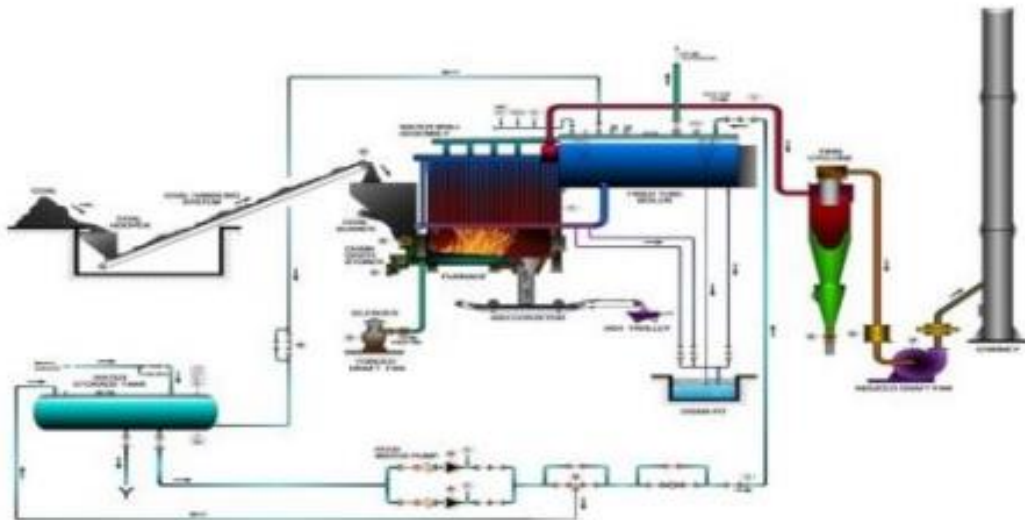


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ketel Uap (*Boiler*)

Ketel uap (*boiler*) merupakan alat yang menciptakan uap panas, terbagi menjadi dua bagian yang berperan signifikan yakni *boiler proper*, merubah air menjadi uap panas dan dapur pemanas, yang mendapat panas melalui proses membakar bahan bakar dalam mesin (Priyanto & Wilastari, 2022). *Boiler* merupakan bagian alat yang berupa *drum/tangki/vessel* yang tertutup. *Boiler* tersebut biasanya terbuat dari baja yang berfungsi guna mentransmisikan panas yang tercipta serta merubah air menjadi uap. Hasil tersebut oleh pembakaran bahan bakar (berupa/bentuknya : padat, cair atau juga gas) (Iskandar, 2015). Hingga air tersebut berganti menjadi uap. Dalam aktivitas pembangkitan tenaga, *boiler* berfungsi guna mengkonversikan energi panas dari energi kimia terkandung pada ruang bakar. Hal ini yang dapat dilakukan transfer ke dalam medium termal.



Gambar 2.1 Siklus Pembentukan Uap Boiler Batubara Pipa Api

Sumber : Priyanto & Wilastari, (2022)

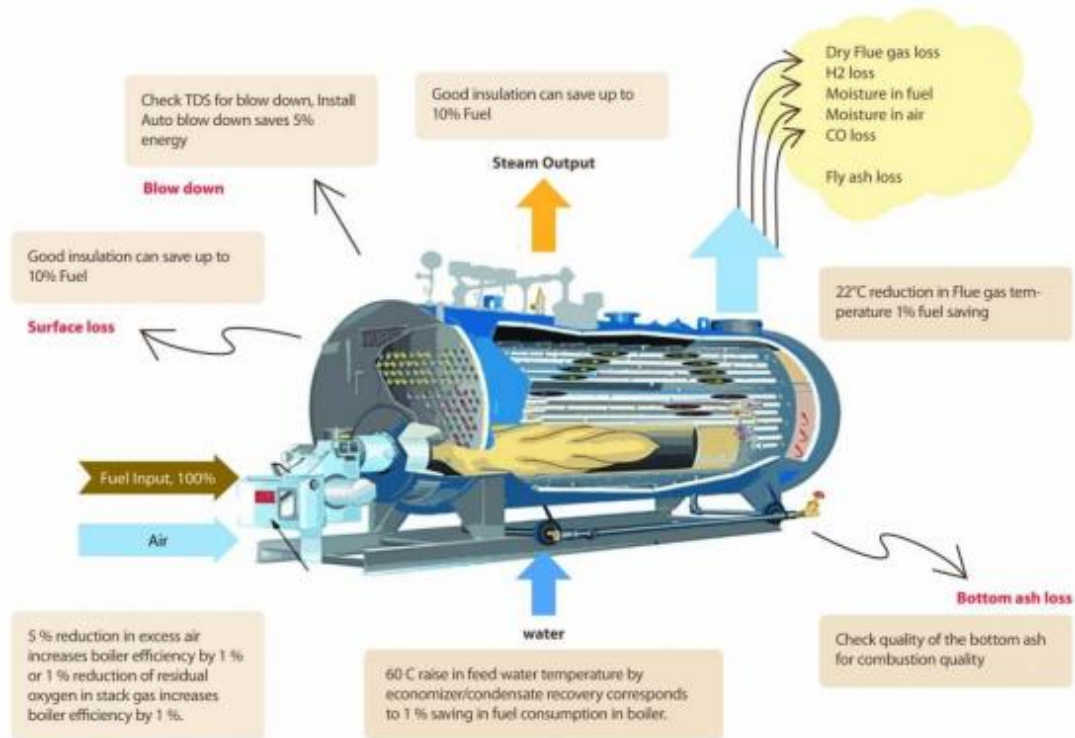
Konversi energi pada *boiler* juga berfungsi guna merubah energi panas yang disuplai ke fluida kerja dari energi kimia yang ada pada bahan bakar di ruang bakar. Bahan bakar seperti batubara, kayu, minyak bumi, dan gas semuanya dapat dibakar pada ruang bakar guna memperoleh fluida panas yang ditempatkan di dalam boiler (Priyanto &

Wilastari, 2022). Maka dari pada itu Ini terjadi karena adanya pertukaran panas antara bahan bakar dan air di dalam sebuah ruang tertutup. Pada *boiler* dengan jenis pipa air, air yang mengalir dan masuk terarah ke saluran. Disamping itu proses pemanasan air itu dilakukan melalui gas-gas asap yang berada di dalam sekitar pipa-pipa tersebut. Pada umumnya telah banyak perusahaan yang mengimplementasikan penggunaan dengan serabut dan cangkang kepala sawit untuk menjadi bahan bakar *boiler* itu sendiri (Hikmawan, 2020).

Bejana dengan bertekanan yang biasanya memakai bahan baja dan dengan ketentuan khusus menurut standar *The ASME Code Boiler* (ASME), terkhusus dalam penggunaan ketel uap oleh perusahaan skala besar. Maka berbagai macam material, termasuk tembaga, kuningan, dan besi cor, telah digunakan dalam sejarah untuk membuat boiler. Tetapi bahan itu telah lama dilupakan serta terabaikan. Hal ini dikarenakan faktor ekonomis serta daya tahan komponen yang tidak memenuhi standar industri. Proses pembakaran menyediakan panas yang ditransfer ke fluida di dalam *boiler*. Proses pembakaran melalui ragam bahan yang diperoleh, seperti : kayu, batubara, minyak bumi, serta gas (Utama, Daulay, & Tutuarima, 2017). Maka dengan adanya perkembangan terkini dalam ilmu pengetahuan serta teknologi, energi nuklir pun dapat dipergunakan sebagai sumber panas dalam katel uap.

Boiler terbagi menjadi dua bagian utama yakni :

- a. *Furnace* (ruang bakar) yang digunakan guna merubah energi kimia menjadi energi panas.
- b. Drum uap yang merubah energi panas dari pembakaran menjadi energi potensial uap. Agar alat ini dapat dibangun dan berfungsi sebagaimana mestinya, maka perlu mempertimbangkan sejumlah variabel penting.



Gambar 2.2 Sistem Operasi Pada Boiler

Sumber : Sugiharto, (2020)

2.2 Neraca Panas

Total energi yang masuk ke boiler dibagi dengan total energi yang keluar dari boiler dalam berbagai bentuk dikenal sebagai neraca panas (Agus Sugiharto, 2016). Neraca panas adalah hasil akumulasi panas yang dihasilkan dari berbagai macam komponen yang terdapat pada sistem. Temperatur dan tekanan mempengaruhi nilai entalpi, yang merupakan jumlah total energi dalam sistem yang dimanifestasikan sebagai panas. Karena hukum pertama termodinamika menyatakan bahwa sebuah sistem akan berusaha mengubah energinya jika diberi panas, maka entalpi dan temperatur saling berhubungan. Pergeseran suhu menunjukkan salah satu pergeseran energi

$$\text{Panas hilang} = \text{panas masuk} - \text{panas keluar}$$

Perubahan entalpi seperti :

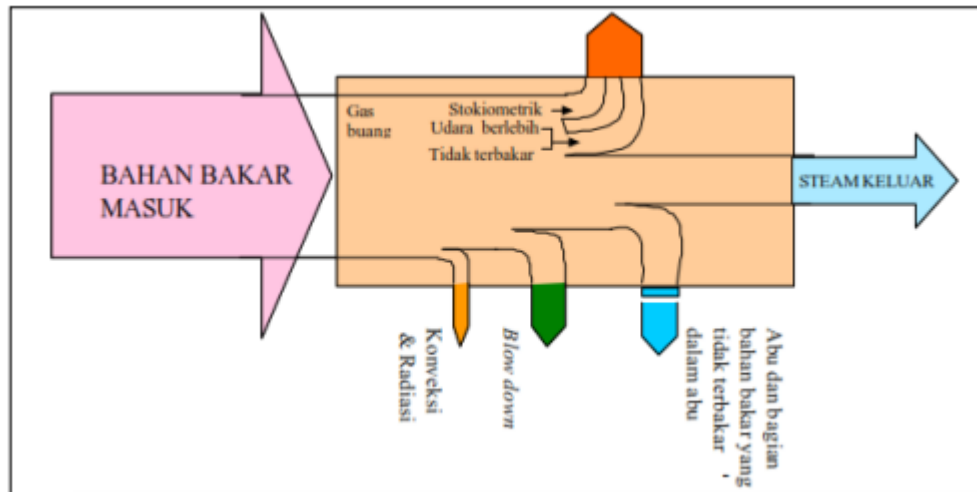
- a. Panas sensibel

Perubahan suhu dalam fase tetap diukur dalam istilah panas sensibel. Panas ini merupakan panas yang bisa diserap dan dipancarkan tanpa mengubah fase ketika

suhu naik atau turun. Kapasitas panas, atau C_p , adalah besaran panas yang diperlukan untuk meningkatkan suhu satu massa satuan sebesar satu satuan

b. Panas laten

Panas laten merupakan panas perubahan fase dalam suhu tetap. Perubahan fase dari panas laten dapat berupa panas pembentukan, panas pembakaran, panas penguapan, panas peleburan, panas pelarutan, panas sublimasi, panas penguraian dan panas netralisasi



Gambar 2.3 Neraca Energi Boiler

Sumber : Agus Sugiharto, (2016)

2.3 Efisiensi Boiler

Efisiensi adalah ukuran seberapa baik suatu alat bekerja. Efisiensi *boiler* adalah ukuran seberapa baik *boiler* bekerja guna merubah air menjadi uap. Efisiensi *boiler* dihitung dengan membandingkan dialurkannya energi ke fluida kerja menggunakan energi yang dikeluarkan bahan bakar di dalam boiler. Menurut Saputra et al., (2020) Energi panas yang terkandung dalam bahan bakar limbah (energi *input*) dan diserap oleh air untuk menyebabkannya berubah fasa menjadi uap (energi *output*). Karena yang dibutuhkan untuk mengevaluasi efisiensi adalah output (uap) dan input panas (bahan bakar limbah), pendekatan ini sering disebut sebagai metode input-output. Data tekanan, temperatur, dan dihasilkannya temperatur uap, serta masuknya temperatur air umpan, digunakan untuk menghitung efisiensi boiler. Persamaan (2), yang didasarkan pada

Standar *USA ASME PTC 4-1 Power Test Code* Untuk Unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap, dapat digunakan untuk menentukan efisiensi boiler:

$$\eta = \frac{Q_{uap}(H_g - H_f)}{q_{sampah} \times LHV} \times 100\% \quad (\text{Sumber: ASME PTC 4.1})$$

Dimana:

η = Efisiensi %

Q_{uap} = Laju aliran uap keluar (kg/jam)

H_g = Entalpi uap keluar *boiler* (kJ/kg)

H_f = Entalpi air umpan *boiler* (kJ/kg)

q_{sampah} = Jumlah konsumsi sampah (kg/jam)

LHV = Nilai Kalor Pembakaran (kJ/kg)

Efisiensi pembakaran dapat diketahui dengan terbakarnya seluruh bahan bakar. Jumlah udara ekstra yang keluar melalui cerobong berfungsi sebagai parameter kontrol untuk menjamin bahwa semua bahan bakar terbakar. Jumlah bahan bakar yang tidak terbakar yang cenderung tidak dapat mengalir melalui cerobong berkurang dengan jumlah udara ekstra yang lolos melaluinya. Lebih banyak energi panas yang dilepaskan oleh udara sisa saat melewati cerobong asap sebanding dengan jumlah air ekstra yang keluar. Untuk mencapai efisiensi pembakaran boiler setinggi mungkin, oleh karena itu, ada jumlah air berlebih yang ideal. Menurut *ASME Standard: PTC-4-1 Power Test Code for Steam Generating Units*, berikut berpengaruh pada kinerja *boiler*:

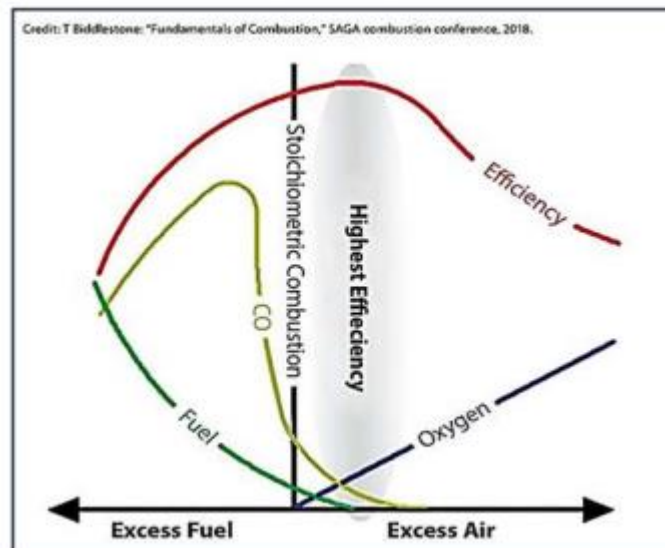
Faktor yang berpengaruh pada pemilihan jenis *boiler* seperti :

- a. Digunakannya kapasistas
- b. Kondisi uap yang diperlukan,
- c. Bahan bakar yang diperlukan
- d. Kemudahan pembangunan dan perawatan.

Faktor-faktor yang berpengaruh pada produktivitas *boiler*:

- a. Pembersihan *boiler* secara berkala
- b. Peniupan jelaga (*shoot blowing*) secara berkala
- c. Program pengolahan air yang tepat dan *control blow down*

- d. *Draft control*
- e. Kelebihan kontrol udara (EA)
- f. Persentase pemuatan *boiler*
- g. Tekanan dan suhu pembangkit uap
- h. Insulasi *boiler*
- i. Kualitas bahan bakar



Gambar 2.4 Efisiensi Thermal Boiler

Sumber : Sugiharto, (2020)

Semakin sedikit bahan bakar termasuk karbon monoksida, yang tidak terbakar seluruhnya, semakin banyak udara, atau oksigen, yang keluar melalui cerobong. Namun, seperti yang telah kita bahas, grafik efisiensi pembakaran menurun secara proporsional dengan jumlah udara yang tersisa. Hal ini disebabkan oleh energi panas yang hilang bersama dengan udara sisa. Untuk mencapai efisiensi pembakaran tertinggi, oleh karena itu, ada nilai ideal untuk udara berlebih. Secara umum, nilai udara berlebih yang ideal untuk pembakaran gas alam (LPG dan LNG) adalah 3-15%, untuk pembakaran bahan bakar cair adalah 3-15%, dan untuk pembakaran batu bara adalah 15-40%. Maka, menggunakan gas alam relatif jauh lebih bersih daripada menggunakan bahan bakar lainnya. Menurut Babcox & Wilcox, Perusahaan McDermott nilai udara ekstra terlihat pada gambar dibawah ini.

Fuel	Excess air, % by weight
Pulverized coal	15–20
Coal	
Fluidized bed combustion	15–20
Spreader stoker	25–35
Water-cooled vibrating grate stoker	25–35
Chain and traveling grate stoker	25–35
Underfeed stoker	25–40
Fuel oil	3–15
Natural gas	3–15
Coke oven gas	3–15
Blast furnace gas	15–30
Wood/bark	20–25
Refuse-derived fuel (RDF)	40–60
Municipal solid waste (MSW)	80–100

SOURCE: Babcock & Wilcox, a McDermott company.

Gambar 2.5 Range Excess Air Pada Beberapa Jenis Bahan Bakar

Sumber : Sugiharto, (2020)

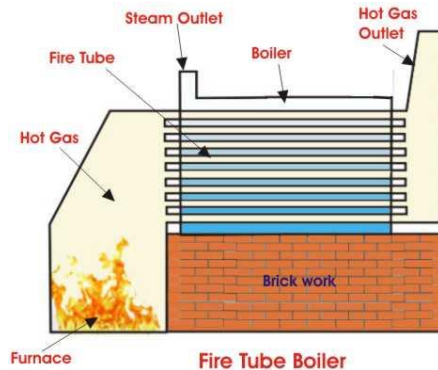
2.4 Klasifikasi Ketel Uap (*Boiler*)

Boiler pada dasarnya terbagi dalam bumbung yang terkunci, pipa air atau pipa api telah dipasang pada ujung pangkalnya dan sepanjang pembangunannya. Beberapa masyarakat mengelompokkan *boiler* terkait dari sudut pandang mereka (Sugiharto, 2016). Maka melalui Tugas Akhir ini untuk *boiler* dapat diklasifikasikan dalam 2 jenis, yaitu:

1. Didasarkan pada fluida yang melewati pipa (Arunkumar, Prakash, Jeeva, Muthu, & Nivas, 2014):
 - a. Ketel Pipa Api (*Fire Tube Boiler*)

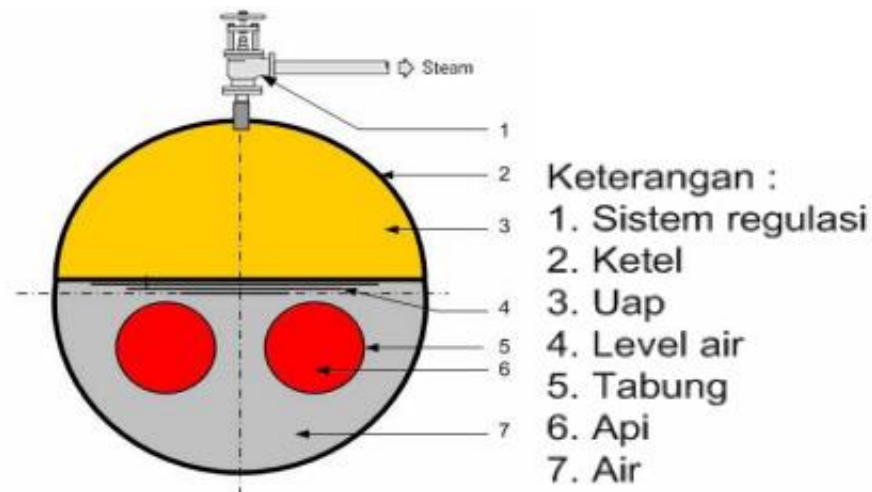
Dalam ketel ini, fluida yang melewati pipa merupakan gas yang menyala (hasil proses pembakaran), yang mengalirkan energi panas. Maka dari hal ini akan segera melakukan transfer ke air dalam *boiler* melalui bidang pemanasan (*heating surface*). Dalam cara kerjanya melalui *fire tube boiler* ini di dalam pipa yang berlangsung proses pengapian. Selanjutnya Panas dari proses tersebut akan segera disalurkan ke dalam *boiler* yang menampung air. Ukuran dan struktur *boiler* berdampak pada tekanan dan kapasitas yang dapat dihasilkan. Tujuan dari *fire*

tube boiler ini merupakan guna mempermudah pengantaran panas terhadap air *boiler*, api/gas asap yang melalui pipa. Dibandingkan air/uap yang berada di luar pipa *drum* akan berfungsi sebagai tempat air dan uap tersebut. Di samping itu, pada *drum* berfungsi sebagai bidang pemanasnya. Bidang pemanas tersebut ada pada dalam *drum* itu sendiri, maka jumlah ruang yang dapat dibuat pada bidang pemanas akan dibatasi. Terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.6 Fire Tube Boiler

Sumber : (ISO 9001:2008 | Industrial Steam Boiler Manufacturers, 2017)



Gambar 2.7 Bagian utama Boiler Pipa Api (Fire Tube Boiler)

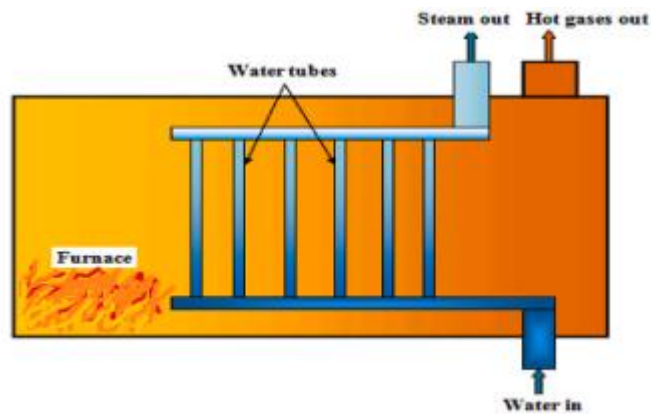
Sumber : Agus Sugiharto, (2016)

Air umpan *boiler* berada di dalam cangkang boiler pipa api gas panas, melalui pipa-pipa guna menciptakan uap. kapasitas terbatasnya sekitar 12 ton per jam dan tekanan uap rendah-sedang (sampai 18 kg/cm²F, atau sekitar 250 psi), *boiler* pipa api digunakan untuk menghasilkan uap. *Boiler* jenis ini mentransfer

panas dengan pembakaran bahan bakar, yang menghasilkan nyala api dan gas panas. Pipa-pipa di sekitar luar dinding, tertutup uap serta air yang dihasilkan, membawa gas panas.

b. Ketel Pipa Air (*Water Tube Boiler*)

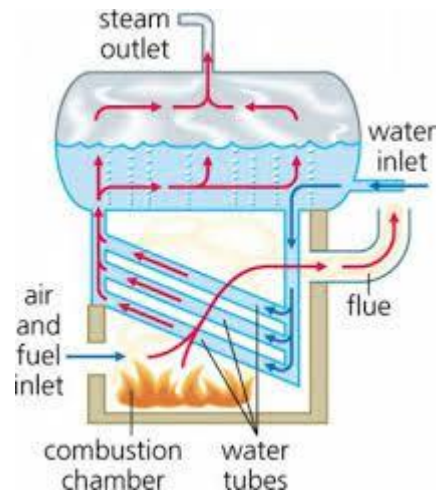
Dalam ketel ini, fluida yang melewati pipa merupakan air, energi panas yang didistribusikan dari luar pipa tersebut ke dalam air *boiler*. Melalui cara kerja pada *water tube boiler* merupakan di luar dari pipa yang terjadi dalam proses pengapian. Selanjutnya didapatkan hasil berupa panas yang dapat dipergunakan untuk memanaskan pipa yang berisi air.



Gambar 2.8 Konstruksi water tube boiler

Sumber : Sathish et al., (2021)

Secara umum *boiler* ini berbeda dengan *fire tube boiler* karena adanya sirkulasi air di pipa dalam *boiler* suhu pemanasan akan diatur. Bentuk melengkung terbentuk di bagian bawah *drum*, disebut sebagai *sludge drum* dengan menggunakan lumpur yang dikumpulkan, menyimpan kotoran di dalam air sebelum dimasukkan ke dalam tabung. Terlihat pada Gambar 2.3 sebagai berikut:



Gambar 2.9 Water Tube Boiler

Sumber : (Synergy Solusi, 2022)

2. Didasarkan pada penggunaannya (Arunkumar, Prakash, Jeeva, Muthu, & Nivas, 2014):
 - a. Ketel Stasioner (*Stationary Boiler*) atau Ketel Tetap

Adalah ketel yang diposisikan pada bagian atas pondasi yang bersifat tetap. Layaknya ketel yang memiliki tujuan guna pembangkit tenaga, industri.
 - b. Ketel Mobil (*Mobile/Portable Boiler*) atau Ketel Pipa

Merupakan ketel yang beroperasi dari landasan yang dapat dipindahkan (mobil). selain itu seperti lain-lainnya termasuk ketel kapal (*marine boiler*), ketel lokomotif, dan ketel panjang.
3. Didasarkan pada letak dapur (*furnance position*) (Arunkumar, Prakash, Jeeva, Muthu, & Nivas, 2014):
 - a. Ketel dengan Pembakaran Dalam (*Internally Fired Steam Boiler*)

Pada ketel ini ada pada (proses pembakaran) pada dalam ketel tersebut. Didominasi oleh ketel pipa air (*water tube boiler*) yang menggunakan sistem ini.
 - b. Ketel dengan Pembakaran Luar (*Auternally Fired Steam Boiler*)

Pada ketel ini dapur berada pada (proses pembakaran) pada luar ketel tersebut. Didominasi oleh ketel pipa air yang menggunakan sistem ini.
4. Didasarkan menurut sistem peredaran air keter (*water circulation*) (Arunkumar, Prakash, Jeeva, Muthu, & Nivas, 2014):

a. Ketel Peredaran Dalam (*Natural Circulation Steam Boiler*)

Pada ketel ini Sirkulasi alami terjadi di dalam air ketel. Hal ini disebabkan air ringan yang naik dan air sedang yang turun. Maka terjadilah aktivitas konveksi alami, seperti *lancarshire boiler*, *babcock boiler*, dan *wilcex boiler* serta lainnya.

b. Ketel Peredaran Paksa (*Forced Circulation Steam Boiler*)

Dalam ketel ini, air ketel dipaksa untuk bersirkulasi. Hal ini disebabkan dari aliran paksa yang didapatkan pada pompa sentrifugal yang digerakan melalui elektrik motor.

5. Didasarkan pada panasnya (*heat source*) untuk pembuatan uap (Arunkumar, Prakash, Jeeva, Muthu, & Nivas, 2014):

- a. Ketel uap melalui bahan bakar alami,
- b. Ketel uap melalui bahan bakar buatan,
- c. Ketel uap melalui dapur listrik, dan
- d. Ketel uap melalui energi nuklir.

6. Didasarkan pada konstruksi *boiler* (Nadialista Kurniawan, 2021)

a. *Package Boiler*

Boiler jenis ini telah ada menjadi satu paket lengkap ketika akan disalurkan ke pabrik tujuan. Jenis *boiler* ini hanya perlu dilakukan instalasi pipa *steam*, pipa air, suplai bahan bakar serta sambungan listrik agar dapat berfungsi. Tipe *fire tube boiler* yang umumnya digunakan pada jenis paket *boiler* memiliki transmisi panas konveksi dan radiasi yang kuat.

Ciri-ciri *package boiler*:

- Tingkat efisiensi termal yang lebih unggul daripada boiler-boiler lainnya.
- Ruang pembakaran yang sempit disertai dengan panas yang tinggi pada saat dilepas mempercepat penguapan.
- Ada beberapa pipa dengan diameter kecil, memungkinkan perpindahan panas konvektif yang menyebar secara efisien.
- Sistem dengan aliran udara paksa atau induksi menghasilkan efisiensi pembakaran yang tinggi.
- Lintasan/*pass* pada *boiler* menyebabkan perpindahan panas secara menyeluruh.

b. *Site Erected Boiler*

Perakitan boiler biasanya merupakan tipe site yang dibangun di lokasi instalasi boiler. Pengiriman dilakukan berdasarkan komponen. Satu, dua, atau tiga set tabung api dipasang setelah ruang bakar pada lintasan pertama. Boiler yang paling umum di kelas ini adalah boiler tiga lintasan, yang memiliki dua set tabung api dan saluran keluar belakang untuk gas buang.

2.5 Komponen Utama Boiler

1. Tungku Pengapian (*Furnance*)

Tungku pengapian (*furnance*) merupakan bagian ruangan dapur sebagai penerima bahan bakar guna proses pembakaran. Tungku adalah struktur yang digunakan untuk membakar bahan bakar. Terdiri dari komponen-komponen berikut: refraktori, ruang perapian, pembakar, pembuangan gas buang, pintu pengisian dan pembuangan. Tungku ini memiliki jeruji api di bagian bawah yang berfungsi sebagai alas bahan bakar dengan diposisikan pada rangka bakar. Selain itu di sekitarnya merupakan Saluran air ketel yang melekat pada dinding dari dapur yang memperoleh atau mendapatkan panas dari bahan bakar tersebut (Parinduri, Arafah, & Sahputra, 2019). Pada proses pembakaran berlangsung pada *furnance* yang mempunyai ruang lebih besar dari ukuran biasanya berkisar 6-10 m. Bagian dari dapur proses pembakaran berlangsung reaksi pembakaran yang dapat terjadi isolasi dan terbatas. Maka dari hal ini reaksi tetap dapat dikendalikan dengan baik. Lebih daripada itu, untuk proses pembakarannya sendiri dapur didukung melalui beberapa peralatan pembakaran lainnya.

Pada bagian dinding dapur terdiri dari beberapa pipa-pipa yang berisikan air yang dapat berganti menjadi uap, setelah itu mendapatkan bentuk pemanasan kembali dari proses pembakaran tersebut. Melalui pipa-pipa air tersebut adalah ruangan pembentukan ua dan menjaga agar suhu/temperatur ruang bakar tidak begitu tinggi (Parinduri, Arafah, & Sahputra, 2019). Dari ruang bakar inilah kemudian akan terjadi isolasi dibagian luarnya, dengan tujuan agar aman jika dipegang. Sedangkan pipa-pipa satu dengan yang lainnya diberikan hubungan melalui plat. Maka dari hal inilah

menjadi satu kesatuan atau satu rangkaiannya yang berkaitan. Terlihat dalam Gambar 2.3 yakni:

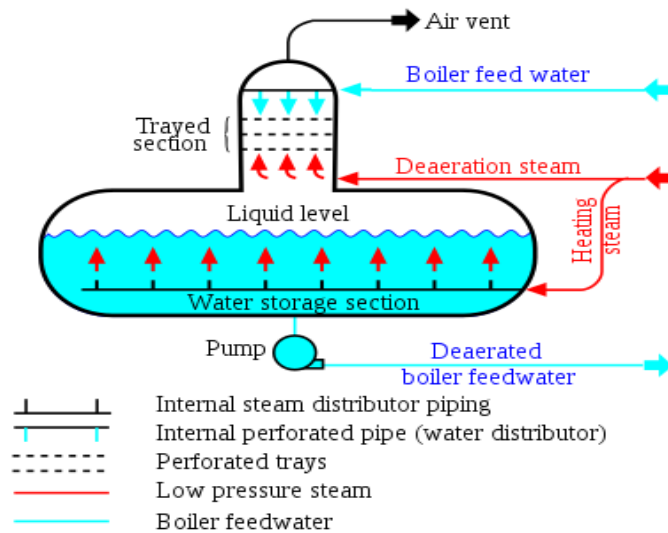


Gambar 2.10 Tungku Pengapian (Furnance)

Sumber : (Toko Mesinku, 2022)

2. Deaerator

Deaerator merupakan alat yang dipergunakan guna meningkatkan suhu/temperatur dan meminimalkan kadar oksigen yang terjadi dalam air umpan (ISO 9001:2008 | Industrial Steam Boiler Manufacturers, 2017). Maka dapat meminimalkan proses oksidasi melalui pipa-pipa dalam *boiler* tersebut. Pada proses oksidasi ini dapat memberikan penyebab korosi kepada pipa-pipa yang bersentuhan satu sama lain dengan air itu. Terlihat dalam Gambar 2.11 yakni:



Gambar 2.11 Deaerator

Sumber : (Wikipedia, 2022)

3. *Feed Water Tank*

Feed water tank merupakan tangki air yang berawal dari *demint plant*, sehingga dapat dipergunakan guna air umpan di *boiler*. Proses pemanasan air di *feed water tank* mempergunakan injeksi uap langsung (ISO 9001:2008 | Industrial Steam Boiler Manufacturers, 2017). Maka semakin tingginya suhu/temperatur air umpan dapat semakin hemat pemakaian bahan bakar yang dilakukan. Suhu/temperatur air umpan di *feed water tank* dengan minimal 80°C. Terlihat dalam Gambar 2.5 yakni:

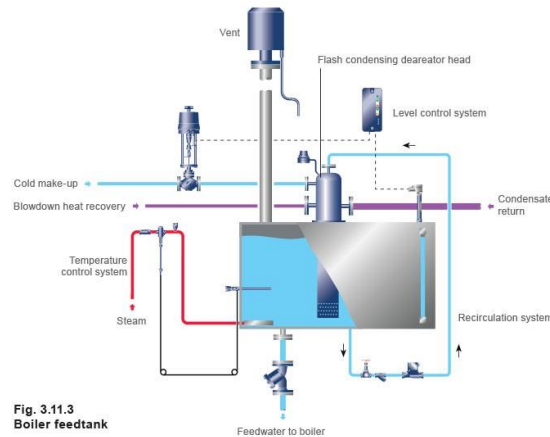


Fig. 3.11.3
Boiler feedtank

Gambar 2.12 Feed Water Tank

Sumber : (AES Arabia, 2022)

4. *Drum Atas Boiler*

Drum atas boiler adalah sebagai pusat sirkulasi air dan uap yang berlangsung. Pada dasarnya *boiler* dengan penggunaan 2 buah *drum*, yaitu *drum* bagian atas (*upper drum*), dan *drum* bagian bawah (*lower drum*). Dalam ukuran *drum* bagian atas dan *drum* bagian bawah berbeda, hal ini memiliki tujuan agar sirkulasi dapat tetap berjalan dengan baik. Melalui kedua *drum* tersebut, dihubungkan oleh pipa *back pass*, air dalam *drum* maksimal 1/2 diameter *drum*. Dari pembatasan isi *drum* bertujuan, agar *drum* inilah yang akan dihasilkan oleh uap jenuh dan untuk mengatasi efek yang tidak diinginkan (ISO 9001:2008 | Industrial Steam Boiler Manufacturers, 2017). Hal ini dapat dipahami karena pada bagian dinding atas *drum* yang berbatasan dengan uap tersebut memuai. Pemuai ini lebih banyak dibandingkan dengan dari dinding *drum*

itu sendiri, yaitu pada bagian bawah dalam hal ini diusahakan tidak sampai terjadinya perengangan yang diakibatkan oleh perbedaan suhu panas tersebut.

5. *Drum Bawah Boiler*

Drum bawah *boiler* memiliki fungsi sebagai lokasi di mana air dalam ketel uap dipanaskan. Dalam air ketel uap tersebut difungsikan plat-plat yang mengelompok dalam endapan lumpur (Arunkumar, Prakash, Jeeva, Muthu, & Nivas, 2014). Hal ini bertujuan untuk mempermudah pengeluaran (*blow down*).

6. *Pipa Water Wall*

Pipa water wall merupakan bagian dari pipa-pipa yang diposisikan pada dinding yang saling berhadapan langsung dengan dapur. Pada *pipa water wall* inilah mempunyai fungsi guna menyerap energi panas dari terbakarnya bahan bakar. Maka untuk secara perlahan, fase uap akan bertransisi dari fase air. Melalui tekanan dan suhu tetap konstan, dengan penambahan energi panas yang dapat membuat peningkatan massa jenis fluida itu sendiri. Fluida yang terdapat massa jenisnya masih tinggi akan berpindah ke atas, sedangkan massa jenisnya lebih rendah akan berpindah ke bawah (ISO 9001:2008 | Industrial Steam Boiler Manufacturers, 2017). Sirkulasi inilah yang terjadi secara alamiah dan demikian selanjutnya. Pada *pipa water wall* atau pipa dinding api ini dapat memiliki fungsi untuk menyerap energi panas dari proses pembakaran yang dipantulkan oleh cahaya gas. Selain itu pipa-pipa tersebut disusun sedemikian rupa, dengan tujuan dapat memperoleh energi panas radiasi yang optimal.

7. *Pembuangan Abu (Ash Hopper)*

merupakan terbawanya abu dari energi panas tuang tersebut sebagai proses pembakaran pertama (Nazaruddin, 2017). Hal ini menyebabkan terjatuh/terbuang di dalam pembuangan abu yang berbentuk seperti kerucut.

8. *Cerobong Asap (Chimney)*

Cerobong asap (*chimney*) merupakan bagian alat yang dipergunakan guna memberikan aliran/pembuangan gas kecil dari hasil proses pembakaran tersebut. Atau dengan kata lain gas asap yang ke lingkungan luar. Dari tingginya proses pembangunan cerobong asap dapat dimaksudkan guna menarik udara tinggi yang ada. Berikutnya dapat melenyapkan polutan-polutan yang terkandung di dalam gas pembuangan tersebut (ISO 9001:2008 | Industrial Steam Boiler Manufacturers, 2017).

Hal ini yang akan menuju ke wilayah yang lebih luas lagi, sehingga dapat meminimalkan konsentrasi polutan yang sudah disesuaikan. Disesuaikan dengan peraturan yang telah diberlakukan dari perusahaan.

2.6 Fungsi Boiler

Boiler memiliki fungsi sebagai pesawat yang dapat mengubah energi kimia (potensial) bahan bakar menjadi energi panas. Menurut Saputra et al., (2020) fungsi utama *boiler* adalah menghasilkan uap pada proses perebusan olahan kelapa sawit, selain itu berfungsi sebagai bahan pemurnian minyak kelapa sawit (CPO). *Boiler* itu sendiri terbagi menjadi dua komponen utama, sebagai berikut (Nazaruddin, 2017):

1. Dapur, alat yang dapat menggantikan energi kimia menjadi energi panas.
2. Alat penguap (*evaporator*), dapat menggantikan energi proses pembakaran menjadi energi potensial uap.

2.7 Proses Pembentukan Uap

Jika dianalogikan melalui keping logam yang ada sebagai tetes air, serta ketika diperhatikan pada zat air itu. Suhu air ketika itu merupakan T_0 Kelvin maupun t_0 Celcius. Pada zat air itu dapat berpindah bebas sesuai dalam lingkungannya (air) dalam kecepatan gerak v_0 meter/detik (Siswanto, 2020). Maka pada zat tersebut pada pindahannya tidak dapat terpisah dari tempatnya itu sendiri. Hal ini adalah lingkungan air, akibat adanya daya tarik molekul tersebut. Analogikan kembali melalui keping logam yang telah dipasang api, maka api tersebut dapat memberikan efek panas kepingan logam yang di atasnya terdapat beberapa tetes air.

Hal ini disebabkan suhu/temperatur air tersebut akan naik dan menjadikan T_1 Kelvin. Selanjutnya, molekul-molekul air tersebut akan bergerak dengan kecepatan v_1 meter/detik. Tetapi hal ini belum dapat guna proses pelepasan diri dari lingkungan tersebut. Selanjutnya jika api yang dipanaskan di bawah keping logam dan ditambah dengan besarnya. Sehingga suhu/temperatur air di atas kepingan logam tersebut akan naik kembali yang menjadikannya T_2 Kelvin. Sedangkan selain itu kecepatan gerak pada molekul-molekul air akan bertambah kembali yang menjadikannya v_2 meter/detik. Tetapi

masih belum dapat untuk melakukan pelepasan diri dari lingkungan tersebut. Lebih dari itu jika yang diposisikan pada bagian bawah kepingan logam itu dapat menggapai suhu Kelvin. Sedangkan kecepatan pergerakan vd meter/detik telah dicapai pada molekul-molekul air (Nuriyadi & Faldian, 2019). Maka pada molekul-molekul air tersebut dapat melakukan pelepasan diri dari lingkungan tersebut, serta dapat melakukan pelepasan diri dari terjadinya gaya tarik antar molekul-molekul air. Ketika molekul air melepaskan diri dari sekelilingnya, mereka digantikan oleh uap, yang bergerak lebih cepat daripada molekul aslinya. Proses yang demikian tersebut merupakan “proses penguapan”. Maka molekul air dapat menjadi molekul uap, atau disebutkan juga bahwa air tersebut datang dengan keadaan “mendidih”. Hal ini dikarenakan pada permukaan air yang menjadikannya bergejolak. Pada saat itu, suhu air telah naik ke T_d Kelvin, atau "suhu didih". Selanjutnya, titik didih T_d Kelvin akan tetap konstan jika api terus membesar (Reza Setiawan & Riyadi, 2021). Pada uap terbagi menjadi 2 jenis, yakni uap jenuh serta uap panas lanjut (Hasibuan & Napitupulu, 2013):

1. Uap Jenuh (*Saturated Steam*)

Uap jenuh (*saturated steam*) merupakan uap yang selalu memiliki pasangan, yaitu harga antara tekanan dengan temperatur didihannya. Jika tekanan ini ditingkatkan maka suhu didih akan meningkat. Titik didih akan menurun jika tekanan ini diturunkan. Berikut ini merupakan ciri-ciri uap jenuh yaitu:

- a. Uap jenuh merupakan bagian yang seimbang dengan air di bawahnya.
- b. Uap jenuh merupakan uap yang memiliki tekanan serta dengan Baik tekanan maupun suhu didih pada bagian bawah air sesuai dengan suhu didih.
- c. Uap jenuh merupakan uap yang memiliki pasangan, yaitu harga antara suhu dan tekanan pendidihan.
- d. Uap jenuh merupakan uap yang jika diperlukan akan langsung mengembun dan menjadikannya air.
- e. Uap jenuh merupakan uap yang jika dilakukan ekspansi atau diabaikan dapat mengembang dan akan mengembun dan menjadikannya air.

2. Uap Panas Lanjut (*Superheated Steam*)

Merupakan uap jenuh yang dipanaskan kembali. Uap panas lanjut ini jika tekanan berganti, tetapi temperaturnya tidak akan berganti. Berikut ini merupakan ciri-ciri uap panas lanjut yaitu:

- a. Uap yang ketika air mendidih pada tekanannya, suhunya jauh lebih tinggi.
- b. Uap yang tidak dapat seimbang dengan air.
- c. Uap yang tidak memiliki pasangan antara tekanan serta temperatur.
- d. Uap yang jika diperlukan melakukan ekspansi tidak akan terjadi pengembunan.
- e. Uap yang jika memperluas tidak akan terjadi pengembunan.
- f. Uap tidak dapat terbuat yang telah dipanaskan lanjut dari uap jenuh selama uap dan air di bawahnya masih terus bertabrakan.

2.8 Sirkulasi Air Pada *Boiler*

Terdapat 3 jenis sirkulasi dan uap pada *boiler* yang pada umumnya diketahui sebagai berikut (Yendri, 2013):

1. Sirkulasi Paksa

Pada sirkulasi paksa, fluida (*feed water*) dilakukan pompa dengan melalui bagian *evaporator boiler*. Pipa-pipa kecil adalah semua yang dibutuhkan untuk memompa air umpan. Tetapi dengan tekanan yang sangat tinggi. Tekanan tinggi tersebut dapat memaksa aliran fluida untuk dapat masuk melalui kendali *valve* ke *economizer*, yang nantinya dapat diteruskan ke *steam drum*.

2. Sirkulasi Alami

Energi panas yang telah diberikan terhadap ruang bakar dapat berlangsungnya proses penguapan. Uap itu sendiri memiliki berat jenis yang lebih rendah akan naik ke atas, sedangkan jika air yang lebih berat akan berkelompok ke bagian bawah *drum* uap (*steam drum*). Setelah itu, air secara alamiah (karena gaya gravitasi bumi) akan masuk ke dalam pipa dinding boiler melalui *downcomer* dan turun ke *steam drum*.

3. Sirkulasi Perbedaan Tekanan

Uap akan selalu mengalir dari tempat yang bertekanan lebih tinggi, seperti halnya hukum gravitasi dan transmisi panas. Hal ini dari tekanan *steam header* turbin itu

sendiri. Dalam hal perbedaan tekanan ini yang dapat menyebabkan uap yang mengalir melalui pipa-pipa uap panas lanjut tersebut.

2.9 Kelebihan Udara (*Excces Air*)

Dalam pengaplikasian komersil, lebih dari udara teoritis ini dibutuhkan guna memberikan kepastian proses pembakaran yang optimal. Dari udara yang berlebih tersebut dibutuhkan karena udara dan bahan bakar pencampuran yang tidak optimal. Hal ini dikarenakan berlebihannya udara yang tidak diperlukan untuk proses pembakaran *unit* pada suhu tumpukan, maka jumlah udara yang berlebihan perlu diminimalkan (Pronobis, 2020). Dari energi yang diperlukan guna memanaskan terlihat pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Kelebihan Udara (*Excces Air*)

No	Jenis Bahan Bakar	Jenis Tungku atau Kompor	Udara Berlebihan oleh % Berat
1.	Bubuk Batubara	Benar-benar air yang didinginkan di tungku basah atau kering penghapusan abu sebagian <i>air-cooled</i>	15 sampai 20 15 sampai 40
2.	Batubara Hancur	Siklon tekanan tungku atau hisab <i>Fluidizedbed</i> pembakaran	13 sampai 20 15 sampai 20
3.	Batu Bara	<i>Spreader stoker</i> Air didinginkan parut bergetar <i>stoker</i> Rantai parut dan berbagai memarut Kurang member <i>stoker</i>	25 sampai 35 25 sampai 35 25 sampai 35 25 sampai 40
4.	Minyak Bakar	Daftar jenis pembakar	3 sampai 15
5.	Oven Kokas Alam dan Gas Kilang	Daftar jenis pembakar	3 sampai 15
6.	Gas Tanur Tinggi	Daftar jenis pembakar	15 sampai 30
7.	Kayu/Kulit	Parut berjalan, parut bergetar jika air didinginkan	20 sampai 25

No	Jenis Bahan Bakar	Jenis Tungku atau Kompor	Udara Berlebihan oleh % Berat
8.	Menolak Bahan Bakar yang Berasal (RDF)	Benar-benar air didinginkan tungku parut berlepasan	40 sampai 60
9.	Sampah Kota (MSW)	Air didinginkan/refraktori tertutup tungku <i>reciprocating</i> parut berputar	80 sampai 100 60 sampai 100
10.	Ampas Tebu	Semua tungku	25 sampai 35
11.	Lindi Hitam	Tungku pemulihan untuk kraf dan proses pembuburan soda	15 sampai 20

Sumber : (Pronobis, 2020)

Boiler tersebut dari kumpulan untuk penumpukan suhu yang biasanya tidak dapat memiliki tujuan untuk menghilangkan panas. Nilai-nilai khas udara yang berlebihan tersebut diperlukan pada peralatan proses pembakaran yang tunjukan melalui Tabel 2.1 di atas guna berbagai jenis bahan bakar dan metode proses pembakaran/penembakan. Jika melakukan tembak *substoichiometric* dapat digunakan di zona proses pembakaran, kurang dari udara teoritis yang digunakan. Maka nilai-nilai yang disajikan akan berlaku untuk zona tungku sebagai udara akhir untuk diakui sebagai penyelesaian proses pembakaran. Selanjutnya jumlah udara berlebihan dipintu keluar dari peralatan proses pembakaran untuk dapat memperhitungkan pengaturan infiltrasi pada perancangan *unit* yang seimbang (segel udara pada tekanan batubara tersebut). Selain itu pada *unit modern* dengan kostruksi membran, hal ini biasanya hanya 1% - 2% udara yang berlebihan pada beban yang penuh. Melalui *unit* yang lebih tua, tetapi pengaturan infiltrasi dapat signifikan, dan beroperasi dengan udara rendah melalui pintu keluar dari pembangkit uap tersebut. Lebih dari itu dapat memberikan hasil udara yang lebih cukup diproses pembakaran. Hal ini dapat mengakibatkan kinerja proses pembakaran yang berkurang.