

PEMAKAIAN METODE ASME PTC 4.1 PADA EVALUASI PERFORMA (EFISIENSI) BOILER PULVERIZED FIRING DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU)

Edy Sarwono^{1*}, Indra Saputra²

^{1,2}Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Teknik Mesin, Institut Sains dan Teknologi Al-Kamal, Jakarta, Indonesia

Email: ^{1*}edsarwono77@gmail.com, ²i.saputra1315@gmail.com

(* : penulis korespondensi)

Abstract

The rankine cycle is widely used for thermal generators that use steam as a turbine driver in power generation plant. There are 4 main equipments in power plant with rankine cycle system that is: Boiler, Turbine, Condenser and Feed pump. Boiler is a tool to heat water up to steam with high temperature and pressure. Then steam goes into the turbine to drive the generator. The steam coming out of the turbine is cooled inside the condenser to be changed into liquid again. Condenser coolers are widely used in steam power plants is sea water, but some are using river water. Water becomes a working fluid in the rankine cycle and undergoes closed cycle (close loop cycle) meaning continuously water at the end of the cycle process re-entry to the early process cycle. There are several methods to calculate boiler efficiency by direct method (input method) and heat loss method (energy balanced method). The calculation by the direct method by dividing the resulting steam energy divided by the fuel energy coming into the boiler. While the calculation of boiler efficiency with heat loss method is the fuel energy that enter the boiler reduced by losses that occur in the boiler. ASME PTC 4.1 method can be used to calculate boiler efficiency at large boiler capacity, so PTC 4.1 method is often used to evaluate boiler in power plant. The ASME PTC 4.1 method is recommended for the calculation of heat-loss methods in the boiler and is often performed to review the efficiency according to the design as a benchmark.

Keyword: Rankine Cycle, Boiler, Efficiency, Heat Loss Method, Design, Benchmark.

Abstrak

Siklus rankine banyak digunakan untuk pembangkit thermal yang menggunakan uap sebagai media penggerak turbin. Ada 4 peralatan utama pada pembangkit dengan sistem siklus rankine yaitu : Boiler, Turbine, Condenser dan Feed pump. Boiler merupakan alat untuk memanaskan air hingga menjadi uap dengan suhu dan tekanan yang tinggi. Selanjutnya uap masuk ke turbin untuk menggerakkan generator. Uap yang keluar dari turbin didinginkan di dalam kondensor untuk dirubah fasanya menjadi cair kembali. Pendingin kondensor yang banyak digunakan pada PLTU adalah air laut, namun ada pula yang menggunakan air sungai. Air menjadi fluida kerja pada siklus rankine dan mengalami siklus tertutup (*close loop cycle*) artinya secara berkelanjutan air pada akhir proses siklus masuk kembali ke proses awal siklus. Ada beberapa metode menghitung efisiensi boiler yaitu dengan metode langsung (*direct method / input-output method*) dan metode *heat loss (energy balanced method)*. Perhitungan dengan metode langsung dengan membagi energi uap yang dihasilkan dibagi dengan energi bahan bakar yang masuk ke boiler. Sedangkan perhitungan efisiensi boiler dengan metode *heat loss* adalah energi bahan bakar yang masuk boiler dikurangi dengan losses yang terjadi di boiler. Metode ASME PTC 4.1 bisa digunakan untuk menghitung efisiensi boiler pada kapasitas boiler yang besar, sehingga metode PTC 4.1 memang seringkali digunakan untuk mengevaluasi boiler pada pembangkit (*power plant*). Metode ASME PTC 4.1 dianjurkan untuk penghitungan *heat-loss method* pada boiler dan seringkali dilakukan untuk melakukan review terhadap efisiensi sesuai desain (*benchmark*).

Kata Kunci: Siklus Rankine, Boiler, Efisiensi, Heat Loss Method, Desain, Benchmark.

I. LATAR BELAKANG

Boiler merupakan unit yang sangat penting pada sistem pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). *Type boiler* yang sering digunakan pada PLTU adalah *pulverized firing boiler*. Pemilihan type ini didasarkan pada efektifitas pembakaran batubara di ruang bakar yang dilengkapi dengan *mill* sebelum batubara dimasukkan ke dalam ruang bakar.

Penghitungan performa (efisiensi) *boiler* sangat dibutuhkan untuk melihat sejauh mana efektifitas penggunaan bahan bakar (batubara) sebagai parameter yang menentukan harga listrik di pembangkit PLTU. Metode ASME PTC (*Plant Test Code*) 4.1 merupakan salah satu metode yang sering digunakan pada pemeriksaan performa *boiler* di pembangkit listrik.

II. TUJUAN PENELITIAN

Maksud dari penelitian ini adalah untuk untuk melakukan kajian terhadap performa (efisiensi) boiler pada salah satu pembangkit listrik PLTU kapasitas 300 MW sehingga diketahui apakah boiler masih memiliki performa yang baik atau sudah menurun. Sedangkan Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui kondisi performa (efisiensi) pada sistem *boiler* pada saat ini pada beberapa %beban dan pola feed batubara (karena efisiensi senantiasa berubah terhadap beban operasi dan umur peralatan);
2. Mengetahui kemungkinan terjadinya in-efisiensi akibat kehilangan panas dari : rasio udara-bahan bakar, gas buang, isolasi, blowdown, dsb.
3. Mengetahui tingkat biaya operasional boiler dan upaya penghematannya dari evaluasi yang dilakukan;

III. RUANG LINGKUP

Ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut :

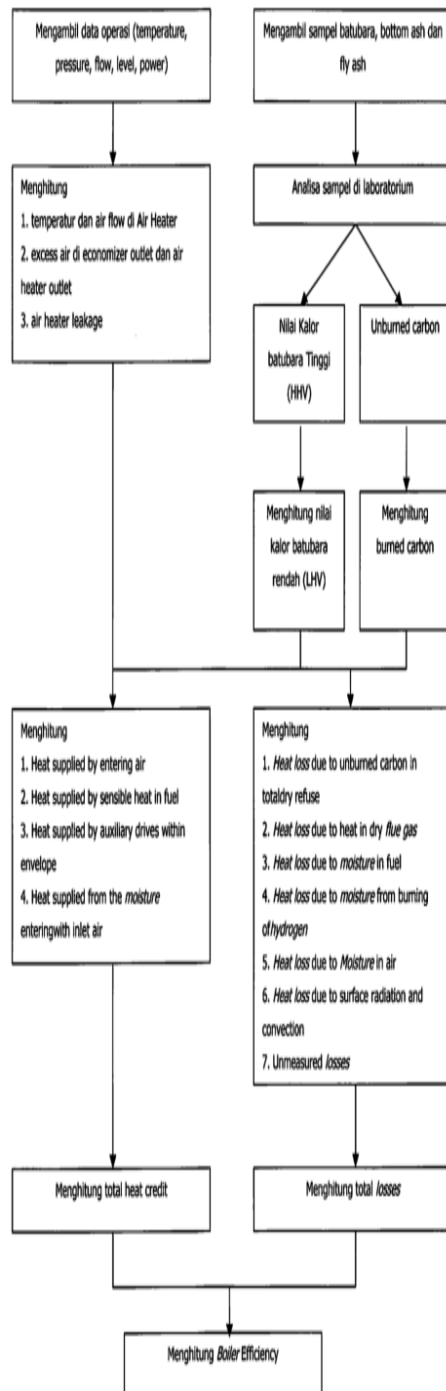
a. Uraian Kegiatan:

Penelitian akan dilaksanakan dimulai dengan proses studi pustaka siklus rankine

pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) khususnya teknologi boiler, kegiatan survei dan pengukuran data yang diperlukan di salah satu PLTU di Labuan Banten, analisis data sekunder dan primer (pengukuran), evaluasi performa (efisiensi) *boiler* dengan metode heat loss ASME PTC 4.1. Hasil akhir dari studi ini adalah menyusun hasil evaluasi performa boiler dan melakukan *benchmark* (membandingkan) kondisi sesuai desain. Simpulan dilakukan atas hasil evaluasi dan rekomendasi yang sebaiknya dilakukan untuk meningkatkan performa boiler.

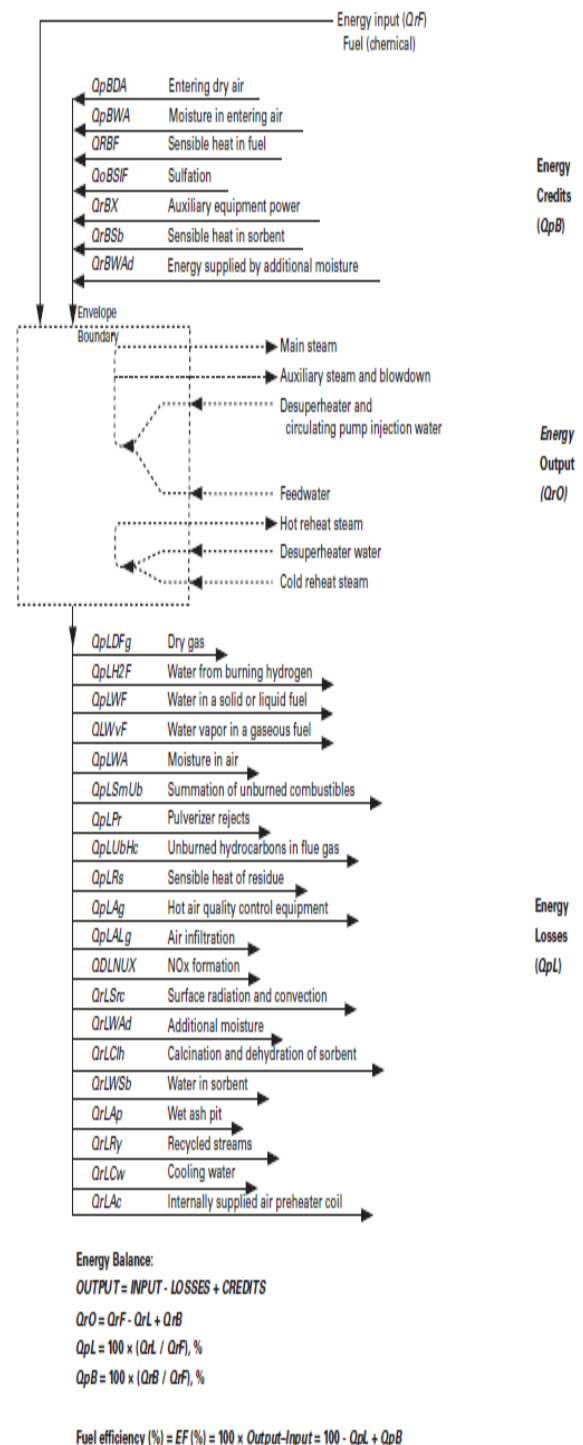
Secara rinci kegiatan dilakukan sebagai berikut:

1. Persiapan kegiatan dan pembentukan tim pelaksana studi;
 2. Pelaksanaan assesmen (*survey*) di lokasi objek boiler di salah satu PLTU milik PT Indonesia Power;
 3. Pengumpulan data dan informasi terkait dengan program
 4. Analisis dan evaluasi performa (efisiensi) boiler dengan metode heat loss ASME PTC 4.1
 5. Membuat kesimpulan penilaian performa boiler dan rekomendasi;
- b. Batasan Kegiatan:
1. Jangka waktu penelitian adalah selama 2 (dua) bulan
 2. Batasan kegiatan meliputi studi, analisis dan evaluasi performa (efisiensi) di unit boiler pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU).
- c. Lokasi Kegiatan :
- Kegiatan survey penelitian dilakukan di PT Indonesia Power Unit PLTU Labuan 2, Banten.
- d. Metodologi dan Kajian Pustaka



Gambar 1. Diagram Alir Perhitungan Efisiensi Boiler dengan ASME PTC 4.1

Komponen rugi-rugi panas (*heat loss*) yang dihitung dengan metode heat loss ASME PTC 4.1 dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2. Komponen *heat loss* pada metode ASME PTC 4.1

Pada penelitian ini, dilakukan penghitungan rugi-rugi panas untuk 10 (sepuluh) komponen utama dengan alasan: tidak seluruh komponen rugi-rugi panas tersebut ada pada unit boiler yang diteliti dan dengan pertimbangan komponen-komponen lain merupakan *minor losses*.

Rugi – rugi panas yang terjadi pada *boiler* adalah sebagai berikut:

- L₁ : *Heat loss* akibat panas yang terbuang pada gasbuang kering (*dry flue gas*).
- L₂ : *Heat loss* akibat kandungan uap air (*moisture*) dalam bahan bakar
- L₃ : *Heat loss* akibat terbentuknya uap air akibat kandungan *hydrogen* dalam bahan bakar
- L₄ : *Heat loss* akibat kandungan uap air di udara
- L₅ : *Heat loss* akibat adanya *carbon* yang tidak terbakar (*unburned carbon*)
- L₆ : *Heat loss* akibat radiasi dan konveksi permukaan
- L₇ : *Heat loss* yang tidak dapat diukur
- L₈ : *Heat loss* akibat *sensible heat* di *bottom ash*
- L₉ : *Heat loss* akibat *sensible heat* di *fly ash*
- L₁₀ : *Heat loss* akibat *formation carbon monoxide*

Losses yang ada diatas tersebut dihitung dengan formula sebagai berikut:

1. Luc --> heat loss disebabkan oleh kandungan Carbon (C) di ash

$$Luc = \%C \times \%ash \times 14500 \text{ BTU/lb}$$

Ket. : %C dari hasil analisa lab. (*ultimate analysis*)

Ash ada 2 macam: *bottom ash* dan *fly ash*

2. LG --> Heat loss yang dibawa dry flue gas

$$LG = W_g \times C_{pg} \times (T_g - T_{amb})$$

$$W_g = (C_b \times (44,01 \times CO_2 + 32 \times O_2 + 28,02 N_2 + 28 CO) / (12,01 \times (CO_2 + CO)) + (12,01 \times S / 32,07$$

Ket. : C_b kandungan carbon di bahan bakar (% berat)
C_{pg} adalah C_p (*sensible heat*) dari *dry flue gas* dihitung berdasarkan campuran gas di dalam d gas, dengan komposisi kapasitas panas (*sensib dry flue gas* yang akan dijelaskan sbb.:

$$C_{p \text{ dry flue gas}} =$$

$$C_{p_{CO_2}} \times CO_2 \% \text{berat} + C_{p_{SO_2}} \times SO_2 \% \text{berat} + C_{p_{O_2}} \times O_2 \% \\ C_{p_{N_2}} \times N_2 \% \text{berat}$$

3. L_{mf} --> *Heat loss* yang disebabkan moisture di bahan bakar

$$L_{mf} = mf \times (H_{st} - H_{amb})$$

Ket. : mf = adalah kadar air di bahan bakar (%berat)

H_{st} = enthalphy steam di flue gas pada tekanan 1 psi

H_{amb} = enthalpy air pada ambient temperatur

4. L_H --> *Heat loss* disebabkan pembakaran hidrogen di bahan bakar

$$L_H = 8,936 \times H \times (H_{st} - H_{amb})$$

Ket. : H adalah kandungan hidrogen (% berat) di bahan bakar

5. L_{mA} --> *Heat loss* disebabkan moister di combustion air

Adalah untuk menghitung moister di combustion air. Ada beberapa hal yang perlu diketahui :

- Temperatur udara luar (T_{amb} atau T dry bulb) ;

- Relatif humidity udara luar;

Dengan menggunakan psychometry chart, maka dicari kandungan :

moisture per L_b udara kering.

6. L_{CO} --> Heat loss disebabkan terbentuknya CO

$$L_{CO} = (CO / (CO_2 + CO)) \times 10160 \times C_b$$

Ket. : C_b kandungan carbon di bahan bakar (% berat)

7. L_f ---> Heat loss yang dibawa oleh Pulverized reject

8. L_B --> Heat loss disebabkan Radiation and convection permukaan boiler (boiler surface losses). Dihitung dengan Planf formula sbb.:

Radiation & Convection Loss

$$L_{rc} = 1,88 - 0,4288 \times \ln M_s$$

L_{rc} % loss, M_s – kapasitas boiler kg/s %.

9. L_p --> *heat loss* yang disebabkan oleh : 1) kenaikan temperatur air di dalam pit, 2) penguapan air di pit dan 3) abu meninggalkan pit.

1) Heat loss karena kenaikan temperatur air pit

Heat loss dibawa oleh ash dari pit

$$c = (C_{p,pit} \times (T_{out} - T_{amb}) \times W_{we}) / W_{fe}$$

$$L_p = a + b + c$$

Spesifikasi design Boiler Unit #2 PLTU

Labuan 2 Banten adalah sebesar :

Boiler efficiency(based LHV)	%	93.1 (design efficiency)	92.71 (ensur efficiency)
------------------------------	---	--------------------------	--------------------------

IV. PEMBAHASAN

Loss Method PTC 4.1

Boiler Unit#1 - Load 97 %

Steam Output = 915.4 t/h >< Power Output = 291 MW

--> Hasil analisa lab batubara (adb)			
	Low	Medium	
1, Total moisture (ar)	40.97	26.21	% W
2, Gross heating value (GHV)	5,152.0	5878	kCal/kg
3, Moisture (adb)	16.52	12.1	% W
4, Ash content (adb)	6.61	5.9	% W
5, Sulphur content (adb)	0.22	0.58	% W
6, Kadar Hydrogen (adb)	5.8	5.58	% W
7, Kadar Oksigen (adb)	32.43	26.7	% W
8, Kadar Carbon (adb)	54.17	60.26	% W

Hasil analisa lab batubara (AR)			
	Low	Medium	Rata-rata
1, Total moisture	40.97	26.21	33.59
2, Gross heating value (corrected)	3,643.06	4,934.44	4,288.75
3, Gross heating value (British Unit)	7,719.75	8,882.00	8,300.88
4, Net Heating Value	3,870.4	4,544.4	4,207.41
5, Net Heating Value (British Unit)	6,966.8	8,179.9	7,573.34
6, Ash content	4.674	4.953	4.813
7, Sulphur content	0.156	0.487	0.321
8, Kadar Hydrogen	4.101	4.684	4.393
9, Kadar Oksigen	22.932	22.414	22.673
10, Kadar Carbon	38.304	50.587	44.446
11, Kadar C di abu *	1.476	1.476	1.48

* asumsi : 80% di fly ash, 20% di bottom ash

Jenis boiler Pulverized Firing (PF)

Kondisi Operasi			
1,	Kapasitas maksimum	1,025.00	ton/jam
2,	Kapasitas maksimum	284.72	kg/s
3,	Kapasitas aktual operasi	915.40	ton/jam
4,	Temperatur HP steam	540.00	deg C
5,	Tekanan HP steam	152.40	barg
6,	Enthalphy HP steam	810.00	kCal/kg
7,	Temperatur flue gas	158.50	deg C
8,	Kadar oksigen di flue gas	2.58	% Vol
9,	Excess air	14.01	% Vol
10,	Kadar CO2 di flue gas	16.23	% Vol
11,	kadar CO di flue gas	220.00	ppm
12,	Kadar N2	81.19	%
13,	Temperatur udara luar	32.00	deg C
14,	Relatif Humidity	61.32	%
15,	Temperatur BFW	244.00	deg C
16,	Enthalphy BFW	252.00	kCal/kg

tgl 12 Oktober 2017

Hasil Pengukuran pada 100% load

Boiler Unit #1 beban 915.4 ton/jam	
Beban boiler (ton/H)	915
Jam pengukuran	16.20 - 18
O2 di flue gas (% dry)	2.1
CO di flue gas (ppm)	2
T flue gas before APH (deg C)	3
T flue gas after APH (deg C)	15
T dinding boiler (insulasi), C	40
Steam Pressure (barg)	15
T BFW (deg C)	2
T furnace (deg C)	5
T udara luar (amb. Deg C)	
Gravimetri Flowrate Coal (t/h)	17
Coal rejected (pyrite) (kg)	1
Total Power Consumed/PS (kW)	142

Analisis Data

A. Perhitungan Losses

I. Luc LUC - Heat loss krn Carbon in ash 10.30 BTU/lb

II. LG Heat loss disebabkan dry flue gas
 $LG = W_g \times C_{pg} \times (T_g - T_a)$
 $W_g = 7.126$

Perhitungan udara pembakaran stoichiometri

1 kg C memerlukan O2	2.67	kg
1 kg H memerlukan O2	8.00	kg
1kg S memerlukan O2	1.0	kg
Comb . Air Stoch./ kg Coal	6.637	kg(alr)

Perhitungan Cp Dry Flue Gas

No.	Komp.	CP(kcal/kg)	Cp(BTU/lbs)	Mass (kg)
1,	CO2	0.205	0.205	1.630
2,	O2	0.217	0.217	0.22
3,	N2	0.248	0.248	5.75
4,	SO2	0.220	0.220	0.003
5,	Total	0.238	0.238	7.599

Produk pembakaran batubara

1,	Produk CO2	1.630	kg
2,	Produk H2O	0.395	kg
3,	Produk SO2	0.003	kg
4,	Produk N2	5.04	kg
5,	Produk flue gas (stoch.) dry	6.68	kg
6,	Produk flue gas pada excess air	7.61	kg
7,	N2 di flue gas pada excess air	5.75	kg
8,	O2 di flue gas pada excess air	0.22	kg

II. LG - Heat los krn dry flue gas

1,	Cpg	0.238	BTU/lb
2,	T flue gas	158.50	deg C
3,	T amb.	32.00	deg C
4,	Wg	7.126	
5,	LG dry F.G loss	385.97	BTU/LB

III. Lmf -Heat loss krn moister di bahan bakar

1,	Enthal. St. tek 0,1 bar temp. 158.2 deg C	662	kCal/kg
2,	Enthalpy air tek 0,1 bar temp. 32 deg C	30	kCal/kg
3,	Lmf - heat loss disebabkan moister	382.12	BTU/Li

IV. LH -Heat loss krn pemb. hidrogen di bahan bakar

1,	Enthal. St. tek 0,1 bar temp. 158.2 deg C	662	kCal/kg
2,	Enthalpy air tek 0,1 bar temp. 32 deg C	30	kCal/kg
3,	Kadar hidrgen di bahan bakar	4.39	% W
4,	LH -Heat loss krn bakar hidrogen	446.55	BTU/Li

V. LmA--> Heat loss disebabkan moister di combustion air

1,	1 lbs fuel exess air 35 % need comb.air	8.96	lbs
2,	Moister in 1 lbs air Air 32deg C 70 % RH	140	grain/lk
3,	Total moister in comb air	0.18	Lbs
4,	LmA - heat loss krn moistr di comb.air	25.81	BTU/lk

VI. Lrc Radiation & convection loss

Dihitung dengan Standar formula:
$$\text{Radiation \& Convection Loss}$$

$$\ln Lrc = 1,88 - 0,4288$$

$$Lrc \% \text{ loss, } Ms - \text{kapasitas bol}$$

1,	Kapasitas boiler	1,025.00	ton/H
2,	Kapasitas boiler	284.7	kg/s
	Ln (Lrc)	-0.543	
	Lrc =	0.58	
3,	Lrc loss (prosentase)	0.58	%
	Coal flowrate	172.50	t/h
		380,297	lb/h
	Heat Loss (BTU/h)	18,334,307	BTU/h
4,	Lrc hasil	48.21	BTU/lbs

VII. Lco Heat Loss karena terbentuknya CO

LCO --> Heat loss disebabkan terbentuknya CO

$$LCO = (CO / (CO_2 + CO)) \times 10160 \times Cb$$

 Ket. : Cb kandungan carbon di bahan bakar (% berat)

1,	Kadar CO dalam flue gas	0.0220	%
2,	Kadar CO2 dalam flue gas	16.2	%
	fraksi (CO/ (CO2+CO))	0.00135	
	Cb (Fixed Carbon in Coal)	36.09	%
3,	Lco	4.96	BTU/lbs

VIII. Lp Heat Loss karena Sensible Heat Ash

Dihitung dg formula:
$$c = (Cp_{ash} \times (T_{out} - T_{amb}) \times W_{bottom_ash}) / W_{coal}$$

1,	Heat capacity (Cp) bottom ash	0.200	BTU/lb. °F
2,	T furnace (bottom), design value	798.0	oC
		1,468.4	oF
	T amb	32.0	oC
		89.6	oF
	Flow mass bottom ash	2.28	t/h
	Flow mass Coal (form DCS)	172.50	t/h
3,	Lp	3.65	BTU/lbs

--> ref. : http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-solids-d_154.html

IX. Lf Heat Loss karena Puverized rejected

1,	Berat pyrite (hasil timbangan)	125.000	kg
	Lama pengujian (test)	2	jam
2,	Berat coal rejected per jam	0.063	t/h
		137.79	lb/h
3,	GHV COAL	10,027.8	BTU/lbs
4,	Lf (berat prite/jam * GHV)/ flow Coal	3.63	BTU/lbs

B. Efisiensi Boiler

$$\text{Efisiensi} = \frac{(\text{Heat Fuel input} - \text{Heat Total loss}) \times 100\%}{(\text{Heat fuel input}) + (\text{Heat Credit})}$$

Efisiensi Boiler(HHV atau GHV based)

1,	Total Loss aktual	1,311.21	BTU/Lb
2,	Heat Credit (power consumed)	14,240.00	kWh/h
		48,588,902	BTU/h
3,	Heat Credit per lb	127.77	BTU/lbs
4,	(Heat Fuel input- Heat Total loss) =	6,989.67	BTU/lbs
5,	(Heat fuel input + Heat credit) =	8,428.64	BTU/lbs
6,	Efisiensi Boiler (HHV or GHV)	82.93	%

Menghitung Losses Lmf dan LH pada Efisiensi Boiler (LHV based)

Lmf -Heat loss krn moister di bahan bakar

1,	Enthal. St. tek 0,1 bar temp. 158.2 deg C	662	kCal/k
2,	Enthalpy air tek 0,1 bar temp. 158.2 deg C	632	kCal/k
3,	Kadar moister di bahan bakar	33.59	% W
4,	Lmf - heat loss disebabkan moister	18.14	BTU/l

LH -Heat loss krn pemb. hidrogen di bahan bakar

1,	Enthal. St. tek 0,1 bar temp. 158.2 deg C	662	kCal/k
2,	Enthalpy air tek 0,1 bar temp. 158.2 deg C	632	kCal/k
3,	Kadar Hidrogen di bahan bakar	4.39	% W
4,	LH -Heat loss krn bakar hidrogen	21.20	BTU/l

Menghitung NHV value :

$$NHV = GHV - (212,1 \times \% H + 24,42 \times \% \text{Moister})$$

NHV Coal value :	16,200.74	kJ/kg
	3,870.22	kCal/kg
	6,966.39	BTU/lb

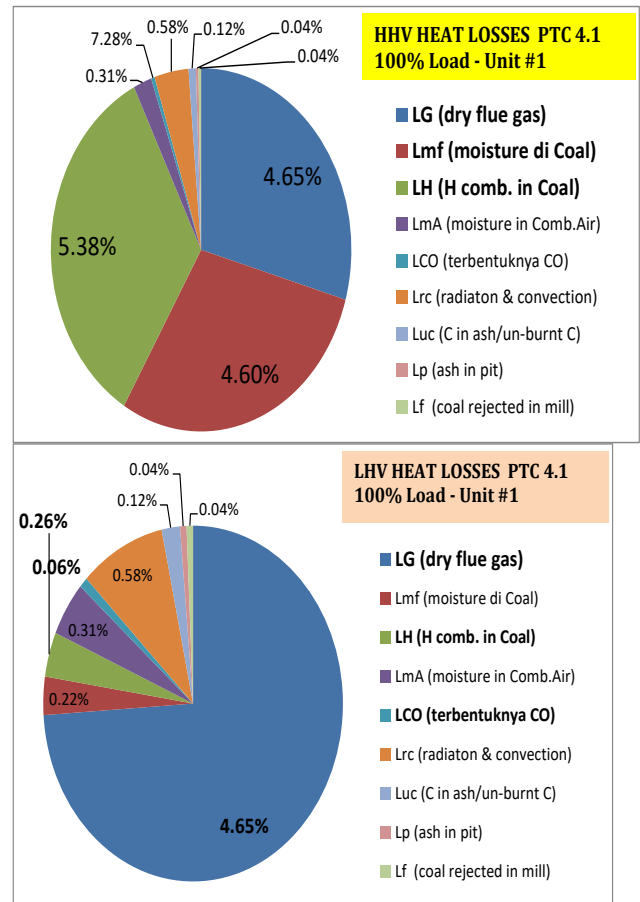
Efisiensi Boiler (LHV atau NHV based)

1,	Total loss NHV based	521.87	BTU/lbs
2,	Heat Credit per lb	127.77	BTU/lbs
3,	(Heat Fuel input- Heat Total loss) =	6,444.52	BTU/lbs
4,	(Heat fuel input + Heat credit) =	7,094.16	BTU/lbs
5,	Efisiensi boiler (LHV or NHV)	90.84	%
6,	Efisiensi boiler (LHV) DESIGN EFF.	93.10	%
7,	Efisiensi boiler (LHV) ENSURE EFF.	92.71	%

Berikut rekap losses yang terjadi pada Boiler dengan beban 100% dengan metode perhitungan heat losses PTC 4.1 :

Rekap Losses PTC 4.1 - Load 100%

Komponen Losses PTC 4.1	Losses (BTU/Lb)		HHV based Calculation		LHV based C
	HHV, BTU/lb	LHV, BTU/lb	% HHV	% Losses	% LHV
LG (dry flue gas)	385.97	385.97	4.65%	29.4%	4.65%
Lmf (moisture di Coal)	382.12	18.14	4.60%	29.1%	0.22%
LH (H comb. in Coal)	446.55	21.20	5.38%	34.1%	0.26%
LmA (moisture in Comb.Air)	25.81	25.81	0.31%	2.0%	0.31%
LCO (terbentuknya CO)	4.96	4.96	0.06%	0.4%	0.06%
Lrc (radiation & convection)	48.21	48.21	0.58%	3.7%	0.58%
Luc (C in ash/un-burnt C)	10.30	10.30	0.12%	0.8%	0.12%
Lp (ash in pit)	3.65	3.65	0.04%	0.3%	0.04%
Lf (coal rejected in mill)	3.63	3.63	0.04%	0.3%	0.04%
% Total Losses :			15.80%	100.0%	6.29%

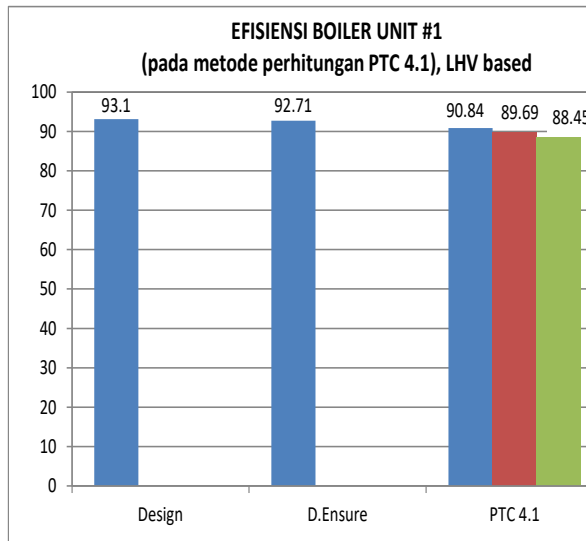


Gambar 3. Grafik komponen rugi-rugi pada heat loss (HHV dan LHV basis)

a. Performa (efisiensi) Boiler

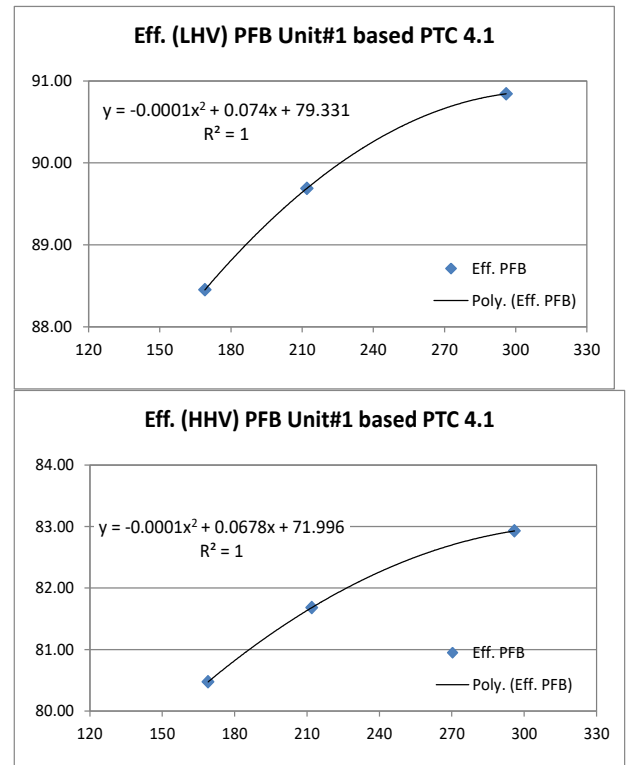
Perbandingan hasil evaluasi perhitungan performa (efisiensi) boiler Unit #1 PLTU Labuan 2 Banten berdasarkan metode heat loss ASME PTC 4.1 dapat dilihat seperti berikut:

Test pada %Load - basis	Efficiency Calculation (PTC vs Design), %				
	PTC 4.1	Design	Ensure	Selisih Design	Selisih Ensure
97%-HHV	82.93				
97%-LHV	90.84	93.1	92.71	2.26	1.87



Pada grafik diatas terlihat bahwa performa (efisiensi) Boiler Unit #1 pada pengujian beban maksimum (100% MCR) masih lebih rendah dibandingkan dengan efisiensi pada saat comissioning (design *ensure*) yaitu lebih rendah 2,26%. Perbedaan penurunan efisiensi ini disebabkan batubara yang digunakan pada design berbeda dengan batubara yang digunakan pada saat performa test (audit energi). Pada design digunakan batubara dengan kalori 5000 kCal/kg, sedangkan pada saat *performance test* (audit energi) saat ini adalah rata-rata adalah sekitar 4200 - 4500 (GHV *corrected*) kCal/kg.

Berikut hasil hitungan performa (efisiensi) boiler Unit #1 PLTU Labuan 2 Banten dengan metode PTC 4.1 heat losses pada pengujian berbagai beban:



Gambar 4. Kurva performa (efisiensi) boiler pada berbagai test beban

b. Performa (efisiensi) Mill atau Pulveriser

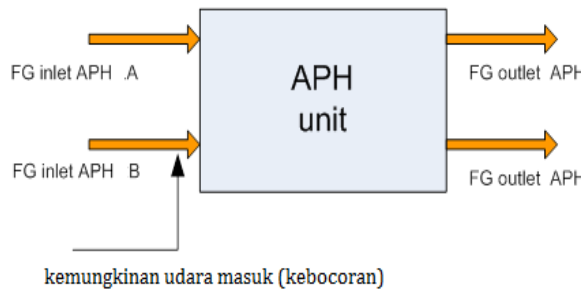
Dari assesmen pada pulverized dengan mengambil sampel pyrite yang ada selama pengujian, maka bisa dilakukan evaluasi terhadap jumlah *rejected pulverized* dibandingkan dengan batubara yang terkirim ke furnace (pembakaran). Berikut ini data dan prosentasi efektifitas pulverized selama pengujian (audit energi) di Boiler Unit #1 PLTU Labuan 2 Banten :

%Beban	Lama Test (jam)	Berat Pyrite (kg)	Batubara masuk (kg)	% Rejected Pulverized	%Efektifitas
97.0%	2	125	172500	0.072%	99.93%
75%	2	98	162800	0.060%	99.94%
56.3%	2	70	115470	0.061%	99.94%
Rata-rata				0.064%	99.936%

Dari tabel hitungan efektifitas pulverizer diatas maka dapat dikatakan bahwa performa puvrizer masih baik yaitu dengan rejected pulverizer (*pyrite*) rata-rata hanya sebesar 0.064% (< 0,1%) sehingga efektifitas pulverized rerata sekitar 99,936%.

c. Performa Air Preheater (APH)

Dari hasil pengukuran kadar O₂ di sampling point APH (titik A adalah sampling point sebelum APH dan titik B adalah sampling point setelah APH), maka bisa dilakukan evaluasi tingkat kebocoran di APH sebagai berikut:



Gambar 5. Diagram proses pertukaran media panas di air pre-heater (APH) di boiler

Kasus pada beban 97% (maksimum):

- ✓ %O₂ rerata point 1A (inlet) = 2,47%
- ✓ %O₂ rerata point 1B (outlet) = 2,56%
- ✓ Selisih %O₂ outlet - inlet = 0.09%
- ✓ Flowrate flue gas (dry) dari simulasi Boiler Unit 1 = 1312 t/h
- ✓ Densitas Flue gas = 1,40 kg/m³
- ✓ Densitas udara ambient = 1,287 kg/m³
 - Menghitung volumetrik flow Flue gas 1B = $1312/2 \times 1000 \text{ (kg/jam)} / 1,4 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 468571 \text{ m}^3/\text{jam}$
 - Menghitung tambahan O₂ pada flue gas 1B = $468571 \times 0.09\% \text{ (m}^3/\text{jam)} = 421,7 \text{ m}^3/\text{jam}$
Udara ambient mengandung O₂ sebesar 21%.
 - Menghitung tambahan Udara ambient masuk APH = $421,7 / 21\% \text{ (m}^3/\text{jam)} = 2008 \text{ m}^3/\text{jam}$
 $= 2008/1000 \times 1.287 \text{ t/jam}$
 $= 2,58 \text{ ton/jam udara}$

- Dengan total flowrate flue gas pada beban 100% di Boiler Unit 1 sebesar 1312 t/h, maka prosentase kebocoran di APH Unit 1 hanya sebesar : $= 2,58 / 1312 \times 100\% = 0,19\%$ (kecil).

Dapat dikatakan bahwa APH Unit 1 masih baik dan tidak ada kebocoran. Kemungkinan selisih (kebocoran sebesar 0,19% hanya dari faktor ketelitian pengukuran %O₂ dalam flue gas saja). Sebagai rekomendasi untuk monitoring kebocoran di APH, sebaiknya dipasang sensor O₂ pada inlet dan outlet di masing-masing sisi A dan B di APH ini sehingga dengan menggunakan sensor O₂ dan metode perhitungan diatas, maka bisa dilakukan monitoring apakah APH mengalami kebocoran udara luar atau tidak.

IV KESIMPULAN

1. Pada perhitungan efektifitas pulverizer diatas maka dapat dikatakan bahwa performa pulverizer masih baik yaitu dengan rejected pulverizer (*pyrite*) rata-rata hanya sebesar 0.064% (< 0,1%) sehingga efektifitas pulverized rerata sekitar 99,936%.
2. Sehingga dapat dikatakan bahwa APH Unit 1 masih baik dan tidak ada kebocoran. Kemungkinan selisih (kebocoran sebesar 0,19% hanya dari faktor ketelitian pengukuran %O₂ dalam flue gas saja)

V DAFTAR PUSTAKA

- [1] Laporan Pengujian Heat Rate dan Efisiensi PLTU Suralaya Unit 3 dan Unit 5, Tim Heat Rate PT. PLN (Persero), PUSLITBANG 2015
- [2] *The American Society of Mechanical Engineers, Fired Steam Generator Performance Test Code 4*, 2008
- [3] *The American Society of Mechanical Engineers, Steam Turbine, Performance Test code 6*, 2004
- [4] *The American Society of Mechanical Engineers, Overall Performance, PTC 46*

- [5] *The American Society of Mechanical Engineers, Boiler Test, PTC 4-1*
- [6] ANSI/ASME PTC 17 - 2012
"Reciprocating Internal Combustion Engine"
- [7] *Wärtsilä Performance Test Procedure*
- [8] ANSI/ASME PTC 4.1 - 1961 *"Steam Generators, Performance Test Codes"*
- [9] *Modern Power Station Practice, Third Edition, Volume G Station Operation and Maintenance, 1991*
- [10] *Babcock & Wilcock, Steam Its Generating and Use, Babcock & Wilcock co*
- [11] *Black & Veatch, Power Plant Engineering, Lawrance F. Arbal*