

# Water Tube Boiler Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 45 Ton/Jam

Istianto Budhi Rahardja<sup>1</sup>; Erlangga Abinanda<sup>2</sup>; Ahdiat Leksi Siregar<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan Kelapa Sawit

Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi – Bekasi

Email Penulis Korespondensi: [1istianto@cwe.ac.id](mailto:1istianto@cwe.ac.id)

## Abstrak

Pemakaian pembangkit tenaga uap dalam pabrik minyak sawit masih merupakan alternatif yang menguntungkan untuk digunakan, oleh karena itu dituntut pengetahuan yang mendalam mengenai berbagai hal yang berhubungan dengan sistem pembangkit tenaga uap. Fungsi *boiler* yang utama adalah menghasilkan uap yang digunakan dalam proses perebusan (*sterilizer*) pada olahan kelapa sawit dan juga digunakan dalam proses pemurnian minyak (*clarification*) kelapa sawit mentah (CPO). Selain dari fungsi di atas tersebut, satu unit *boiler* di pabrik kelapa sawit juga digunakan untuk menghasilkan energi listrik yang digunakan untuk menunjang proses produksi dan keperluan di lingkungan pabrik kelapa sawit. Pada sebuah sistem ketel uap (*boiler*), kesiapan dan pengkondisian alat perlu diperhatikan agar memenuhi target produksi yang telah direncanakan. Efisiensi yang baik perlu dijaga pada sebuah ketel uap (*boiler*), dengan cara melakukan inspeksi dan pengecekan secara berkala terhadap komponen-komponen di dalam *boiler*. Kemudian dari pada itu, sebuah *boiler* juga berfungsi sebagai alat vital dalam sebuah pabrik pengolahan minyak mentah kelapa sawit (CPO).

## Kata Kunci

*Water tube boiler*, Ketel uap, Pabrik kelapa sawit.

---

## Abstract

*The use of steam power plants in palm oil mills is still a profitable alternative to use, therefore in-depth knowledge of various matters relating to steam power generation systems is required. The main function of the boiler is to produce steam which is used in the sterilization process for processed palm oil and is also used in the clarification process of crude palm oil (CPO). Apart from the above functions, one boiler unit in the palm oil mill is also used to generate electrical energy which is used to support the production process and needs in the palm oil mill environment. In a boiler system, the readiness and conditioning of the equipment need to be considered in order to meet the planned production targets. Good efficiency needs to be maintained in a boiler, by conducting periodic inspections and checking of the components in the boiler. Then, a boiler also functions as a vital tool in a crude palm oil (CPO) processing plant.*

## Keywords

*Water tube boiler*, Steam boiler, Palm oil mill.

## Pendahuluan

Industri minyak sawit Indonesia memiliki sejarah panjang yang diawali pada tahun 1848 seorang ilmuwan bernama Dr. D.T. Pryce membawa empat benih *Elaeis Guinensis* ke Indonesia. Benih kelapa sawit tersebut diperuntukkan sebagai tanaman koleksi di *Botanical Garden* Bogor. Buah dari tanaman kelapa sawit di Kebun Raya Bogor tersebut kemudian disebarakan sebagai *ornamental* atau tanaman hias ke berbagai pulau Indonesia, di antaranya pulau Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Nusa Tenggara dan pulau Maluku. Hal inilah yang menjadi awal sejarah dari tumbuh dan menyebarnya tanaman kelapa sawit di Indonesia pada 170 tahun yang lalu. Baru 63 tahun kemudian, pembudidayaan kelapa sawit dilakukan secara komersial pertama kali oleh Adrien Hallet, seorang Belgia dan K. Schadt seorang Jerman. Kedua orang tersebut mengembangkan perkebunan kelapa sawit di Pulau Raja Asahan (Sumatera Utara) dan Sungai Liput (Aceh) pada tahun 1911. Baru kemudian pada tahun 1918 dibangunlah pabrik kelapa sawit pertama di Sungai Liput.

Pemakaian pembangkit tenaga uap dalam pabrik minyak sawit masih merupakan alternatif yang menguntungkan untuk digunakan, oleh karena itu dituntut pengetahuan yang mendalam mengenai berbagai hal yang berhubungan dengan sistem pembangkit tenaga uap. Ketel uap (*Boiler*) merupakan salah satu bagian pembangkit tenaga uap. Alat ini berfungsi untuk mengubah energi kimia dari bahan bakar dan oksigen menjadi energi panas yang kemudian akan dipindahkan ke fluida kerja (air) agar berubah menjadi uap. Dalam pabrik kelapa sawit, uap yang dihasilkan oleh ketel uap ini akan dipergunakan sebagai penggerak turbin uap untuk menghasilkan energi listrik dan untuk keperluan pengolahan kelapa sawit. Kebutuhan akan uap merupakan masalah penting dalam proses pengolahan kelapa sawit. Hampir setiap proses dalam pengolahan kelapa sawit menggunakan uap baik itu sebagai media pemanas, penggerak atau sterilisasi. Dalam pengolahan kelapa sawit, kebutuhan akan uap tidak bolehkurang dari standar pengolahan kelapa sawit yang telah ditetapkan. Jika halini terjadi, maka akan berakibat fatal pada alat yang digunakan untuk pengolahan maupun pada hasil pengolahan.

Fungsi *boiler* yang utama adalah menghasilkan uap yang digunakan dalam proses perebusan (*sterilizer*) pada olahan kelapa sawit dan juga digunakan dalam proses pemurnian minyak (*clarification*) kelapa sawit mentah (CPO). Selain dari fungsi diatas tersebut, satu unit *boiler* di pabrik kelapa sawit juga digunakan untuk menghasilkan energi listrik yang digunakan untuk menunjang proses produksi dan keperluan di lingkungan pabrik kelapa sawit. Pada sebuah sistem ketel uap (*boiler*), kesiapan dan pengkondisian alat perlu diperhatikan agar memenuhi target produksi yangtelah direncanakan. Efisiensi yang baik perlu dijaga pada sebuah ketel uap (*boiler*), dengan cara melakukan inspeksi dan pengecekan secara berkala terhadap komponen-komponen didalam *boiler* Kemudian dari pada itu, sebuah *boiler* juga berfungsi sebagai alat vital dalam sebuah pabrik pengolahan minyak mentah kelapa sawit (CPO). Untuk menjaga kualitas dan jumlah produksi dari sebuah pabrik kelapa sawit tersebut,

sebuah unit *boiler* harus mampu menghasilkan uap sesuai dengan kebutuhan pabrik dalam mencapai target produksi (Saputra dkk 2020).

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan yang telah dipaparkan, maka penulis akan membahas tentang komponen dan sistem yang berada di *boiler* pabrik pengolahan kelapa sawit.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui fungsi dan cara kerja pada setiap komponen yang berada pada *boiler* dan mengetahui cara perhitungan efisiensi untuk *boiler* kelapa sawit.

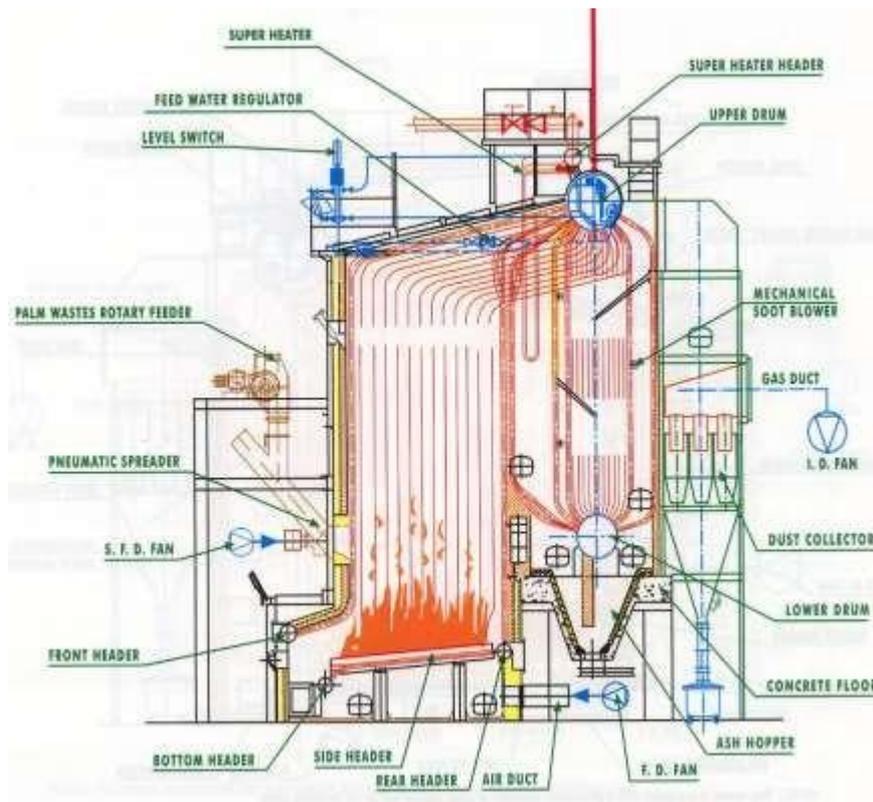
### **Boiler**

Terdapat lima komponen utama pada *boiler*:

1. Tungku Pengapian (*furnace*), ruang pembakaran dan ruang gaspanas yg diterima dari hasil pembakaran.
2. *Steam Drum*, tempat mengubah energi pembakaran (energi panas) menjadi energi potensial steam (energi panas).
3. *Superheater*, tempat pengeringan steam yang berasal dari *steam drum*.
4. *Dust collector*, tempat untuk menangkap atau mengumpulkan abu yang berada pada aliran pembakaran sampai dengan gas buang.
5. *Safety valve*, alat ini berfungsi untuk membuang uap apabila tekanan uap telah melebihi standar yang telah ditentukan.

### **Water Tube Boiler**

*Water tube boiler* adalah jenis *boiler* yang beredar air di tabung dipanaskan secara eksternal oleh api. Bahan bakar dibakar di dalam tungku, menghasilkan gas panas yang mendidihkan air di dalam tabung penghasil uap. Dalam *boiler* yang lebih kecil, tabung pembangkit tambahan terpisah di tungku, sementara *boiler* utilitas yang lebih besar bergantung pada tabung berisi air yang membentuk dinding tungku untuk menghasilkan uap. Campuran air/uap yang dipanaskan kemudian naik ke dalam *steam drum*. Di sini, uap jenuh ditarik dari bagian atas *drum*. Dalam beberapa layanan, uap melewati tabung di jalur gas panas, (*superheater*) menjadi *superheated*. Uap *superheated* didefinisikan sebagai uap yang dipanaskan di atas titik didih pada tekanan tertentu. Uap super panas adalah gas kering dan oleh karena itu biasanya digunakan untuk menggerakkan turbin, karena tetesan air dapat sangat merusak bilah turbin. Air jenuh di bagian bawah *drum* uap kembali ke *drum* yang lebih rendah melalui 'tabung *downcomer*' dengan lubang besar, di mana ia memanaskan pasokan air umpan terlebih dahulu. (Dalam *boiler* utilitas besar, air umpan disuplai ke *drum* uap dan *downcomer* memasok air ke bagian bawah dinding air). Untuk meningkatkan penghematan *boiler*, gas buang juga digunakan untuk memanaskan awal udara pembakaran yang ditiupkan ke *burner*, dan untuk menghangatkan pasokan air umpan di *economizer*. Ketel pipa air seperti itu di pembangkit listrik termal juga disebut unit pembangkit uap.



Gambar 1 Water Tube Boiler

## Kebutuhan Uap

Kebutuhan uap pada pabrik kelapa sawit dapat dihitung sebagai berikut:

$$N = \text{Kapasitas Pabrik} \times \text{Kebutuhan uap/ton TBS} \quad (1)$$

di mana:

- $N$  = Total kebutuhan uap (kg uap/jam)  
 $\text{Kapasitas Pabrik}$  = Kapasitas pengolahan pabrik (Ton TBS/jam)  
 $\text{Kebutuhan Uap}$  = Kebutuhan uap proses (kg uap/ton TBS)

## Pembentukan Uap

Pembentukan uap terjadi apabila dalam keseimbangan antara tekanan ( $P$ ), volume ( $V$ ), dan temperatur ( $T$ ) tidak berubah. Bentuk fisis air adalah dalam bentuk cair jenuh dengan berat jenis  $1 \text{ kg/dm}^3$  (teoritis). Jika suhu dinaikkan hingga  $100^\circ\text{C}$  pada tekanan 1 atm, maka air tersebut akan berubah fase berbentuk uap, tetapi bila di atas air tersebut diberikan tekanan, sehingga gelembung-gelembung uap tidak dapat terbentuk dan proses penguapan tidak dapat berlangsung meskipun sudah mencapai suhu  $100^\circ\text{C}$ . jadi proses dalam mencapai titik keseimbangan pada  $P$ ,  $V$ , dan  $T$  tidak berubah, maka selama itu disebut fase cair. Jika suhu air dinaikkan, sehingga bentuk keseimbangannya hilang, maka air berubah fase cair menjadi fase uap atau menguap, fase uap dapat terjadi atau

berlangsung dalam ruang tertutup ataupun terbuka. Keadaan uap yang dihasilkan dapat berbentuk:

1. Uap basah, yaitu uap yang masih mengandung butiran-butiran yang halus dari air.
2. Uap jenuh, yaitu uap yang berada diantara uap basah dan uap kering (uap yang tidak mengandung butiran air lagi).
3. Uap panas lanjut (uap kering), yaitu uap yang dihasilkan dengan proses pemanasan lanjut dari uap jenuh.

### **Bahan Bakar**

Agar kualitas uap yang dihasilkan dari ketel uap sesuai dengan yang diinginkan atau dibutuhkan maka dibutuhkan sejumlah panas untuk menguapkan air tersebut, dimana panas tersebut diperoleh dari pembakaran bahan bakar di ruang bakar ketel (Kunarto 2018).

Proses pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar ketel (*boiler*) bertujuan untuk merubah fasa air menjadi fasa uap. Berbagai jenis bahan bakar (seperti bahan bakar cair, padat, dan gas) yang tersediatergantungan pada berbagai faktor seperti biaya, ketersediaan, penyimpanan, handling, polusi dan peletakan *boiler*, tungku dan peralatan pembakaran lainnya. Uji laboratorium biasanya digunakan untuk mengkaji sifat dan kualitas bahan bakar. Penggunaan bahan bakar didasarkan pada nilai kalor dari cangkang dan serat yang memenuhi syarat dan dimana cangkang dan serat mudah diperoleh dan banyak tersedia di pabrik.

Bahan bakar boiler di pabrik kelapa sawit terdiri dari:

1. Cangkang (*shell*), merupakan limbah dihasilkan dari proses pemrosesan kernel inti sawit dengan bentuk seperti tempurung kelapa namun berbentuk kecil (Rahardja dkk, 2019). Setiap pengolahan 1 ton TBS menghasilkan 50 – 90 kg atau 5 – 9% dari hasil pengolahan TBS per ton (Frickle 2009). Pada bahan bakar cangkang ini terdapat berbagai unsur kimia antara lain: karbon (C), hidrogen (H), nitrogen (N), oksigen (O) dan abu. Dimana unsur kimia yang terkandung pada cangkang mempunyai persentase (%) yang berbeda jumlahnya. Cangkang ini setelah mengalami proses pembakaran akan berubah menjadi arang, kemudian arang tersebut dengan adanya udara pada dapur akan terbang sebagai ukuran partikel kecil yang dinamakan partikel pijar. Apabila pemakaian cangkang ini terlalu banyak dari *fiber* akan menghambat proses pembakaran akibat penumpukan arang dan nyala api kurang sempurna, dan jika cangkang digunakan sedikit, panas yang dihasilkan akan rendah, karena cangkang apabila dibakar akan mengeluarkan panas yang besar.
2. Serat (*fiber*), adalah limbah sawit yang dihasilkan dari hasil pengolahan pemerasan buah sawit pada saat proses kempa (*press*) yang berbentuk pendek seperti benang dan berwarna kuning kecoklatan. Setiap pengolahan 1 ton TBS menghasilkan 120 – 140 kg atau 12 – 14% dari hasil pengolahan TBS per ton (Frickle 2009). Panas

yang dihasilkan *fiber* jumlahnya lebih kecil dari yang dihasilkan oleh cangkang, oleh karena itu perbandingan lebih besar *fiber* dari pada cangkang. Disamping *fiber* lebih cepat habis menjadi abu apabila dibakar, pemakaian *fiber* yang berlebihan akan berdampak buruk pada proses pembakaran karena dapat menghambat proses perambatan panas pada pipa *water wall*, akibat abu hasil pembakaran beterbangan dalam ruang dapur dan menutupi pipa *water wall*, di samping mempersulit pembuangan dari pintu *expansion door* (pintu keluar untuk abu dan arang) akibat terjadinya penumpukan yang berlebihan.



Gambar 2 Cangkang Kelapa Sawit



Gambar 3 Serabut Kelapa Sawit

Untuk mengetahuinya dapat menggunakan persamaan berikut (Mahfud, 2010):

$$Gbb = \text{Kapasitas Pabrik} \times \text{Material Balance Fiber} \quad (2)$$

di mana:

*Gbb* = berat bahan bakar yang digunakan (kg)

### Efisiensi Boiler

Efisiensi adalah tingkatan kerja/prestasi kerja dari suatu alat. Sedangkan efisiensi boiler adalah prestasi kerja boiler atau ketel uap yang didapatkan dari perbandingan antara energi keluar dengan masukan energi kimia dari bahan bakar. Untuk tingkat efisiensi pada boiler atau ketel uap berkisar antara 70% – 90% (Agung, 2007).

Efisiensi adalah suatu tingkatan kemampuan kerja dari suatu alat. Sedangkan efisiensi pada boiler atau ketel uap yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan atau diserap oleh fluida kerja di dalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar. Kinerja boiler mempunyai parameter seperti efisiensi dan rasio yang berkurang terhadap waktu. Hal tersebut disebabkan karena buruknya proses pembakaran. Buruknya kinerja boiler dipengaruhi oleh kualitas bahan bakar dan kualitas air. Efisiensi boiler dapat diketahui dengan perhitungan sebagai berikut (Kristono, 2006):

$$\eta = \frac{Q\Delta_{Entalpi}}{Gbb \times N_0} \quad (3)$$

di mana:

- $\eta$  = Efisiensi boiler (%)  
 $Q$  = Kapasitas boiler (kg/jam)  
 $\Delta_{Entalpi}$  = Perbedaan entalpi uap dan entalpi air masuk (kcal/kg)  
 $Gbb$  = Berat bahan bakar yang digunakan (kg/jam)  
 $N_0$  = Nilai kalor bahan bakar (kcal/kg)

## Hasil dan Pembahasan

### Jumlah Bahan Bakar

Berdasarkan data *material balance*, dalam 100% TBS terdapat 13% *fibre* (serabut) dan 5,75% *shell* (cangkang). Jika kapasitas produksi pabrik kelapa sawit adalah 45.000 kg/jam, maka jumlah bahan bakar untuk boiler dapat dilihat pada Tabel 1.

Bahan Bakar	Komposisi (%)	Kapasitas Produksi (kg/jam)	Kapasitas Produksi (kg/jam)
Serabut	13,00%	45.000	5.850
Cangkang	5,75%	45.000	2.588
<b>Jumlah Bahan Bakar</b>			<b>8.438</b>

### Low Heating Value (LHV)

Berdasarkan analisa kadar air dan kadar minyak rata-rata pada serabut dan cangkang diperoleh kadar air, kadar minyak dan *Non Oil Solid* (NOS) untuk serabut adalah 35,78%; 5,014% dan 59,206%. Sedangkan kadar air, kadar minyak dan NOS untuk cangkang adalah 13,33%; 0,98% dan 85,69%. Total kadar air, kadar minyak dan NOS untuk cangkang dan serabut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Komposisi Zat pada Serabut dan Cangkang

Bahan Bakar	Kadar	Persentase (%)	Kapasitas Produksi (kg/jam)	Jumlah Bahan Bakar (kg/jam)
Serabut	Air	35,780	5.850,0	2.093,13
	Minyak	5,014	5.850,0	293,32
	NOS	59,206	5.850,0	3.463,55
Cangkang	Air	13,330	2.587,5	344,91
	Minyak	0,980	2.587,5	25,36
	NOS	85,690	2.587,5	2.217,23

### Efisiensi Boiler

Efisiensi boiler dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Efisiensi Boiler

$T_{\text{superheater}}$ (°C)	$P_{\text{superheater}}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$T_{\text{feed water}}$ (°C)	$T_{\text{blow down}}$ (°C)	$V_{\text{air}}$ (m <sup>3</sup> /jam)	$\eta_{\text{Boiler}}$ (%)
220	19	60	100	22	50,66
220	20	60	100	25	57,86
220	18	65	100	21	48,92
220	20	65	100	22	50,85
220	20	65	100	20	45,77

### Tungku Pengapian (Furnace)

*Furnance* adalah suatu ruangan dapur sebagai penerima bahan bakar untuk pembakaran, yang dilengkapi dengan *firegrate* pada bagian bawah diletakkan rangka bakar sebagai alas bahan bakar, dan pada sekelilingnya adalah pipa-pipa air ketel yang menempel pada dinding tembok dapur yang mendapat atau menerima panas dari bahan bakar (Naibaho,1996).

Ruang bakar terdiri dari dua bagian, yaitu:

1. Ruang pertama berfungsi sebagai ruang pembakaran, sebagai pemanas yg dihasilkan dan diterima langsung oleh pipa-pipa air yg berada di dlm ruangan dapur tersebut (pipa-pipa air) dari drum ke *header* samping kanan/kiri.
2. Ruang kedua merupakan ruang gas panas yg diterima dari hasil pembakaran dalam ruang pertama. Di dalam ruang kedua ini sebagian besar panas dari gas diterima oleh pipa-pipa air drumatas ke drum bawah. Dalam ruang pembakaran pertama udara pembakaran ditiupkan oleh *Blower Forced Draft Fan (FDF)* melalui lubang-lubang kecil disekeliling dinding ruang pembakaran dan melalui kisi-kisi bagian bawah dapur (*Fire grates*). Jumlah udara yang diperlukan diatur melalui 7 klep (*Air Draft Controller*) yang dikendalikan dari panel saklar ketel. Sedangkan dalam ruang kedua, gas panas dihisap *Blower Induced Draft Fan (IDF)* sehingga terjadi aliran panas dari ruangan pertama ke ruang kedua dapur. Pembakaran Di dalam ruang kedua dipasang sekat-sekat sedemikian rupa yang dapat memperpanjang permukaan yang dilalui gas panas, supaya gas panas tersebut dapat memanasi seluruh pipa air, sebagian permukaan luar drum atas dan seluruh bagian luar drum bawah (Naibaho,1996).

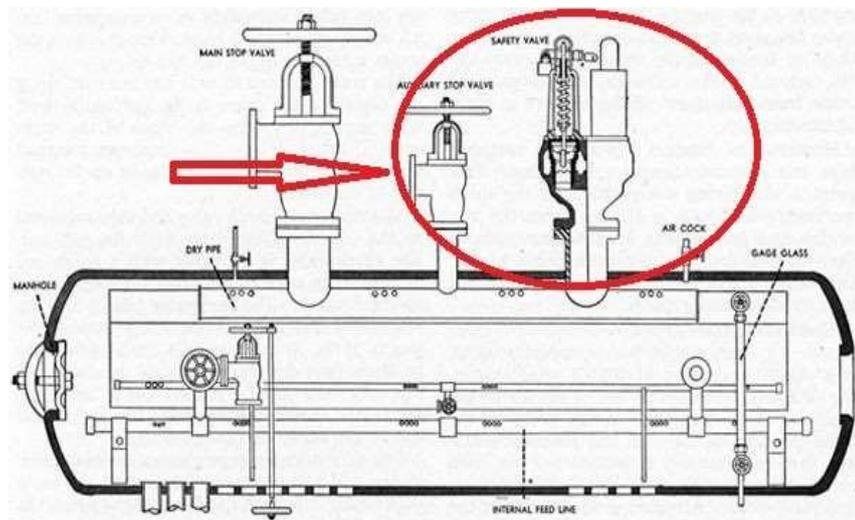
Bagian ini merupakan tempat terjadinya pembakaran bahan bakar yang akan menjadi sumber panas, proses penerimaan panas oleh media air dilakukan melalui pipa yang telah dialiri air, pipa tersebut menempel pada dinding tungku pembakaran. Proses perpindahan panas pada *furnace* terjadi dengan tiga cara:

- Radiasi, dimana akan terjadi pancaran panas dari api atau gas yang akan menempel pada dinding *tube*.
- Konduksi, panas mengalir melalui hantaran dari sisi pipa yang menerima panas ke dalam sisi pipa yang memberi panas pada air.
- Konveksi, panas yang terjadi dengan singgungan molekul-molekul air sehingga panas akan menyebar ke setiap aliran air.

### **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 sekatan-sekat, air yang memiliki suhu rendah akan turun ke bawah dan air yang bersuhu tinggi akan naik ke atas dan menguap.

*Steam drum* terletak di bagian atas, adalah suatu tabung atau bejana yang berisi air dan sebagian uap dengan perbandingan 50%: 50%. Pada *steam drum* itulah pembuatan uap pada ketel terjadi. Di samping sebagai tempat pembuatan uap, juga digunakan sebagai tempat penerima air pengisi ketel. Karena perbedaan suhu pada air pengisian dan air yang berada di dalam *steam drum* dan air yang berada di dalam pipa-pipa, maka terjadilah sirkulasi air di dalam ketel, sehingga air yang bersuhu rendah akan mengalir ke bawah melalui pipa-pipa dan *down corner*. Demikian pula sebaliknya pada air yang bersuhu tinggi akan mengalir ke atas melalui pipa-pipa di sekeliling dapur, akhirnya menguap pada permukaan air dalam *steam drum* (Naibaho, 1996).



Gambar 4 *Steam Drum* (Naibaho, 1996)

## **Water Drum**

Drum bawah berfungsi sebagai tempat pemanasan air ketel yang didalamnya di pasang plat-plat pengumpul endapan lumpur untuk memudahkan pembuangan keluar (*Blow Down*). *Water drum* terletak dibagian bawah, adalah suatu tabung atau bejana yang berisi air sebagai penghubung pipa-pipa ketel dari *steam drum*. Di samping itu, *Water drum* juga berfungsi sebagai tempat pengendapan kotoran-kotoran air dalam ketel, yang tidak menempel pada dinding-dinding ketel, melainkan terlarut dan mengendap. Dengan jalan atau perlakuan *Blow down* maka kotoran-kotoran tersebut akan dapat dibuang dan dikeluarkan dari dalam ketel (Naibaho, 1996).

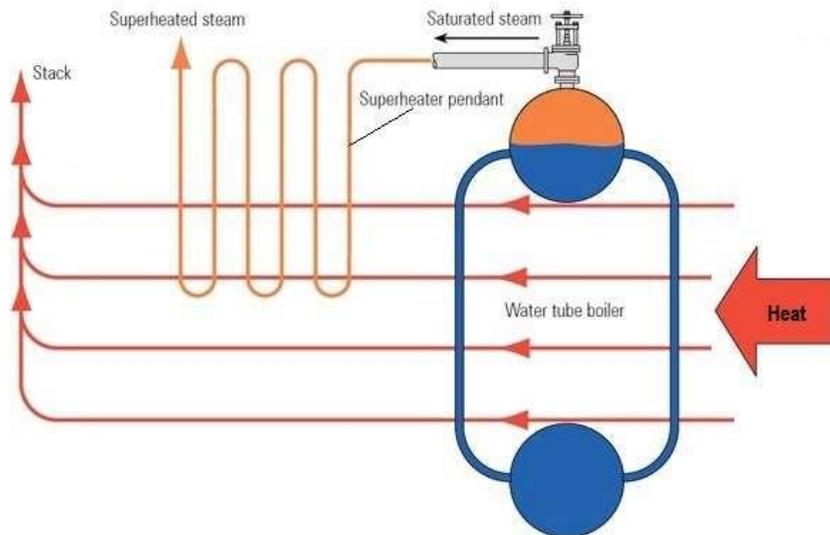
## **Superheater**

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* dan dipanaskan dengan suhu 260°C sampai 350°C hingga uap benar-benar menjadi kering dan dapat digunakan untuk menggerakkan turbin maupun untuk keperluan industri lain.

Pada saat pemanasan pertama, biasanya membutuhkan waktu yang lama untuk membersihkan pipa *superheater* dari air, karena banyak air yang terjebak di pipa *superheater* sesudah diadakan *hydrostatic test*. Cara termudah untuk membuang air tersebut adalah dengan menguapkannya. Cara ini mengakibatkan kontrol dari suhu gas selama penaikan tekanan menjadi sangat penting, untuk mencegah panas berlebihan (*overheating*) pada pipa yang tidak dilalui oleh uap karena terhambat oleh air. Hal tersebut juga mengharuskan pembukaan penuh katup pelepas (*air vent*) pada *superheater* sebelum pemanasan ketel dimulai, dan katub haruslah tetap terbuka sampai dicapai aliran uap dari ketel pada pipa utama  $\pm 10\%$  dari kapasitas ketel. Yang menjadi catatan penting adalah bahwa ada uap mengalir melalui *vent* tidaklah berarti bahwa semua pipa *superheater* telah dilalui uap, beberapa kemungkinan masih mengandung air yang terjebak di dalamnya dan bila pemanasan berlangsung cepat, pada saat itu pipa dapat mengalami panas berlebihan (pada bagian permukaan air yang terjebak) karena tidak ada aliran uap di dalamnya. Pada saat penghentian operasi dai ketel katup pelepas *superheater* harus dibuka sebelum menutup katup uap utama dan juga pada setiap saat dimana uap yang melewati katup utama lebih kecil dari 10% dari kapasitas ketel, seperti yang sudah tersebut di atas. Adapun kemungkinan pipa *superheater* mengalami panas berlebihan pada saat katup uap ditutup bila ketel masih sangat panas, yaitu pada saat baru berhenti. Ketel masih mengandung banyak gas atau abu panas di atas *firegrate* yang masih dapat terbakar.

## **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 normal (suhu luar) yaitu 38°C namun setelah melalui *air heater* suhunya akan meningkat menjadi 230°C sehingga dapat menghilangkan kandungan air dalam udara yang dapat mengganggu proses pembakaran.



Gambar 5 Alur Sketsa Superheater

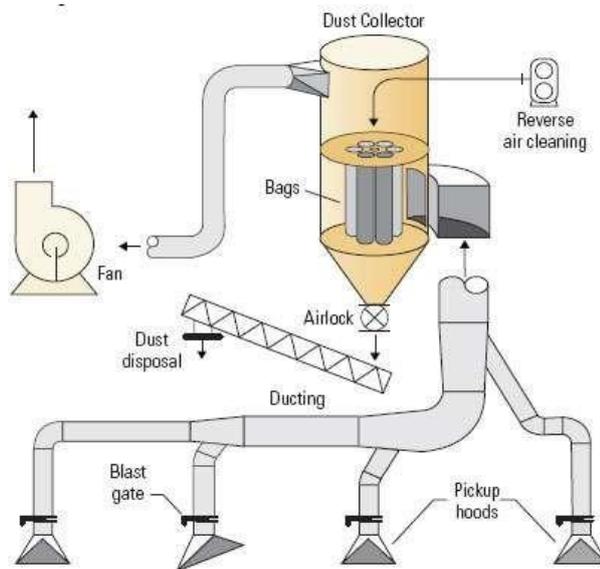
Prinsip kerja *Air heater* yaitu memanaskan udara yang lewat disela-sela pipa dialirkan udara hembusan dari FDF yang lewat di sekitar pipa-pipa yang di dalamnya mengalir gas bekas dari pembakaran bahan bakar. Duabelas udara hembus sebelum melalui *Air heater* mempunyai suhu yang sama dengan udara luar yakni sekitar 38°C, dan setelah melalui *air heater* dapat mencapai suhu antara 200°C – 230°C. Keuntungan penggunaan *air heater* adalah pemanfaatan kalor gas buang. Pembuatan uap lebih cepat.

### **Dust Collector (Pengumpul Abu)/ESP (*Electro Static Precipitator*)**

Bagian ini berfungsi untuk menangkap atau mengumpulkan abu yang berada pada aliran pembakaran sampai dengan gas buang, keuntungan dalam penggunaan alat ini yaitu gas hasil pembakaran yang dibuang bebas dari debu yang dapat mencemari lingkungan dan mengurangi kemungkinan kerusakan pada alat akibat adanya gesekan abu maupun pasir. *Electro Static Precipitator* (ESP) adalah salah satu alternatif penangkap debu dengan efisiensi tinggi (mencapai di atas 90%) dan rentang partikel yang didapat cukup besar. Dengan menggunakan ESP ini, jumlah limbah debu yang keluar dari cerobong diharapkan hanya sekitar 0,16% (efektifitas penangkapan debu mencapai 99,84%).

Keuntungan penggunaan *dust collector* adalah:

1. Gas buang akan menjadi bersih, sehingga tidak mengganggu pencemaran udara.
2. Tidak menjadikan kerusakan alat-alat bantu lainnya, misalnya : pipa-pipa *air heater*, *cashing* IDF yang aus karena gesekan abu, pasir, dsb.
3. Tidak mengganggu jalannya operasi.



Gambar 6 Dust Collector

### Pengatur Pembuangan Gas Bekas (Asap)

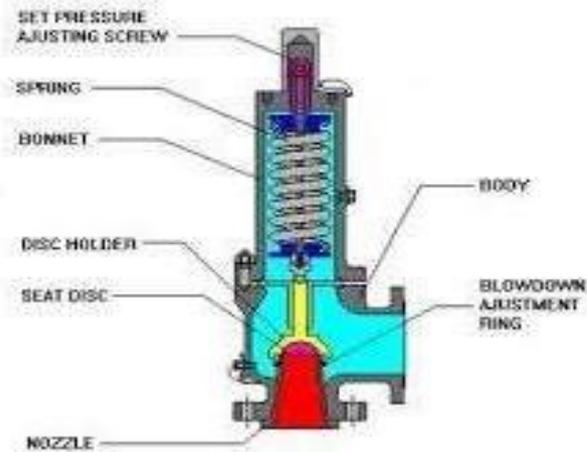
Asap dari ruang pembakaran dihisap oleh blower IDF (*Induced Draft Fan*) melalui *dust collector* selanjutnya akan dibuang melalui cerobong asap (*chimney*). Damper pengatur gas asap diatur terlebih dahulu sesuai kebutuhan sebelum IDF dinyalakan, karena semakin besar damper dibuka maka akan semakin besar isapan yang akan terjadi dari dalam dapur. Cerobong Asap (*chimney*) berfungsi sebagai ventilasi pembuangan panas gas buang atau asap yang dihasilkan oleh *boiler* dari tungku pembakaran keluar menuju atmosfer.



Gambar 7 Cerobong Asap (*Chimney*)

### **Safety Valve (Katup Pengaman)**

Alat ini berfungsi untuk membuang uap apabila tekanan uap telah melebihi standar yang telah ditentukan. katup ini terdiri dari dua buah 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/cm<sup>2</sup>, sedangkan untuk katup pengaman uap kering diatur pada tekanan 20,5 kg/cm<sup>2</sup>.



Gambar 8 Safety Valve

### **Gelas Penduga (Sight Glass)**

Gelas penduga dipasang pada drum bagian atas yang berfungsi untuk mengetahui ketinggian air di dalam drum agar memudahkan pengontrolan jumlah air dalam ketel selama proses operasi berlangsung. Gelas penduga ini harus dicuci secara berkala untuk menghindari terjadinya penyumbatan yang membuat level air tidak dapat dibaca.



Gambar 9 Gelas Penduga (Sight Glass)

## Bahan Bakar Boiler

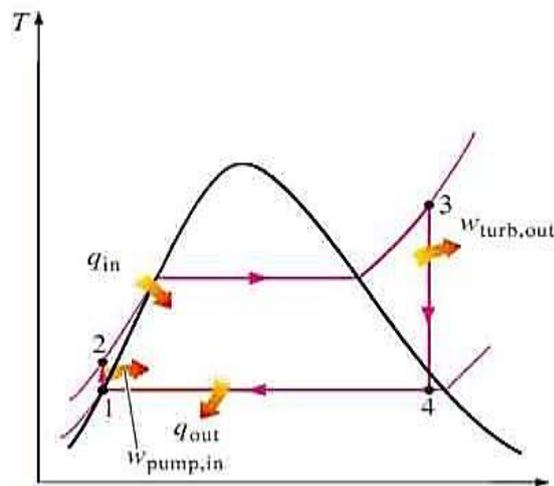
Cangkang dan *fiber* kelapa sawit merupakan limbah padat yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit yang dapat dimanfaatkan sebagai biomassa untuk memenuhi kebutuhan energi dalam pengolahan minyak kelapa sawit melalui pembakaran langsung cangkang dan *fiber*. *Fiber* adalah bahan bakar padat yang berbentuk seperti rambut, serabut ini terdapat dibagian kedua dari buah kelapa sawit setelah kulit buah kelapa sawit, di dalam serabut dan daging buah sawitlah CPO terkandung. Sedangkan cangkang adalah sejenis bahan bakar padat yang berwarna hitam berbentuk seperti batok kelapa dan agak bulat, terdapat pada bagian dalam pada buah kelapa sawit yang diselubungi oleh serabut (Napitupulu 2015).

Tabel 4 Nilai Kalor Serabut dan Cangkang

Bahan Bakar	Jumlah (kg)	% to TBS	Kalor Jenis (kJ/kg)	Jumlah Energi (GJ/hr)
Serabut	10.000	12,50	2.637	26,37
Cangkang	4.600	5,75	4.105	18,83

## Siklus Rankine

Siklus *Rankine* adalah siklus *termodinamika* yang mengubah panas menjadi kerja. Panas disuplai secara eksternal pada aliran tertutup yang biasanya menggunakan air sebagai fluida yang bergerak. Siklus ini menghasilkan 80% dari seluruh energi listrik yang dihasilkan di seluruh dunia.



Gambar 10 Diagram Rankine

Prinsip kerja siklus *Rankine* adalah air masuk ke pompa pada tingkat keadaan 1 sebagai cairan jenuh kemudian dikompresi secara isentropik sampai tekanan operasi boiler/ketel pada tingkat keadaan 2. Kenaikan temperatur air selama kompresi isentropik seiring penurunan volume spesifik air tersebut. Air masuk boiler sebagai cairan terkompresi (*sub-cooled*) pada kondisi 2 kemudian mengalami perubahan fasa sampai menjadi uap *super-heat* (*steam-generator*) pada tingkat keadaan 3. Boiler pada dasarnya adalah alat penukar kalor di mana penambahan kalor

berasal dari pembakaran gas, reaktor nuklir, atau pun sumber kalor lainnya.

Uap *super-heat* (panas-lanjut) pada kondisi 3 ini kemudian masuk ke turbin, di mana uap mengalami ekspansi secara isentropik dan menghasilkan kerja untuk memutar poros yang umumnya terhubung dengan generator listrik (genset). Tekanan dan temperatur uap turun selama proses tersebut sampai pada tingkat keadaan 4, di mana uap masuk ke kondensor. Pada kondisi 4 ini, biasanya uap berada pada kondisi fasa campuran uap dan cairan jenuh dengan kualitas uap yang tinggi. Kondensor pada dasarnya adalah alat penukar kalor di mana kalor dibuang ke medium dingin seperti sungai, danau, atau pun ke udara lingkungan sekitar. Uap meninggalkan kondensor sebagai cairan jenuh yang kemudian masuk pompa untuk melengkapi proses.

Perlu diperhatikan di sini bahwa area di bawah kurva proses pada diagram *T-s* adalah perpindahan kalor sebagai proses reversibel internal. Sehingga area di bawah proses 2 – 3 adalah kalor yang ditambahkan ke fluida kerja (dalam hal ini air), sedangkan area di bawah kurva untuk proses 4 – 1 adalah kalor yang dibuang oleh fluida kerja pada kondensor. Selisih antara keduanya adalah kerja *netto* yang dihasilkan selama siklus.

## Simpulan

Berdasarkan hasil pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa:

1. Komponen-komponen *boiler* yang paling utama, yaitu *deaerator*, dapur pembakaran (*furnace*), drum ketel, *superheater*, *air heater*, *safety valve* dan cerobong asap (*chimney*).
2. Untuk bahan bakar *boiler* menggunakan serabut (*fiber*) dan cangkang (*shell*) dari limbah hasil pengolahan kelapa sawit. Setiap pengolahan 1 ton TBS menghasilkan 120 – 140 kg atau 12% – 14% serabut dari hasil pengolahan TBS per ton sedangkan setiap pengolahan 1 ton TBS menghasilkan 50 – 90 kg atau 5% – 9 % cangkang dari hasil pengolahan TBS per ton, di mana dalam 100% TBS terdapat 13% *fibre* (serabut) dan 5,75% *shell* (cangkang).

## Daftar Pustaka

- Sugiharto, A. (2016). Tinjauan Teknis Pengoperasian Dan Pemeliharaan Boiler. *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 6(2).
- Agung, N. (2007). *Menaikan Efisiensi Boiler dengan Memanfaatkan Gas Buang Boiler*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Djokosetyarjo, J.M. (1993). *Ketel Uap*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Effendi, Z., Zakwan, dan Nainggolan, A.F. (2020). *Analisa Kehilangan Energi Pada Boiler Pabrik Kelapa Sawit*. Medan: Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian Agrobisnis Perkebunan.
- Ginanjari, T., Junaidi, Gita Suryani Lubis, G.S., dan Simanjuntak, Y.M. (2019). *Analisa Kebutuhan Bahan Bakar Boiler dengan Melakukan Uji Kalori pada Pabrik Kelapa Sawit PT Sentosa Prima Agro*. *Skripsi*. Pontianak: Universitas Tanjungpura.

- Hikmawan, O., Naufa, M., dan Simarmata, L.H. (2020). Pemanfaatan Cangkang dan Serat Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar *Boiler*. *Tugas Akhir*. Medan: Politeknik Teknologi Kimia Industri
- Hudori, M. (2017). Perbandingan kinerja perkebunan kelapa sawit Indonesia dan Malaysia. *Jurnal Citra Widya Edukasi*, 9(1), 93-112.
- Kristono, S.N., & Hudori, M. (2019). Pengendalian Throughput Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Individual Moving Range (I-MR) Chart. *Jurnal Citra Widya Edukasi*, 11(1), 1-10.
- Kristono, S.N. (2006). *Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit*. Bekasi: Politeknik CitraWidya Edukasi.
- Kunarto, (2019). Analisa Efisiensi Boiler Pabrik Kelapa Sawit dengan Menggunakan Bahan Bakar Fiber dan Cangkang. *Skripsi*. Program Studi Teknik Mesin. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Naibaho, P.M. (1998). *Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit*. Medan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Napitupulu, F.H. (2006). Pengaruh Nilai Kalor (*Heating Value*) Suatu Bahan Bakar Terhadap Perencanaan Volume Ruang Bakar Ketel Uap Berdasarkan Metode Penentuan Nilai Kalor Bahan Bakar Yang Dipergunakan. *Jurnal Sistem teknik Industri*. 7(1), 60-65.
- Nazaruddin. (2017). *Optimasi Bahan Bakar Untuk Mengetahui Kinerja Boiler*. Pekanbaru: Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru.
- Pardamean, M. (2011). *Sukses Membuka Kebun dan Pabrik Kelapa Sawit*. Bogor: Penebar Swadaya.
- Parinduri, L., Arfah, M. (2019). *Pendekatan Energi dalam Pengelolaan Limbah Pabrik Kelapa Sawit*. Medan: Universitas Islam Sumatera Utara.
- Rahardja, I.B., dan Paryatmo, W. (2017). Analisa dan Optimasi Sistem PLTGU Biomassa Gas Metan dengan Daya 20 MW. *Jurnal Teknologi*, 9(2), 65-76.
- Rahardja, I.B., Daraquthni, Z., dan Ramadhan, A.I. (2019). Potential of Palm Oil Solid Waste as Steam Power Fuel (Case Study at XYZ Palm Oil Mill). *Journal of Applied Sciences and Advanced Technology*, 2(2), 33-38.