

ISSN 1693 - 1548

JURNAL TEKNIK MESIN

firman

SINERGI

MESIN DAN ENERGI

SINERGI

Tahun Ke-11

No. 1

Hlm. 1 - 106

Makassar
April 2013

ISSN
1693 - 1548

**SUSUNAN DEWAN REDAKSI JURNAL
SINERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG
PANDANG**

Pelindung

Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang

Penanggung Jawab

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ketua Penyunting

Anthonius L.S.Haans

Wakil Ketua Penyunting

Muhammad Nuzul

Penyunting Ahli

Salama Manjang (UNHAS – Makassar)
Najamuddin Harun (UNHAS – Makassar)
Rudy Soenoko (UNHAS – MAKASSAR)
Rhiza S. Sadjad (UNHAS – Makassar)
Wahyu H. Piarah (UNHAS – Makassar)

Penyunting Pelaksana

Andreas Pangkung
Mastang
Simon Ka'ka
Abdul Salam
Muhammad Tekad
Remigius Tangdioga
Syaharuddin Rasyid
Firman
Muhammad Arsyad
La Ode Musa
Sitti Sahriana
Lewi

Tata Usaha

Mudjahidin Dg Mulisa
Dian Siswi Handayani

DAFTAR ISI

- ◆ **Evaluasi Keandalan Boiler Unit 1 dan 2 BTG (Boiler Turbine Generator) PT. Semen Tonasa menggunakan Software Weibull ++6** 1 – 10
Akhmad Taufik, Arifuddin
- ◆ **Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Crossflow di Dusun Lemo Desa Tanatoro Kabupaten Sidrap** 11 – 21
Abdullah Azzam, Erianto
- ◆ **Model Pengelolaan Dan Penjadwalan Kegiatan Perawatan Berbasis Web Pada Bengkel Mekanik Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang** 22 – 37
Arthur Halik Razak
- ◆ **Pengembangan Model dan Uji Eksperimental Pengaturan Putaran Motor Listrik DC** 38 – 51
Lewi, Andareas Pangkung, Remigius Tandioga
- ◆ **Kajian Konsumsi Energi pada Atap Tumbuhan (*Green Roof*)** 52 – 62
Abdul Rahman
- ◆ **Dampak Difusi Arus dalam Konduktor untuk Nilai Beban Resistif Lebih Besar dari Impedansi Saluran** 63 – 73
A. M. Shiddiq Yunus, Apollo
- ◆ **Analisis Kinerja Boiler Pada PLTU Unit 1 PT. SEMEN Tonasa** 74 – 85
Christian Tallu Karaeng, Iswandi, Firman, Muh. Nuzul
- ◆ **Analisis Kinerja Kolektor Destilasi Surya Tekanan Vakum dengan Kaca Penutup Tunggal dan Ganda** 86 – 94
Jamal, Sri Suwasti
- ◆ **Penentuan Persentase Peningkatan Biaya Tenaga Listrik pada Motor Induksi Tiga Fasa Akibat Tegangan Tidak Seimbang** 95 – 106
Syarifuddin

ANALISIS KINERJA BOILER PADA PLTU UNIT 1 PT. SEMEN TONASA

Christian Tallu Karaeng, Iswandi¹⁾, Firman, Muh. Nuzul²⁾

Abstrak: Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Semen Tonasa berfungsi sebagai penghasil uap yang nantinya digunakan untuk menggerakkan turbin untuk menghasilkan listrik. PLTU PT. Semen Tonasa mulai beroperasi pada tahun 1997, selama beroperasi terjadi penurunan daya mampu dari 25 MW pada kondisi operasi tahun 1997 menjadi 20 MW pada operasi sekarang (2012). Untuk itu dilakukan studi analisa guna mengetahui besarnya penurunan dan penyebab turunnya kinerja boiler Unit 1 PLTU PT. Semen Tonasa. Analisa perhitungan boiler dengan menggunakan metode kehilangan panas (*heat loss*). Data yang digunakan berupa data input dan output serta data spesifikasi desain peralatan boiler. Dari hasil analisa dan pembahasan diperoleh efisiensi boiler unit 1 PLTU PT. Semen Tonasa turun sebesar 6,04%, yaitu pada saat kondisi operasi tahun 1997 efisiensi boiler sebesar 91%, sedangkan pada kondisi operasi sekarang sebesar 84,96%. Faktor kehilangan panas terbesar diakibatkan oleh gas buang kering, dimana pada operasi tahun 2004 sebesar 5,59% dan pada operasi sekarang sebesar 5,79%, atau meningkat sebesar 0,20%.

Kata kunci: boiler, kinerja, kehilangan panas, heat loss.

I. PENDAHULUAN

PT. Semen Tonasa (Persero) merupakan suatu perusahaan yang menggunakan boiler sebagai penghasil uap yang nantinya digunakan untuk menggerakkan turbin untuk menghasilkan listrik. Listrik ini digunakan untuk mendukung pengoperasian pabrik terutama pabrik Semen Tonasa IV. PT. Semen Tonasa membangun PLTU karena ketidakanggapan PT. PLN memasok energi listrik untuk pengoperasian pabrik tonasa IV, dimana PT. PLN hanya sanggup memasok listrik sebesar 20 MW dari 60 MW yang dibutuhkan. PLTU PT. Semen Tonasa ini memiliki kapasitas daya sebesar 2x25 MW dan mulai beroperasi pada tahun 1997. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari PLTU PT. Semen Tonasa, selama pengoperasiannya telah terjadi penurunan daya mampu dari 25 MW pada saat komisioning menjadi 20 MW pada saat operasi sekarang. Dari sinilah timbul gagasan untuk melakukan analisis kinerja boiler pada PLTU PT. Semen Tonasa, khususnya pada boiler unit 1. Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk mengetahui performansi boiler di PLTU unit 1 PT. Semen Tonasa pada kondisi operasi 1997 dengan kondisi sekarang (2012), serta untuk mengetahui faktor – faktor penyebab penurunan efisiensi boiler di PLTU unit 1 PT. Semen Tonasa

¹⁾ Alumni Program D4 Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

²⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

A. Tinjauan Umum Boiler

Boiler adalah sebuah vessel tertutup yang digunakan untuk merubah air menjadi uap bertekanan dengan cara melakukan penambahan panas. Vessel terbuka yang menghasilkan uap bertekanan atmosfer tidak disebut sebagai boiler. Pada furnace boiler, energi kimia bahan bakar diubah menjadi energi panas. Panas ini dipindahkan ke air seefisien mungkin oleh boiler. Dengan demikian, fungsi utama boiler adalah untuk menghasilkan uap di atas tekanan atmosfer melalui penyerapan panas yang dihasilkan pada proses pembakaran (Ilmi, 2010).

Sistem boiler terdiri atas sistem air umpan (*feed water*), sistem uap dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan uap. Sistem uap mengumpulkan dan mengontrol produksi uap dalam boiler. Uap dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan uap diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem

B. Perhitungan Efisiensi Boiler

Terdapat dua metode pengkajian efisiensi boiler: Metode Langsung: energi yang didapat dari fluida kerja (air dan uap) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar boiler. Metode Tak Langsung: efisiensi merupakan perbedaan antara kehilangan dan energi yang masuk.

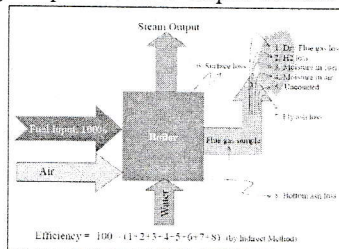
1. Metode langsung

Dikenal juga sebagai “metode input-output” karena metode ini hanya memerlukan keluaran/output (uap) dan panas masuk/input (bahan bakar) untuk evaluasi efisiensi.

2. Metode Tak Langsung (*Heat Loss Methode*)

Standar acuan untuk Uji Boiler di Tempat dengan menggunakan metode tak langsung adalah British Standard, BS 845:1987 dan USA Standard ASME PTC-4-1 *Power Test Code Steam Generating Units* (UNEP, 2008).

Pada metode ini akan dilakukan suatu perhitungan mengenai besaran energi masukan bahan bakar yang dimasukkan kedalam fluida kerja, yang mana energi masukan tersebut akan berkurang yang disebabkan oleh adanya rugi atau *losses* yang terjadi. Kerugian panas yang terjadi pada boiler dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 1. Kehilangan panas pada boiler

II. METODE PENELITIAN

A. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang diperlukan dilakukan dengan cara melakukan wawancara kepada operator pembangkit, melakukan pengamatan langsung di *local area* dan di laboratorium, serta mereview laporan operasi PLTU PT. Semen Tonasa.

B. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian dalam analisis kinerja boiler unit 1 pada PLTU PT. Semen Tonasa sebagai berikut:

1. Studi literatur mengenai rumus yang relevan untuk menentukan penurunan kinerja boiler, kerugian panas yang terjadi.
2. Studi lapangan dan melakukan pengamatan langsung terhadap boiler unit 1 di PLTU Semen Tonasa. Dilanjutkan dengan pengumpulan data yang meliputi:
 - a. Data input dan output dari peralatan-peralatan pada boiler
 - b. Data spesifikasi desain dari peralatan-peralatan pada boiler
3. Melakukan analisa perhitungan pada boiler menggunakan metode kehilangan panas (*Heat loss*), sehingga dari metode ini dapat diketahui kerugian – kerugian yang terjadi pada boiler yang dapat berpengaruh terhadap efisiensi boiler.
4. Membandingkan hasil analisa pada kondisi operasi tahun 1997 tersebut dengan kondisi sekarang.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Efisiensi Boiler

Berdasarkan metode *heat loss* (kehilangan panas) sesuai standar ASME PTC 4-1 dengan didukung analisa ultimat batubara, temperatur gas buang keluar *air heater*, temperatur udara sekitar dan beberapa asumsi yang diperlukan maka efisiensi termal boiler dapat dihitung.

1. Kondisi Operasi Tahun 1997 Pada Beban 25 MW

Nilai dari efisiensi boiler diperoleh dari data *name plate* pada boiler unit 1. Nilai efisiensi boiler sebesar 91 %.

2. Kondisi Operasi Tahun 2004 Pada Beban 20,5 MW (sebelum overhaul)

Data yang di analisa adalah data boiler sebelum *overhaul* tertanggal 17 Maret 2004. Data-data yang diperoleh sebagai berikut:

Tabel 1. Data boiler dan ultimat batubara pada kondisi sebelum OH

No	ITEM	SIMBOL	ASTESTED	UNIT
1	COAL ANALYSIS			
	CARBON	C	59,1	%
	HYDROGEN	H	4,7	%
	OXYGEN	O	10,3	%
	NITROGEN	N	1	%
	SULFUR	S	0,65	%
	MOISTURE	MF	11,74	%
ASH CONTENT	ASH	14,2	%	

	CALORIFIC VALUE	CV	5597,1	kcal/kg
	UNBURN CARBON IN FLY ASH	Fc	3,4	%
	UNBURN IN BUTTOM ASH	Bc	5,28	%
2	AIR INLET BOILER			
	AIR BOILER INLET TEMPERATURE	Ta	36,3	°C
3	FLUE GAS OUTLET BOILER			
	AIR HEATER OUTLET TEMPERATURE	Tg	156,157	°C

Sumber: data operasi BTG Power Plant tertanggal 17 Maret 2004

a. Menghitung kebutuhan udara teoritis ($W_{ud\ teoritis}$)

$$W_{ud\ teoritis} = \left[\frac{(11,43 \times C) + (34,5 \times (H - O/8)) + (4,32 \times S)}{100} \right]$$

$$= 7,961 \text{ kg/kg bb}$$

b. Menghitung kebutuhan udara aktual ($W_{ud\ aktual}$)

Diasumsikan tingkat udara lebih untuk jenis batubara yang digunakan pada PLTU PT. Semen Tonasa sebesar 20%.

$$W_{ud\ aktual} = \left[1 + \frac{X}{100} \right] \times W_{ud\ teoritis}$$

$$= 9,5532 \text{ kg/kg bb}$$

c. Menghitung komposisi gas asap

Karbondioksida (CO_2)

$$CO_2 = \left(\frac{44}{12} \right) \times C = \left(\frac{44}{12} \right) \times 0,591$$

$$= 2,167 \text{ kg/kg bb}$$

Sulphurdioksida (SO_2)

$$SO_2 = 2 \times S = 2 \times 0,0066$$

$$= 0,0132 \text{ kg/kg bb}$$

Oksigen lebih (O_2)

$$O_2 = (W_{ud\ aktual} - W_{ud\ teoritis}) \cdot 0,232$$

$$= 0,3694 \text{ kg/kg bb}$$

Nitrogen (N_2)

$$N_2 = N + (0,768 \times W_{ud\ aktual})$$

$$= 8,3368 \text{ kg/kg bb}$$

Uap air (H_2O)

$$H_2O = MF + (9H) + (0,013 \cdot W_{ud\ teoritis})$$

$$= 0,6438 \text{ kg/kg bb}$$

d. Menghitung seluruh kehilangan panas (*heat loss*)

Kehilangan panas yang dimaksud adalah pembakaran bahan bakar yang menyisakan beberapa kandungan bahan bakar yang tidak terbakar. Seluruh kehilangan panas yang terjadi antara lain melalui:

1) Kehilangan panas karena gas asap kering/*heat loss due to dry gas* (L_{dg}).

$$L_{dg} = \left[\frac{W_{dg} \times C_{pe} (T_g - T_a)}{CV} \times 100\% \right]$$

Dimana:

W_{dg} = berat gas asap kering yang terbentuk dari hasil pembakaran

$$W_{dry\ gas} = (CO_2 + SO_2 + O_2 + N_2) \\ = 10,8866 \text{ kg/kg bb}$$

Sehingga:

$$L_{dg} = \left[\frac{10,8866 \times 0,24(156,157 - 36,3)}{5.597,1} \times 100\% \right] \\ = 5,59 \%$$

- 2) Kehilangan panas karena adanya kandungan air dalam bahan bakar/*Heat loss due to moisture in full* (L_{mf}).

$$L_{mf} = \left[\frac{MF/100(h_g - h_a)}{CV} \times 100\% \right]$$

h_g = dari tabel uap jenuh, untuk $T_g = 156,157^\circ\text{C}$ dan kemudian di interpolasi, diperoleh $h_g = 2752,47 \text{ kJ/kg}$

h_a = dari tabel uap, untuk temperatur udara sekitar $36,3^\circ\text{C}$, dan kemudian di interpolasi diperoleh $h_a = 151,99 \text{ kJ/kg}$

$CV = 5597,1 \text{ kkal/kg} = 23433,938 \text{ kJ/kg}$, jadi

$$L_{mf} = \left[\frac{MF/100(h_g - h_a)}{CV} \times 100\% \right] \\ = 1,30 \%$$

- 3) Kehilangan panas karena kadar air untuk pembakaran hidrogen dalam bahan bakar/*Heat loss due to moisture from burning hydrogen* (L_H)

$$L_H = \left[\frac{9H/100(h_g - h_a)}{CV} \times 100\% \right] \\ = 4,90 \%$$

- 4) Kehilangan panas karena kandungan air didalam udara pembakaran/*Heat loss due to moisture in air* (L_{ma})

$$L_{ma} = \left[\frac{AAS \times \text{humidity factor} \times C_p \times (T_g - T_a)}{CV} \times 100\% \right]$$

Dari tabel psychrometric udara, untuk temperatur $36,3^\circ\text{C}$ dan kemudian diinterpolasi, diperoleh humidity factor = 0,0203

$$= \left[\frac{9,5532 \times 0,0203 \times 0,46 \times (156,157 - 36,3)}{5597,1} \times 100\% \right] \\ = 0,2\%$$

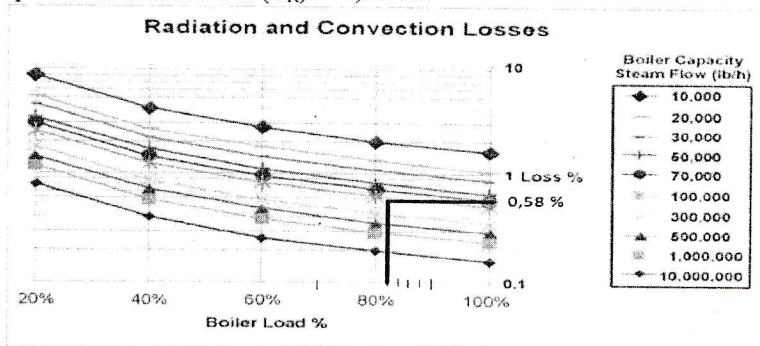
- 5) Kehilangan panas karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang (*fly ash*) dan abu bawah (*bottom ash/slag ash*) (L_C).

$$L_c = \left[\frac{A/100 \cdot (0,8 C \text{ in fly ash} + 0,2 C \text{ in slag}) \cdot 8076}{100 - (0,8 C \text{ in fly ash} + 0,2 C \text{ in slag}) \cdot CV} \times 100\% \right]$$

$$= 0,80 \%$$

6) Kehilangan panas karena radiasi/Heat loss due to radiation (L_R)

Dengan menggunakan grafik ABMA (*American Boiler Manufacturers Association*), pada beban 20 MW (82%) dan uap yang dihasilkan boiler sebanyak 88,62 ton/jam (195374 lb/jam) dan beban boiler sebesar 20,5 MW (82 %). Maka besarnya kehilangan panas karena radiasi (L_R) = 0,58 %.



Gambar 2. Grafik ABMA besar kehilangan panas karena radiasi

7) Kehilangan panas yang tak terukur/*Uncounted loss* (L_{uc})

Ada beberapa sumber yang dapat menyebabkan kerugian kalor pembakaran, dimana besarnya terlalu rumit untuk dihitung secara pasti. Untuk mengatasi hal tersebut, sebagai standar, kalor hilang tersebut dinamakan sebagai kalor hilang yang tak terukur dan besarnya untuk boiler yang digunakan sebagai *power plant* sekitar 1%

Kehilangan panas total:

$$\begin{aligned} L_{tot} &= L_{dg} + L_{mf} + L_{H} + L_{ma} + L_c + L_R + L_{uc} \\ &= 5,59 + 1,30 + 4,90 + 0,20 + 0,80 + 0,58 + 1 \\ &= 14,37 \% \end{aligned}$$

Jadi efisiensi boiler:

$$\begin{aligned} \text{Eff}_{\text{boiler}} &= 100 - L_{tot} \\ &= 100 - 14,37 = 85,63 \% \end{aligned}$$

3. Kondisi Operasi Tahun 2004 Pada beban 15 MW (sesudah overhaul)

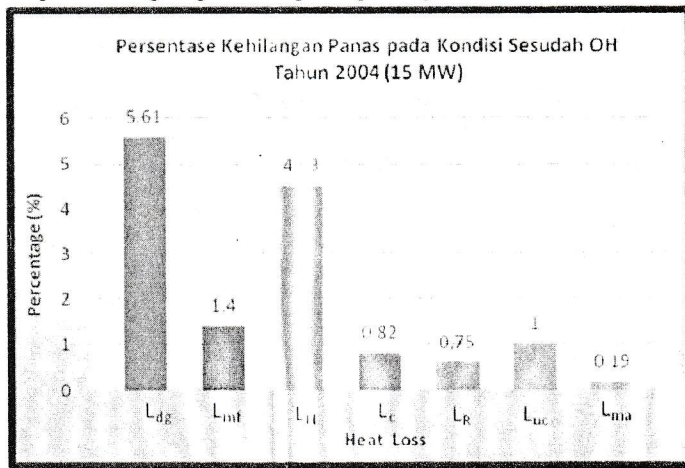
Data yang kami ambil adalah data boiler sesudah overhaul tertanggal 13 April 2004. Data-data yang diperoleh sebagai berikut:

Tabel 2. Data boiler dan ultimate batubara pada kondisi sesudah OH

No	ITEM	SIMBOL	ASTESTED	UNIT
1	COAL ANALYSIS			
	CARBON	C	59,1	%
	HYDROGEN	H	4,5	%
	OXYGEN	O	10,1	%
	NITROGEN	N	1	%
	SULFUR	S	0,77	%
	MOISTURE	MF	12,52	%
	ASH CONTENT	ASH	15,3	%
	CALORIFIC VALUE	CV	5547,6	kkal/kg
	UNBURN CARBON IN FLY ASH	Fc	3,2	%
UNBURN IN BUTTOM ASH	Bc	5,08	%	
2	AIR INLET BOILER			
	AIR BOILER INLET TEMPERATURE	Ta	36,3	°C
3	FLUE GAS OUTLET BOILER			
	AIR HEATER OUTLET TEMPERATURE	Tg	156,057	°C

Sumber: data operasi BTG Power Plant tertanggal 13 April 2004

Dengan menggunakan metode perhitungan seperti di atas, maka dapat diketahui tiap-tiap kehilangan panas seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Grafik persentase kehilangan panas boiler pada kondisi operasi tahun 2004 sesudah OH

Kehilangan panas total:

$$L_{tot} = L_{dg} + L_{mf} + L_H + L_{ma} + L_c + L_R + L_{uc}$$

$$= 5,59 + 1,30 + 4,90 + 0,20 + 0,80 + 0,58 + 1 = 14,37 \%$$

Jadi efisiensi boiler:

$$Eff_{boiler} = 100 - L_{tot} = 100 - 14,37 = 85,63 \%$$

4. Kondisi Operasi Sekarang (2012) Pada Beban 15 MW

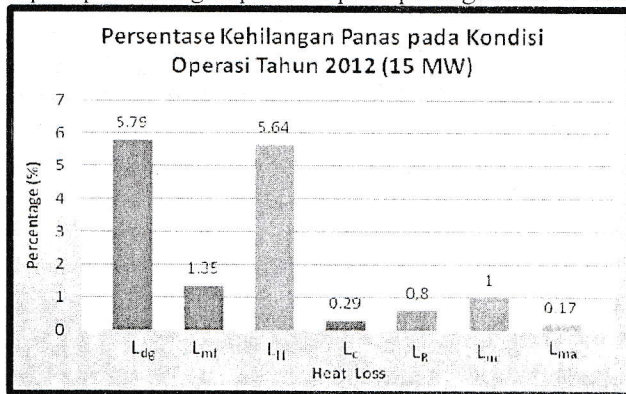
Data yang kami ambil adalah data boiler kondisi operasi sekarang (local) 23 April 2012. Data-data yang diperoleh sebagai berikut:

Tabel 3. Data-data boiler dan ultimat batubara pada kondisi operasi sekarang

No	ITEM	SIMBOL	ASTESTED	UNIT
1	COAL ANALYSIS			
	CARBON	C	64,3	%
	HYDROGEN	H	5,7	%
	OXYGEN	O	9,27	%
	NITROGEN	N	1,05	%
	SULFUR	S	1,57	%
	MOISTURE	MF	12,33	%
	ASH CONTENT	ASH	12,26	%
	CALORIFIC VALUE	CV	5673,19	kkal/kg
	UNBURN CARBON IN FLY ASH	Fc	0,63	%
	UNBURN IN BUTTOM ASH	Bc	2,20	%
2	AIR INLET BOILER			
	AIR BOILER INLET TEMPERATURE	Ta	34	°C
3	FLUE GAS OUTLET BOILER			
	AIR HEATER OUTLET TEMPERATURE	Tg	144,39	°C

Sumber: data operasi BTG Power Plant tertanggal 23 April 2012

Dengan menggunakan metode perhitungan seperti di atas, maka dapat diketahui tiap-tiap kehilangan panas seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. Grafik persentase kehilangan panas boiler pada kondisi operasi sekarang (tahun 2012)

Kehilangan panas total:

$$\begin{aligned}
 L_{tot} &= L_{dg} + L_{mf} + L_H + L_{ma} + L_c + L_R + L_{uc} \\
 &= 5,79 + 1,35 + 5,64 + 0,17 + 0,29 + 0,80 + 1,00 \\
 &= 15,04 \%
 \end{aligned}$$

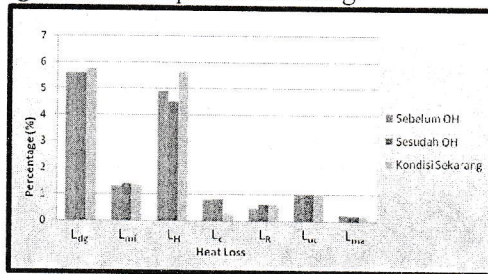
Jadi efisiensi boiler:

$$\text{Eff}_{\text{boiler}} = 100 - L_{tot} = 100 - 15,04 = 84,96 \%$$

B. Pembahasan

Setelah melakukan perhitungan efisiensi boiler dengan menggunakan metode tidak langsung (kehilangan panas/*heat loss*) maka didapat keterangan yaitu adanya penurunan efisiensi boiler yang disebabkan oleh faktor kehilangan panas, yang mana faktor kehilangan panas terbesar disebabkan oleh gas buang kering dan kehilangan panas karena terdapatnya kadar air pada proses pembakaran hidrogen.

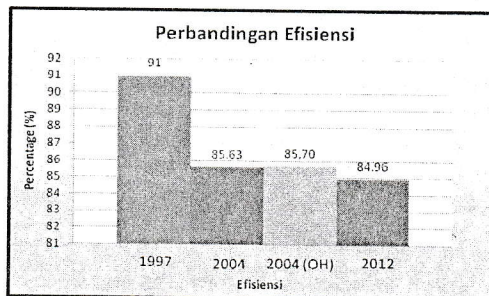
Di bawah ini merupakan grafik persentase kehilangan panas boiler dari waktu operasi tahun 2004 dengan kondisi operasi sekarang.



Gambar 4. Grafik persentase kehilangan panas pada kondisi operasi tahun 2004 dengan kondisi operasi sekarang (2012)

faktor – faktor kehilangan panas di atas sangat berpengaruh terhadap efisiensi boiler, dimana setelah melakukan analisa perhitungan efisiensi boiler maka dapat kita lihat terjadi penurunan efisiensi boiler pada saat kondisi operasi tahun 1997 dari 91% menjadi 85,76% pada saat kondisi operasi tahun 2004, dan pada tahun 2004 dilakukan *over haul* sehingga efisiensi boiler naik walaupun tidak terlalu signifikan yaitu 85,85% dan menurun lagi pada saat kondisi operasi sekarang (tahun 2012) menjadi 85,16%. Jadi, antara kondisi operasi tahun 1997 dengan kondisi operasi sekarang (tahun 2012) terjadi selisih penurunan efisiensi sebesar 5,84%.

Berikut merupakan grafik perbandingan efisiensi boiler pada saat kondisi operasi tahun 1997, kondisi operasi tahun 2004 dan kondisi operasi sekarang (tahun 2012).



Gambar 5. Grafik persentase efisiensi boiler antara kondisi operasi tahun 1997 dengan kondisi operasi sekarang (2012)

Analisa di atas menunjukkan bahwa kondisi boiler unit 1 PLTU PT. Semen Tonasa telah mengalami penurunan unjuk kerja, sehingga berpengaruh terhadap penurunan daya yang dihasilkan PLTU PT. Semen Tonasa. Penurunan unjuk kerja tersebut bisa diakibatkan oleh banyak hal, berikut adalah faktor-faktor yang mempengaruhi unjuk kerja boiler tersebut.

Faktor pertama nilai kalor atau ultimat batu bara yang dapat kita lihat bahwa nilai kalor (CV) batu bara yang digunakan pada tahun 1997 adalah 5702,4 kkal/kg, sedangkan pada kondisi operasi tahun 2004 nilai kalornya turun menjadi 5597,1 kkal/kg, kemudian pada kondisi operasi sekarang (tahun 2012) nilai kalor batu bara yang digunakan meningkat dari tahun 2004 yaitu sebesar 5673,19 kkal/kg. Berikut adalah tabel pengaruh penurunan nilai kalor terhadap efisiensi boiler pada boiler PLTU PT. Semen Tonasa:

Tabel 4. Pengaruh penurunan nilai kalor terhadap efisiensi boiler

Nilai kalor (CV) bb [kkal/kg]	5702	5280	4800
Penurunan efisiensi boiler [%]	0	0,468	1

Sumber: buku panduan operasi BTG *Power Plant* PT. Semen Tonasa

Faktor kedua kualitas batu bara yang digunakan. Dimana kita lihat persentase kehilangan terjadi karena adanya kadar air didalam proses pembakaran hidrogen. Jadi, unsur *moisture* (kelembapan) dan unsur kandungan hidrogen pada batu bara merupakan faktor penting terhadap kinerja boiler, karena semakin tinggi unsur *moisture* pada batu bara akibatnya kalor yang timbul akibat pembakaran bahan bakar di boiler sebgayaan akan diserap oleh kandungan air pada batu bara, sehingga mengurangi kalor yang digunakan oleh boiler untuk menguapkan air umpan (*feed water*). Berikut adalah tabel pengaruh *moisture* (kelembapan) batu bara terhadap efisiensi boiler pada boiler PLTU PT. Semen Tonasa:

Tabel 5. Pengaruh *moisture* (kelembapan) batu bara terhadap efisiensi boiler

<i>Moisture</i> (kelembapan) batu bara [%]	7,5	9,5	11,5	13,5	15,5
Penurunan efisiensi boiler [%]	0	0,0404	0,08317	0,1287	0,17713

Sumber: buku panduan operasi BTG *Power Plant* PT. Semen Tonasa

Faktor ketiga yang menyebabkan tingginya persentase kehilangan panas karena gas buang kering, salah satunya karena temperatur gas buang yang cukup tinggi, dimana semakin tinggi nilai dari temperatur gas buang berarti semakin tinggi pula panas yang keluar dari boiler, dengan kata lain akan mengurangi efisiensi boiler. Oleh karena itu, suhu temperatur gas buang harus serendah mungkin, walau demikian suhu tersebut tidak boleh terlalu rendah sehingga uap air akan mengembun pada dinding cerobong. Hal ini penting bagi batu bara yang mengandung sulfur dimana pada suhu rendah akan mengakibatkan korosi titik embun sulfur. Setiap kenaikan temperatur gas buang 1 °C akan menagkibatkan efisiensi boiler turun sebesar 0,05%. Temperatur desain gas buang pada PLTU PT. Semen Tonasa sebesar 131 °C sedangkan kondisi operasi sekarang (2012) temperatur gas buang mencapai 144,39 °C. Artinya penurunan efisiensi boiler yang terjadi karena tingginya temperatur gas buang

sebesar 0,6695%. Berikut adalah tabel pengaruh kenaikan temperatur gas buang terhadap penurunan efisiensi boiler pada boiler PLTU PT. Semen Tonasa:

Tabel 6. Pengaruh kenaikan temperatur gas buang terhadap efisiensi boiler

Temperatur gas buang [°C]	131	134	137	140	143	146	150
Penurunan efisiensi boiler [%]	0	0,175	0,335	0,494	0,654	0,813	1,026

Sumber: buku panduan operasi BTG *Power Plant* PT. Semen Tonasa

Faktor keempat yaitu temperatur udara pembakaran, dimana temperatur udara pembakaran dapat dinaikkan dengan memanfaatkan temperatur gas buang yang tinggi melalui *air heater*, dengan naiknya temperatur udara pembakaran maka efisiensi boiler juga semakin meningkat. Kenaikan suhu udara pembakaran sekitar 20 °C dapat meningkatkan efisiensi boiler sebesar 1%.

Faktor kelima yaitu umur pakai (*life time*) dari boiler.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dan pembahasan yang telah dilakukan sebelumnya, maka beberapa hal yang dapat dijadikan kesimpulan yaitu: efisiensi boiler unit 1 PLTU PT. Semen Tonasa mengalami penurunan sebesar 6,04 %, dimana pada kondisi operasi tahun 1997 efisiensi boiler unit 1 sebesar 91 %, sedangkan efisiensi boiler kondisi operasi sekarang (2012) sebesar 84,96 %. Faktor-faktor penyebab penurunan efisiensi boiler di PLTU unit 1 PT. Semen Tonasa ialah: nilai kalor dari batu bara, kandungan air dalam batu bara, temperatur gas buang kering, temperatur udara pembakaran, serta umur pakai (*life time*) dari boiler. Faktor penurunan efisiensi terbesar terletak pada kehilangan panas yang diakibatkan oleh gas buang kering. Sebagaimana pada kondisi operasi tahun 2004 sebesar 5,59 % dan pada kondisi operasi sekarang (2012) sebesar 5,79% atau meningkat sebesar 0,20 %.

V. DAFTAR PUSTAKA

- ASME PTC 4.1. 1998. *Fired Steam Generation*. American Standart Mechanical Engineering.
- Asnan A, Irawan E.B. 2007. "Laporan Kerja Praktek PT. Semen Tonasa". Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Dalimunthe. D. 2006. "Konservasi Energi di Kilang Gas Alam Cair/LNG Melalui Peningkatan Efisiensi Pembakaran pada Boiler". Karya Ilmiah. Fakultas Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara. Medan.
- El-Wakil, M.M. 1992. *Instalasi Pembangkit Daya*. Jilid 1. Erlangga. Jakarta.

- 85 Christian Tallu Karaeng, Iswand I rman, Muh. Nuzul. *Analisis Kinerja Boiler pada PLTU Unit 1 PT. Semen Tonasa*
- Holman, J.P. 1997. *Perpindahan Kalor*. Cetakan Keenam. Diterjemahkan oleh Ir. E. Jasjfi. M.Sc. Erlangga Ciracas. Jakarta 13740.
- Ilmi I.A. 2010. "Analisa Efisiensi Sistem Pembakaran pada Boiler di PLTU Unit III PT. PJB UP Gresik dengan metode *Statistical Process Control*". Skripsi. Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri ITS Surabaya.
- Juan H. Sosa-Arnau dan Silvia A. Nebra. 2009. "*Bagasse Dryer Role in The Energy Recovery of Water Tube Boiler*". Brasil.
- PT. Semen Tonasa, 1996. "Petunjuk *Start-up BTG Power Plant* PT. Semen Tonasa". Volume II.
- PT. Semen Tonasa, 2007. "Laporan OJT *BTG Power Plant* PT. Semen Tonasa" Pangkep.
- M.J. Djokosetyardjo. 1999. *Ketel Uap*. Cetakan Keempat. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- UNEP. 2008. *Boiler & Pemanas Fluida Thermis*. United Nation Environment Program.