

**ANALISA PEMBAKARAN PADA RUANG BAKAR BOILER  
UNTUK KEBUTUHAN 30 TON / JAM TEKANAN 20 BAR  
DENGAN BAHAN BAKAR CANGKANG DAN FIBER**

**SKRIPSI**

**OLEH:**

**M. AIDIL ADHARI SIREGAR  
12.813.0055**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2017**

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan pengaturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 20 Agustus 2017

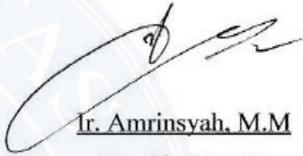


M. Aidil Adhari Siregar  
12.813.0055

Judul Skripsi : Analisa Pembakaran Pada Ruang Bakar Boiler Untuk Kebutuhan  
30 Ton / Jam Tekanan 20 Bar Dengan Bahan Bakar Cangkang  
Dan Fiber  
Nama : M. Aidil Adhari Siregar  
NPM : 12.813.0055  
Fakultas : Teknik  
Jurusan : Mesin

Disetujui Oleh  
Komisi Pembimbing

  
Ir. H. Amrinsyah Nasution, M.T  
Pembimbing I

  
Ir. Amrinsyah, M.M  
Pembimbing II

Mengetahui

  
Dekan  
  
(Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc)

  
Ka. Program Studi  
  
(Bobby Umroh, S.T, M.T)

Tanggal Lulus :

Judul Skripsi : Analisa Pembakaran Pada Ruang Bakar Boiler Untuk Kebutuhan  
30 Ton / Jam Tekanan 20 Bar Dengan Bahan Bakar Cangkang  
Dan Fiber

Nama : M. Aidil Adhari Siregar

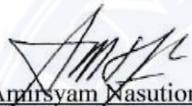
NPM : 12.813.0055

Fakultas : Teknik

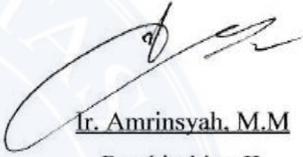
Jurusan : Mesin

Disetujui Oleh

Komisi Pembimbing

  
Ir. H. Amrinsyah Nasution, M.T

Pembimbing I

  
Ir. Amrinsyah, M.M

Pembimbing II

Mengetahui

Dekan



(Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc)

Ka. Program Studi



(Bobby Umroh, S.T, M.T)

Tanggal Lulus :

## **ABSTRACT**

*The boiler room plays a crucial role to conduct the combustion and resulting heat energy to boiling water in the pipe. The study uses the capacity of steam at 30 ton/hour, 20 bar of pressure, and employs the shell and fiber fuel motoda. Then it is resulting from the higher calorific value (HHV) as much as 4789.413 kcal/kg bb and the lower calorific value (LHV) as much as 4477.7196 kcal/kg bb for the shell fuel. Meanwhile, the fiber fuel has the higher calorific value (HHV) as much as 4595.2295 kcal/kg bb and the lower calorific value (LHV) as much as 4291.4471 kcal/kg bb. Thus the value of blended shell and fiber is reached as much as 4338.0152 kcal/kg bb (LHV) up to 4643.7754 kcal/kg bb (HHV). As the conclusion, while conducting the process of boiling water in the pipe, the type and quality of fuel should be observed so that the combustion system will be work properly and avoiding the excessive heat loss.*

**Keywords:** Fuel, Boiler, Calorific Value.

## **ABSTRAK**

*Ruang bakar dalam boiler memegang peranan yang sangat penting dalam melakukan pembakaran untuk menghasilkan energi panas yang digunakan untuk merebus air di dalam pipa. Dengan kapasitas uap 30 ton uap/jam tekanan 20 bar dengan menggunakan motoda bahan bakar cangkang dan fiber. Maka didapat nilai kalor atas (HHV) sebesar 4789,413 kkal/kg bb, serta pada nilai kalor bawah (LHV) sebesar 4477,7196 kka/kg bb pada bahan cangkang. Sedangkan pada bahan fiber terdapat nilai kalor atas (HHV) sebesar 4595,2295 kkal/kg bb, serta nilai kalor bawah (LHV) sebesar 4291,4471 kkal/kg bb, sehingga nilai campuran cangkang dan fiber diperoleh sebesar 4338,0152 kkal/kg(LHV) bb s/d 4643,7754 kkal/kg bb(HHV). Untuk proses perebusan air didalam pipa, sehingga perlu diperhatikan jenis dan kualitas bahan bakar yang digunakan agar sistem pembakaran dapat bekerja dengan baik dan tidak terjadi kerugian kalor yang berlebihan.*

**Kata kunci :** Bahan bakar, Boiler, Nilai kalor

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada ALLAH SWT atas segala karuniaNya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini ialah Sistem Pembangkit Tenaga dengan judul Analisa Pembakaran Pada Ruang Bakar Boiler Untuk Kebutuhan 30 Ton/Jam Tekanan 20 Bar Dengan Bahan Bakar Cangkang Dan Fiber.

Terwujudnya penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang telah mendorong dan membimbing penulis, baik tenaga, ide-ide, maupun pemikiran. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

Yth. Bapak Bobby Umroh,ST.MT selaku Ketua Program Studi Universitas Medan Area yang telah menyetujui dan menerima skripsi penulis.

Yth. Bapak Ir.H.Amirsyam Nasution,MT dan Bapak Ir.Amrinsyah,MM selaku Dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu selama proses pengajuan judul sampai dengan selesainya pembuatan skripsi ini.

Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya.

Semoga skripsi ini bermanfaat.

Medan, 20 Agustus 2017

Penulis

(M. Aidil Adhari Siregar)

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2 Perumusan Masalah .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3 Tujuan Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4 Manfaat Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

### **BAB II LANDASAN TEORI**

2.1 Sejarah Perkembangan Boiler .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2 Definisi Boiler ( Ketel Uap ) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3 Klasifikasi Ketel Uap .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.1 Berdasarkan Fluida Yang Mengalir Dalam Pipa .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.2 Berdasarkan Penggunaannya .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.3 Berdasarkan Susunan Pipa, Drum dan Burner Ketel .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.4 Berdasarkan Letak Dapur ( <i>Furnace position</i> ) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.5 Berdasarkan Jumlah Lorong ( boiler tubes) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.6 Berdasarkan bentuk dan letak pipa. ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.7 Berdasarkan Sistem Peredaran Air ( water circulation) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.8 Berdasarkan Jenis Bahan Bakar .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

- 2.3.9 Berdasarkan Tekanan Kerja Ketel .....**Error! Bookmark not defined.**
- 2.3.10 Berdasarkan Kapasitas Uap .....**Error! Bookmark not defined.**
- 2.4 Bagian-Bagian Utama Ketel Uap Pipa Air **Error! Bookmark not defined.**
  - 2.4.1 Ruang bakar .....**Error! Bookmark not defined.**
  - 2.4.2 Drum Ketel Uap .....**Error! Bookmark not defined.**
  - 2.4.3 Pipa Waterwall.....**Error! Bookmark not defined.**
  - 2.4.4 Pipa Backpass .....**Error! Bookmark not defined.**
  - 2.4.5 Cerobong Asap.....**Error! Bookmark not defined.**
  - 2.4.6 Header .....**Error! Bookmark not defined.**
- 2.5 Sistem Reaksi Pembakaran .....**Error! Bookmark not defined.**
  - 2.5.1 Hal – hal yang harus diperhatikan dalam proses pembakaran .... **Error! Bookmark not defined.**
- 2.6 Proses Pengolahan Kelapa Sawit .....**Error! Bookmark not defined.**
  - 2.6.1 Unit Rebusan (sterilizer) .....**Error! Bookmark not defined.**
  - 2.6.2 Unit Pengaduk ( Digester).....**Error! Bookmark not defined.**
  - 2.6.3 Unit Pemecah (Cake Braker Conveyor)**Error! Bookmark not defined.**
  - 2.6.4 Tanki Minyak Mentah (Crude Oil Tank)**Error! Bookmark not defined.**
  - 2.6.5 Tanki pemisah (Continous Settling Tank)**Error! Bookmark not defined.**
  - 2.6.6 Unit Pengeringan Biji (Nut silo Dryer).**Error! Bookmark not defined.**
  - 2.6.7 Unit Pengeringan Inti .....**Error! Bookmark not defined.**
  - 2.6.8 Tanki Masakan Minyak (Clear Oil Tank)**Error! Bookmark not defined.**
  - 2.6.9 Tanki Minyak Lumpur ( Sludge Oil Tank)**Error! Bookmark not defined.**
  - 2.6.10 Tanki Minyak Timbun (Storage Oil Tank)**Error! Bookmark not defined.**
  - 2.6.11 Unit Decanter .....**Error! Bookmark not defined.**
  - 2.6.12 Tanki Air Panas ( Hot water Tank)....**Error! Bookmark not defined.**
  - 2.6.13 Unit Air Umpan ( Dearator).....**Error! Bookmark not defined.**
- 2.7 Bahan Bakar Boiler .....**Error! Bookmark not defined.**
  - 2.7.1 Bahan Bakar Padat .....**Error! Bookmark not defined.**
  - 2.7.2 Bahan Bakar Gas.....**Error! Bookmark not defined.**
- 2.8 Nilai kalor (Heating Value).....**Error! Bookmark not defined.**
- 2.9 Perpindahan Panas Pada Ketel Uap .....**Error! Bookmark not defined.**

- 2.9.1 Perpindahan Panas Secara Pancaran atau Radiasi **Error! Bookmark not defined.**
- 2.9.2 Perpindahan Panas Secara Aliran Atau Konveksi **Error! Bookmark not defined.**
- 2.9.3 Perpindahan Panas Secara Konduksi ... **Error! Bookmark not defined.**

### **BAB III METODE PENELITIAN**

- 3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan ..... **Error! Bookmark not defined.**
  - 3.1.1 Tempat Penelitian ..... **Error! Bookmark not defined.**
  - 3.1.2 Waktu Penelitian ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 3.2 Bahan Penelitian..... **Error! Bookmark not defined.**
  - 3.2.1 Bahan Penelitian ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 3.3 Studi Literatur ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 3.4 Pengambilan Data ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 3.5 Data Hasil Pengamatan ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 3.6 Analisa Hasil Pengamatan..... **Error! Bookmark not defined.**
- 3.7 Kesimpulan & Saran ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 3.8 Konsep Penelitian..... **Error! Bookmark not defined.**

### **BAB IV PEMBAHASAN**

- 4.1 Nilai Kalor Bahan Bakar ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 4.2 Kebutuhan Bahan Bakar ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 4.3 Kebutuhan Udara Pembakaran..... **Error! Bookmark not defined.**
- 4.4 Kalor Pembakaran Pada Dapur Boiler ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 4.5 Kalor Pembentukan Uap Saturasi ..... **Error! Bookmark not defined.**

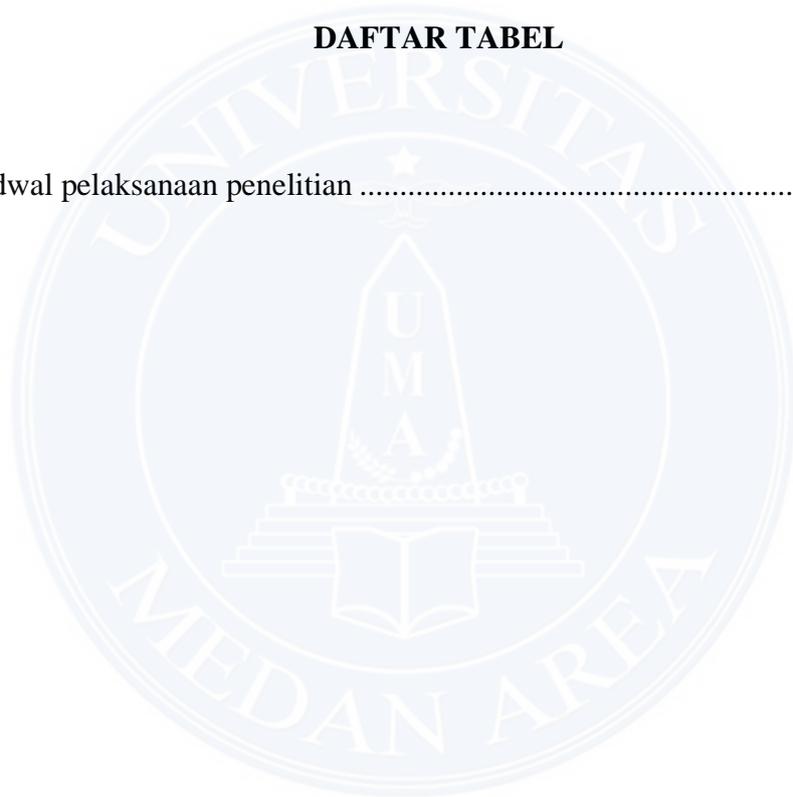
### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

- 5.1 Kesimpulan ..... **Error! Bookmark not defined.**
- 5.2 Saran..... **Error! Bookmark not defined.**

**DAFTAR PUSTAKA ..... **Error! Bookmark not defined.****

**DAFTAR TABEL**

3.1 Jadwal pelaksanaan penelitian .....37



## DAFTAR GAMBAR

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Gambar 2.1 Mesin Uap Aeolipile.....	5
Gambar 2.2 Mesin Uap Bertekanan .....	7
Gambar 2.3 Mesin Uap Pemompa Air .....	8
Gambar 2.4 Mesin Newcomen.....	9
Gambar 2.5 Mesin Uap James Watt.....	10
Gambar 2.6 Mesin Ketel Pipa Air .....	14
Gambar 2.7 M Ketel Pipa Air .....	15
Gambar 2.8 Mesin Ketel Stasioner.....	16

### BAB III METODE PENELITIAN

Gambar 3.1 Serabut (fiber) Kelapa Sawit .....	39
Gambar 3.2 Flow Chart Metodologi Penelitian .....	42

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditi hasil perkebunan yang menjadi andalan Indonesia saat ini untuk mendatangkan devisa negara. Salah satu provinsi yang menyumbang hasil perkebunan kelapa sawit terbesar yaitu Sumatera Utara dengan luas areal lahan mencapai 1.290.977 ha dengan jumlah produksi 3.996.465 ton (Statistik Kelapa Sawit Indonesia, 2005-2009). Sejalan dengan semakin meningkatnya produksi kelapa sawit dari tahun ke tahun, maka akan terjadi pula peningkatan volume limbahnya, baik berupa limbah padat maupun limbah cair. Limbah padat kelapa sawit dapat berupa tandan kosong, cangkang, dan *fiber* (sabut) sedangkan limbahnya berupa bahan-bahan organik dengan kadar yang tinggi.

Dewasa ini, kebutuhan energi semakin besar dalam industri yang melibatkan proses pemanasan dan perebusan. Boiler merupakan pilihan yang menguntungkan untuk memenuhi tujuan ini. Untuk memenuhi kebutuhan energi yang semakin meningkat sementara cadangan bahan bakar yang semakin hari semakin menipis serta tuntutan keamanan yang tinggi bagi manusia dan lingkungan, maka dilakukan suatu perencanaan boiler dengan efisiensi yang tinggi.

Ruang bakar dalam boiler memegang peranan yang sangat penting dalam melakukan pembakaran untuk menghasilkan energi panas yang digunakan untuk

merebus air di dalam pipa. Dengan kapasitas uap 30 ton uap / jam. Maka perlu dirancang ruang bakar boiler tersebut.

Pembakaran adalah sebuah reaksi antara oksigen dan bahan bakar yang menghasilkan panas. Oksigen diambil dari udara yang berkomposisi 21 % oksigen serta 79 % nitrogen (persentase volume), atau 77% oksigen serta 23 % nitrogen (persentase massa). Unsur terbanyak yang terkandung dalam bahan bakar adalah karbon, hydrogen, dan sedikit sulfur.

Pembakaran sempurna adalah pembakaran dengan proporsi yang sesuai antara bahan bakar dengan oksigen. Pada pembakaran yang lebih banyak oksigen dari pada bahan bakar, campuran tersebut dinamakan sebagai campuran kaya. begitu juga sebaliknya, apabila bahan bakar yang digunakan lebih banyak dari pada oksigen, maka campurannya disebut campuran miskin. Nilai dari  $x$  dan  $y$  di atas bergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan. Nilai  $x$  adalah fraksi massa untuk kandungan Carbon, dan  $y$  fraksi massa untuk kandungan Hidrogen dalam bahan bakar.

Cangkang dan *fiber* kelapa sawit merupakan salah satu limbah yang dimiliki oleh pabrik kelapa sawit yang kemudian dimanfaatkan sebagai bahan bakar pada stasiun boiler.

Berdasarkan hal tersebut, maka penulis melakukan analisa tugas akhir ini. Adapun bahan bakar yang digunakan adalah cangkang dan fiber kelapa sawit.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan dari latar belakang, penulis mencoba merumuskan masalah yang akan dicari pemecahannya baik dari teori – teori yang telah ada maupun dengan analisa – analisa yang akan dilakukan. Rumusan masalah yang akan di cari sebagai berikut :

1. Bagaimana cara kerja sistem ketel uap
2. Berapa besar jumlah konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan
3. Berapa besar jumlah kebutuhan udara pada proses pembakaran
4. Bagaimana perhitungan efisiensi pada ketel uap

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian dari tugas akhir ini yang hendak dicapai adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui spesifikasi dan cara kerja sistem ketel uap
2. Mengetahui nilai kalor campuran cangkang dan fiber
3. Mengetahui konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan.
4. Mengetahui kebutuhan udara pada proses pembakaran
5. Mengetahui kebutuhan kalor pembentukan uap saturasi

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Beberapa manfaat yang akan di dapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menambah wawasan dan pengetahuan mahasiswa bagaimana cara kerja sistem ketel uap yang digunakan pada pabrik

2. Mengoptimalkan bahan bakar terhadap ruang bakar agar mencapai nilai efisiensi yang tinggi
3. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi sumbangan pemikiran bagi ilmu pengetahuan serta dapat memberi informasi kepada masyarakat khususnya kepada industri yang bergerak di bidang boiler



## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Sejarah Perkembangan Boiler

Beribu – ribu tahun manusia bersahat dengan uap air, semenjak manusia bisa melakukan pekerjaan merebus (boiling) tetapi hanya baru 2 abad ini dapat menemukan cara mempergunakan uap untuk kebutuhannya.

Catatan paling awal dari sejarah teknologi mesin uap dapat kita lihat ke kota Alexandria pada tahun 75 M . Disana terdapat seorang ahli matematika bernama Hero, yang juga dikenal dengan nama “Heros atau “Heron” yang menulis tiga buku tentang mekanik dan sifat-sifat udara serta memperkenalkan rancangan dari mesin uap sederhana. Mesin ini dikenal dengan nama Aeolipile atau Aeolypile, atau juga disebut dengan Eeolipile.



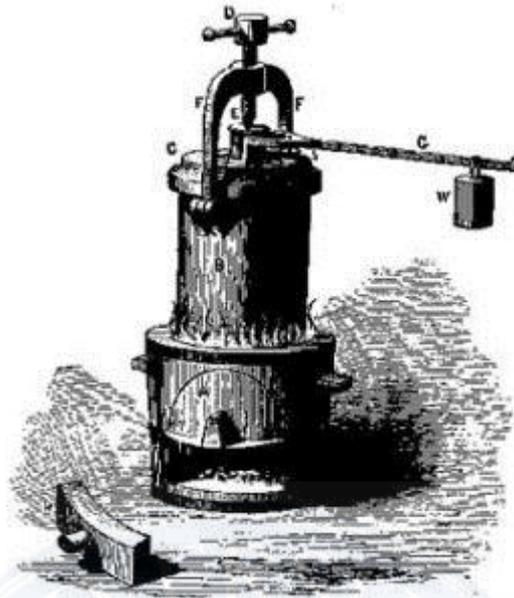
Gambar 2.1 Mesin Uap Aeolipile

Prinsip kerja mesin ini adalah dengan menggunakan tekanan uap untuk memutar bola (bejana) yang berisi air sebagai bahan baku penghasil uap. Bola (bejana) tersebut dapat berputar karena adanya dorongan dari uap yang keluar dari

nosel yang terletak pada sisi samping bejana. Metode Hero yang mengubah tenaga uap menjadi gerak ini merupakan dasar bagi para penerusnya untuk mengembangkan teknologi mesin uap di masa yang akan datang.

Giovanni Battista della Porta atau Gambattista della Porta atau juga dikenal dengan nama John Baptist Porta adalah seorang sarjana, Polymath, dan dramawan yang berasal dari Napoli, Italia. Dia adalah ilmuwan yang pertama kali menemukan peranan uap dalam menciptakan ruang hampa. Teori yang dikemukakannya adalah bahwa jika air dikonversikan menjadi uap dalam wadah tertutup dapat menghasilkan peningkatan tekanan. Demikian pula sebaliknya, jika uap dikondensasikan menjadi air dalam ruangan tertutup maka akan menghasilkan penurunan tekanan. Teori inilah yang nantinya akan menjadi konsep utama rancangan pada pengembangan mesin uap yang dilakukan oleh para penerusnya.

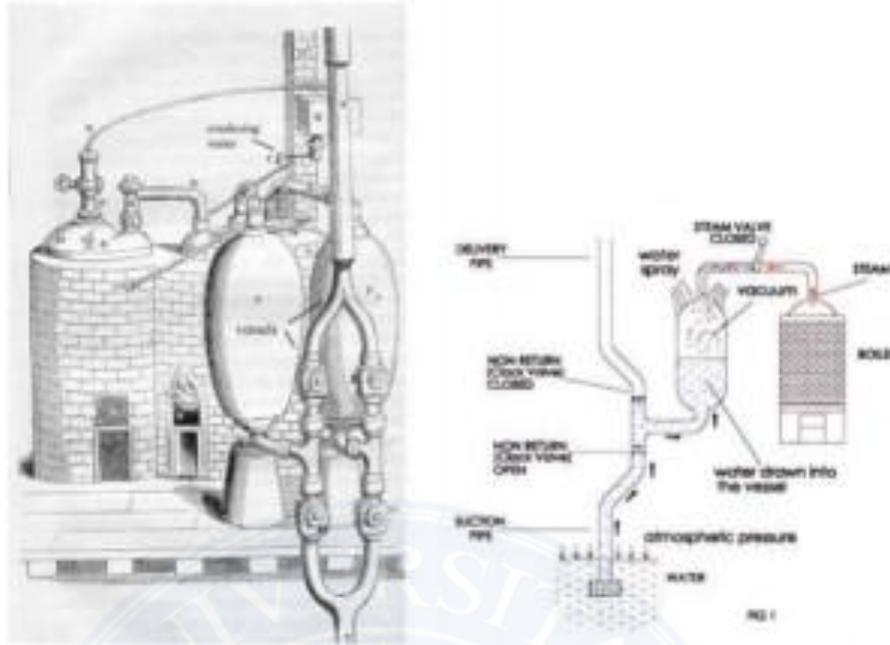
Pada tahun 1679 seorang fisikawan, ahli matematika, dan penemu berkebangsaan Prancis menemukan suatu alat yang dinamakan *steam digester* yang menjadi cikal bakal ditemukannya mesin uap dan *presser cooker* (panci masak bertekanan). Penemuan tersebut ia kerjakan bersama-sama dengan rekannya yang bernama Robert Boyle, seorang filsuf, fisikawan, kimiawan, penemu, dan ilmuwan berkebangsaan Irlandia.



Gambar 2.2 Mesin Uap Bertekanan

Alat ini berbentuk seperti sebuah wadah dengan penutup yang digunakan untuk menghasilkan uap bertekanan. Untuk menjaga agar alat tersebut tidak meledak, Papin melengkapi penemuannya tersebut dengan katup yang dapat bergerak naik turun sebagai tempat pembuangan uap untuk mengatur tekanan didalam wadahnya. Selain itu Papin juga mengembangkan mesinnya dengan menambahkan torak di bagian atas silinder yang tertutup yang akan bergerak naik dan turun sesuai dengan teori yang ditemukan oleh Giovanni Battista della Porta. Konsep inilah yang kemudian mengawali ditemukannya mesin uap pertama di dunia yang menggunakan piston dan silinder mesin.

Thomas Savery adalah seorang insinyur yang bekerja pada militer Inggris dan penemu berkebangsaan Inggris. Pada tahun 1698 ia menemukan mesin uap pertama di dunia. Penemuannya ini diawali ketika ia bekerja pada sebuah tambang batubara yang mengalami kesulitan dalam memompa air yang digunakan untuk mengairi tambang.



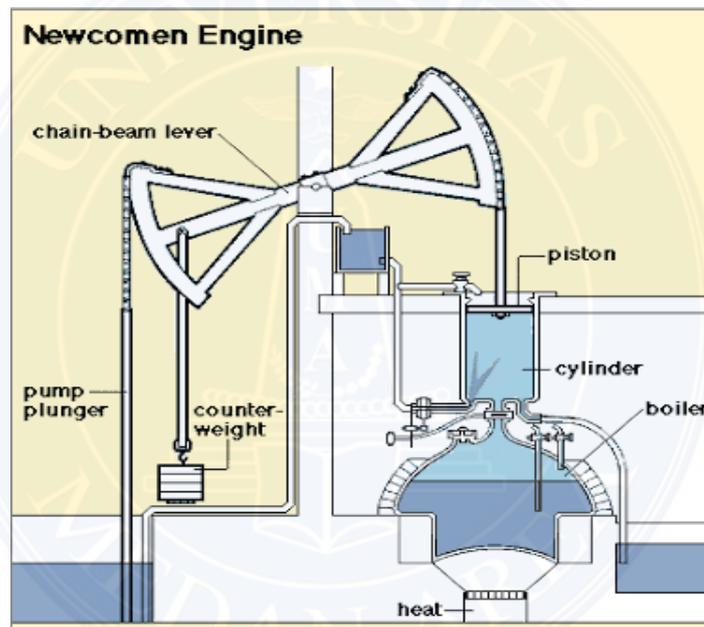
Gambar 2.3 Mesin Uap Pemompa Air

Prinsip kerja mesin ini adalah dengan menaikkan tekanan uap di dalam ketel. Uap tersebut kemudian dimasukkan ke bejana kerja, sehingga memungkinkan untuk meniup air keluar melalui pipa bawah. Ketika temperatur dalam bejana menjadi panas karena dipenuhi uap keran antara ketel dan bejana ditutup, jika perlu bagian luar bejana didinginkan. Hal ini mengakibatkan uap didalamnya berkondensasi, menciptakan vakum parsial dan tekanan atmosfer mendorong air ke atas melalui pipa bawah hingga bejana penuh. Pada titik ini keran di bawah bejana ditutup, dan keran antara bejana dan pipa atas dibuka untuk mengalirkan pipa dari ketel. Tekanan uap yang tinggi akan memaksa air keluar dari bejana.

Thomas Newcomen (1663 – 1729) merupakan seorang pandai besi Inggris yang menemukan mesin uap atmosfer, sebuah perbaikan terhadap desain Thomas Savery sebelumnya. Mesin uap Newcomen menggunakan kekuatan tekanan

atmosfer untuk bekerja. Pada mesin Newcomen ini intensitas tekanan tidak dibatasi oleh tekanan uap, tidak seperti apa yang dipatenkan Thomas Savery pada tahun 1698.

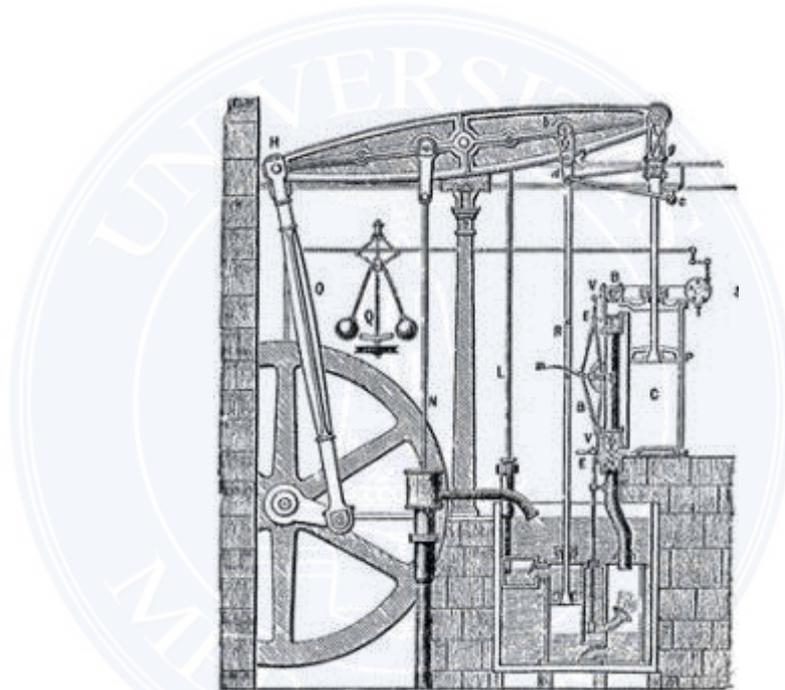
Pada tahun 1712, Thomas Newcomen bersama dengan John Calley membangun mesin pertama di atas sebuah lubang tambang yang terisi air dimana mesin tersebut digunakan untuk memompa air keluar tambang. Mesin Newcomen ini merupakan pendahulu mesin James Watt dan salah satu bagian teknologi yang paling menarik yang berkembang selama abad ke-17.



Gambar 2.4 Mesin Newcomen

Gambar mesin di atas tersebut menunjukkan posisi boiler berada tepat dibawah silinder. Uap pertama kali dialirkan dari boiler menuju ke silinder. Ketika piston mencapai puncak, air disemprotkan kedalam silinder untuk mendinginkan uap yang membentuk sebuah vakum. Piston terdorong turun oleh berat udara yang berada di atasnya (15 pond per inci<sup>2</sup> dari luas piston). Siklus tersebut terjadi secara berulang-ulang.

James Watt adalah seorang insinyur mesin dan penemu asal Skotlandia. Pada tahun 1769 James Watt mematenkan kondenser terpisah yang terhubung ke silinder oleh sebuah katup. Tidak seperti mesin uap milik Newcomen, pada mesin uap milik James Watt ini terdapat sebuah kondensor untuk mendinginkan silinder yang panas. Mesin James Watt ini segera menjadi desain untuk semua mesin uap modern dan memicu terjadinya revolusi industri. Satuan daya Watt diambil dari nama James Watt dimana 1 Watt besarnya setara dengan  $1/746$  HP.



Gambar 2.5 Mesin Uap James Watt

Perbedaan mendasar dari mesin James Watt ini dengan mesin milik Thomas Newcomen adalah pada letak kondensor yang digunakan. Jika pada mesin Newcomen ruang untuk mengkondensasikan uap menyatu dengan silinder kerja, maka pada mesin James Watt ruang untuk mengkondensasikan uap terpisah dari silinder. Selain itu mekanisme penggerak torak dari mesin James Watt menggunakan gerakan putar dari roda penggerak yang berputar, tidak seperti pada

mesin Newcomen yang menggunakan gerakan translasi (bolak-balik) dari pompa air.

## 2.2 Definisi Boiler ( Ketel Uap )

Boiler/ketel uap merupakan bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau *steam* berupa energi kerja. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air panas atau *steam* pada tekanan dan suhu tertentu mempunyai nilai energi yang kemudian digunakan untuk mengalirkan panas dalam bentuk energi kalor ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi *steam*, maka volumenya akan meningkat sekitar 1600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga sistem *boiler* merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik.

Energi kalor yang dibangkitkan dalam sistem *boiler* memiliki nilai tekanan, temperatur, dan laju aliran yang menentukan pemanfaatan *steam* yang akan digunakan. Berdasarkan ketiga hal tersebut sistem boiler mengenal keadaan tekanan-temperatur rendah (*low pressure/LP*), dan tekanan-temperatur tinggi (*high pressure/HP*), dengan perbedaan itu pemanfaatan *steam* yang keluar dari sistem boiler dimanfaatkan dalam suatu proses untuk memanaskan cairan dan menjalankan suatu mesin (*commercial and industrial boilers*), atau membangkitkan energi listrik dengan merubah energi kalor menjadi energi mekanik kemudian memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik (*power boilers*).

Namun, ada juga yang menggabungkan kedua sistem *boiler* tersebut, yang memanfaatkan tekanan-temperatur tinggi untuk membangkitkan energi listrik, kemudian sisa *steam* dari turbin dengan keadaan tekanan-temperatur rendah dapat dimanfaatkan ke dalam proses industri.

Sistem *boiler* terdiri dari sistem air umpan, sistem *steam*, dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan *steam*. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan dari sistem air umpan, penanganan air umpan diperlukan sebagai bentuk pemeliharaan untuk mencegah terjadi kerusakan dari sistem *steam*. Sistem *steam* mengumpulkan dan mengontrol produksi *steam* dalam *boiler*. *Steam* dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan *steam* diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem.

Dewasa ini instalasi tenaga uap sekurang-kurangnya terdiri dari pembangkit uap atau yang dikenal dengan sebutan ketel uap yang berfungsi sebagai sarana untuk mengubah air menjadi uap bertekanan. Ketel uap dalam bahasa Inggris disebut dengan nama boiler berasal dari kata boil yang berarti mendidihkan atau menguapkan, sehingga boiler dapat diartikan sebagai alat pembentukan uap yang mampu mengkonversi energi kimia dari bahan bakar padat ( padat cair dan gas ) yang menjadi energi panas (Syamsir,1998).

Uap yang dihasilkan dari ketel uap merupakan gas yang timbul akibat perubahan fase cairan menjadi uap atau gas melalui cara pendidihan yang memerlukan sejumlah energi dalam pembentukannya. Zat cair yang dipanaskan akan mengakibatkan pergerakan moleku-molekul menjadi cepat, sehingga melepas diri dari lingkungannya dan berubah menjadi uap. Air yang berdekatan dengan bidang pemanas akan memiliki temperature yang lebih tinggi (berat jenis yang lebih rendah) dibandingkan dengan air yang bertemperatur rendah, sehingga air yang bertemperatur tinggi akan naik kepermukaan dan air yang bertemperatur rendah akan turun. Peristiwa ini akan terjadi secara terus menerus (sirkulasi) hingga berbentuk uap. Uap yang dihasilkan oleh ketel uap dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan antara lain : Utilitas suatu daya pembangkit tenaga listrik dan industri.

Boiler merupakan peralatan yang berfungsi untuk memanaskan fluida dari keadaan cair hingga menjadi campuran maupun uap lanjut dengan menggunakan metode External Combustion (Pembakaran Luar). Boiler yang sering digunakan adalah steam boiler (ketel uap) yang sering digunakan dalam pembangkit, namun boiler sendiri dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori.

### **2.3 Klasifikasi Ketel Uap**

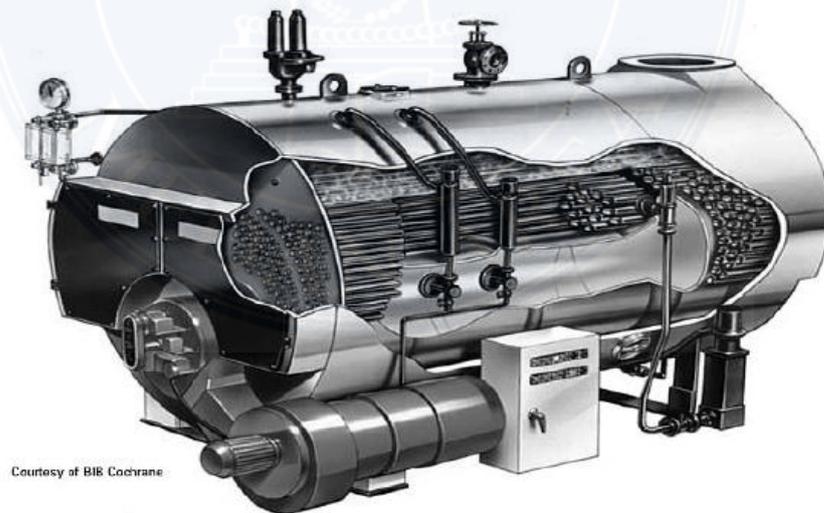
Secara Umum ketel uap dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa bagian, yaitu berdasarkan fluida yang mengalir dalam, pipa, pemakaian, jumlah lorong, letak dapur, bentuk dan letak pipa, system peredaran air bahan bakar, tekanan kerja ketel dan kapasitas uap (Syamsir,1998).

### 2.3.1 Berdasarkan Fluida Yang Mengalir Dalam Pipa

Berdasarkan fluida kerja yang mengalir didalam dapur, maka ketel dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

#### 1. Ketel pipa api (Fire tube boiler)

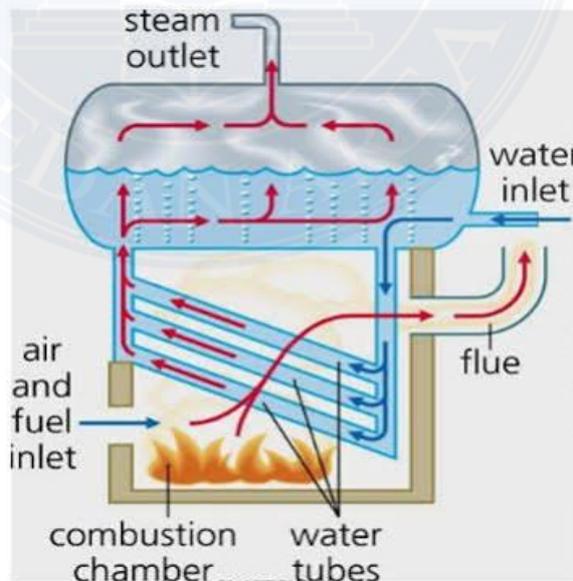
Fire Tube Boiler merupakan jenis boiler yang cukup tua, dimana gas panas hasil pembakaran dilewatkan pada tube, sementara air berada dalam sisi shell, sehingga terjadi perpindahan panas yang mengakibatkan air berubah menjadi uap. Fire tube boiler merupakan boiler yang biaya penggunaannya relatif murah, mudah dioperasikan dan memiliki efisiensi pembakaran yang bagus. Namun terbatas hanya untuk kapasitas yang rendah sekitar 2,5 tons/jam, dengan tekanan  $17,5 \text{ kg/cm}^2$ . Bahan yang digunakan dapat berupa gas, minyak bakar atau bahan bakar padat. Contoh ketel pipa api: Ketel Scoth, ketel cochan dan Corn Wall.



Gambar 2.6 Ketel Pipa Api

## 2. Ketel pipa air (Water tube boiler)

Water Tube Boiler mempunyai proses, Berbanding terbalik dengan fire tube boiler, dimana air yang dialirkan di dalam tube, sedangkan proses pembakaran berada di luar tube (shell). Boiler ini dapat berupa tipe tunggal atau ganda. Pada boiler ini tekanan yang terjadi pada uap relatif tinggi sehingga sering dimanfaatkan dalam pembangkit. Kapasitas uap dapat mencapai 4.500 – 12.000 kg/jam. Untuk pembakaran menggunakan bahan bakar minyak bakar atau gas, water tube boiler disediakan dalam bentuk paket. Namun untuk penggunaan boiler dengan bahan bakar padat, secara umum belum tersedia dalam bentuk paket. Pada boiler jenis ini memungkinkan untuk efisiensi panas yang lebih tinggi namun kurang toleran terhadap kualitas feedwater hasil dari plant pengolahan air. Contoh ketel pipa air : Ketel Babcock and Wilcock, Ketel La mont, Ketel Benson, Ketel Takuma.



Gambar 2.7 Ketel Pipa Air

### 2.3.2 Berdasarkan Penggunaannya

Berdasarkan penggunaannya ketel uap dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Ketel Stasioner ( Stasionary Boiler )

Ketel stasioner adalah ketel yang berada pada pondasi yang tetap , seperti untuk pembangkit tenaga, untuk industri dan lain-lain.



Gambar 2.8 Mesin Ketel Stasioner

2. Ketel bergerak (mobile boiler)

Ketel bergerak adalah ketel yang dipasang pada pondasi yang bergerak atau berpindah- pindah, contohnya ketel lokomotif.

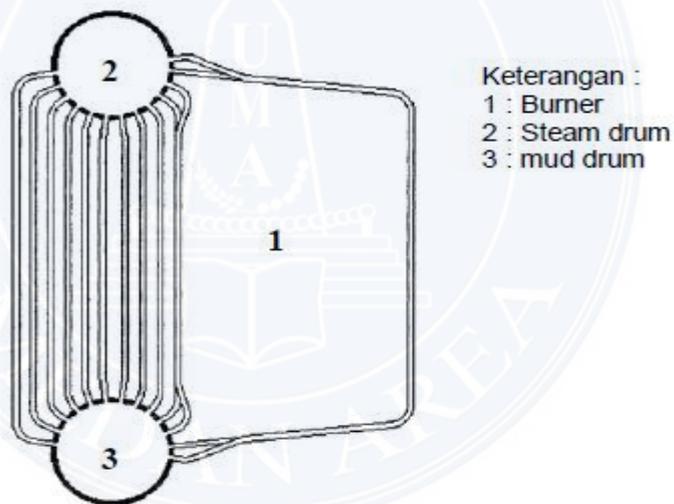


Gambar 2.9 Mesin Ketel bergerak

### 2.3.3 Berdasarkan Susunan Pipa, Drum dan Burner Ketel

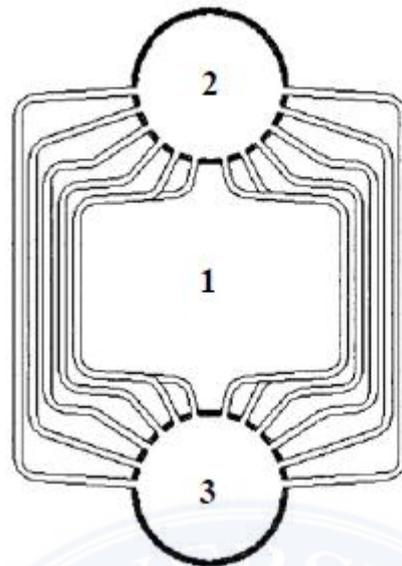
Klasifikasi Ketel Uap Pipa Air berdasarkan susunan Pipa, Drum dan Burner Ketel, Jenis tersebut dibedakan menjadi tipe D, tipe O dan tipe A. Penyusunan pipa pipa ketel ini sering dibuat menjadi nama Ketel tersebut. Misalnya Ketel uap type D, Ketel uap type A dan Type O. Ketel uap jenis ini sering disebut dengan Ketel industri (*Industrial Boiler*) atau Ketel Paket (*Package Boiler*). Hal ini karena Ketel ini sering digunakan pada industri sebagai penghasil uap untuk proses produksi pabrik atau pembangkit daya dengan kapasitas kecil dan pendistribusiannya sering dalam bentuk paket.

#### A. Ketel Uap Type D



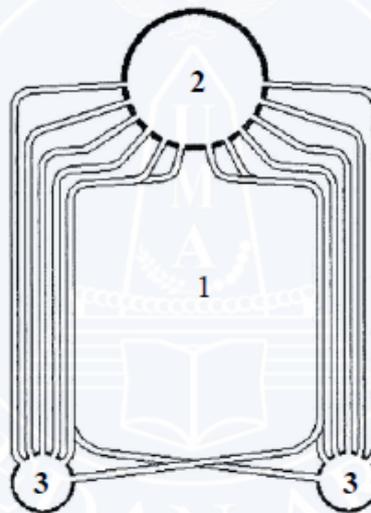
#### B. Ketel Uap Type O

Ketel uap tipe O terdiri dari 2 Drum yaitu Drum uap dan Drum Header air. Susunan Pipa-pipa Downcomer dan Pipa Evaporator Membentuk Huruf O. Burner (Pembakar) ditempatkan pada tengah antara pipa pipa Downcomer dan Evaporator (1). Seperti Gambar berikut ini.



Keterangan :  
 1 : Burner  
 2 : Steam drum  
 3 : mud drum

C. Ketel Uap Type A



Keterangan :  
 1 : Burner  
 2 : Steam drum  
 3 : mud drum

**2.3.4 Berdasarkan Letak Dapur (*Furnace position*)**

Berdasarkan letak dapur ketel uap dapat diklsifikasikan sebagai berikut :

- a. Ketel dengan pembakaran dalam ( internal fired steam boiler) Ketel pada bagian jenis ini memiliki dapur dibagian dalam ketel
- b. Ketel dengan pembakaran diluar (external fired steam boiler) . Ketel pada jenis ini memilki dapur pembakaran dibagian luar ketel.

### **2.3.5 Berdasarkan Jumlah Lorong ( boiler tubes)**

Berdasarkan jumlah lorong ketel uap dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Ketel lorong tunggal (single tubes steam boiler)
- b. Ketel dengan lorong ganda ( multi tubes steam boiler)

### **2.3.6 Berdasarkan bentuk dan letak pipa.**

Berdasarkan bentuk & letak pipa ketel uap dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Ketel dengan pipa lurus, bengkok dan lekak-lekuk (stragih, bent, and sinous tubuler heating surface).
- b. Ketel dengan pipa miring datar dan pipa miring tegak ( horizontal inclined or tubuler heating surface)

### **2.3.7 Berdasarkan Sistem Peredaran Air ( water circulation)**

Berdasarkan sistem peredaran airnya ketel uap dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- a. Ketel dengan peredaran alami ( natural circulation Boiler) Peredaran air dalam pada ketel terjadi secara alami akibat dari perbedaan berat jenis air pada saat dipanaskan sehingga terjadi aliran konveksi alami.
- b. Ketel dengan peredaran paksa ( forced circulation steam boiler) Pada ketel jenis ini peredaran air terjadi karena adanya suatu alat bantu yaitu pompa sentrifugal yang digerakkan dengan motor listrik.

### **2.3.8 Berdasarkan Jenis Bahan Bakar**

Berdasarkan jenis bahan bakar yang digunakan maka ketel uap dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Ketel uap dengan bahan bakar padat ( batubara, cangkang, serabut, kayu dan lain-lain)
- b. Ketel uap dengan bahan bakar cair (minyak bumi, bensin, solar)
- c. Ketel uap dengan bahan bakar gas (gas alam, gas bumi dan lain-lain)
- d. Ketel uap dengan bahan bakar nuklir (uranium)

### **2.3.9 Berdasarkan Tekanan Kerja Ketel**

Berdasarkan tekanan kerjanya ketel uap dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Ketel uap tekanan rendah, dibawah 5 kg/cm<sup>2</sup>
- b. Ketel uap tekanan menengah, antara 5-30 kg /cm<sup>2</sup>
- c. Ketel uap tekanan tinggi, antara 30-325 kg/cm<sup>2</sup>

### **2.3.10 Berdasarkan Kapasitas Uap**

Berdasarkan uap yang dihasilkan ketel uap dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Ketel uap dengan kapasitas uap rendah (dibawah 10 ton uap/jam)
- b. Ketel uap dengan kapasitas uap sedang (10- 60 ton uap /jam)
- c. Ketel uap dengan kapasitas uap besar ( di atas 60 ton uap/jam)

## **2.4 Bagian-Bagian Utama Ketel Uap Pipa Air**

### **2.4.1 Ruang bakar**

Ruang bakar berfungsi sebagai tempat pembakaran bahan bakar. Bahan bakar dan udara dimasukkan kedalam ruang bakar sehingga terjadi pembakaran. Dari pembakaran bahan bakar dihasilkan sejumlah panas dan nyala api/gas asap.

Dinding ruang bakar umumnya dilapisi dengan pipa-pipa yang berisi air ketel (waterwall). Air dalam pipa-pipa ini senantiasa bersirkulasi untuk mendinginkan dinding pipa dan sekaligus berfungsi sebagai pipa penguap. Dari drum atas air turun melalui pipa Downcomer dan pada pipa-pipa water wall air naik kembali menuju drum atas. Semakin cepat laju peredaran air, pendinginan dinding pipa bertambah baik dan kapasitas uap yang dihasilkan bertambah besar. Kebersihan dinding pipa waterwall sangat mempengaruhi besarnya laju perpindahan panas. Pengotoran dinding pipa dapat terjadi pada permukaan luar akibat jelaga atau dapat terjadi pada permukaan dalam akibat kerak ketel. Kotoran yang melekat pada dinding pipa waterwall akan memperkecil kapasitas yang dihasilkan ketel. Lapisan kerak pada dinding pipa sebelah dalam dapat pula menyebabkan naiknya tekanan ketel.

Secara umum bentuk ruang bakar terdiri atas dua jenis yaitu:

1. Berbentuk silinder
2. Berbentuk kotak

#### **2.4.2 Drum Ketel Uap**

Drum ketel berfungsi sebagai tempat penampungan air dan uap. dalam drum terjadi pemisahan antar air dan gelembung-gelembung uap. gelembung uap akan pecah dan menimbulkan percikan bintik-bintik air. Akibat perbedaan massa jenis, uap naik kebagian atas drum, sedangkan air sebelah bawah.

### **2.4.3 Pipa Waterwall**

Pada ruang bakar ketel uap komponen yang paling penting adalah pipa waterwall, dimana panas yang dihasilkan pada pembakaran bahan bakar diserap waterwall, sehingga air yang terdapat pada pipa waterwall mengalami kenaikan temperatur sampai berubah menjadi uap.

### **2.4.4 Pipa Backpass**

Suatu komponen ketel uap yang berfungsi untuk mengalirkan uap jenuh dari drum bawah ke drum atas akibat adanya perbedaan temperature. Pipa backpass juga berfungsi untuk mentransfer panas. Pipa ini diletakkan antara drum atas dan drum bawah.

### **2.4.5 Cerobong Asap**

Cerobong asap berfungsi untuk membuang gas asap yang tidak dipakai lagi ke udara bebas, untuk mengurangi polusi disekitar instalasi ketel, Sehingga proses pembakaran dapat berlangsung dengan baik. Dengan cerobong asap pengeluaran gas asap dapat lebih sempurna.

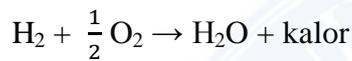
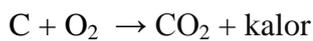
### **2.4.6 Header**

Header merupakan suatu media penampung air dan uap yang disirkulasi ke pipa-pipa waterwall. Header pada ketel uap terdiri dari 4 ( empat) bagian yaitu :

1. Header Depan (Front Header)
2. Header Belakang (Rear Header)
3. Header Samping kiri (Division Wall side header)
4. Header Samping kanan (Furnace Side header)

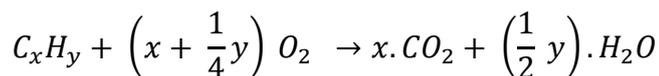
## 2.5 Sistem Reaksi Pembakaran

Pembakaran adalah sebuah reaksi antara oksigen dan bahan bakar yang menghasilkan panas. Oksigen diambil dari udara yang berkomposisi 21 % oksigen serta 79 % nitrogen (persentase volume), atau 77% oksigen serta 23 % nitrogen (persentase massa). Unsur terbanyak yang terkandung dalam bahan bakar adalah karbon, hydrogen, dan sedikit sulfur. Pembakaran pada umumnya terdiri dari tiga proses, yaitu :



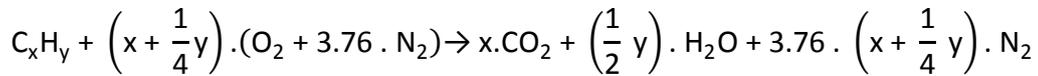
Tiga senyawa dan panas yang dihasilkan tersebut disebut juga sebagai hasil pembakaran.

Pembakaran sempurna adalah pembakaran dengan proporsi yang sesuai antara bahan bakar dengan oksigen. Pada pembakaran yang lebih banyak oksigen dari pada bahan bakar, campuran tersebut dinamakan sebagai campuran kaya. begitu juga sebaliknya, apabila bahan bakar yang digunakan lebih banyak dari pada oksigen, maka campurannya disebut campuran miskin. Reaksi untuk pembakaran sempurna adalah :



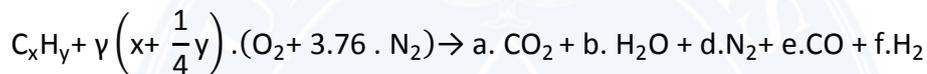
Nilai dari x dan y di atas bergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan. Nilai x adalah fraksi massa untuk kandungan Carbon, dan y fraksi massa untuk kandungan Hidrogen dalam bahan bakar.

Namun, kandungan dari udara bebas sepenuhnya bukan mengandung oksigen, karena bercampur dengan nitrogen (N<sub>2</sub>). Sehingga reaksi stoikiometrinya juga sedikit berbeda dari dasar reaksi pembakaran sempurna.



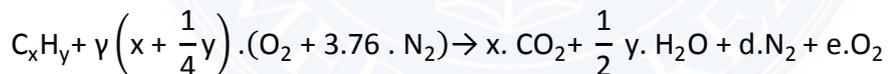
Namun, ada kalanya juga proses pembakaran tidak terjadi pada komposisi ideal antara bahan bakar dengan udara. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, proses yang tidak pada kondisi ideal ini bisa terbagi menjadi dua, yaitu pembakaran kaya dan pembakaran miskin

- **Proses pembakaran kaya**



Dari reaksi diatas dapat dilihat bahwa proses pembakaran kaya menghasilkan senyawa lain yaitu karbon monoksida (CO) dan Hidrogen (H<sub>2</sub>). Untuk pembakaran kaya, memiliki satu kriteria yaitu nilai  $\gamma > 1$

- **Proses pembakaran miskin**



Gas yang dihasilkan dari pembakaran kaya berbeda dari gas yang dihasilkan dari pembakaran miskin. Pada pembakaran miskin hanya menghasilkan gas oksigen (O<sub>2</sub>). Untuk pembakaran miskin juga memiliki satu kriteria yaitu  $\gamma < 1$

### 2.5.1 Hal – hal yang harus diperhatikan dalam proses pembakaran

Sebelumnya telah dibahas reaksi kimia pembakaran secara teoritis. Namun pada kenyataannya, proses pembakaran ini akan menghasilkan gas – gas atau sisa

– sisa hasil pembakaran lainnya yang tidak disebutkan pada reaksi tersebut. Untuk memperoleh hasil pembakaran yang baik, maka proses pembakaran harus memperhatikan parameter – parameter seperti *mixing* (pencampuran), udara, temperatur, dan kerapatan. Berikut ini merupakan hal – hal yang harus diperhatikan dalam proses pembakaran yaitu :

1. *Mixing*

Agar pembakaran dapat berlangsung dengan baik, maka diperlukan proses pencampuran antara bahan bakar yang digunakan dengan udara pembakaran. Pencampuran yang baik dapat mengkondisikan proses pembakaran berlangsung dengan sempurna.

2. Udara

Dalam proses pembakaran, udara pembakaran harus diperhatikan, karena dapat menentukan apakah pembakaran tersebut berlangsung dengan sempurna atau tidak sempurna. Pemberian udara yang cukup dapat mencegah pembakaran yang tidak sempurna, sehingga CO dapat bereaksi lagi dengan O<sub>2</sub> untuk membentuk CO<sub>2</sub>.

3. Temperatur

Bila temperatur tidak mencapai atau tidak bisa dipertahankan pada temperatur nyala dari bahan bakar, maka pembakaran tidak akan berlangsung atau terhenti

4. Waktu

Sebelum terbakar, bahan bakar akan mengeluarkan *volatile meter* agar dapat terbakar. Waktu pada saat bahan bakar melepas *volatile meter* itulah yang dinamakan sebagai waktu pembakaran atau *time delay*

## 5. Kerapatan

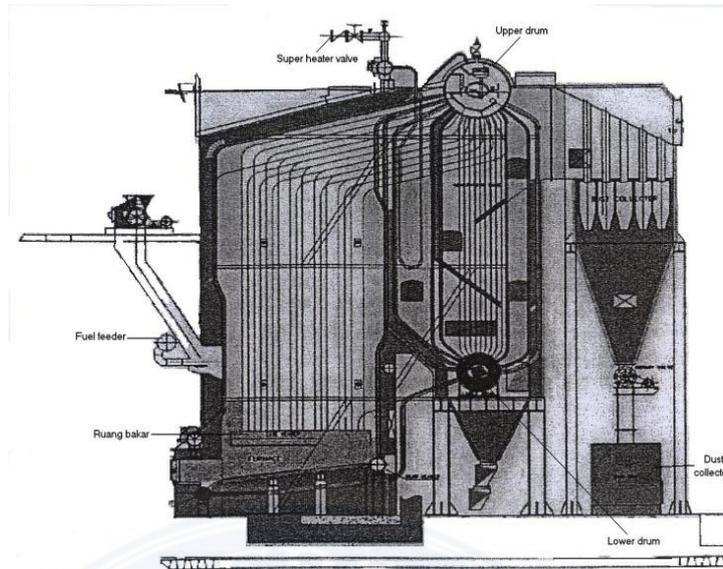
Kerapatan yang cukup (untuk pembuatan) diperlukan guna menjaga kelangsungan pembakaran.

### 2.6 Proses Pengolahan Kelapa Sawit

Minyak kelapa sawit diperoleh dari Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit, yaitu dari daging buah dan inti. Untuk memperoleh minyak tersebut harus diproses lebih lanjut agar menghasilkan minyak yang sebanyak – banyaknya dengan losses yang serendah – rendahnya.

Dalam pabrik kelapa sawit Ketel uap (Boiler) merupakan jantung dari sebuah pabrik kelapa sawit. Dimana, ketel uap ini lah yang menjadi sumber tenaga dan sumber uap yang akan dipakai untuk mengolah kelapa sawit. Ketel uap merupakan suatu alat konversi energi yang merubah Air menjadi Uap dengan cara pemanasan dan panas yang dibutuhkan air untuk penguapan diperoleh dari pembakaran bahan bakar pada ruang bakar ketel uap.

Uap (energi kalor) yang dihasilkan ketel uap dapat digunakan pada semua peralatan yang membutuhkan uap di pabrik kelapa sawit, terutama turbin. Turbin disini adalah turbin uap dimana sumber penggerak generatornya adalah uap yang dihasilkan dari ketel uap. selain turbin alat lain di pabrik kelapa sawit yang membutuhkan uap seperti di sterilizer (Alat untuk memasak TBS) dan distasiun pemurnian minyak (Klarifikasi). Oleh karena itu kualitas uap yang dihasilkan harus sesuai dengan kebutuhan yang ada di pabrik kelapa sawit tersebut. karena jika tidak akan mengganggu proses pengolahan di pabrik kelapa sawit.



Gambar 2.10 Boiler yang digunakan di Pabrik Kelapa Sawit

### 2.6.1 Unit Rebusan (sterilizer)

Kegunaan dari perebusan buah kelapa sawit antara lain untuk menghambat kadar kenaikan asam bebas, mempermudah proses pemipilan, melunakkan daging, mempersiapkan biji agar tidak mudah pecah dan menguapkan air yang terdapat dalam tandan buah segar. Kalor yang dibutuhkan untuk proses rebusan adalah :

$$Q_{ste} = m_{tbs} C_p \Delta T \quad 2.1$$

### 2.6.2 Unit Pengaduk ( Digester)

Unit pengaduk (digester) berfungsi untuk melepaskan daging buah dari biji kelapa sawit dengan pengaduk yang terdiri dari beberapa pisau pengaduk. Unit pengaduk berbentuk silinder vertical, mempunyai poros yang dilengkapi dengan pisau pengaduk yang digerakkan oleh electromotor. Besarnya kalor yang dibutuhkan oleh digester adalah :  $Q_{ste} = m_{br} C_p \Delta T$  2.2

### 2.6.3 Unit Pemecah (Cake Braker Conveyor)

Serabut (fibre) dan biji atau (nut) yang dihasilkan dari proses pengempaan (Screw Press) masuk ke unit gorengan (Cake Breaker Conveyor). Untuk mengeringkan serabut dan biji yang masih mengandung air dan sekaligus membawa serabut dan biji ke unit pemisah serabut dan biji. Uap dimasukkan pada bagian bawah gorengan dengan system pemantelan. Serabut dan biji yang sudah kering akan dimasukkan ke unit pemisah serabut dan biji (fibre /nut separating coloum). Kalor yang dibutuhkan untuk proses pengeringan adalah:

$$Q_{cbc} = m C_p \Delta T \quad 2.3$$

### 2.6.4 Tanki Minyak Mentah (Crude Oil Tank)

Pada tanki minyak mentah akan dilakukan pemanasan minyak mentah yang bercampur dengan air dan lumpur. Tujuan pemanasan adalah untuk mempermudah proses pemompaan minyak mentah ke unit tanki pisah (Continuos Setling Tank). Besar kalor yang dibutuhkan untuk pemanasan adalah:

$$Q_{cot} = m C_p \Delta T \quad 2.4$$

### 2.6.5 Tanki pemisah (Continous Settling Tank)

Pemberian uap pada tanki pemisah akan mempercepat proses pemisahan. Pemberian uap dilakukan dengan dua cara yaitu : pemberian uap dengan cara semprotan (injeksi) bersamaan dengan masuknya minyak sebanyak 75% dari jumlah uap yang diberikan :  $Q_{inj} = 0,75 [(mL_a) m C_p \Delta T]$  2.5

### **2.6.6 Unit Pengeringan Biji (Nut silo Dryer)**

Uap yang masuk ke (Nut Silo Dryer ) dimanfaatkan untuk memanaskan udara. Dimana udara panas untuk mengeringkan biji agar inti tidak melekat pada cangkang. Kalor yang dibutuhkan unit pengeringan biji adalah :

$$Q_{nsd} = m C_p \Delta T \quad 2.6$$

### **2.6.7 Unit Pengeringan Inti**

Semua ini akan dikeringkan pada unit pengeringan inti sebelum dimasukkan kedalam storage kernel tempat penyimpanan sementara. Proses pengeringan dilakukan dengan memanfaatkan udara panas . besarnya kalor yang dibutuhkan adalah :  $Q_{ksd} = m C_p \Delta T$  2.7

### **2.6.8 Tanki Masakan Minyak (Clear Oil Tank)**

Minyak yang masuk ke clear oil tank juga masih mengandunga air dan lumpur, sehinga proses pengendapan kembali dilakukan. Pemberian uap pada tanki masakan minyak akan membantu proses pengendapan kembali dilakukan. Pemberian uap pada tanki masakan minyak akan membantu proses pengendapan. Besarnya kalor yang dibutuhkan adalah :  $Q_{cot} = m C_p \Delta T$  2.8

### **2.6.9 Tanki Minyak Lumpur ( Sludge Oil Tank)**

Pada sludge oil tank juga dilakukan pengendapan proses pengendapan, karena lumpurnya masih mengandung minyak. Minyak yang dihasilkan akan di proses kembali pada unit decanting dan self strainer (penyaringan sendiri)

sebelum dimasukkan kembali keunit tanki pemisah. Untuk memperlancar proses pengendapan sejumlah air akan disuplai ke sludge oil tank. Besarnya kalor untuk tanki minyak lumpur:  $Q_{sot} = (m C_p \Delta T_1) + (m C_p \Delta T_2)$  2.9

#### **2.6.10 Tanki Minyak Timbun (Storage Oil Tank)**

Tanki minyak timbun tempat penyimpanan minyak yang telah diolah sebelum didistribusikan. Temperature minyak dipertahanankan untuk menjaga kualitas minyak hasil olahan. Kalor yang dibutuhkan sebesar :

$$Q_{sot} = m C_p \Delta T \quad 2.10$$

#### **2.6.11 Unit Decanter**

Lumpur hasil olahan dari tanki minyak lumpur, akan diolah kembali di unit decanter karena masih mengandung minyak. Minyak yang dihasilkan dari unit decanter akan dipompakan kembali keunit tanki pemisah. Untuk memperlancar proses pengendapan sejumlah air akan di suplai ke sludge oil tank . besarnya kalor untuk tanki minyak lumpur :  $Q_{de} = m C_p \Delta T$  2.11

#### **2.6.12 Tanki Air Panas ( Hot water Tank)**

Tanki air panas adalah tempat penyediaan air panas yang dibutuhkan dalam proses pengolahan kelapa sawit. Pemanasan air panas pada unit hot water tank sampai pada temperature  $95^{\circ}\text{C}$  . Uap masuk Hot Water tank pada tekanan  $3 \text{ kg/ cm}^2$ .

### **2.6.13 Unit Air Umpan ( Dearator)**

Unit air umpan adalah tempat pengolahan air sebelum dimasukkan ke drum ketel bagian atas. Temperature air yang dimasukkan ke bagian ketel adalah  $95^{\circ}\text{C}$

## **2.7 Bahan Bakar Boiler**

Bahan bakar yang digunakan didalam ketel uap pada umumnya diklasifikasikan sebagai berikut:

- a. Bahan bakar padat
- b. Bahan bakar cair
- c. Bahan bakar gas

### **2.7.1 Bahan Bakar Padat**

Bahan bakar yang terdapat di bumi kita berasal dari zat –zat organik. Bahan bakar padat mengandung unsur-unsur antara lain zat arang atau karbon (C), Hidrogen (H), zat asam atau oksigen O, zat lemas atau nitrogen (N), Belereng (S), abu dan air yang ke semuanya itu terikat dalam suatu persenyawaan kimia.

### **2.7.2 Bahan Bakar Cair**

Bahan bakar berasal dari minyak bumi. Minyak bumi didapat dari dalam tanah dengan cara mengebornya di ladang-ladang minyak dan memompanya ke atas permukaan bumi, untuk selanjutnya diolah lebih lanjut menjadi berbagai jenis minyak bakar. Minyak bumi yang berwarna coklat tua sampai kehitam-hitaman, terdiri dari campuran persenyawaan zat cair arang (C dan H) yang terbagi menjadi jenis-jenis :

- a. Bersifat parafinis (parafinic base), yaitu persenyawaan zat cair arang yang membentuk rangkaian yang panjang sering disebut sebagai persenyawaan alifatis, yang terdiri dari alkana.
- b. Bersifat nephtenis (nepttenic base), ialah persenyawaan zat cair arang yang berbentuk siklis atau aromatis  $C_n H_{2n+6}$  atau cyclan  $C_n H_{2n}$ .

### 2.7.2 Bahan Bakar Gas

Bahan bakar gas di golongkan dalam dua golongan yaitu :

#### a. Gas alam

Bahan bakar ini sering ditemukan pada pengeboran minyak tanah diantaranya gas metana ( $CH_4$ ) bersama dengan gas etana ( $C_2H_6$ ), karbon monoksida ( $CO$ ), Liquid Natural Gas (LNG), Liquid Petroleum Gas (LPG).

#### b. Gas Buatan

Gas buatan diantaranya adalah :

- Coal gas
- Produser gas
- Water gas
- Mond gas
- Gas dapur tinggi
- Coke oven Gas

Pada umumnya ketel uap pada pabrik kelapa sawit menggunakan bahan bakar padat buatan yang mudah diperoleh, dan ekonomis yaitu sebagai serabut dan cangkang kelapa sawit, bila dibandingkan dengan bahan bakar lainnya (lihat lampiran 2).

Dalam pemakaian kedua bahan bakar tersebut, ada beberapa pertimbangan yang menentukan kedua nilai bahan bakar tersebut, yaitu :

**1. Serabut murni (tanpa campuran).**

Bila digunakan tersendiri maka bahan bakar tersebut akan cepat habis terbakar, sedangkan nilai kalor yang dihasilkan belum mencukupi uap pada ketel tersebut

**2. Cangkang Murni ( tanpa campuran)**

Pemakaian cangkang yang terlalu banyak akan menghasilkan arang yang cukup banyak pada saluran udara pembakaran, sehingga proses pembakaran menjadi kurang sempurna. Jumlah bahan bakar yang dibutuhkan oleh ketel uap ditentukan oleh jumlah uap yang diperlukan dan nilai kalor pembakaran dari bahan bakar

**2.8 Nilai kalor (Heating Value)**

Nilai kalor merupakan energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut. Nilai kalor pada bahan bakar dapat dibagi menjadi dua menurut yaitu :

**1. Nilai Kalor Bahan Bakar Tertinggi (HHV)**

Nilai kalor bahan bakar tertinggi atau *high heating value* (HHV), uap air yang terbentuk dari hasil pembakaran dicairkan terlebih dahulu sehingga panas pengembunannya turut dihitung sebagai panas pembakaran yang terbentuk. (Djokosetyardjo, 1999).

Besarnya nilai kalor bahan bakar tertinggi (HHV) adalah :

$$\text{HHV} = 33905 + 144200 \left( \text{H}_2 - \frac{\text{O}_2}{8} + 9400 \text{ S} \right) \text{ kJ /kg} \quad 2.12$$

## 2. Nilai Kalor Bahan Bakar Terendah (LHV)

Nilai kalor bahan bakar terendah atau *lowest heating value* (LHV), uap air yang terbentuk dari hasil pembakaran tidak perlu dicairkan terlebih dahulu, sehingga panas pengembunannya tidak ikut serta dihitung dengan panas pembakaran bahan bakar tersebut ( Djoko setyardjo, 1999).

Besarnya nilai kalor bahan bakar terendah atau lowest heating value (LHV)

$$\text{adalah : LHV} = \text{HHV} - 2400 (\text{H}_2\text{O} + 9\text{H}_2) \text{ kJ/kg} \quad 2.13$$

## 2.9 Perpindahan Panas Pada Ketel Uap

Panas yang dihasilkan karena pembakaran bahan bakar dan udara, yang berupa api (yang menyala) dan gas asap (yang tidak menyala) dipindahkan kepada air ataupun udara, melalui bidang yang dipanaskan atau heating surface, pada suatu instalasi ketel uap dengan tiga cara :

- a. Dengan cara pancaran atau radiasi
- b. Dengan cara aliran atau konveksi
- c. Dengan cara perambatan atau konduksi

### 2.9.1 Perpindahan Panas Secara Pancaran atau Radiasi

Pemindahan panas secara pancaran atau radiasi adalah perpindahan panas antara suatu benda dengan benda yang lain dengan jalan melalui gelombang-gelombang elektromagnetik tanpa tergantung pada ada atau tidak media zat

diantara media yang menerima pancaran tersebut. Adapun banyaknya panas yang diterima secara pancaran atau  $Q_p$  berdasarkan rumus dari Stephan – Boltzman adalah sebesar :

$$Q_{rad} = \sigma \times \varepsilon \cdot A_{rad} \cdot [(T_g^4 \times \varepsilon_g) - (T_w^4 \times \alpha_g)] \text{ kJ / s} \quad 2.14$$

Dimana :

- $Q_{rad}$  = energi radiasi (kJ/s atau Watt)
- $\sigma$  = Konstanta Stefan-Boltzman =  $5,669 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2 \text{ K}^4$
- $T_w$  = temperatur dinding pipa water wall
- $\varepsilon_g$  = emisivitas nyala (0,65-0,70) &  $\varepsilon_w$  = emisivitas radiasi 0,9

### 2.9.2 Perpindahan Panas Secara Aliran Atau Konveksi

Perpindahan panas secara aliran atau konveksi adalah perpindahan panas yang dilakukan oleh molekul-molekul suatu fluida. Molekul-molekul fluida tersebut melayang-layang secara bolak-balik membawa sejumlah panas masing-masing  $q$  Joule. Pada saat molekul fluida tersebut menyentuh dinding ketel maka panasnya dibagikan sebagian, yaitu  $q_1$  joule kepada dinding ketel, selebihnya yaitu  $q_2 = q - q_1$  joule di bawanya pergi. Bila gerakan yang dibawa oleh molekul-molekul tersebut adalah akibat dari kekuatan mekanis (karena dipompa atau dihembus dengan fan ) maka perpindahan panas tersebut konveksi paksa (forced convection). Dalam gerakannya molekul-molekul api tersebut tidak perlu melalui lintasan yang lurus untuk mencapai dinding ketel atau bidang yang dipanasi. Jumlah panas yang diserahkan secara konveksi ( $Q_k$ ) adalah :

$$Q_k = h_c \times A_{konv} (T_g - T_w) \quad 2.15$$

$h_c$  = Koefisien Konveksi ( $W/m^2 K$ )

$k_f$  = konduktivitas termal fluida ( $W/mK$ )

$\delta_t$  = tebal pipa (m)

$A_{konv}$  = luas bidang yang dipanasi ( $m^2$ )

### 2.9.3 Perpindahan Panas Secara Konduksi

Perpindahan panas secara perambatan atau konduksi adalah perpindahan panas dari suatu bagian benda padat ke bagian lain dari benda padat yang sama karena terjadinya persinggungan fisik tanpa terjadinya perpindahan molekul-molekul dari benda padat itu sendiri. Didalam dinding tersebut, panas akan dirambatkan oleh molekul- molekul dinding ketel sebelah dalam yang berbatasan dengan air, uap ataupun udara. Jumlah panas yang dirambatkan  $Q_{kond}$  melalui dinding ketel adalah :

$$Q_{kond} = -K \times A \times \frac{\delta t}{\delta x} \quad 2.16$$

dimana :

$k$  = Koefisien Konduksi bahan ,  $W/m K$

$A$  = Luas Permukaan yang dipanasi ,  $m^2$

$\frac{\delta t}{\delta x}$  = Gradien Temperatur ( $K / m$ )

## DAFTAR PUSTAKA

Syamsir A.Muin.1988.*Pesawat-pesawat konversi energi ( I ) : Ketel uap*. Jakarta : Rajawali.

<http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-20804-6707040015-chapter-1pdf.pdf>. di unduh pada tanggal 5 Januari 2017

Sudarto Yudi, “Kajian teoritik perhitungan efisiensi PLTU unit I kapasitas 400 MW di Paiton”, Penerbit Petra, 1999,

Naibaho, Ponten M., *Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit*. Medan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit, 1998

Holman J P, (1997), *Perpindahan Kalor*, Penerbit Erlangga, Jakarta

Eastop, T. D. and D.R. Croft. *Energy Efficiency*. Harlow: Longman, 1990

Reynolds, W.C and Henry C. Perkint. *Engineering Thermodynamys*. Translated by filling Harahap. Jakarta: Erlangga, 1977

Sears, F. W. dan Zemansky, M. W., 1994, **Fisika untuk Universitas Jilid I**. Edisi Ketujuh. Bandung: Penerbit Binacipta. Surdia,Tata dkk, S.1992. *Pengetahuan*

*Bahan Teknik*, Penerbit Pradnya Paramitha. Jakarta . W.F, Stoecker dan J.W,

Jones. 1982. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Penerbit Erlangga, Jakarta.