

**RENCANA PENGENDALIAN KUALITAS UDARA  
EMISI CEROBONG BOILER  
DI PG. PRADJEKAN BONDOWOSO**

Solikin,  
Program Studi Teknik Mesin  
Universitas Muhamadiyah Surabaya  
Email : [solikin.ub@gmail.com](mailto:solikin.ub@gmail.com)

Abstract

A high levels of air pollution that came out of the boiler caused by bagasse as fuel which has 48 – 52 % moisture that makes incomplete combustion. The high of temperature of the smoke gases that exit through chimney can still be used to drain the dregs using rotary dryer. Through the utilization of gas fumes wasted which temperature 220 to drying baggase, it can improve calorific value 39.684.000 cal/hour with capacity of production is 35 tonnage /hour, can reducing moisture of baggase till 23,6% and pollutant in environment. In order to minimize content of pollutants through chimney we use *electrostatic precipitator* (ESP) which catch soot and particulate solids till  $< 2 \mu\text{C}$  from combustion in boiler. Ash caught ESP that contents high mineral for raw material of ceramic, brick and organic fertilizers.

**Keyword :** *drying process, Bagasse, smoke gases, electrostatic precipitator, boiler, soot*

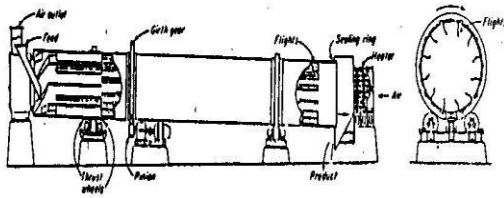
## 1.PENDAHULUAN

Pabrik gula merupakan salah satu industri yang menggunakan bahan bakar sisa dari proses industrinya sebagai bahan bakar boiler dalam menghasilkan uap sebagai pembangkit dan pendukung proses produksinya. Bahan bakar yang digunakan adalah ampas tebu ( baggase ). Ampas tebu hasil proses penggilingan sebesar 30% dari berat tebu yang akan digiling setiap jam. Ampas hasil dari penggilingan memiliki komposisi yang terdiri dari fiber, moisture dan dissolved solid. Nilai kalor dari ampas sangat tergantung dari jumlah kandungan kadar air, yang terdapat didalamnya yaitu berkisar 46 -52% dari berat baggase. Baggase atau ampas tebu adalah zat padat dari tebu yang diperoleh sebagai sisa dari pengolahan tebu pada industri pengolahan gula pasir. Baggase mengandung air 48 –

52% , gula 3,3% dan serat 47,7%. Pada pabrik gula pradjekan milik PTPN XI tiap jamnya dapat melakukan penggilingan dengan kapasitas tebu seberat 110 ton / jam, dengan rata – rata gilingan 2300 ton / hari atau 93,3 ton / jam. Hasil dari pengolahan tebu berupa gula dan ampas tebu.

Ampas tebu digunakan sebagai bahan bakar ketelnya yang berjumlah tiga buah. Ketel berfungsi sebagai pembangkit listrik dan pendukung proses produksi gula. Untuk meningkatkan nilai kalor dari ampas tebu pabrik gula PT.Pradjeekan menggunakan sisa panas gas buang untuk mengurangi kadar air yang terkandung di dalam baggase dalam sebuah alat pengering. Dengan tingginya nilai kadar air dari baggase maka diperlukan kalor yang besar pula untuk melakukan penguapan atau evaporasi dalam ruang bakar ketel. Salah satu cara untuk mengurangi kadar air baggase adalah

dengan metode pengeringan rotary dryer.



Gambar 1 Direct heat rotary dryer

Rotary dryer terdiri dari shell berbentuk silinder horizontal yang dipasang pada suatu batangan roll sehingga silinder ini dapat berputar dan kedudukan gaya sedikit membentuk sudut kemiringan. Pada bagian dalam silinder (drum) terdapat sirip pengaduk yang berfungsi untuk mengangkat ampas tebu yang dikeringkan pada silinder putar. Ampas tebu (*bagasse*) dimasukkan pada bagian ujung yang lebih tinggi akan bercampur dengan media pemanas, sehingga terjadi pengeringan dan akan keluar sebagai suatu produk ampas kering pada ujung lain yang lebih rendah bersama gas asap. Gerakan maju ampas yang dikeringkan disebabkan karena adanya putaran silinder, kemiringan silinder dan adanya flight. Media pemanas yang digunakan berupa gas buang dari ketel (*flue gas*) yang temperaturnya sekitar 2200 C.

Ampas (*Bagasse*) kering dan gas asap pengering dipisahkan oleh dhamper yang selanjutnya ampas kering didorong dengan udara dari FD fan masuk ke ruang bakar dan gas pengering masuk *electrostatic precipitator* (ESP) untuk disaring jelaga (*fly ash*) yang tersisa keluar melalui cerobong boiler.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Upaya industri gula untuk mengendalikan pencemaran udara dengan cara tiga tahap meliputi:

1. Tahap pertama, pada input dengan cara menggunakan bahan bakar yang ramah lingkungan seperti bahan bakar gas, batubara yang mengandung kadar sulfur rendah, atau *bagasse* yang telah

dikeringkan (bila industri tersebut menggunakan bahan bakar *bio mass*).

2. Tahap kedua, menggunakan proses produk si yang ramah lingkungan seperti proses gasifikasi, pirolisis atau *exhaust gas recirculation*.
3. Tahap ketiga, merupakan teknologi tahap akhir berupa pemasangan peralatan penyaring polutan debu dan gas-gas seperti *bag house*, EP (*Electrostatic Precipitator*), *Cyclon* untuk polutan debu dan De-Nox untuk mengurangi kadar Nox dan FGD (*Flue Gas Desulfurisasi*) untuk mengurangi kadar SO<sub>2</sub>.

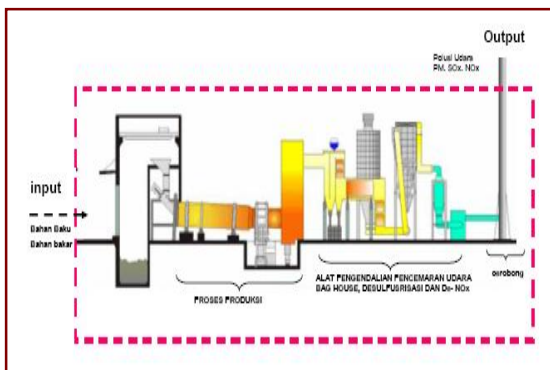
Sistem *electrostatic* pada dasarnya melewati gas buang boiler pada kamar yang berisi plat-plat elektroda terbuat dari tembaga, kuningan ataupun arang. Elektroda yang terpasang pada konstruksi *precipitator* diberi arus listrik searah (DC) dengan muatan positif dan negative antara batang-batang elektroda yang bermuatan negatif dan plat-plat pengumpul debu yang bermuatan positif. Butiran-butiran debu yang melewati batang-batang elektroda akan terinduksi oleh muatan negatif. Butiran-butiran debu yang bermuatan negatif akan tertarik oleh plat-plat elektroda positif.

Adanya getaran (*rapping*) yang menyentuh plat-plat pengumpul mengakibatkan debu akan jatuh ke tempat penampungan (*dust hopper*), dengan demikian debu akan terpisah dari gas asap di dalam *precipitator* tersebut. Dengan cara mengalirkan arus listrik statis untuk mengendapkan debu sangat efektif dan polusi udara sangat sedikit pengaruhnya.

Pemisahan partikel debu dengan gas buangan terjadi karena perbedaan potensial listrik (muatan) antara debu dengan *collecting plate*. *Collecting plate* adalah pelat yang digunakan untuk menangkap debu yang masuk di EP.

*Electrostatic Precipitator* bekerja melalui 3 tahapan yaitu:

1. Ionisasi, pada tahapan ini partikel debu yang masuk ke EP diberi muatan negatif sehingga menjadi ion ion negatif. Pemberian muatan ini melalui electron yang dilepas oleh alat yang bernama *Discharge Electrode (DE)*.
2. Pengumpulan debu (*dust collecting*) ion ion negatif dari debu partikel gas buangan akan tertarik pada *Collecting plate*. *Collecting plate* digrounding sehingga bermuatan positif, perbedaan muatan inilah yang menyebabkan debu terkumpul pada *collecting plate (collecting plate* bermuatan positif dan debu bermuatan negatif).
3. Pembersihan debu (*dust removal*) yaitu debu yang terkumpul akan terakumulasi. Semakin lama semakin banyak dan tebal. Jika telah mencapai waktu atau ketebalan tertentu, maka debu pada *collecting plate* ini akan dirontokkan untuk selanjutnya dikumpulkan di bagian bawah. Biasanya proses ini dilakukan dengan vibrasi, hammering pada *collecting plate*, atau bisa juga dengan menyemprotkan cairan tertentu.



Gambar2. Metode Pengendalian Pencemaran udara

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Melakukan analisa terhadap kalor gas asap ketel uap dengan langkah – langkah sebagai berikut :

#### 1. Menghitung Berat dan Volume Gas Asap

Gas asap hasil pembakaran bagasse pada umumnya terdiri atas gas Nitrogen ( N<sub>2</sub>), Karbon (C), Oksigen ( O<sub>2</sub>), air ( H<sub>2</sub>O) dan karbon dioksida ( CO<sub>2</sub> ) yang memiliki berat dan volume tertentu. Berat dan volume gas buang tersebut dipengaruhi oleh kadar air yang terkandung dalam ampas tebu dan udara berlebih ( *excess air*).

Berat gas asap dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut :

- Berat Nitrogen = 4,43 ( 1 - w ) . m
- Berat Oksigen = 1,33 ( 1-w )(m-1)
- Berat Air = 0,585 ( 1-w ) + w
- Berat CO<sub>2</sub> = 1,727 ( 1-w )

#### 2 Menghitung Kalor Jenis Rata-Rata Gas Asap

Besarnya nilai kalor jenis rata-rata dari gas hasil pembakaran merupakan perkalian konstanta dengan temperatur.

$$C_{pg} = \frac{C_p N_2 + C_p O_2 + C_p H_2O + C_p CO_2}{4}$$

#### 3. Menghitung Enthalpy Gas Asap

Harga enthalpy gas asap boiler adalah jumlah dari enthalpy gas kering dan enthalpy uap air yang terkandung dalam gas asap.

$$H_g = m_g \cdot C_{pg} ( t_1 - t_0 ) + W_{g1} [ h_{fg} + C_{pa} ( t_1 - t_0 ) ]$$

Dengan :

- m<sub>g</sub> = massa gas kering ( kg )
- C<sub>pg</sub> = Kalor jenis gas asap ( kJ/kg<sup>0</sup>K )
- C<sub>pa</sub> = Kalor jenis uap air ( kJ/kg<sup>0</sup>K )
- C<sub>pg</sub> = Kalor jenis gas asap ( kJ/kg<sup>0</sup>K )
- t<sub>1</sub> = temperatur gas asap masuk pendering ( <sup>0</sup>K )
- t<sub>0</sub> = temperatur penguapan pada 0<sup>0</sup>C
- h<sub>fg</sub> = Kalor latent penguapan ( kJ/kg )

Besarnya kalor yang terkandung dalam gas asap masuk alat pengering adalah:

$$Q_{fg} = m_g (H_g - H_{ud})$$

**4. Menghitung Reduksi Kadar Air Bagasse**

Untuk menentukan kadar air yang dapat direduksi selama proses pengeringan dapat ditentukan berdasarkan prinsip keseimbangan massa uap air yang diuapkan dari bagasse dengan massa uap air yang diterima gas asap.

Massa air yang menguap dihitung dengan persamaan kesetimbangan massa, dimana massa uap air yang keluar dari bagasse akan sama dengan massa uap air yang diterima gas pengering, sehingga persamaan kesetimbangan massanya sebagai berikut :

$$m_g (W_{g2} - W_{g1}) = m_b (W_{b2} - W_{b1})$$

**5. Menghitung Nilai Bakar Ampas Tebu**

Nilai bakar ampas tebu adalah banyaknya panas hasil pembakaran tiap satuan berat bahan bakar yang dinyatakan dalam kcal per kg bahan bakar. Nilai bakar ampas tebu ada dua yaitu nilai bakar tinggi (NBT) dan nilai bakar rendah (NBR).

Nilai bakar rendah adalah nilai bakar tinggi dikurangi panas yang dibutuhkan untuk membentuk air atau dirumuskan sebagai berikut :

$$NBR = NBT - (600 \times E)$$

Dengan :

NBR = Nilai Bakar Rendah ( Kcal/kg)

NBT = Nilai Bakar Tinggi (Kcal/Kg)

E = Berat uap air dalam gas hasil pembakaran ( Kg)

**Kalor Pengeringan Bagasse pada Dryer**

➤ Kalor untuk menaikkan suhu bagasse hingga suhu penguapan adalah :

$$Q_{Sen\ Bagasse} = m_b \cdot C_{pb} \cdot (T_2 - T_1)$$

➤ Kalor untuk menguapkan kandungan air dalam bagasse

$$Q_{Sen\ air} = m_a \cdot C_{pa} \cdot (T_{out} - T_{in})$$

➤ Kalor untuk menguapkan uap air pada permukaan bagasse

$$Q_{Evaporator} = m_{uap} \times h_{fg}$$

Jadi kalor beban pengeringan untuk Rotary dryer adalah :

$$Q_{bp} = Q_{sen\ bagasse} + Q_{sen\ air} + Q_{evaporator}$$

**4. ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Data Perhitungan

Berdasarkan hasil pengambilan data di PG. Pradjekan diperoleh data sebagai berikut :

A. Data utama

- Kapasitas produksi bagasse (  $m_b$  ) = 35 ton/jam = 9,722 kg/dt
- Suhu bagasse (  $t_1$  ) = 30<sup>0</sup> C
- Suhu gas asap keluar air heater = 220<sup>0</sup> C
- Kadar air rata-rata bagasse = 50,1 %

B. Data penunjang :

- Kadar gula dalam bagasse = 2,08 %
- Data pengukuran kualitas udara ambient di PG. Pradjekan kandungan rata-rata CO<sub>2</sub> dalam gas asap 13,56 % ( *excess air* = 1,46 )

Hasil Perhitungan

Total volume gas asap :

$$V_g = [ 4,47(1-W) + 0,572W + 0,672 ]$$

Jika Kapasitas produksi ampas tebu 35 ton/jam (9,722 kg/detik), maka total gas asap yang dihasilkan adalah :

- Total Gas Asap (  $m_g$  ) = 5,196 x 9,72 = 50,52 Kg/detik

Enthalpy Gas Asap

Enthalpy Gas Asap yang masuk ke alat pengering sebagai berikut :

$$H_g = C_{pg} ( t_1 - t_0 ) + W_{g1} [ h_{fg} + C_{pa} ( t_1 - t_0 ) ]$$

$$H_g = 1,32(493-273) + 0,18[ 2502 + 1,85 ( 493 - 273 ) ] = 815,7 \text{ kJ/kg}$$

Enthalpy udara (  $H_{ud}$  ) luar adalah :

$$H_{ud} = 1,32 (303 - 273) + 0,18 [2502 + 1,854 (303 - 273)] = 498,09 \text{ kJ/kg}$$

Sehingga besarnya kalor yang terkandung dalam gas asap masuk alat pengering adalah:

$$Q_{fg} = m_g (H_g - H_{ud})$$

$$Q_{fg} = 50,52 (815,7 - 498,09)$$

$$Q_{fg} = 6046,67 \text{ kW.}$$

Kadar air bagasse keluar pengering adalah :

$$\begin{aligned} W_{b2} &= W_{b1} - [(m_g / m_b)(W_{g2} - W_{g1})] \\ &= 0,501 - [(50,52 / 9,72) (0,225 - \\ &0,1801)] \\ &= 0,265 \end{aligned}$$

Sehingga reduksi kadar air bagasse adalah :

$$\begin{aligned} \Delta W_b &= (W_{b1} - W_{b2}) \times 100\% \\ &= (0,501 - 0,265) \times 100\% \\ \Delta W_b &= 23,6\% \end{aligned}$$

Kalor Pengeringan Bagasse

1. Kalor untuk menaikkan suhu bagasse hingga suhu penguapan

$$\begin{aligned} Q_{\text{Sen Bagasse}} &= 9,722 \times 1,07 \times (333 - 303) \\ Q_{\text{Sen Bagasse}} &= 312,07 \text{ kJ / dtk} \end{aligned}$$

2. Kalor untuk menguapkan kandungan air dalam bagasse

$$\begin{aligned} Q_{\text{Sen air}} &= 4,87 \times 4,2 \times (383 - 303) \\ Q_{\text{Sen air}} &= 1636,32 \text{ kJ/dtk} \end{aligned}$$

3. Kalor untuk menguapkan uap air pada permukaan bagasse

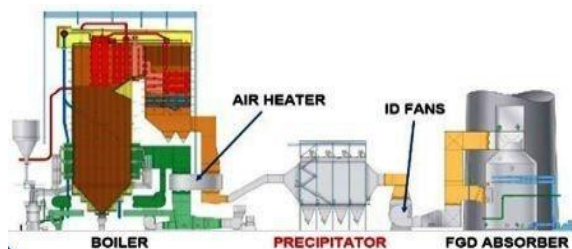
$$\begin{aligned} Q_{\text{Evaporator}} &= 1,476 \times 2228,5 \\ Q_{\text{Evaporator}} &= 3289,27 \text{ kJ/dtk} \end{aligned}$$

Jadi kalor beban pengeringan untuk pengering (Rotary dryer) adalah :

$$\begin{aligned} Q_{\text{bp}} &= Q_{\text{sen bagasse}} + Q_{\text{sen air}} + Q_{\text{evaporator}} \\ Q_{\text{bp}} &= 312,07 + 1636,32 + 3289,27 \\ Q_{\text{bp}} &= 5237,66 \text{ KJ/dtk} \end{aligned}$$

Electrostatic Precipitator

*ElectroStatic Precipitator* (EP) merupakan salah satu alternative metode penangkap debu dengan efisiensi tinggi (diatas 90%) dan rentang partikel yang didapat cukup besar. Dengan menggunakan *electrostatic precipitator* (ESP) ini, jumlah limbah debu yang keluar dari cerobong diharapkan hanya sekitar 0,16% (dimana efektifitas penangkapan debu mencapai 99,84%).



Gambar 3. Instalasi EP pada Boiler

Prinsip kerja Electrostatic Precipitator :

1. Terdapat dua jenis *electrode*, yaitu *discharge electrode* yang bermuatan negatif (-) dan *collector plate electrode* bermuatan positif (+).
2. *Discharge electrode* diletakkan diantara *collector plate* pada jarak tertentu (jarak antara *discharge electrode* dengan *collector plate*).
3. *Discharge electrode* diberi listrik arus searah (DC) dengan muatan minus (lihat *gambar 3*), pada level tegangan antara 55 – 75 kV DC (sumber listrik awalnya adalah 380 volt AC, kemudian dinaikkan oleh transformer menjadi sekitar 55 – 75 kV dan dirubah menjadi listrik DC oleh *rectifier*, diambil hanya potensial negatifnya saja).
4. *Collector plate* ditanahkan (*di-grounding*) agar bermuatan positif.

Pada saat *discharge electrode* diberi arus DC, maka medan listrik terbentuk pada ruang yang berisi tirai-tirai *electrode* tersebut dan partikel-partikel debu akan tertarik pada pelat-pelat tersebut, Gas bersih kemudian bergerak ke cerobong asap.



Gambar 4. EP di PG. Kebon Agung Malang

Hasil perhitungan diperoleh bahwa energi yang terkandung dalam gas asap sebesar 6046,67 kWatt pada temperatur gas buang keluar air heater sebesar 220<sup>0</sup> C. Energi tersebut merupakan hasil pembakaran bagasse dari hasil pengeringan dengan kapasitas 35 ton/jam. Dari jumlah energi gas asap yang masuk pengering tidak seluruhnya digunakan untuk proses pengeringan, tetapi sebagaimana ada kalor terbuang ( *losses* ) ke lingkungan. Energi yang dipergunakan untuk pengeringan bagasse (kalor beban pemanasan ) sebesar 5237,66 kW.

Rotary dryer mampu melakukan pengeringan dari kadar air rata-rata 50,1% menjadi 26,5% atau kadar air yang tereduksi hingga 23,6%. Laju penguapan air dari permukaan bagasse sebesar 1,476 kg/detik. Dari pengering an tersebut diperoleh peningkatan nilai bakar bagasse hingga 39,648 kkal/jam dan efisiensi pengering mencapai 86,62 %.

Dengan peningkatan nilai bakar tersebut mampu memenuhi kebutuhan energi pada pabrik gula dan menghilangkan penggunaan residu. Dengan penggunaan alat ini secara ekonomis sangat menguntungkan, karena efisiensi pengeringan sangat tinggi dan kadar air yang direduksi cukup besar. Dengan demikian dapat mengoptimalkan penggunaan bagasse sebagai bahan bakar ketel uap pabrik gula.

Disamping abu yang tertangkap EP juga mengandung unsur SiO<sub>2</sub> sekitar 43,71 % dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sekitar 10,65 % merupakan sebuah nilai ekonomis tersendiri yang bisa digunakan untuk bahan bangunan seperti : batu bata, keramik, batako atau untuk pupuk organik karena mengandung unsur Na<sub>2</sub>O.

### 5.KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa data pengeringan bagasse dalam rotary dryer serta pengendalian gas asap boiler dengan menggunakan electrostatic precipitator dapat disimpulkan sebagai

berikut :

- 1.Temperatur gas asap yang cukup tinggi sekitar 220 <sup>0</sup>C keluar dari air heater memiliki kandungan kalor sebesar 6046,67 kW serta mampu mengeringkan bagasse sampai kapasitas 35 ton/jam.
- 2.Kalor yang diperlukan untuk pengeringan bagasse sebesar 5237,66 kJ/s.
- 3.Rotary dryer mampu mereduksi kadar air bagasse hingga 23,6% yakni dari kadar air 50,1% menjadi 26,5% dengan laju penguapan 1,476 kg/s.
- 4.Bagasse memiliki nilai bakar awal 1824,4 kkal/kg dan setelah pengeringan menjadi 2957,2 kkal/kg, sehingga terjadi peningkatan nilai kalor bakarnya sebesar 39,648 x 10<sup>6</sup> kkal/jam.
- 5.ESP cukup efektif menangkap jelaga atau ampas sampai ukuran < 2 μC serta jumlah limbah debu yang keluar dari cerobong hanya sekitar 0,16%.
- 6.Efisiensi operasi *rotary dryer* sebesar 86,62% dan efektifitas penangkapan debu oleh electrostatic precipitator mencapai 99,84%.
- 7.Abu yang tertangkap ESP bisa digunakan untuk bahan dasar keramik, batu bata, batako ataupun pupuk organik karena mengandung mineral tinggi seperti SiO<sub>2</sub> sekitar 43,71 % dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sekitar 10,65 %

### 6.DAFTAR PUSTAKA

1. Satrio *Pencemaran dan Lingkungan Kita* Mutiara 1996
2. Hugot E. *Handbook of Cane Sugar Engineering Second Edition*. Amsterdam : Elsevier Publishing Co. 1982
3. Andrew, A.W. *Environmental Pollution*. Prentice