

POWERPLANT

Arief Suardi Nur Chairat
Vendy Antono

Rancang Bangun Metode Pembelajaran Praktikum CAD/CAM Dengan Menggunakan Perangkat Lunak Gratis

Hendri
Suhengki
Panji Ramadhan

Analisa Efisiensi Boiler Dengan Metode Heat Loss Sebelum dan Sesudah Overhaul PT. Indonesia Power UBP PLTU Lontar Unit 3

Eko Sulistyو
Fadel Muhammad

Analisis Kekuatan Pipa Glass-Fiber Reinforced Epoxy Terhadap Beban Impak, Beban Tekuk, dan Beban Tekan di JOB Pertamina-PetroChina East Java

Roswati Nurhasanah

Pengaruh Penggunaan LSHX terhadap Performance Mesin Pendingin Dengan Laju Aliran Massa yang Sama Pada Kondisi Transient

Utami Wahyuningsih
Kartiko Eko Putranto
Edy Supriyadi

Strategi Pengembangan dan Pelayanan Industri Optik Untuk Meningkatkan Minat Pelanggan Agar Kembali (Studi Optik XYZ Bekasi)

Suhengki
Prayudi

Pengaruh Beban Pendingin terhadap Kinerja Mesin Pendingin Dengan refrigerant R134a dan MC134

Prayudi
Hendri
Dimas Indra Wijaya

Analisis Performa Kondensor Sebelum dan Sesudah Overhaul di PT. Indonesia Power UJP PLTU Lontar Banten Unit 3



SEKOLAH TINGGI TEKNIK-PLN

JURNAL POWERPLANT

Vol. 4

No. 4

Halaman
211-287

Mei
2017

ISSN
2356-1513

ANALISA EFISIENSI BOILER DENGAN METODE *HEAT LOSS* SEBELUM DAN SESUDAH OVERHAUL PT. INDONESIA POWER UBP PLTU LONTAR UNIT 3

Hendri^{1,a*}, Suhengki^{2,b}, dan Panji Ramadhan³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin STT- PLN (STT-PLN) Menara PLN Jl Lingkar Luar Barat Duri Kosambi Cengkareng Jakarta Barat Indonesia, 11750

^ahendri.dumas@yahoo.co.id, ^bsuhengki@yahoo.co.id

ABSTRAK

Salah satu komponen utama dari PLTU ialah boiler. Efisiensi boiler sangat berpengaruh pada efisiensi termis pembangkit. Untuk mempertahankan efisiensi boiler sesuai desain perlu dilakukan kegiatan perawatan berkala termasuk overhaul. Dengan diagram Sankey dapat dilakukan analisis ketidak efisiensi boiler. Pada paper ini dilakukan analisa efisiensi boiler PLTU Banten 3 Lontar dengan metode kerugian panas dan diagram Sankey. Dari hasil analisis diperoleh efisiensi boiler sebelum overhaul 82.87% dan sesudah overhaul 83.80%. Dibandingkan dengan standar desain terjadi penurunan efisiensi boiler sebesar 10.38% sebelum overhaul dan 10.18 % setelah overhaul. Terdapat tiga unsur dengan prosentase kehilangan panas terbesar yang mempengaruhi efisiensi boiler yaitu kehilangan panas karena gas buang kering (6.01%-6.11%), kehilangan panas moister bahan bakar (4,9%-5,1%), dan kehilangan panas karena pembakaran hidrogen (3.9%-5.0%). Dari analisis diperoleh juga terdapat tiga unsur bahan bakar yang berpengaruh pada pembentukan kehilangan panas yang berpengaruh pada efisiensi boiler yaitu carbon (46%-52%), kelembahan moister (27%-33%) dan oksigen (11%-13%). Kegiatan perawatan berkala dan overhaul secara signifikan berpengaruh pada efisiensi boiler.

Kata Kunci: efisiensi boiler, overhaul, metode kehilangan panas, diagram Sankey.

ABSTRACT

One of the main components of the power plant is boiler. Boiler efficiency is very influential on the plant thermal efficiency. To maintain the efficiency of the boiler according to the design need to do maintenance activities, including overhaul. Sankey diagram to do with lack of analysis of the efficiency of the boiler. In this paper to analyze the efficiency of boiler power plant Banten 3 Lontar method of heat loss and Sankey diagram. The results of analysis of boiler efficiency before overhaul 82.78 and after overhaul 83.80%. Compared with the standard design of a drop in efficiency of the boiler before overhaul 10.:38% and 10.18% after overhaul activities. There are three elements to the largest percentage of heat loss which affects the efficiency of boilers that heat loss due to dry flue gas (6.01% -6.11%), heat loss moister fuels (4.9% -5.1%), and loss of heat due to the combustion of hydrogen (3.9% -5.0%). Also from the analysis obtained there are three elements that influence fuel to the formation of heat loss which affects the efficiency of the boiler, this is carbon (46% -52%), humadity moister (27% -33%) and oxygen (11% -13%). Maintenance and overhaul activities significantly affect the boiler efficiency.

Keywords: efficiency boilers, overhaul, heat loss method, Sankey diagram.

I. PENDAHULUAN

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau uap. Komponen penting pada boiler adalah burner, ruang bakar, penukar panas dan sistem kontrol. Komposisi yang tepat

dalam pencampuran antara bahan bakar dan udara di ruang bakar akan menghasilkan pembakaran yang sempurna. Panas yang dihasilkan ditransfer ke air melalui penukar panas. Uap panas lanjut pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk proses produksi

untuk memutar turbin uap yang akan menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik.

Didalam *boiler* terjadi proses pembakaran, prinsip dasar terjadinya pembakaran adalah segitiga api, dimana segitiga api ini terjadi apabila ada tiga komponen yaitu bahan bakar, udara pembakaran dan panas. Untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna diperlukan jumlah bahan bakar dan udara yang proporsional ataupun sesuai dengan kebutuhan, bila jumlah udara yang diberikan tidak cukup, maka pembakaran yang sempurna tidak akan tercapai. Fungsi dari udara pembakaran bersama dengan bahan bakar melakukan proses pembakaran didalam ruang bakar *boiler* (*furnace*). Proses pembakaran berlangsung terus menerus selama *boiler* beroperasi, pasokan udara pembakaran pun harus dilakukan secara kontinyu.

Efisiensi termis suatu ketel uap (*boiler*) merupakan salah satu isu penting dalam PLTU, dimana semakin besar efisiensi *boiler* maka energi listrik yang dihasilkan juga optimal. Efisiensi termis boiler didefinisikan sebagai prosentase energi (panas) masuk yang digunakan secara efektif pada uap yang dihasilkan. Salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi *boiler* adalah total udara pembakaran (pembakaran yang sempurna) dan nilai kalori bahan bakar batubara. Batubara sulit dikontrol karena bersumber langsung dari alam, sementara total udara pembakaran tadi dikontrol oleh *fan-fan* sebagai alat bantu di *boiler* yang digunakan untuk mengatur kebutuhan udara.

Beberapa hasil penelitian yang telah dipublikasikan antara lain Dalimunthe (2006) dalam papernya melaporkan bahwa tingkat efisiensi pembakaran gas alam cair pada *boiler* menggunakan metode tak langsung sebesar 71%. Dibandingkan dengan tingkat efisiensi *boiler* diatas 80%, maka boiler tersebut kurang efisien. Ketidakefisienan *boiler*, kemungkinan disebabkan oleh akses udara yang cukup besar serta kehilangan panas oleh gas buang, untuk itu efisiensi boiler perlu ditingkatkan lagi hingga mencapai tingkat efisiensinya (Dalimunte, 2006).

Pemakaian bahan bakar padat dengan komposisi bahan bakar yang memiliki efisiensi termis tertinggi diperoleh dari rasio bahan bakar 25% serabut : 75% cangkang, sedangkan bahan bakar yang memiliki efisiensi termis terendah diperoleh dari rasio bahan bakar 0% serabut : 100% cangkang. Besarnya selisih efisiensi

termis *boiler* yang dikaji menggunakan metode tidak langsung bila dibandingkan dengan hasil dari data sekunder yang didapat menggunakan metode langsung pada pemakaian bahan bakar 75% untuk serabut (*fiber*) dan 25% untuk cangkang (*shell*) adalah melebihi dari 5%, yaitu : 11,38% (Patisarana, 2012).

Peningkatan efisiensi *boiler* di Pabrik Teknik yang menggunakan 2 buah boiler dapat diperoleh dengan jalan mengontrol komposisi udara pembakaran dan bahan bakar, pemanfaatan gas buang untuk memanaskan udara pembakaran dan pemasangan *economizer*. Efisiensi Boiler 1 dapat ditingkatkan dari 80,6% menjadi 88,8 % dengan memasang air heater. Perbaikan efisiensi Boiler 2 dapat dilakukan dengan cara mengontrol komposisi udara pembakaran dan bahan bakar, pemanfaatan gas buang untuk memanaskan udara pembakaran dan pemasangan *economizer*. (Palaloi, 2014).

Dengan melakukan perawatan yang baik efisiensi *boiler* dapat dipertahankan sesuai efisiensi pada saat *komisioning*. Berdasarkan hasil trend efisiensi boiler PLTU Tanjung Jati B Unit 1 -2 dapat disimpulkan bahwa nilai efisiensi *boiler* yang tertinggi sebesar 89,60% pada unit 1 dan pada unit 2 89,62%, dimana keduanya pada saat COD. Nilai efisiensi *boiler* yang terendah untuk unit 1 sebesar 89,03% pada tahun 2010 (2nd) dan unit 2 sebesar 89,21% pada tahun 2011 (1 st). Efisiensi *boiler* stabil dari COD sampai 8 tahunan beroperasi. Perubahan efisiensi *boiler* yang sangat kecil ini menunjukkan bahwa kinerja *boiler* saat beroperasi sangat baik. Untuk itu harus selalu mempertahankan kondisi ini dengan melakukan perawatan dan penggantian *sparepart* yang standar agar pada saat penyerahan pemerintah Indonesia, PLTU Tanjung Jati B tersebut masih layak untuk dioperasikan. (Surindra, 2013)

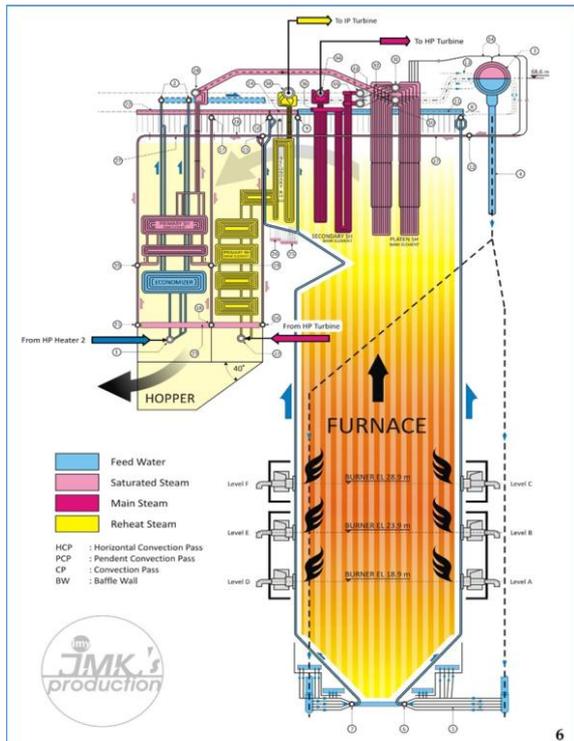
Dari hasil penelitian diatas bahwa banyak faktor yang mempengaruhi efisiensi boiler. Kinerja *boiler* mengalami penurunan signifikan disebabkan tidak terpenuhinya kebutuhan udara pembakaran, perawatan tidak dilaksanakan sesuai dengan standar. Guna mempertahankan kinerja *boiler* sesuai desain, maka setiap pembangkit melakukan *maintenance*. *Overhaul* merupakan perbaikan, pemeliharaan, dan pengujian secara menyeluruh dari suatu alat sampai diperoleh suatu kondisi yang bisa diterima. PLTU Bantu 3 Lontar berkapasitas 3x315 MW secara rutin melakukan kegiatan *overhaul* untuk mempertahankan efisiensi termis PLTU. Oleh karena itu pada penelitian ini akan

dikaji pengaruh kegiatan *overhaul* terhadap efisiensi *boiler*, dengan menggunakan metode tak langsung atau metode kerugian panas.

II. LANDASAN TEORI

Boiler dan Komponennya

Boiler berfungsi untuk merubah energi panas dari bahan bakar menjadi energi panas pada uap, terdiri dari tiga bagian utama yaitu *economizer* untuk memanaskan air menuju titik perpindahan fasa, *evaporator* untuk merubah fasa air menjadi uap dan *superheater* untuk memanaskan lanjut uap tersebut sampai suhu tertentu. Perpindahan panas pertama pertama perpindahan sub dingin dimana panas yang diterima digunakan untuk menaikkan temperatur hingga mencapai temperatur cair jenuh. Proses kedua yaitu pendidihan dengan konveksi paksa, dimana terjadi proses *boiling* fluida kerja air secara bertahap menjadi fluida uap dan akhirnya menjadi uap jenuh. Dalam bentuk skematik *boiler* digambarkan sebagai berikut.



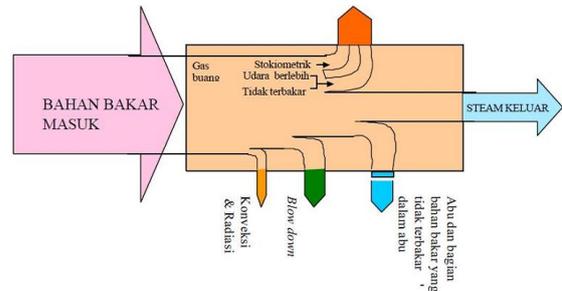
Gambar 1. Skematik Boiler

Secara umum bagian utama pertama adalah *main equipment* terdiri atas *Furnace* (ruang bakar), *Main steam drum*, *Super heater*, *Reheater*, *Risers* (pipa penguap), *Economizer*,

Burner. Sedangkan *auxiliary equipment* terdiri atas *Force draft fan*, *Induce draft fan*, *valves*, *control*, dan *instrument*. Bagian ketiga adalah *balance of boiler* yang terdiri atas *Deaerator*, *Feed water heater* dan *blowdown system*. Komponen-komponen utama *boiler* ini akan berpengaruh pada efisiensi *boiler*.

Neraca Panas Pada Boiler

Proses pembakaran dalam *boiler* dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir *energy* atau diagram *Sankey*. Pada Gambar 2, Diagram *Sankey* menggambarkan secara grafis tentang bagaimana energi masuk dari bahan bakar diubah menjadi aliran energi dengan berbagai kegunaan dan menjadi aliran kehilangan panas dan energi. Neraca panas merupakan keseimbangan energi total yang masuk boiler, yang meninggalkan *boiler* dalam bentuk yang berbeda. Tujuan dari pengkajian energi mengurangi kehilangan energi yang dapat dihindari, dengan meningkatkan efisiensi *energy boiler* (Hendaryati, 2012)



Gambar 2. Diagram Sankey Boiler (Hendaryati, 2012)

Pada Gambar 2, panah tebal menunjukkan jumlah energi yang dikandung dalam aliran masing-masing serta memberikan gambaran berbagai kehilangan yang terjadi pada *boiler*. Energi yang masuk *boiler* merupakan energi yang berasal dari bahan bakar, ada beberapa energi yang hilang selama proses pembakaran. Dengan diagram *Sankey* dapat diidentifikasi kehilangan panas karena gas buang, kehilangan panas karena uap dalam gas buang, kehilangan panas karena kandungan air dalam bahan bakar, kehilangan panas karena kandungan air dalam udara, kehilangan panas karena bahan bakar belum terbakar, kehilangan panas karena radiasi dan konveksi. Neraca panas dapat membantu

dalam mengidentifikasi kehilangan panas yang dapat atau tidak dapat dihindari. Uji efisiensi boiler dengan metode tak langsung dapat membantu menemukan penyimpangan inefisiensi boiler.

Efisiensi Boiler

Terdapat beberapa standar untuk menghitung efisiensi boiler yaitu standard German DIN 1942, IS 8753, American ASME Standard : PTC-4-1 *Power Test Code Steam Generations Units dan British Standar BS 845:1987*.(Bora, 2014). Dua standar yang biasanya digunakan mendefinisikan efisiensi boiler, yaitu standard German DIN 1942 yang didasarkan pada *lower heating value* (LHV) bahan bakar, dan kedua American ASME Standard : PTC-4-1 *Power Test Code* yang didasarkan pada nilai *higher heating value* (HHV) bahan bakar (Teir, 2002).

Efisiensi boiler mengukur seberapa besar kemampuan boiler untuk mengkonversikan nilai energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi panas (Surindra, 2013). Efisiensi boiler didefinisikan persentase jumlah masukan panas efektif yang digunakan digunakan untuk menghasilkan uap. Ada dua metode yang biasa digunakan untuk menentukan efisiensi boiler yaitu metode langsung (*input & output heat method*) dan metode tidak langsung (*heat loss method*) (Palaloi, 2014).

Metode langsung, dimana energi dari fluida kerja dibandingkan dengan kandungan energi dari bahan bakar boiler. Persamaan yang digunakan adalah :

$$\eta = \frac{\text{Heat output}}{\text{Heat input}} \times 100\% \tag{1}$$

atau,

$$\eta = \frac{m_u (h_s - h_w)}{m_{BB} \times (\text{HHV})_{BB}} \times 100\% \tag{2}$$

dimana m_u adalah massa uap, h entalpi, m_{BB} massa bahan bakar dan $(\text{HHV})_{BB}$ adalah nilai kalor bahan bakar. Keuntungan metode langsung, efisiensi boiler segera dapat dievaluasi, memerlukan sedikit parameter untuk perhitungan, memerlukan sedikit instrumen pengukuran, mudah membandingkan rasio penguapan dengan data benchmark. Sedangkan kelemahannya tidak memberikan petunjuk kepada operator tentang penyebab dari inefisiensi masing-masing sistem (Winanti, 2006).

Metode tidak langsung, efisiensi boiler dihitung berdasarkan pengurangan jumlah uap panas yang dihasilkan dengan rugi rugi panas yang terjadi. Metode perhitungan efisiensi tidak langsung pada boiler dapat menggunakan standar British Standard, BS 845: 1987 dan Amerika Serikat Standar ASME PTC-4.1. Metode tidak langsung juga disebut metode kehilangan panas. Keuntungan metode tidak langsung adalah dapat diketahui bahan dan energi yang lengkap setiap aliran, yang memudahkan mengidentifikasi alternatif untuk meningkatkan efisiensi boiler berdasarkan informasi kerugian panas. Adapun kerugian metode tak langsung adalah memerlukan fasilitas laboratorium yang lengkap untuk analisis. (Winanti, 2006).

Efisiensi boiler dapat dihitung dengan cara jumlah uap panas yang dihasilkan dikurangi dengan rugi rugi panas yang terjadi. Persamaan yang digunakan adalah,

$$\eta = 100 - \sum_{i=1}^n L_i \tag{3}$$

dimana L_i adalah losses yang dapat dicari dari diagram Sankey. Jenis-jenis kerugian panas pada persamaan (3) dimaksud adalah.

L1. Prosentase kehilangan panas akibat gas buang kering,

$$L1 = \frac{m \cdot C_{p_{fg}} (T_{fg} - T_a)}{(\text{HHV})_{BB}} \times 100 \tag{4}$$

dimana $m = m_{CO_2} + m_{N_2} + m_{O_2}$

L2. Prosentase kehilangan panas penguapan air yang terbentuk adanya H₂ dalam bahan bakar

$$L2 = \frac{9H_2 \{584 + C_{p_{SS}} (T_{fg} - T_a)\}}{(\text{HHV})_{BB}} \times 100 \tag{5}$$

L3. Prosentase kehilangan panas penguapan kadar air dalam bahan bakar

$$L3 = \frac{M \{584 + C_{p_{fs}} (T_{fg} - T_a)\}}{(\text{HHV})_{BB}} \times 100 \tag{6}$$

L4. Prosentase kehilangan panas karena kadar air dalam udara,

$$L4 = \frac{AAS \cdot h_{mdt} \cdot C_{p_{SS}} (T_{fg} - T_a)}{(\text{HHV})_{BB}} \times 100 \tag{7}$$

L5. Prosentase kehilangan panas pembakaran tidak sempurna

$$L5 = \frac{\%CO.C}{\%CO + \%CO_2} \times \frac{5744}{(\text{HHV})_{BB}} \times 100 \tag{8}$$

L6. Prosentase kerugian panas karena radiasi dan koveksi dinding

$$L6 = \frac{ABMA.(HHV_{BB} + \beta)}{(HHV)_{BB}} \quad (9)$$

L7. Prosentase kerugian panas karena fly ash yang tidak terbakar

$$L7 = \frac{TFA.HHV_{FA}}{(HHV)_{BB}} \times 100 \quad (10)$$

L8. Prosentase kerugian panas karena abu ash yang tidak terbakar

$$L8 = \frac{TBA.HHV_{BA}}{(HHV)_{BB}} \times 100 \quad (11)$$

III. METODOLOGI

Metode yang digunakan pada riset ini menggunakan metode deskriptif dengan melakukan studi kasus di PT. Indonesia Power UBP PLTU Banten Lontar Unit 3. Metode ini digunakan untuk mengetahui dan melakukan analisis efisiensi boiler sebelum dan sesudah overhaul. Pengambilan data dilakukan pada bulan Maret 2016. Adapun spesifikasi boiler, dan batubara disajikan pada tabel berikut ini.

Tabel 1. Spesifikasi Boiler PLTU Lontar Unit 3

Boiler Model		DG1025/17.4-II13		
Manufactur		Dong Fang Boiler Group Co.Ltd		
Superheated steam	Max. continuous evaporation	t/h	BMCR operating condition	BRL operating condition
	Rated evaporation	t/h	1025	976.2
	Outlet pressure	MPa	17.4	17.32
	Outlet temperature	C	541	541
Reheated steam	Flow	t/h	839.4	802
	Inlet/outlet pressure	Mpa	3.76/3.58	3.59/3.41
	Inlet/Outlet temperature	C	329/541	324/541
	Flue gas temperature of corrected	C	131	131
	Feedwater temperature	C	281	278
Drum pressure	Mpa	18.77	93.71	
Design efficiency	%		93.26	93.71

Sumber : PT. Indonesia Power UBP PLTU Banten Lontar

Tabel 2. Spesifikasi Bahan Bakar PLTU Lontar Unit 3

No	Designation	Symbol	Unit	Design coal	Worst coal	Variation range of coal
1	Carbon content as received basis	C	%	47.65	45.2	41.25-49.4
2	Hydrogen content as received basis	H2	%	3.35	3.15	3.375-4.55
3	Oxygen as received basis	O2	%	13	11.7	7-16.25
4	Nitrogen as received basis	N	%	0.77	0.7	0.375-0.975
5	Sulfur as received basis	S	%	0.23	45.2	0.1-0.23
6	Ash as received basis	Ash	%	5	4.5	3-6
7	Water as received basis	H2O	%	30	35	25-35
8	Net calorific as received basis	HHV	Kcal/kg	4200	3900	3900-4500

Sumber : PT. Indonesia Power UBP PLTU Banten Lontar

Pada riset ini, efisiensi boiler dihitung dengan pendekatan metode tak langsung. Dengan menggunakan data yang disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2, adapun langkah-langkah yang digunakan untuk menghitung efisiensi boiler adalah sebagai berikut.

Langkah 1. Menghitung kebutuhan udara teoritis

$$UT = \frac{11.43C + 34.5 \left(H2 - \frac{O2}{8} \right) + 4.32S}{100}$$

Langkah 2. Menghitung persen kelebihan udara (EA)

$$EA = \frac{\%O_2 \times 100}{21 - \%O_2}$$

Langkah 3. Menghitung massa udara sebenarnya (AAS)

$$AAS = \left(1 + \frac{EA}{100}\right) \times UT$$

Langkah 4. Menghitung kehilangan panas total (L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7 dan L8) menggunakan persamaan (4) sampai dengan (11)

Langkah 5. Menghitung efisiensi boiler dengan rumus (3).

Sedangkan teknis analisis yang digunakan pada paper ini adalah analisis unsur kandungan batubara sebelum dan sesudah *overhaul*, analisis persen kehilangan panas sebelum dan sesudah *overhaul* dengan menggunakan diagram Sankey, analisis efisiensi boiler sebelum dan sesudah *overhaul* dan analisis efisiensi boiler sebelum dan sesudah *overhaul* berdasarkan konsumsi batubara dan beban yang sama

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Overhaul adalah kegiatan pemeriksaan, perbaikan dan pengujian seluruh bagian dari komponen utama ataupun alat bantu boiler, baik yang bergerak maupun yang diam. Pekerjaan-pekerjaan yang dilaksanakan saat *overhaul* boiler oleh PT. Indonesia Power UBP PLTU Lontar antara lain inspeksi main drum, inspeksi CBD Tank, inspeksi make up water tank, inspeksi boiler fan, inspeksi *air preheater*, pencucian elemen *air heater*, inspeksi *coal feeder*, *inlet outlet ECF* dan *swing valve MSM*, inspeksi *coal bunner and secondary air damper*, inspeksi *oil gun*, *cleaning water jet wall tube*, inspeksi *dumper*, pembersihan abu, Inspeksi boiler IDF, boiler fan, dan pembersihan *fouling*.

Sesuai metodologi berikut ini pengolahan dan analisis data didasarkan atas *Performance Test* PLTU Banten Lontar Unit 3 pada beban (MCR) 100% sebelum dan sesudah *overhaul*. Kegiatan *overhaul* dilaksanakan pada akhir tahun 2015.

Tabel 4. Data Kinerja Boiler Pada Beban 100%

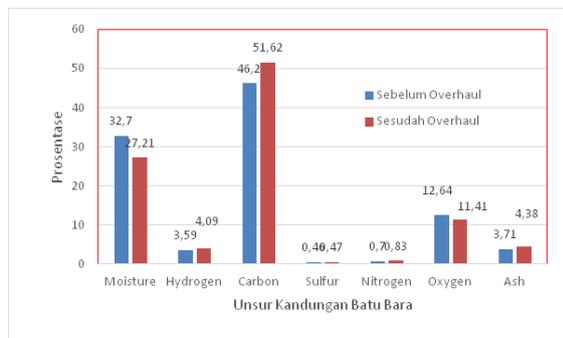
Boiler Performance	Satuan	Sebelum Overhaul	Sesudah Overhaul
Generator output power	MW	299.63	306.00
Fuel Firing Rate	T/hr	164.21	154.21
Steam Generation Rate	T/hr	965.751	966.399
Steam Pressure	MPa	16.16	15.95
Steam Temperature	C	539.48	539.15
Feed Water Temperature	C	273.78	273.56
%CO ₂ in Flue Gas	%	16.88	17.20
%CO in Flue Gas	%	0.00	0.00
Average Flue Gas Temp.	C	193.51	186.85
Ambient Temperature	C	30	30
Humidity in Ambient Air	kg/kg dry air	0.02	0.02
Radiation Loss per PTC 4.1	%	0.18	0.18
Heat credit spesification	%	0	0
HHV of Bottom Ash	kCal/kg	758	758
HHV of Fly Ash	kCal/kg	450	450
Ratio of Bottom Ash to Fly Ash		90:10	90:10
Fuel Analysis (in %)			
Ash Content in Fuel	% wt	3.71	4.38
Moisture in Coal	% wt	32.70	27.21
Carbon Content	% wt	46.20	51.62
Hydrogen Content	% wt	3.590	4.09
Nitrogen Content	% wt	0.70	0.83
Oxygen Content	% wt	12.640	11.41
Sulfur	% wt	0.460	0.47
HHV of Coal	% wt	4547	4877

Sumber : PLTU Banter 3 Lontar

Analisis Unsur Kandungan Batubara

Efisiensi boiler sangat dipengaruhi oleh nilai HHV bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan PLTU Lontar Unit 3 adalah batubara dimana nilai kalor HHV sebelum *overhaul* 4,547 kcal/kg dan sesudah *overhaul* 4,877 kcal/kg. Nilai HHV batubara telah memenuhi spesifikasi bahan bakar boiler seperti tercantum pada Tabel 2. Terlihat jelas bahwa nilai kalor batubara yang digunakan pada saat sebelum *overhaul* yaitu

4,547 kcal/kg lebih rendah dari pada nilai kalor sesudah overhaul 4,877 kcal/kg. Hal ini mengindikasikan dengan nilai HHV lebih besar bahwa efisiensi boiler setelah overhaul akan lebih tinggi, karena prosentase kehilangan panas setelah overhaul akan lebih rendah. Hal ini akan semakin jelas jika dilihat dari unsur kandungannya, yang disajikan pada gambar berikut.



Gambar 3. Kandungan Unsur Batubara (%) PLTU Lontar Unit 3

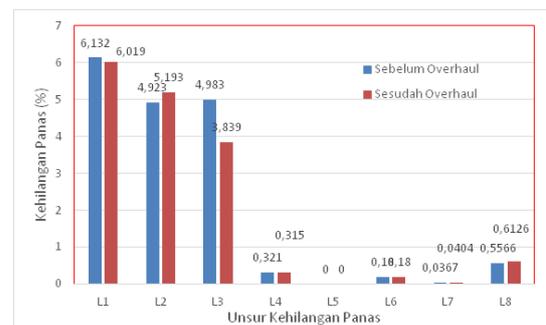
Dari gambar 3, terdapat 3 (tiga) unsur utama prosentasenya lebih dari 10% yang terkandung dalam batu bara yaitu Carbon (46-52%), Moisture (27-33%) dan Oksigen (11-13%), unsur yang lain kurang dari 10%. Jika dibandingkan dengan standar batubara pada Tabel 2, kandungan carbon, oksigen dan moisture dalam bahan bakar memenuhi standar yang ditetapkan. Dengan jumlah unsur karbon dan HHV yang lebih besar dari pada standar yang ditetapkan maka panas yang dihasilkan akan lebih besar sehingga efisiensi boiler akan meningkat.

Selain itu dari analisa ultimate dan proximate bahwa kandungan karbon, hydrogen, sulfur, oksigen, moisture dan abu didalam batubara itu sendiri sangat mempengaruhi nilai kehilangan panas di ruang bakar boiler. Kandungan hidrogen pada batubara yang digunakan sebelum overhaul sebesar 3.59 % dan sesudah overhaul 4.09% kandungan hidrogen yang lebih besar pada batubara yang digunakan pada saat sesudah overhaul menyebabkan kehilangan panas karena kelembaban dari pembakaran hydrogen sesudah overhaul lebih besar 5.193% sementara sebelum overhaul lebih kecil 4.923%. Demikian juga kandungan ash yang lebih dari 3%, akan berdampak pada kehilangan panas, dan pada akhirnya mempengaruhi efisiensi boiler.

Analisis Persentase Kehilangan Panas

Menurut persamaan (3), terdapat 8 elemen yang mempengaruhi kehilangan panas total. Dan sesuai dengan metode analisis berikut ini disajikan gambar prosentase kehilangan panas pada boiler PLTU Banten Lontar Unit 3 sebelum dan sesudah overhaul.

Dari Gambar 4, terlihat terdapat tiga faktor yang berpengaruh pada efisiensi boiler dimana prosentase kehilangan panasnya lebih dari 1% baik pada kondisi sebelum overhaul dan sesudah overhaul yaitu prosentase kehilangan panas gas buang kering (L1), prosentase kehilangan panas moisture/kadar air bahan bakar (L2) dan prosentase kehilangan panas moisture dari pembakaran hydrogen (L3). Sedangkan unsur lain prosentasenya sangat rendah. Artinya kerugian kalor untuk menguapkan air yang terdapat dalam udara pembakaran, kerugian kalor karena pembakaran yang tidak sempurna dari gas CO₂, kehilangan panas karena radiasi dan konveksi, kehilangan panas karena abu, dan kerugian kalor yang tidak bisa dihitung tidak signifikan mempengaruhi efisiensi boiler. Kecilnya kerugian panas ini menunjukkan bahwa kegiatan overhaul berdampak positif pada penurunan rugi-rugi kehilangan panas dalam boiler.



Gambar 4. Unsur Kehilangan Panas Boiler

Kehilangan panas gas buang kering sebelum overhaul kehilangan panas sebesar 6.132% dan sesudah overhaul sebesar 6.019%, hal ini terjadi karena temperatur gas buang kering yang masih cukup tinggi setelah melewati Air Heater dibandingkan dengan udara sekitar. Semakin tinggi temperatur keluar maka nilai kehilangan panas karena gas buang kering yang keluar dari boiler. Terjadinya peningkatan panas pada gas buang boiler disebabkan oleh karena kurang berfungsinya permukaan tube-tube didalam boiler dalam menyerap panas yang disebabkan tube-tube boiler mengalami slaging

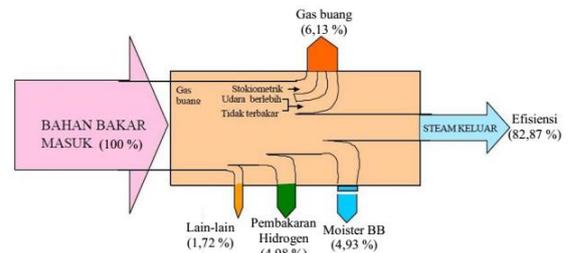
atau *fouling*. Timbulnya kerak pada permukaan *tube-tube* berasal dari air yang dipakai ataupun berasal dari bahan bakar yang tidak bisa dihindari sehingga proses perpindahan panas yang mana dalam hal ini untuk memanaskan air (*feed water*) menjadi uap mengalami penurunan, atau karena bahan bakar yang digunakan kurang baik.

Prosentase kehilangan panas *moisture*/ kadar air ini disebabkan adanya *moisture* (kandungan air) dalam bahan bakar. Kehilangan panas akibat kelembaban dari pembakaran hydrogen (H_2) menghasilkan produk berupa air. Kandungan *hydrogen* tersebut berasal dari batubara yang digunakan. Kehilangan panas ini tidak bisa dihindari, tetapi dapat diminimalisir dengan cara menentukan batubara yang digunakan harus sesuai dengan spesifikasi dan standar seperti tercantum pada Tabel 2. Kehilangan panas kelembaban dari pembakaran *hydrogen* pada saat sebelum *overhaul* sebesar 4.923% dan pada saat sesudah *overhaul* yaitu sebesar 5.193%. Artinya terjadi kenaikan nilai kehilangan panas sebesar 0.27%, yang disebabkan karena analisa kandungan *hydrogen* pada batubara yang digunakan pada saat sesudah *overhaul* lebih besar yaitu 4.09% sedangkan pada sebelum *overhaul* hanya 3.59% sehingga mempengaruhi nilai kehilangan panasnya.

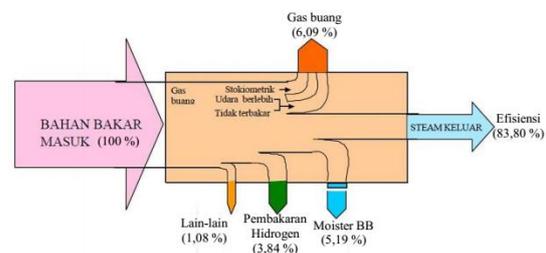
Kehilangan panas *moisture* dari pembakaran *hydrogen* ini disebabkan karena kandungan unsur hidrogen (H) dalam bahan bakar, yang bila terbakar akan bereaksi dengan oksigen dari udara dan berbentuk uap air (H_2O). Maka fungsi sistem udara primer dalam hal ini *primary air fan* harus dioptimalkan karena selain berfungsi sebagai udara transportasi serbuk batubara ke *furnace* juga berfungsi sebagai pengering batubara tersebut yang mana bertujuan untuk mengurangi kandungan air didalam batubara itu sendiri. Untuk itu harus dilakukan pemeliharaan rutin pada alat bantu *boiler* agar beroperasi sesuai fungsinya dan membantu meningkatkan efisiensi *boiler*. Nilai kehilangan panas karena kelembaban atau *moisture* di batubara pada saat sebelum *overhaul* yaitu 4.98% terjadi penurunan sesudah dilakukan *overhaul* yaitu 3.839%, artinya kegiatan *overhaul* seperti Inspeksi *boiler fan* atau *primary air fan*, Inspeksi *coal feeder*, inspeksi *air preheater*, pencucian elemen air *heater* cukup dapat mengurangi kehilangan panas karena kelembaban di batubara sebesar 1.144%.

Analisis Efisiensi Boiler Sebelum dan Sesudah Overhaul

Dengan pendekatan diagram Sankey, efisiensi *boiler* dengan metode tak langsung untuk kondisi sebelum *overhaul* dan setelah *overhaul* disajikan pada Gambar 5 dan 6 berikut ini.



Gambar 5. Diagram Sankey Efisiensi Boiler Sebelum Overhaul



Gambar 6. Diagram Sankey Efisiensi Boiler Setelah Overhaul

Dari diagram Sankey pada Gambar 5, efisiensi *boiler* sebesar 82,87%, dan jika dibandingkan dengan desain terjadi penurunan efisiensi *boiler* sebesar 10,39%. Prosentase terbesar yang menyebabkan penurunan efisiensi *boiler* sebelum *overhaul* adalah kehilangan panas gas buang kering 6,13%, kehilangan panas *moister* bahan bakar 4,93 % dan kehilangan panas karena pembakaran hidrogen sebesar 4,98%, sedangkan unsur yang lain 1,72%. Sedangkan dari diagram Sankey Gambar 6, efisiensi *boiler* sebesar 83,80%, dan jika dibandingkan dengan desain terjadi penurunan efisiensi *boiler* sebesar 10,18%. Prosentase terbesar yang menyebabkan penurunan efisiensi boiler setelah *overhaul* dibandingkan dengan desain adalah kehilangan panas gas buang kering 6,09, kehilangan panas *moister* bahan bakar 5,19 % dan kehilangan panas karena pembakaran hidrogen sebesar 3,84%, sedangkan unsur yang lain 1,08%. Penurunan prosentase kehilangan panas dikarenakan terjadi penurunan kehilangan panas udara kering, dan unsur lainnya.

Dari diagram Sankey pada Gambar 5 dan Gambar 6 telah bahwa terjadi peningkatan nilai efisiensi boiler sebesar 0.93% dari sebelum *overhaul* ialah 82.87% dan sesudah *overhaul* terjadi peningkatan menjadi 83.80% artinya mungkin serangkaian kegiatan *overhaul* yang dilakukan dalam lingkup pekerjaan boiler tersebut hanya dapat meningkatkan sedikit efisiensi boiler. Dari kedua gambar terlihat bahwa efisiensi boiler terdapat tiga unsur yang mempengaruhinya yaitu kerugian pada gas buang kering, kadar air pada bahan bakar, dan kadar air pada pembakaran hidrogen. Untuk meningkatkan efisiensinya ketiga faktor ini perlu mendapatkan perhatian khusus dari operator.

Efisiensi boiler sesudah *overhaul* diketahui terdapat kenaikan efisiensi sebesar 0.93%, tanpa memperhatikan jumlah bahan bakar yang masuk dan beban yang keluar dari generator karena terdapat perbedaan. Jika efisiensi boiler yang didapat dibandingkan dengan beban yang sama, yaitu dengan mengalikan beban sesudah *overhaul* (306.00 MW) dengan efisiensi boilernya (83.80%) kemudian dibagi dengan beban listrik atau *output* generator sesudah *overhaul* (299.63 MW) hasilnya ialah 85.58% terjadi kenaikan efisiensi boiler yang lebih besar, dimana selisihnya ialah 2.71% jika dibanding dengan efisiensi boiler sebelum *overhaul*. Artinya dengan membandingkan beban yang sama maka akan didapat hasil efisiensi setelah *overhaul* yang lebih besar.

V. KESIMPULAN DAN SARAN-SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis diatas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Efisiensi boiler pada saat sebelum dilakukan *overhaul* yaitu 82.87% dan naik setelah dilakukan *overhaul* menjadi 83.80%. Kegiatan *overhaul* yang dilakukan dalam lingkup pekerjaan boiler dapat menaikkan sedikit efisiensi boiler yaitu sebesar 0.93%.
2. Jika dibandingkan dengan standar desain terjadi penurunan efisiensi boiler sebesar 10.38% sebelum *overhaul* dan 10.18 % setelah *overhaul*.
3. Terdapat tiga unsur dengan prosentase kehilangan panas terbesar yang mempengaruhi efisiensi boiler yaitu kehilangan panas karena gas buang kering

(6.01%-6.11%), kehilangan panas *moister* bahan bakar (4,9%-5,1%), dan kehilangan panas karena pembakaran hidrogen (3.9%-5.0%).

4. Terdapat tiga unsur bahan bakar yang berpengaruh pada pembentukan kehilangan panas yang berpengaruh pada efisiensi boiler yaitu carbon (46%-52%), kelembahan *moister* (27%-33%) dan oksigen (11%-13%).

Saran-saran

Untuk perhitungan efisiensi boiler dengan metode *heat loss* atau kehilangan panas sangat bergantung pada analisa sampel batubara yang digunakan baik itu analisa *ultimate* dan *proximate* maka dari itu analisa tersebut harus benar benar diukur dilaboratorium secara detail dan akurat agar hasil perhitungan yang didapat juga akurat.

Kegiatan *overhaul* dan pemeliharaan-pemeliharaan berkala lainnya harus dilakukan secara optimal agar peralatan utama dan alat bantu boiler dapat bekerja maksimal sehingga dapat meningkatkan efisiensi boiler.

REFERENSI

- [1] Alvin, *Laporan Bulanan Performance Test UJP PLTU Lontar Unit 3 Banten*, PT. Indonesia Power UJP PLTU Lontar Banten, 2015.
- [2] ASME (American Society of Mechanical Engineer), *PTC (Performance Test Codes) 12.2 1983*: Fans, New York, USA, 1983.
- [3] Arigayota Abd Rahman, *Bahan Bakar dan Pelumas*, Sekolah Tinggi Teknik – PLN (Jakarta, 2002).
- [4] Bora, M.K., and Nakkeeran, S., Performance Analysis From The Efficiency Estimation of Coal Fired Boiler, *International Journal of Advanced Research*, ISSN : 2320-5407, Vol 2 Issue 5, 2014 pp. 561-574
- [5] Bujak, J., *Mathematical modelling of a steam boiler room to research thermal efficiency*, Elsevier ScienceLtd, 2008.
- [6] Cengel, Y.A and Turner, *Fundamental of Thermal Fluid Sciences*, Mc.Graw Hill International Edition, 2001
- [7] Chayalakshmi C.L., D.S. Jangamshetti, Savita Sonoli, *Monitoring Boiler Efficiency using DASY Lab and a Case Study on Analysis of Boiler Losses*,

- International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering, Vol. 3, Issue 6, June 2015, pp 68-74
- [8] Chirag, A., Mehta, N., and Dabhi J., Research Paper on Analysis of Boiler Losses to Improve unit heat of coal fired thermal Power Plant, International Journal of Advance Engineering and Research Development (IJEARD), ISSN : 2348-6406, Vol 1 Issue 5 May 2014
- [9] Dalimunthe, D, Konservasi Energi di Kilang Gas Alam Cair/LNG Melalui Peningkatan Efisiensi Pembakaran pada Boiler, *Jurnal Teknologi Proses*, ISSN 1412-7814, 2006 hal 156-162.
- [10] Holman J.P, Heat Transfers, Tenth Edition, McGraw Hill Higher Education, USA, 2010.
- [11] Hendaryati, H., Analisis Efisiensi Termal pada Ketel Uap di Pabrik Gula Kebonagung Malang, *Jurnal Gamma*, ISSN: 2086-3071, Volume 8 Nomor 1, September 2012, hal 148-153, <http://ejournal.umm.ac.id/index.php/gamma/issue/view/239/showToc>
- [12] John B, Kitto and Steven C. Stultz, *Steam its Generation and Use, 41st edition*, The Babcock & Wilcox Company, Barberton, Ohio, U.S.A. 2005
- [13] Nagar, V., V. K. Soni, V. K. Khare, Boiler Efficiency Improvement through Analysis of Losses, International Journal for Scientific Research & Development| Vol. 1, Issue 3, 2013 | ISSN (online): 2321-0613, pp 801-805
- [14] Nag P.K., Power Plant Engineering, Thied Edition, Tata Mac.Graw Hill, New Delhi India, 2008
- [15] Patisarana, G. dan Hazwi W., Optimasilasai Efisiensi Termis Boiler Menggunakan Serabut dan Cangkang Sawit sebagai Bahan Bakar, *Jurnal Dinamis* Vol 1 No. 11, ISSN 0216-7492, Juni 2012 hal 22-26.
- [16] Palaloi, S., Analisis Potensi Penghematan Energi pada Boiler di Pabrik Tekstil, Proseding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi, SNAST, November 2014, ISSN : 1979-011X, Paper C-105-114.
- [17] Saidur R., J.U. Ahamed, H.H. Masjuki, "Energy, Exergy and Economic Analysis of Industrial Boilers," Elsevier Journal on Energy Policy, 2010, 2188-2197.
- [18] Winanti, W.S. dan Prayudi, T., Perhitungan Efisiensi Boiler Pada Industri-industri Tepung Terigu, *Jurnal Teknik Lingkungan*, ISSN : 1441-316X, Edisi Khusus, Juni 2006, hal. 58-65.
- [19] Surindra, M.D., Analisis Perubahan Efisiensi Boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tanjung Jati B Unit 1 dan 2, 2x660 Mega Watt, Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi VIII, STTN, Desember 2013 paper M 208-213.
- [20] Tarmizi Alvin Mizrawan dan Dimas Panji Andalatama, (2016), *Boiler Combustion Management System*. Banten: Karya Inovasi, PT Indonesia Power UJP PLTU Banten 3 Lontar.
- [21] Teir, S., and Kulla, A., Boiler Calculations, Steam Boiler Techonolge eBook, Helsinki University of Technology Department of Mechanical Enggining, Espoo, 2002.
- [22]*Operation Manual Book*, PLTU 3 Banten (3x315 MW).
- [23]Bureau of Energy Efficiency. *Energy Performance assessment of Boilers*. Page 1-29. Energy Hand book, Second Edition, Von Nostrand Reinhold Company-Robert L. Loftness
- [24]PT. PLN (Persero), *Modul Pusat Pendidikan dan Pelatihan (CEP-OM) Pembangkitan Operasi pada Boiler*. Volume (4), hal. 1-35, 2005.