



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - PL 1603

# EVALUASI SISTEM PEMBAKARAN DAN PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA PADA PLTU PAITON UNIT 7 DAN 8 PROBOLINGGO-JAWA TIMUR

YUSMA FARANITA  
NRP 3302 100 065

Dosen Pembimbing  
Ir. Agus Slamet, MSc.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2009



TUGAS AKHIR - PL 1603

**EVALUATION OF FIRING AND AIR POLLUTION  
CONTROLLING SYSTEMS AT PLTU PAITON UNIT 7  
AND 8  
PROBOLINGGO – JAWA TIMUR**

YUSMA FARANITA  
NRP 3302 100 065

Dosen Pembimbing  
Ir. Agus Slamet, MSc.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
Faculty Of Civil Engineering And Planning  
Institute Of Technology Sepuluh Nopember  
Surabaya 2009



**EVALUASI SISTEM PEMBAKARAN DAN  
PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA PADA PLTU  
PAITON UNIT 7 DAN 8  
PROBOLINGGO-JAWA TIMUR**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:  
**YUSMA FARANITA**  
NRP. 3302 100 065

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Agus Slamet., MSc .....

**SURABAYA, FEBRUARI, 2009**

**EVALUASI SISTEM PEMBAKARAN DAN  
PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA PADA PLTU  
PAITON UNIT 7 DAN 8  
PROBOLINGGO-JAWA TIMUR**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:  
**YUSMA FARANITA**  
NRP. 3302 100 065

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Mas Agus M., ME. PhD .....

**SURABAYA, FEBRUARI, 2009**

EVALUATION OF FIRING AND AIR POLLUTION  
CONTROLLING SYSTEMS AT PLTU PAITON  
UNIT 7 AND 8  
PROBOLINGGO-JAWA TIMUR

Abstract

Coal Power Station of Paiton Unit 7 and 8 is the power station that use the coal as source of energy to yield the powers. Coal consumption for operation of Coal Fired Power Station at Paiton Unit 7 and 8 per day is about 14,000 ton. Firing of coal will yield residu in the form of dioxide carbon ( $\text{CO}_2$ ), carbon monoxide (CO), nitrogen oxide ( $\text{NO}_x$ ), sulphur oxide ( $\text{SO}_x$ ), and also bottom ash and fly ash that is dangerous for people health and environmental.

To reduce the dangerous of gas emission, Coal Fired Power Station of Paiton Unit 7 and 8 applies air pollution control systems. In this Final Project the efficiency of this system for lessen the amount of CO and  $\text{NO}_x$  emission is discussed.

The evaluation is done by comparing the amount of CO and  $\text{NO}_x$  emission that is calculated using empirical formulas with the actual data from the air pollution control meters. The results of evaluation show that the controlling system can reduce the emission of CO is about 89% and 94% for unit 7 and 8, respectively. The reduces of  $\text{NO}_x$  at unit 7 and 8 is about 82% and 87%, respectively.

Key words: fly ash, bottom ash, stoikiometri

**EVALUASI SISTEM PEMBAKARAN DAN  
PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA PADA  
PLTU PAITON UNIT 7 DAN 8  
PROBOLINGGO – JAWA TIMUR**

Nama Mahasiswa : Yusma Faranita  
NRP : 3302 100 065  
Jurusan : Teknik Lingkungan FTSP-ITS  
Dosen Pembimbing : Ir. Agus Slamet, MSc  
Ko Pembimbing : Ir. Mas Agus M., ME.PhD

**Abstrak**

Pembangkit Listrik Tenaga Uap Paiton Unit 7 dan 8 merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan batu bara sebagai sumber energi untuk menghasilkan listrik. Batu bara yang dibakar setiap harinya pada kedua unit PLTU tersebut sekitar 14.000 ton/hari. Pembakaran batu bara untuk menghasilkan energi tersebut akan menghasilkan residu berupa karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), karbon monoksida (CO), oksida nitrogen ( $\text{NO}_x$ ), oksida sulfur ( $\text{SO}_x$ ), serta *bottom ash* dan *fly ash* yang berbahaya bagi kesehatan maupun lingkungan.

Untuk menurangi emisi bahan pencemar tersebut PLTU Paiton Unit 7 dan 8 telah menerapkan sistem pengendalian pencemaran udara. Dalam Tugas Akhir ini dibahas efisiensi sistem pengendalian udara pada kedua unit PLTU tersebut dalam menurunkan kadar CO dan  $\text{NO}_x$ .

Evaluasi dilakukan dengan membandingkan kadar CO dan  $\text{NO}_x$  yang tercatat pada alat pengukur dangan yang dihitung dengan metode stokiometri. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem pengendalian pencemaran udara yang diterapkan pada kedua unit PLTU tersebut mampu menurunkan kadar CO berturut-turut sebesar 89% dan 94% pada unit 7 dan 8. Penurunan kadar  $\text{NO}_x$  berturut-turut sebesar 82% dan 87% pada unit 7 dan 8.

Kata kunci: fly ash, bottom ash, stoikiometri

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur bagi Tuhan YME atas rahmat dan hidayah yang diberikan, sehingga saya dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Evaluasi sistem pembakaran dan pencemaran udara pada PLTU Paiton Unit 7 dan 8, Probolinggo-Jawa timur”**. Saya ucapkan terima kasih juga kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi terhadap Tugas Akhir ini:

1. Ir. Agus Slamet, MSc., dan Ir. Mas Agus M. ME., PhD sebagai Dosen Pembimbing dan Ko Pembimbing, yang telah membimbing hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.
2. Ir. Mas Agus M. ME., PhD, Ir. Bowo joko M., ME, Prof. Ir. Wahyono MSc., PhD, selaku dosen penguji sekaligus ko pembimbing serta Ir. M. Razif MM., selaku dosen koordinator Tugas Akhir yang telah memberikan arahan dalam melaksanakan Tugas Akhir.
3. Dosen-dosen pengajar di Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya atas segenap bantuan dan ilmu pengetahuan yang telah diberikan.
4. Keluarga di rumah untuk doa dan semangatnya.
5. Bapak Erwan dan Ibu Sri rejeki *for being the helping hands* selama berada di Paiton.
6. Mas Ali, Mas Ayi', Mas Gatot, Mas Hendra, Mas Agus, dan semua, atas bantuannya selama di Lab. Chemist.
7. Mas Kenda, Cic, Nana, Cece, Mas Didit, Mas Sony, Aprilia, Mas Arief, Lusi, dan Aby, *for keeping me Chayoo*.
8. Teman-teman yang berjuang bersama untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini terutama Nadia, Jeje, Lia, dan Erdi.
9. Pihak-pihak lain yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Saya menyadari masih ada kekurangan dalam laporan Tugas Akhir ini. Semoga segala yang telah saya susun ini dapat menjadi manfaat bagi yang membaca.

Surabaya, Februari 2009

Penyusun

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR ISI

<b>Halaman Judul</b>	
<b>Lembar Pengesahan</b>	
<b>Abstrak</b> .....	i
<b>Abstract</b> .....	ii
<b>Kata Pengantar</b> .....	iii
<b>Daftar Isi</b> .....	iv
<b>Daftar Gambar</b> .....	vii
<b>Daftar Tabel</b> .....	vi
<b>Daftar Lampiran</b> .....	vii

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Ruang Lingkup .....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Sistem Pembakaran Tangensial .....	3
2.1.1 CCOFA .....	6
2.1.2 SOFA .....	6
2.1.3 Sistem Penangkapan Oksida Logam .....	7
2.1.4 CEMS .....	8
2.2 Karakteristik Karbon Monoksida .....	10
2.3 Karakteristik Oksida Nitrogen.....	11
2.4 Teori Pembakara .....	13
2.4.1 Kebutuhan Udara .....	15
2.4.2 Reaksi Kimia Pembakaran Karbon.....	15
2.4.3 Reaksi Kimia Pembakaran Nitrogen.....	16
2.4.4 Normalisasi Data Emisi Flue Gas .....	17

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Umum .....	19
----------------	----

3.2 Kerangka Tugas Akhir.....	19
3.3 Ide Tugas Akhir .....	19
3.4 Identifikasi Masalah.....	21
3.5 Studi Literatur.....	21
3.6 Observasi Lapangan.....	21
3.7 Pengumpulan Data.....	21
3.8 Perhitungan Emisi Sisa Pembakaran Secara Teoritis.....	22
3.9 Pengamatan Lapangan dan Normalisasi Data Aktual....	22
3.10 Analisa dan Pembahasan.....	22
3.11 Kesimpulan.....	23

#### **BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

4.1 Perhitungan Teoritis Pembentukan NO <sub>x</sub> dan CO .....	25
4.2 Perhitungan Normalisasi Data Lapangan.....	27
4.3 Analisis .....	30

#### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan .....	43
5.2 Saran .....	43

<b>Daftar Pustaka .....</b>	<b>45</b>
<b>Lampiran.....</b>	<b>47</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Furnace dengan Sistem Pembakaran Tangensial.....	4
Gambar 2 Segitiga Pembakaran .....	14
Gambar 3 Diagram Alir Tugas Akhir.....	20
Gambar 4.3.1 Perbandingan CO teoritis dengan CO hasil Rekaman CEMS.....	35
Gambar 4.3.2 Perbandingan NO <sub>x</sub> Teoritis Dengan NO <sub>x</sub> hasil Rekaman CEMS.....	35

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data penggunaan batu bara bulan september 2008.....	25
Tabel 4.2	Data karakteristik batu bara.....	26
Tabel 4.3	Data air flow flue gas.....	28
Tabel 4.4	Data temperatur gas.....	28
Tabel 4.5	Data kandungan kelembaban dan O <sub>2</sub> flue gas.....	29
Tabel 4.3.1	Ultimate analysis untuk batu bara adaro dan kideco.	30
Tabel 4.3.2	Data perhitungan teoritis pembentukan NOx (adaro).....	31
Tabel 4.3.3	Data perhitungan teoritis pembentukan NOx (kideco).....	32
Tabel 4.3.4	Data perhitungan normalisasi NOx.....	32
Tabel 4.3.5	Data teoritis pembentukan CO (Adaro).....	36
Tabel 4.3.6	Data teoritis pembentukan CO (kideco).....	36
Tabel 4.3.7	Data normalisasi pembentukan CO.....	37
Tabel 4.3.8	Data temperatur dan air flow Unit 7.....	38
Tabel 4.3.9	Data temperatur dan air flow Unit 8.....	39



## **BAB II**

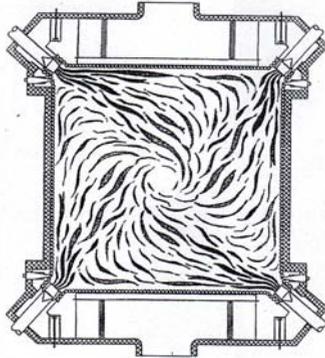
### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Sistem Pembakaran Tangensial**

Boiler PLTU Paiton Unit 7 & 8 ini menggunakan konsep pembakaran tangensial. Pada sistem tersebut pembakaran terjadi pada area *furnace* dimana bahan bakar dan udara dimasukkan ke dalam *furnace* melalui rangkaian *windbox* yang diletakan pada pojok-pojok boiler. Bahan bakar disemburkan melalui sekelompok *nozzle* yang disatukan. Kelompok *nozzle* diarahkan secara tangensial menuju sebuah lingkaran imajiner yang terdapat di tengah-tengah *furnace*. Diharapkan dengan posisi tersebut akan terbentuk bola api tunggal yang berotasi di dalam *furnace*. Gerakan berputar tersebut sangat efektif untuk mencampur bahan bakar dengan udara sekunder disebabkan oleh turbulensi dan difusi, sehingga bahan bakar dapat terbakar secara sempurna.

Sebagai tambahan untuk mengatur jalannya pembakaran di dalam *furnace*, *nozzle* bahan bakar dan udara digerakan ke atas maupun ke bawah untuk memposisikan bola api di dalam *furnace*. Menggerakkan *nozzle tilt* ke atas maupun ke bawah akan mempengaruhi temperatur uap yang keluar. Sistem ini digunakan untuk memastikan temperatur udara keluar, yaitu  $0,58^{\circ}\text{C}$  ( $1005^{\circ}\text{F}$ ).

Ketika *nozzle tilt* diposisikan ke bawah, bola api akan berada di bagian bawah *furnace* dan panas akan lebih banyak diabsorpsi oleh dinding *furnace*. Meningkatnya absorpsi panas oleh dinding *furnace* akan mengurangi jumlah total panas yang tersedia, sehingga lebih sedikit panas yang diambil dan menyebabkan turunnya temperatur uap. Ketika *nozzle tilt* diposisikan ke atas, dinding-dinding *furnace* akan mempunyai lebih sedikit waktu untuk mengabsorpsi panas, sehingga lebih banyak panas tersedia untuk diabsorpsi yang akan meningkatkan temperatur uap. *Nozzle tilt* tersebut dapat diposisikan secara manual atau otomatis dengan signal dari sistem kontrol temperatur uap.



Gambar1. *Furnace* dengan Sistem Pembakaran Tangensial

Pada proses pembakaran di dalam *furnace* dapat terbentuk oksida nitrogen yang berasal dari nitrogen di dalam batu bara atau berasal dari nitrogen yang terdapat dalam udara atmosfer. Pembentukan oksida nitrogen tersebut hanya dapat terjadi pada temperatur tinggi, yaitu pada temperatur di atas  $1426,7^{\circ}\text{C}$ . Laju pembentukan  $\text{NO}_x$  yang berasal dari atmosfer meningkat secara eksponensial sejalan dengan meningkatnya temperatur pembakaran dan juga berbanding lurus dengan akar kuadrat konsentrasi oksigen yang tersedia. Dengan mengurangi jumlah oksigen yang tersedia dan temperatur pembakaran merupakan metode efektif untuk mengontrol pembentukan  $\text{NO}_x$ . Sistem pembakaran tangensial menggunakan kombinasi dari dua buah teknik untuk mengurangi  $\text{NO}_x$ , yaitu :

- a. Pemasukkan udara sekunder secara bertahap pada *furnace*
- b. Devolatisasi bahan bakar yang lebih cepat

Peralatan utama untuk pemisahan debu yang biasa di dalam tungku pembakaran (*furnace*) antara lain:

- a. Pemisah Sentrifugal Rotex (*Rotex Centrifugal Separator*)

Pada alat ini gas berdebu mengalir melalui tabung silinder yang berotasi dan rotasi ini digerakkan oleh kekasaran dinding silinder, sebagai hasil rotasi ini partikel debu menerima gaya sentrifugal yang terkumpul pada permukaan bagian dalam silinder yang berotasi karena gaya sentrifugal. Oleh karena itu pemisahan debu atau partikel padat terjadi karena kecepatan relatif antara gas dan aliran partikel debu. Alat ini dapat digunakan pada gas yang bersuhu tinggi.

b. Pengumpul Debu Jenis Siklon (*Cyclon Dust Collector*)

Ada dua macam pengumpul debu jenis siklon, yaitu siklon dengan aliran masuk aksial (satu aliran) dan siklon dengan aliran masuk tangensial. Pada siklon dengan aliran masuk aksial, gas berdebu yang berada di dalam badan siklon yang dirotasikan dengan baling-baling pengarah dan debu atau partikel padat dipisahkan oleh gaya sentrifugal gas yang sudah bersih dialirkan ke atmosfer melalui pipa keluar atau pipa utama (*inner pipe*). Siklon aksial ini dapat dipakai dalam suatu sistem yang terdiri dari multi siklon. Sedangkan pada siklon aliran masuk tangensial, gas berdebu dirotasikan oleh aliran berbentuk tangensial yang dihubungkan dengan pipa masuk kedalam badan siklon. Siklon tipe tangensial dapat dipakai sebagai sistem multi siklon dan juga dapat dipakai pada gas dengan suhu tinggi.

c. *Fabric Filter*

*Fabric filter* dapat digunakan untuk membersihkan gas yang berdebu sampai dengan mendekati sempurna. Ketebalan filter (tekstil), kehalusannya tidak tergantung pada pemisahan debu. Kantong filter cocok atau sesuai dengan laju aliran gas yang berfluktuasi, tetapi selalu membutuhkan penggantian kain cukup mahal untuk aliran yang sangat berdebu. *Fabric filter* disamping dapat mengolah gas dengan kelembaban tinggi juga dapat dipakai untuk gas yang mengandung  $\text{SO}_3$  atau gas dengan suhu lebih dari  $373^\circ\text{K}$ .

d. *Electrostatic Precipitator (ESP)*

ESP dapat digunakan pada jangkauan yang luas dikarenakan kecepatan gas berabu yang rendah (kurang atau sama dengan 2 m/detik) di dalam presipitator. Ketika kecepatan gas berdebu menurun, efisiensi penyisihan menjadi lebih baik disebabkan karena bertambahnya waktu sisa (*residu time*) di dalam presipitator. Karakteristiknya sama dengan kantong filter. ESP juga dapat digunakan untuk gas dengan suhu lebih tinggi dari  $523^\circ\text{K}$  dan udara yang banyak mengandung uap air.

Sistem pembakaran tangensial menggunakan pembakaran secara bertahap pada *furnace* yang memakai sebagian dari udara pembakaran, yang pada umumnya dimasukkan pada zona pembakaran bahan bakar, dan mengalihkan udara tersebut untuk

menghambat bercampurnya udara dan bahan bakar. Dengan pembakaran tangensial yang konvensional, pemasukan udara pembakaran pada tahap devolatisasi batu bara yang terlalu awal berkontribusi, sangat signifikan terhadap pembentukan NO<sub>x</sub>. Sistem pembakaran tangensial dengan NO<sub>x</sub> rendah memaksimalkan konsep pembakaran bertahap dengan menggunakan *close coupled overfire air (CCOFA)* dan *separated overfire air (SOFA)*.

### 2.1.1. Close Coupled Overfire Air (CCOFA)

*Overfire air* adalah teknik yang menghasilkan pembakaran bertahap dengan mengontrol pemasukan udara sekunder di atas zona pembakaran primer, hal ini dicapai dengan mendesain *windbox* yang dilengkapi dengan dua kompartemen *windbox* tambahan tepat di atas kompartemen batu bara paling atas. Kedua kompartemen tersebut disebut sebagai kompartemen CCOFA.

Kompartemen CCOFA pada tiap rangkaian *windbox* utama dilengkapi dengan damper yang dapat dikontrol posisinya dan *tilting nozzle* (dapat diatur 30 derajat ke atas dan 30 derajat ke bawah) yang dapat diatur posisinya bersama dengan *windbox* utama lainnya. Posisi dari damper disesuaikan setelah operasi tahap awal untuk mendapatkan emisi oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>) yang terendah sejalan dengan kemampuan *furnace* yang memuaskan. *Overfire air* digunakan ketika unit beroperasi pada beban yang lebih tinggi.

Masing-masing kompartemen dilengkapi dengan *nozzle tip* yang dapat disesuaikan yang secara manual dapat digeser secara horisontal 15 derajat ke kiri atau ke kanan. Sudutnya dapat diatur selama operasi berjalan apabila dibutuhkan, sehingga terdapat fleksibilitas yang lebih besar untuk menyesuaikan arah dari aliran udara CCOFA. Sistem pengontrol diprogram untuk memposisikan CCOFA dampers sebagai fungsi dari beban unit (laju uap) untuk mendapatkan porsi udara sekunder yang diberikan di atas zona pembakaran utama untuk mengontrol pembentukan NO<sub>x</sub>.

### 2.1.2. Separated Overfire Air (SOFA)

*Windbox* untuk *separated overfire* adalah bagian lain dari proses pentahapan pembakaran. Teknik pembakaran bertahap menahan sebagian dari udara pembakaran total yang secara

konvensional disuplai ke dalam zona pembakaran utama. Penambahan sistem SOFA memungkinkan pembakaran bertahap yang lebih baik.

Total kuantitas udara yang dimasukkan ke dalam *furnace* tidak berubah, hanya lokasi dan distribusi dari udara yang dirubah. Efektifitas penurunan NO<sub>x</sub> menjadi lebih baik dengan SOFA apabila dibandingkan dengan CCOFA hanya disebabkan oleh udara dimasukkan lebih jauh dari zona pembakaran primer. Lebih besar kuantitas SOFA pada umumnya menghasilkan reduksi NO<sub>x</sub> yang lebih besar pula. Aspek desain sistem pembakaran lainnya, seperti pemilihan dan konfigurasi dari SOFA register ditentukan berdasarkan keadaan di lapangan. Parameter desain antara lain, konfigurasi *furnace*, waktu tinggal, input panas, dan karakteristik bahan bakar yang dibakar.

Sistem SOFA ini, seperti pada CCOFA dapat diatur sudutnya secara vertikal maupun horisontal dengan besar sudut yang sama. Pengaturan secara vertikal akan berpengaruh terhadap pengontrolan NO<sub>x</sub>, sedangkan pengaturan secara horisontal akan berpengaruh pada pengontrolan level CO. Pengaturan secara horisontal juga dapat membantu mengurangi ketidakseimbangan O<sub>2</sub> pada outlet.

Udara yang masuk ke dalam SOFA disuplai dari windbox yang berhubungan dengan *windbox* utama. Jumlah udara yang masuk dikontrol oleh damper yang posisinya diprogram sebagai fungsi dari beban unit, menggunakan debit udara sebagai index dari beban.

### **2.1.3. Sistem penangkapan oksida sulphur**

Pada prinsipnya FGD (*flue gas desulphurization*) ini menggunakan alkalinitas yang terdapat pada air laut untuk mengabsorpsi dan menentralkan alkalinitas yang terkandung di dalam udara sisa pembakaran. Pada FGD ini hanya menggunakan air laut dan udara, tidak terdapat zat kimia yang ditambahkan ke dalam proses. Selain itu pula, oksida sulphur yang diadsorpsi air laut akan dikonversikan menjadi sulfat yang merupakan kandungan natural dari air laut, sehingga tidak dihasilkan produk sampingan yang harus diproses lagi pada FGD tersebut. Air laut merupakan pengabsorpsi SO<sub>2</sub> yang efektif dikarenakan air laut memiliki kapasitas *buffer* yang

cukup besar, sehingga dengan penambahan  $\text{SO}_2$  di dalamnya tidak akan menyebabkan terjadinya penurunan pH yang drastis.

Unit FGD terdiri dari absorber yang konstruksinya merupakan bangunan berbentuk persegi dengan ukuran 14x14 meter dengan ketinggian 21,5 meter. Terdapat dua absorber per 660 MW boiler, sehingga secara keseluruhan terdapat empat absorber untuk melayani kedua unit tersebut. Sebelum flue gas sisa pembakaran masuk ke dalam absorber, *flue gas* tersebut akan didinginkan terlebih dahulu oleh *quencher flue gas* akan dialirkan dari bagian bawah absorber dengan arah aliran ke bawah. *Flue gas* dan air laut akan bertemu dan air laut akan mengabsorpsi  $\text{SO}_2$  yang terdapat di dalam *flue gas*. untuk memaksimalkan pengabsorpsian  $\text{SO}_2$  oleh air laut di dalam FGD tersebut terdapat *packing* berbentuk segi enam yang terbuat dari bahan *polypropylene*.

Effluen air laut dari absorber yang telah terasidifikasi tercampur dengan lebih banyak air laut di dalam bak pencampur *sea water treatment plant* (SWTP). Setelah itu air laut tersebut akan masuk ke dalam bak aerasi, dimana disini akan ditiupkan udara ambient dengan menggunakan fan.  $\text{SO}_2$  yang terabsorpsi di dalam air laut akan teroksidasi menjadi sulfat, dan oksigen di dalam air laut akan bertambah. Selanjutnya air laut akan dikembalikan ke laut melalui outlet kanal dengan pH yang netral.

#### **2.1.4. CEMS (*Continuous Emission Monitoring System*)**

Setelah keluar dari FGD (*Flue Gas Desulphurization*), *flue gas* akan langsung dialirkan melalui *stack* atau *chimney*. *Chimney* yang dimiliki oleh PLTU Paiton Unit 7 dan 8 ini memiliki ketinggian 220 meter dan dilengkapi dengan sistem monitoring emisi secara kontinyu yang dikenal dengan CEMS (*Continuous Emission Monitoring System*). Unit ini dipergunakan untuk memantau emisi  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ , dan opasitas dari *flue gas*.

PLTU Paiton Unit 7 dan 8 menggunakan dua jenis metode *sampling* untuk mengukur konsentrasi gas emisi yang dikeluarkan secara kontinyu dan otomatis pada waktu sebenarnya. Pertama, sistem ekstaktif dengan pengenceran yang digunakan untuk mengukur emisi gas pada *stack* seperti karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), karbon monoksida ( $\text{CO}$ ), oksida nitrogen ( $\text{NO}_x$ ), dan oksida sulphur

(SO<sub>2</sub>). Kedua, menggunakan sistem ekstraktif *cool-dry* yang digunakan untuk mengukur konsentrasi oksida sulphur (SO<sub>2</sub>) pada inlet dan outlet unit FGD.

CEMS adalah sistem integrasi yang bekerja dengan mengumpulkan sample langsung dari stack yang mengalirkan polutan ke atmosfer. CEMS terdiri dari tiga komponen dasar :

- 1) Sistem sampling dan pengkondisian
- 2) *Gas analyzer* atau monitor
- 3) Sistem penanganan data dan sistem kontrol

Sistem ekstraktif yang digunakan oleh PLTU Paiton Unit 7 dan 8 adalah sistem sampling yang mengambil sejumlah sample dari *stack*, mengkondisikan sample dengan menyingkirkan pengotor dan kandungan airnya, selanjutnya mentransport sample tersebut ke *analyzer* yang terdapat pada tempat lain. Pengkondisian yang dilakukan terhadap *flue gas* antara lain:

a. Sistem ekstraktif *cool-dry*

Sistem monitoring ini digunakan untuk mengukur konsentrasi SO<sub>2</sub> pada inlet dan outlet unit FGD. Pada sistem *cool-dry*, sample gas ditransfer melalui jalur probe oleh pompa vakum setelah melalui filter partikulat menuju sistem pendingin gas untuk menghilangkan uap air yang terdapat di dalam sample. Temperatur sistem pendingin dipertahankan pada 35°F untuk mempertahankan sample berada pada titik pengembunannya sehingga kandungan air terkondensasi pada temperatur tersebut. Ada dua tahap sistem pendinginan, yaitu pertama untuk mengkondisikan sample pada temperatur yang lebih rendah dan menghilangkan kelembaban, yang kedua untuk memastikan sampel berada pada kondisi kering.

b. Sistem ekstraktif dengan pengenceran

Sistem pengenceran terdiri dari probe untuk mengencerkan sample, jalur sample yang dipanaskan dengan pompa, sistem pembersihan udara, gas pengkalibrasi, *analyzer* dan DAHS. Pengenceran sample terjadi pada *stack* menggunakan probe pengenceran. *Critical orifice* mengontrol laju aliran sample, yang tercipta dengan menghasilkan keadaan vakum pada outlet dari *orifice* dengan menggunakan pompa *ejector*. Keadaan vakum tersebut menyedot sample gas melalui *orifice* dengan kecepatan antara 50-

500 ml/min dan mengalirkannya menuju pompa *ejector* dimana sample gas tersebut dicampurkan dengan udara pengencer.

Ratio pengenceran yang dilakukan oleh sistem adalah 25:1. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi laju alir dan ratio pengenceran, yaitu : berat molekul, tekanan *stack*, dan temperatur. Semua data yang dihasilkan oleh CEMS akan dilaporkan secara bulanan kepada DJLP PT.Paiton Energy dan Pemerintah Jawa Timur yang berwenang.

## **2.2. Karakteristik Karbon monoksida ( CO )**

### **A. Karakteristik**

Karbon dan Oksigen dapat bergabung membentuk senyawa karbon monoksida (CO) sebagai hasil pembakaran yang tidak sempurna dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) sebagai hasil pembakaran sempurna. Karbon monoksida merupakan senyawa yang tidak berbau, tidak berasa dan pada suhu udara normal berbentuk gas yang tidak berwarna. tetapi dapat menimbulkan rasa pedas pada mata. Tidak seperti senyawa CO mempunyai potensi bersifat racun yang berbahaya karena mampu membentuk ikatan yang kuat dengan pigmen darah yaitu haemoglobin.

### **B. Sumber dan distribusi**

Karbon monoksida di lingkungan dapat terbentuk secara alamiah, tetapi sumber utamanya adalah dari kegiatan manusia. Korban monoksida yang berasal dari alam termasuk dari lautan, oksidasi metal di atmosfer, pegunungan, kebakaran hutan dan badai listrik alam. Sumber CO buatan antara lain kendaraan bermotor, terutama yang menggunakan bahan bakar bensin. Berdasarkan estimasi, Jumlah CO dari sumber buatan diperkirakan mendekati 60 juta Ton per tahun. Separuh dari jumlah ini berasal dari kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar bensin dan sepertiganya berasal dari sumber tidak bergerak seperti pembakaran batubara dan minyak dari industri dan pembakaran sampah domestik. Didalam laporan WHO (1992) dinyatakan paling tidak 90% dari CO diudara perkotaan berasal dari emisi kendaraan bermotor. Selain itu asap rokok juga mengandung CO, sehingga para perokok dapat

membahayakan dirinya sendiri dari asap rokok yang sedang dihisapnya.

Karbon monoksida memiliki berat yang sama dengan berat jenis udara, sehingga mudah tercampur dengan udara atmosfer. Juga mudah terbakar dan menyebabkan efek-efek di bawah ini :

- a. Bila konsentrasi mencapai 12,5 % by volume akan mudah terbakar.
- b. Bila % CO ( 200-300 ) dalam waktu 2-3 jam, korban akan pingsan.
- c. Bila % CO<sub>2</sub> 400x dalam darah, penderita dalam kurun waktu kurang dari 3 jam akan meninggal.

Konsentrasi CO dalam *flue gas* maksimal 400 ppm atau 0,04%, tetapi CO yang terlalu rendah juga akan menurunkan efisiensi. Untuk pertimbangan ekonomisnya konsentrasi CO dapat dinaikkan sampai maksimal 1000 ppm. Di atas angka tersebut pun efisiensi turun.

Level CO yang tinggi dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu :

- a. *Burner equipment*
- b. *Burner tip* buntu
- c. *Overfire air / excess air* di bawah normal

### **2.3. Karakteristik Oksida Nitrogen ( NO dan NO<sub>x</sub> )**

#### **A. Karakteristik**

Oksida Nitrogen (NO<sub>x</sub>) adalah kelompok gas nitrogen yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>). Walaupun ada bentuk oksida nitrogen lainnya, tetapi kedua gas tersebut yang paling banyak diketahui sebagai bahan pencemar udara. Nitrogen monoksida merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau sebaliknya nitrogen dioksida berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam. Nitrogen monoksida terdapat diudara dalam jumlah lebih besar daripada NO<sub>2</sub>. Pembentukan NO dan NO<sub>2</sub> merupakan reaksi antara nitrogen dan oksigen di udara sehingga membentuk NO, yang bereaksi lebih lanjut dengan lebih banyak oksigen membentuk NO<sub>2</sub>.

Udara terdiri dari 80% Volume nitrogen dan 20% Volume oksigen. Pada suhu kamar, hanya sedikit kecenderungan nitrogen dan oksigen untuk bereaksi satu sama lainnya. Pada suhu yang lebih

tinggi (diatas  $1210^{\circ}\text{C}$ ) keduanya dapat bereaksi membentuk NO dalam jumlah banyak sehingga mengakibatkan pencemaran udara. Dalam proses pembakaran, suhu yang digunakan biasanya mencapai  $1210^{\circ}\text{C} - 1765^{\circ}\text{C}$ , oleh karena itu reaksi ini merupakan sumber NO yang penting. Jadi reaksi pembentukan NO merupakan hasil samping dari proses pembakaran.

Nitrogen oksida terjadi secara alami dan karena aktifitas manusia. Secara alami diproduksi karena radiasi matahari dan turun ke lapisan udara bagian bawah secara difusi. Sebagian kecil lainnya dari terjadinya kilat dan kebakaran hutan.

### **B. Konsep minimalisasi pembentukan NOx di dalam *furnace***

Terdapat dua cara pendekatan untuk mengurangi produksi NOx atau emisinya ke udara bebas, yaitu:

- a. Pada *furnace*, peralatan penyuplai udara dan bahan bakar yang digunakan adalah peralatan yang mengurangi atau mengeliminasi kondisi yang memicu terbentuknya NOx selama proses pembakaran.
- b. Pasca pembakaran, peralatan tambahan yang secara kimiawi menguraikan NOx menjadi komponen yang tidak berbahaya.

Sistem pembakaran tangensial yang digunakan pada boiler PLTU Paiton Unit 7 dan 8 merupakan suatu sistem yang mengaplikasikannya sesuai dengan prinsip point a di atas, yaitu untuk menghasilkan pembakaran yang efisien dan meminimalisasi pembentukan NOx. Pada proses pembakaran oksida nitrogen yang secara kolektif disebut sebagai NOx, dibentuk pada wilayah dengan suhu tinggi sekitar  $1426,7^{\circ}\text{C}$  ( $2600^{\circ}\text{F}$ ) di dalam dan sekitar daerah pembakaran, disebabkan adanya oksidasi nitrogen di atmosfer (thermal NOx) dan nitrogen yang terdapat di dalam bahan bakar (fuel NOx). Pembentukan oksida nitrit melalui fiksasi thermal nitrogen di atmosfer kurang lebih dapat dipresentasikan oleh reaksi kimia yang sangat tergantung pada suhu tinggi sesuai dengan mekanisme Zeldovich.

Laju pembentukan NOx thermal berbanding lurus dengan nilai eksponensial temperatur dan proporsional dengan akar dari konsentrasi oksigen. Mengurangi salah satu dari kedua faktor tersebut, mengurangi jumlah oksigen yang tersedia untuk bahan bakar atau menurunkan temperatur pembakaran, adalah metode yang

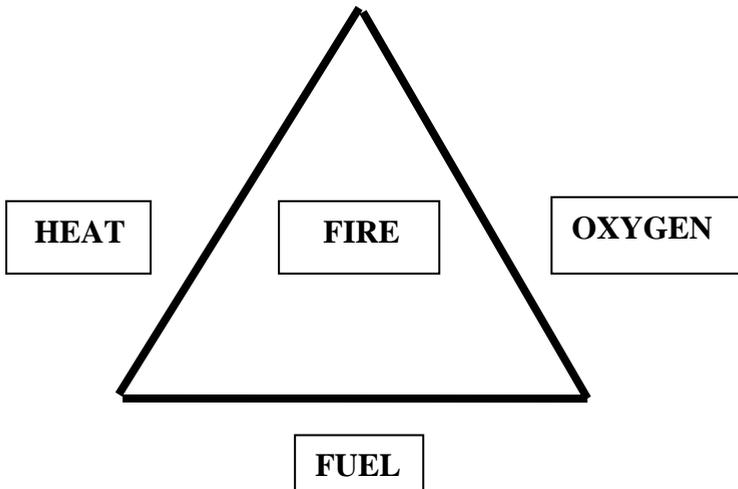
efektif untuk mengontrol pembentukan NO<sub>x</sub> yang berasal dari atmosfer. Mekanisme pembentukan NO<sub>x</sub> yang berasal dari nitrogen di dalam bahan bakar pada dasarnya dibentuk dari oksidasi nitrogen organik di dalam bahan bakar. NO<sub>x</sub> yang berasal dari bahan bakar ini bisa menjadi penyumbang signifikan bagi NO<sub>x</sub> total pada saat pembakaran bahan bakar berkandungan nitrogen tinggi pada generator uap yang pembakarannya dilakukan secara konvensional.

Penelitian telah menunjukkan bahwa sistem pembakaran tangensial menghasilkan kurang lebih setengah dari level NO<sub>x</sub> yang diemisikan oleh sistem pembakaran yang lebih turbulen. Sistem pembakaran tangensial pada awalnya membakar batu bara yang telah dihaluskan hanya dengan udara primer dan udara bahan bakar untuk membentuk zona pembakaran primer. Selama proses pembakaran ini berlangsung batubara akan terdevolatilisasi dan nitrogen yang berupa materi *volatile* akan dilepaskan membentuk senyawa oksida nitrit. Disebabkan durasi yang singkat pada zona ini, total NO<sub>x</sub> yang dihasilkan akan lebih sedikit. Operator boiler tidak dapat mengontrol level nitrogen yang terdapat pada bahan bakar, tetapi dengan meminimalisasi jumlah udara yang masuk tepat pada zona pembakaran, maka pembentukan NO<sub>x</sub> dari bahan bakar dapat dipertahankan pada level terendahnya. Dengan NO<sub>x</sub> thermal, operator bisa memberikan lebih banyak udara pendingin di atas zona pembakaran untuk sedikit mendinginkan bagian terpanas dari *furnace*, menjaga mekanisme pembentukannya minimum.

#### **2.4. Teori Pembakaran**

Terdapat tiga komponen yang harus dipenuhi untuk menghasilkan suatu proses pembakaran, yaitu:

1. adanya bahan bakar
2. adanya oksigen dengan jumlah yang mencukupi untuk mendukung terjadinya pembakaran, dan
3. panas yang mencukupi untuk mencapai temperatur ignisi bahan bakar dan membuatnya tetap disana.



Gambar 2. Segitiga pembakaran

Agar dapat diklasifikasikan sebagai bahan bakar, suatu material harus mengandung elemen yang dapat bergabung secara cepat dengan udara untuk menghasilkan pembakaran.

Dua elemen dasar yang merupakan bahan yang dapat terbakar adalah karbon dan hydrogen yang pada proses pembakaran akan menghasilkan karbon dioksida dan uap air. Sebagian besar bahan bakar juga mengandung sejumlah sulfur dan nitrogen yang dapat terbakar.

Walaupun sulfur dapat terbakar tetapi keberadaannya dianggap merugikan karena dengan terbakarnya sulfur akan dihasilkan gas ( $\text{SO}_2$  dan  $\text{SO}_3$ ) yang bersifat korosif apabila bercampur dengan air. Sifat korosif tersebut akan merusak sistem perpipaan, fan, dan sebagainya. Elemen lainnya yang terdapat di dalam bahan bakar bisa disebut sebagai pengotor, hal tersebut dapat mempengaruhi jumlah dan properti korosif dari akumulasi abu di dalam boiler.

### **2.4.1 Kebutuhan udara**

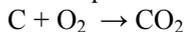
Bahan bakar yang masuk ke dalam *furnace* membutuhkan udara dengan kuantitas yang definit. Hal tersebut disebut sebagai “udara teoritis” yang diperlukan untuk menyelesaikan pembakaran pada kondisi sempurna.

Dikarenakan kondisi boiler yang tersedia tidak sempurna, diperlukan jumlah udara yang berlebih dari jumlah udara secara teoritis untuk memastikan pembakaran terjadi secara sempurna. Jumlah udara yang dibutuhkan di atas jumlah udara teoritis disebut sebagai akses udara. Persentase udara ini berbeda-beda tergantung dari bahan bakar yang digunakan, yaitu sekitar 10% untuk bahan bakar minyak dan 20-30% untuk pembakaran dengan batu bara. Biasanya pada bagian backpass dari boiler terdapat *monitoring* kandungan oksigen untuk melihat seberapa besar akses udara yang tersisa. Nilai O<sub>2</sub> yang dikontrol tersebut berada pada rentang 1-3% untuk minyak dan 4-6% untuk batu bara.

### **2.4.2 Reaksi kimia pembakaran karbon**

#### a. Pembakaran Sempurna dari Karbon

Reaksi pembakaran sempurna karbon :



$$12 + 32 \rightarrow 44 \text{ (berat atom)}$$

$$1 \text{ lb C} + 2,67 \text{ lb O}_2 = 3,67 \text{ lb CO}_2$$

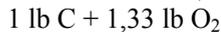
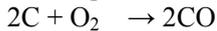
Dari persamaan di atas dapat disimpulkan bahwa dibutuhkan 2,67 lb oksigen untuk membakar 1 lb karbon dan mendapatkan 3,67 lb karbondioksida sebagai hasil pembakaran. Karena oksigen yang tersedia di udara relative kecil, maka diperlukan 4,3 lb udara untuk mendapatkan 1 lb oksigen, sehingga untuk membakar 1 lb karbon diperlukan 11,5 lb udara.

Ketika bahan bakar dengan jumlah yang memadai terbakar sehingga 1 pon karbon terbakar menjadi karbon dioksida, akan dihasilkan output panas sebesar 14.100 Btu.

#### b. Pembakaran tak Sempurna dari Karbon

Pembakaran tak sempurna terjadi ketika sebagian dari bahan bakar tidak terbakar dikarenakan tidak mencukupinya jumlah udara atau dikarenakan oleh pencampuran antara udara dan bahan bakar yang kurang baik.

Reaksi pembakaran tak sempurna:

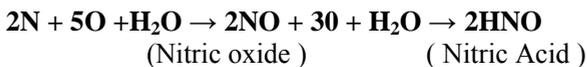


Persamaan di atas merupakan pembakaran tidak sempurna 1,33 lb oksigen yang akan dipakai untuk membakar 1 lb karbon menghasilkan 2,33 lb karbon monoksida sebagai hasil pembakaran. Diketahui bahwa jumlah oksigen yang terlibat pada reaksi ini hanya setengah dari yang diperlukan untuk terjadinya pembakaran sempurna. Panas yang hilang disebabkan pembakaran tidak sempurna sekitar 4000 Btu/lb. Panas yang hilang dari pembakaran tidak sempurna adalah  $14.100 \text{ Btu/lb} - 4000 \text{ Btu/lb} = 10.100 \text{ Btu/lb}$ . Kehilangan panas yang besar disebabkan oleh pembakaran tidak sempurna tersebut menunjukkan seberapa pentingnya bahan bakar dibakar secara sempurna sebelum keluar dari *furnace*.

#### **2.4.3 Reaksi kimia pembakaran nitrogen**

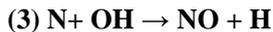
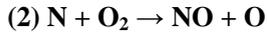
Walaupun terdapat nitrogen dalam jumlah yang cukup besar pada udara pembakaran, sumber utama nitrogen yang membentuk NO<sub>x</sub> berasal dari bahan bakar sendiri. Ketika NO<sub>x</sub> terbentuk, reaksi lebih lanjutnya terutama dengan air, akan membentuk senyawa asam korosif.

Reaksi kimia pembentukan asam nitrit :



Pembentukan *nitric oxide* bisa dicegah dengan mengurangi temperature selama proses pembakaran berlangsung. Selama pembakaran temperature normal bisa sampai sekitar 3500<sup>0</sup>F (1980<sup>0</sup>C). Pada temperatur tersebut, volume *nitric oxide* yang dihasilkan pada gas pembakaran adalah 0,01 %. Apabila temperature pembakaran diturunkan sampai dengan di bawah 2800<sup>0</sup> F (1585<sup>0</sup>C), volume *nitric oxide* yang dihasilkan bisa dikurangi sampai berada dibawah limit maksimum sekitar 0,002%. Nilai tersebut bisa dicapai dengan mendistribusikan aliran udara pembakaran disekitar zona pembakaran untuk mendinginkan proses pembakaran. Pembentukan

NOx yang berasal dari nitrogen thermal pertama dideskripsikan oleh Zeldovich, peristiwa tersebut dapat dilihat melalui reaksi berikut :



#### 2.4.4 Normalisasi data emisi flue gas

Data lapangan yang didapat melalui *Continuous Emission Monitoring System* (CEMS) diukur pada titik-titik dengan kondisi temperatur, tekanan, dan konsentrasi oksigen yang berbeda-beda, sehingga data yang dihasilkan belum berupa data pada kondisi standar. Oleh sebab itu, untuk dapat membandingkan data dari CEMS dengan data perhitungan emisi gas buang secara teoritis diperlukan suatu langkah normalisasi data emisi *flue gas* PLTU Paiton 7 dan 8 berdasarkan kandungan oksigen, temperatur, dan tekanan. Persamaan yang digunakan untuk melakukan normalisasi data adalah sebagai berikut :

$$C_{(corrected)} = C_{(actual)} \times \frac{(273 + T)}{273} \times \frac{101.3}{p} \times \frac{100}{(100 - \%H_2O)} \times \frac{21\% - O_2(ref)}{21\% - O_2(measured)}$$

(ABB,1997)

- $C_{(corrected)}$  = Konsentrasi emisi gas terkoreksi ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
- $C_{(actual)}$  = Konsentrasi emisi gas aktual ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
- T = Temperatur *flue gas* ( $^{\circ}\text{C}$ )
- P = Tekanan *flue gas* ( kPa )
- $\%H_2O$  = Persentase kelembaban *flue gas* ( % )
- $O_2(ref)$  = Konsentrasi  $O_2$  sesuai keadaan terkoreksi ( % )
- $O_2(measured)$  = Konsentrasi  $O_2$  sesuai keadaan terukur ( % )

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

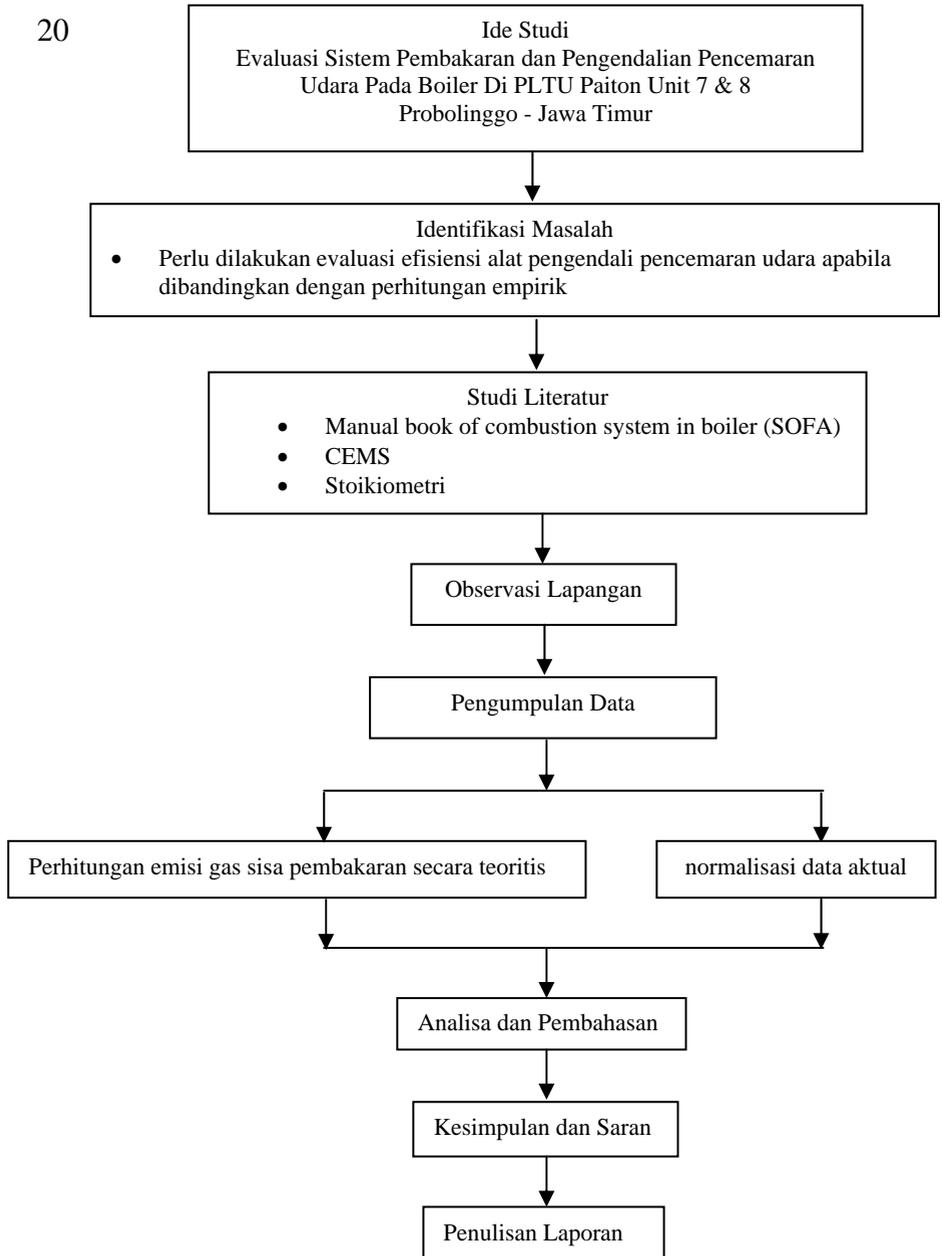
#### **3.1. Umum**

Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengevaluasi sistem pembakaran dan pengendalian pencemaran udara pada PLTU Paiton Unit 7 dan 8, dengan melakukan perbandingan data yang tercatat pada CEMS dengan data hasil perhitungan menggunakan metode stoikiometri. Secara garis besar penelitian ini terdiri dari dua tahap, yaitu pengumpulan data baik primer maupun sekunder dan tahap kedua adalah pengolahan data. Penelitian diawali dengan identifikasi masalah yang ditemukan di lapangan yang dilanjutkan dengan studi literatur. Setelah melakukan studi literatur, dilakukan observasi lapangan untuk meneliti kondisi eksisting yang ada di lapangan. Dari observasi ini akan didapatkan data-data, baik data primer maupun sekunder.

Tahap berikutnya adalah pengolahan data. Dimulai dengan perhitungan emisi gas sisa pembakaran secara teoritis, yang hasilnya akan dibandingkan dengan data aktual dari CEMS (*Continuous Emission Monitoring System*). Untuk dapat membandingkan kedua data tersebut, maka terlebih dahulu dilakukan normalisasi data aktual dari CEMS. Hasil dari perbandingan tersebut, akan dianalisa untuk mengetahui tingkat reduksi emisi gas NO<sub>x</sub> dan CO pada boiler. Pembahasan akan dilakukan apabila ada ketidaksesuaian data, yang dilanjutkan dengan penarikan kesimpulan dan saran.

#### **3.2. Kerangka Tugas Akhir**

Penyusunan kerangka tugas akhir ini dilakukan untuk mengetahui tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pelaksanaan evaluasi. Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 3. Diagram Alir Kerangka Tugas Akhir

### **3.3. Ide Tugas Akhir**

Ide penelitian diperoleh dari pengamatan pada saat kerja praktek di PLTU Paiton Unit 7 dan 8. Pemakaian jumlah bahan bakar yang besar menyebabkan emisi gas yang besar pula, tetapi di PLTU Paiton Unit 7 dan 8 ini mempunyai suatu sistem pengendali pencemaran udara yang menarik untuk dipelajari, karena mampu mereduksi emisi gas sehingga sesuai baku mutu.

### **3.4. Identifikasi masalah**

Identifikasi masalah perlu dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi alat pengendali pencemaran udara jika dibandingkan dengan perhitungan empiriknya.

### **3.5. Studi Literatur**

Studi literatur adalah semua kegiatan yang berkaitan dengan penelaahan pustaka yang berkaitan dengan penelitian. Studi literatur dilakukan sepanjang waktu, mulai dari tahap awal sampai penarikan kesimpulan dengan mencari bahan-bahan pendukung penelitian dari berbagai sumber, baik buku, jurnal, *manual book*, internet, wawancara langsung, penelitian-penelitian terdahulu, dsb.

### **3.6. Observasi Lapangan**

Observasi ini dimaksudkan untuk mengetahui dengan pasti tempat-tempat yang akan digunakan selama melakukan penelitian serta peraturan-peraturan dan prosedur yang ada di lokasi tersebut.

Pengamatan di lapangan juga menunjang bertambahnya data dan pemahaman proses kerja sebenarnya yang terjadi di lapangan. Dari pengamatan ini nantinya bisa dibandingkan dengan data secara teoritis.

### **3.7. Pengumpulan Data**

Pengumpulan data primer digunakan sebagai data untuk perhitungan secara teoritis yang nantinya akan diperbandingkan dengan data aktual di lapangan. Sedangkan data sekunder adalah data pendukung untuk mengetahui pengaruhnya terhadap proses pembakaran.

### 3.8. Perhitungan Emisi Sisa Pembakaran Secara Teoritis

Perhitungan teoritis ini dilakukan untuk mengetahui seberapa efisien sistem pembakaran tangensial ini dalam mereduksi emisi gas NO<sub>x</sub> dan CO dengan perhitungan stoikiometri.

### 3.9. Pengamatan Lapangan dan Normalisasi Data Aktual

Data lapangan yang didapat melalui *Continuous Emission Monitoring System* diukur pada titik-titik dengan kondisi temperatur, tekanan, dan konsentrasi oksigen yang berbeda-beda, sehingga data yang dihasilkannya pun belum berupa data pada kondisi standar. Oleh sebab itu, untuk dapat membandingkan data dari CEMS dengan data perhitungan emisi gas buang secara teoritis diperlukan suatu langkah normalisasi data emisi *flue gas* PLTU Paiton Unit 7 dan 8 berdasarkan kandungan oksigen, temperatur dan tekanan.

Persamaan yang digunakan untuk melakukan normalisasi data adalah sebagai berikut:

$$C_{(cor)} = C_{(act)} \times \frac{(273+T)}{273} \times \frac{101.3}{p} \times \frac{100}{(100-\%H_2O)} \times \frac{21\% - O_2(ref)}{21\% - O_2(meas)}$$

(ABB, 1997)

- C<sub>(corrected)</sub> = Konsentrasi emisi gas terkoreksi (mg/m<sup>3</sup>)
- C<sub>(actual)</sub> = Konsentrasi emisi gas aktual (mg/m<sup>3</sup>)
- T = Temperatur *flue gas* (°C)
- P = Tekanan *flue gas* (kPa)
- %H<sub>2</sub>O = Persentase kelembaban *flue gas* (%)
- O<sub>2(ref)</sub> = Konsentrasi O<sub>2</sub> sesuai keadaan terkoreksi (%)
- O<sub>2(measured)</sub> = Konsentrasi O<sub>2</sub> sesuai keadaan terukur (%)

### 3.10. Analisa dan Pembahasan

Setelah penelitian selesai dilakukan, maka dilakukan pembahasan berdasarkan hasil analisa yang sudah didapatkan. Pembahasan yang dilakukan juga didasarkan pada teori yang ada. Analisa data dimaksudkan untuk mengolah data yang didapat selama penelitian untuk ditampilkan dalam bentuk yang mudah untuk dipelajari dan dipahami.

### **3.11. Kesimpulan**

Pembuatan kesimpulan didasarkan pada hasil akhir yang diperoleh dari pembahasan yang telah dilakukan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Perhitungan Teoritis Pembentukan NOx dan CO

Hasil perhitungan teoritis pembentukan NOx dan CO secara lengkap dapat dilihat pada bagian lampiran yang terdapat di bagian belakang laporan ini. PLTU Paiton Unit 7 dan 8 menggunakan dua jenis batu bara, yaitu adaro dan kideco. Jumlah penggunaan batu bara pada proses produksi bulan september 2008 dari masing-masing boiler dapat dilihat pada lampiran I kolom 2. Di bawah ini ditampilkan data jumlah penggunaan batu bara secara ringkas :

Tabel 4.1 Data penggunaan batu bara bulan September 2008

	Jumlah batu bara (Ton/day)		
	Minimum	average	maksimum
UNIT 7	7048,42	7485,76	7939,68
UNIT 8	5907,99	6657,14	7563,81

(Sumber : perhitungan)

Komposisi kandungan masing-masing batu bara tersebut diperoleh berdasarkan data analisis laboratorium yang dibagi menjadi dua, yaitu proximate analysis dan *ultimate analysis*. *Proximate analysis* adalah analisis mengenai karakter fisik bahan bakar, seperti prosentase kelembaban, materi *volatile*, *fixed carbon*, *ash*, dan HHV. Analisis ini dilakukan setiap hari pada batu bara yang akan dibakar, contoh laporan *proximate analysis* terlampir pada lampiran A.

Sedangkan *ultimate analysis* yang menganalisis kandungan elemen-elemen batu bara secara mendetail ( C, H, O, N, S ), yang dilakukan dalam kurun waktu yang tidak menentu. Hal ini dikarenakan karakteristik dari batu bara yang sama dianggap tidak berubah secara drastis. Dari data laporan *ultimate analysis* lampiran B, dapat dirata-ratakan persentase kandungan elemen-elemen batu bara yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2 Data karakteristik batu bara ( Rata-rata *Ultimate Analysis*)

	Persentase Elemen-elemen batu bara (%)				
	<b>C</b>	<b>H</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>S</b>
Adaro	69,38	5,56	21,18	0,83	1,50
Kideco	65,79	5,56	21,18	0,80	2,30

(Sumber: perhitungan)

Perhitungan stoikiometri dari hasil pembentukan gas sisa pembakaran batu bara akan dijelaskan satu persatu di bawah ini, disertai contoh perhitungan dengan menggunakan Unit 7 tanggal 1 September 2008.

Data tanggal 1 September 2008 untuk Unit 7:

1. Pembakaran Nitrogen

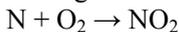
Jumlah penggunaan batu bara : 7460,60 Ton

- Perhitungan fuel Nitrogen

Persentase nitrogen dalam dalam batu bara 0,83 %

$$\begin{aligned} \text{Massa Nitrogen} &= \% \text{ N} \times \text{massa batu bara} \\ &= 0,83 \% \times 7460,60 \text{ T} \\ &= 61,92 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Pada pembakaran fuel nitrogen tidak diketahui bentuk pasti nitrogen dalam batu bara, maka diasumsikan bentuk nitrogen adalah N dengan hasil akhir pembakaran  $\text{NO}_2$ .



$$\begin{aligned} \text{NO}_2 \text{ yang terbentuk} &= \frac{\text{m. Nitrogen}}{\text{Mr.N}} \times \text{Mr NO}_2 \\ &= \frac{61,92 \text{ T}}{14 \text{ g/mol}} \times 46 \text{ g/mol} \\ &= 203,45 \text{ Ton} \end{aligned}$$

- Perhitungan Nitrogen thermal ( udara )

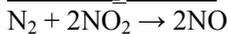
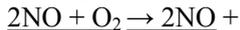
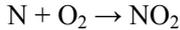
Persentase nitrogen dalam udara bebas 78%

$$\begin{aligned} \text{Total air flow yang masuk ke dalam boiler} &= 50.319.223,25 \text{ m}^3/\text{day} \\ &= 582,39 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\text{Massa jenis N}_2 = 1,25 \text{ g/L}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa N}_2 &= \% \text{ vol N}_2 \times \text{total air flow} \times \text{massa jenis N}_2 \\
 &= 0,78 \times 582,39 \text{ m}^3/\text{s} \times 1000 \text{ L/ m}^3 \times 86400 \text{ s/day} \times 1,25 \\
 &\text{g/L} \times 10^{-6} \text{ kg/g} \\
 &= 49.060,53 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

Pembakaran nitrogen mengikuti persamaan reaksi sebagai berikut :



$$\begin{aligned}
 \text{NO}_2 \text{ yang terbentuk} &= \frac{\text{m. Nitrogen}}{\text{Mr.N}} \times \text{Mr NO}_2 \\
 &= \frac{49.060,53 \text{ Ton}}{44 \text{ g/mol}} \times 92 \text{ g/mol} \\
 &= 102.581,11 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan total NOx

Total NOx yang terbentuk secara teoritis adalah penjumlahan antara fuel NOx dan thermal NOx.

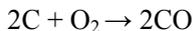
$$\begin{aligned}
 \text{Total NOx} &= \text{fuel NOx} + \text{thermal NOx} \\
 &= 49.060,53 \text{ Ton} + 102.581,11 \text{ Ton} \\
 &= 151.641,64 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

## 2. Pembakaran karbon

Persentase karbon dalam batu bara 69,38%

$$\begin{aligned}
 \text{Massa karbon} &= \% \text{ karbon} \times \text{massa batu bara} \\
 &= 69,38\% \times 7460,60 \text{ Ton} \\
 &= 5176,16 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

Pembakaran karbon mengikuti persamaan sebagai berikut :



$$\begin{aligned}
 \text{CO}_2 \text{ yang terbentuk} &= \frac{\text{m. karbon}}{\text{Mr. Karbon}} \times \text{Mr CO} \\
 &= \frac{5176,16 \text{ Ton}}{24 \text{ g/mol}} \times 56 \text{ g/mol} \\
 &= 12.077, 71 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

## 4.2 Perhitungan Normalisasi Data Lapangan

Data lapangan emisi gas sisa pembakaran didapatkan dari *Continuous Emission Monitoring System* (CEMS) yang diukur pada cerobong dengan kondisi yang tidak standar, sehingga data tersebut

harus dinormalisasi. Normalisasi ini dimaksudkan untuk memperoleh konsentrasi zat pencemar yang bisa dibandingkan dengan data teoritis. Oleh sebab itu, diperlukan data debit aliran *flue gas* pada cerobong seperti pada lampiran I kolom 7. Di bawah ini merupakan data debit *flue gas* secara ringkas :

Tabel 4.3 Data air flow flue gas

	Air flow (m <sup>3</sup> /day)		
	minimum	average	maksimum
Unit 7	18.671.399	53.203.461	57.672.000
Unit 8	22.826.880	78.635.016	60.578.160

(Sumber : perhitungan)

Selanjutnya diperlukan pula data temperatur gas di cerobong seperti yang terlampir pada lampiran II kolom 5, yang secara ringkas dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.4 Data temperatur gas

	Temperatur °C		
	minimum	average	maksimum
Unit 7	30,97	31,29	34,81
Unit 8	30,01	30,63	34,22

(Sumber : perhitungan)

Perhitungan normalisasi Data CEMS dapat dilihat pada penjelasan di bawah ini yang disertai contoh perhitungan menggunakan data Unit 7 tanggal 1 September 2008 :

Persentase H<sub>2</sub>O dan O<sub>2</sub> dalam flue gas di cerobong diperoleh dari data sampling di lapangan yang dilakukan oleh *Core Lab* yang secara lengkap dapat dilihat pada lampiran II kolom 6 dan 7. Dari data-data yang kemudian diambil rata-ratanya untuk dipergunakan pada perhitungan normalisasi didapatkan :

Tabel 4.5 Data kandungan kelembaban dan O<sub>2</sub> Flue Gas

	% Moisture			% O <sub>2</sub>		
	min	Average	maks	min	average	maks
Unit 7	0,67	1,04	1,91	5,13	5,95	6,61
Unit 8	0,67	1,04	1,91	5,13	5,95	6,61

(Sumber : Data Laboratorium Paiton)

Debit aliran *flue gas* = 50319223,25 m<sup>3</sup>/day

- Temperature cerobong = 31,98 °C
- *Pressure* ≈ tekanan atmosfer = 1 atm  
= 101.3 kPa
- Normalisasi data untuk kondisi 0 °C, 1 atm dan 3 % O<sub>2</sub>

## 1. Normalisasi CO

Emisi CO yang tercatat pada CEMS (kolom 2) = 15,14 mg/m<sup>3</sup>

Normalisasi data :

[CO]corr (kolom 13)

$$= CO_{act} \times \frac{273+T}{273} \times \frac{101,3}{P} \times \frac{100}{(100-\%H_2O)} \times \frac{21\% - O_{2(ref)}}{(21\% - O_{2 Measured})}$$

$$= 19,59 \text{ mg/m}^3$$

Massa CO (kolom 15) = [CO *corrected*] x Debit Flue Gas

$$= 19,59 \text{ mg/m}^3 \times 10^{-9} \text{ MT/mg} \times$$

$$= 50319223,25 \text{ m}^3/\text{day}$$

$$= 0,98 \text{ MT/day}$$

$$= 980 \text{ Ton/day}$$

Perhitungan CO dalam ppm (by volume)

$$= \frac{\frac{n_{CO}}{P}}{P}$$

VolUdara

$$= \frac{0,98 \text{ MT} / \text{day} \times 10^6 \text{ g} / \text{MT} \times 0.083 \times (273 + 31,98) \text{ K}}{28 \text{ g} / \text{mol} \times 1 \text{ atm} \times 50319223,25 \text{ m}^3 / \text{day}}$$

$$= 0,02 \text{ ppm}$$

Normalisasi NOx

Nilai emisi NOx yang tercatat pada CEMS (kolom 3) = 257,28 mg/m<sup>3</sup>

Normalisasi data :

$$\begin{aligned}
 & [\text{NOx}]_{\text{corr}} \text{ (kolom 14)} \\
 &= [\text{NOx}]_{\text{act}} \times \frac{273+T}{273} \times \frac{101,3}{P} \times \frac{100}{(100-\% \text{H}_2\text{O})} \times \frac{21\% - \text{O}_{2(\text{reff})}}{(21\% - \text{O}_{2 \text{ Measured}})} \\
 &= 331,68 \text{ mg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa NOx (kolom 16)} &= [\text{NOx corrected}] \times \text{Debit Flue Gas} \\
 &= 331,68 \text{ mg/m}^3 \times 10^{-9} \text{ MT/mg} \times \\
 &= 50319223,25 \text{ m}^3/\text{day} \\
 &= 12,95 \text{ MT/day} \\
 &= 12.950 \text{ Ton/day}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan persentase pembentukan NOx aktual terhadap teoritis

$$\begin{aligned}
 \text{NOx aktual yang terbentuk} &= 12.950 \text{ Ton/day} \\
 \text{NOx teoritis} &= 151.641,64 \text{ Ton/day} \\
 \% \text{ pembentukan NOx} &= \frac{\text{NOx aktual}}{\text{NOx teoritis}} \times 100\% \\
 &= \frac{12.950 \text{ Ton/day}}{151.641,64 \text{ MT/day}} \times 100\% \\
 &= 8,5 \%
 \end{aligned}$$

### 4.3 Analisis

a. PLTU Paiton menggunakan bahan bakar batu bara jenis adaro dan kideco. Dari data *ultimate analysis* yang tersedia dapat kita lihat bahwa kedua jenis batu bara tersebut memiliki perbedaan komposisi H, N, C, O, S, dan ash yang tidak terlalu besar. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.3.1 *Ultimate analysis* untuk batu Adaro dan Kideco

	Pesentase Elemen-elemen batu bara (%)				
	C	H	O	N	S
Adaro	69,38	5,56	21,18	0,83	1,50
Kideco	65,79	5,56	21,18	0,80	2,30

(Sumber : Data Laboratorium Paiton)

Dari data di atas dapat diketahui bahwa batu bara jenis adaro memiliki kandungan C, H, N, dan O yang lebih besar dibandingkan dengan batu bara jenis kideco, serta memiliki kandungan S (sulphur) yang lebih kecil. Dari karakteristik tersebut dapat dianalisis bahwa pada pembakaran kedua jenis batu bara tersebut pada jumlah yang sama, batu bara adaro akan menghasilkan panas yang lebih besar dikarenakan jumlah kandungan karbon dan hidrogennya yang lebih besar sehingga lebih efisien.

b. Analisis pembentukan NOx

Pembentukan NOx dengan perhitungan teoritis menunjukkan bahwa potensi pembentukan NOx yang berasal dari udara lebih besar dibandingkan dengan pembentukan NOx dari bahan bakar itu sendiri. Hal ini terjadi dikarenakan persentase nitrogen (dalam bentuk gas N<sub>2</sub>) di udara sangat besar, yaitu sekitar 78% didukung dengan besarnya supply udara yang dimasukkan ke dalam boiler. Berikut nilai minimum, *average*, dan maksimum dari masing-masing parameter:

Tabel 4.3.2 Data perhitungan teoritis pembentukan NOx (Adaro)

	Boiler Unit 7			Boiler Unit 8		
	Thermal NOx	fuel NOx	NOx total	Thermal NOx	fuel NOx	NOx total
	(Ton/day)	(Ton/day)	(Ton/day)	(Ton/day)	(Ton/day)	(Ton/day)
Avg	120.111,3	204,15	120.315,5	160.308,2	181,55	160.489,8
Min	112.805,3	209,3	113.007,1	46.535,71	161,12	46.708,59
Maks	126.278,4	195,51	126.478,9	121.519,2	206,28	121.698,3

(Sumber : perhitungan)

Tabel 4.3.3 Data perhitungan teoritis pembentukan NOx (Kideco)

	Boiler Unit 7			Boiler Unit 8		
	Thermal NOx	fuel NOx	NOx total	Thermal NOx	fuel NOx	NOx total
	(Ton/day)	(Ton/day)	(Ton/day)	(Ton/day)	(Ton/day)	(Ton/day)
Avg	120.111,3	196,77	120.308,1	160.308,2	174,99	160.483,20
Min	112.805,3	209,3	112.999,8	465.35,71	155,30	46.702,34
Maks	126.278,4	195,51	126.471,6	121.519,2	198,82	121.691,84

(Sumber : perhitungan)

Sedangkan dari perhitungan normalisasi data lapangan (CEMS) dapat diketahui bahwa pembentukan gas NOx secara menyeluruh jauh lebih kecil dibandingkan nilai penjumlahan kedua hasil perhitungan NOx secara teoritis tersebut di atas.

Tabel 4.3.4 Data perhitungan normalisasi NOx

	Boiler Unit 7	Boiler Unit 8
	(Ton/day)	(Ton/day)
<i>Average</i>	13.160	9.870
<i>Minimum</i>	1.460	4.180
<i>Maksimum</i>	15.730	16.240

(Sumber : perhitungan)

Data tabel perhitungan di atas selanjutnya digunakan untuk menghitung persentase penurunan pembentukan emisi gas NOx dan CO. Berikut perhitungannya:

- Persentase penurunan NOx (Adaro)

Unit 7 :

$$\% \text{ NOx} = \frac{\text{NOx teo} - \text{NOx act}}{\text{NOx teo}} \times 100$$

$$= \frac{120.315,5 \text{ Ton/day} - 13.160 \text{ Ton/day}}{120.315,5 \text{ Ton/day}} \times 100$$

$$= 89,06\%$$

Unit 8 :

$$\% \text{ NOx} = \frac{160.489,80 \text{ Ton/day} - 9.870 \text{ Ton/day}}{160.489,80 \text{ Ton/day}} \times 100$$

$$= 93,80\%$$

- Persentase penurunan CO (Adaro)

Unit 7 :

$$\% \text{ CO} = \frac{\text{CO teo} - \text{CO act}}{\text{CO teo}} \times 100$$

$$= \frac{12.118,44 \text{ Ton/day} - 2.240 \text{ Ton/day}}{12.118,44 \text{ Ton/day}} \times 100$$

$$= 81,52\%$$

Unit 8 :

$$\% \text{ CO} = \frac{10.777,03 \text{ Ton/day} - 1.430 \text{ Ton/day}}{10.777,03 \text{ Ton/day}} \times 100$$

$$= 86,73\%$$

- Persentase penurunan NOx (Kideco)

Unit 7 :

$$\% \text{ NOx} = \frac{\text{NOx teo} - \text{NOx act}}{\text{NOx teo}} \times 100$$

$$= \frac{120.308,10 \text{ Ton/day} - 13.160 \text{ Ton/day}}{120.308,10 \text{ Ton/day}} \times 100$$

$$= 89,05\%$$

Unit 8 :

$$\% \text{ NOx} = \frac{160.483,20 \text{ Ton/day} - 9.870 \text{ Ton/day}}{160.483,20 \text{ Ton/day}} \times 100$$

$$= 93,79\%$$

- Persentase penurunan CO (Kideco)

Unit 7 :

$$\% \text{ CO} = \frac{\text{CO teo} - \text{CO act}}{\text{CO teo}} \times 100$$

$$= \frac{12.120,01 \text{ Ton/day} - 2.240 \text{ Ton/day}}{12.120,01 \text{ Ton/day}} \times 100$$

$$= 81,51\%$$

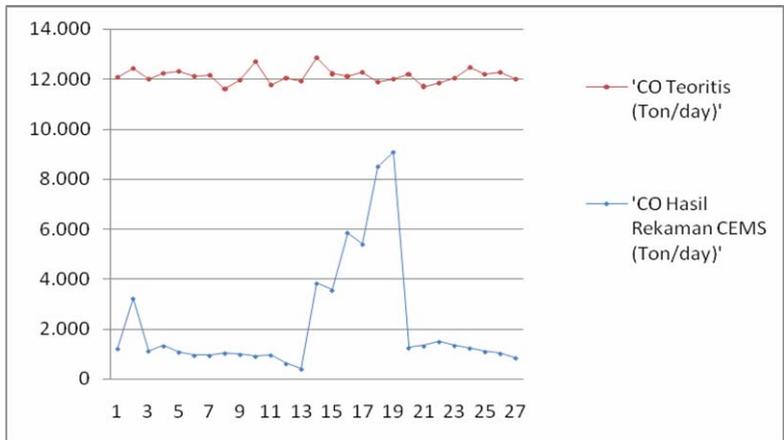
Unit 8 :

$$\begin{aligned} \% \text{ CO} &= \frac{10.219,38 \text{ Ton/day} - 1.430 \text{ Ton/day}}{10.219,38 \text{ Ton/day}} \times 100 \\ &= 86,01\% \end{aligned}$$

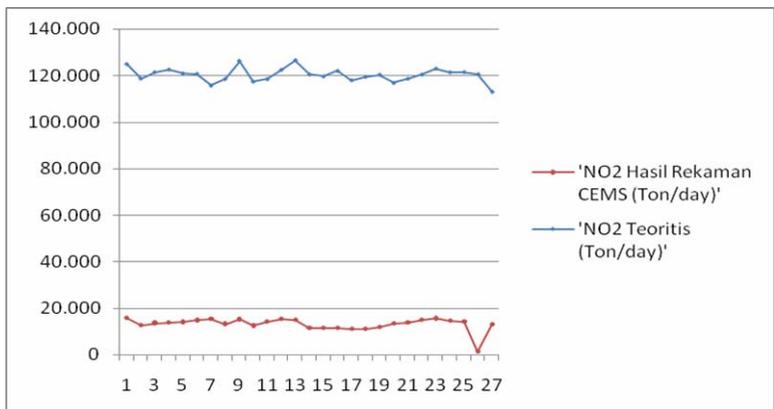
Hasil perhitungan tersebut membuktikan bahwa boiler PLTU Paiton Unit 7 dan 8 mampu mengurangi pembentukan NOx sampai dengan 89% untuk Unit 7 dan 94% untuk Unit 8. Walaupun persentase penurunan pembentukan NOx yang terjadi sudah cukup besar tetapi kedua Unit belum memenuhi kriteria desain yang ada, yaitu sekitar 95% (ABB, *Boiler Operation Training Module*).

Belum optimumnya penurunan emisi NOx pada Unit 8 tersebut bisa disebabkan oleh pendistribusian udara di dalam boiler tidak berjalan sesuai dengan teori. Seperti besarnya kontak udara pada tahap awal pembakaran. Hal ini akan mengakibatkan fuel nitrogen yang seharusnya menjadi N<sub>2</sub> lebih memiliki kesempatan untuk terbakar menjadi NOx. Atau adanya kemungkinan waktu tinggal udara di dalam boiler lebih lama dari yang seharusnya, sehingga peluang untuk terbentuk NOx thermal akan lebih besar selain faktor-faktor yang mempengaruhi berjalannya pembakaran pada suatu boiler sangat banyak dan kompleks.

Perbandingan antara data pembentukan emisi NOx dan CO hasil pencatatan CEMS dengan data hasil perhitungan empiriknya dapat dilihat pula pada grafik di bawah ini :



Grafik a. Perbandingan CO teoritis dengan CO rekaman CEMS



Grafik b. Perbandingan NO<sub>2</sub> teoritis dengan NO<sub>2</sub> rekaman CEMS

Dari kedua grafik tersebut dapat dilihat bahwa data Hasil perhitungan empirik jauh lebih besar dibandingkan dengan hasil pencatatan CEMS, tetapi hal ini tidak membuktikan bahwa pencatatan dengan CEMS lebih akurat dibandingkan dengan pencatatan secara konvensional.

c. Analisis pembentukan CO

Dalam keadaan ideal karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) akan dihasilkan ketika terjadi reaksi antara karbon yang terdapat di dalam batu bara dengan oksigen yang berasal dari udara, atau lazim pula disebut dengan proses pembakaran. Tetapi hal tersebut tidak selalu terjadi secara keseluruhan. Pada beberapa keadaan, seperti pada kondisi tidak mencukupinya jumlah oksigen atau tidak optimumnya kontak dengan bahan bakar, proses pembakaran tidak akan terjadi dengan sempurna dan mengakibatkan terbentuknya karbon monoksida (CO). Berikut data perhitungan CO secara teoritis :

Tabel 4.3.4 Data teoritis pembentukan CO (Adaro)

	UNIT 7	UNIT 8
	CO (Ton/day)	CO (Ton/day)
Average	12.118,44	10.777,03
Minimum	11.605,85	10.057,97
Maksimum	12.853,28	12.244,80

(Sumber : perhitungan)

Tabel 4.3.5 Data teoritis pembentukan CO (Kideco)

	UNIT 7	UNIT 8
	CO (Ton/day)	CO (Ton/day)
Average	12.120,01	10.219,38
Minimum	11.005,32	10.057,97
Maksimum	12.051,55	12.244,80

(Sumber : perhitungan)

Untuk mengetahui tingkat efisiensi penurunan CO, diperlukan data normalisasi yang ada di lapangan. Berikut data ringkas pembentukan CO yang diambil dari CEMS :

Tabel 4.3.4 Data normalisasi pembentukan CO

	Boiler Unit 7	Boiler Unit 8
	(Ton/day)	(Ton/day)
Average	2.240	1.430
Minimum	8.500	1.020
Maksimum	9.060	2.380

(Sumber : perhitungan)

Data perhitungan tersebut membuktikan bahwa boiler PLTU Paiton Unit 7 dan 8 yang menggunakan sistem pembakaran tangensial dengan *overfire air system* mampu mengurangi pembentukan CO sampai dengan 82% untuk Unit 7 dan 87% untuk Unit 8. Persentase penurunan pembentukan CO yang terjadi pada kedua Unit belum memenuhi kriteria desain yang ada, yaitu sekitar 95% (ABB, *Boiler Operation Training Module*).

d. Analisis Pengaruh Temperatur dan *Air flow*

Pada proses pembakaran, NO<sub>x</sub> (oksida nitrogen) terbentuk pada wilayah dengan suhu tinggi sekitar 1426,7°C (2600°F). Sesuai dengan mekanisme Zeldovich, mengurangi jumlah oksigen yang tersedia untuk bahan bakar atau menurunkan temperatur pembakaran adalah metode yang efektif untuk mengontrol pembentukan NO<sub>x</sub> yang berasal dari atmosfer. Pada praktek di lapangan untuk mengontrol pembentukan NO<sub>x</sub>, PLTU Paiton Unit 7 dan 8 menjaga temperatur *furnace* pada 1200°C. Berikut ini adalah tabel nilai temperatur dan *air flow* yang diambil dari lampiran II, serta nilai penurunan emisi gas NO<sub>x</sub> dan CO yang dihasilkan.

Tabel 4.3.5 Data temperatur dan airflow Unit 7

Tanggal	T (°C)	Airflow (m <sup>3</sup> /day)	CO (MT/day)	NOx (MT/day)
01/09/2008	37,49	61.140.000	1,21	15,73
02/09/2008	37,35	58.119.600	3,22	12,57
03/09/2008	37,50	59.446.320	1,12	13,61
04/09/2008	37,44	59.985.600	1,32	13,93
05/09/2008	37,34	59.173.680	1,08	14,06
06/09/2008	37,37	59.087.760	0,94	14,78
07/09/2008	37,01	56.641.440	0,94	15,35
08/09/2008	37,43	58.021.680	1,03	13,22
09/09/2008	37,75	61.804.800	0,98	15,21
10/09/2008	37,42	57.461.760	0,91	12,47
11/09/2008	46,31	57.992.880	0,96	14,21
12/09/2008	37,72	59.934.960	0,62	15,42
13/09/2008	37,16	61.942.560	0,41	15,04
14/09/2008	37,04	58.967.280	3,82	11,46
15/09/2008	37,50	58.544.400	3,54	11,51
16/09/2008	37,21	59.709.600	5,84	11,44
17/09/2008	37,13	57.760.800	5,38	11,13
18/09/2008	37,09	58.482.480	8,48	11,25
19/09/2008	37,77	58.912.800	9,06	11,92
20/09/2008	37,16	57.187.680	1,25	13,42
21/09/2008	36,96	58.084.080	1,32	13,97
22/09/2008	36,79	58.944.480	1,49	15,02
23/09/2008	36,61	60.190.800	1,34	15,55
24/09/2008	45,92	59.413.200	1,24	14,60
25/09/2008	37,05	59.460.480	1,10	14,07
26/09/2008	36,49	59.027.040	1,02	1,46
27/09/2008	36,31	55.333.680	0,85	12,92
28/09/2008	UNIT 7 SHUTDOWN			
29/09/2008				
30/09/2008				

(Sumber: perhitungan)

Tabel 4.3.6 Data temperatur dan airflow Unit 8

Tanggal	T (°C)	Airflow (m3/day)	CO (MT/day)	NOx (MT/day)
01/09/2008	31,90	58.610.160	1,63	11,52
02/09/2008	31,20	59.322.720	1,90	11,08
03/09/2008	34,22	56.666.160	2,38	10,07
04/09/2008	31,77	57.810.000	1,82	14,98
05/09/2008	30,91	57.390.480	1,61	14,34
06/09/2008	30,31	57.410.400	1,64	13,77
07/09/2008	30,59	53.444.880	1,45	13,63
08/09/2008	30,67	56.333.520	1,47	15,42
09/09/2008	30,45	59.608.080	1,58	15,57
10/09/2008	30,15	55.178.880	1,32	14,51
11/09/2008	30,10	55.251.120	1,26	5,45
12/09/2008	30,09	58.315.680	1,02	0,57
13/09/2008	30,17	60.578.160	0,77	0,59
14/09/2008	30,11	56.454.000	0,64	0,55
15/09/2008	30,01	56.590.080	0,63	0,55
16/09/2008	30,81	57.695.760	0,96	16,24
17/09/2008	30,42	56.279.760	1,49	12,90
18/09/2008	30,27	57.791.760	1,72	10,57
19/09/2008	30,07	56.223.120	1,67	10,29
20/09/2008	30,09	55.722.720	1,69	10,20
21/09/2008	30,68	55.155.360	1,77	10,09
22/09/2008	30,57	22.826.880	1,02	4,18
23/09/2008	UNIT 8 SHUTDOWN			
24/09/2008				
25/09/2008				
26/09/2008				
27/09/2008				
28/09/2008				
29/09/2008				
30/09/2008				

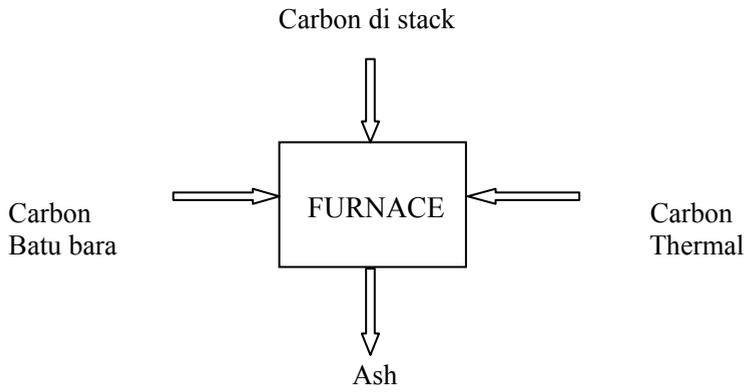
(Sumber: perhitungan)

Berdasarkan data di atas dapat dilihat bahwa penurunan NOx paling besar adalah pada temperatur 36,49°C untuk Unit 7 dan 30,57°C untuk Unit 8. Sedangkan penurunan terkecil pada temperatur 37,49°C untuk Unit 7 dan 30,81°C untuk Unit 8. Untuk nilai *air flow* yang paling besar mereduksi emisi gas NOx adalah 61.140.000 Ton/day untuk Unit 7 dan 57.695.760 Ton/day untuk Unit 8. Penurunan emisi gas CO paling besar terjadi pada temperatur 37,16°C untuk Unit 7 dan 30,09°C untuk Unit 8. Dengan nilai *air flow* 61.942.560 Ton/day untuk Unit 7 dan 58.315.680 Ton/day untuk Unit 8.

Perbedaan nilai temperatur dan *air flow* yang maksimum mereduksi emisi gas NOx dan CO pada kedua unit berbeda dikarenakan jumlah batu bara yang dibakar pada kedua unit juga berbeda, dimana semakin besar jumlah batu bara yang dibakar maka semakin besar pula kebutuhan temperatur dan *air flow* yang dibutuhkan pada proses pembakaran.

e. Neraca Massa Karbon

Neraca massa ini digunakan untuk melihat keseimbangan input dan output karbon dari proses pembakaran yang terjadi pada *furnace*. Karbon merupakan faktor penting dalam menentukan efisiensi pembakaran, semakin besar kandungan karbon suatu bahan bakar maka semakin besar pula efisiensi pembakarannya. Dari jumlah persentase kandungan karbon pada bahan bakar, serta persentase karbon pada udara yang dimasukkan akan dapat diketahui input karbon yang masuk ke *furnace*. Sedangkan output karbon terdiri dari karbon yang terbentuk menjadi CO<sub>2</sub>, CO, dan *ash*. Berikut diagram alir neraca massa pembentukan karbon :



Gambar 4.3.1 Diagram alir neraca massa Carbon

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil evaluasi yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem pengendalian pencemaran udara yang diterapkan pada PLTU Paiton Unit 7 dan 8 mampu menurunkan kadar polutan NO<sub>x</sub> dan CO yang dihasilkan.
2. Sistem pengendalian pencemaran udara yang diterapkan pada kedua unit PLTU tersebut mampu menurunkan kadar CO berturut-turut sebesar 89% dan 94% pada unit 7 dan 8 dan penurunan kadar NO<sub>x</sub> berturut-turut sebesar 82% dan 87% pada unit 7 dan 8

#### **5.2 Saran**

Pada penelitian ini, data lapangan yang digunakan adalah hasil pencatatan dengan menggunakan CEMS. Untuk mengetahui kemampuan sistem pengendalian pencemaran udara pada PLTU Paiton Unit 7 dan 8 secara lebih akurat maka diperlukan data hasil pencatatan dengan menggunakan sistem lainnya ( misalkan manual) sebagai pembandingan.



## DAFTAR PUSTAKA

- ABB. 1997. **Boiler Operation Training Module Volume 1**. ABB C-E Services, INC.
- ABB. 1997. **Boiler Operation Training Module Volume 2**. ABB C-E Services, INC.
- ABB. 1997. **Manual Book of Coal Handling**. ABB C-E Services, INC.
- ABB. 1997. **Manual Book of Combustion System in Boiler**. ABB C-E Services, INC.
- ABB. 1997. **Manual Book of Power Generation**. ABB C-E Services, INC.
- Amanda A.R. 2005. **Evaluasi Pembakaran Tangensial Pada Boiler di PLTU Paiton Unit 7 dan 8**. TL-FTSP ITB, Bandung.
- Anonim. 1995. **Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.KEP-13/MENLH/3/1995 Tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak**.
- Boedisantoso. R. 2001. **Teknologi Pengendalian Udara**. Jurusan Teknik Lingkungan. FTSP-ITS. Surabaya.
- Perry. R. H. And Green D.W. 1997. **Perry's Chemical Engineers Handbook**. 7<sup>th</sup> edition. Mc. GrawHill. New York.



## **BIODATA PENULIS**



Penulis dilahirkan di Blitar, 28 Nopember 1983, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Dharma wanita, SDN Duwet II, SLTPN 1Bandung, dan SMUN 1 Boyolangu Tulungagung. Setelah lulus dari SMU tahun 2002, Penulis diterima di jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Insitut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2002 dan terdaftar dengan NRP 3302100065. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan yang diadakan oleh Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) dan juga sempat aktif di UKM Sepak Bola ITS periode tahun 2004-2005.