

ANALISA FAKTOR-FAKTOR PENYEBAB PERUBAHAN EFISIENSI BOILER JENIS PULVERIZED COAL FIRED FORCED CIRCULATION SUB-CRITICAL PRESSURE MENGGUNAKAN METODE TAK LANGSUNG

Muhammad Sagaf¹, Saharul Alim²

Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Nahdlatul Ulama^{1,2)}

Jalan Taman Siswa (Pekeng) Tahunan Jepara

E-mail : sagaf_mnwr@yahoo.com¹⁾

ABSTRACT

The Boiler is one of the equipment in the steam power plant which the reliability will be decreased by annually. Boiler degradation can be observed by the decreasing value of boiler efficiency every year. This study aims to analyze the main factors that cause changes in boiler efficiency. PLTU Tanjung Jati B Unit 3 and 4 using pulverized coal-fired boilers with forced circulation and sub-critical pressure type, the steam capacity is 2x2280 tons/hour to generate the electrical energy of 2x660 MW.

Boiler Efficiency is calculated by an indirect method with uncertainty rate (0.4% -0.8%) in every boiler heat loss. The highest efficiency of boiler Unit 3 was achieved during Commercial Operation Date (COD) in 2011 with 89.71%, while Unit 4 was achieved on the 2nd performance test in 2013 with 89.61%. The lowest boiler efficiency value for Unit 3 was on the 9th performance test in 2016 with 88.36% and Unit 4 was on the 9th performance test in 2016 with 87.48%.

The degradation of Unit 3 boiler efficiency during 6 years is 1.35% or 0.225% per year, and the degradation of Unit 4 boiler efficiency during 6 years is 2.13% or 0.355% per year. The major of boiler heat loss is from exhaust gas (L1), the moisture content of burning hydrogen in fuel (L3) and heat loss due to the moisture in the fuel (L2). The main factors losses in the boiler are caused by ash deposits in the economizer area, it makes inhibition of heat transfer from (flue gas) to economizer tube, the others are from the use of three types of coal which have different characteristics.

Keywords : Boiler, Efficiency, Heat Losses.

1. PENDAHULUAN

Sejalan dengan peningkatan kebutuhan listrik maka kebutuhan terhadap sumber daya yang akan dikonversi menjadi energy listrik meningkat pula. Oleh karena itu diperlukan pengelolaan sumber daya tersebut secara baik dan efisien. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan mengendalikan nilai efisiensi pembangkit listrik sebesar mungkin. Batu bara merupakan salah satu sumber daya yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Batu bara merupakan bahan bakar pada Boiler yang digunakan untuk memanaskan air dan merubahnya menjadi uap yang akan digunakan untuk menggerakkan turbin uap dan memutarakan generator untuk menghasilkan energy listrik.

Boiler merupakan salah satu peralatan pada PLTU yang tentunya tiap tahun akan mengalami penurunan kehandalannya. Dan hal ini dapat diamati dari penurunan nilai efisiensi boiler tiap tahunnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa factor - faktor utama yang menyebabkan perubahan efisiensi boiler.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Steam generator adalah integrasi kompleks dari furnace, superheater, reheater, boiler atau evaporator, economiser, dan air preheater bersama dengan berbagai alat bantu seperti pulverizer, burner, fans, stokers, dust collector dan precipitators, peralatan penanganan abu, dan cerobong (chimney). Boiler adalah bagian dari steam generator dimana perubahan fase (atau

mendidih) terjadi dari cairan (air) menjadi uap (uap), pada dasarnya pada tekanan dan temperatur yang konstan (PK Nag, 2008).

Parameter penting dari performa boiler adalah efisiensi, temperatur gas buang, dan temperatur air setelah *economizer* dimana nilainya akan bervariasi terhadap beban kerja boiler (V Ganapathy, 2015).

Beberapa peneliti telah banyak melakukan *research* tentang *performance* dari boiler seperti (Asmudi, 2010) yang telah menganalisis unjuk kerja boiler pada PLTU PT. Indonesia Power UBP Perak yang beroperasi sejak 1978. Boiler tersebut tergolong tua sehingga banyak mengalami penurunan unjuk kerja. Penurunan ini diakibatkan adanya pengotor pada bahan bakar dan air umpan dengan indikasi naiknya gas buang dari 11,25% menjadi 14,85%.

(Heni Hendaryati, 2012) menganalisa efisiensi thermal pada ketel uap dipabrik gula Kebon Agung Malang. Didapatkan hasil efisiensi termal rata - rata dari Ketel uap Yoshimine H-2700 adalah 74,8 % dan Ketel Uap Yoshimine H-3500 adalah 73,99%. Nilai efisiensi ini lebih rendah dari nilai efisiensi idealnya sebesar 80%.

(Deni Surendra, 2013) melakukan analisa perubahan efisiensi boiler pembangkit listrik tenaga uap tanjung jati b unit 1 dan 2, 2x660 megawatt melaporkan bahwa dari hasil penelitiannya efisiensi boiler PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 tertinggi sebesar 89,60% pada unit 1 dan pada unit 2 sebesar 89,62%, dimana keduanya pada saat COD. Efisiensi boiler yang terendah untuk unit 1 sebesar 89,03% pada tahun 2010 (2nd) dan unit 2 sebesar 89,21% pada tahun 2011(1st).

(Sahid, 2016) melakukan penelitian tentang *heat rate* pembangkit listrik tenaga uap paiton baru (unit 9) berdasarkan *performance test* tiap bulan dengan beban 100%, dari hasil penelitiannya dapat disimpulkan sebagai berikut, efisiensi boiler tertinggi terjadi pada 26 November 2014 dengan efisiensi sebesar 85,689%. Sedangkan efisiensi boiler terendah yaitu sebesar 83,280% terjadi pada 12 Maret 2015.

Heat rate terendah (terbaik) yaitu 2.500,811 kcal/kWh terjadi pada tanggal 13 Januari 2015. Sedangkan *heat rate* tertinggi terjadi pada tanggal 11 Desember 2014 yaitu sebesar 2.658,098 kcal/kWh.

(Fahrizal, 2014) melakukan penelitian untuk menghitung *availability* pada kinerja boiler yang dioperasikan agar dapat mengurangi komponen fisik tidak rusak selama operasi normal dan kasus kegiatan perawatan tak terencana. Hal ini sangat penting dalam rangka mencapai lebih efisien dan ekonomis pabrik dan operasi peralatan.

(J Suresh Babu, 2015) meneliti tentang penambahan peralatan pembantu pada boiler (*boiler accessories*) terhadap peningkatan efisiensi boiler. Hasilnya adalah pemasangan *economizer* dapat meningkatkan efisiensi boiler sebesar 10%. Pemasangan *superheater* dapat meningkatkan efisiensi sebesar 25%-30%, dengan peningkatan masing - masing 8%-10% untuk setiap tingkat (*stage*).

(Colin Henderson, 2013) Sistem kontrol *sootblower* yang cerdas dapat memantau kondisi bagian - bagian utama boiler dan mengontrol operasi *sootblower* sehingga dapat meningkatkan efisiensi boiler sebesar 1% atau lebih dan mengurangi insiden pemadaman (*outages*) dari *fouling*. Perbaikan pada *pre-dryer* untuk mengolah maksimum sekitar 25 - 30% dari bahan bakar yang disuplai ke boiler akan memberikan peningkatan efisiensi.

(Divyesh Pattel, 2016) melakukan penelitian pada boiler di pabrik gula menggunakan metode *direct heat losses*. Untuk memberikan ide tentang kerugian pada berbagai tahap dan area kerugian di mana seseorang dapat fokus untuk melakukan analisis kinerja. Hasil penelitiannya adalah kerugian besar terjadi pada boiler karena kehilangan panas dalam gas buang kering (12,82%) dan kadar air dalam bahan bakar (14,398%) yang diikuti oleh kerugian karena kandungan abu dalam bahan bakar, dan kerugian karena *unburn carbon*. Efisiensi boiler sebesar 59% dengan menggunakan metode kehilangan panas.

2.1 Pembakaran dan Bahan Bakar

Pembakaran adalah suatu reaksi kimia antara bahan bakar dan oksigen yang menghasilkan panas. Pembakaran mempunyai 3 komponen yaitu bahan bakar, panas dan oksigen serta adanya reaksi kimia reaksi rantai kimia yang menyebabkan pembakaran dapat berkesinambungan dan bertambah besar.

Bahan bakar utama yang digunakan di PLTU Tanjung Jati B unit 4 adalah batubara. Batubara yang digunakan berupa batubara Kaltim Prima Coal (KPC) lot E dan lot G serta Jembayan dari Kalimantan dan akan terus disuplai selama pengoperasian. Batubara ini adalah jenis batubara sub-bituminous golongan C dengan nilai kalori kurang lebih 5750 kcal/kg, kandungan lembaban yang terkait didalamnya (*inherent moisture*) antara 15% – 30%. Dan dibakar dalam bentuk serbuk.

2.2 Efisiensi Boiler

Ada dua cara untuk menghitung efisiensi boiler yaitu dengan metoda langsung dan metoda tak langsung. Pada metoda langsung perhitungan efisiensi boiler, penambahan panas total ke fluida kerja didalam bagian ekonomiser, evaporator, panas lanjut dan pemanasan ulang dievaluasi dan besaran ini dibagi dengan energi masukan bahan bakar.

$$\eta = \frac{\text{tambahan energi total ke fluida}}{\text{energi masukan bahan bakar total}} \times 100\% \quad \dots\dots(1)$$

Ketidakpastian dari metode langsung cukup besar antara 3% - 6%, dikarenakan sangat sulit untuk mengukur laju aliran bahan bakar dan fluida kerja dengan ketelitian lebih dari sekitar 5%, sehingga metode langsung ini tidak terlalu akurat dan tidak digunakan dalam praktek perhitungan efisiensi boiler.

Sedangkan metode tak langsung memiliki ketidakpastian yang kecil antara 0,4% - 0,8%, sehingga metode ini banyak digunakan dalam praktek perhitungan efisiensi boiler. Pada sistem ini, dianggap bahwa energi masukan bahan bakar total

dipindahkan ke fluida kerja ataupun hilang dengan berbagai cara, tetapi kerugian ini dapat diketahui. Ada 6 macam kerugian panas pada boiler dan semuanya dihitung dalam bentuk kerugian energi per satuan massa bahan bakar (kJ/kg) atau Btu/lbm). Sehingga efisiensi boiler menjadi (Kumar Rayaprolu, 2013) :

$$\eta = \frac{\text{heat input} - \text{losses}}{\text{heat input}} \times 100\% \quad \dots\dots(2)$$

$$\eta = 1 - \frac{\text{heat losses}}{\text{heat input}} \times 100\% \quad \dots\dots(3)$$

Sehingga efisiensi boiler dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (ASME *Power Test Codes 4-2008 for Fired Steam Generators*, 2008) :

$$\eta = \left[100 - \left\{ \frac{(L1 + L2 + L3 + L4 + L5 - B1)}{(Hf \times 100 + L6)} \right\} \right] \times \left\{ \frac{Q_{ro}}{Q_{ro} - B2} \right\} \quad \dots(4)$$

dimana,

η : Efisiensi thermal boiler berdasarkan *HHV* (*fuel efficiency*) (%).

L1 : Kerugian panas karena gas buang kering (J/kg-fuel).

L2 : Kerugian panas karena kandungan air (*moisture*) pada bahan bakar (J/kg-fuel).

L3 : Kerugian panas karena kandungan air (*moisture*) dari pembakaran hydrogen pada bahan bakar (J/kg-fuel).

L4 : Kerugian panas karena *moisture* pada udara (J/kg-fuel).

L5 : Kerugian panas karena pembakaran karbon yang tidak sempurna (J/kg-fuel).

L6 : Kerugian panas karena radiasi dan konveksi (%) (berdasarkan ABMA).

Hf : HHV bahan bakar (J/kg-fuel).

B1 : Heat credits (kebutuhan udara kering, panas sensibel pada bahan bakar, *moisture* yang masuk melalui udara).

B2 : Konsumsi daya pada *pulverizer*, *Boiler Circulation Pump* (BCP), *Air preheater* (J/hr).

Qro : Keluaran panas boiler (J/hr).

Kerugian - kerugian yang lain karena bahan tidak terbakar (*unburned hydrogen and hydro carbons, carbon monoxide*), panas sensibel dari residu, pembentukan *Nox* dan radiasi pada *bottom ash hopper* dan panas sensibel pada *slag* dan sebagainya tidak diperhitungkan dalam perhitungan efisiensi boiler karena nilai kerugiannya sangat kecil.

2.3 Kerugian - Kerugian Panas (Heat Losses)

1. Kerugian panas karena gas buang kering (L1).

Kerugian ini terjadi karena temperatur gas buang masih cukup tinggi dibandingkan dengan temperatur udara sekitar (*ambient temperature*). Sebenarnya temperatur gas buang ini masih mempunyai energi yang cukup tinggi tetapi tidak dapat dimanfaatkan lagi oleh boiler.

$$L1 = MfrDFg \times HDFgLvCr.....(5)$$

Dimana :

- MfrDFg : Gas kering / dry gas (Kg/10⁴ kJ)
- HDFgLvCr : Entalpi dry gas pada outlet gas Air Heater (kJ/kg)

2. Kerugian panas karena kandungan air (*moisture*) pada bahan bakar (L2).

Kerugian ini disebabkan karena adanya kandungan air (*moisture*) yang terdapat pada bahan bakar.

$$L2 = MFrWF \times HWvLvCr.....(6)$$

Dimana :

- MFrWF : Kandungan air pada bahan bakar (kg/kg-fuel).
- HWvLvCr : Entalpi dari uap air pada outlet gas Air Heater (hydrogen dan air pada bahan bakar didefinisikan sebagai uap air) (kJ/kg-fuel).

3. Kerugian panas karena kandungan air (*moisture*) dari pembakaran hydrogen pada bahan bakar (L3).

Kerugian ini disebabkan karena kandungan unsur hydrogen (H) dalam bahan bakar yang apabila terbakar akan bereaksi dengan oksigen dari udara dan berbentuk uap air (H₂O).

$$L3 = MFrWH2F \times HWvLvCr(7)$$

Dimana :

- MFrWH2F : Kandungan air dari pembakaran hydrogen pada bahan bakar (kg/kg-fuel).
- HWvLvCr : Entalpi dari uap air pada outlet gas Air Heater (kJ/kg-fuel).

4. Kerugian panas karena *moisture* pada udara (L4).

Kerugian panas untuk menguapkan uap air yang terdapat dalam udara karena udara yang masuk kedalam ruang bakar tidak kering dan masih mengandung uap air.

$$L4 = MFrWD \times MFrDA \times HWvLvCr...(8)$$

Dimana :

- MFrWDA : Kelembaban *absolute* (kg/kg-dry air).
- MFrDA : Udara kering (*dry air*) (kg/kg-fuel).
- HWvLvCr : Entalpi dari uap air pada outlet gas Air Heater (kJ/kg-fuel).

5. Kerugian panas karena pembakaran karbon yang tidak sempurna (L5)

Kerugian panas karena pembakaran yang tidak sempurna. Hal ini diindikasikan oleh kandungan CO pada gas buang. Dan terjadi karena kekurangan udara atau distribusi udara yang kurang baik.

$$L5 = MpUbC \times 33700.....(9)$$

Dimana :

- MpUbC : *Unburned carbon* pada bahan bakar (kJ/kg-fuel).

6. Kerugian panas karena radiasi dan konveksi (L6).

Kerugian panas karena perpindahan panas secara radiasi dan konveksi pada permukaan. Dihitung berdasarkan grafik ABMA *Standard Radiation Loss*.

7. Kerugian panas yang tidak terukur.

Kerugian panas yang tidak terukur, terlalu kecil atau tidak bisa diukur, antara lain : *moisture* dari udara bakar, panas yang terdapat pada abu, hidrokarbon pada gas bahan bakar, pembakaran karbon tidak sempurna. Dalam hal ini tidak diperhitungkan atau diabaikan karena nilainya terlalu kecil.

2.4 Heat Credit (B1)

Heat credits merupakan kebutuhan udara kering, panas sensibel pada bahan bakar, *moisture* yang masuk melalui udara.

$$B1 = QqBDA + QqBWA + QqBF \dots\dots(10)$$

Dimana :

QqBDA : Kebutuhan udara kering (J/kg-fuel).

QqBWA : *Moisture* yang masuk bersama dengan udara (J/kg-fuel).

QqBF : Panas sensibel pada bahan bakar (J/kg-fuel).

2.5 Konsumsi Daya (B2)

Konsumsi daya yang digunakan pada *Pulverizers*, *Boiler Circulation Pump* (BCP), dan *Air Preheater drives* (AH).

$$B2 = QXpulv + QXbcp + QXah \dots\dots(11)$$

Dimana :

QX_{Pulverizer} : Pemakaian daya pada *pulverizer* (GJ/h).

QX_{BCP} : Pemakaian daya pada BCP (GJ/h).

QX_{AH} : Pemakaian daya pada AH (GJ/h).

2.6 Boiler Heat Output (Qro)

Panas yang dihasilkan oleh boiler dihitung dengan :

$$Qro = \left((Hvp \times Wvp) - (Haalim \times Waalim) - (Hss \times Wss) \right) + \left(Wvrec \times (Hrc - Hrf) \right) + (WRS \times (Hrc - HRS)) \dots\dots(12)$$

Dimana :

Hvp : Entalpi uap pada *outlet Super Heater* (SH) (kJ/h).

Wvp : *Flow* uap *Main steam* (kg/h).

Haalim : Entalpi air pada *inlet economiser* (kJ/h).

Waalim : *Flow* air pada *inlet economiser* (kg/h).

Wvrec : *Flow* uap *reheater* (kg/h).

Hrc : Entalpi uap pada *outlet reheater* (kJ/h).

Hrf : Entalpi uap pada *inlet reheater* (kJ/h).

Wss : *Flow* air SH (*SH spray water*) (kg/h).

Hss : Entalpi air SH (*SH spray water*) (kJ/h).

WRS : *Flow* air RH (*RH spray water*) (kg/h).

HRS : Entalpi air RH (*RH spray water*) (kJ/h).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Prosedur untuk menyelesaikan penelitian yang terbagi dalam beberapa urutan seperti pada gambar berikut :

3.1 Pengumpulan Data

Pengambilan data ini dimaksudkan untuk memperoleh indikasi dari hasil pengolahan parameter - parameter yang diinginkan. Pengambilan data akan dilakukan sesuai dengan prosedur atau cara kerja dari parameter yang akan dianalisa. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan data-data yang sudah tersedia pada PLTU Tanjung Jati B unit 3 dan 4 dengan cara sebagai berikut :

1. Mengambil data parameter - parameter yang dibutuhkan secara langsung pada komputer DCS dengan program TOSMAP untuk data-data yang masih tersimpan pada database komputer.
2. Mengambil data parameter - parameter yang dibutuhkan secara tidak langsung dengan melihat data arsip pada bagian operasional untuk data - data yang sudah tidak tersimpan pada *database* komputer.

Program TOSMAP dapat dilihat untuk merecord parameter - parameter juga yang disiapkan oleh komputer di CCR (*Central Control Room*). Dimana pada DCS komputer juga disiapkan *tagging number* pada masing - masing peralatan untuk mengetahui parameter yang dihasilkan.

3.2 Pengujian Kinerja Pembangkit (*Performance Test*)

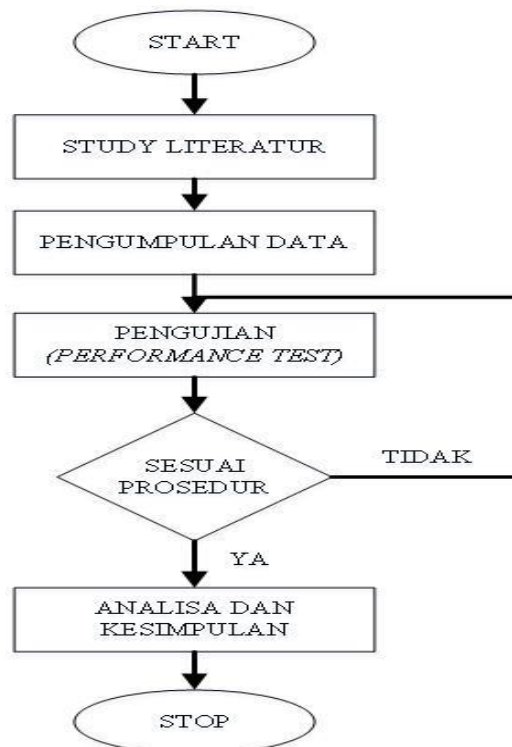
Kondisi Pengujian (*Performance test*) dilakukan pada beban 660 MW (100 % load). Pengujian dilakukan untuk mendapatkan data kinerja pembangkit terbaru. (MHI, 2011). Pengujian dilakukan dengan kondisi :

1. Kondisi Eksternal

Pengujian dilakukan pada masing - masing unit yaitu unit 3 dan unit 4 sebanyak 2 kali dalam setahun. Pengujian dilakukan pada dua musim yang berbeda. Yaitu musim penghujan dan musim kemarau. Hal ini untuk dikarenakan pengaruh variasi musim mungkin berpengaruh terhadap kadar kandungan air pada batubara, temperatur udara (*ambient temperature*) dan kandungan air (*moisture*).

2. Kondisi Internal

Untuk memperoleh hasil pengujian yang dapat diandalkan dan diperbandingkan dari waktu ke waktu, kondisi pengujian internal harus dilakukan sesuai standart pada masing-masing pengujian.



Gambar 1. Skema Penelitian.

Hal - hal berikut harus dilakukan sebagai standart minimum saat pengujian :

- a. Boiler harus dioperasikan dengan mode kontrol otomatis.
- b. Turbin generator harus dijaga pada beban konstan (*constant load*) 660 MW nett.
- c. *Continuous Blow Down* (CBD) harus tidak dioperasikan selama proses pengujian.
- d. Semua proses *soot blowing* harus dilakukan dan selesai sebelum pengujian, dan harus dihentikan selama pengujian berlangsung.
- e. *Coal silo* harus diisi dengan jumlah yang cukup untuk pengujian dengan batubara yang sama.
- f. Pengisian batubara (*Coal unloading*) tidak boleh dilakukan selama pengujian.
- g. Masing - masing *ash hopper* harus dikosongkan paling tidak 2 jam sebelum pengujian dilakukan.
- h. Semua *drain line valve* harus ditutup.

3.3 Persiapan Pengujian

Beberapa hal yang diperlukan sebelum pengujian dilakukan antara lain :

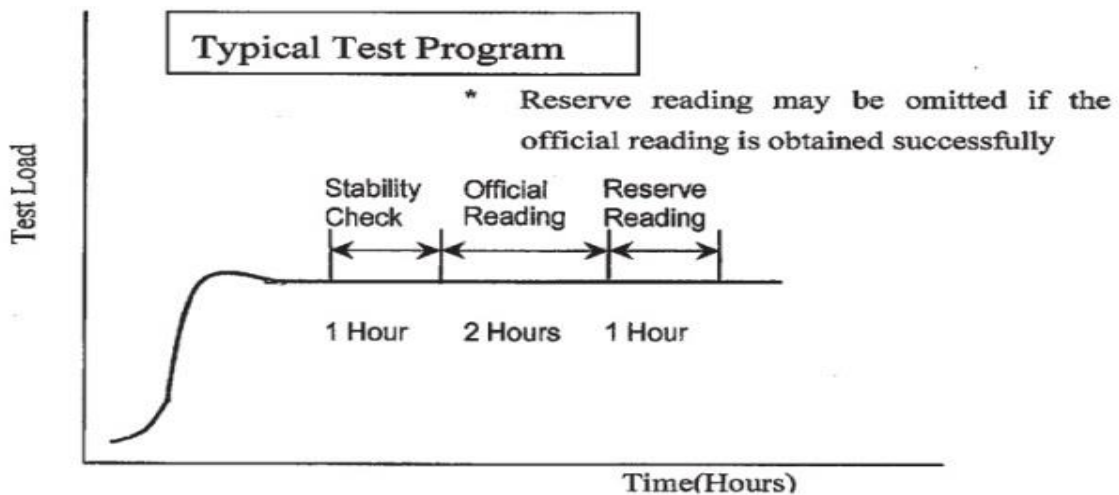
1. Menjaga *output* generator sesuai dengan parameter pengujian yaitu pada 660 MW nett.
2. Operasi stabil.

Pengujian dilakukan dengan kondisi turbin beroperasi pada mode normal. Selama pelaksanaan pengujian, unit harus dijaga dalam kondisi stabil untuk aliran (*flow*), tekanan dan temperaturnya. Untuk alasan ini maka, diperlukan untuk membuat kondisi sesuai kondisi pengujian paling tidak 1 jam sebelum pengujian dimulai.

Keakuratan hasil pengujian tergantung pada isolasi dari sistem. Aliran - aliran yang tidak diperlukan harus diisolasi dari sistem. Diantara aliran - aliran yang harus diisolasi yaitu :

- a. Jalur *drain* pada *stop valve*, *control valve* dan *heater*.
- b. Jalur *make up water*.
- c. Jalur *reheater spray water*.
- d. *Valve-valve drain*, *venting*, dan *by pass*.
- e. *Line blowdown* dan *soot blowing*.

3. Mengontrol udara pembakaran boiler pada kondisi yang optimum.
4. Tidak menghentikan dan mengganti peralatan-peralatan pendukung selama pengujian.



Gambar 2. Typical Test Program (Mitsubishi Heavy Industries, 2011)Proses Isolasi.

3.4 Pelaksanaan Pengujian

Hal - hal yang dilakukan selama pelaksanaan pengujian yaitu :

1. Pengujian harus dilaksanakan selama 2 jam. Selama pengujian berlangsung unit harus dalam kondisi yang stabil (*steady state*).
2. Pengambilan data dilakukan setiap 15 menit.
3. Sampel batubara diambil sebanyak 3 kali untuk masing - masing *silo*, yaitu pada saat pengujian baru saja dimulai, pada saat setengah pengujian dan pada akhir pengujian. Jumlah masing - masing sampel adalah 1 kg. Analisa kandungan air (*surface moisture*) dilakukan segera setelah pengujian selesai dengan mencampur ketiga sampel dari masing - masing *silo*. Sedangkan untuk pengujian *Heating value, proximate analysis, ultimate analysis* dan analisa yang lain dilakukan pada laboratorium SUCOFINDO semarang dengan mencampur semua sampel batubara dari semua *silo*.
4. Sampel *fly ash* diambil sebanyak tiga kali yaitu pada saat pengujian baru saja dimulai, pada saat setengah pengujian dan pada akhir pengujian. Pada ESP A dan B *Field* 1-4. Jumlah masing-masing sampel 100 gram.
5. Sampel *bottom ash* diambil dari *bottom ash hopper* segera setelah pengujian selesai sebanyak 100 gram.
6. Sampel *flue gas* diambil pada *inlet* dan *outlet air preheater* segera setelah pengujian selesai dan merecord hasil analisa dari *sample probe*.

3.5 Setelah Pengujian

Setelah pengujian selesai, hal - hal berikut yang dilakukan antara lain :

1. Mengumpulkan hasil pencatatan parameter - parameter selama pengujian.
2. Menormalkan kembali semua *valve* yang diisolasi selama pengujian.

3. Mengembalikan kondisi operasi unit ke kondisi operasi normal

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil data - data yang diambil saat *performance test*, dapat dihitung nilai efisiensi boiler sebagai berikut :

1. Kerugian panas karena gas buang kering (L1).

$$L1 = M_{fr} D F_g \times H D F_g L_v C_r$$

$$= 9.222 \times 128.17$$

$$= 1181.97 \text{ kJ/kg-fuel.}$$
2. Kerugian panas karena kandungan air (*moisture*) pada bahan bakar (L2).

$$L2 = M_{Fr} W F \times H W_v L_v C_r$$

$$= 0.186 \times 2684.36$$

$$= 500.10 \text{ kJ/kg-fuel.}$$
3. Kerugian panas karena kandungan air (*moisture*) dari pembakaran hydrogen pada bahan bakar (L3).

$$L3 = M_{Fr} W H_2 F \times H W_v L_v C_r$$

$$= 0.440 \times 2684.36$$

$$= 1180.86 \text{ kJ/kg-fuel.}$$
4. Kerugian panas karena *moisture* pada udara (L4).

$$L4 = M_{Fr} W D \times M_{Fr} D A \times H W_v L_v C_r$$

$$= 0.02 \times 8.877 \times 241.77$$

$$= 42.92 \text{ kJ/kg-fuel.}$$
5. Kerugian panas karena pembakaran carbon yang tidak sempurna (L5).

$$L5 = M_{p} U_b C \times 33700$$

$$= 0.000408 \times 33700$$

$$= 13.75 \text{ kJ/kg-fuel.}$$
6. Kerugian panas karena radiasi dan konveksi (L6).

$$L6 = 0.19.$$
7. *Heat Credit* (B1).

$$B1 = Q_q B D A + Q_q B W A + Q_q B F$$

$$= 140.59 + 5.22 + 9.38$$

$$= 155.19 \text{ J/kg-fuel.}$$
8. Konsumsi Daya (B2)

$$B2 = Q_X p u l v + Q_X b c p + Q_X a h$$

$$= 1,253,606 + 1,056,118 + 108,000$$

$$= 9,849,876.55 \text{ kJ/h.}$$

9. Boiler Heat Output (Qro)

$$Q_{ro} = ((H_{vp} \times W_{vp}) - (H_{aalim} \times W_{aalim}) - (H_{ss} \times W_{ss})) + (W_{vrec} \times (H_{rc} - H_{rf})) + (W_{RS} \times (H_{rc} - H_{RS}))$$

$$Q_{ro} = ((3,379 \times 2,188,235) - (1,273 \times 2,167,723)) - (744 \times 20,512) + (1,825,194 \times (3,557 - 3,039)) + (0 \times (3,557 - 0)) = 5,565,265,940 \text{ (kJ/h)}$$

10. Efisiensi Boiler (η)

$$\eta = \left[100 - \left\{ \frac{(L1+L2+L3+L4+L5-B1)}{(Hf \times 100 + L6)} \right\} \right] \times \left\{ \frac{Q_{ro}}{Q_{ro-B2}} \right\}$$

$$= \left[100 - \left\{ \frac{\{(1,181.97+500.10+1,180.86+42.92+13.75-155.19)\}}{(Hf \times 100 + 0.19)} \right\} \right] \times \left\{ \frac{5,565,940.20}{(5,565,265,940.20 - 9,849,876.55)} \right\} = [100 - \{11.563\}] \times \{1.0018\} = 88.59 \%$$

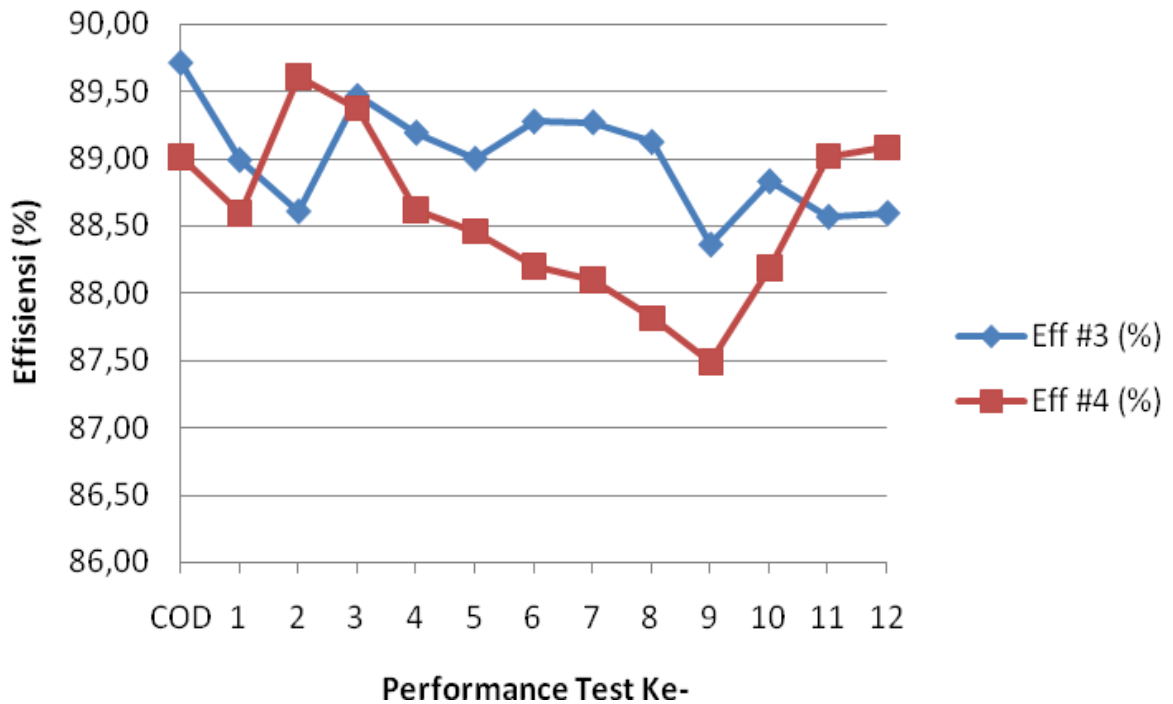
4.1 Perubahan Efisiensi

Setiap tahun PLTU Tanjung Jati B Unit 3 dan 4 melakukan 2 kali *performance test* untuk mengetahui nilai efisiensi dan *heat rate* untuk masing - masing pembangkitnya. Berikut data efisiensi boiler PLTU Tanjung Jati B unit 3 dan 4 dari tahun 2011 sampai tahun 2018.

Dari data pada gambar 3 dapat dilihat bahwa nilai efisiensi boiler unit 3 tertinggi dicapai pada tahun 2011 sebesar 89,71% yaitu pada saat *Commercial Operation Date* (COD), sedangkan untuk unit 4 terjadi pada performance tes ke 2 tahun 2013 sebesar 89,61%. Nilai efisiensi boiler unit 4 pada saat COD tahun 2012 lebih rendah dari nilai efisiensi boiler tertinggi yang dicapai pada tahun 2013.

Sedangkan nilai efisiensi boiler terendah untuk unit 3 (tabel 1) terjadi pada *performance test* ke 9 tahun 2016 sebesar 88,36%, dan nilai efisiensi boiler terendah untuk unit 4 terjadi pada performance test ke 9 tahun 2016 sebesar 87,48%.

Penurunan nilai efisiensi boiler untuk unit 3 selama 6 tahun sebesar 1,35% atau rata - rata penurunannya adalah 0,225%/tahun. Sedangkan penurunan efisiensi boiler unit 4 (tabel 2) selama 6 tahun sebesar 2,13% atau rata - rata penurunannya sebesar 0,355%/tahun. Untuk mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan penurunan efisiensi boiler dapat kita lakukan analisa pada perubahan nilai masing - masing *heat losses*.



Gambar 3. Grafik Efisiensi Boiler Unit 3 dan 4.

Tabel 1. Efisiensi Boiler Unit 3

Tahun	2011	2012		2013		2014		2015		2016		2017	
	COD	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd
Performance Tes Ke-	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Eff #3 (%)	89.71	88.99	88.61	89.46	89.19	89.00	89.27	89.27	89.12	88.36	.88.83	88.57	88.59

Tabel 2. Efisiensi Boiler Unit 4

Tahun	2012	2013		2014		2015		2016		2017		2018	
	COD	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd
Performance Tes Ke-	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Eff #3 (%)	89.01	88.59	88.61	89.37	88.62	88.45	88.19	88.10	87.81	87.48	.88.18	89.01	89.08

Berdasarkan data diatas dapat dilihat faktor - faktor yang menyebabkan penurunan efisiensi boiler unit 3 dan 4, antara lain :

1. Kerugian panas karena gas buang (L1) yang merupakan kerugian panas terbesar. Kerugian terbesar pada unit 3 sebesar 5.54% terjadi pada *performance test* ke 8 tahun 2015, sedang unit 4 sebesar 5,24% pada *performance test* ke 6 tahun 2015. Kerugian terendah pada unit 3 sebesar 4.66% terjadi pada *performance test* ke 3 tahun 2013, sedang pada unit 4 sebesar 4.54% terjadi pada *performance test* ke 2 tahun 2012. Semakin tinggi temperatur gas buang, maka semakin tinggi pula kerugian panasnya. Hal ini dikarenakan keterbatasan boiler *economizer* dalam menyerap panas yang dihasilkan dari udara pembakaran. Tumpukan ash (*ash deposit*) di area *economizer* merupakan faktor utama yang menyebabkan terhambatnya perpindahan panas dari (*flue gas*) ke *economizer tube*.
2. Kerugian panas karena kandungan air (*moisture*) dari pembakaran *hydrogen* pada bahan bakar (L3) merupakan kerugian pasar terbesar kedua pada boiler. Kerugian terbesar pada unit 3 sebesar 4.99% terjadi pada *performance test* ke 2 tahun 2012, sedang unit 4 sebesar 5,53% pada *performance test* ke 9 tahun 2016. Kerugian terendah pada unit 3 sebesar 4.07% terjadi pada *performance test* ke 4 tahun 2013 dan ke 8 tahun 2015, sedang pada unit 4 sebesar 3.97% terjadi pada *performance test* ke 2 tahun 2013. Hal ini dikarenakan kandungan unsur hydrogen (H) dalam bahan bakar yang apabila terbakar akan bereaksi dengan oksigen dari udara dan berbentuk uap air (H₂O). Boiler unit 3 maupun unit 4 menggunakan tiga tipe batu bara yang mempunyai karakteristik berbeda antara lain KPC Lot E, KPC Lot G, dan IMM. Semakin tinggi kandungan hydrogen (H) di dalam batu bara maka semakin tinggi kerugian panasnya.



Gambar 5. Ash Deposit pada *Economizer Tube Boiler*.

Tabel 3. Heat Losses Unit 3

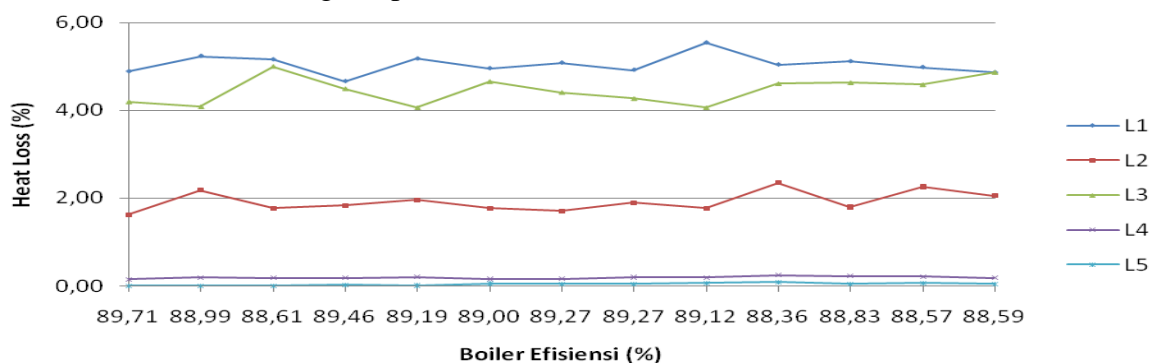
Performance Tes Ke	COD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
L1	4,89	5,24	5,16	4,66	5,18	4,96	5,08	4,92	5,54	5,04	5,12	4,98	4,86
L2	1,63	2,19	1,78	1,84	1,97	1,78	1,71	1,90	1,77	2,35	1,80	2,26	2,06
L3	4,20	4,09	4,99	4,49	4,07	4,65	4,41	4,27	4,07	4,60	4,63	4,58	4,86
L4	0,15	0,18	0,18	0,18	0,20	0,15	0,16	0,20	0,18	0,24	0,22	0,21	0,18
L5	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,06	0,04	0,05	0,07	0,09	0,05	0,07	0,06

Tabel 4 Heat Losess Unit 4

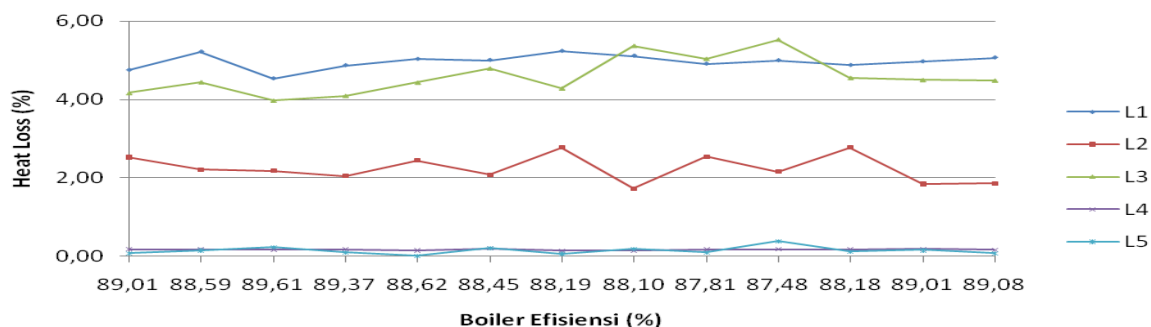
Performance Tes Ke	COD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
L1	4,75	5,22	4,54	4,87	5,03	5,01	5,24	5,11	4,91	5,00	4,88	4,97	5,07
L2	2,53	2,22	2,19	2,05	2,45	2,08	2,77	1,73	2,54	2,16	2,77	1,85	1,86
L3	4,17	4,44	3,97	4,10	4,43	4,79	4,29	5,37	5,04	5,53	4,56	4,50	4,94
L4	0,17	0,18	0,17	0,18	0,15	0,20	0,14	0,14	0,17	0,17	0,18	0,19	0,16
L5	0,07	0,15	0,23	0,10	0,01	0,20	0,06	0,18	0,10	0,38	0,12	0,15	0,07

3. Kerugian panas karena kandungan air (*moisture*) pada bahan bakar (L2) merupakan kerugian panas terbesar ketiga pada boiler. Kerugian terbesar pada unit 3 sebesar 2.35% terjadi pada *performance test* ke 9 tahun 2016, sedang unit 4 sebesar 2.77% pada *performance test* ke 6 tahun 2015 dan ke 10 tahun 2017. Kerugian terendah pada unit 3 sebesar 1.63% terjadi pada saat COD tahun 2011, sedangkan pada unit 4

sebesar 1.73% terjadi pada *performance test* ke 7 tahun 2015. Hal ini diperoleh dari tingginya kandungan air yang terdapat pada batu bara. Semakin tinggi kandungan air di dalam batu bara maka semakin tinggi kerugian panas akan kandungan air pada bahan bakar (*moisture in fuel*), hal ini disebabkan karena kandungan air akan menurunkan nilai kalor efektif dari batu.



Gambar 4. Grafik Heat Loss vs Efisiensi Boiler Unit 3.



Gambar 4. Grafik Heat Loss vs Efisiensi Boiler Unit 4.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan data dan hasil analisa dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Nilai efisiensi boiler unit 3 tertinggi dicapai pada tahun 2011 sebesar 89,71% yaitu pada saat *Commercial Operation Date* (COD), sedangkan untuk unit 4 terjadi pada *performance test* ke 2 tahun 2013 sebesar 89,61%. Sedangkan nilai efisiensi boiler terendah untuk unit 3 terjadi pada *performance test* ke 9 tahun 2016 sebesar 88,36%, dan nilai efisiensi boiler terendah untuk unit 4 terjadi pada *performance test* ke 9 tahun 2016 sebesar 87,48%.
2. Penurunan nilai efisiensi boiler untuk unit 3 selama 6 tahun sebesar 1,35% atau rata-rata penurunannya adalah 0,225%/tahun. Sedangkan penurunan efisiensi boiler unit 4 selama 6 tahun sebesar 2,13% atau rata-rata penurunannya sebesar 0,355% / tahun.
3. Kerugian panas terbesar adalah karena gas buang (L1), karena kandungan air (*moisture*) dari pembakaran hydrogen pada bahan bakar (L3) dan panas karena kandungan air (*moisture*) pada bahan bakar (L2). Hal ini dikarenakan tumpukan ash (ash deposit) di area *economizer* merupakan faktor utama yang menyebabkan terhambatnya perpindahan panas dari (flue gas) ke *economizer tube*. Selain itu karena perbedaan penggunaan 3 tipe batu bara yang mempunyai karakteristik berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Asmudi., Analisa Unjuk Kerja Boiler terhadap Penurunan Daya pada PLTU PT Indonesia Power UBP Perak .ITS Undergraduate Thesis., 2010.
- Colin Henderson., Upgrading and Efficiency Improvement in Coal Fired Power Plants. CRC/221 IEA Clean Coal Centre., 2013.

- Divyesh T Patel, Dr. K. V Modi., Performance Evaluation of Industrial Boiler by Heat Losses Method . IJARIE-ISSN(O)-2395-4396 Vol-2 Issue., 2016.
- Fahrizal., *Analisis Availability kinerja boiler pada PT Rohul Sawit Indah.* Jurnalaptek vol 6 No 2., 2014.
- Heni Hendaryati., *Analisis Efisiensi Termal pada Ketel Uap di Pabrik Gula Kebon Agung Malang.* Jurnal GAMMA Vol 8 No 1., 2012.
- J.Suresh Babu, R.Latha, B.Praveen, V.Anil Kumar, R.Rama Kumar, S.Peerulla. *A Study Analysis and Performance of High Presssure Boiler with its Accessories.*, International Research Journal of Engineering and Technology Vol 2 Issue 1 April 2015.
- Kumar Rayaprolu., *Boiler : A Practical Reference*, CRC Press., 2013.
- Mitsubishi Heavy Industries., *Performance Test Procedure for Boiler Thermal Efficiency.* Sumitomo Corporation., 2011.
- M Denny Surendra., *Analisa Penurunan Efisiensi Boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tanjung Jati B Unit 1 dan 2, 2x660 Megawatt*, Prosiding SEMNAS ke 8., 2013.
- P.K. Nag., *Power Plant Engineering* .Third Edition, Mc Graw-Hill., 2008.
- Sahid, Budhi Prasetyo., *Heat Rate Pembangkit Listrik Tenaga Uap Paiton Baru (Unit 9) berdasarkan Performance Test tiap Bulan dengan Beban 100%.* EKSERGI Jurnal Teknik Energi Vol 12 No 2., 2016.
- V.Ganapathi., *Steam Generators and Waste Heat Boilers for Process and Plant Engineer.* CRC Press., 2015.
- ASME Power Test Codes 4-2008 for Fired Steam Generators. Performance Test Codes. An American Society of Mechanical Engineer., 2008.