

# EVALUASI KINERJA POWER PLANT 30 MW DENGAN TEKNOLOGI CIRCULATING FLUIDIZED BED COMBUSTOR BERBAHAN BAKAR BATUBARA

Adi Surjosatyo

Department Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Indonesia  
Kampus UI Depok  
Jawa Barat, Indonesia

Phone: +62-0217270032, FAX: +62-0217270033, E-mail: adisur@eng.ui.ac.id

## ABSTRAK

*Fluidized Bed Combustor* (FBC) adalah sebuah tungku pembakar yang menggunakan media pengaduk seperti pasir kuarsa, silika, dan media lainnya sehingga akan terjadi mixing yang homogen antara gas/udara dengan butiran-butiran media tersebut. Sistem ini menggunakan konsep turbulensi benda padat yang terjadi pada proses pembakaran, dimana dalam proses tersebut timbul juga perpindahan panas dan massa yang tinggi dalam mekanisme pembakaran. Butiran-butiran media yang ada ini berfungsi sebagai penyimpan dan pendistribusi panas, sehingga pembakaran tersebut dapat berfungsi dengan semestinya. Yang menjadi permasalahan adalah belum diketahuinya secara teoritikal kinerja alat *Circulating Fluidized Bed Combustor* yang ada di PT. X, diantaranya kinerja kecepatan fluidisasi minimum yang terjadi dalam *Circulating Fluidized Bed*, dan *Heat Release Rate* yang terjadi di ruang bakar (*furnace*). Dengan diketahuinya nilai secara teoritikal tersebut di atas, diharapkan dapat membantu para engineer di PT. X untuk mengetahui kinerja dari *Circulating Fluidized Bed Boiler*.

*Keywords: CFB Boiler, fluidisasi, heat release*

## 1. Latar Belakang

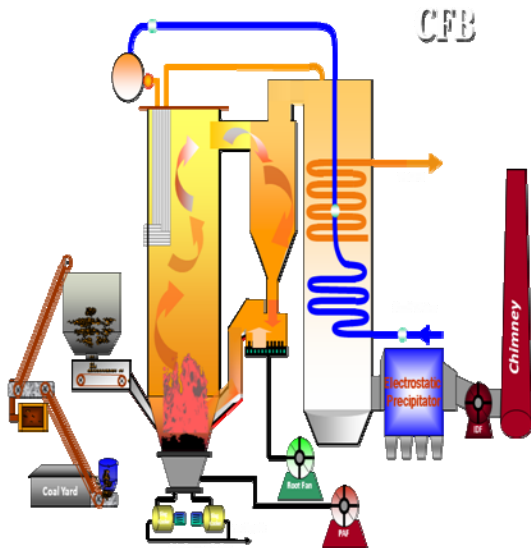
Pangsa penggunaan batubara di Indonesia untuk pembangkit listrik terus meningkat pesat dari 21 % pada tahun 1996 menjadi 78 % pada tahun 2021. Pemakaian batubara dalam jumlah besar ini harus menerapkan teknologi batubara bersih, salah satunya yaitu IGCC, supaya dampak lingkungannya minimum. Bagi Indonesia pembangkit listrik IGCC merupakan teknologi alternatif yang patut dipertimbangkan untuk menggantikan PLTU batubara konvensional yang sudah habis masa gunanya dan untuk pembangunan pembangkit listrik yang baru<sup>1)</sup>. Hal lain sebagai keunggulan di teknologi Fluidized Bed ini adalah berperannya kombinasi konvektif dan radiasi heat transfer dalam proses pembakaran dalam furnace. Hal ini memberikan efek temperatur pembakaran yang rendah dan efisien terutama dalam mekanisme kontak antara bahan bakar padat dan gas<sup>3)</sup>. Selanjutnya dalam setiap proses pembakaran di ruang bakar stoker, NKK Japan<sup>3)</sup> mencatat produksi (emisi) dioxine yang cukup tinggi sehingga menimbulkan masalah sosial yang cukup

berarti. Sehingga NKK memutuskan untuk melakukan studi pembakaran limbah municipal dengan teknologi fluidisasi. Diperoleh dari studi ini, bahwa kadar dioxine sangat rendah sebesar 0.00058 ng(TEQ)/Nm<sup>3</sup> pada cerobong.

Studi ini dilakukan dengan bekerja sama dengan PT. X berlokasi di Karawang Barat, Jawa Barat adalah merupakan suatu *power plant* swasta yang menghasilkan listrik dan uap untuk disuplai ke suatu perusahaan kertas, disamping juga untuk memenuhi kebutuhan listrik di PT. X sendiri. Daya maksimal yang bisa dihasilkan adalah 30 MW. Proses pembangkitan listriknya adalah dengan menggunakan tenaga uap untuk memutar turbin yang dikopel dengan generator listrik. Uap itu sendiri dihasilkan *Circulating Fluidized Bed Boiler* yang menggunakan batubara sebagai sumber bahan bakar utama. *Pulp and paper mill sludge* juga bisa digabungkan dengan batubara sebagai bahan bakar, sehingga mengurangi sampah. Komposisi *slag paper* adalah 5% dan batubara 95% dari total bahan bakar yang disuplai ke *furnace*. Gambar di bawah adalah skematik



CFB Boiler, turbin dan generator serta spesifikasinya yang digunakan di PT.DSS.



Gambar 1. Skematik CFBC Power Plant

Merk Boiler	Jinan Boiler
Type	YC 220/918-M1 Coal Fired CFB Boiler
Rated Steam Pressure ( design )	9.81MPa
Rated Steam Temperature (design )	540 ° C
Enthalpy	3477 kJ/kg
Capacity	220 ton /hour
Feed Water Temperature	215 ° C
Feedwater Enthalpy	923 kJ/kg
Flue Gas Temperature	140 ° C
Flue Gas Enthalpy	1471.534 kJ/kg
Effisiensi Boiler	88%
Steam flow rate ( )	65.7 ton / hour
Cold Air Temperature	30 ° C
Cold Air Theory Enthalpy	200.330kJ/kg
Saturated water heat enthalpy	1458 kJ/kg
Blowdown Quantity	1.22 kg/s
Coal compulsion	31.12 ton / hour
Calculated feed capacity	8.56 kg/s
Saturation temperature	319 ° C

Gambar 2. Spesifikasi CFBC Power Plant

*Fluidized Bed Combustor* (FBC) adalah sebuah tungku pembakar yang menggunakan media pengaduk seperti pasir kuarsa, silika, dan media lainnya sehingga akan terjadi mixing yang homogen antara gas/udara dengan butiran-butiran media tersebut. Sistem ini menggunakan konsep turbulensi benda padat yang terjadi pada proses pembakaran, dimana dalam proses tersebut timbul juga perpindahan panas dan massa yang tinggi dalam mekanisme pembakaran. generasi kedua dari teknologi ini yang dikenal dengan *Circulating Fluidized Bed Combustion* (CFBC). Pada CFBC,

partikel batubara yang belum terbakar (*unburned coal*) disirkulasikan kembali ke ruang bakar sehingga memungkinkan tercapainya efisiensi pembakaran yang lebih tinggi.

Yang menjadi permasalahan adalah belum diketahuinya secara teoritikal karakteristik kinerja alat *Circulating Fluidized Bed Combustor* yang ada di PT. X, sedang kan tujuan studi ini adalah memperoleh kinerja kecepatan fluidisasi minimum yang terjadi dalam *Circulating Fluidized Bed*, dan *Heat Release Rate* yang terjadi di ruang bakar (*furnace*).

## 2. METODE STUDI

### 2.1. Menghitung kecepatan fluidisasi minimum

Data-data yang digunakan untuk perhitungan kecepatan fluidisasi minimum adalah seperti Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Data Pasir

Data pasir	Satuan	Nilai
Diameter pasir	µm	600, 2300
Massa jenis pasir	kg/m <sup>3</sup>	1516
Suhu lingkungan	°C	27
Suhu unggun	°C	800.055
Percepatan gravitasi	m /det <sup>2</sup>	9.81

Tabel 2.

Data pasir	Satuan	Lingkungan	Unggun
Suhu	°C	27	800.055
Massa jenis	kg/m <sup>3</sup>	1.16	0.3251
Viskositas	Ns /m <sup>2</sup>	0.0000184	0.000044

Dari [5] membuat suatu persamaan yang menjadi dasar bagi para peneliti dalam menentukan kecepatan fluidisasi minimum untuk *circulating fluidized bed* yaitu :

Archimedes Number :

$$A_r = \frac{\rho_g (\rho_p - \rho_g) g d_p^3}{\mu^2}$$

Kecepatan fluidisasi minimum :

$$U_{mf} = \frac{(1.45) (\mu)}{(d_p)^3 \times (\rho_g)} A_r^{0.484}$$

dengan:

$A_r$  = bilangan Archimedes

$\rho_g$  = densitas udara

$\rho_p$  = densitas partikel ( pasir )

$g$  = gravitasi 9.81  $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

$\mu$  = viskositas udara  $\left(\frac{Ns}{m^2}\right)$



$$U_{mf} = \text{kecepatan fluidisasi minimum} \left( \frac{m}{s} \right)$$

## 2.2. Menghitung Efisiensi CFB Boiler

Efisiensi boiler didefinisikan sebagai besarnya energi panas masuk yang digunakan secara efektif pada steam yang dihasilkan.

Untuk perhitungan efisiensi boiler, digunakan perhitungan dengan metoda langsung. Dikenal juga sebagai 'metode *input-output*' karena kenyataan bahwa metode ini hanya memerlukan keluaran *output* (steam) dan panas masuk *input* (bahan bakar) untuk evaluasi efisiensi.

$$\eta_{\text{boiler}} = \frac{\dot{Q}_{\text{steam}}}{\dot{Q}_{\text{b.bakar}}} = \frac{G_s(h_{ss} - h_{fw})}{G_f \times \text{LHV}_{\text{b.bakar}}}$$

Dimana :

$$G_s = \text{jumlah steam yang dihasilkan boiler} \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)$$

$$h_{ss} = \text{entalpi uap superheated} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$h_{fw} = \text{entalpi uap saturated} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$G_f = \text{jumlah bahan bakar yang dibuthkan} \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)$$

$$\text{LHV}_{\text{b.bakar}} = \text{lower heating value} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

## 2.3. Menghitung heat release rate

Bahan bakar yang digunakan di *Circulating Fluidized Bed Boiler* yang ada di PT X adalah bahan bakar padat, yaitu batubara bituminous, dengan data-data seperti di Tabel 3.

Tabel 3. Bahan Bakar Bituminus

Kadar Unsur	Persen massa
Karbon ( C )	69.48
Hidrogen ( H <sub>2</sub> )	4.49
Sulphur ( S <sub>2</sub> )	0.18
Oksigen ( O <sub>2</sub> )	20.82
Nitrogen ( N <sub>2</sub> )	0.90
LHV	25 MJ/kg

Heat release furnace adalah jumlah kalor yang dihasilkan akibat dari pembakaran bahan bakar dengan udara di dalam furnace. Kalkulasi dengan menggunakan rumus:

$$g_f = G_f [\text{HHV} (1 - L_r) + Q_u + Q_m - 577.777 (8.936 H_2) - 811.11 (C - C_x)]$$

Dimana :

$$g_f = \text{heat release yang dihasilkan dari dalam furnace} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{jam}} \right)$$

$$G_f = \text{laju bahan bakar yang diperlukan boiler} \left( \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right)$$

$$\text{HHV} = \text{higher heating value} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

L<sub>r</sub> = kerugian radiasi, diasumsikan sebesar 1%

$$Q_u = \text{heat credit udara pembakaran} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$Q_m = \text{heat credit kandungan air pada udara pembakaran} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

H<sub>2</sub> = kandungan nitrogen didalam bahan bakar

C = kandungan karbon didalam bahan bakar

C<sub>x</sub> = jumlah karbon yang terbakar

## 4. Hasil dan Diskusi

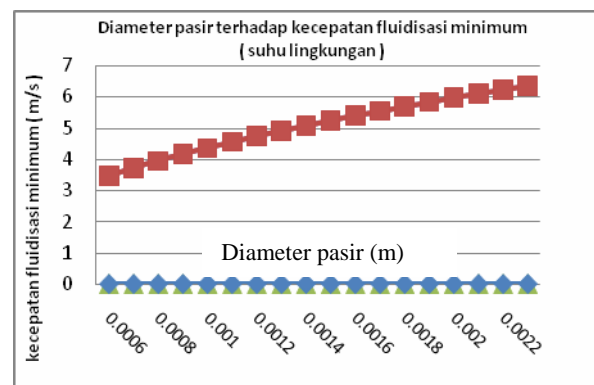
### 4.1. Kecepatan fluidisasi minimum

Untuk perhitungan kecepatan fluidisasi minimum terhadap diameter pasir terkecil dan terbesar dapat ditunjukkan di Tabel 4.

Tabel 4. Kecepatan Fluidisasi Minimum

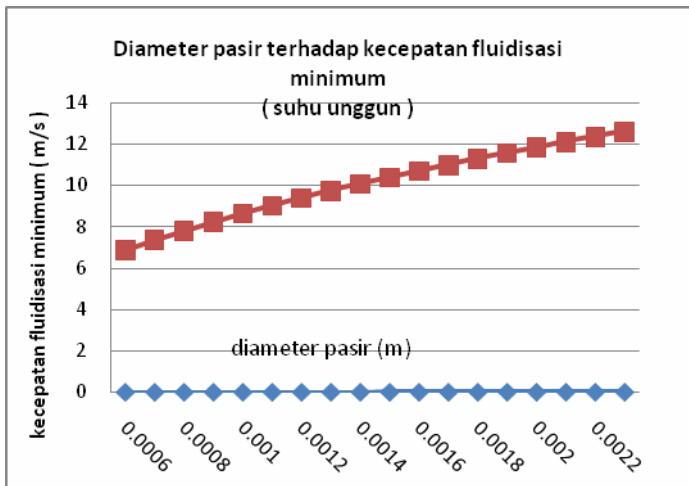
Suhu (°C)	Diameter (μm)	Kecepatan fluidisasi minimum (m/s)
27	600	3.463949316
27	2300	6.358404394
800.055	600	6.86951784
800.055	2300	12.60964536

Pada suhu lingkungan dan suhu unggun dapat dibuat grafik diameter pasir terhadap kecepatan fluidisasi minimum yang terjadi dengan diameter terkecil 600 μm hingga 2300 μm seperti yang ditunjukkan di Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Pengaruh suhu lingkungan





Gambar 4. Pengaruh suhu unggun

Dari kalkulasi dan grafik di Gambar 3 dan 4, ukuran diameter pasir mempengaruhi nilai fluidisasi minimum, yaitu dengan semakin meningkatnya diameter pasir fluidisasi minimum meningkat.

#### 4.2. Efisiensi Boiler

Perhitungan efisiensi boiler dilakukan dengan membandingkan data desain dan data operasional yang diambil pada tanggal 26 Februari 2009. Hasil perhitungan ditampilkan di Tabel 5.

Tabel 5. Spesifikasi Desain dan operasional

Parameter	Satuan	Nilai Desain	Nilai operasional
Steam flow rate	kg/s	61.11	45.31
Superheated Temperature	C	540	508.58
Enthalpy Superheated	kJ/kg	3477	3407.54
Temperature feedwater	C	215	221.3
Enthalpy Feedwater	kJ/kg	923	923.18
Coal mas flow rate	kg/s	8.64	8.01
LHV	kJ/kg	21167.5	24966.85
Efisiensi	%	85.33	56.3

#### 4.3. Heat Release Rate

Dengan mengasumsikan kehilangan radiasi sebesar 1%, tidak ada heat credit dan pembakaran terjadi secara sempurna, maka hasil perhitungan heat release rate dapat ditampilkan di Tabel 6.

Tabel 6. Heat Release Rate

Parameter	Satuan	Nilai
Coal Mass Flow Rate	kg/s	288,58.33
HHV	kJ/kg	26,239.87
Radiation losses	%	1
Qu + Qm	kJ/kg	0
H2	%	4.50
C - Cx	%	0
Total Heat Release	kJ/kg	310,564,252,8
Area	m <sup>2</sup>	1024
Heat release rate/area	MW/m <sup>2</sup>	0.84

## 4. KESIMPULAN

1. Pada pengoperasian CFB Boiler pada tanggal 26 Februari 2009 ( 08:00 – 07:00) diperoleh nilai kecepatan fluidisasi minimum dengan diameter pasir terkecil sebesar 3.46 m/s (suhu lingkungan) dan 6.86 m/s (suhu unggun). Sedangkan untuk diameter pasir terbesar diperoleh nilai kecepatan fluidisasi minimum sebesar 6.35 m/s (suhu lingkungan) dan 12.6 m/s (suhu bed).
2. Ukuran diameter pasir sangat berpengaruh terhadap nilai kecepatan fluidisasi minimum yang diperlukan. Semakin besar diameter pasir maka semakin besar nilai kecepatan fluidisasi minimum.
3. Efisiensi operasional CFB Boiler pada tanggal 26 Februari 2009 ( 08:00 – 07:00) sebesar 56.28% tidak efisien jika dibandingkan dengan nilai efisiensi desain CFB Boiler sebesar 85.33%.
4. Proses pembakaran batubara pada tanggal 26 Februari 2009 ( 08:00 – 07:00) melepas panas (heat release rate) sebesar 0.84 MW/m<sup>2</sup>.

### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ini disampaikan kepada Sdr. Limbong dan Frins Dayan yang telah melakukan serangkaian pengambilan data dan membantu dalam menganalisa pada studi ini.

### Daftar Pustaka

- [1] Sugiyono, A., *Teknologi Daur Kombinasi Gasifikasi Batubara Terintegrasi I*, Pertamina - KNI-WEC, Hasil-Hasil Lokakarya Energi hal. 663-675,1996,



- [2] Soedjoko Tirtosoekotjo and Edi Prasodjo, *Reliability of Coal to Support Electricity Development Program in Indonesia*, Presented at the Indonesia-Netherlands Seminar on Clean Coal Technology, Jakarta, May 1996,
- [3] Karageorgieva, D., Stanev, R. *Heat Transfer In Low Temperature Circulating Fluidized Bed*. Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, 41, 1, 2006, 69-74,
- [4] Yokoyama, T., et al. *Improvements and Recent Technology for Fluidized Bed Waste Incinerators*. NKK TECHNICAL REVIEW No.85 (2001),
- [5] Basu, Prabir, *Combustion and Gasification in Fluidized Beds*, (2006).



