

ANALISA PENGARUH *EXCESS AIR* TERHADAP *FLUE GAS* DI PLTU TANJUNG JATI B UNIT 2

Hidayah Cahyani Ghufron, Totok Prasetyo, Teguh Harijono Mulud

Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. H. Sudarto, S.H., Tembalang, Semarang, 50275, PO BOX 6199 / SMS

Telp. (024) 7473417, 7499585, Faks. (024) 7472396

<http://www.polines.ac.id>, e-mail : secretariat@polines.ac.id

Abstrak

Proses pembakaran membutuhkan sejumlah udara berlebih (*excess air*). *Excess air* digunakan untuk menjamin pembakaran berlangsung dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *excess air* terhadap kerugian *flue gas* dan pengaruhnya terhadap kuantitas produk *flue gas* berupa CO, CO₂, SO_x dan NO_x di unit 2 PLTU Tanjung jati B. Parameter yang digunakan untuk menghitung nilai *excess air* adalah O₂ content. Metode perhitungan yang digunakan adalah metode ASME PTC 4.1 dan ASME PTC19.1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *excess air* terendah 15,395 % memiliki nilai kerugian *dry flue gas* sebesar 4,492 % dan nilai efisiensi sebesar 89,824 %. Sementara itu, nilai *excess air* tertinggi 23,207 % memiliki nilai kerugian *flue gas* sebesar 5,573% dan efisiensi sebesar 88,076 %. Pengaruh yang ditimbulkan dari pasokan *excess air* terhadap kuantitas produk *flue gas* berupa CO dan CO₂, memiliki tren penurunan terhadap penambahan *excess air*, tetapi bernilai sebanding terhadap produk *flue gas* SO_x dan NO_x.

Kata kunci : *excess air*, kerugian *flue gas*, kuantitas produk *flue gas*, efisiensi

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi kimia dari bahan bakar untuk kemudian dikonversi menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan bertemperatur tinggi. Uap yang dihasilkan digunakan untuk memutar turbin sehingga dapat digunakan untuk membangkitkan energi listrik melalui generator. Uap yang dibangkitkan berasal dari perubahan fasa air yang berada pada boiler akibat mendapatkan energi panas dari hasil pembakaran bahan bakar. Pada PLTU Tanjung Jati B, produksi listrik yang dihasilkan disalurkan melalui jaringan interkoneksi Jawa-Bali.

Furnace merupakan komponen penting pada boiler, yang berfungsi sebagai penghasil kalor yang diperoleh melalui proses pembakaran. Di dalam proses pembakaran, diperlukan sejumlah udara yang tepat. Maka dari itu diperlukan perhitungan perbandingan udara dengan bahan bakar (udara teoritis). Namun untuk menjamin pembakaran berlangsung sempurna diperlukan sejumlah pasokan udara berlebih (*excess air*) selain udara teoritis. Pasokan *excess air* dimaksudkan agar

unsur – unsur kimia dalam batubara dapat bereaksi dengan sempurna. Adapun parameter reaksi pembakaran dapat diamati dari sisa kandungan oksigen pada *flue gas* di PLTU Tanjung Jati B unit 2. Penggunaan *excess air* dalam proses pembakaran terdapat nilai batasan, karena jika pasokan *excess air* kelebihan atau kekurangan, maka akan berpengaruh pada kerugian dan kuantitas produk *flue gas* yang dihasilkan.

penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pasokan *excess air* terhadap kerugian *flue gas* dan pengaruh *excess air* terhadap kuantitas produk *flue gas* yang dihasilkan, produk *flue gas* diantaranya CO, CO₂, SO_x dan NO_x. Untuk selanjutnya dapat diketahui pengaruh pasokan *excess air* terhadap nilai efisiensi boiler yang dihasilkan.

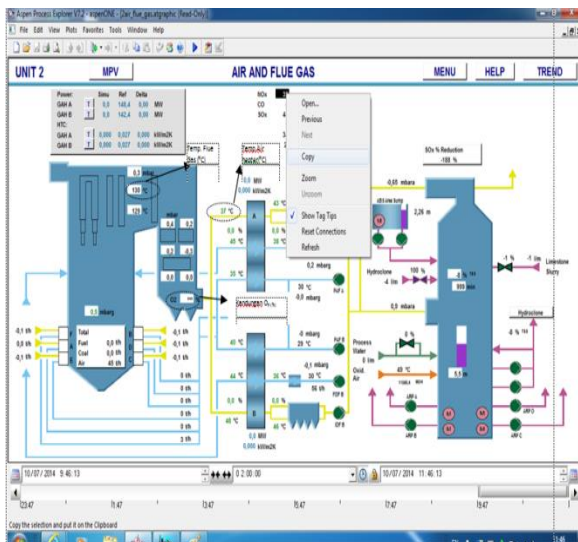
2. METODE PENELITIAN

Dalam Penelitian ini, menggunakan variabel bebas *excess air* dan variabel terikat kerugian *flue gas*, efisiensi boiler, dan kuantitas produk *flue gas* yang dihasilkan. Data dalam penelitian ini merupakan data operasional unit 2 PLTU Tanjung Jati B, pengambilan data dilakukan pada bulan Agustus, September dan Oktober 2013

dengan mengacu pada perbedaan O_2 content pada flue gas. Pengambilan data dilakukan pada monitor TOP-i Solvo untuk data operasional boiler dan pengambilan data analisa batubara pada laboratorium batubara. Sementara itu, metode perhitungan yang digunakan adalah metode perhitungan ASME PTC 19.1 untuk perhitungan excess air dan ASME PTC 4.1 untuk perhitungan kerugian-kerugian dan efisiensi boiler.



Gambar 1 Tampilan utama monitor TOP-i Solvo



Gambar 2 Pengambilan parameter penelitian pada menu air and flue gas

Tabel 1 Data operasional boiler

Tanggal dan Waktu	Temperatur air Heater (°C)	Temperatur Flue Gas (°C)	O2 content (%)	CO (mg/Nm ³)	Nox (mg/Nm ³)	Sox (mg/Nm ³)
21/10/2013 0:00	31,919	146,265	2,853	325,116	306,017	936,698
21/10/2013 11:00	35,914	159,64	2,862	87,653	369,472	1005,139
21/10/2013 13:00	36,865	160,351	2,97	65,884	373,168	1009,507
21/10/2013 22:00	31,245	153,76	2,993	78,989	373,599	1013,37
02/09/2013 0:00	31,995	150,344	3,265	46,589	377,98	1277,82
02/09/2013 5:00	30,459	150,189	2,989	62,371	377,944	1257,511
19/08/2013 1:00	30,39	152,189	4,019	13,937	466,142	1433,382
19/08/2013 5:00	27	148,532	3,668	41,13	384,132	1468,328
19/08/2013 6:00	27	147,197	3,942	39,265	386,583	1432,702

Tabel 2 Analisa Batubara

Tanggal	Moisture (%)	Ash (%)	HHV (kcal/kg)	Carbon (%)	Hydrogen (%)	Nitrogen (%)	Sulfur (%)	Oksigen (%)	Bottom Ash (%)	Fly Ash (%)
21/10/2013	15,8	5,9	5964	76,19	5,61	1,65	0,77	15,78	3,387	0,916
02/09/2013	19,1	5,4	5553	75,86	5,41	1,52	0,56	16,65	3,394	0,656
19/08/2013	18	3,6	5857	75,97	5,49	1,5	0,71	16,33	3,918	1,104

Dengan persamaan perhitungan sebagai berikut :

1. Perhitungan excess air

$$Ax15' = \frac{O215' \cdot (Vdp + (10,331 \cdot Ao'))}{Ao' \cdot (2,73 - (0,1068 \cdot O215'))} \dots \dots \dots (1)$$

2. Kerugian panas akibat karbon yang tidak terbakar [LUC]

$$LUC = \frac{H d' p' x Wd' p'}{HHV} \times 100 \% \dots \dots \dots (2)$$

3. Kerugian pada flue gas (LG')

$$LG' = \frac{Wg 15' x CpG' x (Tfg - Ta)}{HHV} \times 100 \% \dots \dots \dots (3)$$

4. Kerugian panas akibat kandungan air pada batubara (Lmf)

$$Lmf = \frac{mf (hfg - hRw)}{HHV} \times 100 \% \dots \dots \dots (4)$$

5. Kerugian panas akibat pembakaran hidrogen (LH)

$$LH = \frac{8,936 \cdot H_2 (hfg - ha)}{100} \dots \dots \dots (5)$$

6. Kerugian panas akibat kelembapan udara [LmA]

$$LmA = \frac{WmA' x WA15' x (hfg - hRw)}{HHV} \times 100 \% \dots \dots \dots (6)$$

7. Kerugian akibat radiasi dan konveksi pada boiler [LB]

$$LB = ABMA \frac{HHV}{100} \dots \dots \dots (7)$$

8. Kerugian Tak Terukur [Lun]

$$Lun = \frac{0,15 \cdot HHV}{100} \dots \dots \dots (8)$$

9. $\eta_{boiler} = 100\% - \% \text{kerugian total} \dots(9)$

Keterangan :

HHV: Nilai Kalori Batubara (kKal/kg)

H₂: Kadar Hidrogen (%)

Hd'p': Nilai Kalori Abu (%)

Wd'p': *Refuse Rate combustible in ash* (kg/kg batubara)

Ao': Kebutuhan Udara Teoritis (kg/kg batubara)

Vdp: Volume Kering Produk Hasil Pembakaran (kg)

O215': Kandungan O₂ Di Sisi Keluar *Air heater* (%)

Ax15': Kelebihan Udara Di Sisi Keluar *Air heater*(%)

WG15': Berat Gas Buang Kering (kg/kg batubara)

CpG': Kapasitas Panas Spesifik Gas Buang (kJ/kg K)

Hfg :Entalpi Uap Jenuh Berdasarkan Temp Gas Buang (kJ/kg)

Ha :Entalpi Cair Jenuh Pada Temp Udara Sekitar (kJ/kg)

WA15': Berat Dari Udara Kering (kg/kg batubara)

hRw: Entalpi Uap Saturasi Temp. Udara masuk air heater (kJ/kg)

η_{boiler} :Efisiensi Boiler (%)

Dari perhitungan, maka didapatkan data penelitian sebagai berikut:

Tabel 3 Data perhitungan

Tanggal dan Waktu	Udara teoritis (kg/kg fuel)	Excess Air (%)	Udara Aktual (kg/kg fuel)	Losses Flue Gas (%)	Efisiensi (%)	CO ₂ (%)
21/10/2013 0:00	10,035	15,395	11,58	4,492	89,824	16,076
21/10/2013 11:00	10,035	15,447	11,585	4,979	89,341	16,073
21/10/2013 13:00	10,035	16,128	11,653	5,003	89,325	15,98
21/10/2013 22:00	10,035	16,273	11,668	4,953	89,324	15,954
02/09/2013 0:00	9,884	18,058	11,669	5,196	88,237	15,881
02/09/2013 5:00	9,884	16,279	11,493	5,117	88,238	16,142
19/08/2013 1:00	9,945	23,207	12,253	5,573	88,076	15,155
19/08/2013 5:00	9,945	20,748	12,008	5,415	88,208	15,464
19/08/2013 6:00	9,945	22,661	12,199	5,44	88,186	15,225

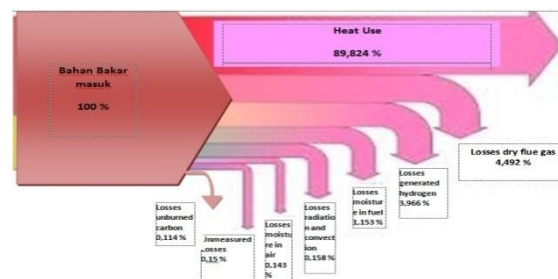
Tabel 4 Data kerugian-kerugian dan efisiensi boiler

No	Tanggal dan Waktu	LUC (%)	LG (%)	LMF (%)	LH (%)	LMA (%)	LB (%)	LUN (%)	EFISIENSI (%)
1	21/10/2013 00:00	0,114	4,492	1,153	3,966	0,143	0,158	0,150	89,824
2	21/10/2013 11:00	0,114	4,979	1,152	3,964	0,143	0,158	0,150	89,341
3	21/10/2013 13:00	0,114	5,003	1,150	3,958	0,143	0,158	0,150	89,325
4	21/10/2013 22:00	0,114	4,953	1,160	3,989	0,152	0,158	0,150	89,324
5	02/09/2013 00:00	0,096	5,196	1,650	4,356	0,159	0,158	0,150	88,237
6	02/09/2013 05:00	0,096	5,177	1,655	4,369	0,159	0,158	0,150	88,238
7	19/08/2013 01:00	0,087	5,573	1,495	4,293	0,168	0,158	0,150	88,076
8	19/08/2013 05:00	0,087	5,415	1,503	4,313	0,166	0,158	0,150	88,208
9	19/08/2013 06:00	0,087	5,440	1,501	4,310	0,168	0,158	0,150	88,186

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. DIAGRAM SANKEY

Berikut merupakan diagram *sankey* yang diambil dari data sampel 21 Oktober 2013 pukul 00:00.



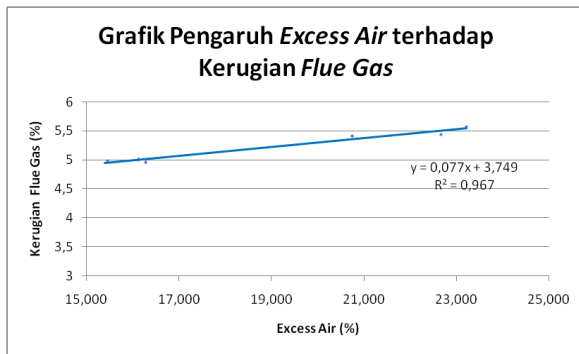
Gambar 3 Diagram *sankey*

Pada diagram *sankey*, dapat diketahui bahwa kerugian pada *flue gas* memiliki nilai terbesar dari kerugian-kerugian lainnya. Faktor yang sangat mempengaruhi adalah jumlah excess air yang digunakan. Kerugian *flue gas* dapat dihitung dari seberapa banyak excess air yang digunakan yang diindikasikan oleh persentase O₂ content. Tentunya, hal ini sangat berpengaruh pada efisiensi boiler. Kemudian kerugian pada *moisture in fuel* ini dikarenakan besarnya nilai moisture yang terkandung pada bahan bakar karena *moisture* ini mempengaruhi proses reaksi oksidasi, untuk kerugian perpindahan panas atau *heat loss due surface radiation and convection* ini dipengaruhi oleh nyala api dan pipa-pipa boiler. Dan untuk kerugian *moisture in air* ini disebabkan karena cuaca lingkungan

sehingga mempengaruhi udara yang di supply dalam proses pembakaran.

Untuk kerugian tak terukur (*unmeasured losses*) adalah kerugian didalam boiler yang tidak bisa dihitung secara keseluruhan, dan untuk kerugian *unburned carbon* merupakan kerugian karbon yang tidak terbakar.

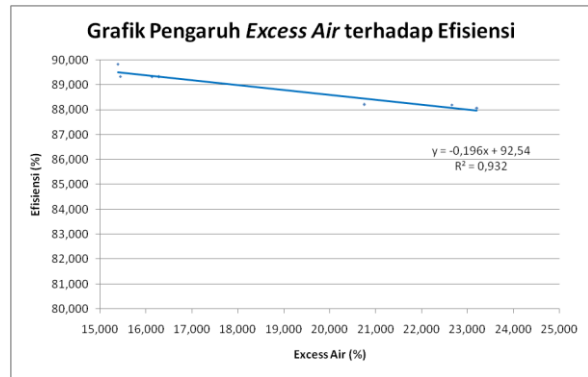
3.2. GRAFIK EXCESS AIR TERHADAP PARAMETER PENELITIAN



Gambar 4 Grafik Pengaruh *Excess Air* terhadap Kerugian *Flue Gas*

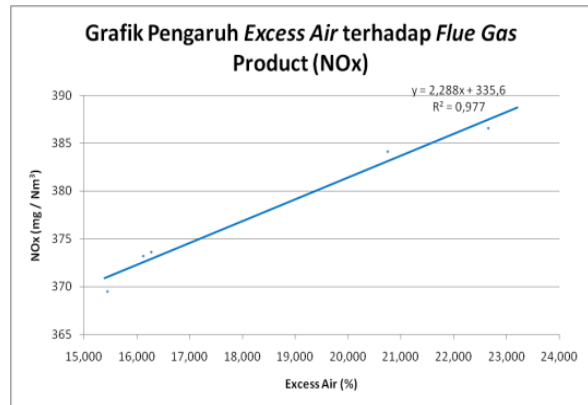
Berdasarkan grafik pengaruh *excess air* terhadap kerugian *flue gas*, dapat diketahui bahwa semakin banyak pasokan *excess air* dalam pembakaran, maka kerugian yang dihasilkan semakin besar. Kerugian *flue gas* merupakan kerugian yang memiliki nilai terbesar daripada kerugian-kerugian lainnya. Berdasarkan persamaan grafik dihasilkan $y = 0,077x + 3,7499$, konstanta x positif hal ini berarti tren yang dihasilkan linier positif, dan nilai dari *Excess Air* dan kerugian *Flue gas* bernilai sebanding.

Semakin banyak pasokan *excess air* ternyata berdampak pada penurunan efisiensi boiler. Berdasarkan gambar 5, grafik pengaruh *excess air* terhadap efisiensi, persamaan yang dihasilkan adalah $y = -0,196x + 92,54$, karena konstanta x bernilai negatif, maka pengaruh yang ditimbulkan berbanding terbalik. Jika pasokan *excess air* semakin besar, maka nilai efisiensi yang dihasilkan semakin menurun.

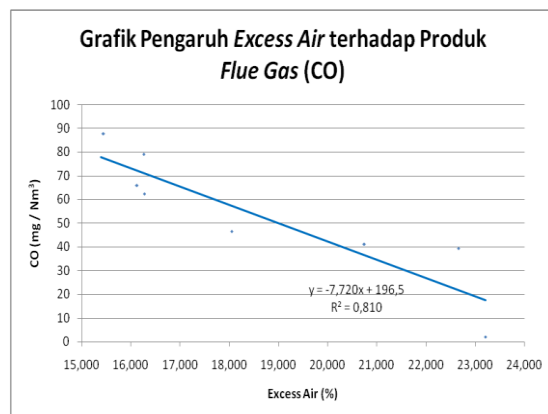


Gambar 5. Pengaruh *Excess Air* terhadap Efisiensi

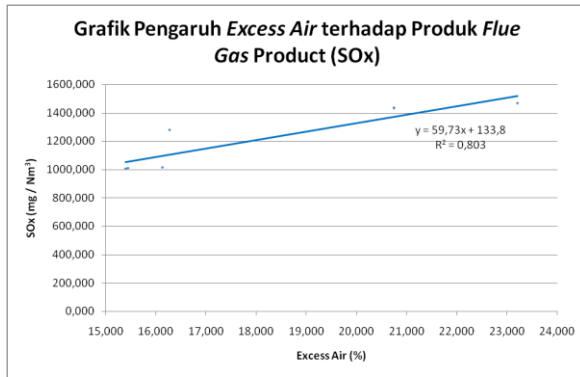
Sementara itu, pengaruh *excess air* terhadap kuantitas produk *flue gas* yang berupa CO, CO_2, SO_x dan NO_x disajikan dalam grafik berikut.



Gambar 6. Grafik Pengaruh *Excess Air* terhadap Produk *Flue Gas* (NO_x)

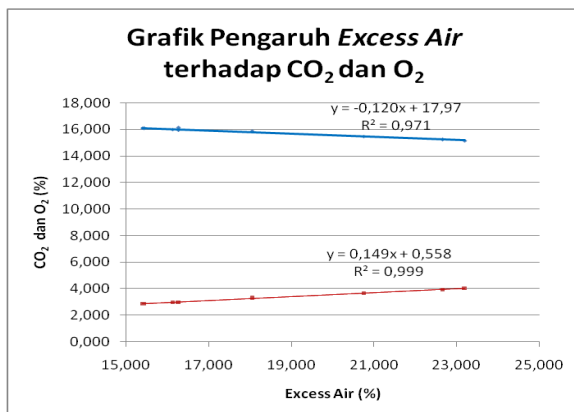


Gambar 7. Grafik Pengaruh *Excess Air* terhadap Produk *Flue Gas* (CO)



Gambar 8. Grafik Pengaruh *Excess Air* terhadap Produk *Flue Gas* (*SOx*)

Berdasarkan grafik pengaruh *excess air* terhadap produk *flue gas* CO, menunjukkan bahwa pengaruh yang ditimbulkan dari penambahan *excess air* adalah semakin menurunnya CO. Pada hasil *flue gas* CO yang menurun, ini mengindikasikan bahwa reaksi unsur karbon (C) yang terjadi dalam pembakaran berlangsung dengan baik, sehingga potensi kerugian karbon yang tidak dapat terbakar dapat diminimalisir, akibat dari penambahan sejumlah nilai *excess air*. Namun, produk *flue gas* berupa *SOx* dan *NOx* terhadap penambahan pasokan *excess air* memiliki persamaan positif. Hal ini berarti semakin banyak pasokan *excess air*, maka produk *flue gas* *SOx* dan *NOx* yang dihasilkan semakin tinggi.



Gambar 9 Pengaruh *Excess Air* terhadap *O2* dan *CO2*

Berdasarkan grafik pengaruh *excess air* terhadap *O₂* dan *CO₂*, kuantitas produk *flue gas* karbon dioksida yang terbentuk bergantung pada reaksi oksidasi yang terjadi. Ketika digunakan pasokan *O₂ content*

yang besar, maka jumlah karbon dioksida dapat diminimalisir dan presentasi jumlahnya mengecil. Gas karbon dioksida yang terbentuk mengindikasikan bahwa unsur kimia karbon pada batubara dapat teroksidasi dengan baik.

4. KESIMPULAN

1. Pada proses pembakaran diperlukan *excess air* agar unsur-unsur kimia pada bahan bakar batubara dapat bereaksi dengan baik dan sekaligus dapat meminimalisir terbentuknya *unburned carbon* (karbon yang tidak terbakar).
2. Nilai *excess air* sebanding dengan kerugian *flue gas*, jika nilai *excess air* tinggi, maka akan menimbulkan kerugian pada *flue gas* yang tinggi pula. Berikut nilai yang didapat, ketika nilai *excess air* tertinggi 23,207% maka kerugian *flue gas* yang dihasilkan sebesar 5,573%, dan ketika nilai *excess air* terendah 15,395% diperoleh kerugian *flue gas* sebesar 4,492%.
3. Nilai *excess air* berbanding terbalik dengan nilai efisiensi boiler yang dihasilkan. Berikut nilai yang didapat, ketika Nilai *excess air* tertinggi 23,207% maka nilai efisiensi boiler yang dihasilkan sebesar 88,076%, dan ketika nilai *excess air* terendah 15,395% diperoleh nilai efisiensi sebesar 89,824%.
4. Produk *flue gas* yang dihasilkan berupa CO (karbon monoksida) yang memiliki tren penurunan (negatif), mengindikasikan bahwa kerugian *unburned carbon* dapat diminimalisir. Pada nilai *excess air* tertinggi 23,207%, didapatkan nilai CO sebesar 13,937 mg/Nm³ dan ketika nilai *excess air* terendah 15,395% diperoleh nilai CO sebesar 325,116 mg/Nm³.
5. Kuantitas produk *flue gas* karbon dioksida yang dihasilkan, berbanding terbalik dengan penambahan *O₂ content*. Ketika nilai *O₂ content* tertinggi 4,019%, menghasilkan produk *flue gas* karbon dioksida sebesar 15,155%. Dan ketika nilai *O₂ content* terendah 2,853%, menghasilkan produk *flue gas* karbon dioksida sebesar 16,076%.

6. Dampak yang ditimbulkan akibat penambahan pasokan *excess air* terhadap kuantitas produk *flue gas* berupa SO_x dan NO_x yang dihasilkan adalah semakin besarnya kuantitas produk *flue gas* SO_x dan NO_x. Pada nilai *excess air* tertinggi, produk flue gas NO_x dan SO_x mencapai 466,142 mg/Nm³ dan 1433mg/Nm³ pada nilai *excess air* terendah, produk *flue gas* NO_x dan SO_x mencapai 306,017mg/Nm³ dan 936mg/Nm³. Namun, produk *flue gas* yang keluar boiler akan ditreatment dalam FGD (*Flue Gas Desulphurization*), dengan tujuan untuk meminimalisir produk *flue gas* berupa sulfur, sehingga produk *flue gas* keluar cerobong aman bagi lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- AB Gill, 1984. *Power Plant Performance*.
Butterworths : London
- Abdulkadir, A. 2011. *Teknologi Pembangkit Listrik Ramah Lingkungan*. Bandung: Penerbit ITB
- Elonka, Stephen Michael. 1973. *Standard Boiler Operators Question and Answer*. Bombay, New Delhi: TATA Mc.Graw Hill
- Onny Apriyahanda. Pengertian Excess Air. <http://artikel-teknologi.com/sistem-kontrol-pembakaran-batubara-pada-boiler/>. Diakses pada tanggal : 22 Mei 2014
- The Beabcock & Wilcox Company. 2004. Tanjung Jati B Training Boiler Overview
- Woodruff, Everett B., et al. 2012. *Steam Plant Operation*. United States of America : McGraw-Hill