

GENERATOR UAP



Adalah suatu pesawat konversi energi yang mengkonversikan energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas dan selanjutnya memanfaatkan energi panas tersebut untuk proses pendidihan (*boiling*) air hingga menjadi uap air.

GENERATOR UAP



Definisi lain dari generator uap (steam generator) adalah ketel uap (boiler) yang dapat digunakan untuk menghasilkan uap.

Pada awalnya istilah boiler (ketel uap) digunakan untuk menyebutkan ***steam generator***.

Uap jenuh adalah uap yang terbentuk pada suhu dan tekanan jenuh, sehingga tekanan dan temperatur uap jenuh akan sama dengan cairan jenuhnya.



GENERATOR UAP

Contoh : uap air yang terbentuk pada tekanan 1 atm dan temperatur 100 °C. Untuk mengetahui tekanan dan suhu jenuh dari uap dapat dilihat pada tabel uap jenuh.

Uap jenuh sering disebut dengan uap basah, karena begitu bersentuhan dengan benda yang suhunya lebih rendah, maka langsung akan mengembun.

PRINSIP KERJA BOILER



- Mula-mula bahan bakar dibakar di ruang bakar (furnace) boiler.
- Panas pembakaran akan berpindah ke dinding-dinding pemanas boiler melalui proses perpindahan panas radiasi dan konveksi.
- Kemudian panas akan berpindah ke fluida air melalui proses perpindahan panas konduksi dan konveksi.
- Panas kemudian akan diserap oleh fluida air digunakan untuk menaikkan temperatur dan untuk berubah menjadi uap.

PROSES PEMBENTUKAN UAP

Proses pembentukan uap dapat digambarkan sebagai berikut :



PROSES PEMBENTUKAN UAP

Kalor yang diperlukan boiler :

- ❖ Kalor untuk memanaskan air isian
- ❖ Kalor untuk penguapan air menjadi uap jenuh
- ❖ Kalor untuk memanaskan uap jenuh menjadi uap panas-lanjut

KOMPONEN UTAMA BOILER



Komponen utama dari boiler (ketel uap) adalah :

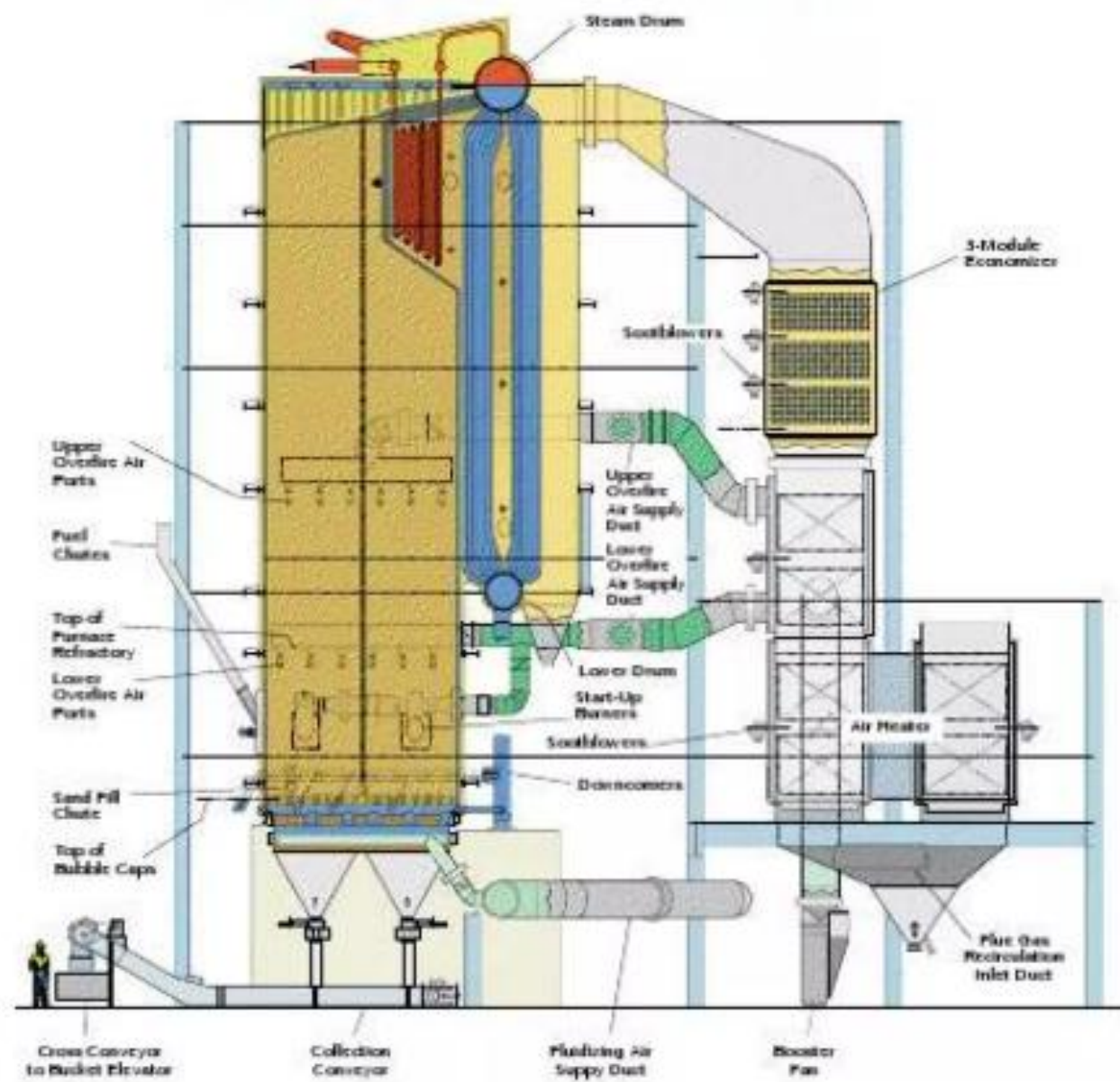
- **Dapur (Furnace)** adalah bagian dari ketel uap yang digunakan untuk proses pembakaran. Di dalam dapur terjadi proses konversi energi kimia menjadi energi panas.
- **Alat penguap (evaporator)** adalah bagian ketel yang digunakan untuk menguapkan air menjadi uap air. Di dalam evaporator ini terjadi proses konversi energi panas menjadi energi potensial (dalam bentuk tekanan dan temperatur)
- **Heating Surface** adalah bidang/dinding penyerap panas (permukaan perpindahan panas)

KOMPONEN LAIN BOILER



Komponen lain dari boiler (ketel uap) adalah :

- **Ekonomizer** adalah peralatan perpindahan panas yang digunakan untuk memanaskan air isian ketel, pemanasan dapat dilakukan dengan menggunakan gas buang
- **Preheater** adalah peralatan perpindahan panas yang digunakan untuk memanaskan udara pembakaran, pemanasan dapat dilakukan dengan menggunakan gas buang
- **Superheater** adalah peralatan perpindahan panas yang digunakan untuk memanaskan lanjut uap air



KOMPONEN LAIN BOILER



Komponen lain dari boiler (ketel uap) adalah :

- Katup pengaman boiler adalah katup yang dipasang pada boiler yang berfungsi sebagai alat kontrol,
- Alat ukur seperti alat ukur temperatur dan tekanan
- Alat indikator tinggi air merupakan alat untuk menunjukkan ketinggian permukaan air yang ada di boiler

BOILER SYSTEMS

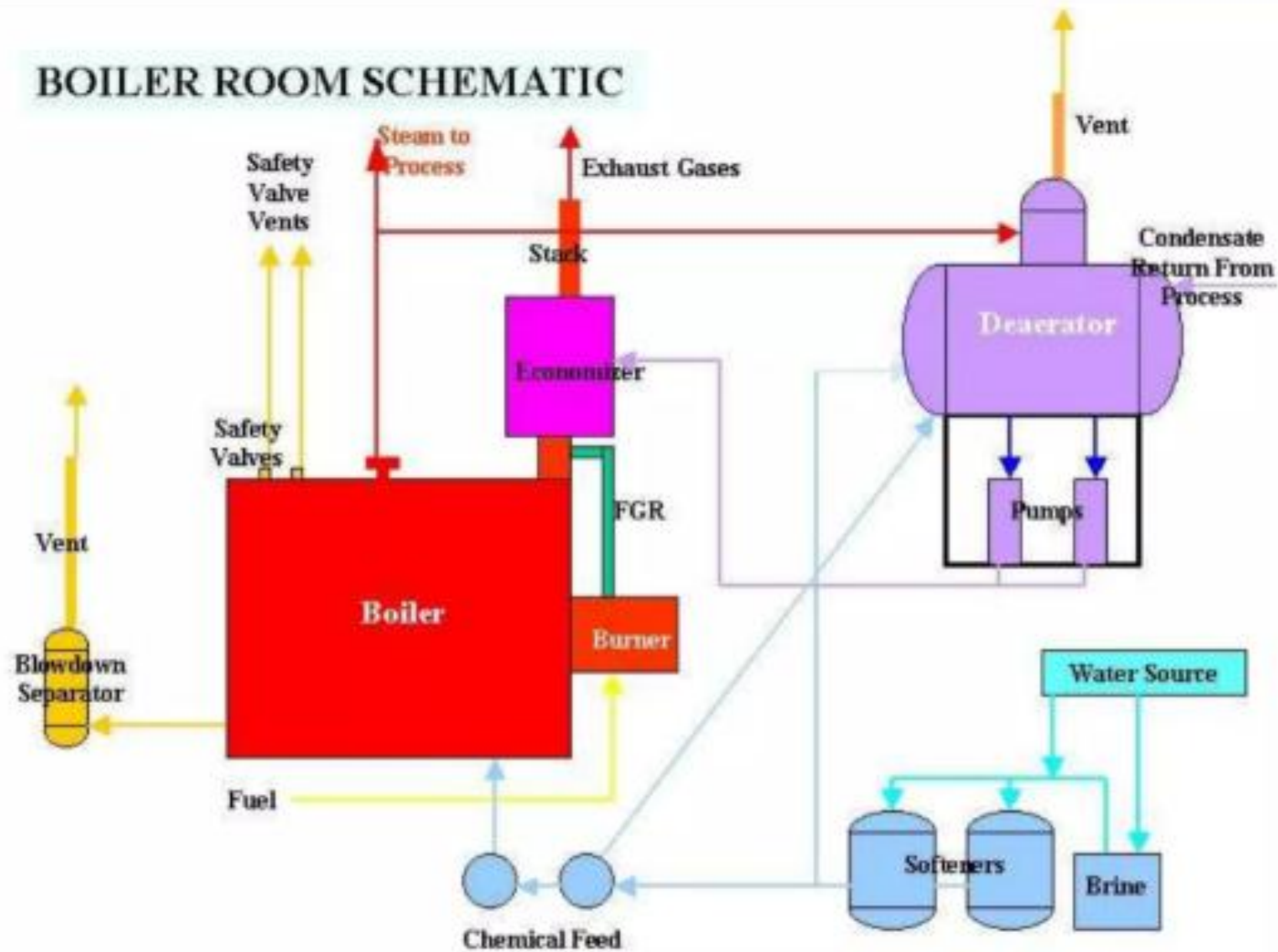


Boiler system adalah suatu proses produksi uap air yang melibatkan beberapa sistem (proses dan peralatan) lainnya, yakni :

- ✓ **Water treatment system**
- ✓ **Feed water system**
- ✓ **Steam System**
- ✓ **Blow down system**
- ✓ **Fuel supply system**
- ✓ **Air Supply system**
- ✓ **Flue gas system**

BOILER SYSTEMS

BOILER ROOM SCHEMATIC



KLASIFIKASI BOILER



Berdasarkan fluida yang mengalir dalam pipa, maka ketel dapat diklasifikasikan sebagai berikut (United Nations Environment Programme, 2006) :

- ❖ *Fire Tube Boiler*
- ❖ *Water Tube Boiler*

Fire Tube Boiler

Fire tube boilers biasanya digunakan untuk kapasitas steam yang relatif kecil dengan tekanan steam rendah sampai sedang.

Fire Tube Boiler



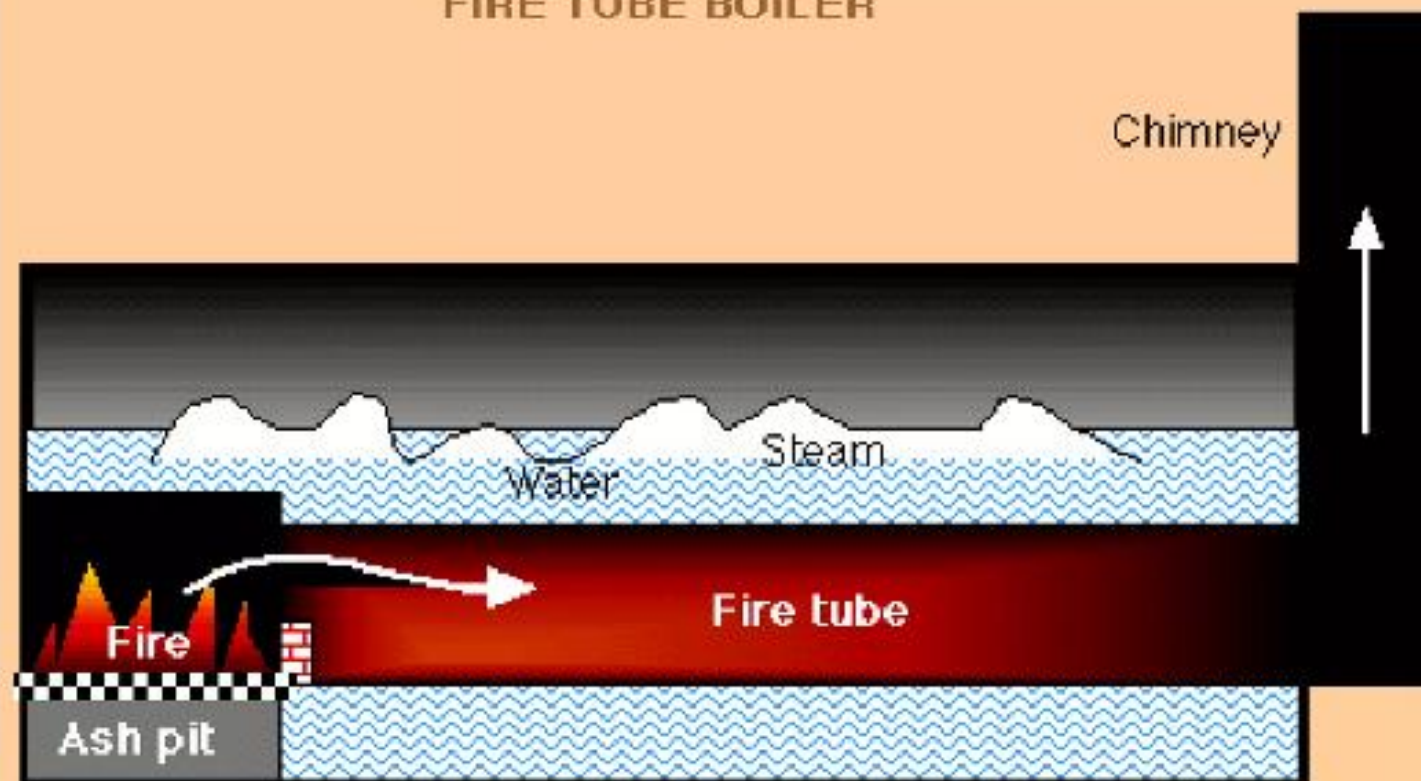
- Api/gas mengalir di dalam pipa, air di luar pipa (di dalam shell/drum)
- Ukuran relatif kecil, kapasitas uap $\pm 12,000$ kg/hour
- Tekanan uap sedang (18 kg/cm²)
- Dioperasikan dengan oil, gas or solid fuels (batubara)

Fire Tube Boiler

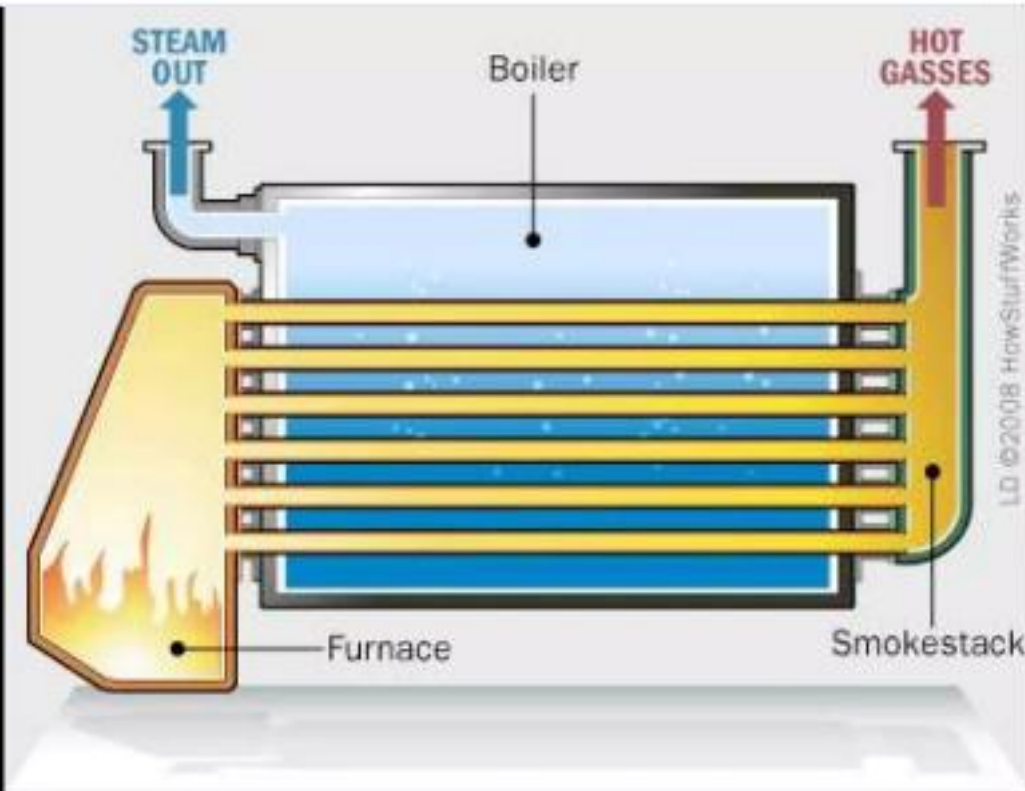


- Harganya relatif lebih murah
- Lebih kompak sehingga ukuran relatif lebih kecil
- Tersedia dalam kapasitas 600,000 Btu/hr hingga 50,000,000 btu/hr
- Mudah untuk mengganti tube/pipa
- Cocok untuk pemanas ruangan atau untuk proses industri
- Tidak cocok untuk tekanan tinggi di atas 250 psig dan untuk kapasitas uap yang tinggi

FIRE TUBE BOILER



Fire Tube Boiler



Untuk meningkatkan laju perpindahan panas, maka jalur api/gas dapat didesain melalui berkas pipa

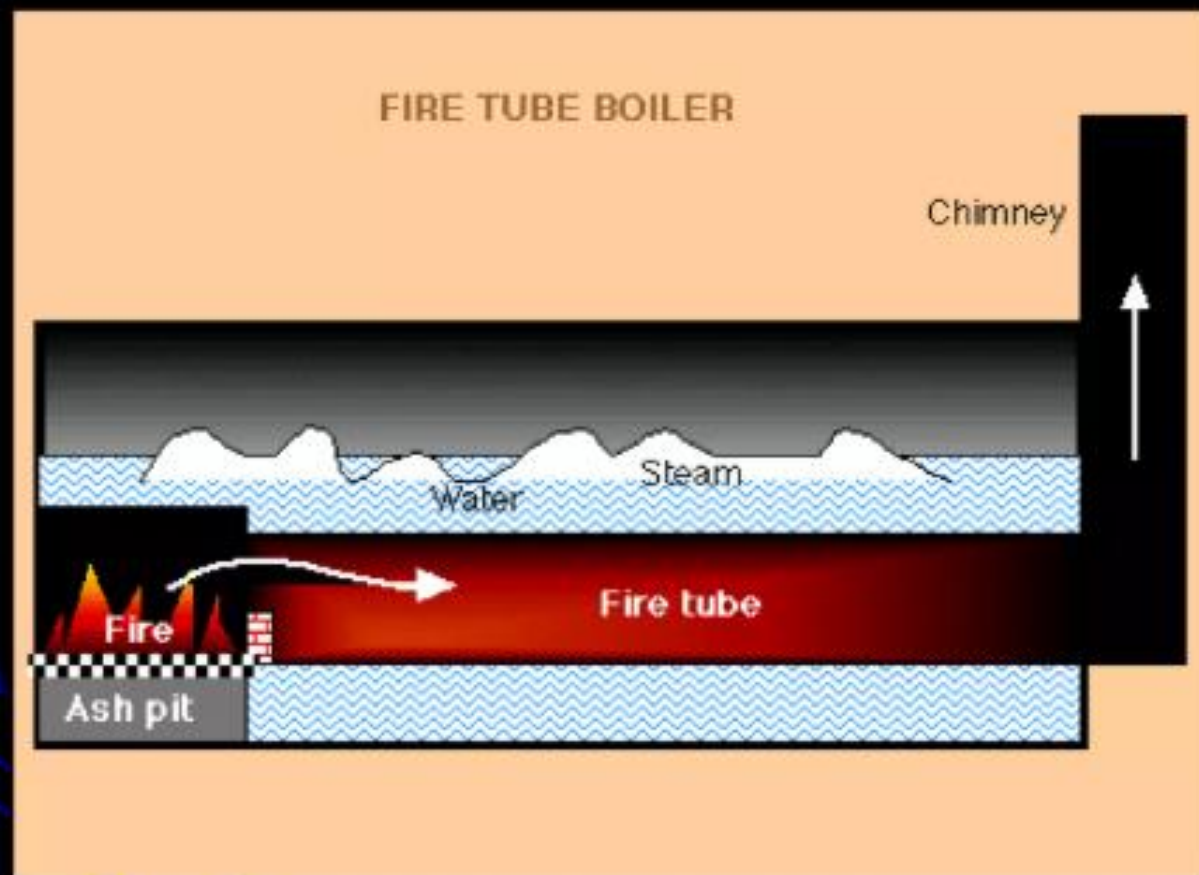
Fire Tube Boiler



Berdasarkan lintasan gas asap (api), fire tube boiler dibedakan menjadi :

- Satu Lintas Tabung
- Dua Lintas Tabung
- Tiga Lintas Tabung

➤ Satu Lintas Tabung



Dalam boiler ini, gas asap hanya sekali melintasi tabung untuk memindahkan panasnya ke air

Fire Tube Boiler

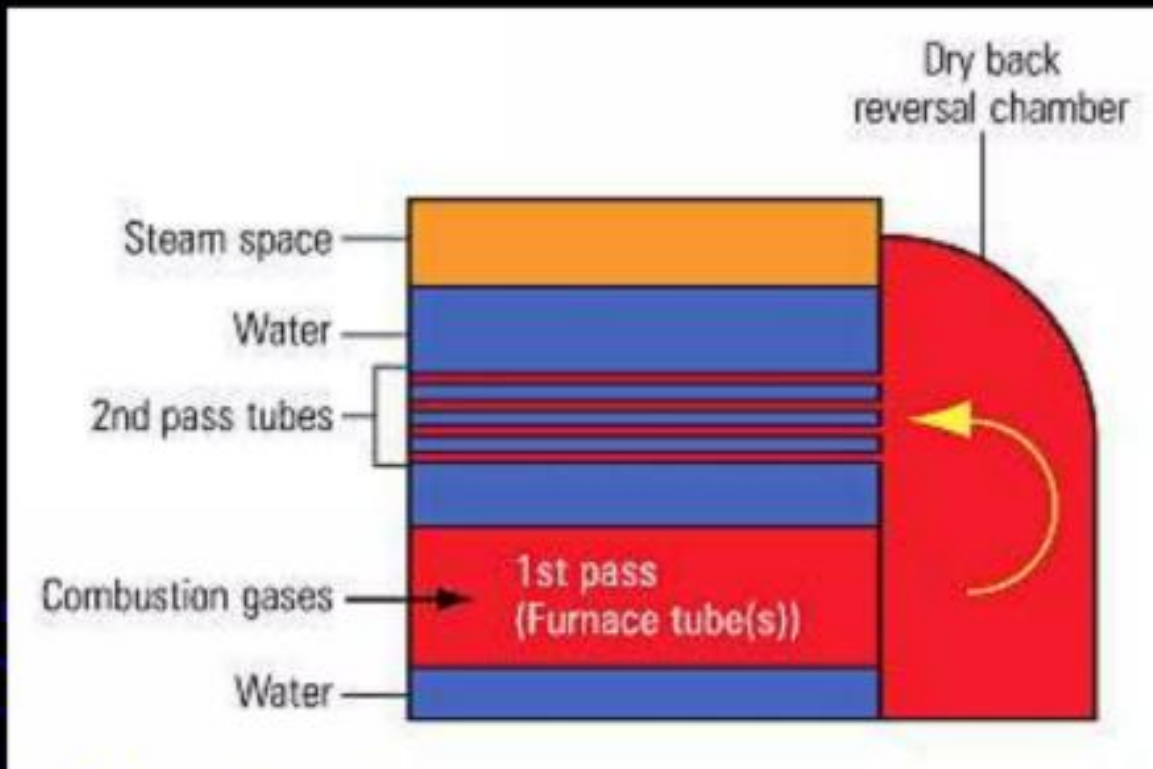
➤ Dua Lintas Tabung

Dalam boiler ini, gas asap melintasi tabung sebanyak dua kali untuk memindahkan panasnya ke air.

Boiler ini dibedakan menjadi dua tipe, yakni :

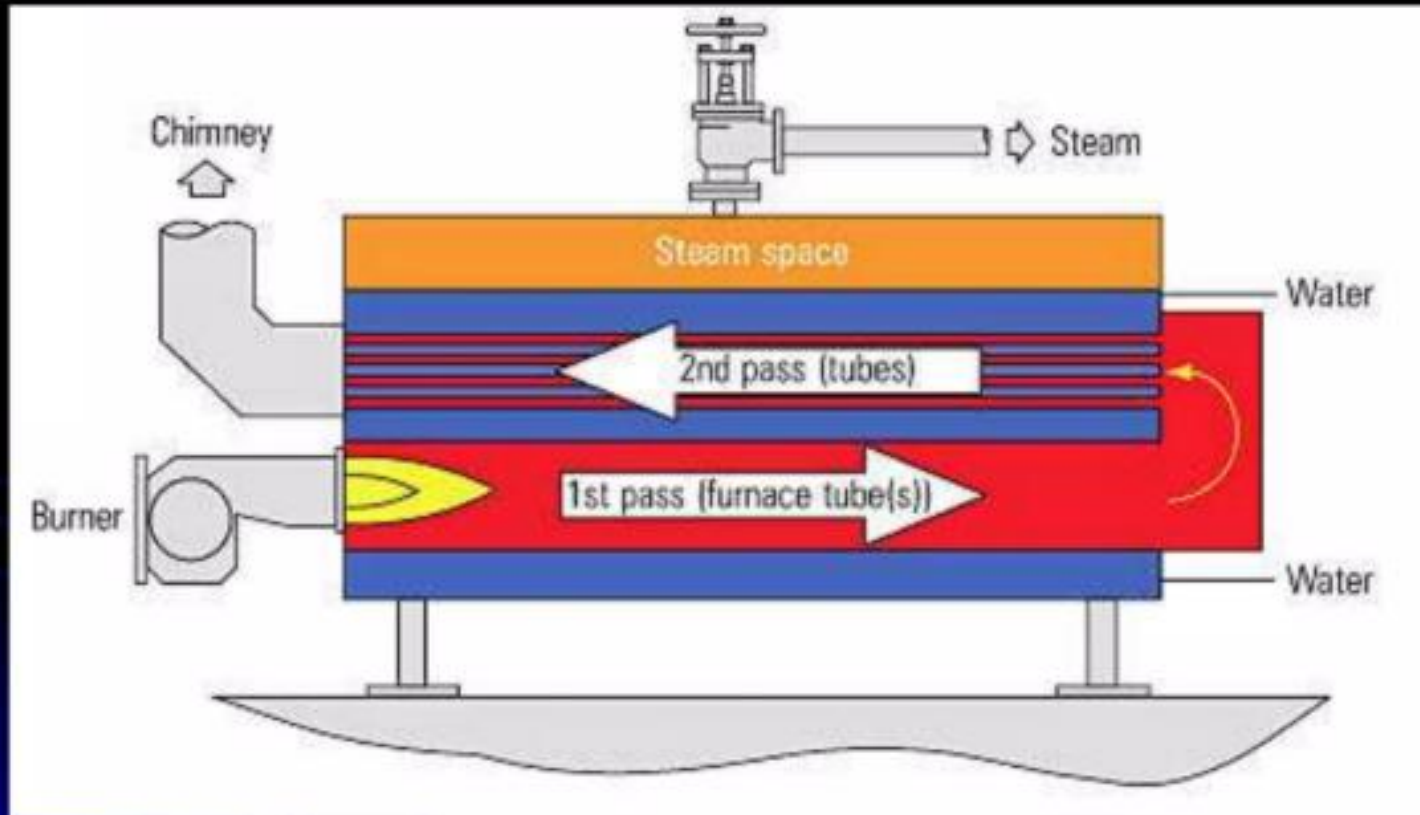
- Dry Back Design
- Wet Back Design

➤ Dua Lintas Tabung jenis dry back

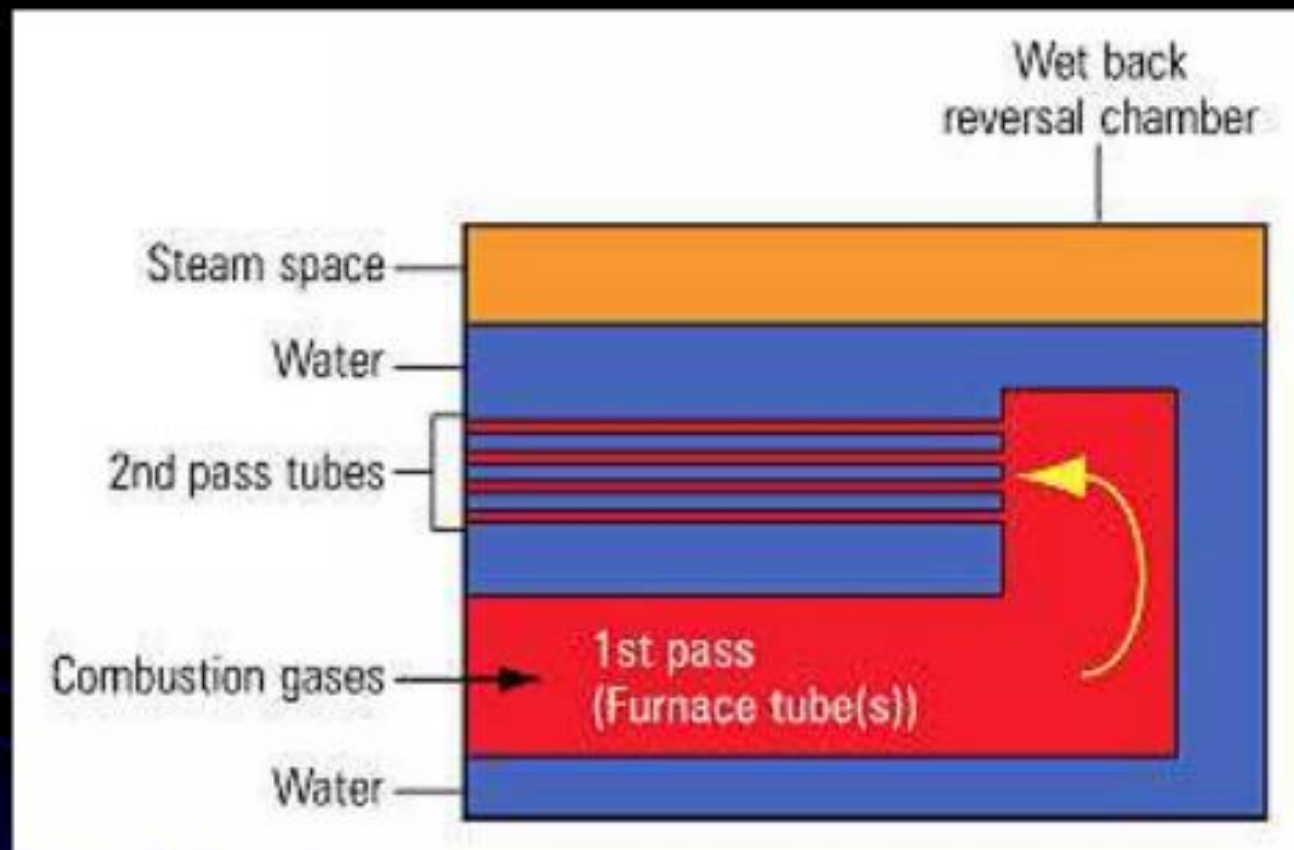


Dalam boiler ini, ruang untuk membalik arah lintasan gas asap diletakkan di luar tabung

➤ Model lain Dua Lintas Tabung (dry back)

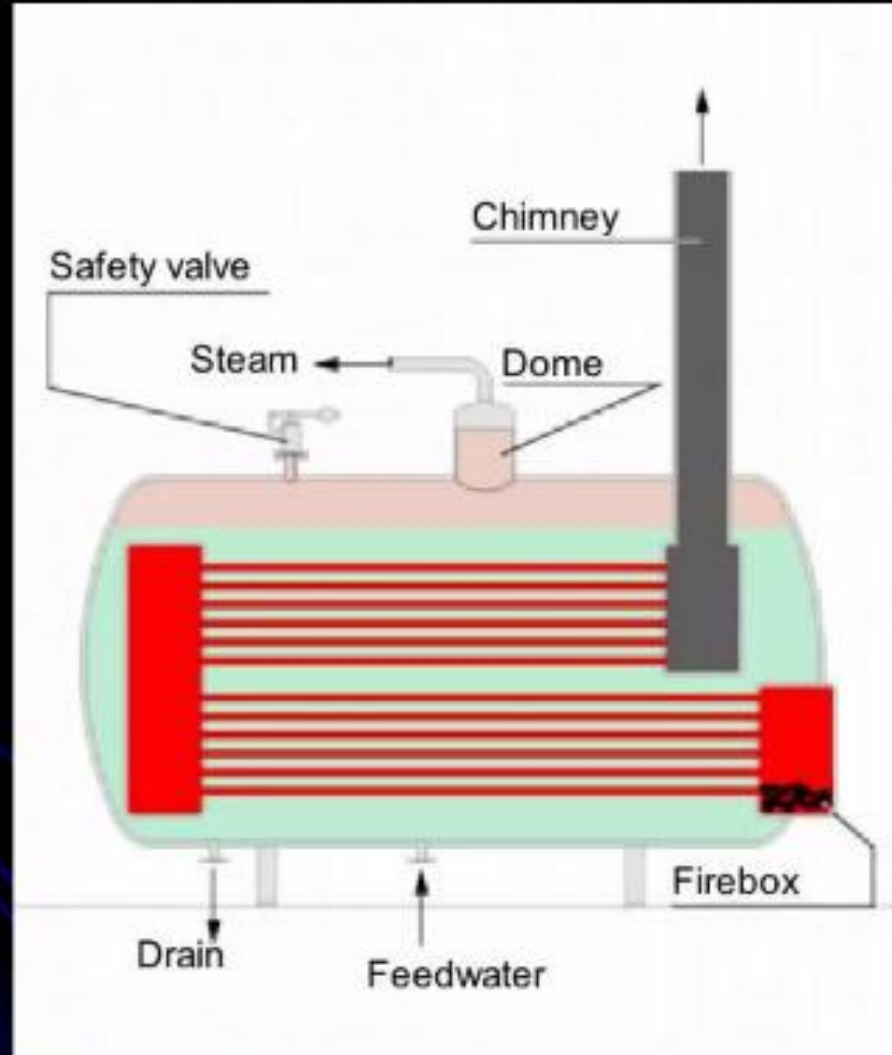


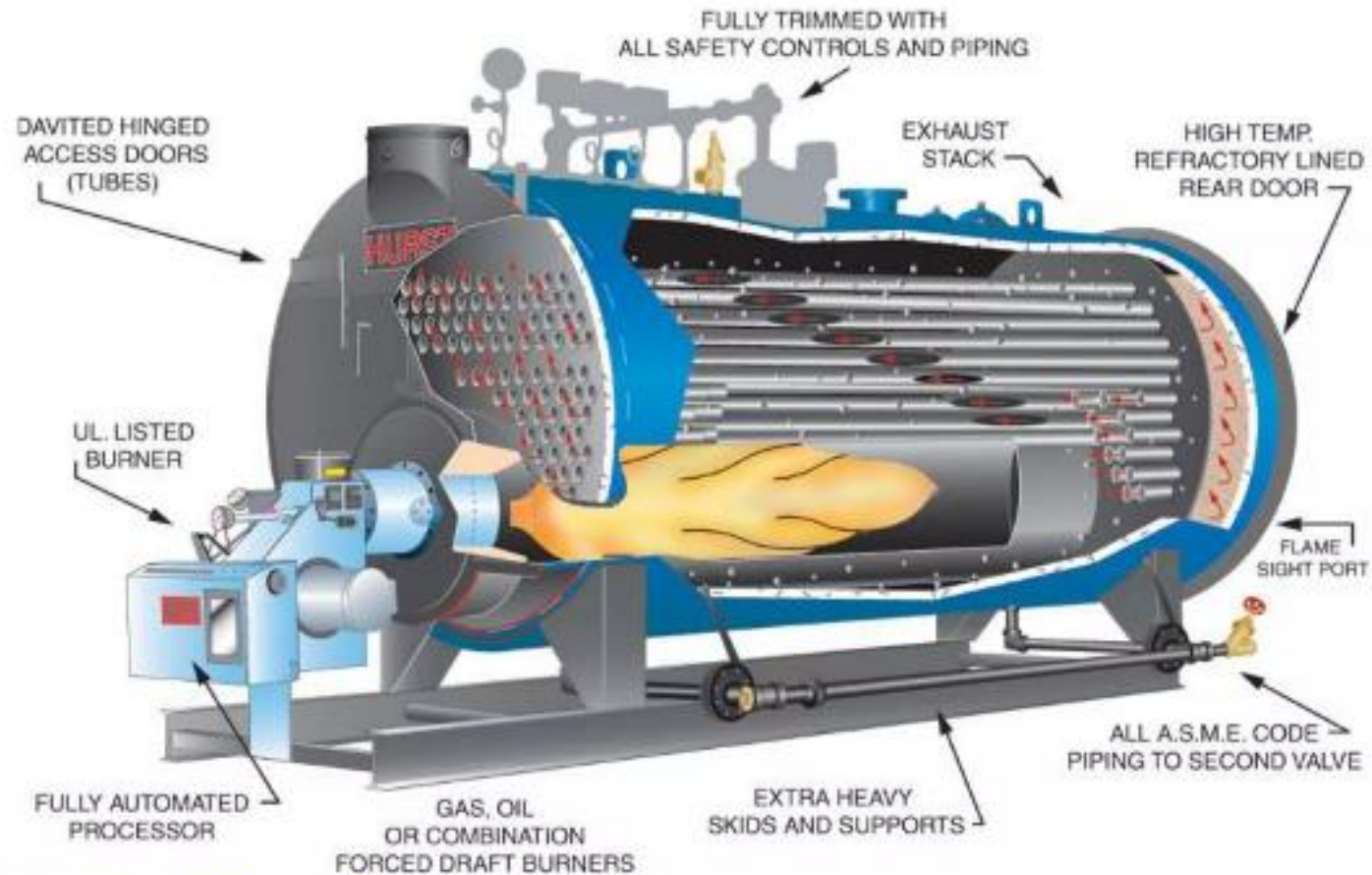
➤ Dua Lintas Tabung (wet back)



Dalam boiler ini, ruang untuk membalik arah lintasan gas asap diletakkan di dalam tabung.

- Model lain boiler firetube dua lintas type wet back





Dua Lintas Tabung (dry back)

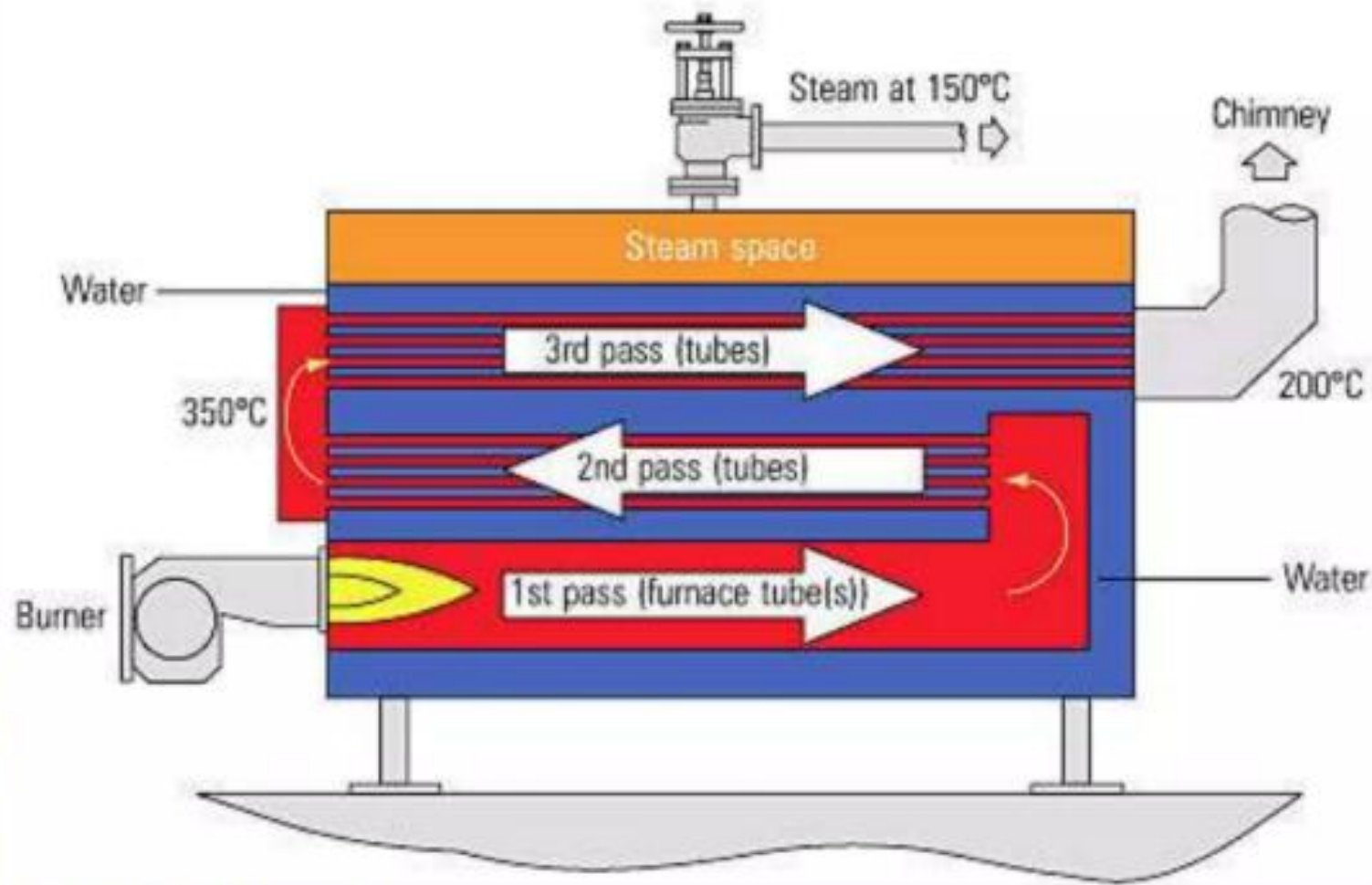
Fire Tube Boiler



➤ Tiga Lintas Tabung

Dalam boiler ini, gas asap melintasi tabung sebanyak tiga kali untuk memindahkan panasnya ke air.

Boiler ini memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan jenis satu lintas dan dua lintas, hanya saja memerlukan material yang lebih banyak dan fabrikasinya lebih rumit.



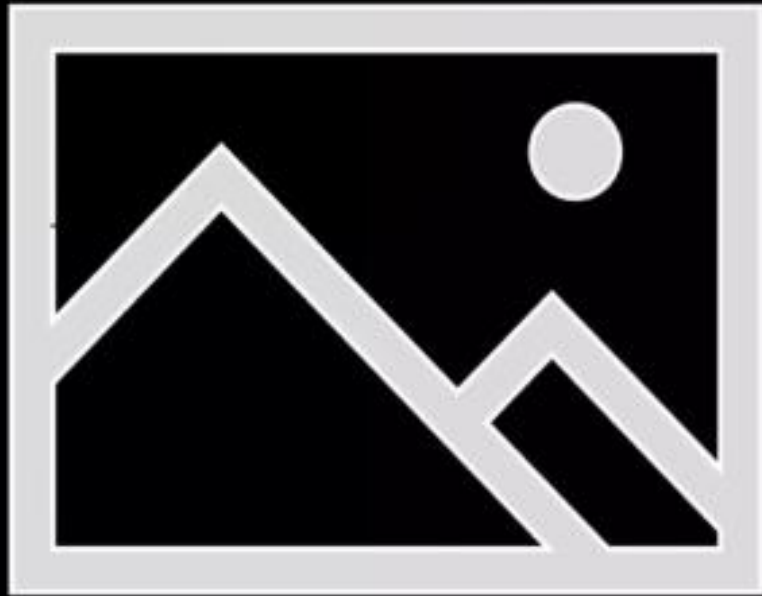
Tiga Lintas Tabung

Packaged Boiler



- Semua komponen dalam satu paket
- Umumnya tipe Shell dengan rancangan pipa-pipa api (fire tube)
- Fitur-Fitur
 - ✓ heat transfer tinggi
 - ✓ Penguapan lebih cepat
 - ✓ Perpindahan panas konveksi baik
 - ✓ Efisiensi pembakaran baik
 - ✓ Thermal efficiency tinggi
- Diklasifikasikan berdasarkan jumlah lintasan

Packaged Boiler





Oil & Gas Fired Steam Boiler





Water Tube Boiler

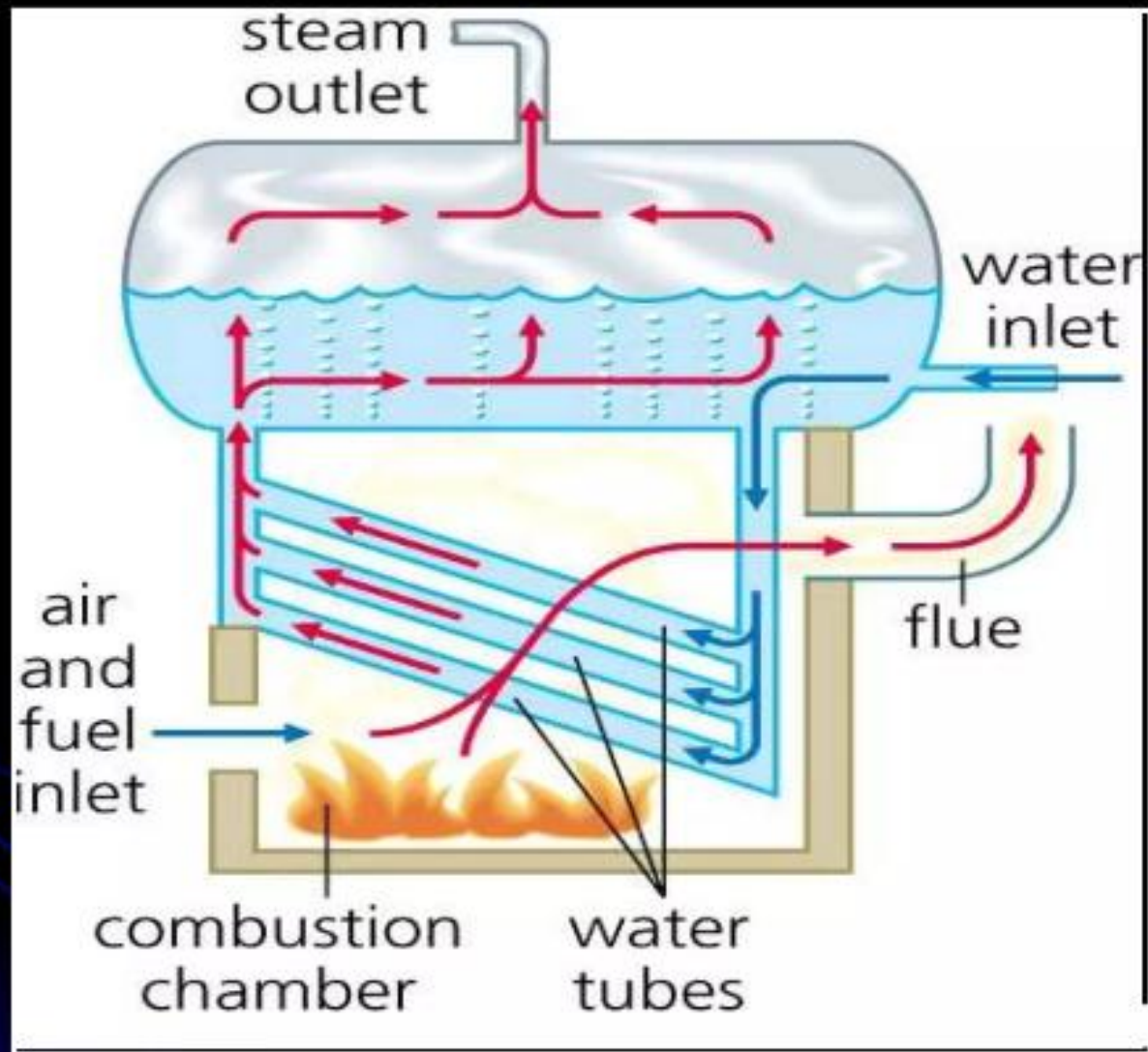


- Digunakan untuk tekanan tinggi hingga 5,000 psig
- Range kapasitas 4,500 – 120,000 kg/hour
- Efisiensi pembakaran ditingkatkan dengan aliran udara dengan kecepatan tinggi
- Mempunyai toleransi rendah terhadap kualitas air isian dan memerlukan perlakuan air isian

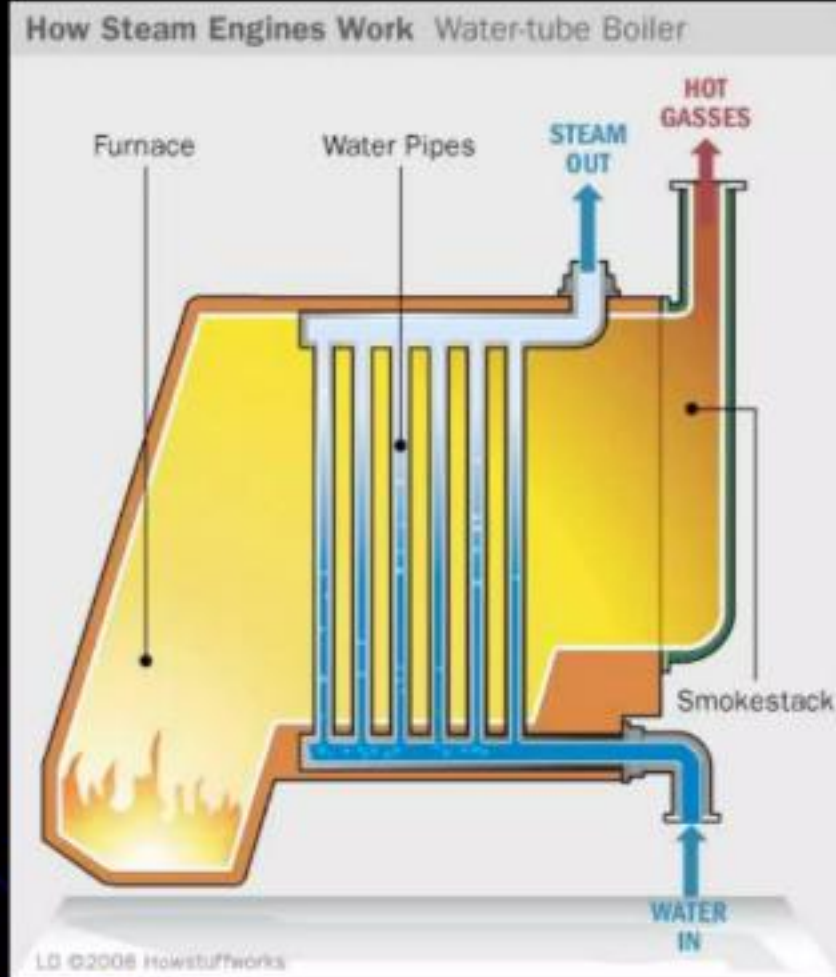


Water Tube Boiler

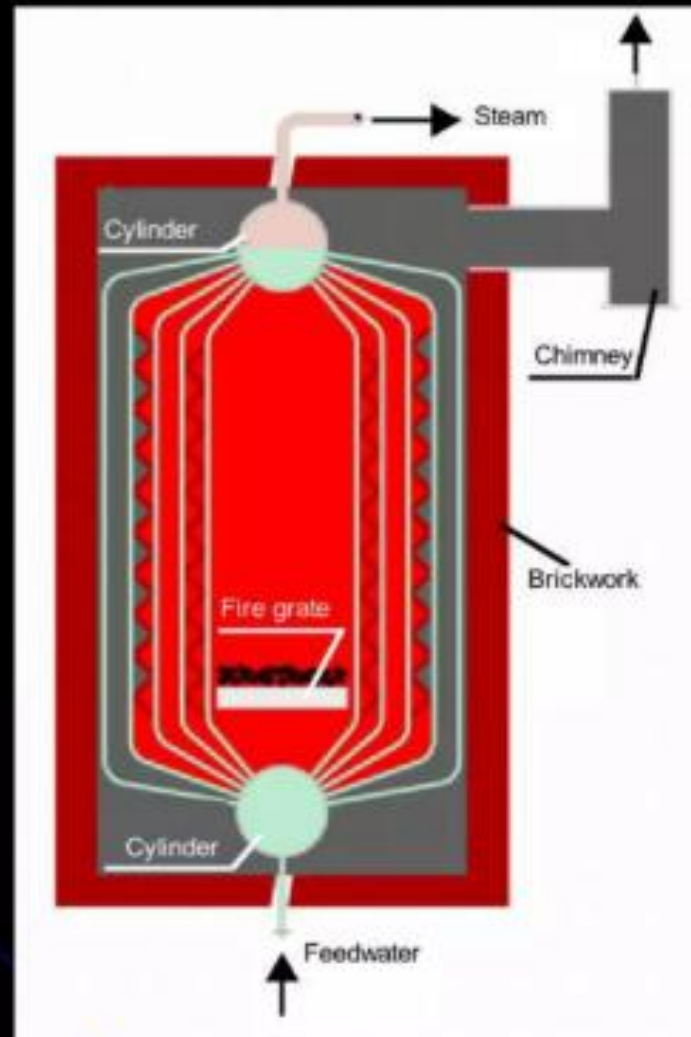
- Memiliki kemampuan untuk mencapai temperatur yang sangat tinggi
- Memerlukan modal awal yang tinggi
- Pembersihan lebih sulit
- Ukuran fisik masih menjadi permasalahan
- No commonality between tubes



Water Tube Boiler



Water tube boiler dapat didesain tanpa menggunakan drum/tabung



Water tube boiler dapat pula didesain menggunakan dua drum / tabung

KLASIFIKASI BOILER

Berdasarkan sistem pembakaran, boiler dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- **Fluidized Bed Combustion (FBC) Boiler**
 - Atmospheric Fluidized Bed Combustion (AFBC) Boiler
 - Pressurized Fluidized Bed Combustion (PFBC) Boiler
- **Pulverized Fuel Boiler**
- **Traveling Grate Stoker Boiler**

Fluidized Bed Combustion (FBC) Boiler



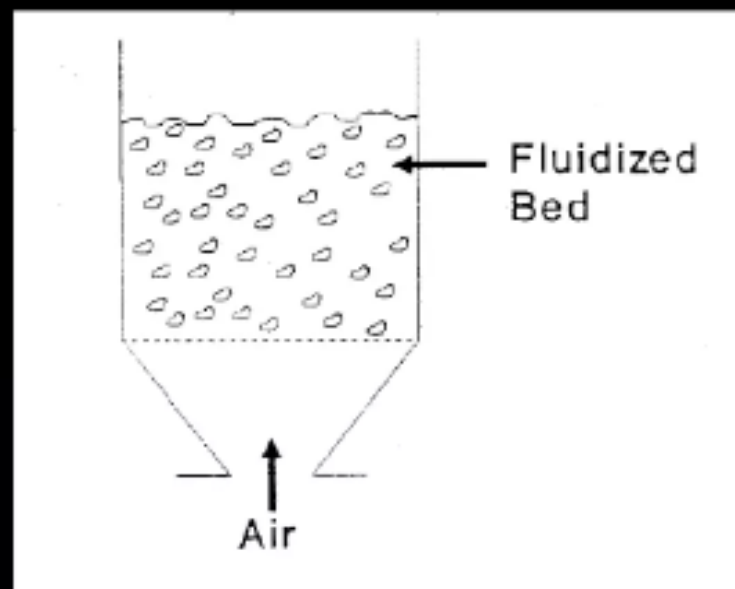
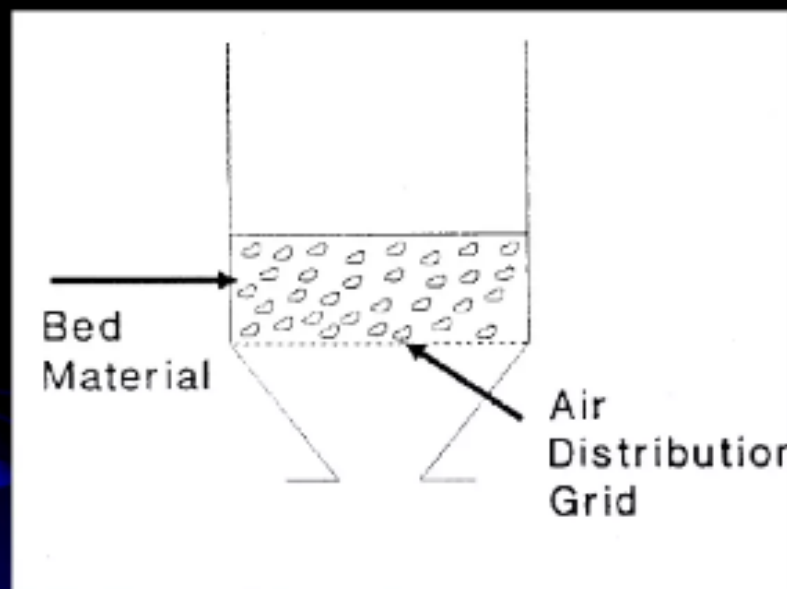
- Menggunakan sistem pembakaran FBC
- Temperatur Pembakaran $840^{\circ} - 950^{\circ} \text{ C}$
- Capacity range 0,5 T/hr to 100 T/hr
- Fuel : batubara, sekam padi, bagas and limbah pertanian.
- Benefits: kompak, bahan bakar fleksibel, efisiensi pembakaran tinggi, mengurangi SO_x & NO_x

Fluidized Bed Combustion (FBC)



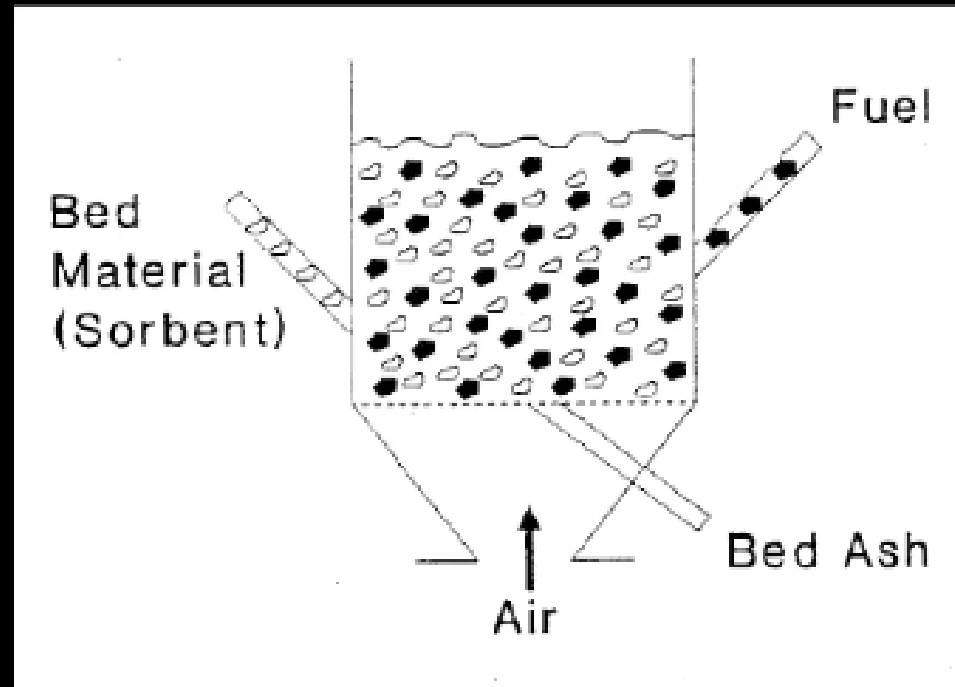
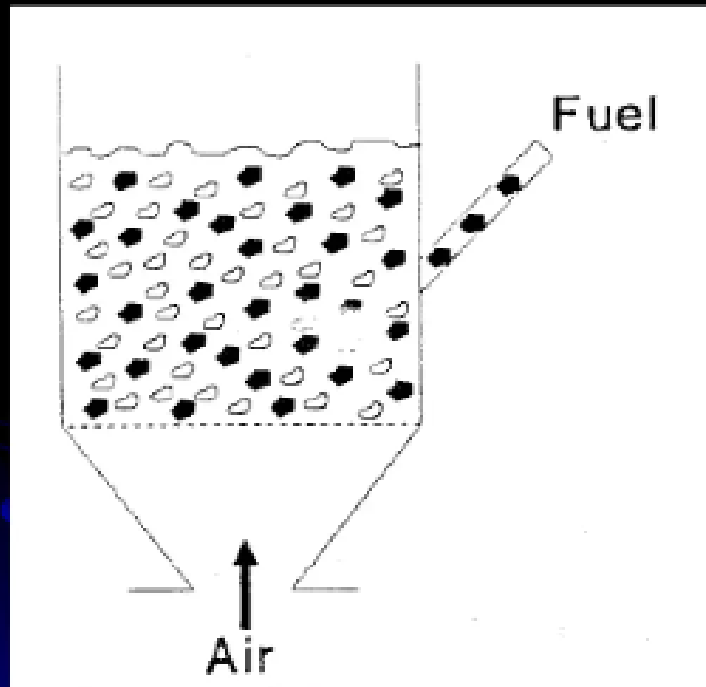
FBC adalah metode pembakaran bahan bakar di mana bahan bakar secara kontinu diisikan ke dalam bed yang berisi material bed seperti pasir atau batu gamping sementara udara dihembuskan dari dasar bed ke atas sedemikian sehingga bahan bakar dan material bed berperilaku seperti fluida turbulen. Teknik Pembakaran ini digunakan untuk proses pembakaran dengan kualitas pembakaran rendah dan digunakan untuk bahan bakar padat.

Sistem Pembakaran FBC

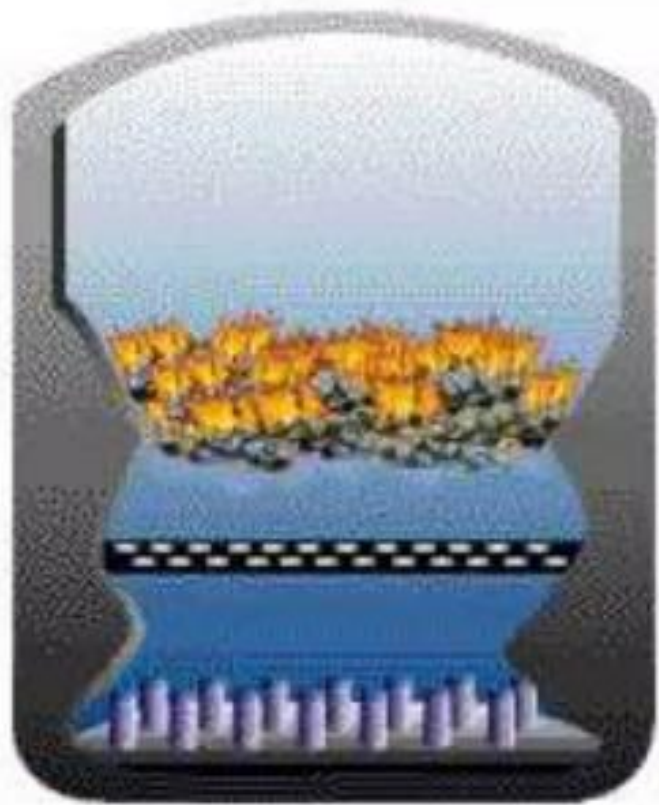


Bed Material : pasir atau batu gamping (dolomit)
jika bahan bakar mengandung sulfur

Sistem Pembakaran FBC

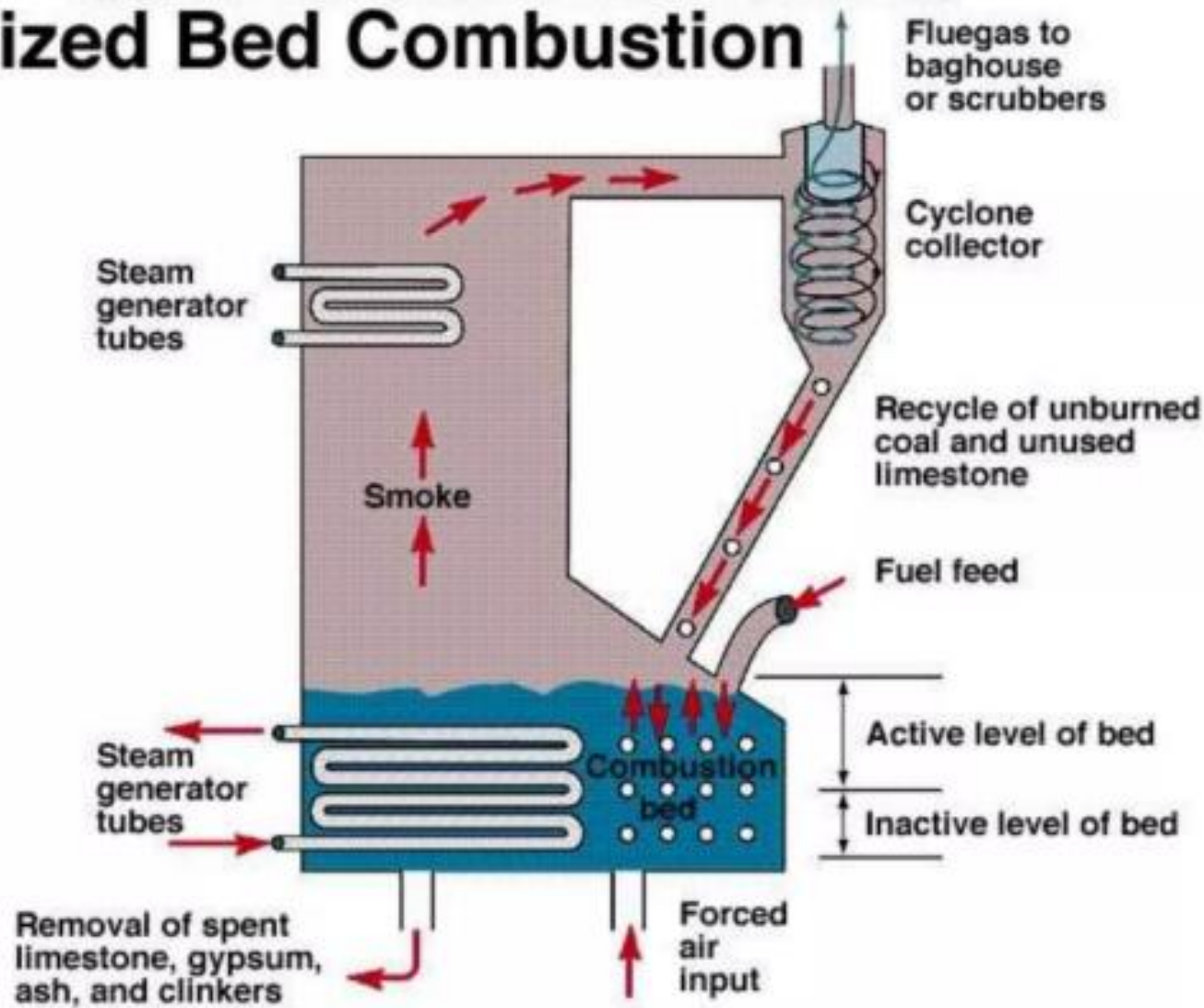


Prinsip Dasar Sistem Pembakaran FBC





Fluidized Bed Combustion





Fluidized Bed Combustion (FBC)

Berdasarkan tekanan udara, FBC diklasifikasikan menjadi :

- Atmospheric Fluidized Bed Combustion (AFBC) Boiler
- Pressurized Fluidized Bed Combustion (PFBC) Boiler

Atmospheric Fluidized Bed Combustion (AFBC) Boiler

Boiler AFBC jenis ini banyak digunakan secara luas untuk menghasilkan listrik, dan teknologi AFBC telah diaplikasikan dengan bahan bakar kayu atau sisa-sisa potongan kayu,

Efisiensi termal dari AFBC kurang lebih 35% dan desain AFBC memungkinkan dilakukan co-firing dengan biomassa dan arang kayu.

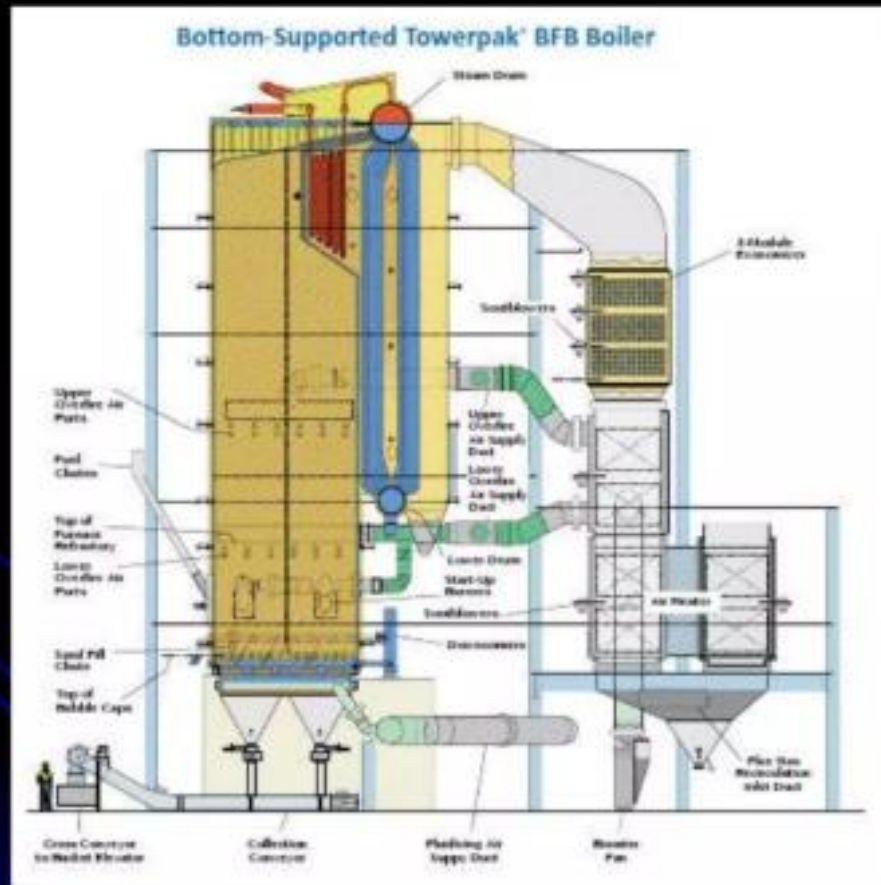
Atmospheric Fluidized Bed Combustion (AFBC) Boiler

Boiler FBC jenis ini menggunakan batu gamping atau dolomit untuk menyerap sulfur yang terlepas ketika terjadi pembakaran batu bara.

Aliran jet udara akan mengangkat campuran material bed dan material bahan bakar, dan mengubahnya menjadi suspensi dari partikel-partikel berwarna merah dan panas yang mengalir seperti aliran fluida.

Boiler ini dioperasikan pada tekanan atmosfer.

Atmospheric Fluidized Bed Combustion (AFBC) Boiler

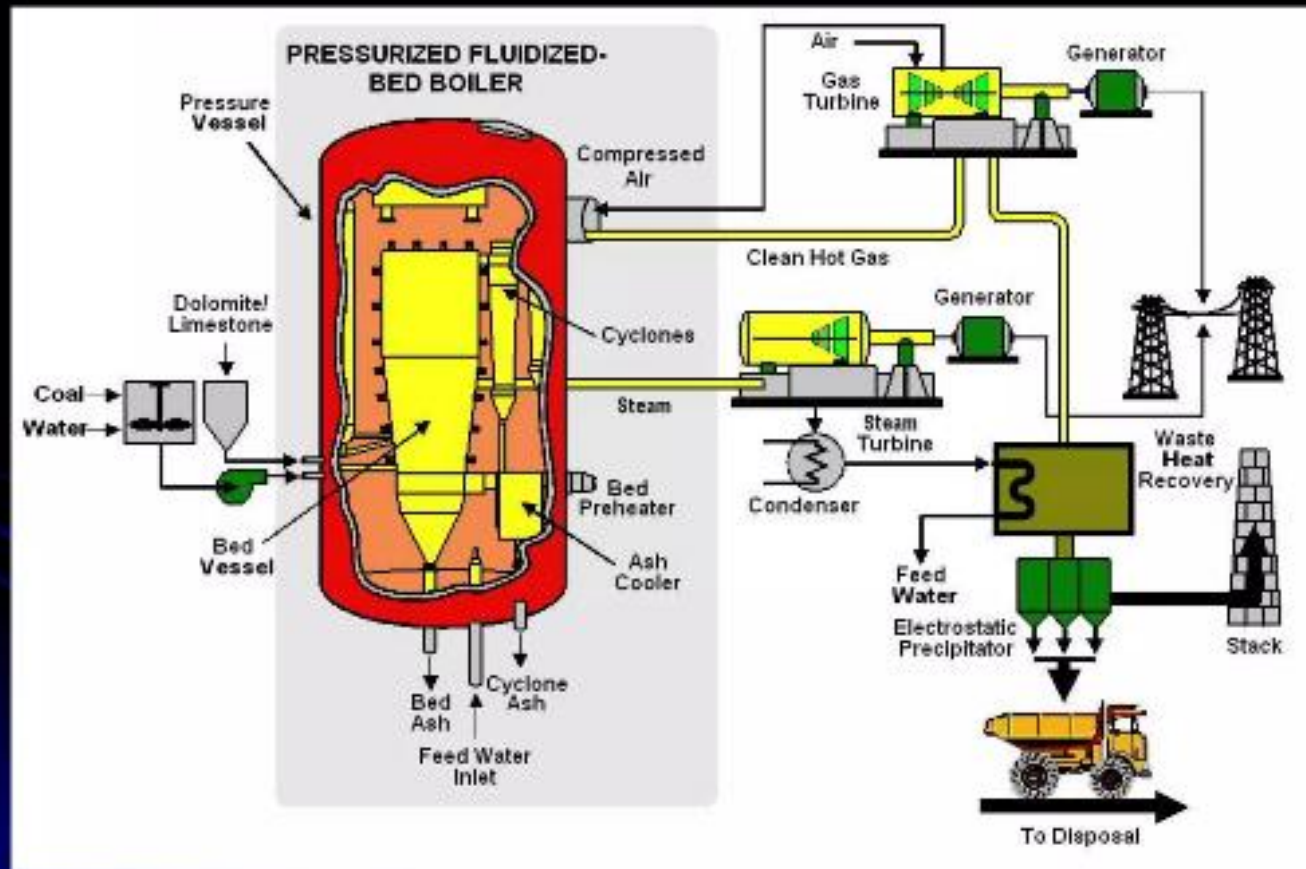


Pressurized Fluidized Bed Combustion (PFBC) Boiler



- Pada tipe Pressurized Fluidized bed Combustion (PFBC), sebuah kompresor memasok udara Forced Draft (FD), dan pembakarnya merupakan tangki bertekanan.
- Sistem PFBC dapat digunakan untuk pembangkitan kogenerasi (steam dan gas) atau pembangkit tenaga dengan siklus gabungan/combined cycle
- Operasi combined cycle (turbin gas & turbin uap) meningkatkan efisiensi konversi keseluruhan sebesar 5 hingga 8 persen

Pressurized Fluidized Bed Combustion (AFBC) Boiler



Pressurized Fluidized Bed Combustion (PFBC) Boiler



- Tipe Pressurized Fluidized bed Combustion (PFBC) akan menghasilkan arus gas panas bertekanan tinggi, sehingga dapat digunakan untuk menggerakkan turbin gas, sementara itu uap air yang dihasilkan digunakan untuk menggerakkan turbin uap sehingga akan membentuk siklus kombinasi yang efisien



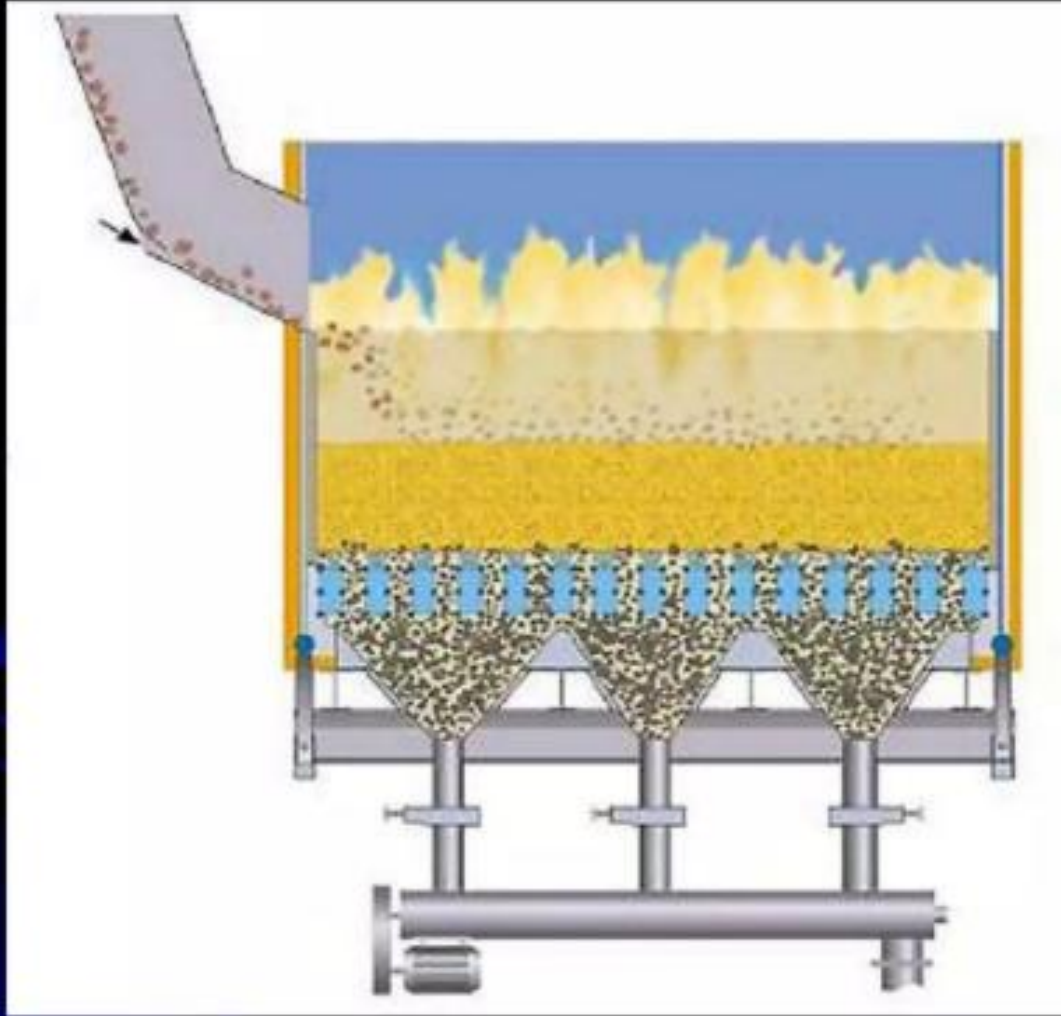
Fluidized Bed Combustion (FBC)



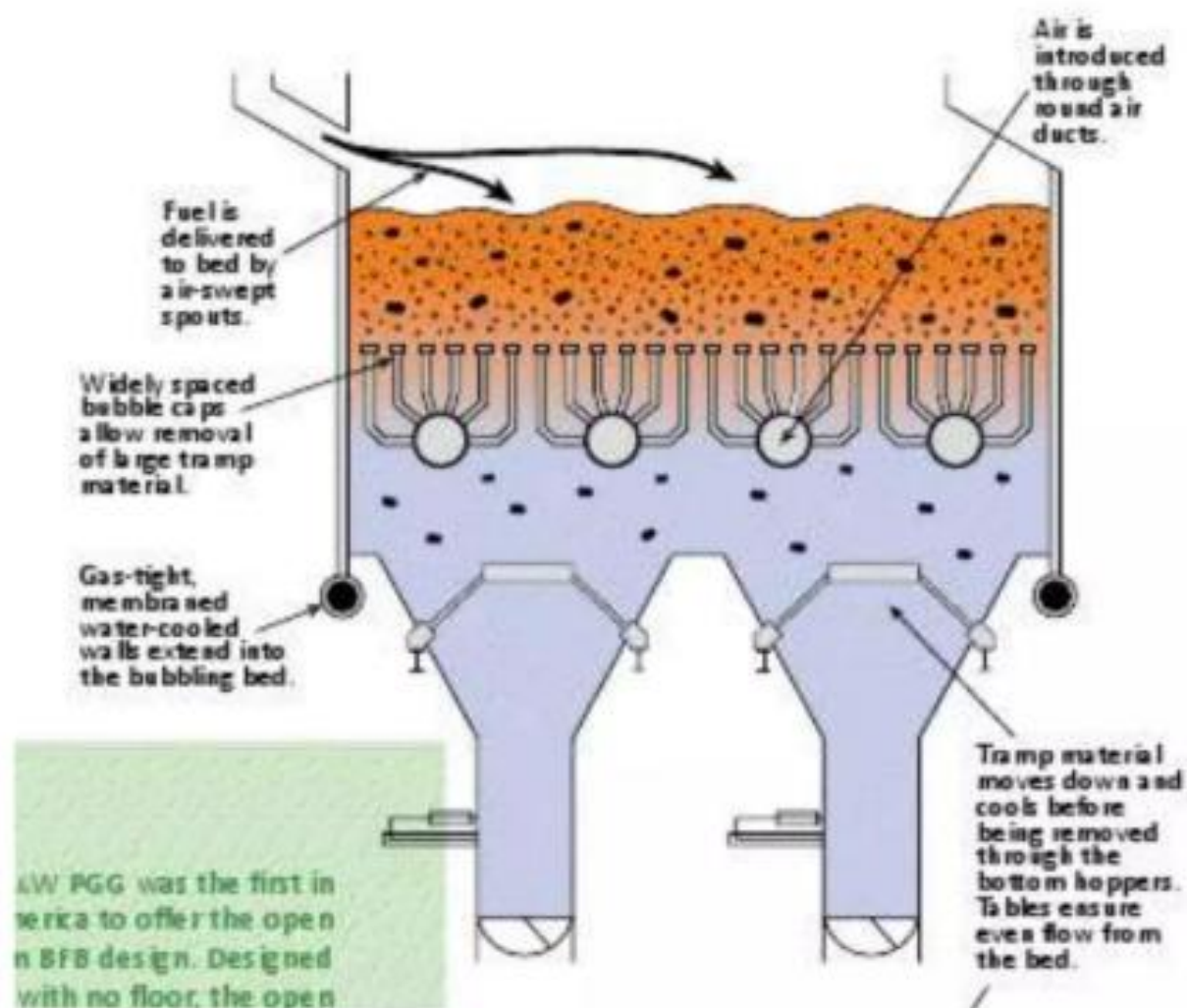
Berdasarkan karakteristik fluidized bed, FBC diklasifikasikan menjadi :

- **Bubbling Fluidized Bed Combustion** : Dalam model pembakaran ini, fluidized hanya mengambang di ruang bakar dan tidak bersirkulasi bersama gas pembakaran.
- **Circulated Fluidized Bed Combustion** : Dalam model pembakaran ini, fluidized ikut bersirkulasi bersama gas pembakaran

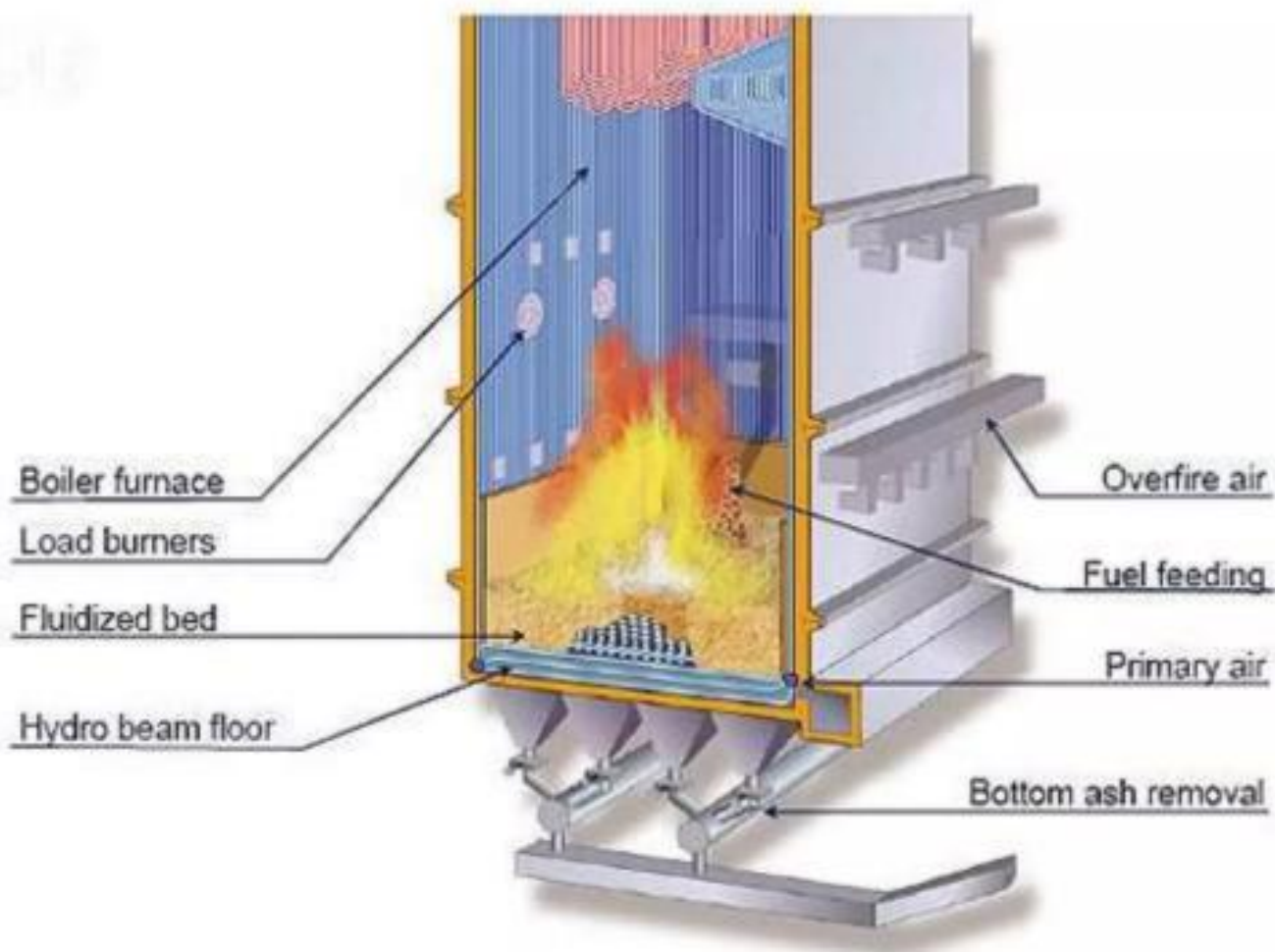
Bubbling Fluidized Bed Combustion



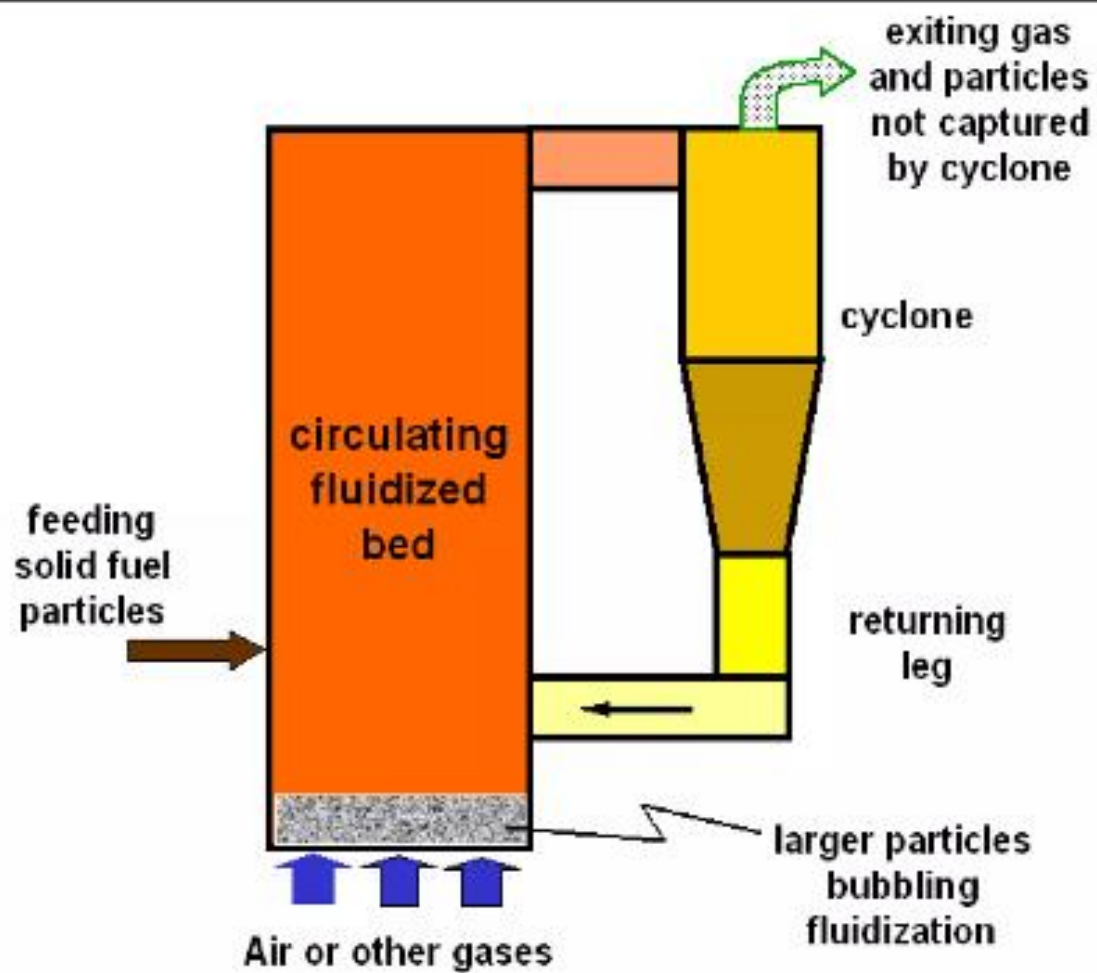
Bubbling Fluidized Bed Combustion



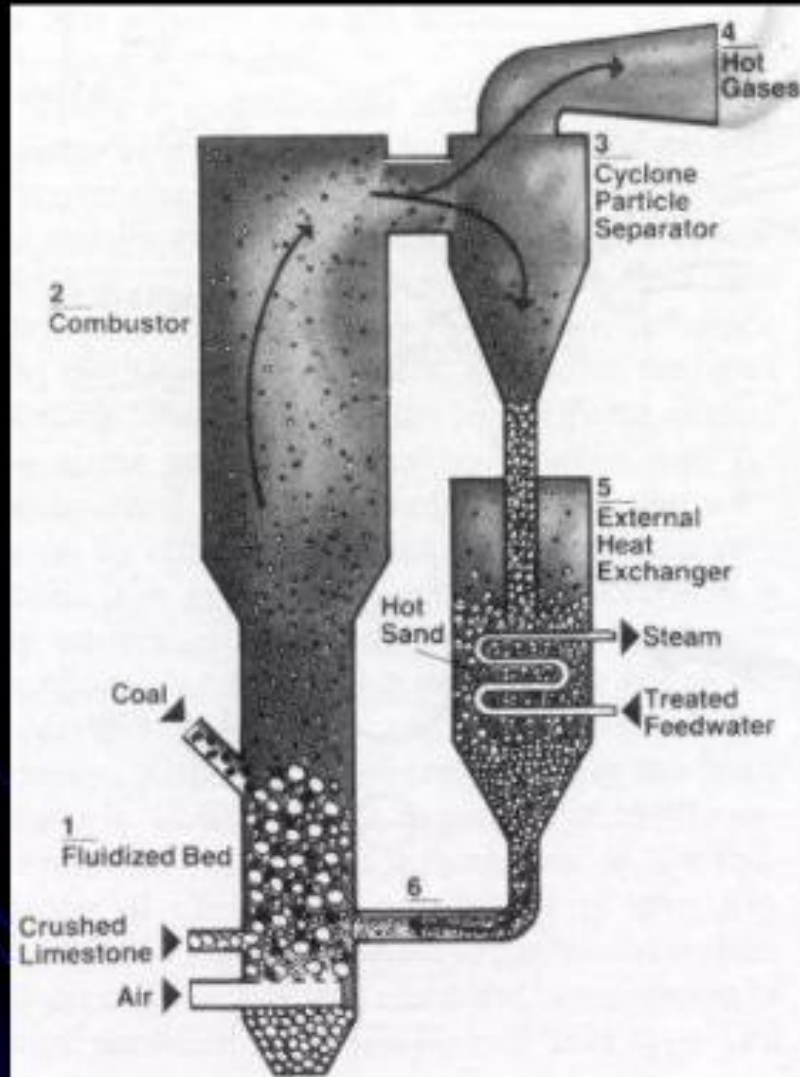
Bubbling Fluidized Bed Combustion



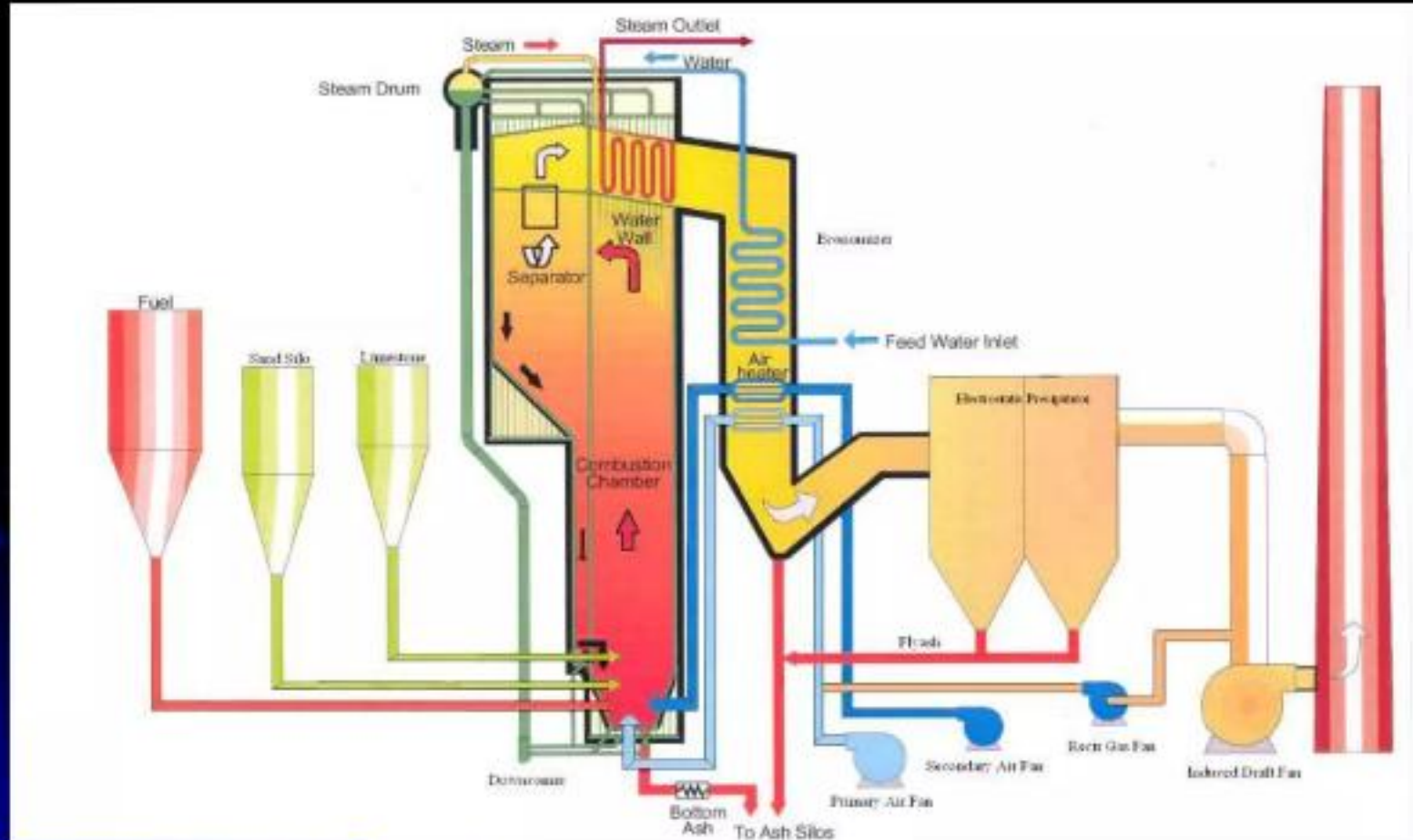
Circulated Fluidized Bed Combustion



Circulated Fluidized Bed Combustion



Circulated Fluidized Bed Combustion





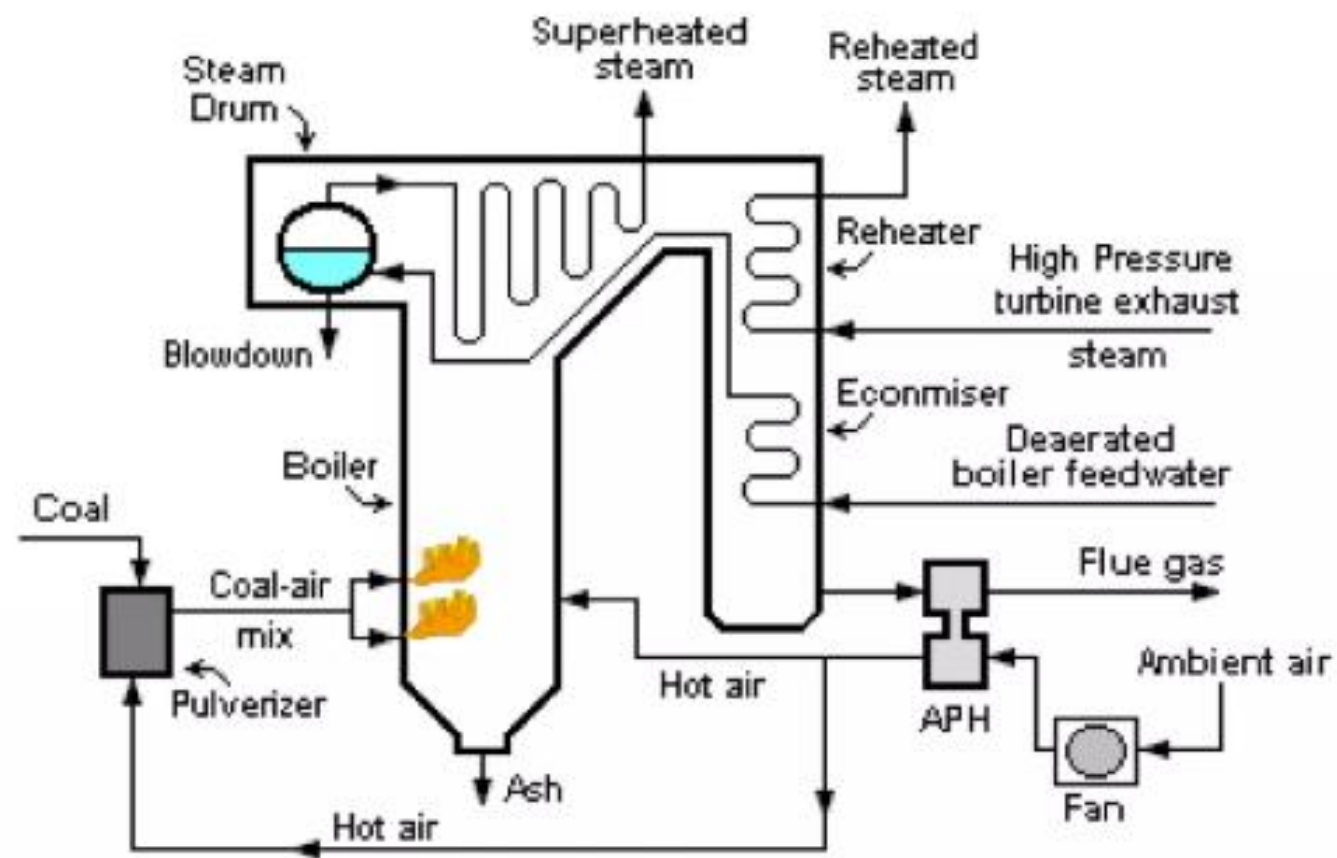
Pulverized coal-fired boiler (PCB)



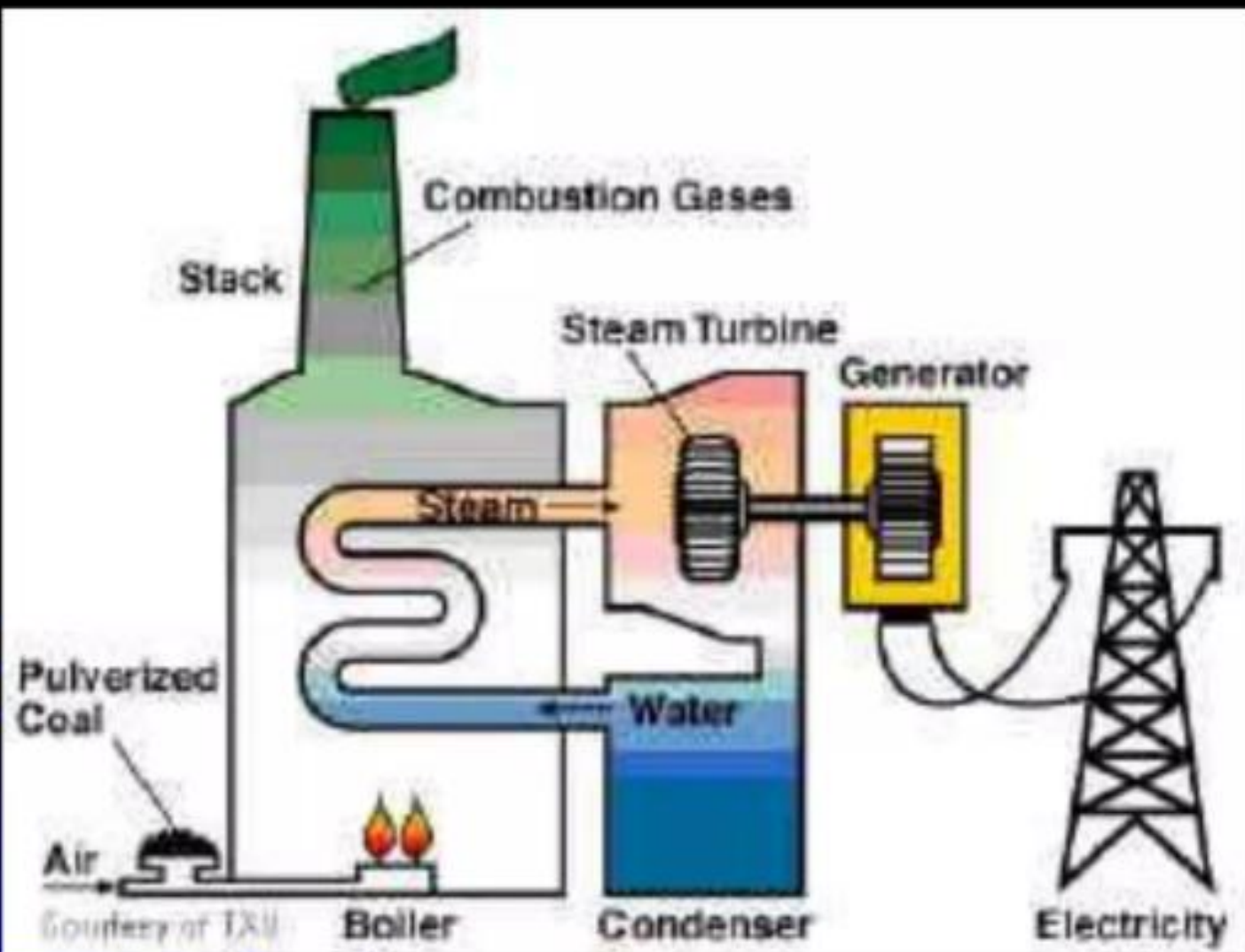
PCB adalah boiler yang menghasilkan energi termal dengan membakar powder batu bara atau debu batu bara.

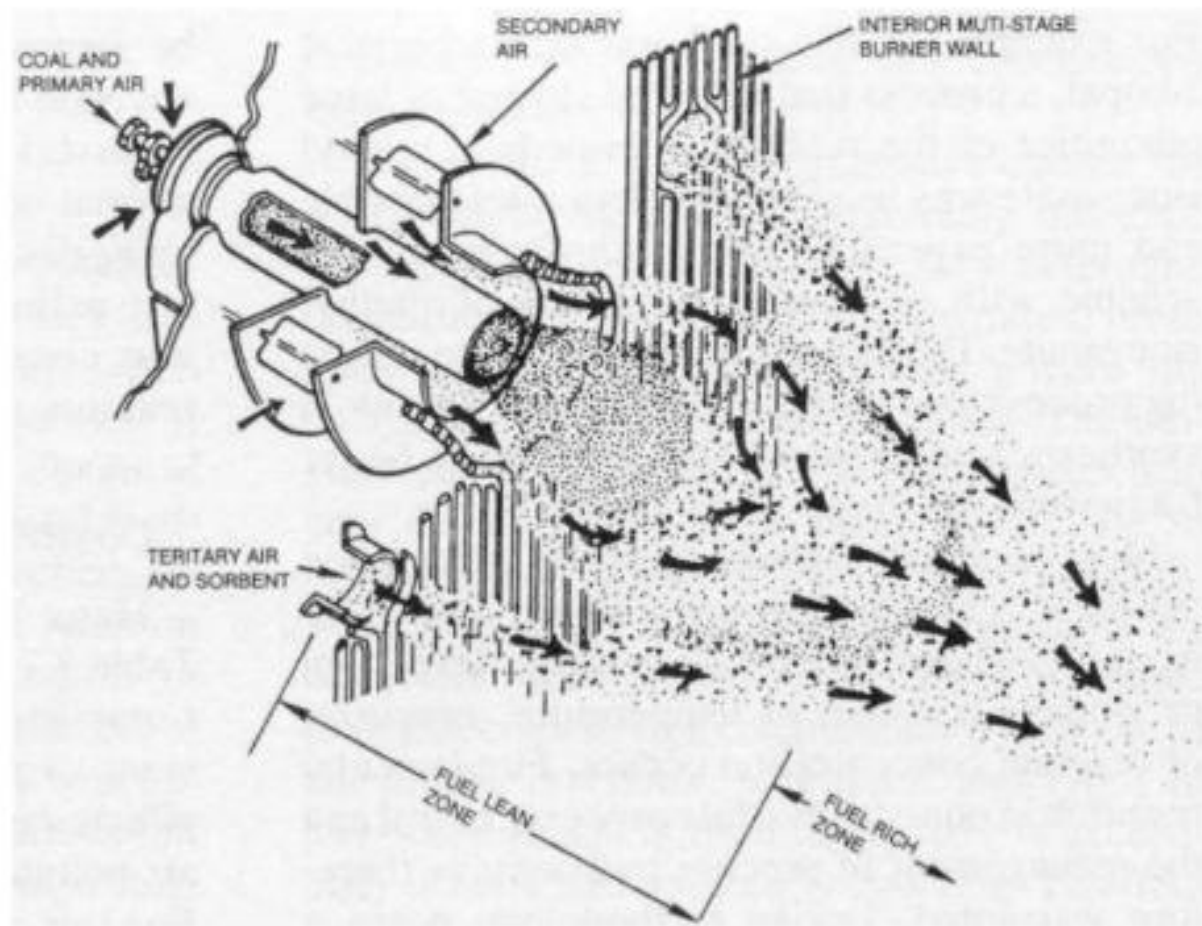
Boiler tipe ini mendominasi industri pembangkit daya listrik dalam menyediakan uap air sebagai penggerak turbin uap.

Metode pembakaran ini juga dikenal dengan istilah pneumatic transport combustion (pembakaran dengan media pneumatik).



Note: APH is the air preheater





Pulverized coal-fired injector



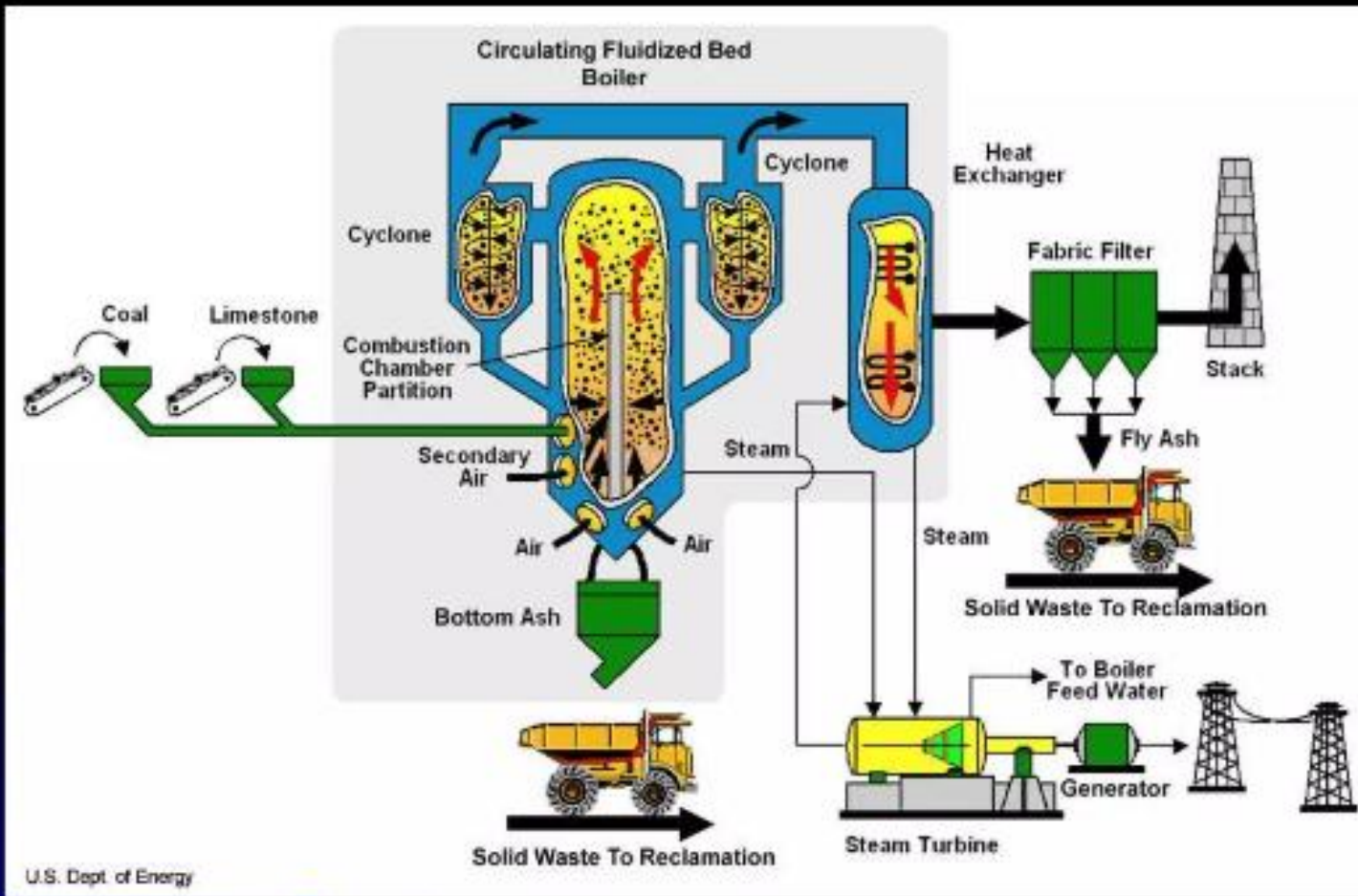
Pulverized coal-fired boiler (PCB)



Di dalam PCB, pada bubuk (powder) batu bara dapat juga ditambahkan dengan biomassa dan bahan bakar padat lainnya.

PCB ini menggunakan aliran jet yang sangat kuat sehingga percampuran powder batu bara dengan udara pembakar yang panas dapat berlangsung proses pembakaran yang sempurna dan efektif. PCB model ini umumnya berbentuk circulating fluidized bed combustion.

Circulated Fluidized Bed Combustion





Pulverized coal-fired boiler (PCB)



PCB ini diklasifikasikan menjadi 3 kategori, yakni :

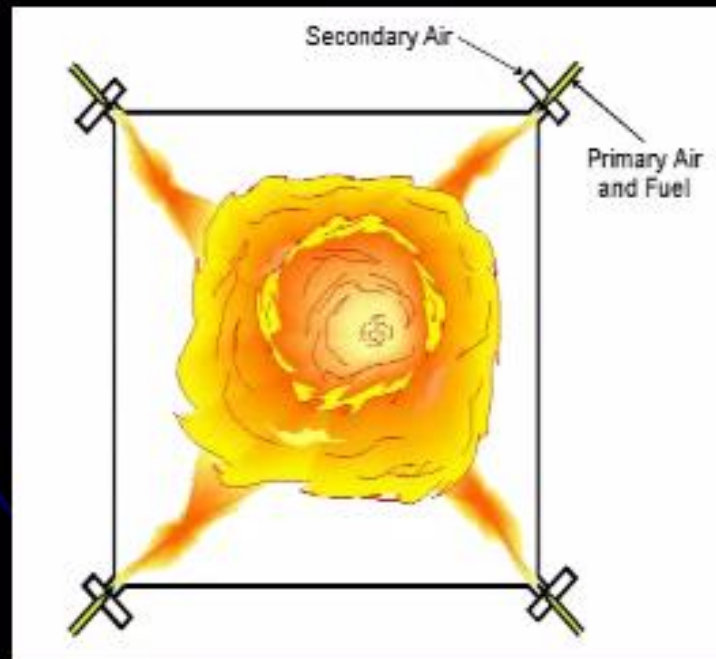
- Subcritical Pulverized Coal (SubCPC) Boiler : Efisiensinya 37%
- Supercritical Pulverized Coal (SCPC) Bolier : Efisiensinya 40%
- Ultra-Supercritical Pulverized Coal (USCPC) Boiler : Efisiensinya 42% - 45%

Temperatur pembakaran : 1300°C – 1700°C

Pulverized coal-fired boiler (PCB)



Sistem pembakaran yang paling populer dari boiler jenis ini adalah pembakaran tangensial dengan 4 burner pada pojok-pojok furnace untuk membentuk bola api.



Kelebihan Pulverized coal-fired boiler (PCB) :

- Boiler ini dapat menggunakan berbagai jenis batu bara mulai dari antrasit hingga lignit dan memungkinkan menggunakan kombinasi proses pembakaran (batu bara, gas dan minyak dalam burner yang sama).

Kelemahan :

- Membutuhkan daya yang besar untuk penyerbukan
- Memerlukan lebih banyak maintenance, korosi dari abu terbang, emisi No_x .



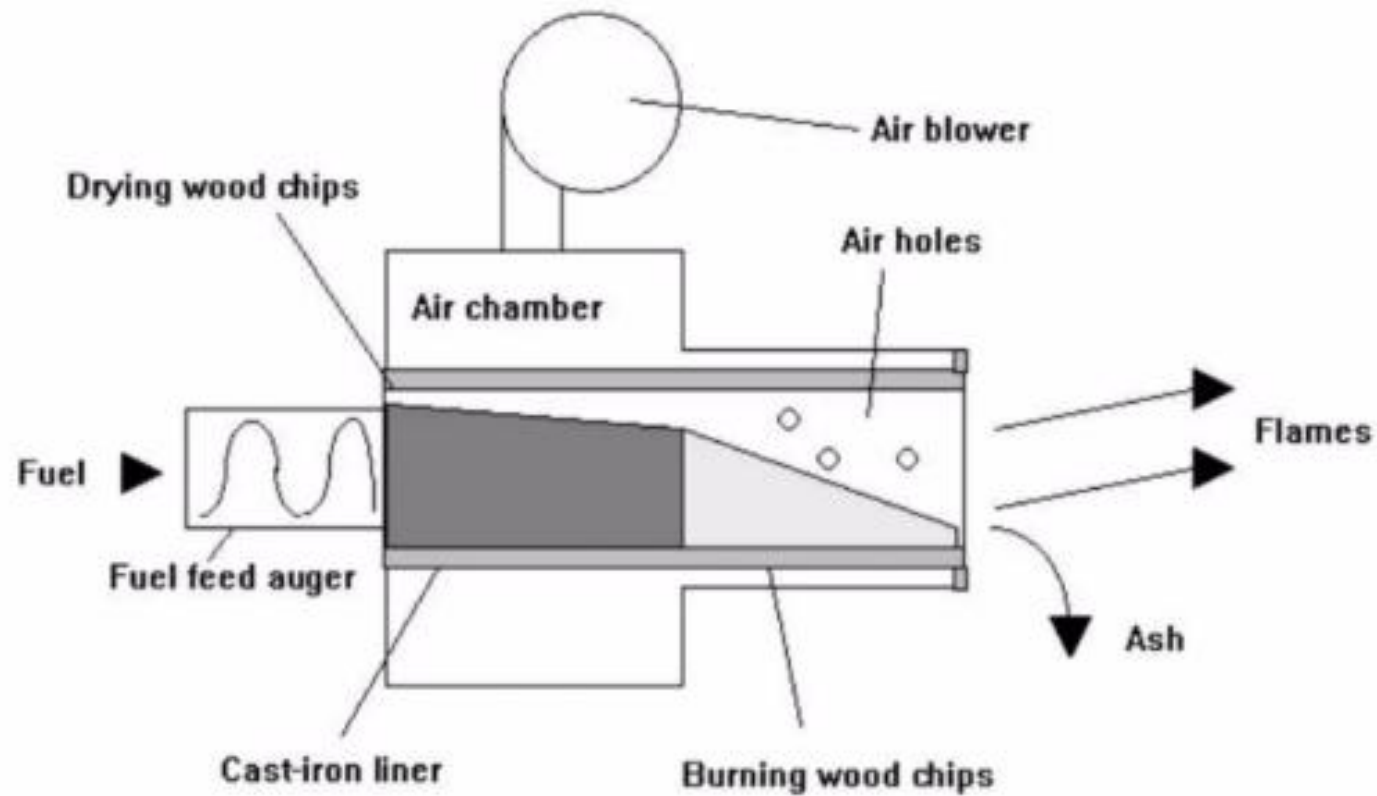
Stoker Boiler

Istilah stoker digunakan untuk menyatakan boiler yang memiliki pengumpan (pengisian bahan bakar) otomatis.

Boiler jenis ini juga dikenal dengan fixed-bed combustion boiler. Dalam boiler, pengumpanan bahan bakar, misal batu bara dilakukan dengan sebuah screw conveyor dari baja atau hopper.

Boiler jenis ini biasanya berbentuk water tube boiler

Stoker Boiler





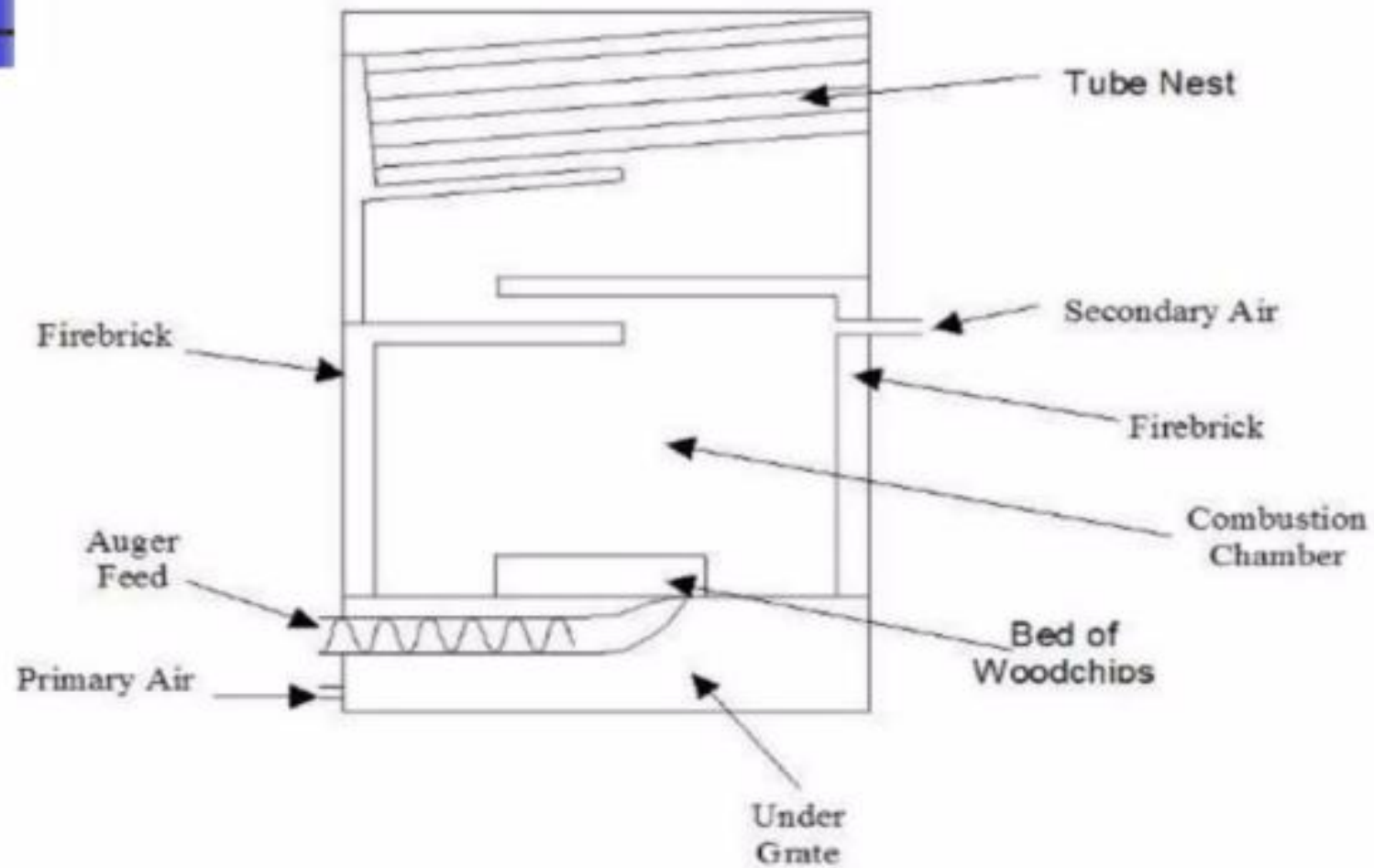
Underfed Stoker Boiler

Boiler jenis ini mempunyai sistem pengumpanan bahan bakar di bagian bawah dari ruang bakar.

Bahan bakar yang digunakan dapat mengandung kandungan air hingga 50%.

Memiliki TDR (turndown ratio) atau jangkauan kapasitas lebih rendah, yakni 2 : 1

Underfed Stoker Boiler





Moving Grate Stoker Boiler

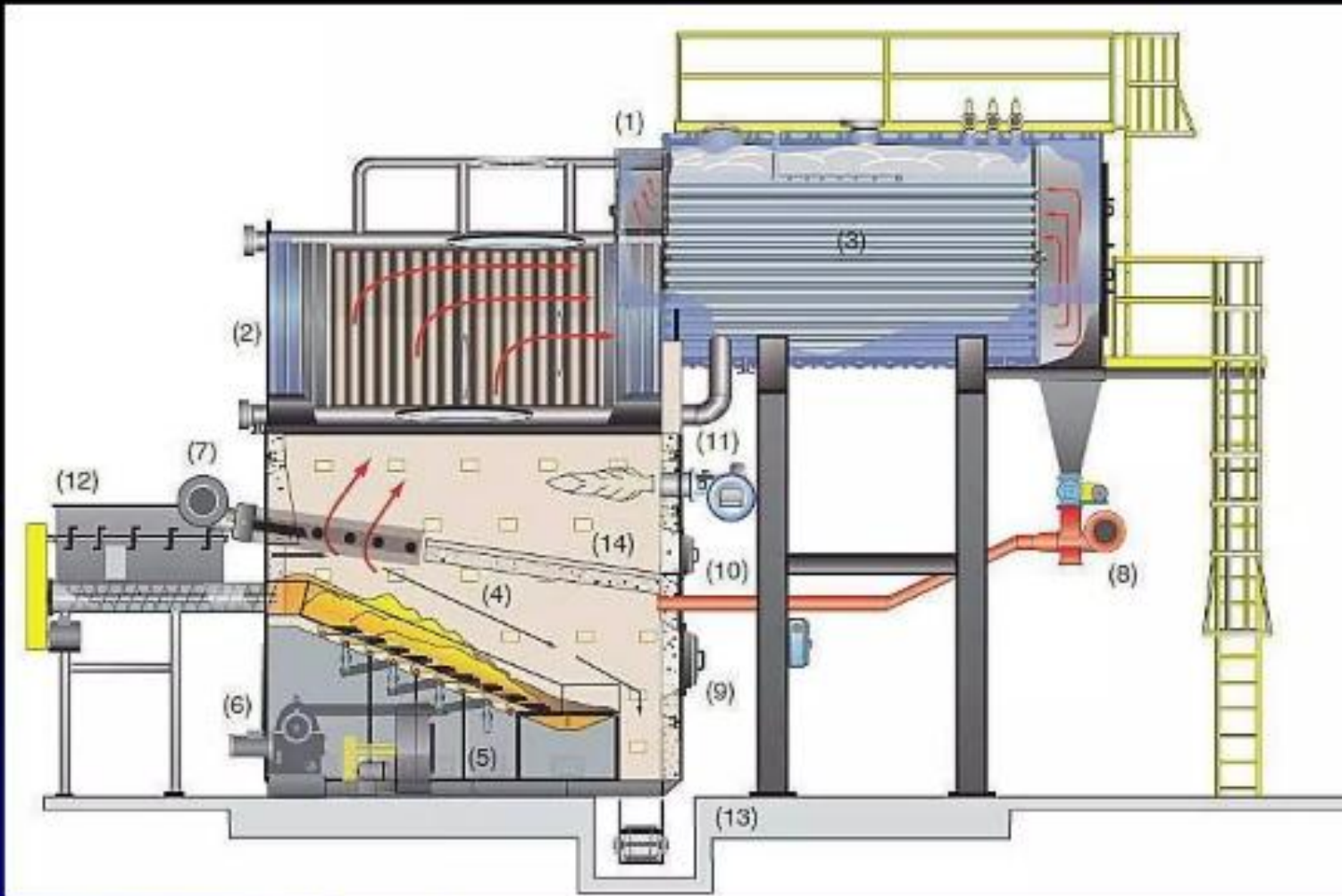
Boiler jenis ini mempunyai panggangan / bed berbentuk seperti tangga.

Memiliki toleransi yang tinggi terhadap jenis dan ukuran bahan bakar dengan kandungan air hingga 55% sehingga cocok untuk semua jenis biomassa.

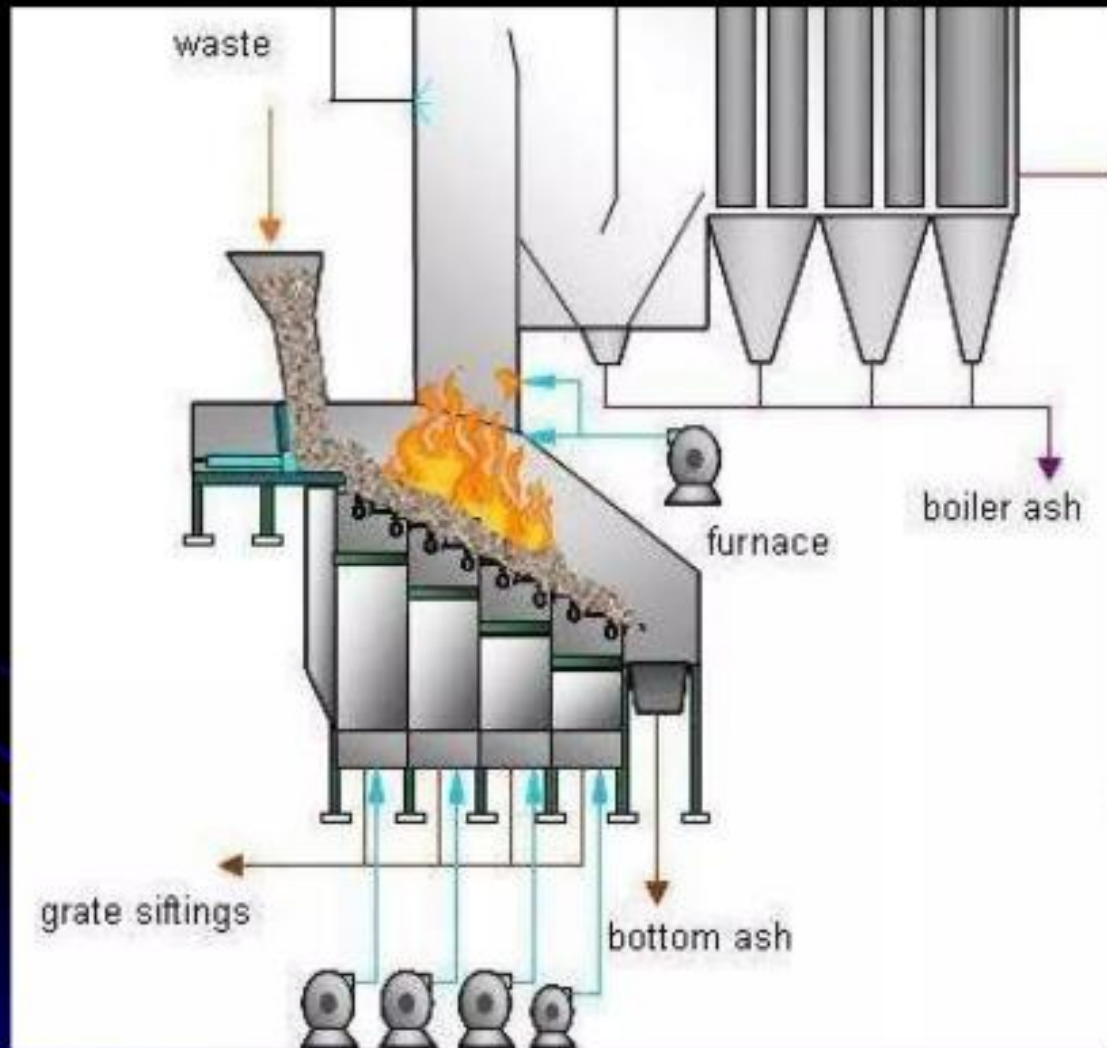
Secara keseluruhan merupakan desain terbaik untuk boiler berbahan bakar kayu.

Boiler ini memiliki respon yang rendah dan desainnya lebih kompleks dan lebih mahal

Stoker Fired Boiler



Grate boiler waste burning





Traveling Grate Stoker Boiler

Boiler jenis ini menggunakan rotating metal belt untuk mensupport pembakaran. Kecepatan grate diatur secara otomatis sesuai dengan tekanan kerja boiler.

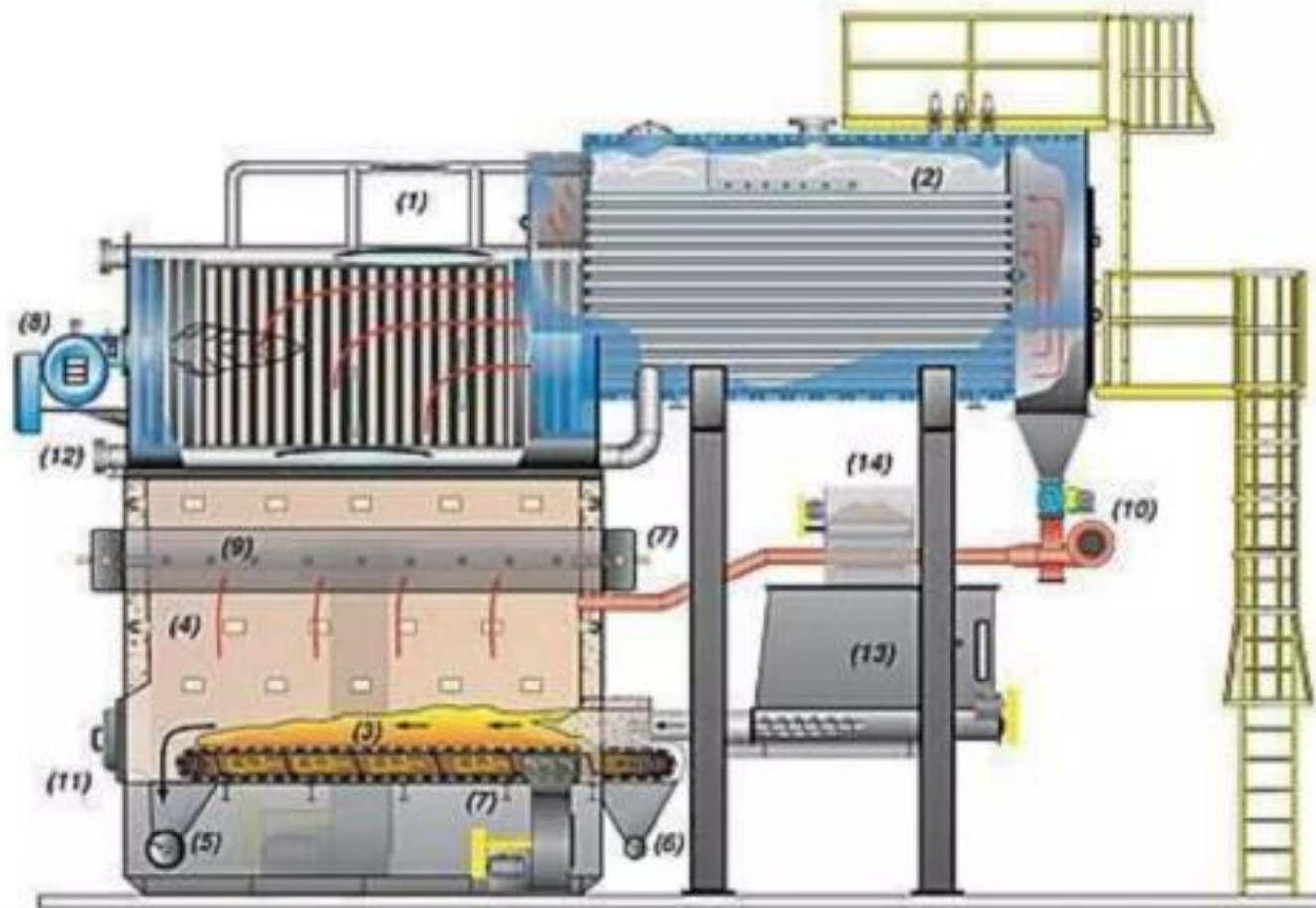
Bahan bakar diumpun pada salah ujung grate dan abu dibuang pada ujung lainnya.

Boiler ini memiliki sistem pendinginan air untuk mendinginkan grate.



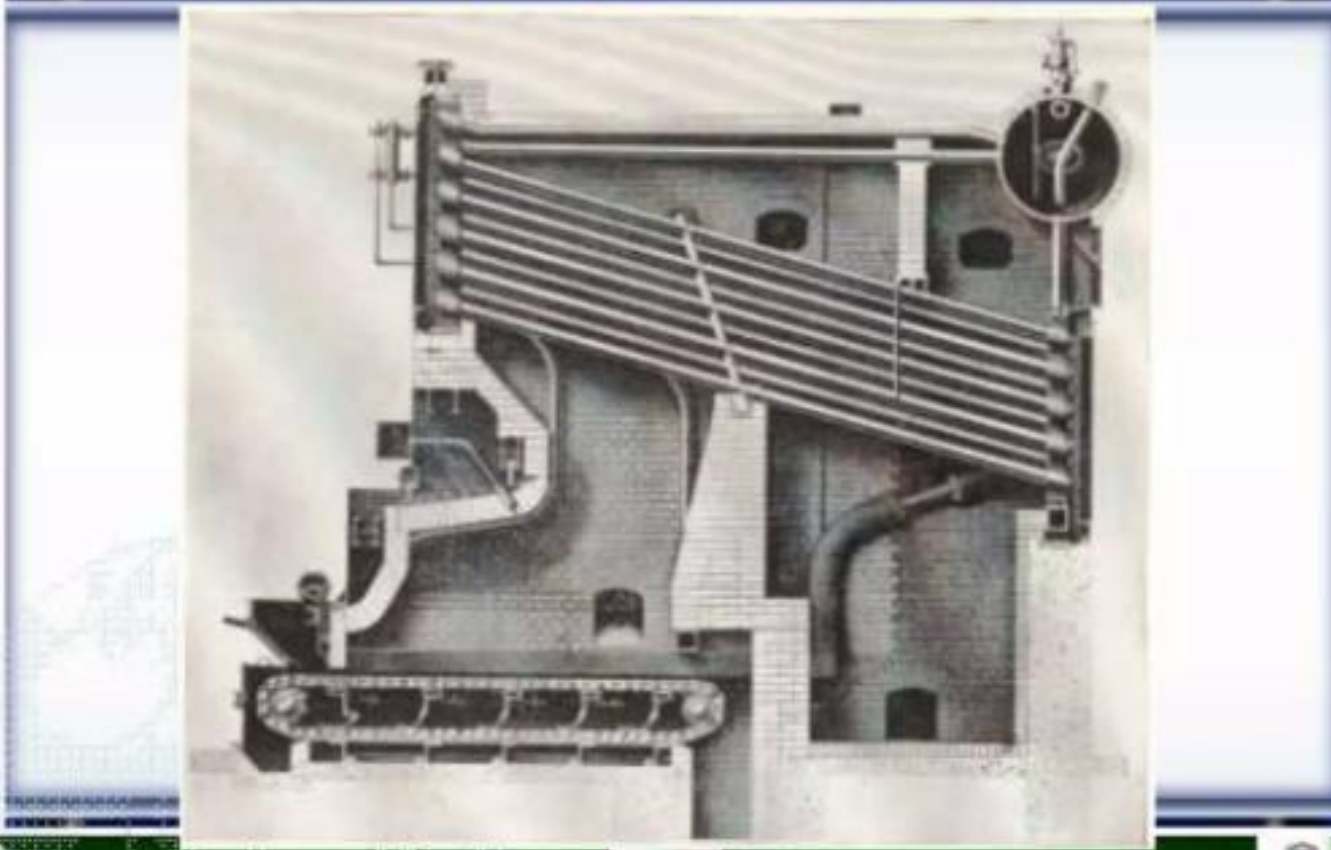
Grate Firing

Stoker Fired Boiler





STOKER FIRED BOILER



e-learning course



ANNA INSTITUTE OF TECHNOLOGY



JIT

UNESCO

