

# Analisa Cerobong Asap Gas Hasil Pembakaran Ketel Uap Pada Pabrik CPO

Lelawati<sup>1</sup>

[llwtnaz@yahoo.com](mailto:llwtnaz@yahoo.com)

## Abstract

A steam boiler is a device used to process water into steam with a planned temperature and pressure. Then the steam which has that pressure is flowed into a process. Broadly speaking, the way the boiler works, hot steam that comes out of the fire is absorbed by the boiler wall (heating field). Process of processing palm oil at CPO (Crude Palm Oil) mills Through the process of boiling palm kernels with the help of a much needed tool, namely a steam boiler. A steam boiler is a device that works by heating water to boil and producing hot steam with high pressure, the resulting heat energy or what is often called heat is absorbed by the boiler wall (heating field), then it can be used for boiling coconut ore processes palm.

**Keywords:** CPO, hot steam, steam boiler.

## Pendahuluan

Ketel uap ini mengkonversikan energi yaitu energi panas menjadi energi potensial. Dalam industri pengolahan kelapa sawit CPO (*Crude Palm Oil*) uap panas yang dihasilkan ketel uap digunakan untuk penggerak turbin uap sebagai sumber energi listrik, perebusan kelapa sawit, dan proses pengolahan kelapa sawit.

Prinsip pokok untuk merencanakan atau mendirikan ketel adalah sebagai berikut:

1. Letak ketinggian permukaan tanah dimana ketel akan diadakan.
2. Bahan bakar yang digunakan dan harganya dimana terdapat bahan bakar yang banyak tersedia dengan harga yang relatif murah.
3. Tersedianya air ketel yang cukup untuk kebutuhan ketel.
4. Tenaga dan tekanan kerja yang dikehendaki untuk memenuhi kebutuhan.
5. Ongkos dan biaya pemeliharaan relatif murah.

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.

## Landasan Teori

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.

2. Ketel uap dengan sistem tarikan paksa

---

<sup>1</sup> Dosen Fak. Teknik Prodi Teknik Mesin Universitas Prof. Dr. Hazairin SH Bengkulu  
Majalah Teknik Simes Vol.15 No.1 Januari 2021

Pada sistem ini udara dimasukkan atau dihisap suatu alat yang disebut kipas (*fan*) ke dalam ketel dan mengalirkan gas asap keluar melalui cerobong. Terdapat tiga jenis sistem tarikan paksa pada ketel uap yaitu:

2.1. Sistem tarikan dengan sistem penekanan

Dengan menggunakan kipas (*fan*) udara baru dari luar ketel dimasukkan dan gas asap yang ada di dalam ketel ditekan keluar melalui cerobong.

2.2. Sistem tarikan dengan cara pengisapan

Dengan menggunakan alat pengisap berupa kipas (*fan*) yang ditempatkan diantara ketel dengan cerobong gas asap didalam ketel ditarik keluar dan menarik udara baru yang ada di luar masuk kedalam ketel.

2.3. Sistem tarikan dengan cara penekanan dan pengisapan

Pada sistem ini digunakan kedua cara diatas yaitu udara baru dari luar ditekan masuk kedalam ketel dan juga menekan sekaligus diadakan penarikan gas asap keluar cerobong.

Jenis – jenis uap

Uap Basah adalah uap yang masih bercampur bagian air halus yang mempunyai suhu yang sama. Besarnya entalpi jenis dari uap basah adalah :

$$H = h^1 + x \cdot r$$

Dimana:

H = Entalpi Jenis

$h^1$  = Kalor zat cair

x = Jumlah uap yang terdapat dalam kalor basah tersebut

r = Kalor penguapan

Uap jenuh adalah uap yang tidak mengandung bagian – bagian air. Besar entalpi jenis dari uap jenuh adalah :

$$H = h^1 + r$$

Uap panas lanjut adalah uap yang dapat dari pemanas. Besarnya entalpi jenis uap panas lanjut ini adalah :

$$H = h^1 + r + c_p \cdot \Delta t$$

Dimana :

$C_p$  = panas jenis pada tekanan uap

$\Delta t$  = perbedaan temperatur uap masuk dan keluar superheater (untuk mengubah uap panas jenuh menjadi uap panas lanjut )

## Metode Penelitian

Berat Gas Asap Hasil Pembakaran :

$$W_g = \left[ \frac{2,66.C + 7,49.H + 0,998.S - O_2}{0,232} \right] R - A$$

Penjelasan :

$W_g$  = berat gas asap hasil pembakaran(kg)

C = berat unsur karbon dalam bahan bakar (0,4845 kg)

$H_2$  = berat unsur hydrogen dalam bahan bakar (0,565 kg)

$O_2$  = berat unsur oksigen dalam bahan bakar (0,3365 kg)

S = berat unsur sulfur dalam bahan bakar (0,0027 kg)

R = angka kelipatan udara

$$R = \frac{W_{aact}}{W_{atha}} = \frac{9,81}{4,67} = 2,10$$

A = persentase abu (5,61%)

$$W_g = \left[ \frac{2,66.C + 7,49.H + 0,998.S - O_2}{0,232} \right] R - A$$

$$= \left[ \frac{2,66 \cdot 0,4845 + 7,49 \cdot 0,0565 + 0,998 \cdot 0,0027 - 0,3365}{0,232} \right] 2,10 - 0,0561$$

$$= \left[ \frac{1,288 + 0,423 + 0,0026 - 0,3365}{0,232} \right] 2,04$$

$$W_g = 12,10 = 12 \text{ kg}$$

Berat Gas Asap Dari Hasil Pembakaran

Total Tiap 1 Jam

$$W_g \text{ total} = W_f \cdot W_g$$

Penjelasan :

$W_{g \text{ total}}$  = berat gas asap hasil pembakaran dalam 1 jam (kg gas / jam)

$W_f$  = kebutuhan bahan bakar (13,62 kg/s)

$W_g$  = berat gas asap hasil pembakaran 12 kg

$$W_g \text{ total} = W_f \cdot W_g$$

$$= 13,62 \cdot 12 = 163,44 \text{ kg gas/ jam}$$

Berat Gas Asap Basah

$$W_{gb} = 1 + W_{act} - A$$

Penjelasan :

$W_{gb}$  = berat gas asap basah (kg gas / kg bb)

$W_{act}$  = banyaknya udara pembakaran sebenarnya (8,41 kg)

A = persentase abu (5,61%)

$$W_{gb} = 1 + W_{act} - A$$

$$W_{gb} = 1 + 8,41 - 0,0561$$

$$W_{gb} = 9,35 \text{ kg gas / kg bb}$$

Berat Gas Asap Kering

$$W_{gk} = W_{gb} - W_{H_2O}$$

Penjelasan:

$W_{gk}$  = berat asap kering (kg gas / kg bb)

$W_{gb}$  = berat gas asap basah (9,35 kg gas / kg bb)

$W_{H_2O}$  = berat unsur  $H_2O$  pada gas asap (0,51kg)

$$W_{gk} = W_{gb} - W_{H_2O}$$

$$W_{gk} = 9,35 - 0,51$$

$$W_{gk} = 8,84 \text{ kg gas/ kg bb}$$

Volume Gas Asap Basah

$$V_{gh} = \frac{1,866.C + 0,75}{0,11} + 1,24 (9 \cdot H_2)$$

Penjelasan :

$V_{gh}$  = volume gas asap ( $m^3/kg$ )

C = berat unsur karbon dalam bahan bakar (0,4845 kg)

$H_2$  = berat unsur hydrogen dalam bahan bakar (0,565 kg)

$$V_{gh} = \frac{1,866.C + 0,75}{0,11} + 1,24 (9 \cdot H_2)$$

$$V_{gh} = \frac{1,866 \cdot 0,4845 + 0,75}{0,11} + 1,24 (9 \cdot 0,565)$$

$$V_{gh} = 8,27 \text{ m}^3/kg$$

Volume Gas Basah Total

$$V_{gh \text{ total}} = W_f \cdot V_{gh}$$

Penjelasan :

$V_{gh \text{ total}}$  = volume gas basah total ( $m^3/kg$ )

$V_{gh}$  = volume gas basah (8,27  $m^3/kg$ )

$W_f$  = kebutuhan bahan bakar (13,62 kg/s)

$$V_{gh \text{ total}} = W_f \cdot V_{gh}$$

$$V_{gh \text{ total}} = 13,62 \cdot 8,27$$

$$V_{gh \text{ total}} = 112,63 \text{ m}^3/s$$

Volume Gas Asap Kering

$$V_{gk} = \frac{1,866.C + 0,7.S}{0,11}$$

Penjelasan:

$V_{gk}$  = volume gas asap kering ( $m^3/kg$ )

C = berat unsur karbon dalam bahan bakar (0,4845 kg)

S = berat unsur sulfur dalam bahan bakar (0,0027 kg)

$$V_{gk} = \frac{1,866.C + 0,7.S}{0,11}$$

$$V_{gk} = \frac{1,866 \cdot 0,4845 + 0,7 \cdot 0,0027}{0,11}$$

$$V_{gk} = 8,235 \text{ m}^3/s$$

Volume Gas Asap Kering Total

$$V_{gk \text{ total}} = W_f \cdot V_{gk}$$

Penjelasan:

$V_{gk \text{ total}}$  = volume gas asap kering total ( $m^3/kg$ )

$W_f$  = kebutuhan bahan bakar (13,62 kg/s)

$V_{gk}$  = volume gas asap kering (8,235  $m^3/s$ )

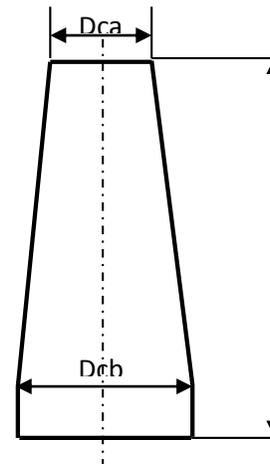
$$V_{gk \text{ total}} = W_f \cdot V_{gk}$$

$$V_{gk \text{ total}} = 13,62 \cdot 8,235$$

$$V_{gk \text{ total}} = 112,16 \text{ m}^3/s$$

## Analisa Hasil

Perhitungan Cerobong



Gambar 1. Cerobong asap

Dalam merencanakan ketel uap bagian cerobong ini sangatlah penting karena untuk mencegah uap panas yang berlebihan (*overheat*) yang dapat mengakibatkan kerusakan komponen-komponen yang lain pada ketel uap.

Cerobong memiliki fungsi yaitu untuk mengalirkan gas asap yang berasal dari hasil proses pembakaran bahan bakar, cerobong ini juga dibuat tinggi agar gas asap yang keluar tidak mengganggu lingkungan sekitar dan mencegah terjadinya kecelakaan kerja pada pabrik.

Perencanaan cerobong ini menggunakan plat baja dengan ketinggian 22 m dan panjang saluran dari ruang bakar ke cerobong 3 m, serta perhitungan penurunan suhu atau temperatur gas ketika melalui cerobong diperhitungkan kurang lebih 2°C/meter.

Penurunan temperatur total yang terjadi ketika gas asap melalui cerobong dengan ketinggian ( $h = 8,45$  m).

$$T_p = h \cdot \text{penurunan temperatur}$$

$$T_p = 8,45 \cdot 2$$

$$T_p = 16,90 \text{ }^\circ\text{C}$$

Temperatur gas asap masuk ke cerobong

$$T_{co} = T_g - 2 \cdot L$$

Penjelasan :

$$T_{co} = \text{temperatur gas masuk } (^\circ\text{C})$$

$$T_g = \text{temperatur gas asap } 221,22 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$L = \text{panjang saluran } 3 \text{ m}$$

maka :

$$T_{co} = T_g - 2 \cdot L$$

$$T_{co} = 221,22 - 2 \cdot 3$$

$$T_{co} = 215,22 \text{ }^\circ\text{C}$$

Temperatur gas asap keluar cerobong

$$t_c = t_{co} - t_p$$

Penjelasan:

$$t_c = \text{temperatur gas asap keluar } (^\circ\text{C})$$

$$t_{co} = \text{temperatur gas asap masuk } 215,22 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_p = \text{penurunan temperatur } 44 \text{ }^\circ\text{C}$$

maka :

$$t_c = t_{co} - t_p$$

$$t_c = 215,22 - 44 = 171,22 \text{ }^\circ\text{C}$$

Luas penampang cerobong

$$A = \frac{Vg}{C \cdot K}$$

Penjelasan:

$$A = \text{luas penampang cerobong } \text{m}^2$$

$$Vg = \text{volume gas asap } 8,235 \text{m}^3/\text{s}$$

$$C = \text{kecepatan aliran gas asap keluar cerobong hisapan gas secara alami dikisaran } 4-8 \text{ m/s diambil } 7 \text{ m/s}$$

$$K = \text{koefisien kecepatan } 0,3 - 0,5 \text{ diambil } 0,5$$

maka:

$$A = \frac{Vg}{C \cdot K}$$

$$A = \frac{8,235}{7 \cdot 0,5} = 2,35 \text{ m}^2$$

Diameter cerobong asap bagian atas

$$D_{ca} = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

Penjelasan :

$$D_{ca} = \text{diameter cerobong atas (m)}$$

$$A = \text{luas penampang } 2,35$$

maka :

$$D_{ca} = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

$$D_{ca} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,35}{3,14}}$$

$$D_{ca} = \sqrt{2,99} = 1,72 \text{ m}$$

Diameter cerobong bagian bawah

$$D_{cb} = 1,5 \cdot D_{ca}$$

Penjelasan :

$$D_{cb} = \text{diameter cerobong bagian bawah (m)}$$

$$D_{ca} = \text{diameter cerobong bagian atas } 1,72 \text{ m}$$

maka:

$$D_{cb} = 1,5 \cdot D_{ca}$$

$$D_{cb} = 1,5 \cdot 1,72 = 2,58 \text{ m}$$

Besaran tarikan cerobong teoritis

$$H_t = h \cdot (y_{\text{udara}} - y_{\text{gas asap}})$$

Penjelasan:

$$H_t = \text{besar tarikan cerobong (kg/m}^2\text{)}$$

$$h = \text{tinggi cerobong } 22 \text{ m}$$

$$y_{\text{udara}} = \text{berat jenis udara } 1,22 \text{ kg/cm}^3$$

$$y_{\text{gas asap}} = \text{Berat jenis gas asap } 0,733 \text{ kg/cm}^3$$

maka:

$$H_t = h \cdot (y_{\text{udara}} - y_{\text{gas asap}})$$

$$H_t = 22 \cdot (1,22 - 0,733)$$

$$H_t = 22 \cdot (0,487) = 10,71 \text{ kg/m}^2$$

Besaran tarikan cerobong dinamis

$$H_d = \left(\frac{C^2}{2 \cdot g}\right) \cdot \gamma \text{ gas asap}$$

Penjelasan:

$H_d$  = tarikan dinamis ( $\text{kg/m}^2$ )

$C$  = kecepatan aliran gas asap keluar 7 m/s  
 $\gamma$  gas asap = berat jenis gas asap 0,733  
 $\text{kg/cm}^3$

$g$  = gaya gravitasi 9,81

maka :

$$H_d = \left(\frac{C^2}{2 \cdot g}\right) \cdot \gamma \text{ gas asap}$$

$$H_d = \left(\frac{7^2}{2 \cdot 9,81}\right) \cdot 0,733$$

$$H_d = \frac{49}{19,62} \cdot 0,733$$

$$H_d = 2,49 \cdot 0,733 = 1,82 \text{ kg/m}^2$$

Langkah selanjutnya adalah melakukan pemeriksaan agar cerobong yang direncanakan bisa mengalirkan gas asap dengan baik. Pemeriksaan dengan cara membandingkan antara tarikan teriotis dan tarikan dinamis dari cerobong.

Dimana nilai tarikan teriotis harus lebih besar dari tarikan dinamis ( $H_t > H_d$ ), nilai  $H_t = 10,71 \text{ kg/m}^2$  dan nilai  $H_d = 1,82 \text{ kg/m}^2$  ( $10,71 \text{ kg/m}^2 > 1,82 \text{ kg/m}^2$ ). Maka dari hasil yang disimpulkan di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa perencanaan ini bisa dilakukan.

### Kesimpulan

- cerobong asap pada ketel uap sangatlah penting karena untuk mencegah uap panas yang berlebihan (*overheat*) yang dapat mengakibatkan kerusakan komponen-komponen lain .

- Nilai tarikan teriotis harus lebih besar dari tarikan dinamis ( $H_t > H_d$ ), nilai  $H_t = 10,71 \text{ kg/m}^2$  dan nilai  $H_d = 1,82 \text{ kg/m}^2$  ( $10,71 \text{ kg/m}^2 > 1,82 \text{ kg/m}^2$ ).

### Daftar Pustaka

- Culp, Archie W. Sitompul, Darwin. 1996. *Prinsip-Prinsip Konversi Energi*. Jakarta : Erlangga.
- 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.
- Sularso, K Suga, 1991. *Dasar Perencanaan Mesin*. Jakarta : PT. Pradya Para.