikut.

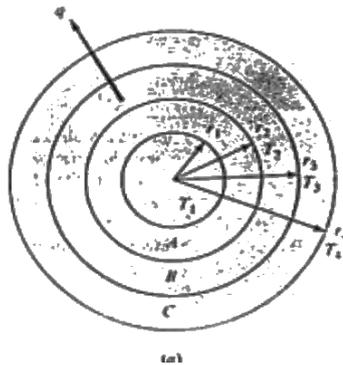


Sumber : <https://adoc.pub/queue/konduksi-aliran-stedi-satu-dimensi.html>

Gambar 16 Perpindahan Panas pada Sistem Radial Silinder

Perbedaan suhu di silinder adalah $T_i - T_o$. Untuk silinder dengan panjang yang sangat besar dibandingkan dengan diameter, dapat diasumsikan bahwa kalor mengalir dalam arah radial.

Jika silinder mempunyai dinding berlapis, dapat digunakan konsep tahanan termal. Pada gambar, dimisalkan dinding silinder dilapisi oleh dua lapisan isolasi untuk mencegah kalor keluar atau masuk seperti pada gambar 8.



Sumber : <https://123dok.com/document/y93rkjwy-rancang-prototipe-pembangkit-listrik-evaluasi-terhadap-thermal-repository.html>

Gambar 17 Perpindahan Kalor pada Dinding Silinder Berlapis

2.9 Kerusakan Boiler

Menurut Maldi Saputra (2020) bahwa kerusakan-kerusakan atau faktor-faktor penurunan performa dari ketel uap (*boiler*) dapat terjadi seperti adanya pembentukan terak-terak atau kotoran-kotoran yang tersisa didalam pipa-pipa didalam *boiler* tersebut. Pembentukan kotoran-kotoran tersebut dapat menjadi penghambat bagi panas dalam memanaskan air bakuyang diubah menjadi uap, sehingga panas tidak terdistribusi dengan baik dan bisa kemungkinan terjadi kelebihan panas pada salah satu sisi *boiler*.

2.10 Perawatan Boiler

Menurut Sugiharto Agus (2016) bahwa perawatan *boiler* adalah suatu kegiatan untuk memelihara atau menjaga *boiler* dan melakukan perbaikan atau penggantian peralatan yang diperlukan agar *Boiler* bisa dioperasikan kembali sesuai dengan yang direncanakan. Adapun yang menjadi tujuan dari perawatan suatu peralatan dalam proses produksi atau operasional adalah untuk menekan kerugian akibat kerusakan alat produksi, dengan biaya yang rendah diharapkan mendapat hasil yang tinggi.

Tujuan utama dari perawatan menurut P. Daeng Yudi (2019) yang dilakukan terhadap *boiler* adalah untuk mengurangi kerugian akibat kerusakan *boiler* serta dengan biaya perawatan yang lebih rendah dibandingkan dengan biaya perbaikan diharapkan mendapat keuntungan yang baik. Bila jelaskan secara detail, maka tujuan perawatan mesin yang paling efektif adalah tercapainya keadaan–keadaan berikut :

- d. Meningkatkan kemampuan produksi.
- e. Menjaga kualitas produksi.
- f. Menjaga *boiler* dapat bekerja aman.
- g. Menjamin kesiapan operasional mesin dari keadaan darurat setiap waktu.
- h. Mencapai umur mesin yang sesuai dengan umur/ *life time*.
- i. Menekan biaya perawatan