

# Analisa Ketel Uap Pipa Air Pada Pabrik CPO

Lelawati<sup>1</sup>

## Abstract

The oil palm processing industry in CPO mills really needs the role of a boiler, where the working process of a boiler is by heating water to boiling and producing high-pressure hot steam. Based on the fluid flowing in the pipe there are two kinds of boilers, fire tube boiler and water tube boiler. The difference between the two lies in the resulting steam pressure where the water pipe steam boiler is higher than the fire pipe boiler.

Keywords: CPO, fire tube boiler, water tube boiler.

## Pendahuluan

Negara Indonesia khususnya provinsi Bengkulu merupakan wilayah yang masyarakatnya bergerak dibidang pertanian dan perkebunan, dimana perkebunan kelapa sawit sangat lebih diminati oleh masyarakat karena memiliki harga jual yang menjanjikan. Proses pengolahan kelapa sawit pada pabrik CPO (*Crude Palm Oil*) melalui proses perebusan biji sawit dengan bantuan alat yang sangat dibutuhkan yaitu ketel uap. Ketel uap adalah alat yang bekerja dengan cara memanaskan air hingga mendidih dan memproduksi uap panas dengan bertekanan tinggi. Energi panas yang dihasilkan atau yang sering di sebut dengan kalor diserap oleh dinding ketel (bidang pemanas), selanjutnya dapat digunakan untuk proses-proses perebusan bijih kelapa sawit.

## Landasan Teori

Bagian utama dari Ketel Uap adalah :

### 1. Drum Air

Drum air merupakan bagian ketel yang berisi air. Air ini selain untuk mendapatkan pemanasan uap juga berguna untuk mencegah terjadinya kenaikan temperatur yang terlalu tinggi dari bagian-bagian yang berhubungan langsung dengan gas asap.

### 2. Ruang Uap

Ruang uap terdapat di atas ruang air, dengan demikian ada hubungan antara kedua bagian ini, batas air yang terlalu rendah akan berbahaya sebab dapat mengakibatkan terjadinya kelebihan panas yang dapat merusak bagian-bagian ketel. Sebaliknya jika batas air pada ruang air terlalu tinggi akan berakibat keluarnya air bersamaan dengan uap. Oleh sebab itu pengawasan air didalam ketel membutuhkan pengawasan dan pengamanan yang cukup teliti.

### 3. Ruang Bakar

Bagian ini merupakan tempat terjadinya proses pembakaran dimana akan terjadi reaksi antara bahan bakar dan oksigen, luas dan bentuk ruang pembakaran tergantung dan jenis ketel yang digunakan juga tergantung dari jenis bahan bakar yang dipakai. Bentuk ruang bakar akan sangat berpengaruh terhadap hasil pembakaran.

### 4. Bidang Pemanas

Bidang pemanas ini merupakan bidang tempat lewatnya kalor hasil bahan bakar ke air dan uap didalam ketel, semakin besar bidang pemanas yang dipanaskan maka semakin besar pula panas yang dapat dipindahkan.

### 5. Cerobong

Cerobong pada ketel berfungsi sebagai saluran buang hasil reaksi pembakaran bahan bakar berupa gas asap yang selanjutnya dialirkan ke udara luar/udara atmosfer, untuk

---

<sup>1</sup> Dosen Fak. Teknik Prodi Teknik Mesin Universitas Prof. Dr. Hazairin SH Bengkulu  
Majalah Teknik Simes Vol.14 No.2 Juli 2020

mengusahakan agar konsentrasi gas asap di udara tidak terlalu pekat, cerobong asap harus dibangun cukup tinggi agar penyebaran gas asap di udara cukup baik. Dengan dibangunnya cerobong asap yang cukup tinggi akan menimbulkan perbedaan tekanan yang cukup besar karena adanya tarikan cerobong, hal ini akan melancarkan aliran gas asap didalam ketel uap.

Berdasarkan jenis fluida yang mengalir dalam pipa, ketel uap dibagi menjadi 2 macam yaitu:

1. Ketel uap pipa api (*fire tube boiler*)  
Ketel uap pipa api adalah jenis ketel yang memiliki banyak pipa - pipa api yang dimana didalam pipa-pipa api tersebut dialiri gas panas dari hasil proses pembakaran yang kalornya ditransfer ke pipa-pipa api yang dikelilingi oleh air. Kemudian air tersebut berubah menjadi uap bertekanan tinggi yang nantinya akan digunakan.
2. Ketel pipa air (*water tube boiler*)  
Pengertian boiler pipa-air adalah boiler dengan pipa-pipa berisikan air yang bersirkulasi, setelah dipanaskan oleh api di sisi luar pipa. Alat yang menjadi saluran sirkulasi uap air ini, berada di dalam selimut api dalam ruang bakar .

Berdasarkan kedudukannya, ketel uap dibagi:

1. Ketel stasioner atau ketel tetap  
Yang termasuk dalam ketel stasioner adalah ketel-ketel yang dudukannya di atas pondasi yang tetap.
2. Ketel mobile atau ketel uap tidak tetap  
Ketel mobile adalah ketel yang dipasang pada pondasi yang berpindah-pindah (*mobile*), seperti boiler lokomotif (*loko mobile*).

Berdasarkan sistem peredaran air ketel

1. Ketel dengan peredaran air secara alam (*natural circulation steam boiler*). Ketel uap jenis ini menggunakan peredaran air di dalam

ketel dimana terjadi aliran konveksi alami.

2. Ketel dengan peredaran air secara paksa (*forced circulation steam boiler*). Pada ketel dengan aliran paksa diperoleh dari sebuah pompa sentrifugal yang digerakkan dengan menggunakan elektrik motor.

Berdasarkan sumber panas yang digunakan, ketel uap dibagi dalam:

1. Ketel uap dengan menggunakan bahan bakar alami
2. Ketel uap dengan menggunakan bahan bakar buatan
3. Ketel uap dengan menggunakan dapur listrik
4. Ketel uap dengan menggunakan energi nuklir.

Bagian lain sebagai penunjang ketel uap yaitu cerobong asap

#### Cerobong

Cerobong pada ketel berfungsi sebagai saluran buang hasil reaksi pembakaran bahan bakar berupa gas asap yang selanjutnya dialirkan ke udara luar/udara atmosfer, untuk mengusahakan agar konsentrasi gas asap di udara tidak terlalu pekat, cerobong asap harus dibangun cukup tinggi agar penyebaran gas asap di udara cukup baik. Dengan dibangunnya cerobong asap yang cukup tinggi akan menimbulkan perbedaan tekanan yang cukup besar karena adanya tarikan cerobong, hal ini akan melancarkan aliran gas asap didalam ketel uap.

Ada dua jenis sistem tarikan untuk menimbulkan perbedaan tekanan pada cerobong yaitu:

1. Ketel uap dengan sistem tarikan alam  
Aliran gas asap terjadi akibat adanya selisih kerapatan antara udara luar dengan gas asap, maka dengan sendirinya udara akan mengalir keluar karena adanya tarikan cerobong. Dengan menggunakan cerobong asap yang tinggi hasil gas asap yang panas dan memiliki berat jenis yang lebih rendah didalam cerobong dapat naik dengan sendirinya.

---

<sup>1</sup> Dosen Fak. Teknik Prodi Teknik Mesin Universitas Prof. Dr. Hazairin SH Bengkulu  
Majalah Teknik Simes Vol.14 No.2 Juli 2020

2. Ketel uap dengan sistem tarikan paksa  
 Pada sistem ini udara dimasukkan atau dihisap suatu alat yang disebut kipas (*fan*) ke dalam ketel dan mengalirkan gas asap keluar melalui cerobong.

**Metodologi**

Analisa keuntungan dan kerugian dari ketel uap pipa api dan ketel uap pipa air.

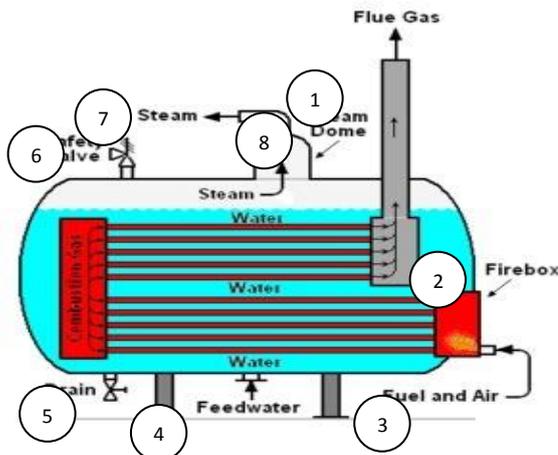
Ketel Uap Pipa Api

Keuntungan:

1. Konstruksi ketel sederhana
2. Tidak membutuhkan air isian ketel dengan kualitas yang tinggi

Kerugian:

1. Kualitas uap yang dihasilkan biasanya uap jenuh.
2. Kapasitas dan tekanan uap rendah sampai sedang.
3. Waktu untuk pembentukan uap relatif lebih lama dibandingkan ketel uap pipa air.



Gambar 1. Ketel Uap Pipa Api

Keterangan :

1. Cerobong asap
2. Dapur api
3. Bahan bakar dan udara
4. Pengisi air
5. Kran penguras
6. Katup pengaman
7. Uap
8. Kubah uap

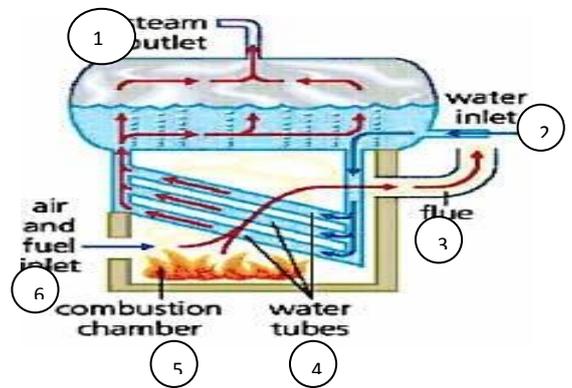
Ketel Uap Pipa Air

Keuntungan:

1. Menghasilkan uap pada tekanan yang lebih tinggi dibandingkan ketel uap pipa api.
2. Kecepatan pembentukan uap relatif lebih cepat.
3. Kualitas uap yang dihasilkan dapat mencapai uap panas lanjut.

Kerugian:

1. Air yang digunakan memerlukan pemurnian yang intensif untuk mencegah timbulnya kerak didalam pipa-pipa
2. Ketel pipa air memerlukan perhatian yang lebih teliti pada saat pengoperasian, Oleh karena itu biaya pengoperasian lebih tinggi.
3. Pembersihan pipa-pipa air harus dilakukan secara teliti.



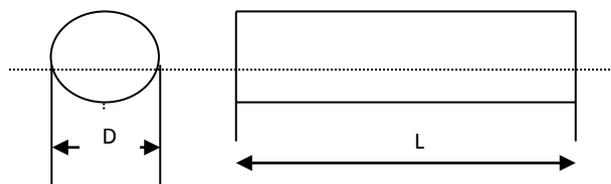
Gambar 2. Ketel Uap Pipa Air

Keterangan :

1. Uap keluar
2. Air masuk
3. Gas asap
4. Pipa air
5. Dapur api
6. Bahan bakar dan udara

**Pembahasan**

**Perhitungan Pipa pada ketel uap pipa air**



<sup>1</sup> Dosen Fak. Teknik Prodi Teknik Mesin Universitas Prof. Dr. Hazairin SH Bengkulu  
 Majalah Teknik Simes Vol.14 No.2 Juli 2020

Gambar 3. Pipa Air Ketel

Pada dinding ruang bakar ketel terdapat pipa air yang tersusun secara sejajar pada sisi sebelah dalam, sehingga membentuk ruang bakar yang kedap udara. Jadi sirkulasi pemindahan panas didalam ruang bakar menjadi baik dan radiasi dari panas yang diterima akan lebih baik pula.

Pada perencanaan ini bahan pipa air yaitu baja tahan panas dan tidak berkerak (*heat and scale resistant steels*) X10CrA113 dengan tegangan izin  $S_a=490 \text{ N/mm}^2 = 4900 \text{ kg/cm}^2$ .

Pada perencanaan ini pipa yang digunakan adalah pipa dengan schedule number (SN) 40 dengan parameter berikut:

- Diameter nominal ( $D_n$ )  
= 2 in = 50,8 mm
- Diameter luar ( $D_o$ )  
= 2,375 in = 60,3 mm
- Diameter dalam ( $D_i$ )  
= 3,9 mm
- Jumlah pipa air  
= 11 buah
- Panjang pipa  
= 4 m

(sumber. Sularso.Kyokatsu Suga, 2004, Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin, Pradnya Pramtia: Jakarta).

Luas Penampang Pada Pipa Air Ketel

$$A_g = \frac{1}{4} \pi \cdot D_o^2$$

Penjelasan :

$A_g$  = Luas penampang pipa ( $\text{mm}^2$ )

$D_o$  = Diameter luar pipa (60,3 mm)

maka :

$$\begin{aligned} A_g &= \frac{1}{4} \pi \cdot D_o^2 \\ A_g &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 60,3^2 \\ A_g &= 0,25 \cdot 3,14 \cdot 3636,09 \\ A_g &= 2854,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tebal Minimum Pipa

$$T_{min} = \frac{D_o \cdot P}{2(S_a + Y \cdot P)} + C$$

Penjelasan :

$T_{min}$  = Tebal minimum pipa (mm)

$D_o$  = Diameter luar pipa 60,3mm  
= 6,03 cm

$P$  = Tekanan kerja ketel 28  
 $\text{kg/cm}^2$

$S_a$  = Tegangan yang di izinkan  
4900  $\text{kg/cm}^2$

$C$  = Koefisien penambah 0,065  
untuk diameter nominal pipa  
> 1 in

$Y$  = Koefisien temperatur kerja 0,4  
untuk temperatur dibawah  
900°F

maka :

$$\begin{aligned} T_{min} &= \frac{D_o \cdot P}{2(S_a + Y \cdot P)} + C \\ T_{min} &= \frac{6,03 \cdot 28}{2(4900 + 0,4 \cdot 28)} + 0,065 \\ T_{min} &= \frac{168,84}{9822,4} + 0,065 \\ T_{min} &= 0,082 \text{ cm} = 8,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tekanan Yang Terjadi Pada Pipa Air

$$P_p = \frac{2 \cdot S_a \cdot E(T-C)}{D_o - 2Y(T-C)}$$

Penjelasan :

$P_p$  = Tekanan yang terjadi pada  
pipa ( $\text{kg/cm}^2$ )

$S_a$  = Tegangan yang diizinkan  
4900  $\text{kg/cm}^2$

$E$  = Efisiensi sambung 1,0  
 $T$  = Tebal pipa 8,2 mm  
= 0,82cm

$D_o$  = Diameter luar 60,3 mm  
= 6,03 cm

$Y$  = Koefisien temperatur kerja  
= 0,4

$C$  = Koefisien penambah  
= 0,065

maka:

$$\begin{aligned} P_p &= \frac{2 \cdot S_a \cdot E(T-C)}{D_o - 2Y(T-C)} \\ P_p &= \frac{2 \cdot 4900 \cdot 1,0(0,82 - 0,065)}{6,03 - 2 \cdot 0,4(0,82 - 0,065)} \\ P_p &= \frac{9800(0,755)}{6,03 - 0,8(0,755)} \\ P_p &= \frac{7399}{5,426} \\ P_p &= 1363,61 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Perpindahan Panas Yang Terjadi Pada Pipa Air.

Perpindahan panas yang terjadi pada air adalah perpindahan panas secara konveksi dimana aliran atau konveksi perpindahan panas ini dilakukan oleh molekul-molekul fluida (cair ataupun gas).

$$Q_k = \alpha \cdot A_g (T_2 - T_1)$$

Penjelasan:

$Q_k$  = Perpindahan panas secara konveksi

$\alpha$  = Nilai peralihan panas 3,62 kJ/jam °C

$A_g$  = Luas permukaan pipa  
= 2854,33 mm = 2,85 m

$T_1$  = Temperatur air masuk 30°C

$T_2$  = Temperatur api 250°C

maka:

$$Q_k = \alpha \cdot A_g (T_2 - T_1)$$

$$Q_k = 3,62 \cdot 2,85 (250-30)$$

$$Q_k = 10,317 \cdot 220$$

$$Q_k = 2269,74 \text{ kJ/jam}$$

## Kesimpulan Dan Saran

### Kesimpulan

Ketel Uap Pipa Air:

1. Menghasilkan uap pada tekanan yang lebih tinggi dibandingkan ketel uap pipa api.
2. Kecepatan pembentukan uap relatif lebih cepat.
3. Kualitas uap yang dihasilkan dapat mencapai uap panas lanjut.

### Saran

Batas air yang terlalu rendah dalam ketel akan berbahaya karena dapat mengakibatkan terjadinya kelebihan panas sehingga dapat merusak bagian-bagian ketel, sebaliknya jika batas air pada ruang air ketel terlalu tinggi juga tidak dibolehkan karena akan berakibat keluarnya air bersamaan dengan keluarnya uap. Oleh sebab itu pengawasan air didalam ketel sangat

membutuhkan pengawasan dan pengamanan yang cukup teliti.

## Daftar Pustaka

Culp, Archie W. Sitompul, Darwin. 1996. *Prinsip-Prinsip Konversi Energi*. Jakarta: Erlangga.

Daryanto. 1993. *Dasar – Dasar Teknik Mesin*. Jakarta: Rineka Cipta.

Djokosetyardjo, M.J. 1987. *Ketel Uap*. Jakarta: PT Pradanya Paramita.

Djokosetyardjo, M.J. 1990. *Pembahasan Lebih Lanjut Tentang Ketel Uap*, Jakarta: PT. Pradanya Paramita.

Djokosetyardjo, M.J. 2003. *Ketel Uap*. Jakarta: PT. Pradya Paramita.

Muin, Syamsir A. 1998. *Pesawat–Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)*. Jakarta: Rajawali Pers.

Sularso, K Suga, 1991. *Dasar Perencanaan Mesin*. Jakarta: PT. Pradya Paramita.

---

<sup>1</sup> Dosen Fak. Teknik Prodi Teknik Mesin Universitas Prof. Dr. Hazairin SH Bengkulu  
Majalah Teknik Simes Vol.14 No.2 Juli 2020