

## **ANALISIS KINERJA BOILER PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP ASAM ASAM UNIT II – KALIMANTAN SELATAN**

**Asep Mohamad<sup>1)</sup>, Rachmat Subagyo<sup>2)</sup>**

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat

Jln. Ahmad Yani Km. 36 Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714

E-mail: asepmtn@gmail.com

### **Abstract**

This study aims to determine the value of commissioning boiler efficiency compared with current value and to know the causes of efficiency decrease in Unit 2 Boiler of Asam Asam Coal Fired Steam Power Plant. This research begins with collecting data of Performance Test during commissioning and current four years data from 2014 until 2018. Furthermore, heat losses that carried out are calculated and compared. Calculations performed using ASME PTC 4-2008 Standard Heat Loss Method. Based on the calculation results, it can be conclude that the highest HHV base Boiler Efficiency value in Unit 2 of Asam Asam Power Plant is 86.23% at Commissioning and the second highest HHV Base Boiler Efficiency value is 84.42% on August 9, 2017, while the lowest HHV base Boiler Efficiency is 82.12% on October 2, 2014. Heat loss that most affects the efficiency of Unit 2 Boiler is Heat Loss due to Heat in Dry Flue Gas (5.79% - 7.96%), Heat Loss due to Moisture in Fuel (4.07% - 5.57%) and the Heat Loss due to Moisture from Burning of Hydrogen in Fuel (3.85% - 5.04%).

**Keyword:** Efficiency, Boiler, Heat Loss Method

### **Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai efisiensi boiler komisioning dibandingkan dengan nilai saat ini dan untuk mengetahui penyebab penurunan efisiensi pada Unit 2 Boiler Asam PLTU. Penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan data Uji Kinerja selama commissioning dan data empat tahun saat ini dari 2014 hingga 2018. Selanjutnya, kehilangan panas yang dilakukan dihitung dan dibandingkan. Perhitungan dilakukan menggunakan ASME PTC 4-2008 Metode Kehilangan Panas Standar. Berdasarkan hasil perhitungan, dapat disimpulkan bahwa nilai Efisiensi Boiler base HHV tertinggi di Unit 2 PLTU Asam Asam adalah 86,23% pada Commissioning dan nilai Efisiensi Boiler Base HHV tertinggi kedua adalah 84,42% pada 9 Agustus 2017, sementara Efisiensi Boiler pangkalan HHV terendah adalah 82,12% pada 2 Oktober 2014. Kehilangan panas yang paling mempengaruhi efisiensi Boiler Unit 2 adalah Kehilangan Panas karena Panas dalam Gas Buang Kering (5,79% - 7,96%), Kehilangan Panas karena Kelembaban dalam Bahan Bakar (4,07% - 5,57%) dan Kehilangan Panas karena Kelembaban dari Pembakaran Hidrogen dalam Bahan Bakar (3,85% - 5,04%).

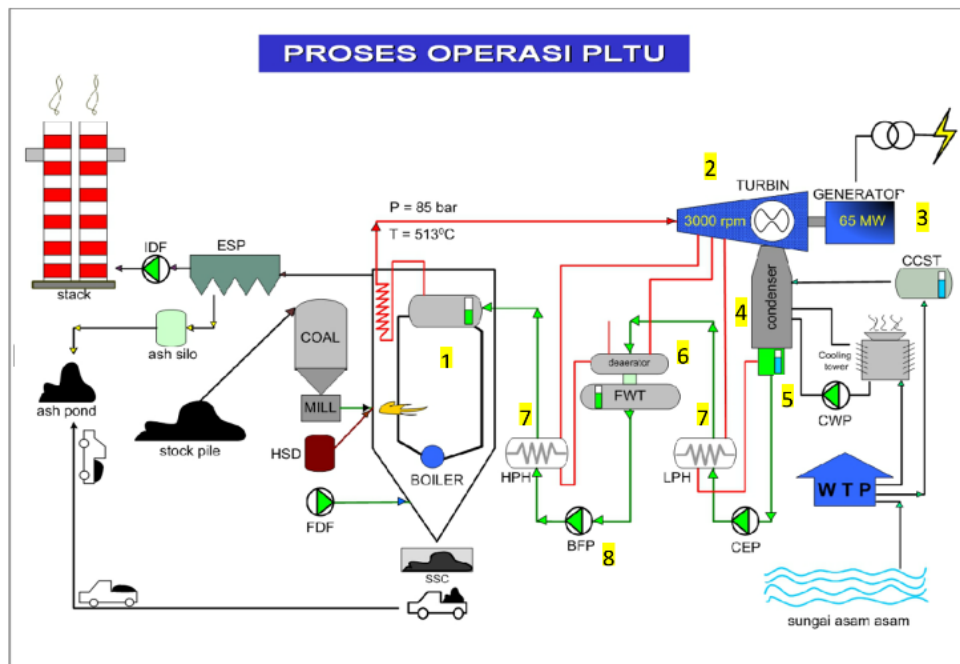
**Kata kunci:** Efisiensi, Boiler, Metode Kehilangan Panas

## PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Asam Asam merupakan pembangkit listrik yang menanggung hampir 30% kebutuhan pasokan listrik di wilayah Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah dan Kalimantan Timur. Daya terpasang saat ini adalah 260 MW yang terhubung dalam Sistem Interkoneksi 150 kV. *Boiler* atau biasa disebut Ketel Uap merupakan salah satu komponen utama dalam proses produksi listrik pada PLTU. *Boiler* berfungsi untuk merubah air menjadi uap *Superheat* yang bertemperatur dan bertekanan tinggi. Proses dalam produksi uap ini disebut “*steam raising*” (pembuat uap). Unit atau alat yang digunakan untuk membuat uap disebut *Boiler* atau biasa disebut “*Steam Generator*” (pembangkit uap).

Kinerja *Boiler* sangat mempengaruhi Kinerja PLTU, uap yang dihasilkan oleh *Boiler* sangat berpengaruh terhadap penggunaan bahan bakar. Efisiensi penggunaan bahan bakar merupakan hal yang sangat penting dalam pengoperasian PLTU. Sehingga Kinerja *Boiler* harus dimonitor dan dianalisa secara kontinyu agar tidak terjadi pemborosan energi dan akhirnya berdampak pada biaya produksi pembangkit yang meningkat. Banyak sekali faktor-faktor yang mempengaruhi Efisiensi atau Kinerja *Boiler*, antara lain adalah Kualitas Bahan Bakar dan Performa Peralatan Bantu (*Auxiliary*) yang menunjang Kinerja *Boiler*. Pada penelitian ini mengambil judul “Analisis Kinerja *Boiler* di PLTU Asam Asam Unit 2 Kalimantan Selatan”. Hal yang melatar belakangi judul di atas adalah waktu operasi *Boiler* yang telah mencapai 18 tahun, dihipotesakan mengalami penurunan kinerja yang disebabkan oleh *life time* dari komponen-komponen pendukungnya. Analisis dari efisiensi *Boiler* akan membantu untuk meningkatkan performanya.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan pembangkit listrik yang menggunakan penggerak mula berupa Turbin uap untuk menggerakkan Generator sehingga dihasilkan listrik. Komponen utama PLTU terdiri dari *Boiler*, Turbin uap, Generator, Kondensor, dan Pompa. Proses produksi listrik diawali dengan air pengisi *Boiler* melewati pemanasan awal, dipompa menuju *economiser* untuk pemanasan dengan memanfaatkan panas gas buang, kemudian air dialirkan ke *steam drum* terlebih dahulu sebelum memasuki ruang bakar melalui pipa-pipa *downcomer*. Air di dalam pipa tersebut menerima panas dari pembakaran sehingga menghasilkan uap jenuh (*Saturated Steam*) dan diteruskan pemanasan lanjut pada *superheater* hingga menjadi uap kering (*Superheated steam*). Air yang belum menjadi uap akan turun ke *water wall* untuk mengalami pemanasan di *Boiler*, sedangkan uap kering dari *Superheater* akan dialirkan menuju Turbin tingkat tinggi (*High Pressure Turbine*) setelah melalui *governor* atau *Control Valve*. Keluaran uap dari Turbin HP yang telah mengalami penurunan temperatur dan tekanan dialirkan ke Turbin tingkat menengah (*Intermediate Pressure Turbine*) kemudian mengalir ke sisi rendah (*Low Pressure Turbine*). Sebagian uap keluaran Turbin diekstraksi digunakan untuk pemanasan air pengisi *Boiler*, sedangkan sebagian besar lainnya dialirkan ke Turbin tingkat rendah (*Low Pressure Turbine*). Secara umum, proses produksi listrik pada PLTU Asam Asam digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses Operasi PLTU Asam Asam Unit 1&2

Uap jenuh yang masuk ke masing-masing Turbin akan memutar sudu-sudu Turbin dan menggerakkan poros Turbin. Poros Turbin yang dikopel dengan Generator akan menyebabkan poros Generator ikut berputar, sehingga dihasilkan energi listrik. Sisa uap yang digunakan untuk memutar Turbin akan dialirkan ke Kondensor untuk didinginkan dengan memanfaatkan air sungai menggunakan *Cooling Tower*. Air yang telah didinginkan akan dialirkan sebagai air pengisi Boiler dan dipompa menuju Boiler setelah sebelumnya dilakukan pemanasan secara bertingkat dengan memanfaatkan uap hasil ekstraksi dari Turbin dan melalui proses penghilangan unsur  $O_2$  pada *Deaerator*.

Komponen-komponen pada PLTU :

1. *Boiler*

Adalah alat yang digunakan untuk menghasilkan uap dengan tekanan dan temperatur yang tinggi, yang dilakukan dengan cara memanaskan air hingga menjadi uap dengan memanfaatkan kalor hasil proses pembakaran bahan bakar di ruang bakar (*furnace*). Uap yang dihasilkan akan dimanfaatkan untuk memutar sudu-sudu pada turbin uap.

2. *Turbin Uap*

Merupakan penggerak mula yang menggunakan uap dengan tekanan dan temperatur tinggi. Sebelum menumbuk sudu-sudu turbin, uap dikumpulkan dalam lemari uap dan dialirkan melalui nosel. Setelah uap menumbuk sudu-sudu turbin akan menyebabkan berputarnya poros turbin.

3. *Generator*

Merupakan alat yang digunakan untuk mengubah energi gerak dari poros turbin yang dikopel dengan poros generator sehingga menjadi energi listrik.

4. Kondensor

Merupakan alat yang digunakan untuk mengubah uap yang sudah mengalami penurunan kualitas baik dari segi temperatur maupun tekanan akibat ekspansi pada turbin sehingga menjadi air melalui proses kondensasi dengan memanfaatkan air laut sebagai pendingin atau air sungai dengan siklus tertutup menggunakan *Cooling Tower*.

5. Pompa Kondensat

Merupakan pompa yang digunakan untuk mengalirkan air kondensat hasil kondensasi pada kondenser ke pemanasan air awal sebelum masuk ke *Boiler*.

6. *Deaerator*

Merupakan suatu ruangan bertekanan di mana air umpan dan uap hasil ekstraksi dari Turbin IP (*Intermediate Pressure*) dicampur dengan kecepatan yang terkontrol, berfungsi untuk mengambil gas-gas yang tidak bisa diembunkan dan memanaskan air umpan. Jika pengontrolan sesuai, maka temperatur air umpan akan naik, dan semua gas-gas yang tidak bisa diembunkan yang larut dalam air akan terpisah dengan air karena proses pemanasan. Gas tersebut kemudian dibuang dan air yang keluar dari *Deaerator* bebas dari pengaruh korosi Oksigen serta Karbondioksida.

7. Pemanas Air Umpan (*Heater*)

Alat yang berfungsi untuk memanaskan air umpan *Boiler* dengan memanfaatkan uap ekstraksi dari turbin. Tujuan pemanasan ini agar temperatur air pengisi *Boiler* mendekati temperatur di dalam *Boiler*. Pemanasan dilakukan secara bertingkat, dengan tekanan uap ekstraksi yang juga bertingkat tergantung pada pengambilan uap dari turbin tingkat tertentu.

8. Pompa Air Umpan

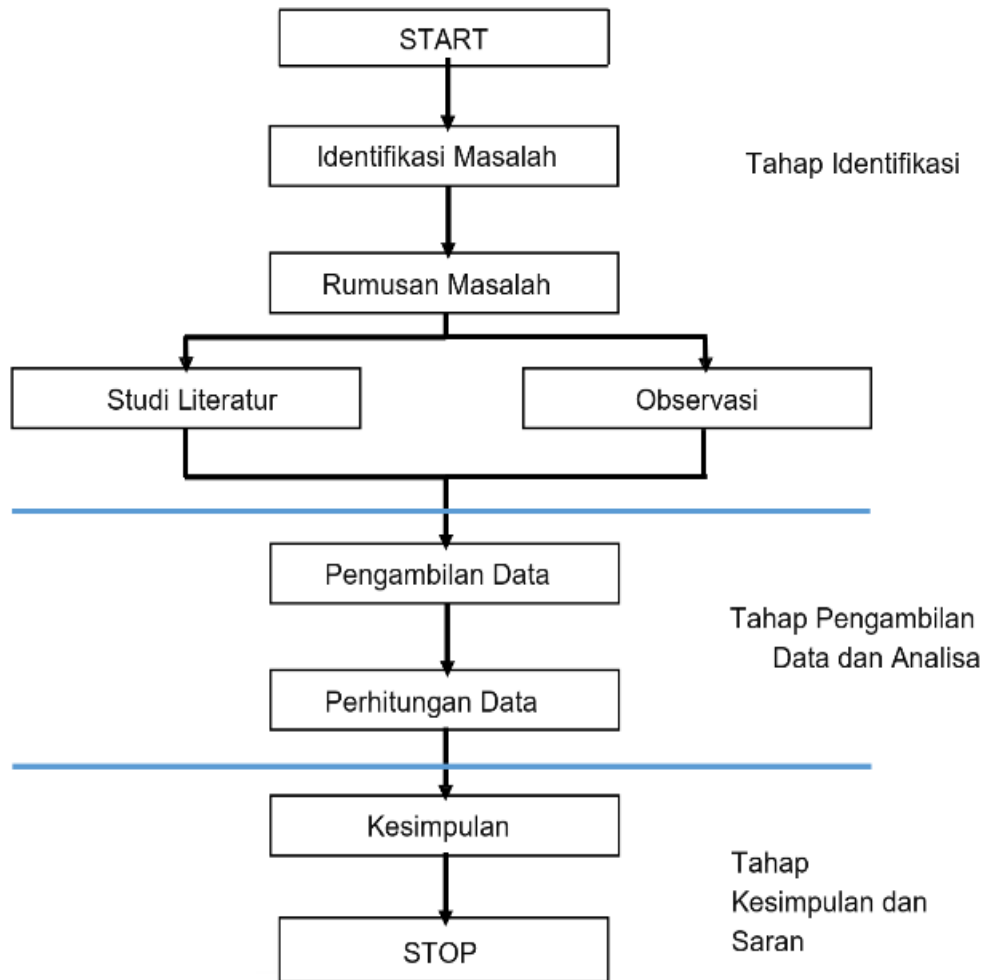
Merupakan pompa yang digunakan untuk mengalirkan air umpan setelah mengalami pemanasan air secara bertingkat sebelum masuk ke *Boiler*.

## METODE PENELITIAN

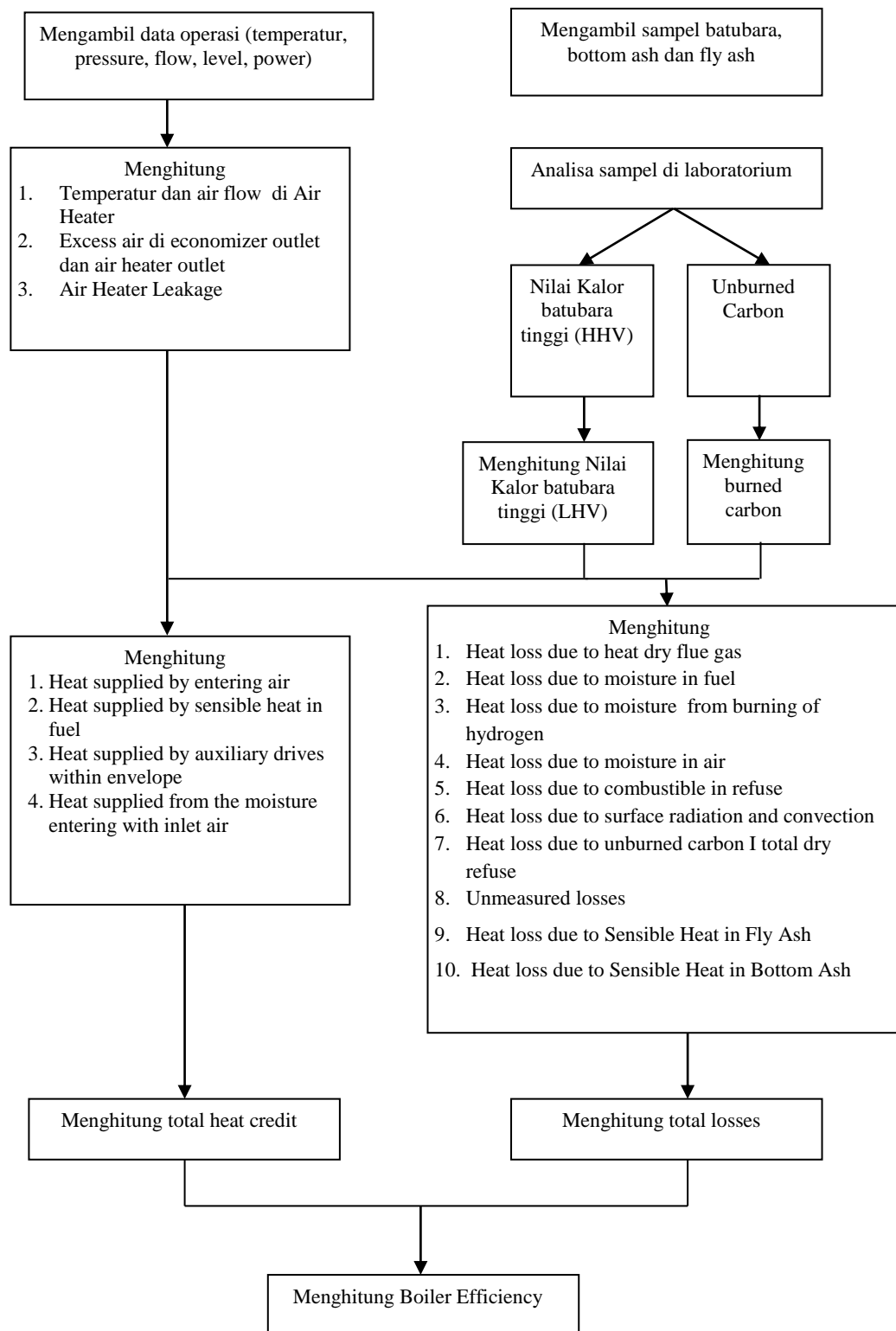
Referensi Standar *Boiler Performance* yang biasa digunakan dalam perhitungan *Boiler performance* adalah menggunakan **ASME Standard: PTC 4 - 2008 Power Test Code for Steam Generating Units**, ASME Standard PTC 4 – 2008 merupakan standar untuk melakukan *performance test Boiler (Fuel Fired Steam Generator)*.

Pengambilan data penelitian ini dilakukan di PT PLN (PERSERO) Sektor Pembangkitan Asam Asam Unit 2. Studi pustaka dilakukan di PLTU Asam Asam, *manual book* terkait, data *History* pada saat *Commissioning*, data yang ada pada *Main Control Room (MCR)* atau data DCS, Pengambilan sampel batubara pada *inlet coal feeder*, Pengambilan sampel *fly ash* pada *ESP Hopper*, Pengambilan sampel *bottom ash* pada SSC, Pengambilan data *counter coal feeder*, Pengambilan data *flue gas*, *reference air*, elektrik, serta silabus yang berkaitan dengan Efisiensi *Boiler*. Data yang digunakan sebagai bahan penelitian merupakan parameter pada *Boiler* yang diambil pada periode dari awal operasi Tahun 2000 sampai dengan

kondisi aktual saat ini. Sampel data tersebut digunakan untuk mengetahui efisiensi atau Kinerja *Boiler Unit 2*.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Diagram Alir Proses Perhitungan Efisiensi Boiler

**Spesifikasi Boiler PLTU Asam Asam Unit 1 dan 2**

Boiler PLTU Asam Asam Unit 1 dan 2 dengan spesifikasi sebagai berikut

- Pabrik Pembuat : Mitsui Relay
- Tahun Pembuatan : 1999
- Tipe : Single Drum
- Sirkulasi : Natural
- Tekanan Ruang bakar : 108 barG
- Kapasitas Uap : 278 ton/jam (MCR)
- Temperatur Uap : 513 °C
- Heating Surface : 4356 m<sup>2</sup>
- Bahan bakar utama : Batu bara (*lignite*)
- Bahan bakar bantu : HSD (solar)

**Metode Heat Loss**

Pada metode ini, nilai efisiensi Boiler dihitung dengan mengukur jumlah potensial kalor bahan bakar (HHV) dan menguranginya dengan losses yang terdapat pada Boiler.

$$\eta_{Bf} = 100 - \left( \frac{QpLDFg + QpLWF + QpLH2F + QpLWA}{\frac{HHV}{QpLUbC + QpLRsb + QpLRse + QpLCO}} \right) + QpLsrc + QpLUn + \left( \frac{C_B}{HHV} \right) \quad (1)$$

- $\eta_{Bf}$  : Boiler Fuel Efficiency (%)
- $QpLDFg$  : Heat Loss dari Panas Dry Gas (kJ/kg-fuel)
- $QpLWF$  : Heat Loss dari Moisture dalam bahan bakar (kJ/kg-fuel)
- $QpLH2F$  : Heat Loss dari Moisture akibat reaksi hidrogen dalam bahan bakar (kJ/kg-fuel)
- $QpLWA$  : Heat Loss dari Panas Dry Gas (kJ/kg-fuel)
- $QpLUbC$  : Heat Loss dari Karbon Tidak Terbakar dalam bahan bakar (kJ/kg-fuel)
- $QpLsrc$  : Heat Loss dari Radiasi dan Konveksi Permukaan (%)
- $QpLUn$  : Heat Loss dari Unmeasured Losses (%)
- $QpLRsb$  : Heat Loss dari Panas Sensibel pada Bottom Ash (kJ/kg-fuel)
- $QpLRse$  : Heat Loss dari Panas Sensibel pada Fly Ash (kJ/kg-fuel)
- $QpLCO$  : Heat Loss dari Terbentuknya Karbon Monoksida (kJ/kg-fuel)
- $C_B$  : Boiler Credits (%)
- $HHV$  : Higher Heating Value (As Received) (kJ/kg)

dimana,  $C_B = QpBDA + QpBWA + QpBF$  (2)

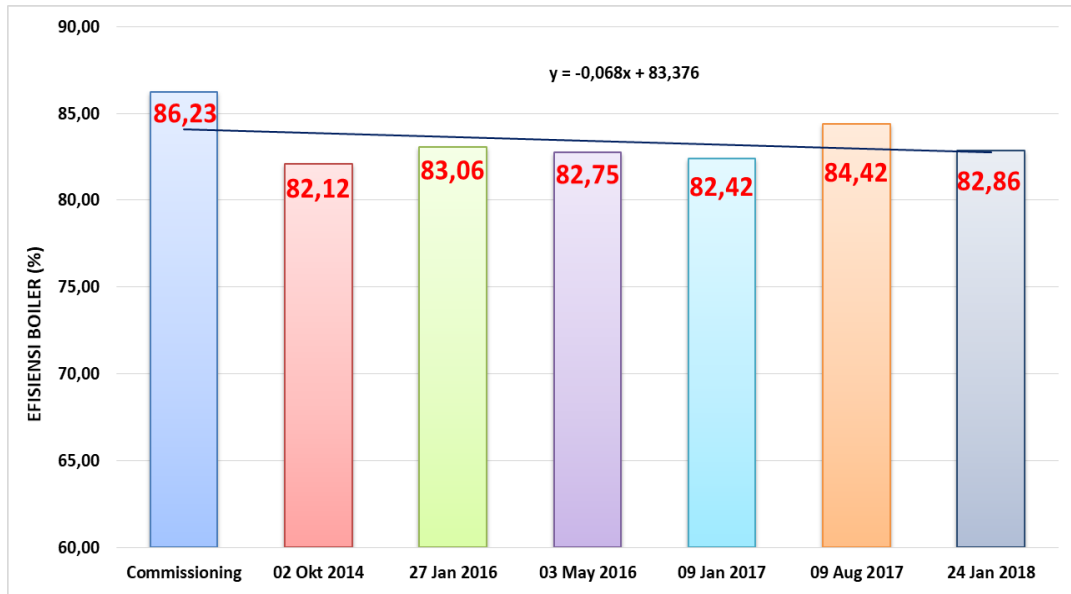
- $C_B$  : Boiler Credits (%)
- $QpBDA$  : Heat Credit dari Panas Udara Masuk (kJ/kg-fuel)

- QpBWA : Heat Credit dari Panas Moisture Udara Masuk (kJ/kg-fuel)  
 QpBF : Heat Credit dari Panas Sensibel dalam bahan bakar (kJ/kg-fuel)

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Analisis Boiler Fuel Efficiency (HHV Basis)**

Analisis Boiler Fuel Efficiency (HHV Basis) dilakukan dengan membandingkan data hasil perhitungan hasil performance test Boiler pada saat Commissioning dan data history yang telah dilaksanakannya performance test Boiler. Berikut data tabel dan grafik Efisiensi Boiler, Losses Boiler mulai dari Commissioning sampai data terakhir diambil.



Gambar 4. Efisiensi Boiler Unit 2 HHV Basis

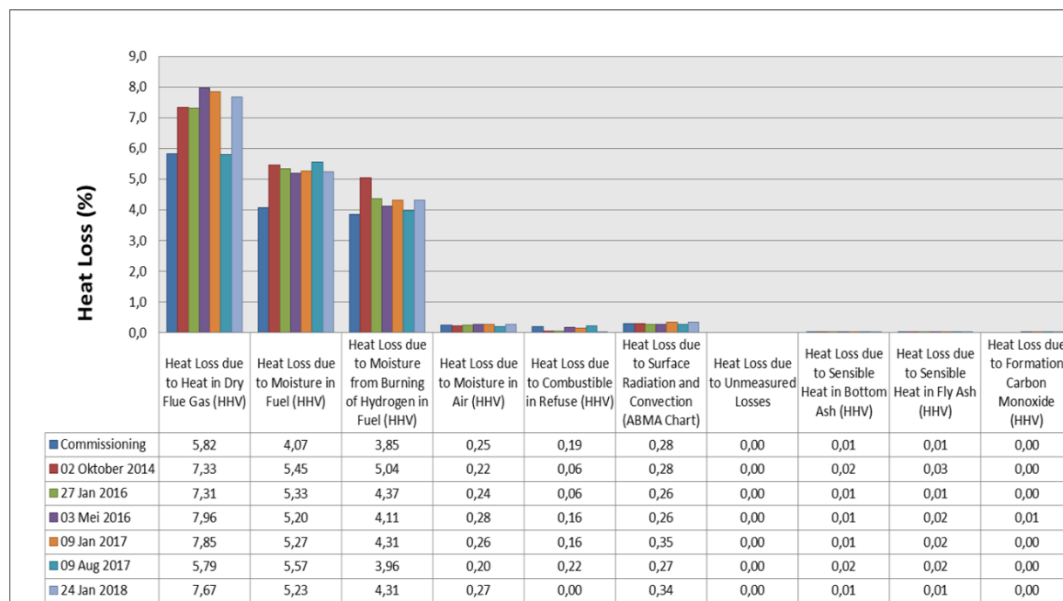
Tabel 1. Efisiensi, heat loss, dan heat credits pada boiler unit 2

Efisiensi dan Losses pada Boiler										
No.	Item	Symbol	Unit	Commissioning	02 Okt 2014	27 Jan 2016	03 May 2016	09 Jan 2017	09 Aug 2017	24 Jan 2018
1	Efisiensi Boiler (HHV Basis)	$\eta_{Bf} (HHV)$	%	86,23	82,12	83,06	82,75	82,42	84,42	82,86
2	Heat Loss due to Heat in Dry Flue Gas (HHV)	$Q_{pLDFg}$	%	5,82	7,33	7,31	7,96	7,85	5,79	7,67
3	Heat Loss due to Moisture in Fuel (HHV)	$Q_{pLWF}$	%	4,07	5,45	5,33	5,20	5,27	5,57	5,23
4	Heat Loss due to Moisture from Burning of Hydrogen in Fuel (HHV)	$Q_{pLH2F}$	%	3,85	5,04	4,37	4,11	4,31	3,96	4,31
5	Heat Loss due to Moisture in Air (HHV)	$Q_{pLWA}$	%	0,25	0,22	0,24	0,28	0,26	0,20	0,27
6	Heat Loss due to Combustible in Refuse (HHV)	$Q_{pLUBc}$	%	0,19	0,06	0,06	0,16	0,16	0,22	0,00
7	Heat Loss due to Surface Radiation and Convection (ABMA Chart)	$Q_{pLSrc}$	%	0,28	0,28	0,26	0,26	0,35	0,27	0,34
8	Heat Loss due to Unmeasured Losses	$Q_{pLUu}$	%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	Heat Loss due to Sensible Heat in Bottom Ash (HHV)	$Q_{pLRSb}$	%	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
10	Heat Loss due to Sensible Heat in Fly Ash (HHV)	$Q_{pLRse}$	%	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01
11	Heat Loss due to Formation Carbon Monoxide (HHV)	$Q_{pLCO}$	%	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
12	Total Losses (HHV)	LB	%	14,47	18,43	17,59	18,01	18,23	16,04	17,84
13	Heat Credits from Entering Air (HHV)	$Q_{pBDA}$	%	0,59	0,46	0,54	0,56	0,54	0,38	0,57
14	Heat Credits from Moisture Entering with Inlet Air (HHV)	$Q_{pBWA}$	%	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
15	Heat Credits from Sensible Heat in Fuel (HHV)	$Q_{pBF}$	%	0,09	0,08	0,09	0,18	0,09	0,07	0,10
16	Total Credits (HHV)	CB	%	0,71	0,55	0,65	0,76	0,65	0,46	0,70



Dari Gambar 4 dan Tabel 1 dapat dilihat *losses* yang paling mempengaruhi efisiensi *Boiler Unit 2* adalah *Heat Loss due to Heat in Dry Flue Gas*, *Heat Loss due to Moisture in Fuel* dan *Heat Loss due to Moisture from Burning of Hydrogen in Fuel*.

Nilai *Heat Loss Boiler* PLTU Asam asam unit 2 pada saat komisioning dan dibandingkan dengan data tahun 2014 – 2017, rata rata untuk *Heat in Dry Flue Gas* mengalami kenaikan sebesar 1,50 %. Penurunan Efisiensi *Boiler* yang diakibatkan oleh kehilangan panas dengan kerugian panas terbesar terjadi pada gas buang. Semakin tinggi temperatur gas buang berarti semakin tinggi panas yang dikeluarkan dari *Boiler*. Hal ini berarti terjadi pemborosan panas yang berdampak pada penurunan efisiensi dari *Boiler* tersebut.



Gambar 5. *Heat Loss* pada *Boiler Unit 2* PLTU Asam asam

Penyebab naiknya temperatur gas buang *Boiler* diantaranya kurangnya permukaan perpindahan panas dan fouling yang terjadi pada tubing-tubing perpindahan panas. Yang disebabkan oleh kerak, baik yang berasal dari bahan bakar maupun feed water. Naiknya temperatur gas buang juga disebabkan karena turunnya performa air heater.

Dari Gambar 5 untuk *Heat Loss due to Moisture in Fuel* mengalami kenaikan rata rata sebesar 1,27 %, sedangkan untuk *Heat Loss due to Moisture from Burning of Hydrogen in Fuel* mengalami kenaikan rata rata sebesar 0,50 %. Kandungan karbon, *hidrogen*, *nitrogen*, *oksigen*, *sulphur*, *moisture*, *ashcontent* dalam bahan bakar residu juga berpengaruh terhadap hasil dari proses pembakaran.

**Analisis Efisiensi Boiler dengan faktor yang mempengaruhi**

Berdasarkan data hasil perhitungan dan pengamatan, dapat dibuat grafik dan tabel Efisiensi *Boiler* dan faktor yang mempengaruhinya setiap dilakukannya *Performance Test Boiler* adalah sebagai berikut. Data akan disusun berdasarkan *Main Steam Flow* paling rendah sampai *Main Steam Flow* paling tinggi.

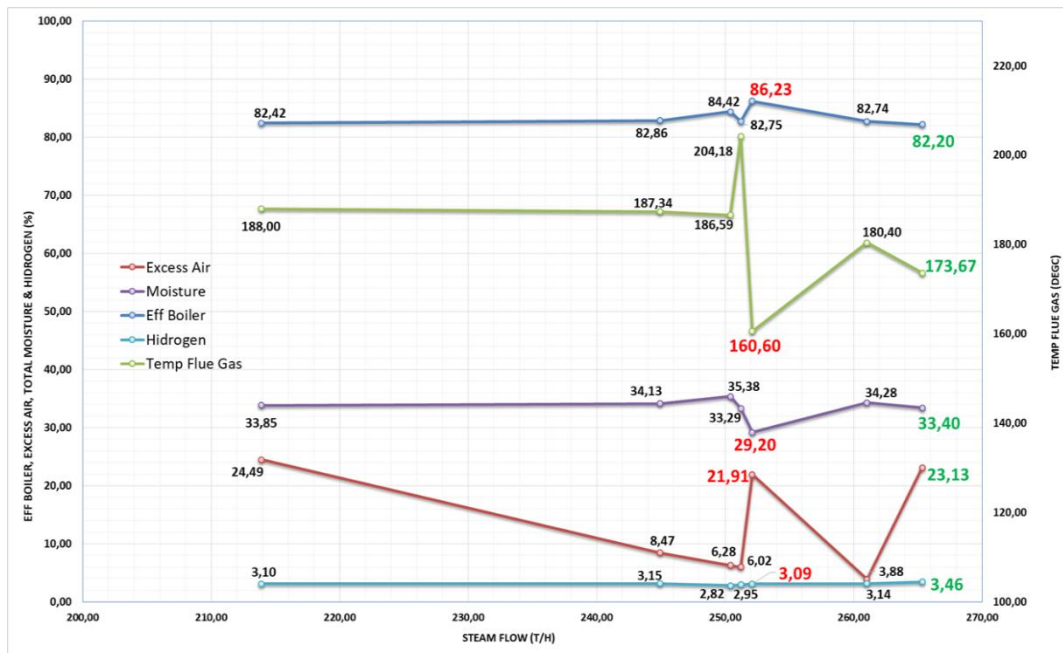
Bisa dilihat pada Tabel 1, Efisiensi *Boiler* terdapat dua versi yaitu HHV *Base* dan LHV *Base*, hal ini berdasarkan pengukuran Nilai Kalor berdasarkan Nilai Kalor atas atau *Highest Heating Value* (HHV) dan Nilai Kalor Bawah (LHV) atau *Lowest Heating Value* (LHV). Perbedaan antara HHV dan LHV yaitu HHV adalah suatu nilai kalor yang diperoleh dari pembakaran 1 kg bahan bakar dengan memperhitungkan panas kondensasi uap (air yang dihasilkan dari pembakaran berada dalam wujud cair), sedangkan LHV tidak memperhitungkan panas tersebut.

Dari Gambar 4 dan Tabel 1 didapat Efisiensi *Boiler* berbasis HHV tertinggi pada saat *Commissioning* dengan nilai 86,23 % dan Excess Air 21,91 %. Hasil tersebut didapat dengan pengaturan udara yang tepat dan Kualitas batubara yang baik dengan nilai *Total Moisture* sebesar 29,2 %.

Tabel 2. *Boiler efficiency* aktual dan faktor yang mempengaruhi

No.	Item	Symbol	Unit	09-Jan-17	24-Jan-18	09-Aug-17	03-Mei-16	36850	27-Jan-16	29-Okt-14
1	Main Steam Flow	mms	T/h	213,90	244,93	250,42	251,23	252,11	261,03	265,36
2	Boiler Efficiency HHV Base	$\eta_{Bf}$ (HHV)	%	82,42	82,86	84,42	82,75	86,23	82,74	82,20
3	Boiler Efficiency LHV Base	$\eta_{Bf}$ (LHV)	%	89,79	90,45	92,15	89,85	92,89	90,38	90,41
4	Temp Flue Gas	TFgLv	degC	188,00	187,34	186,59	204,18	160,60	180,40	173,67
5	Excess Air	Xpa	T/h	24,49	8,47	6,28	6,02	21,91	3,88	23,13
6	Total Moisture	MpWf	%	33,85	34,13	35,38	33,29	29,20	34,28	33,40
7	Hidrogen	MpH2f	%	3,1	3,15	2,82	2,95	3,09	3,14	3,46

Dan Efisiensi tertinggi kedua yaitu pada *Performance Test Boiler* tanggal 9 Agustus 2017 sebesar 84,42 % mengalami penurunan sebesar 1,81 %. Sedangkan Efisiensi *Boiler* yang terendah yaitu pada *Performance Test Boiler* Unit 2 tanggal 02 Oktober 2014 didapat Efisiensi *Boiler* berbasis HHV unit 2 sebesar 82,2 % yang mengalami penurunan sebesar 4,03 % bila dibandingkan dengan saat *Commissioning*.



Gambar 6. Grafik *Boiler Efficiency HHV Base* Dan Faktor Yang Mempengaruhi VS Main Steam Flow

### Analisis Prediksi Perubahan Pada Parameter Operasi Yang Berpengaruh Terhadap Efisiensi Boiler

Analisis berikut merupakan prediksi seberapa besar perubahan parameter yang berpengaruh terhadap Efisiensi *Boiler*, misalkan perubahan temperatur *flue gas* sebesar 10°C akan menaikkan atau menurunkan efisiensi *Boiler* berapa persen.

Atau misalkan perubahan O<sub>2</sub> sebesar 1 % akan menaikkan atau menurunkan Efisiensi *Boiler* berapa persen dan juga seperti seperti Kandungan Kualitas Batubara seperti *Moisture* dan *Hidrogen*.

Data yang digunakan dalam simulasi perhitungan adalah data *Performance Test Boiler* terakhir yaitu pada tanggal 24 Januari 2018, agar dapat merepresentasikan kondisi aktual *Boiler* terakhir. Pada *Performance Test Boiler* tersebut data Temperatur *Flue Gas* yang didapat adalah sebesar 197,34°C dan O<sub>2</sub> sebesar 3,99 % , kemudian dilakukan simulasi perhitungan dengan perubahan tiap 10°C dengan range -40°C>197,34°C>40°C dan untuk data O<sub>2</sub> dilakukan simulasi perhitungan dengan perubahan tiap 0,5 % dengan range 0,49%>3,99%>7,49%. Setelah dilakukan perhitungan maka untuk perhitungan Q<sub>pLDFg</sub> (*Heat Loss* karena gas buang) didapatkan data seperti dalam Tabel 3.

Tabel 3. Perubahan *flue gas* dan O<sub>2</sub> terhadap *losses dry flue gas*

	QpLDFg	Tflue Gas (degC)								
		157,34	167,34	177,34	187,34	197,34	207,34	217,34	227,34	237,34
O2 (%)	0,49	4,60	4,96	5,31	5,67	6,03	6,38	6,74	7,10	7,46
	0,99	4,71	5,07	5,44	5,80	6,17	6,53	6,90	7,27	7,64
	1,49	4,82	5,19	5,57	5,94	6,31	6,69	7,06	7,44	7,82
	1,99	4,94	5,32	5,70	6,08	6,47	6,85	7,24	7,62	8,01
	2,49	5,07	5,46	5,85	6,24	6,63	7,02	7,42	7,82	8,21
	2,99	5,20	5,60	6,00	6,40	6,80	7,21	7,61	8,02	8,43
	3,49	5,34	5,75	6,16	6,57	6,99	7,40	7,82	8,23	8,65
	3,99	5,48	5,91	6,33	6,75	7,18	7,60	8,03	8,46	8,89
	4,49	5,64	6,08	6,51	6,95	7,38	7,82	8,26	8,70	9,14
	4,99	5,81	6,25	6,70	7,15	7,60	8,05	8,51	8,96	9,41
	5,49	5,99	6,45	6,91	7,37	7,83	8,30	8,76	9,23	9,70
	5,99	6,17	6,65	7,13	7,60	8,08	8,56	9,04	9,52	10,01
	6,49	6,38	6,87	7,36	7,85	8,34	8,84	9,34	9,83	10,33
	6,99	6,59	7,10	7,61	8,12	8,63	9,14	9,65	10,17	10,69
	7,49	6,83	7,35	7,88	8,40	8,93	9,46	9,99	10,53	11,06

Dari Tabel 3 diketahui setiap perubahan temperatur *flue gas* sebesar 10 °C berdampak pada perubahan Efisiensi *Boiler* sebesar 0,432 % dan perubahan O<sub>2</sub> sebesar 0,5 % berdampak pada perubahan Efisiensi *Boiler* sebesar 0,415 %.

Kemudian untuk parameter Kandungan *Total Moisture* pada Batubara yang didapat adalah sebesar 35,13% , kemudian dilakukan simulasi perhitungan dengan perubahan tiap 1% dengan range 31,13% >35,13%>39,13%. Setelah dilakukan perhitungan maka untuk perhitungan QpLWF (*Heat Loss* karena kandungan air pada bahan bakar) didapatkan data seperti dalam Tabel 4.

Tabel 4. Perubahan *total moisture* dan O<sub>2</sub> terhadap *losses moisture in fuel*

	QpLWF	Total Moisture (%)								
		31,13	32,13	33,13	34,13	35,13	36,13	37,13	38,13	39,13
O2 (%)	0,49	4,50	4,71	4,93	5,15	5,39	5,63	5,87	6,13	6,39
	0,99	4,50	4,71	4,93	5,15	5,39	5,63	5,87	6,13	6,39
	1,49	4,50	4,71	4,93	5,15	5,39	5,63	5,87	6,13	6,39
	1,99	4,50	4,71	4,93	5,15	5,39	5,63	5,87	6,13	6,39
	2,49	4,50	4,71	4,93	5,15	5,39	5,63	5,87	6,13	6,39
	2,99	4,50	4,71	4,93	5,15	5,39	5,63	5,87	6,13	6,39
	3,49	4,50	4,71	4,93	5,15	5,39	5,63	5,87	6,13	6,39
	3,99	4,50	4,71	4,93	5,15	5,39	5,63	5,87	6,13	6,39
	4,49	4,50	4,71	4,93	5,15	5,39	5,63	5,87	6,13	6,39
	4,99	4,50	4,71	4,93	5,15	5,39	5,63	5,87	6,13	6,39
	5,49	4,50	4,71	4,93	5,15	5,39	5,63	5,87	6,13	6,39
	5,99	4,50	4,71	4,93	5,15	5,39	5,63	5,87	6,13	6,39
	6,49	4,50	4,71	4,93	5,15	5,39	5,63	5,87	6,13	6,39
	6,99	4,50	4,71	4,93	5,15	5,39	5,63	5,87	6,13	6,39
	7,49	4,50	4,71	4,93	5,15	5,39	5,63	5,87	6,13	6,39

Dari Tabel 4 diketahui setiap perubahan *Total Moisture* sebesar 1% berdampak pada perubahan Efisiensi *Boiler* sebesar 0,237 % dan perubahan O<sub>2</sub> sebesar 0,5 % tidak berdampak pada perubahan Efisiensi *Boiler* untuk perhitungan *Losses* kandungan air pada bahan bakar.

Selanjutnya untuk parameter Kandungan *Hidrogen* pada Batubara yang didapat adalah sebesar 3,65 % , kemudian dilakukan simulasi perhitungan dengan perubahan tiap 0,5 % dengan range 1,65% >3,65%>5,65%. Setelah dilakukan perhitungan maka untuk perhitungan QpLH2F (*Heat Loss* karena kandungan *Hidrogen* pada bahan bakar) didapatkan data seperti dalam Tabel 5.

Tabel 5. Perubahan *hidrogen* dan O<sub>2</sub> terhadap *losses hidrogen in fuel*

	QpLH2F	MpH2F (%)									
		1,65	2,15	2,65	3,15	3,65	4,15	4,65	5,15	5,65	
O <sub>2</sub> (%)	0,49	2,24	2,92	3,59	4,25	4,91	5,57	6,22	6,88	7,52	
	0,99	2,24	2,92	3,59	4,25	4,91	5,57	6,22	6,88	7,52	
	1,49	2,24	2,92	3,59	4,25	4,91	5,57	6,22	6,88	7,52	
	1,99	2,24	2,92	3,59	4,25	4,91	5,57	6,22	6,88	7,52	
	2,49	2,24	2,92	3,59	4,25	4,91	5,57	6,22	6,88	7,52	
	2,99	2,24	2,92	3,59	4,25	4,91	5,57	6,22	6,88	7,52	
	3,49	2,24	2,92	3,59	4,25	4,91	5,57	6,22	6,88	7,52	
	3,99	2,24	2,92	3,59	4,25	4,91	5,57	6,22	6,88	7,52	
	4,49	2,24	2,92	3,59	4,25	4,91	5,57	6,22	6,88	7,52	
	4,99	2,24	2,92	3,59	4,25	4,91	5,57	6,22	6,88	7,52	
	5,49	2,24	2,92	3,59	4,25	4,91	5,57	6,22	6,88	7,52	
	5,99	2,24	2,92	3,59	4,25	4,91	5,57	6,22	6,88	7,52	
	6,49	2,24	2,92	3,59	4,25	4,91	5,57	6,22	6,88	7,52	
	6,99	2,24	2,92	3,59	4,25	4,91	5,57	6,22	6,88	7,52	
7,49	2,24	2,92	3,59	4,25	4,91	5,57	6,22	6,88	7,52		

Dari Tabel 5 diketahui setiap perubahan Hidrogen sebesar 0,5% berdampak pada perubahan Efisiensi *Boiler* sebesar 0,66% dan perubahan O<sub>2</sub> tidak berdampak pada perubahan Efisiensi *Boiler* untuk perhitungan *Losses* kandungan *Hidrogen* pada bahan bakar.

## KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan nilai Efisiensi *Boiler* basis HHV tertinggi pada PLTU Asam asam Unit 2 yaitu pada saat *Commissioning* sebesar 86,23 %, dan nilai Efisiensi *Boiler* basis HHV tertinggi kedua yaitu pada tanggal 09 Agustus 2017 sebesar 84,42 %. Sedangkan Efisiensi *Boiler* basis HHV terendah yaitu pada tanggal 02 Oktober 2014 sebesar 82,12 %. Beberapa faktor penyebab turunnya Efisiensi *Boiler* adalah sebagai berikut:

- Kenaikan Temperatur Gas Buang sekitar 20°C - 60°C bila dibandingkan dengan data *Commissioning* yaitu sebesar 160,6 °C.
- Peningkatan *Moisture* pada batubara sekitar 4% - 6% bila dibandingkan dengan data *Commissioning* yaitu sebesar 29,2%.
- Peningkatan kadar *Hidrogen* pada batubara sekitar 0,37 % bila dibandingkan dengan data *Commissioning* sebesar 3,09 %. Walaupun ada juga terjadi penurunan Kadar Hidrogen pada Batubara.
- Air Preheater Leakage*, Pada saat *Commissioning* sebesar 0,84 % dan pada saat pengujian selanjutnya terjadi kenaikan sebesar 2% - 5,79%.
- Heat loss* yang paling mempengaruhi Efisiensi *Boiler* Unit 2 adalah *Heat Loss due to Heat in Dry Flue Gas* (5,79% - 7,96%), *Heat Loss due to Moisture in Fuel* (4,07% - 5,57%) dan *Heat Loss due to Moisture from Burning of Hydrogen in Fuel* (3,85% - 5,04%).
- Setiap perubahan Temperatur *flue gas* sebesar ± 10 °C berdampak pada perubahan Efisiensi *Boiler* sebesar ± 0,432 % dan perubahan O<sub>2</sub> sebesar ± 0,5% berdampak pada perubahan Efisiensi *Boiler* sebesar ± 0,415 %.
- Setiap perubahan *Total Moisture* pada batubara sebesar ± 1% berdampak pada perubahan Efisiensi *Boiler* sebesar ± 0,237 % dan setiap perubahan Hidrogen pada batubara sebesar ± ± 0,5% berdampak pada perubahan Efisiensi *Boiler* sebesar ± 0,66%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asmudi, 2009. Analisa Teknis Evaluasi Kinerja Boiler Terhadap Penurunan Daya Pada PLTU PT.Indonesia Power UBP Perak, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hendri dkk, 2017. Analisa Efisiensi Boiler dengan Metode Heat Loss Sebelum dan Sesudah Overhaul PT. Indonesia Power UBP PLTU Lontar, Jakarta: STT PLN.
- Is Dewata, Putra, 2011. Analisa Teknis Evaluasi Kinerja Boiler Type IHI FW SR Single Drum Akibat Kehilangan Panas PLTU PT.PJB Unit Pembangkit Gresik, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember .
- Roswati dan Orlando, 2015. Perbandingan Efisiensi Boiler Awal Operasi dan Setelah Overhaul Terakhir di Unit 5 PLTU Suralaya, Jakarta: STT PLN.
- Mitsui & CO., LTD – Mitsui Engineering & Shipbuilding CO., LTD, Steam Generator and Auxiliaries, Volume 3 & 9 of 27.
- PLN Pusdiklat, Modul Diklat Pengoperasian PLTU
- PT PLN LMK, 2001. Supervisi dan Evaluasi Performance Test PLTU Banjarmasin (2x65 MW) Unit 1, Unit 2 dan Common Plant Tahap 5 (Lima), Asam Asam.
- PT PLN Puslitbang, 2014. Laporan Performance Test Unit 2 dan Unit 3 PLTU Asam Asam
- The American Society of Mechanical Engineers, 2008. ASME PTC 4-2008 Fired Steam Generators Performance Test Codes, An American National Standard
- The American Society of Mechanical Engineers, 2010. ASME PTC PM-2010 Performance Monitoring Guidelines for Power Plants, An American National Standard
- <http://www.energyefficiencyasia.org/energyequipment/typesofboiler.html>
- [www.kitadanenergi.blogspot.com](http://www.kitadanenergi.blogspot.com)
- <https://physics.stackexchange.com>