

## BAB II

### Tinjauan Pustaka

#### 2.1. Boiler

*Boiler* berfungsi untuk merubah air menjadi uap superheat yang bertemperatur dan bertekanan tinggi. Alat yang digunakan untuk membuat uap disebut “*Boiler*” (*Boiler*) atau lebih tepat “*Steam Generator*” (Pembangkit Uap)<sup>1</sup>.

Klasifikasi *boiler* secara umum dibagi dua yaitu, *boiler* pipa api dan *boiler* pipa air. Jenis *boiler* pipa api banyak digunakan oleh industri yang memerlukan tekanan uap yang relatif rendah, misalnya pabrik-pabrik tahu. Sedangkan jenis pipa air digunakan oleh industri/pembangkit listrik yang memerlukan tekanan uap yang tinggi.

##### 2.1.1 Boiler Pipa Api

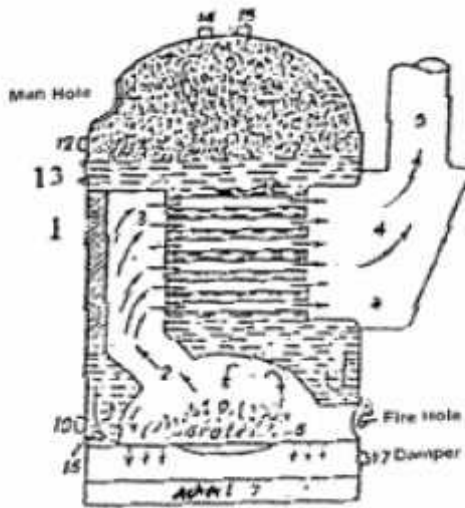
Pada jenis *boiler* pipa api (Gambar 2.1), gas panas hasil pembakaran (*flue gas*) mengalir melalui pipa-pipa yang dibagian luarnya diselimuti air sehingga terjadi perpindahan panas dari gas panas ke air dan air berubah menjadi uap<sup>2</sup>.

Keterbatasan dari *boiler* pipa api adalah tekanan uap tidak dapat dibuat terlampau tinggi karena ketebalan drum akan sedemikian tebalnya sehingga tidak menguntungkan. *Boiler* seperti ini banyak digunakan di pabrik-pabrik tahu karena tidak memerlukan tekanan uap yang tinggi.

---

<sup>1</sup> PT. PLN (PERSERO) Jasa Diklat Unit Pendidikan dan Pelatihan Suralaya. Pengoperasian Boiler. 2006  
Hal 2

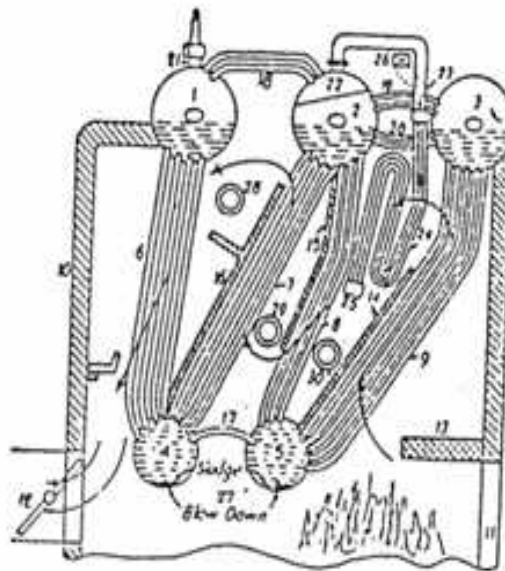
<sup>2</sup> Ibid Hal 2



Gambar 2.1. *Boiler* Pipa Api

### 2.1.2. *Boiler* Pipa Air

Pada *boiler* pipa air (Gambar 2.2) jenis ini, air berada didalam pipa sedangkan gas panas berada diluar pipa. *Boiler* pipa air dapat beroperasi dengan tekanan sangat tinggi<sup>3</sup>.



Gambar 2.2. *Boiler* Pipa Air

<sup>3</sup> PT. PLN (PERSERO) Jasa Diklat Unit Pendidikan dan Pelatihan Suralaya. Pengoperasian Boiler. 2006 hal 2

### 2.1.3 Komponen Utama *Boiler*

Komponen utama *Boiler* antara lain *Steam drum*, *Economizer*, *Superheater*, *Reheater*, *Furnace*, dan *Burner*.

#### 2.1.3.1 *Steam drum*

*Steam drum* adalah bagian dari *boiler* yang berfungsi untuk :

1. Menampung air yang akan dipanaskan pada pipa-pipa penguap (*wall tube*), dan menampung uap air dari pipa-pipa penguap sebelum dialirkan ke *superheater*.
2. Memisahkan uap dan air yang telah dipanaskan di ruang bakar
3. Mengatur kualitas air *boiler*, dengan cara membuang kotoran-kotoran yang terlarut di dalam *boiler* melalui *continous blowdown*.
4. Mengatur permukaan air sehingga tidak terjadi kekurangan saat *boiler* beroperasi yang dapat menyebabkan *overheating* pada pipa *boiler*.

Level air dari drum harus selalu dijaga agar selalu tetap setengah dari tinggi drum. Banyak nya air pengisi yang masuk ke *steam drum* harus sebanding dengan banyaknya uap yang meninggalkan drum, agar level air tetap konstan. Batas maksimum dan minimum level air dalam *steam drum* adalah -250 mm s/d 250 mm dari titik 0 (setengah tinggi drum)

#### 2.1.3.2 *Economizer*

*Economizer* adalah pipa untuk menyerap panas dari gas bekas sisa pembakaran ke dalam *feed water* sebelum memasuki siklus penguapan (*evaporation*) di dalam *boiler*. Pemanasan air ini dilakukan agar perbedaan temperatur antara air pengisi dan air yang berada dalam *steam drum* tidak terlalu

tinggi, sehingga tidak terjadi *thermal stress* (tegangan yang terjadi karena adanya pemanasan) di dalam *steam drum*. Memanfaatkan gas sisa pembakaran akan meningkatkan efisiensi *Boiler* dan proses pembentukan uap juga lebih cepat. *Economizer* berupa pipa-pipa air yang dipasang ditempat laluan gas hasil pembakaran sebelum air *heater*.

Perpindahan panas yang terjadi di *economizer* terjadi dengan arah aliran kedua fluida berlawanan (*counter flow*). Air pengisi *steam drum* mengalir ke atas menuju *steam drum*, sedangkan udara pemanas mengalir ke bawah.

#### **2.1.3.3 Superheater**

*Superheater* berfungsi untuk menaikkan temperatur uap jenuh menjadi uap panas lanjut dengan memanfaatkan gas panas hasil pembakaran. Uap yang masuk ke *superheater* berasal dari *steam drum*.

#### **2.1.3.4 Reheater**

*Reheater* berfungsi untuk memanaskan kembali uap yang keluar dari HP *turbine* dengan memanfaatkan gas hasil pembakaran yang temperaturnya relatif masih tinggi. Pemanasan ini bertujuan untuk menaikkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Perpindahan panas yang paling dominan pada *reheater* adalah perpindahan panas konveksi. Perpindahan panas radiasi pada *reheater* memberikan efek yang sangat kecil sehingga proses ini biasanya diabaikan.

#### **2.1.3.5 Furnace**

*Furnace* merupakan suatu tempat berlangsungnya proses pembakaran bahan bakar dengan udara. Udara yang digunakan di suplai dari *force draft fan* (FD

*Fan*) dan *primary air fan* (PA *Fan*). Seluruh permukaan *furnace* terdiri dari *water wall* yang dilas membran nya.

#### **2.1.3.6. Burner**

*Burner* merupakan alat untuk menghasilkan sumber api bagi *Boiler*. Yaitu dengan cara membakar campuran bahan bakar (batubara) dan udara di dalam ruang bakar *boiler*.

#### **2.1.4 Komponen Pendukung Boiler**

Komponen pendukung *Boiler* PLTU 3 Jawa Timur Tanjung Awar-Awar Unit 1 adalah *Force Draft Fan*, *Primary Air Fan*, *Induce Draft Fan*, *Air Pre Heater*, *Coal Pulvarizer*, *Electro Static Precipicator*, dan *Stack* (Cerobong).

##### **2.1.4.1 Force draft Fan (FD Fan)**

*Force draft fan* (FD *Fan*) digunakan untuk menyuplai udara ke dalam windbox yang digunakan untuk udara penambah pada pembakaran di dalam *furnace*.

##### **2.1.4.2 Primary air Fan (PA Fan)**

*Primary air fan* (PA *Fan*) digunakan untuk menyuplai udara panas dan dingin kedalam *Mill* dan digunakan untuk proses pembakaran bersama batubara di dalam *furnace*.

##### **2.1.4.3 Induced Draft Fan (ID Fan)**

*Induced draft* dan (ID *Fan*) digunakan untuk menghisap udara sisa pembakaran setelah melewati ESP yang kemudian dibuang ke udara bebas melalui *chimney/ stack*.

#### **2.1.4.4 Air Pre Heater (APH)**

*Air pre heater* (APH) digunakan untuk memanaskan udara yang akan digunakan untuk proses pembakaran dari *force draft fan* (FD Fan) dan *primary air fan* (PA Fan) dengan memanfaatkan sisa gas buang yang mempunyai suhu yang cukup tinggi.

#### **2.1.4.5 Coal Pulvurizer**

*Coal pulvurizer* digunakan untuk memecah batubara sehingga ukurannya 200 mesh, proses pemecahannya menggunakan sebuah alat penggerus berjumlah 3 buah yang disebut dengan *glinder*. Batubara yang sudah dipecah oleh *glinder* kemudian akan naik dan disupplykan ke dalam *furnace* dengan bantuan udara dari *primary air fan*.

#### **2.1.4.6 Electro Static Precipitator (ESP)**

*Electro Static Precipitator* (ESP) digunakan untuk menghisap debu-debu yang terkandung dalam sisa gas pembakaran dengan menggunakan prinsip memberikan ion negatif dan positif ke gas buang sehingga debu dapat terikat oleh ion-ion tersebut.

#### **2.1.4.7 Stack (Cerobong)**

*Stack* (Cerobong) digunakan untuk membuang gas buang ke udara bebas namun setelah melewati berbagai proses sehingga aman untuk lingkungan.

### **2.2. Pembakaran**

Pembakaran merupakan suatu proses reaksi kimia antara suatu bahan bakar dengan oksigen, yang memerlukan panas sebagai media penyalanya. Dalam suatu

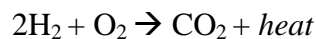
reaksi pembakaran lengkap, suatu senyawa bereaksi dengan zat pengoksidasi, dan produknya adalah senyawa dari tiap elemen dalam bahan bakar dengan zat pengoksidasi.

Pembakaran bertujuan untuk melepaskan seluruh panas yang terdapat pada bahan bakar. Pembakaran pada PLTU terjadi pada ruang bakar memiliki syarat: bahan bakar, oksigen dan sumber panas yang berkombinasi menjadi satu bentuk reaksi pembakaran. Berikut ini jenis-jenis pembakar<sup>4</sup>an:

#### 1. Pembakaran Stoikiometris

Pembakaran stikiometris adalah kebutuhan reaksi pembakaran yang utuh pada atau di atas kebutuhan udara stoikiometris untuk mencapai *complete combustion*.

Pembakaran stoikiometris sederhana terjadi di dalam proses pembakaran karbon dan oksigen, seperti di bawah ini:



#### 2. Pembakaran Sempurna

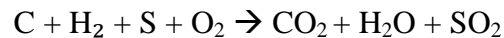
Pembakaran sempurna terjadi apabila zat reaksi terbakar seluruhnya di dalam oksigen dan menghasilkan beberapa jenis produk. Pada pembakaran sempurna apabila hidrokarbon terbakar di dalam oksigen maka, efek reaksi akan hanya menghasilkan karbondioksida dan air<sup>4</sup>. Elemen seperti karbon, nitrogen, sulfur dan besi terbakar, elemen tersebut akan menghasilkan oksida yang paling umum. Karbon

---

<sup>4</sup> Muanif. 2013. Evaluasi Bilangan Excess Air Unit 2 PLTU 1 Jawa Timur Pacitan. Laporan Tugas Akhir. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Hal 4

akan menghasilkan karbon dioksida. Nitrogen akan menghasilkan nitrogen oksida. Sulfur akan menghasilkan sulfur dioksida.

Pembakaran sempurna terjadi jika semua unsur C, H dan S yang terkandung dalam bahan bakar bereaksi membentuk CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O dan SO<sub>2</sub>. Pembakaran sempurna dapat dicapai apabila campuran antara bahan bakar dan oksida tepat, dengan rasio udara dengan bahan bakar yang tepat pula. Jumlah bahan bakar dan oksida dalam pembakaran sempurna harus stoikiometris. Campuran stoikiometris terjadi jika jumlah oksigen dalam campuran tepat untuk bereaksi dengan C, H dan S membentuk CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O dan SO<sub>2</sub>.



### 3. Pembakaran Tidak Sempurna

Pembakaran tidak sempurna terjadi apabila ada sejumlah oksigen yang tidak mencukupi untuk terjadi pembakaran sepenuhnya. Reaktan akan terbakar di oksigen, tetapi akan menghasilkan berbagai produk. Hidrokarbon terbakar di oksigen dan reaksi nya akan menghasilkan karbon dioksida, air, karbon monoksida, dan berbagai senyawa lain seperti oksida nitrogen. Pembakaran tidak sempurna dapat terjadi karena pasokan oksidator nya terbatas atau kurang dari jumlah yang diperlukan.

#### **2.3. Tiga Kebutuhan Pembakaran yang Baik**

Kebutuhan pembakaran yang baik memiliki tiga kondisi yang diperlukan pada pembakaran *boiler* yaitu:



a. Waktu

Waktu pembakaran dalam *furnace* diperlukan sesuai kebutuhan reaksi pembakaran terhadap jumlah bahan bakar yang terbakar semua. Hal ini disesuaikan dengan disain *boiler*.

b. Temperatur

Panas yang cukup harus dirawat dan tersedia untuk menyalakan dan mendukung proses pembakaran. Temperatur *furnace* perapian harus dijaga di atas suhu penyala sampai suhu dibawah terbentuknya NO<sub>x</sub> yaitu 1426,7°C.

c. *Turbulence*

Pencampuran yang cukup antara bahan bakar dan udara diperlukan untuk menyempurnakan hasil pembakaran dalam tungku perapian.

## 2.4 Bahan Bakar Batubara

Batu bara merupakan bahan bakar utama PLTU 3 Jawa Timur Tanjung Awar-Awar. Batubara yang digunakan berupa batubara jenis batubara *lignite* dengan kandungan nilai kalori 4100 – 4500 Kcal/Kgf (17162,6 – 18337 KJ/Kgf), batubara itu diambil dari tambang batubara di Kalimantan selatan dan akan terus disuplai selama pengoperasian. Batubara yang digunakan merupakan campuran antara *low rank coal* dan *medium rank coal* dengan presentase 80%:20%.

Batubara diklasifikasikan dalam berbagai cara menurut sifat – sifat kimia dan fisiknya. Sistem yang paling umum diterima adalah yang digunakan oleh American Society for Testing and Material (ASTM), yang membagi – bagi kualitas batubara

berdasarkan tingkat metamorfosis yang paling rendah (perubahan bentuk dan struktur di bawah pengaruh suhu, tekanan, dan air). Klasifikasi ini mencakup batubara mulai dari keadaan metamorfosis yang paling rendah, yaitu lignit sampai yang tertinggi yaitu antrasit (ASTM D 388). Klasifikasi batu bara antara lain:

- Antrasit

Batubara antrasit memiliki kualitas yang paling tinggi. Antrasit mengandung 86 sampai 98 % massa karbon tetap (kandungan karbon dalam bentuk unsur). Antrasit terbakar dengan lambat, nilai kalornya agak rendah dari batubara bitumin yang mempunyai nilai tinggi<sup>5</sup>. Batubara jenis antrasit dibagi dalam tiga kelompok. Dalam urutan fixed carbon dari yang tinggi sampai rendah. Ketiga kelompok itu adalah meta – antrasit lebih dari 98% fixed carbon; antrasit, 93 sampai 98 %; dan semi antrasit, 86 sampai 92%.

- Bitumin

Bitumin merupakan kelompok batubara terbesar dan mengandung 46 – 86 % massa karbon tetap dan 20 – 40 % *volatile matter* yang lebih kompleks daripada yang terdapat pada antrasit. Nama batubara bitumin berasal dari bitumin, yaitu residu aspal yang diperoleh dari destilasi bahan bakar tertentu<sup>5</sup>. Nilai kalor batubara bitumin berkisar dari 11000 sampai lebih dari 14000 Btu/lb (sekitar 25600 sampai 32600 kJ/kg).

---

<sup>5</sup> Wiharjo, Danu. Analisa Nilai Excess Air Untuk Meningkatkan Efisiensi Pembakaran Boiler pada Load Rate 641.15 MW di PLTU PAITON Unit 7. Laporan Tugas Akhir Fakultas Teknik Politeknik Negeri Malang. 2011. Hal 13

#### - Subbitumin

Subbitumin merupakan kelas batubara yang nilai kalorinya lebih rendah dari pada batubara bitumin, yaitu antara 8300 – 11500 Btu/lb (sekitar 19300-26750 kJ/kg). Kandungan lembaban yang terkait didalamnya relatif tinggi yaitu antara 8300 – 11500 Btu/lb (sekitar 19300 – 26750 kJ/kg). Kandungan kelembaban yang terkait didalamnya relatif tinggi yaitu sekitar 15-30%, tetapi kandungan belerangnya pada umumnya rendah<sup>6</sup>.

#### - Lignit

Lignit merupakan batubara kualitas paling rendah. Lignit berasal dari bahasa latin yaitu *lignum* yang berarti kayu. Warna lignit coklat, strukturnya berlapis, dan didalamnya masih terlihat sisa-sisa kayu. Lignit kebanyakan berasal dari tumbuhan dan banyak mengandung resin volatile matter. Nilai kalornya berkisar antara 6300-8300 Btu/lb (sekitar 14650 sampai 19300 kJ/kg). Kandungan moisturenya tinggi dan nilai kalornya rendah, lignit tidak ekonomis untuk diangkat dalam jarak jauh dan biasanya dibakar dalam utilities di lokasi tambang. Lignit dibagi dua kelompok yaitu lignit A dan lignit B<sup>6</sup>.

## 2.5 Proses Pembakaran di *Furnace*

Pembakaran batubara untuk menghasilkan panas terjadi di dalam *furnace* pada *boiler* dengan temperatur tertentu yang sangat tinggi. Proses pembakaran dibantu

---

<sup>6</sup> Wiharjo, Danu. Analisa Nilai Excess Air Untuk Meningkatkan Efisiensi Pembakaran Boiler pada Load Rate 641.15 MW di PLTU PAITON Unit 7. Laporan Tugas Akhir Fakultas Teknik Politeknik Negeri Malang. 2011. Hal 14

dengan suatu sistem yang dirancang untuk mendukung terjadinya pemanasan yang paling efisien dan tidak mengganggu kelestarian lingkungan sekitar. Proses pembakaran pada kebutuhan pembakaran yaitu bahan bakar, oksigen yang cukup, panas, dan reaksi kimia. Batubara yang digunakan dalam proses pembakaran diharapkan dapat terbakar seoptimal mungkin. Untuk itu batubara perlu dihaluskan dengan cara dihaluskan dengan alat yaitu *coal pulverizer*. Oksigen yang cukup perlu diberikan melalui suatu sistem *fan* serta sistem pemantik awal pembakaran dengan desain khusus. Pembakaran yang terjadi tidak selalu sempurna., sebagai akibatnya apabila pembakaran tidak sempurna maka akan menyisakan *ash* yang melebihi batas yang diijinkan. Pembakaran tidak sempurna juga menghasilkan emisi gas yang melebihi batas polusi udara diijinkan.

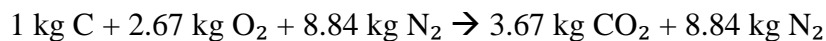
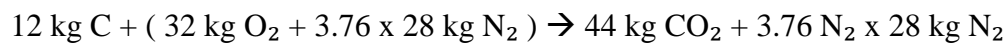
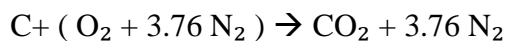
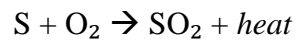
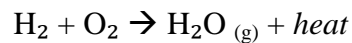
Proses pembakaran yang terjadi di dalam *boiler* menggunakan konsep pembakaran tangensial. Bahan bakar dan udara disuplai ke dalam *furnace* melalui *windbox* yang terdapat pada pojok – pojok *boiler*. *Nozzle* yang merupakan tempat keluarnya bahan bakar dan udara diarahkan secara tangensial terhadap lingkaran imajiner di dalam *furnace*.

Proses pembakaran tersebut akan membentuk lidah api yang berbentuk pusaran, lidah api bentuk ini sangat efektif untuk mencampur bahan bakar dan udara sekunder disebabkan oleh turbelensi dan difusi. Proses pembakaran di dalam *furnace* dapat membentuk oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>) yang berasal dari nitrogen di dalam batubara atau berasal dari nitrogen yang terdapat dalam udara atmosfer. Pembentukan oksida nitrogen tersebut hanya dapat terjadi pada temperatur tinggi, yaitu pada

temperatur di atas 1426.7 °C. Sistem pembakaran tangensial ini didesain untuk membakar batubara secara efisien serta mengurangi pembentukan NOx.

## 2.6. Stokiometri Pembakaran Batu Bara

Pembakaran stikiometris adalah kebutuhan reaksi pembakaran yang utuh pada atau di atas kebutuhan udara stoikiometris untuk mencapai *complete combustion*. Bahan bakar batubara memiliki unsur yang dapat menghasilkan panas atau *heat* yaitu karbon, hidrogen, dan sulfur apabila bereaksi dengan oksigen. Reaksi kimia sederhana bahan bakar dengan oksigen yaitu<sup>7</sup>:

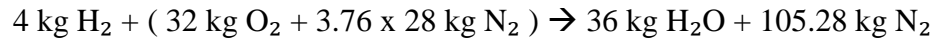
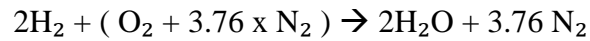


Jadi 1 kg zat karbon memerlukan udara sebanyak 11.51 kg. Bila dalam 1 kg bahan bakar terdapat X kg C, memerlukan udara sebanyak 11.51 kg. Jika berat jenis oksigen pada 0 °C dan 760 mm Hg adalah 1.429 kg/m<sup>3</sup>, maka volume O<sub>2</sub> untuk pembakaran X kg karbon adalah  $2.67 \text{ karbon} / 1.429 = 1.868 \text{ kg X O}_2$ .

Pembakaran hidrogen<sup>7</sup>:

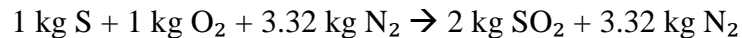
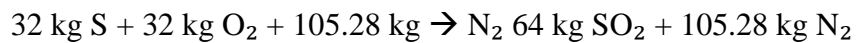
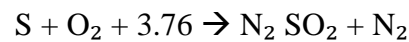
---

<sup>7</sup> Wiharjo, Danu. Analisa Nilai Excess Air Untuk Meningkatkan Efisiensi Pembakaran Boiler pada Load Rate 641.15 MW di PLTU PAITON Unit 7. Laporan Tugas Akhir Fakultas Teknik Politeknik Negeri Malang. 2011. Hal 80



Jadi 1 kg H<sub>2</sub> memerlukan 34.5 kg udara. Jika dalam 1 kg bahan bakar terdapat X kg H<sub>2</sub>, memerlukan 34.5 kg udara, memerlukan 8 X kg O<sub>2</sub> atau 34.5 X kg udara.

Pembakaran belerang<sup>8</sup>:



Jadi 1 kg S memerlukan 1 kg oksigen atau 4.32 kg udara. Jika dalam 1 kg bahan bakar terdapat X kg S, maka diperlukan udara seberat 4.32 X kg.

Pembakaran yang dapat membakar seluruh komponen bahan bakar dalam bahan bakar secara baik, disebut pembakaran sempurna dan keperluan udaranya disebut keperluan udara stoikiometri. Perhitungan keperluan udara stoikiometri pembakaran dalam *boiler* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T_{air} = 0.1151 C + 0.3429 H + 0.0432 O + 0.0431 S^9$$

(kg udara per kg bahan bakar)

Dimana:

T<sub>air</sub> : Kebutuhan udara teoritis (kg udara/kg batu bara)

<sup>8</sup> Wiharjo, Danu. Analisa Nilai Excess Air Untuk Meningkatkan Efisiensi Pembakaran Boiler pada Load Rate 641.15 MW di PLTU PAITON Unit 7. Laporan Tugas Akhir Fakultas Teknik Politeknik Negeri Malang. 2011. Hal 81

<sup>9</sup> The American Society of Mechanical Engineer. ASME PTC 4, Fired Steam Generators. New York, USA. 2008. Hal 80

- C : Kandungan karbon dalam batu bara (%)
- H : Kandungan Hidrogen dalam batu bara (%)
- O : Kandungan Oksigen dalam batu bara (%)
- S : Kandungan Sulfur dalam batu bara (%)

### 2.7. *Excess air*

Pembakaran sempurna dengan secara teoritis sangat sulit dicapai karena pada kenyataannya tidak semua oksigen bereaksi dengan unsur-unsur bahan bakar. Pemberian udara berlebih (*excess air*) berguna menjamin terlaksananya proses pembakaran sempurna. Jumlah udara berlebih tergantung dengan komposisi bahan bakar dan jenis bahan bakar yang digunakan.

Jumlah udara (oksigen) yang kurang dari kebutuhan pembakaran akan menyebabkan jumlah bahan bakar yang tidak terbakar akan semakin banyak sehingga terbuang sia-sia melalui cerobong (*stack*). Jumlah oksigen yang semakin banyak yang ditandai dengan jumlah *excess air* juga semakin banyak, maka akan semakin banyak pula energi panas yang ikut terbuang keluar karena diserap oleh *excess air* tersebut. Kerugian yang kedua ini sering disebut dengan *heat loss*

Excess air dapat dihitung dengan:

$$\text{Excess air} = \text{O}_2 \text{ furnance} \times \frac{\text{mol pembakaran} + (0,7905 \times T_{\text{air}})}{T_{\text{air}} \times (20,95 - \text{O}_2 \text{ furnance})}^{10}$$

Dimana,

---

<sup>10</sup> Performance Test PLTU Tanjung Awar-Awar

$O_2$  *furnance* : Kandungan  $O_2$  pada ruang bakar (%)

Mol pembakaran : Jumlah mol pada kandungan batu bara

*Tair* : Udara teoritis (kg udara/ kg bahan bakar)

## 2.8. Sistem Penyediaan Udara

Proses pembakaran sangat membutuhkan oksigen dalam jumlah yang memadai agar pembakaran sempurna dapat terjadi. Kondisi pembakaran *boiler* yang tidak sempurna memerlukan jumlah udara di dalam *furnace* semakin banyak, sehingga pencampuran yang sempurna antara bahan bakar dengan oksigen belum tentu dapat terjadi dengan sempurna<sup>11</sup>. Implementasinya, kelebihan udara pada *furnace* mendapatkan suplai udara dari sistem *fan*. Tiga jenis *fan* yang mendukung penyuplaian udara untuk sistem *furnace*, yaitu:

### 1. *Force draft fan* (FDF)

Udara untuk pembakaran masuk ruang dapur dengan menggunakan tenaga mekanis, yaitu *blower*. *Blower* membuat tekanan udara di dalam ruang pembakaran menjadi naik. Tekanan udara berlebih di dalam ruang bakar akan keluar melalui *stack* (cerobong).

### 2. *Primary air fan* (PAF)

PAF berfungsi untuk membantu kerja FDF untuk menyuplai udara kedalam *furnace* dan menekan batubara dari *coal pulverizer* kedalam *furnace*

---

<sup>11</sup> Wiharjo, Danu. Analisa Nilai Excess Air Untuk Meningkatkan Efisiensi Pembakaran Boiler pada Load Rate 641.15 MW di PLTU PAITON Unit 7. Laporan Tugas Akhir Fakultas Teknik Politeknik Negeri Malang. 2011. Hal 25



serta mengeringkan batubara pada temperatur 65°C dengan membawa udara panas dari *primary air heater*.

### 3. *Induced draft fan (IDF)*

Udara untuk pembakaran masuk ke ruang pembakaran karena adanya tarikan/isapan *blower*. Udara dari ruang pembakaran diisap oleh *blower* yang dipasang pada stack dan selanjutnya keluar melalui stack (cerobong). Akibat isapan *blower*, tekanan *draft* akan terjadi di dalam ruang pembakaran dan udara pembakaran akan masuk ke ruang pembakaran.

FD *Fan* dan ID *Fan* bersama – sama membentuk tekanan negatif di dalam *furnace* untuk mencegah terjadinya kecelakaan kerja. Apabila tekanan di dalam *furnace* menjadi positif dan *furnace* mengalami kebocoran, maka api pembakaran yang terdapat di dalam *furnace* akan tersedot keluar dinding *boiler* sehingga dapat memberikan bahaya yang sangat besar.

Pemanasan dilakukan sebelum udara dimasukkan ke dalam sistem *furnace*. Proses ini dinamakan dengan *Air Pre-Heater*. Hal ini dilakukan dengan melewati udara ke bagian *backpass* dari *boiler* sehingga udara di dalam *boiler* yang masih memiliki sisa panas dari proses pembakaran di *furnace*. Tujuannya adalah agar panas yang terdapat di dalam *furnace* tidak hanya habis dipakai untuk menaikkan temperatur udara yang disuplai oleh FD *Fan* dan PA *Fan* sehingga terjadi efisiensi dalam pembakaran. Tipe-tipe udara yang mengalir menuju *boiler*:

#### a. *Primary air*

*Primary air* merupakan udara pembakaran yang belum melewati dan dipanaskan *air pre heater*.

*b. Secondary air*

*Secondary air* merupakan udara yang sudah dipanaskan dan melewati *air pre heater*.

## 2.9 Sistem Windbox

*Windbox* adalah tempat keluarnya udara pembakaran dan bahan bakar. *Windbox* didesain bersama dengan *tangential firing system* untuk membakar bahan bakar dengan *coal nozzles* A, B, C, D, E, dan F selalu terhubung dalam pengaturan *fuel oil* ke dalam *furnace*. *Fuel air* dari *secondary air* dirubah ke porsi yang sesuai dengan perbandingan bahan bakar dalam *firing* bahan bakar. *Windbox* memiliki *fuel air dampers* sebagai pengatur posisi awal posisi *burner*<sup>12</sup>. Komponen utama dari *tangential firing system* adalah:

### 2.9.1. Coal firing equipment

Elevasi batubara memiliki 4 kompartemen batubara dengan pengisian batubara oleh *pulverizer*. Batubara ditransfer dengan *pulverizer* melalui pipa ke *windbox* dan *coal nozzle*. Masing – masing kompartemen batubara memiliki *coal nozzle*.

### 2.9.2. Airflow distribution equipment

---

<sup>12</sup> Wiharjo, Danu. Analisa Nilai Excess Air Untuk Meningkatkan Efisiensi Pembakaran Boiler pada Load Rate 641.15 MW di PLTU PAITON Unit 7. Laporan Tugas Akhir Fakultas Teknik Politeknik Negeri Malang. 2011. Hal 22

Sistem *tangential firing* memakai 2 kombinasi untuk mengurangi NO<sub>x</sub>, yaitu mengatur masuknya udara oleh *secondary air* dan mentransfer bahan bakar batubara lebih awal.

#### 2.9.3. *Windbox damper drives*

Penggerak *windbox dampers* yaitu *pneumatic*, *windbox* memiliki katup yang membuka dan menutup untuk mengatur besarnya *air flow* pada setiap *corner*.

#### 2.9.4. *Windbox tilt drives*

*Windbox tilt drives* berfungsi mengatur pergerakan semburan api pada *burner*, yaitu pergerakan ketinggian api dalam *furnace*. *Tilting* digerakan dengan system *pneumatic*.

### 2.10. Emisi Pembakaran Batu bara<sup>13</sup>

Emisi pembakaran batu bara merupakan hasil sisa pembakaran batu bara yang terkandung. Emisi pembakaran batu bara antara lain:

#### 1. Abu<sup>13</sup>

Abu batubara adalah bagian dari sisa pembakaran batubara pada *boiler* pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk partikel halus amorf dan bersifat *pozzolan* yang berarti abu tersebut dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar dengan media air membentuk senyawa yang bersifat mengikat. Dengan adanya sifat *pozzolan* tersebut abu terbang mempunyai prospek untuk digunakan berbagai keperluan bangunan.

---

<sup>13</sup> Muanif. 2013. Evaluasi Bilangan Excess Air Unit 2 PLTU 1 Jawa Timur Pacitan. Laporan Tugas Akhir. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Hal 18

Pembakaran batubara dalam pembangkit tenaga listrik terbentuk dua jenis abu yakni abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Partikel abu yang terbawa gas buang disebut abu terbang, sedangkan abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku disebut abu dasar. Sebagian abu dasar berupa lelehan abu disebut terak (*slag*). Komposisi antara abu terbang dan abu dasar tergantung sistem pembakarannya. Dalam tungku pulverized coal sistem basah antara 45-55 %, dan tungku underfeed stoker 30-80 % dari total abu batubara.

Abu terbang ditangkap dengan Electric Precipitator sebelum dibuang ke udara melalui cerobong. PLTU berbahan bakar batubara biasanya menghasilkan limbah padat dalam bentuk abu. Jumlah abu batubara yang dihasilkan per hari dapat mencapai 500 – 1000 ton. Sebagian besar abu terbang dan abu dasar dikumpulkan dalam pembuangan abu (*ash disposal*), jumlah abu tersebut demikian banyaknya sehingga menjadi masalah dalam pembuangannya. Abu batubara tersebut banyak dimanfaatkan untuk keperluan industri semen dan beton, bahan pengisi untuk bahan tambang dan bahan galian serta berbagai pemanfaatan lainnya.

## 2. Oksida Belerang<sup>14</sup>

Unsur belerang terdapat pada batubara dengan kadar bervariasi dari rendah (jauh di bawah 1%) sampai lebih dari 4%. Unsur ini terdapat dalam batubara dalam 3 bentuk yakni belerang organik, pirit dan sulfat. Ketiga bentuk belerang tersebut, belerang organik dan belerang pirit merupakan sumber utama emisi oksida belerang. Pembakaran batubara, semua belerang organik dan sebagian belerang pirit menjadi

---

<sup>14</sup> Muanif. 2013. Evaluasi Bilangan Excess Air Unit 2 PLTU 1 Jawa Timur Pacitan. Laporan Tugas Akhir. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Hal 15

SO<sub>2</sub>. Oksida belerang ini selanjutnya dapat teroksidasi menjadi SO<sub>3</sub>, sedangkan belerang sulfat disamping stabil dan sulit menjadi oksida belerang kadar relatifnya sangat rendah dibanding belerang bentuk lainnya.

Oksida-oksida belerang yang terbawa gas buang dapat bereaksi dengan lelehan abu yang menempel dinding tungku maupun pipa *boiler* sehingga menyebabkan korosi. Sebagian SO<sub>2</sub> yang diemisikan ke udara dapat teroksidasi menjadi SO<sub>3</sub> yang apabila bereaksi dengan uap air menjadi kabut asam sehingga menimbulkan turunnya hujan asam.

Energi batubara merupakan jenis energi yang sarat dengan masalah lingkungan, terutama kandungan sulfur sebagai polutan utama. Sulfur batubara juga dapat menyebabkan kenaikan suhu global serta gangguan pernafasan. Oksida belerang merupakan hasil pembakaran batubara juga menyebabkan perubahan aroma masakan atau minuman yang dimasak atau dibakar dengan batubara (briket), sehingga menyebabkan menurunnya kualitas makanan atau minuman, serta berbahaya bagi kesehatan (pernafasan). Cara yang tepat untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan mewujudkan gagasan clean coal combustion melalui desulfurisasi batubara.

### 3. Oksida Nitrogen

Nitrogen umumnya terikat dengan material organik dalam batubara dan kadarnya kurang dari 2%. Pada pembakaran, nitrogen akan dirubah menjadi oksida nitrogen dan disebut NO<sub>x</sub>. Selain nitrogen dari batubara, NO<sub>x</sub> juga dapat terbentuk dari nitrogen dalam udara pembakaran.

Zat nitrogen oksida ini dapat menyebabkan kerusakan paru-paru. Setelah bereaksi di atmosfer, zat ini membentuk partikel-partikel nitrat amat halus yang menembus bagian terdalam paru-paru. Partikel-partikel nitrat ini pula, jika bergabung dengan air baik air di paru-paru atau uap air di awan akan membentuk asam.

#### 4. Karbon Monoksida<sup>15</sup>

Gas karbon monoksida (CO) terbentuk pada pembakaran tidak sempurna. Gas ini dihasilkan dari proses oksidasi bahan bakar yang tidak sempurna. Gas ini bersifat tidak berwarna, tidak berbau, tidak menyebabkan iritasi. Reaksi yang tidak sempurna antara karbon dan oksigen adalah sebagai berikut:



Gas CO merupakan polutan yang dapat mencemari lingkungan terutama untuk para pekerja di lingkungan tertutup, selain juga menghasilkan energi lebih rendah. Untuk pembakaran batubara dalam pembangkit listrik yang modern, pembentukan CO biasanya kecil sehingga tidak perlu dikhawatirkan karena jumlah oksigen (udara) yang dipasok biasanya sudah dihitung dan dipasok berlebih.

#### 5. Asap dan Gas Hidrokarbon

Asap dan gas hidrokarbon terbentuk pada pembakaran yang sangat tidak sempurna. Gas-gas hidrokarbon adalah senyawa-senyawa karbon dan hidrogen hasil pemecahan bahan organik batubara yang belum mengalami oksida oksigen lebih lanjut, seperti karbon monoksida pembentukan asap dan gas-gas hidrokarbon

---

<sup>15</sup> Muanif. 2013. Evaluasi Bilangan Excess Air Unit 2 PLTU 1 Jawa Timur Pacitan. Laporan Tugas Akhir. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Hal 16

menyebabkan rendahnya efisiensi pembakaran bahkan jauh lebih rendah dari yang diakibatkan oleh pembentukan karbon monoksida.

#### 6. Karbon Dioksida<sup>16</sup>

Pembakaran bahan bakar fosil seperti batubara, tujuan utamanya adalah semaksimal mungkin mengkonversikan unsur utama dalam batubara yakni C (karbon) menjadi CO<sub>2</sub> sehingga dihasilkan energi yang tinggi. Batubara mengandung kadar karbon paling tinggi dibanding bahan bakar fosil lainnya seperti minyak dan gas, maka pembakaran batubara dianggap merupakan sumber emisi CO<sub>2</sub> terbesar.

---

<sup>16</sup> Muanif. 2013. Evaluasi Bilangan Excess Air Unit 2 PLTU 1 Jawa Timur Pacitan. Laporan Tugas Akhir. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Hal 17