

# EVALUASI KINERJA BOILER COMBUSTION FLUIDIZED BED (CFB) DI PT. PLN (PERSERO) UNIT PLTU BARRU

Arsyil Arham, Muh. Yusuf Septiawan<sup>1)</sup>, Chandra Bhuana, Musrady Mulyadi<sup>2)</sup>

**Abstrak:** Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau *steam*. Salah satu tipe dari boiler yaitu boiler *combustion fluidized bed* (CFB) dimana, boiler tersebut merupakan hasil *repowering* dan *redesign* dari boiler unggun fluidisasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar penurunan nilai efisiensi yang terjadi pada boiler CFB juga untuk mengetahui kinerja dari boiler CFB tersebut. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode langsung yaitu energi yang didapat dari fluida kerja (air dan *steam*) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar boiler. Kemudian dengan menggunakan metode tidak langsung yaitu efisiensi merupakan perbedaan antara kehilangan dan energi yang masuk. Hasil penelitian didapatkan nilai efisiensi boiler PLTU Barru unit 1 mengalami penurunan secara signifikan dengan menggunakan metode langsung sebesar 18,75 %, dimana pada kondisi operasi 13 Januari 2014 efisiensi boiler sebesar 89,21 %, sedangkan efisiensi boiler pada kondisi operasi 3 Juni 2014 sebesar 70,46 %. Untuk efisiensi boiler PLTU Barru unit 1 mengalami penurunan sebesar 3,84 % dengan menggunakan metode tidak langsung (kehilangan panas), dimana pada kondisi awal boiler saat beroperasi 75% dari 50 MW atau beban sekitar 37,5 MW tahun 2012 efisiensi boilemnya sebesar 87,94%, sedangkan efisiensi boiler pada kondisi operasi 3 Juni 2014 pada beban 36 MW sebesar 84,1%.

**Kata Kunci:** Boiler, *combustion*, efisiensi.

## I. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi panas dari uap yang digunakan untuk membangkitkan listrik melalui generator yang dikopel langsung dari turbin yang digerakkan oleh tenaga uap. Uap ini berasal dari perubahan fase air yang berada pada boiler akibat mendapatkan energi panas dari hasil pembakaran bahan bakar batubara. Komponen utama yang ada pada PLTU diantaranya boiler, turbin, generator, dan kondensor.

Salah satu unit pembangkit listrik tenaga uap yang dimiliki PT.PLN (Persero) adalah Sektor Pembangkitan Tello Unit PLTU Barru yang berada di dusun Bawasalo, desa Lampoko, kecamatan Balusu ± 1 km dari jalan utama trans Sulawesi Makassar-Parepare atau sekitar 15 km dari kota Barru dan 110 km dari kota Makassar, Sulawesi

---

<sup>1</sup> Alumni Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

<sup>2</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

Selatan. PLTU Barru beroperasi dengan menggunakan bahan bakar batu bara jenis lignit yang berkalori rendah dengan LHV: 3700 - 4700 kcal/kg yang terdiri dari 2 unit masing-masing dengan daya yang terpasang sebesar 50 MW yang terinterkoneksi dengan 150 kV SulSelrabar.

PLTU Barru sendiri mulai beroperasi pada tahun 2012, tetapi selama hampir dua tahun PLTU Barru banyak mengalami permasalahan, bahkan pada unit 1 PLTU Barru pernah tidak beroperasi selama  $\pm$  tiga bulan, sedangkan pada unit 2 PLTU Barru pernah mengalami keretakan pada dinding boiler. Hal ini disebabkan karena sistem pembakaran serta operasi dan pemeliharaan yang belum optimal, bahkan untuk boiler baru sekalipun (UNEP, 2008). Untuk itu dipandang perlu dilakukan Evaluasi Kinerja Boiler CFB di PLTU Barru. Dari hasil yang diharapkan dapat dilakukan tindak lanjut yang berdampak pada peningkatan kinerja boiler di PLTU Barru sekaligus untuk mempertahankan efisiensi boiler.

### A. Pengertian Boiler

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau steam. Air panas atau steam pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi steam, volumenya akan meningkat sekitar 1.600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga boiler merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik. (UNEP, 2008).

### B. Proses Kerja Boiler

Energi kalor yang dibangkitkan dalam sistem boiler memiliki nilai tekanan, temperatur, dan laju aliran yang menentukan pemanfaatan *steam* yang akan digunakan. Berdasarkan ketiga hal tersebut sistem boiler mengenal keadaan tekanan-temperatur rendah (*low pressure/LP*), dan tekanan-temperatur tinggi (*high pressure/HP*), dengan perbedaan itu pemanfaatan *steam* yang keluar dari sistem boiler dimanfaatkan dalam suatu proses untuk memanaskan cairan dan menjalankan suatu mesin (*commercial and industrial boilers*), atau membangkitkan energi listrik dengan merubah energi kalor menjadi energi mekanik kemudian memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik (*power boilers*). Namun, ada juga yang menggabungkan kedua sistem boiler tersebut, yang memanfaatkan tekanan-temperatur tinggi untuk membangkitkan energi listrik, kemudian sisa *steam* dari turbin dengan keadaan tekanan-temperatur rendah dapat dimanfaatkan ke dalam proses industri dengan bantuan *heat recovery boiler*.

Sistem boiler terdiri dari sistem air umpan, sistem *steam*, dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan *steam*. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan dari sistem air umpan, penanganan air umpan diperlukan sebagai bentuk pemeliharaan

untuk mencegah terjadi kerusakan dari sistem *steam*. Sistem *steam* mengumpulkan dan mengontrol produksi *steam* dalam boiler. *Steam* dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik peng- guna. Pada keseluruhan sistem, tekanan *steam* diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk meng- hasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem.

### C. Evaluasi Kinerja Boiler

Parameter kinerja boiler, seperti efisiensi dan rasio penguapan, berkurang terhadap waktu disebabkan buruknya pembakaran, kotornya permukaan penukar panas dan buruknya operasi dan pemeliharaan. Bahkan untuk *boiler* yang baru sekalipun, alasan seperti bur uknya kualitas bahan bakar dan kualitas air dapat mengakibatkan buruknya kinerja boiler. Neraca panas dapat membantu dalam mengidentifikasi kehilangan panas yang dapat atau tidak dapat dihindari. Uji efisiensi boiler dapat membantu dalam menemukan penyimpangan efisiensi boiler dari efisiensi terbaik dan target area permasalahan untuk tindakan perbaikan. (UNEP, 2008)

Terdapat dua metode pengkajian efisiensi boiler:

#### 1. Metode Tidak Langsung

Standar acuan untuk uji boiler di tempat dengan menggunakan metode tidak langsung adalah *British Standard, BS 845: 1987* dan *USA Standard ASME PTC-4-1 Power Tes Code Steam Generating Units*.

Metode tidak langsung juga dikenal dengan metode kehilangan panas. Efisiensi boiler ( ) =  $100 - (i + ii + iii + iv + v + vi + vii)$

Kehilangan yang terjadi dalam boiler adalah kehilangan panas yang diakibatkan oleh:

- i. Gas cerobong yang kering
- ii. Penguapan air yang terbentuk karena H<sub>2</sub> dalam bahan bakar
- iii. Penguapan kadar air dalam bahan bakar
- iv. Adanya kadar air dalam udara pembakaran
- v. Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang
- vi. Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu bawah
- vii. Radiasi dan kehilangan lain yang tak terhitung

Kehilangan yang diakibatkan oleh kadar air dalam bahan bakar dan yang disebabkan oleh pembakaran hidrogen tergantung pada bahan bakar, dan tidak dapat dikendalikan oleh perancangan.

Data yang diperlukan untuk perhitungan efisiensi boiler adalah:

- Analisis *ultimate* bahan bakar (H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, S, C, kadar air, kadar abu).
- Persentase oksigen atau CO<sub>2</sub> dalam gas buang.
- Temperatur gas buang °C (T<sub>f</sub>)
- Temperatur udara sekitar °C (T<sub>a</sub>) dan kelembaban udara dalam kg/kg udara kering

- GCV bahan bakar dalam kkal/kg
  - Persentase bahan yang dapat terbakar dalam abu (untuk bahan bakar padat)
  - GCV abu dalam kkal/kg (untuk bahan bakar padat)
- Prosedur rinci untuk perhitungan efisiensi boiler adalah sebagai berikut:

Tahap 1: Menghitung kebutuhan udara teoritis ( $W_{ud\ teoritis}$ )

$$W_{ud\ teoritis} = [(11,43 \times C) + \{34,5 \times (H_2 - O_2 / 8)\} + (4,32 \times S)] / 100 \text{ kg/kg bb} \quad (3)$$

Tahap 2: Menghitung persen kelebihan udara yang dipasok (EA)

$$EA = \frac{\text{persen } O_2}{21 - \text{persen } O_2} \times 100\% \quad (4)$$

Tahap 3: Menghitung massa udara sebenarnya yang dipasok kg / kg bahan bakar (AAS)

$$AAS = \{1 + EA/100\} \times \text{udara teoritis} \quad (5)$$

Tahap 4: Memperkirakan seluruh kehilangan panas

- i. Persentase kehilangan panas yang diakibatkan oleh gas buang yang kering ( $L_{dg}$ )

$$L_{dg} = \frac{m \times C_{pg}(T_f - T_a)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100\% \quad (6)$$

Dimana:

$m$  = Massa gas buang kering dalam kg/kg bahan bakar

$m$  = (massa hasil pembakaran kering/kg bahan bakar) + (massa  $N_2$  dalam bahan bakar pada basis 1 kg) +(massa  $N_2$  dalam massa udara pasokan yang sebenarnya)

$T_f$  = Temperatur gas buang ( $^{\circ}C$ )

$T_a$  = Temperatur udara sekitar ( $^{\circ}C$ )

$C_{pg}$  = Panas jenis gas buang (0,23 kkal/kg)

- ii. Persentase kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk karena adanya  $H_2$  dalam bahan bakar ( $L_H$ )

$$L_H = \frac{9 \times H \times \{584 + C_{ps} \times (T_f - T_a)\}}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100\% \quad (7)$$

Dimana:

$H$  = Unsur hydrogen dalam bahan bakar

$C_{ps}$  = Panas jenis steam lewat jenuh/superheated steam (0,45 kkal/kg) (UNEP, 2008).

- iii. Persentase kehilangan panas karena penguapan kadar air dalam bahan bakar ( $L_{mf}$ )

$$L_{mf} = \frac{MF\{584 + C_{ps}(T_f - T_a)\}}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100\% \quad (8)$$

Dimana:

$MF$  = persen kadar air dalam 1 kg bahan bakar

$C_{ps}$  = Panas jenis steam lewat jenuh/superheated steam (0,45 kkal/kg) (UNEP, 2008).

- iv. Persentase kehilangan panas karena kadar air dalam udara ( $L_{ma}$ )

$$L_{ma} = \frac{AAS \times \text{faktor kelembaban} \times C_{ps}(T_f - T_a)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100\% \dots \dots \dots (9)$$

Dimana:

$C_{ps}$  = Panas jenis steam lewat jenuh/superheated steam (0,45 kkal/kg) (UNEP, 2008).

- v. Persentase kehilangan panas karena radiasi dan kehilangan lain yang tak terhitung ( $L_{uc}$ )

Kehilangan radiasi dan konveksi aktual sulit dikaji sebab daya emisifitas permukaan yang beraneka ragam, kemiringan, pola aliran udara, dll. Pada boiler yang relatif kecil, dengan kapasitas 10 MW, kehilangan radiasi dan yang tidak terhitung dapat mencapai 1 hingga 2 persen nilai kalor kotor bahan bakar, sementara pada boiler 500 MW nilainya 0,2 hingga 1 persen. Kehilangan dapat diasumsikan secara tepat tergantung pada kondisi permukaan.

- vi. Persen kehilangan panas total pada boiler bila panas hanya digunakan untuk pemanasan fluida kerja ( $L_{tot}$ )

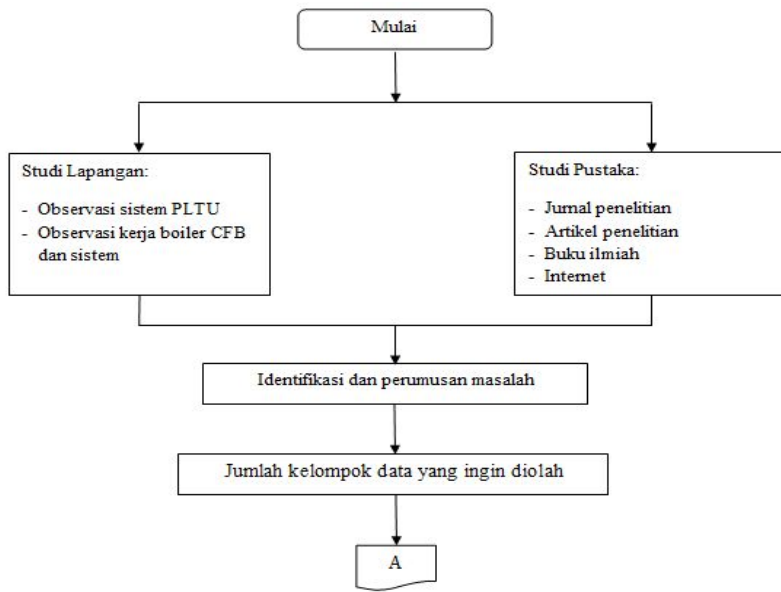
$$L_{tot} = L_{dg} + L_H + L_{mf} + L_{ma} + L_{uc} \dots \dots \dots (10)$$

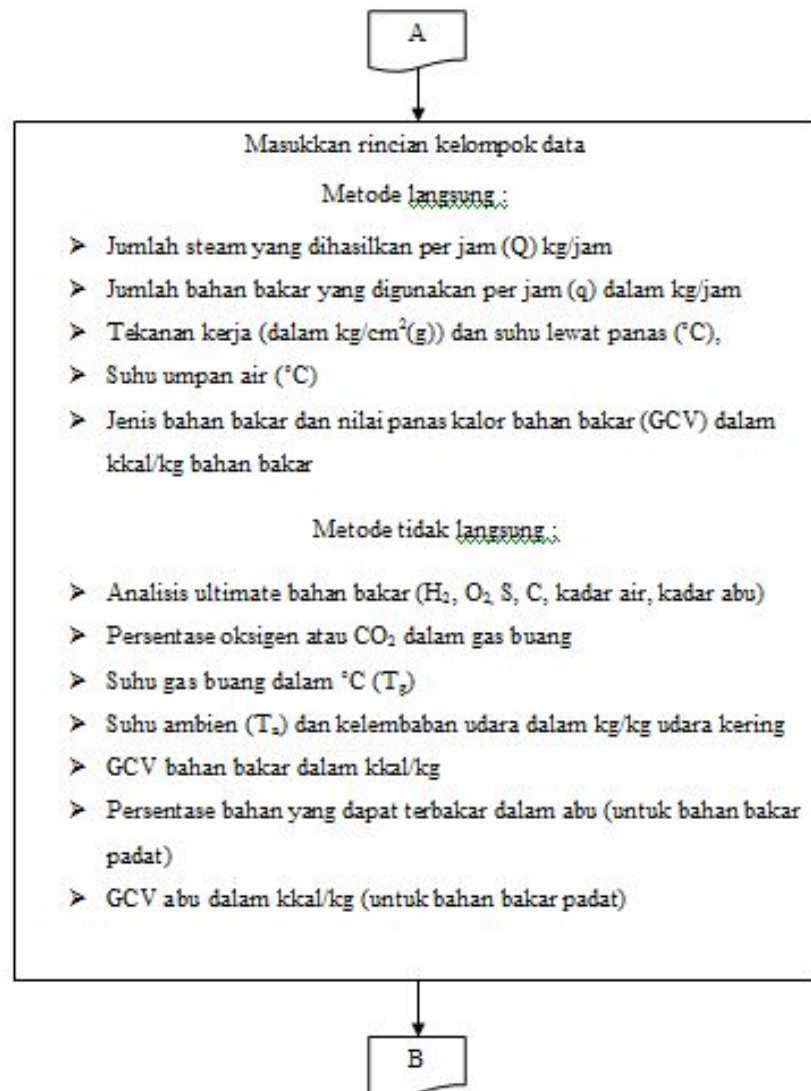
Tahap 5: Menghitung efisiensi boiler.

$$\text{Efisiensi boiler} = 100 - L_{tot} \dots \dots \dots (11)$$

## II. METODE PENELITIAN

Data boiler yang diperoleh dari sistem PLTU Barru, kemudian dimasukkan dalam persamaan yang menggunakan metode langsung dan metode tidak langsung.





B

Masukkan persamaan untuk menghitung efisiensi boiler:

Metode langsung :

$$\text{Efisiensi Boiler} = \frac{\text{Panas Keluar}}{\text{Panas Masuk}} \times 100 \%$$

$$\text{Efisiensi Boiler} = \frac{Q_{\text{TK}} (F_g \times T_g)}{q \times CV} \times 100 \%$$

Metode tidak langsung :

Menghitung kebutuhan udara teoritis

Menghitung persentase kelebihan udara yang dipasok (EA)

Menghitung massa udara sebenarnya yang dipasok / kg bahan bakar ( $W_{\text{ud aktual}}$ )

Memperkirakan seluruh kehilangan panas :

Persentase kehilangan panas yang diakibatkan oleh gas buang yang kering

Persentase kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk karena adanya  $H_2$  dalam bahan bakar

Persentase kehilangan panas karena penguapan kadar air dalam bahan bakar

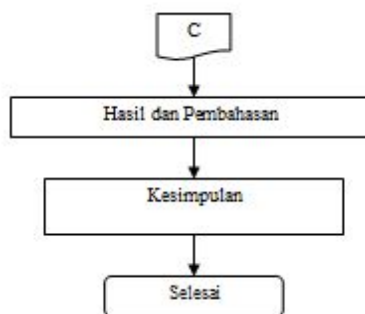
Persentase kehilangan panas karena kadar air dalam udara

Persentase kehilangan panas total pada boiler bila panas hanya digunakan untuk pemanasan fluida kerja ( $L_{\text{tot}}$ )

Menghitung efisiensi boiler dan rasio penguapan boiler

C





Gambar 4. Flowchart prosedur penelitian

Data sistem boiler yang dibutuhkan, diperoleh dari PT. PLN (Persero) Unit PLTU Barru, dimana data yang dimaksud antara lain: Data panas masuk dan panas keluar dari sistem boiler PLTU Barru yang akan digunakan dalam persamaan metode langsung dan data analisis batubara yang akan digunakan dalam persamaan metode tak langsung.

Dibawah ini adalah data yang diperoleh dari PLTU Barru antara lain:

Tabel 1. Data yang digunakan untuk menentukan efisiensi boiler dengan menggunakan metode langsung pada kondisi operasi tanggal 13 januari tahun 2014 pada beban 35,31 MW

No	ITEM	ASTESTED	UNIT
1.	Jumlah steam yang dihasilkan	142,6	ton/jam
2.	Tekanan steam / temperatur	9,19/533	MPa/°C
3.	Jumlah pemakaian batubara	23,3	ton/jam
4.	Suhu air umpan	201,2	°C
5.	GCV batubara	4256	kkal/kg

Tabel 2. Data yang digunakan untuk menentukan efisiensi boiler dengan menggunakan metode tidak langsung pada kondisi operasi tanggal 13 januari tahun 2014 pada beban 35,31 MW

No	ITEM	SIMBOL	ASTESTED	UNIT
1.	COAL ANALYSIS:			
	Carbon	C	52,47	%
	Hydrogen	H	4,16	%
	Nitrogen	N	0,96	%
	Sulfur	S	0,19	%
	Oxygen	O	36,41	%
	ASH Content	ASH	5,43	%
	Moisture	MF	14,38	%
	GCV	GCV	4256	kkal/kg
2.	Ambient temperature	T <sub>a</sub>	34	°C
3.	Suhu gas buang	T <sub>f</sub>	107,73	°C
4.	Persentasi oxygen		5,58	%
5.	Kelembaban udara	RH	0,018	kg/kg udara kering

Tabel 3. Data yang digunakan untuk menentukan efisiensi boiler dengan menggunakan metode langsung pada kondisi operasi tanggal 3 juni tahun 2014 pada beban 36 MW

No	ITEM	ASTESTED	UNIT
1.	Jumlah steam yang dihasilkan	149,3	ton/jam
2.	Tekanan steam / temperatur	9,2/533	MPa/°C
3.	Jumlah pemakaian batubara	33	ton/jam
4.	Suhu air umpan	198	°C
5.	GCV batubara	4005	kkal/kg

Tabel 4. Data yang digunakan untuk menentukan efisiensi boiler dengan menggunakan metode tidak langsung pada kondisi operasi tanggal 3 juni tahun 2014 pada beban 36 MW

No	ITEM	SIMBOL	ASTESTED	UNIT
1.	COAL ANALYSIS:			
	Carbon	C	54,26	%
	Hydrogen	H	5,14	%
	Nitrogen	N	0,91	%
	Sulfur	S	0,28	%
	Oxygen	O	34,6	%
	ASH Content	ASH	4,81	%
	Moisture	MF	15,71	%
	GCV	GCV	4005	kkal/kg
2.	Ambient temperature	T <sub>a</sub>	36	°C
3.	Suhu gas buang	T <sub>f</sub>	135	°C
4.	Persentasi oxygen		2,7	%

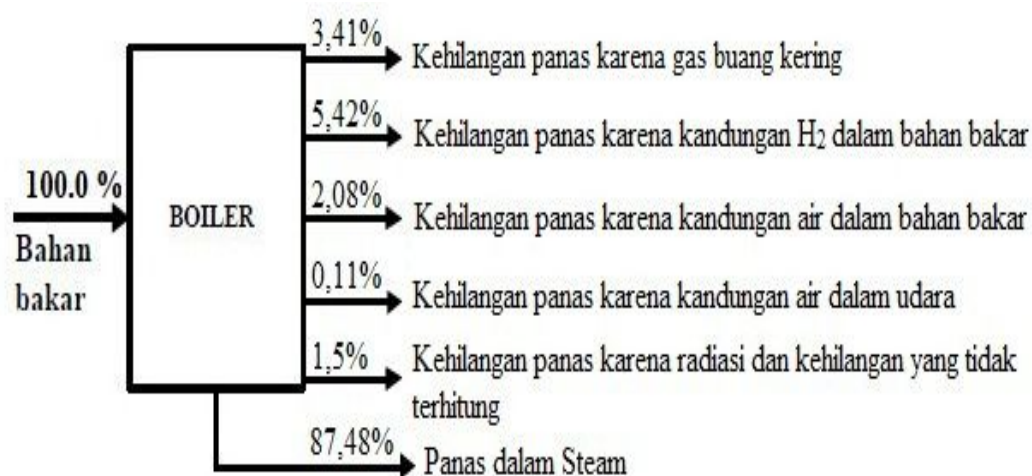
5.	Kelembaban udara		0,0203	kg/kg udara kering
----	------------------	--	--------	--------------------

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Kondisi operasi 13 Januari 2014 pada beban 35,31 MW

- Untuk metode langsung didapatkan efisiensi boiler sebesar 89,21%.
- Untuk metode tak langsung didapatkan efisiensi boiler sebesar 87,48 %, dimana kehilangan panas yang besar terjadi pada kehilangan panas yang disebabkan karena tingginya H<sub>2</sub> dalam bahan bakar.

Dibawah ini adalah persentase dari tiap-tiap kehilangan panas yang terjadi pada boiler kondisi operasi 13 Januari 2014 pada beban 35,31 MW.

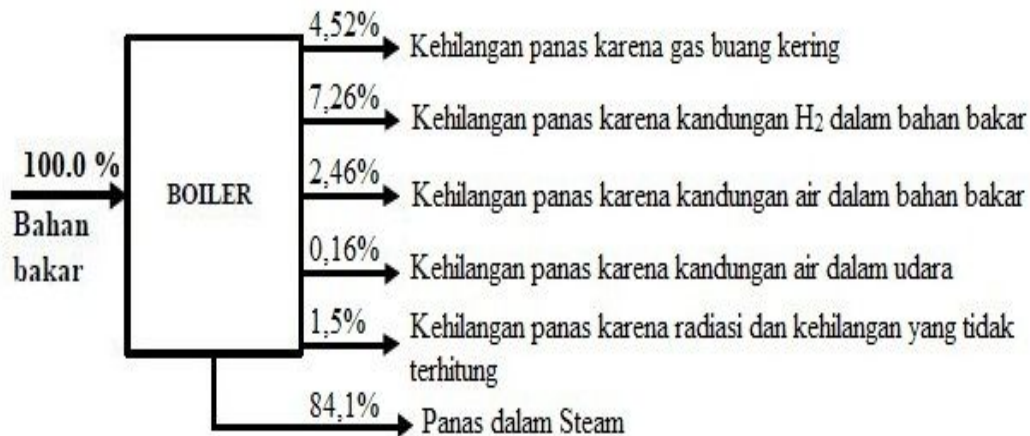


Gambar 4. Kehilangan panas boiler unit 1 PLTU Barru pada kondisi operasi 13 Januari 2014 dengan beban 35,31 MW

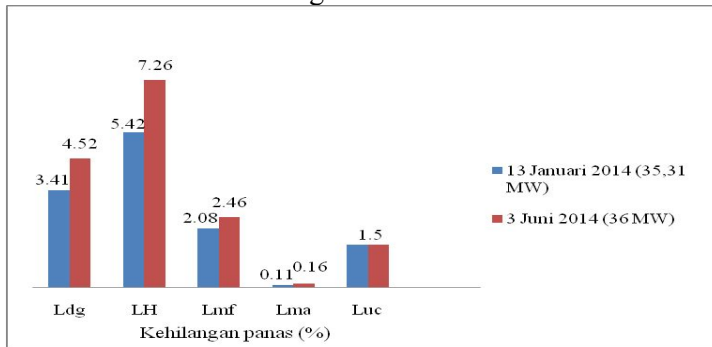
#### B. Kondisi operasi 3 Juni 2014 pada beban 36 MW

- Untuk metode langsung didapatkan efisiensi boiler sebesar 70,46%.
- Untuk metode tak langsung didapatkan efisiensi boiler sebesar 84,1 %, dimana kehilangan panas yang besar terjadi pada kehilangan panas yang disebabkan karena tingginya H<sub>2</sub> dalam bahan bakar.

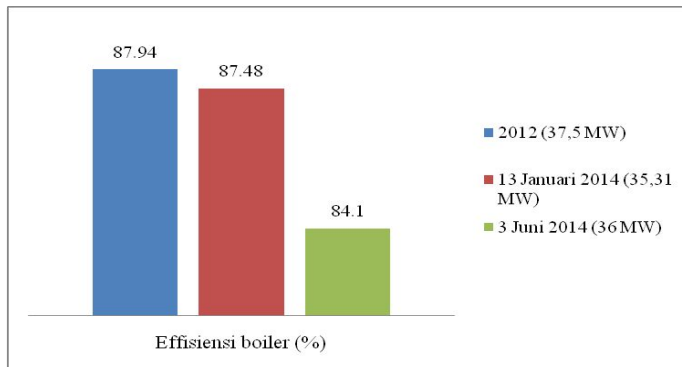
Dibawah ini adalah persentase dari tiap-tiap kehilangan panas yang terjadi pada boiler kondisi operasi 3 Juni 2014 pada beban 36 MW.



Gambar 5. Kehilangan panas boiler unit 1 PLTU Barru pada kondisi operasi 3 Juni 2014 dengan beban 36 MW



Gambar 6. Perbandingan persentase kehilangan panas boiler unit 1 PLTU Barru pada kondisi 13 Januari 2014 dan kondisi operasi 3 Juni 2014.



Gambar 7. Perbandingan persentase efisiensi boiler unit 1 PLTU Barru antara kondisi awal boiler dengan beban 37,5 MW (2012) sampai dengan kondisi operasi 3 Juni 2014 pada beban 36 MW

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

1. Efisiensi boiler PLTU Barru unit 1 mengalami penurunan secara signifikan dengan menggunakan metode langsung sebesar 18,75 %, dimana pada kondisi operasi 13 Januari 2014 efisiensi boiler sebesar 89,21 %, sedangkan efisiensi boiler pada kondisi operasi 3 Juni 2014 sebesar 70,46 %.
2. Efisiensi boiler PLTU Barru unit 1 mengalami penurunan sebesar 3,84 % dengan menggunakan metode tidak langsung (kehilangan panas), dimana pada kondisi awal boiler saat beroperasi 75% dari 50 MW atau beban sekitar 37,5 MW tahun 2012 efisiensi boilernya sebesar 87,94 %, sedangkan efisiensi boiler pada kondisi operasi 3 Juni 2014 sebesar 84,1 %.
3. Faktor-faktor yang mempengaruhi unjuk kerja boiler unit 1 PLTU Barru sehingga mengakibatkan besarnya persentase kehilangan panas adalah sebagai berikut:
  - Kandungan hidrogen dalam batu bara
  - Temperature gas buang kering
  - Nilai kalor dari batu bara
  - Kandungan kadar air dalam batu bara
4. Faktor kehilangan panas terbesar diakibatkan oleh penguapan air yang terbentuk karena adanya kandungan hidrogen dalam bahan bakar batu bara. Pada kondisi operasi 13 Januari 2014 sebesar 5,42 % dan pada kondisi operasi 3 Juni 2014 sebesar 7,26 %.

##### B. Saran

Penelitian selanjutnya sebaiknya menghitung efisiensi boiler unit 2 pada PLTU Barru dan efisiensi boiler unit 1 PLTU Barru dengan variasi beban yang berbeda.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

ASME PTC 4.1. 1998. *"Fired Steam Generation"*. American Standart Mechanical Engineering.

Asmudi. 2009. *"Analisa Unjuk Kerja Boiler Terhadap Penurunan Daya Pada PLTU PT. Indonesia Power UBP Perak"*. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan, ITS Surabaya. Surabaya.

Djokosetyardjo, MJ. 2003. *"Ketel Uap"*. Pradnya Paramita. Jakarta.

- JCOAL, *Coal Science Handbook*, Japan Coal Energy Center, 2005.  
(<http://imambudiraharjo.files.wordpress.com/2009/03/>. diakses pada tanggal 8 september 2014).
- Karaeng, Christian Tallu, dan Iswandi. 2012. "*Analisis Kinerja Boiler Pada PLTU Unit 1 PT. Semen Tonasa*". Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Pembangkit Energi. PNUP Makassar. Makassar.
- "*Material Presentasi*", Idemitsu Kosan Co., Ltd, 2003.  
(<http://imambudiraharjo.files.wordpress.com/2009/03/>. diakses pada tanggal 8 september 2014).
- Oka, Simeon N. 2004. "*Fluidized Bed Combustion*". Marcel Dekker, Inc.  
(<http://www.sribd.com/doc/30289516/Fluidized-Bed-Combustion>. diakses pada tanggal 8 september 2014).
- Permata, Eggi Ikhsan. 2012. "*Studi kinerja Fluidized Bed Combustion Dengan Diversifikasi Bahan Bakar Cangkang Kelapa Ke-Pemanfaatan Limbah Boimasa Daun Kering Di Lingkungan Kampus Universitas Indonesia*". Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin. Universitas Indonesia. Depok.
- PLTU Barru, 2012. "*Manual Books PLTU Barru*". Barru
- UNEP. 2008. "*Boiler dan Pemanas Fluida Thermis*". United Nation Environment Program.