

## PENGARUH TEMPERATUR AIR KONDENSAT SEBAGAI AIR PENGUMPAN TERHADAP EFISIENSI BOILER BIOMASSA

Erdana Arman Wibawa<sup>1)</sup>, Muhammad Firdausi<sup>2)</sup>

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri,  
Institut Sains dan Teknologi Nasional

Jl. Moh. Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta 12640 Indonesia., Telp. : (021)7270090

Email : [erdanaarmanwibawa87@gmail.com](mailto:erdanaarmanwibawa87@gmail.com) <sup>1)</sup> [mmfirdausi@istn.ac.id](mailto:mmfirdausi@istn.ac.id) <sup>2)</sup>

### ABSTRAK

Penelitian dilakukan pada boiler biomassa dengan bahan bakar sekam padi. Unit boiler menggunakan dua sumber air, yang pertama berasal dari air tanah yang diolah pada softener plant kemudian ditampung di makeup water tank. Sumber air kedua berasal dari sisa kondensasi hasil produksi mesin, yang kemudian ditampung di tangki kondensat. Boiler biomassa menggunakan bahan bakar sekam padi, dengan nilai kalor rendah (Low Heating Value) yaitu 14,600 kJ/kg. Nilai density sekam padi 125 kg/m<sup>3</sup>. Moisture content dengan nilai 9% sampai dengan 11%.

Air pengumpan yang berasal dari kondensasi proses produksi dialirkan menuju tangki kondensat. Temperatur air di tangki kondensate rata-rata 35°C. Air pengumpan dari tangki kondensat dipompa menuju deaerator. Untuk menghilangkan kandungan O<sub>2</sub> di dalam deaerator, temperature deaerator harus dijaga pada 95°C – 105°C.

Jika temperatur air umpan rendah maka steam inject yang dialirkan ke deaerator akan lebih banyak. Jika steam yang dialirkan ke deaerator lebih banyak maka pembakaran akan lebih besar dan bahan bakar yang digunakan akan menjadi lebih banyak. Pada kondisi ini nilai efisiensi yang muncul rata-rata hanya sebesar 68%, dengan pemakaian bahan bakar rata-rata 1.2 ton. Target efisiensi adalah 83% dengan beban boiler rata-rata 65% dari kapasitas maksimal.

Perbaikan yang dilakukan adalah dengan menaikkan temperature air kondensat, dengan cara inject steam pada tangki kondensat. Menghasilkan temperatur rata-rata air pengumpan yaitu 76%. Dengan kondisi ini pemakaian bahan bakar rata-rata yang digunakan sebanyak 1.1 ton. Dan mendapat nilai efisiensi rata-rata 76%.

Kata kunci : Efisiensi boiler, boiler biomassa, temperatur air pengumpan

### ABSTRACT

The research was carried out on a biomass boiler fueled by rice husks. The boiler unit uses two air sources, the first comes from groundwater which is treated at the softener plant and then stored in the make-up water tank. The second air source comes from the remaining condensation from machine production, which is then collected in the condensate tank. The biomass boiler uses rice husk fuel, with a low heating value, namely 14,600 kJ/kg. The density value of rice husk is 125 kg/m<sup>3</sup>. Water content with a value of 9% to 11%.

Feed air originating from the condensation of the production process is channeled to the condensate tank. The air temperature in the condensate tank averages 35°C. Air feed from the condensate tank is pumped to the deaerator. To remove the O<sub>2</sub> content in the deaerator, the deaerator temperature must be maintained at 95°C – 105°C.

If the feed air temperature is low, more injectable steam will flow into the deaerator. If more steam is channeled to the deaerator, the combustion will be greater, and more fuel will be used. In this condition, the average efficiency value that appears is only 68%, with an average fuel consumption of 1.2 tons. The efficiency target is 83% with an average boiler load of 65% of maximum capacity.

The improvement carried out was to increase the temperature of the condensate air, by injecting steam into the condensate tank. Results in an average feed air temperature of 76%. Under these conditions, the average fuel consumption used is 1.1 tons. And got an average efficiency score of 76%.

Keywords: Boiler efficiency, boiler biomass, air feed temperature

## I. Pendahuluan

Penelitian dilakukan pada boiler biomassa dengan bahan bakar sekam padi. Untuk memenuhi kebutuhan air dalam pengoperasian unit boiler biomassa ini menggunakan dua sumber air pengumpan. Sumber pertama adalah air umpan *fresh water* yang berasal dari sumber air tanah kemudian diolah di pengolahan kualitas air (*softener plant*) dan ditampung di tangki *makeup water*. Sedangkan sumber air pengumpan kedua berasal dari mesin produksi yang menghasilkan sisa uap panas yang terkondensasi. Dan kemudian ditampung di tangki kondensat.

Temperature rerata *makeup water* adalah 30°C, dan rerata temperature air kondensat adalah 35°C. Air pengumpan ini dipompa menuju deaerator. Di dalam deaerator temperature air dijaga pada temperature 95°C - 105°C yang berfungsi untuk menghilangkan kandungan oksigen yang berada pada air pengumpan.

Sekam padi merupakan bahan bakar utama dalam pengoperasian boiler ini. Sekam padi mempunyai nilai kalor rendah (LHV) 14600 kJ/kg, nilai density 125 kg/m<sup>3</sup>, dan moisture content bahan bakar yang harus dijaga 9% sampai dengan 11%.

Unit boiler biomassa tempat dilakukan penelitian ini tidak memiliki *reheater* atau pemanas ulang untuk memanaskan kembali siklus air pada boiler.

Maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Untuk mengetahui pemakaian bahan bakar yang digunakan jika temperature air kondensat yang digunakan rendah.
- b. Untuk mengetahui dan membandingkan tingkat pencapaian nilai efisiensi boiler.
- c. Sebagai acuan setting parameter untuk mencapai nilai efisiensi boiler yang optimal.

## II. Metodologi

Penelitian dilakukan di unit boiler biomassa. Pencatatan dilakukan selama 7 hari, dengan jumlah shift per hari adalah 3 shift.

- a. Identifikasi dan observasi permasalahan yang ada di lapangan. Dengan cara melakukan pengamatan secara langsung untuk mendapatkan informasi mengenai masalah dan kondisi actual di lapangan. Meliputi pengamatan *flow process*, *line* pemipaan dan parameter yang ada di *local* ataupun parameter dari *HMI Scada Central Control Room*.
- b. Tinjauan pustaka dilakukan sebagai landasan yang dipakai dalam melakukan penelitian untuk menyelesaikan masalah yang teridentifikasi serta hasil penelitian yang dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah.
- c. Pengambilan dan pengukuran data bermanfaat untuk mengetahui gambaran permasalahan yang ada di lapangan. Merupakan cara untuk mendapatkan data yang diperlukan dan digunakan penulis dalam melakukan penelitian. Data penelitian terbagi menjadi dua yaitu, data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang didapatkan dari tempat melakukan penelitian. Sedangkan data sekunder didapat dari sumber pustaka yang mendukung penelitian. Setelah dilakukan pencatatan langkah selanjutnya dengan mengolah data dan melakukan perhitungan matematis sesuai dengan tinjauan pustaka yang digunakan.
- d. Pengolahan data dan analisa adalah langkah terakhir yang harus dilakukan. Dengan cara membuat kesimpulan dan pembahasan dari analisa yang muncul pada saat pengolahan data. Saran dan kesimpulan bertujuan untuk memperoleh data pemakaian bahan bakar yang digunakan dan nilai efisiensi boiler.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

**III. Hasil dan Pembahasan**

Analisis efisiensi boiler dimulai dari data pencatatan variable kinerja energy sebagai berikut :

Tabel 1. Variabel kinerja energy

NO	Main steam flow average (T/h)	Steam flow to deaerator average (T/h)	Pressure average (bar)	Condensate temperature average (°C)	Feed Water Temperatur (°C)	
					Inlet	Outlet
1	4.75	0.53	11.89	30.9	91.36	170.78
2	4.71	0.59	12.1	32.4	97.33	159.4
3	4.3	0.58	12.31	34.2	99.3	162.4
4	4.18	0.49	12.0	35.5	92.97	161.73
5	4.2	0.52	12.54	35.9	92.44	162.75
6	4.38	0.49	12.51	37.4	92.59	164.22
7	4.67	0.52	12.4	35.1	92.42	167.04

**3.1. Efisiensi**

Perhitungan efisiensi menggunakan metoda langsung, mengacu pada standar ASME-Power Test Code yaitu dengan Membandingkan output terhadap input.

$$\text{Efficiency } (\eta) = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \times 100\%$$

$$\frac{\text{Steam hasil} \times 1000 \times \frac{\text{enthalphy steam} - \text{enthalphy air}}{\text{LHV}}}{\text{Konsumsi bahan bakar}} \times 100\%$$

Dimana :

Steam hasil: steam yang dihasilkan

1000: pengali konversi ton kekilogram

Enthalphy steam : Pressure rata-rata yang terjadi di steam drum (kJ/kg)

Enthalphy air : Enthalphy air yang masuk ke unit (kJ/kg)

LHV (*Low Heating Value*) : Nilai kalori rendah bahan bakar (kJ/kg)

Konsumsi bahan bakar : Nilai rata-rata pemakaian bahan bakar. Perhitungan konsumsi bahan bakar

**3.2 Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar**

Sebelum memasuki ruang bakar (*furnace*) bahan bakar melewati tiga buah screw. Bahan bakar yang melalui screw dapat dihitung sebagai berikut

**Perhitungan konsumsi bahan bakar**

$$= ((\pi r^2 \times \text{screw ribbon}) - (\pi r^2 \times \text{screw shaft})) \times (\text{screw pitch length} - \text{ribbon thickness})$$

$$= ((\pi \times 0.12 \text{ m} \times 0.12 \text{ m}) - (\pi \times 0.045 \text{ m} \times 0.045 \text{ m})) \times (0.15 \text{ m} - 0.02 \text{ m})$$

$$= 0.005055 \text{ m}^3$$

**Perhitungan konsumsi bahan bakar**

$$= \left\{ \left( \frac{\text{speed screw 1}}{\text{gear box screw ratio}} \right) \times V \times D \right\} \times 60 +$$

$$\left\{ \left( \frac{\text{speed screw 2}}{\text{gear box screw ratio}} \right) \times V \times D \right\} \times 60 +$$

$$\left\{ \left( \frac{\text{speed screw 3}}{\text{gear box screw ratio}} \right) \times V \times D \right\} \times 60$$

Dimana:

Speed screw = rata-rata kecepatan motor screw, rpm

V = nilai volume bahan bakar per putaran screw, 0,005055 m<sup>3</sup>

D = nilai density sekam padi, 125 kg/m<sup>3</sup>

60 = konversi satuan waktu

**Perhitungan efisiensi**

Diketahui

a. Steam hasil = 5,28 ton

b. Steam enthalphy = 2786.24kJ/kg

- c. Water enthalpy = 382.69 kJ/kg
- d. FLS speed screw 1 = 710.34 rpm
- e. FLS speed screw 2 = 645.76 rpm
- f. FLS speed screw 3 = 710.34 rpm
- g. Density = 125 kg/m<sup>3</sup>

Maka :

- a. Rata-rata konsumsibahan bakar,

$$\left\{ \left( \frac{\text{speed screw 1}}{\text{gear box screw ratio}} \right) \times V \times D \right\} \times 60 +$$

$$\left\{ \left( \frac{\text{speed screw 2}}{\text{gear box screw ratio}} \right) \times V \times D \right\} \times 60 +$$

$$\left\{ \left( \frac{\text{speed screw 3}}{\text{gear box screw ratio}} \right) \times V \times D \right\} \times 60 +$$

$$\left\{ \left( \frac{710.34 \text{ rpm}}{61.6} \right) \times 0.005055 \times 125 \right\} \times 60 +$$

$$\left\{ \left( \frac{645.76 \text{ rpm}}{61.6} \right) \times 0.005055 \times 125 \right\} \times 60 +$$

$$\left\{ \left( \frac{710.34}{61.6} \right) \times 0.005055 \times 125 \right\} \times 60$$

$$= 1271.80 \text{ kg}$$

- b. Nilai efisiensi boiler,

$$\frac{\text{Steam hasil} \times 1000 \times \frac{\text{enthalpy steam} - \text{enthalpy air}}{\text{LHV}}}{\text{Konsumsi bahan bakar}} \times 100\%$$

$$\frac{5.28 \text{ ton} \times 1000 \times \frac{2786.24 - 382.69}{14600}}{1271.80} \times 100\%$$

$$= 68\%$$

- c. Hasil perhitungan efisiensi

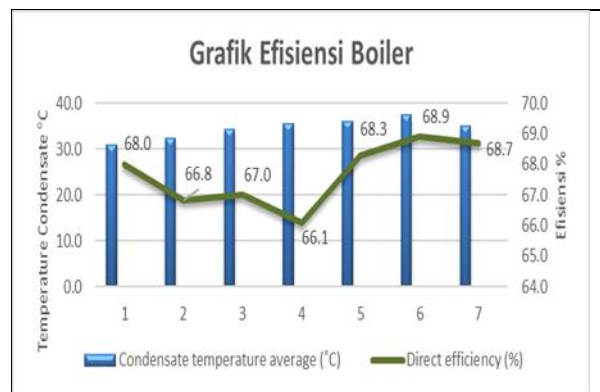
Tabel 2 Hasil Perhitungan Efisiensi 1

NO	Steam flow to client average (T/h)	Steam flow to deaerator average (T/h)	Pressure averag e (bar)	Steam Enthalpy (kJ/Kg)	Feed Water Temperatur Inlet (°C)	Water Enthalpy (kJ/Kg)	FLS speed screw 1 (RPM)	FLS speed screw 2 (RPM)	FLS speed screw 2 (RPM)	Fuel Consumption per hour (kg)	Direct efficiency (%)
1	4.75	0.53	11.89	2706.24	91.36	382.69	710.34	645.76	710.34	1271.8	68.0
2	4.71	0.59	12.1	2706.70	97.33	407.83	721.98	656.34	721.98	1292.7	66.8
3	4.3	0.58	12.31	2783.3	99.3	416.14	659.29	600.86	659.29	1181.3	67.0
4	4.18	0.49	12.0	2706.53	92.97	389.46	647.54	588.67	647.54	1159.4	66.1
5	4.2	0.52	12.54	2707.86	92.44	387.23	634.55	576.85	634.55	1136.1	68.3
6	4.38	0.49	12.51	2707.79	92.59	387.86	648.86	589.86	648.86	1161.7	68.9
7	4.67	0.52	12.4	2707.52	92.42	387.15	694.03	630.93	694.03	1242.6	68.7

Dari data yang telah diambil nilai efisiensi

akan dapat dihitung dengan menggunakan metoda langsung. Terlihat bahwa nilai efisiensi rata-rata yang dihasilkan 67%. Hipotesa awal dari penelitian menyatakan jika temperatur air kondensat sebagai air umpan rendah, maka nilai efisiensi yang dihasilkan akan rendah.

Terlihat grafik efisiensi dibandingkan dengan temperature air kondensat sebagai air pengumpan. Terdapat salah satu grafik menunjukkan temperature air kondensat yang rendah tapi memiliki nilai efisiensi yang tinggi. Dari perbandingan grafik diatas terdapat beberapa faktor lain yang mempengaruhi hasil nilai efisiensi.



Gambar 2 Grafik efisiensi boiler sebelum perbaikan

### 3.3. Perhitungan Efisiensi setelah Perbaikan

Pada perhitungan efisiensi kedua, telah ada perbaikan pada tangki kondensat. Yaitu dengan penambahan jalur inject steam pada tangki kondensat, yang berfungsi untuk membantu memanaskan kembali temperature air kondensat.

Diketahui :

- a. Steam hasil = 5.23 ton
- b. Steam enthalpy = 2786.64 kJ/kg
- c. Water enthalpy = 390.26 kJ/kg
- d. FLS speed screw 1 = 640.81 rpm
- e. FLS speed screw 2 = 582.55 rpm
- f. FLS speed screw 3 = 640.81 rpm
- g. Nilai density = 125 kg/m<sup>3</sup>

Maka :

- a. Rata-rata konsumsi bahan bakar
- $$=$$

$$\left\{ \left( \frac{\text{speed screw 1}}{\text{gear box screw ratio}} \right) \times V \times D \right\} \times 60 +$$

$$\left\{ \left( \frac{\text{speed screw 2}}{\text{gear box screw ratio}} \right) \times V \times D \right\} \times 60 +$$

$$\left\{ \left( \frac{\text{speed screw 3}}{\text{gear box screw ratio}} \right) \times V \times D \right\}$$

$$\left\{ \left( \frac{640.81 \text{ rpm}}{61.6} \right) \times 0.005055 \times 125 \right\} \times 60 +$$

$$\left\{ \left( \frac{582.55 \text{ rpm}}{61.6} \right) \times 0.005055 \times 125 \right\} \times 60 +$$

$$\left\{ \left( \frac{640.81}{61.6} \right) \times 0.005055 \times 125 \right\} \times 60$$

= 1147.3 kg

b. Nilai efisiensi boiler,

$$\frac{\text{Steam hasil} \times 1000 \times \frac{\text{enthalpy steam} - \text{enthalpy air}}{\text{LHV}}}{\text{Konsumsi bahan bakar}} \times 100$$

$$\frac{5.23 \text{ ton} \times 1000 \times \frac{2787.64 - 390.26}{14600}}{1147.3} \times 100\%$$

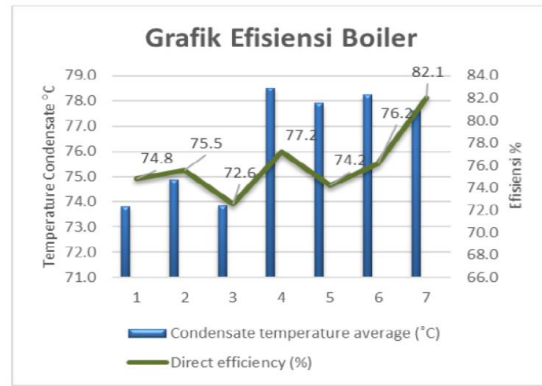
= 74.8 %

c. Hasil perhitungan efisiensi

Tabel 3 Hasil Perhitungan Efisiensi 2

NO	Steam flow to client average (T/h)	Steam flow to deaerator average (T/h)	Pressure average (bar)	Steam Enthalphy (kJ/Kg)	Feed Water Temperatur Inlet (°C)	Water Enthalphy (kJ/Kg)	FLS speed screw 1 (RPM)	FLS speed screw 2 (RPM)	FLS speed screw 2 (RPM)	Fuel Consumption per hour (Kg)	Direct efficiency (%)
1	4.70	0.53	12.45	2787.64	93.16	390.26	640.81	582.55	640.81	1147.3	74.8
2	4.25	0.5	12.38	2787.47	93.05	389.8	576.81	524.37	576.81	1032.7	75.5
3	4.63	0.49	12.4	2787.52	91.54	383.44	648.85	589.85	640.85	1161.7	72.6
4	4.68	0.43	12.37	2787.45	91.06	381.42	608.74	553.39	608.74	1089.9	77.2
5	4.77	0.42	12.31	2787.3	90.55	379.28	643.87	585.33	643.87	1152.8	74.2
6	4.62	0.48	12.51	2787.79	92.62	387.99	610.51	567.3	610.51	1100.6	76.2
7	4.66	0.47	12.24	2787.13	92.05	385.59	574.37	522.15	574.37	1028.4	82.1

Setelah ada perbaikan yang dilakukan dengan memanaskan kembali pada air pengumpan di dalam tangki kondensat maka temperatur air umpan kondensat mengalami peningkatan. Temperatur air umpan rata-rata sebesar 76.4 °C. Terlihat bahwa nilai efisiensi rata-rata mencapai 76%, dan nilai efisiensi tertinggi mencapai 82.1%. Ada kenaikan nilai efisiensi sebesar 8.3%.



Gambar 3 Grafik efisiensi boiler setelah perbaikan

3.4. Analisis

Untuk mencapai hasil yang efisien pada boiler terdapat beberapa persyaratan, yaitu :

- Boiler harus menghasilkan jumlah uap maksimum pada tekanan dan suhu dan kualitas steam yang diperlukan. Dengan konsumsi bahan bakar yang minimum.
- Tingkat produksi uap harus sesuai dengan persyaratan tableuap.
- Pipa boiler tidak terdapat jelaga atau endapan air. Tahan aus, korosi dan panas pada beban yang berubah-ubah.
- Sirkulasi air dan gas harus tepat sehingga memungkinkan kecepatan fluida yang minimum.

Tidak adanya reheater pada kondensat sangat mempengaruhi terhadap nilai steam yang dihasilkan. Jika temperature air umpan rendah maka rendahnya perlakuan panas terhadap air umpan akan lebih tinggi. Steam yang dihasilkan oleh boiler, akan menjadi lebih tinggi yang penggunaannya juga untuk memanaskan air umpan di deaerator.

Tabel 4. Perbandingan Nilai Efisiensi

SEBELUM PERBAIKAN		SETELAH PERBAIKAN	
Condensate temperature average (°C)	Direct efficiency (%)	Condensate temperature average (°C)	Direct efficiency (%)
30.9	68.0	73.8	74.8
32.4	66.8	74.88	75.5
34.2	67.0	73.84	72.6
35.5	66.1	78.5	77.2
35.9	68.3	77.92	74.2
37.4	68.9	78.24	76.2
35.1	68.7	77.6	82.1

#### IV. Simpulan

Berdasarkan data hasil penelitian dan analisis, dapat disimpulkan bahwa :

- a. Dengan rata-rata temperatur air umpan  $35^{\circ}\text{C}$ , nilai efisiensi rata-rata sebesar 68%.
- b. Untuk mengatasi ketiadaan pemanas di gudang penyimpanan bahan bakar, dilakukan improvement dengan cara menambahkan heater atau pengering bahan bakar di area gudang penyimpanan bahan bakar.
- c. Perbaikan yang telah dilakukan telah menghasilkan kenaikan temperature kondensat rata-rata sebesar  $73^{\circ}\text{C}$ , dan berdampak pada kenaikan nilai efisiensi rata-rata sebesar 76%. Improvement yang dilakukan telah berhasil menaikkan nilai nilai efisiensi boiler sebesar 9% dari sebelumnya.

#### Daftar Pustaka

1. A. Buckshumiyann and R. Sabarish, (2017), *Performance Analysis of Regenerative Feedwater Heaters in 210 MW Thermal Power Plant*, Int. J. Pure Appl. Math., Vol. 116, No. 20, pp. 25–29.
2. Ibid. (2013), *Mesin Konversi Energi*. CV Andi OFFSET, Yogyakarta.
3. V. V Bode, P. V. G. Gore, P. G. Student, P. R. P. P. Welfare, and E. Trust, (2016), *Performance Analysis of Regenerative Feed Water Heating System in 270 MW Thermal Power Plant*, Int. Res. J. Eng. Tech., Vol. 03, No. 04, pp. 1180–1186.
4. Anggareza Adhitiya dkk, *Simulasi Performansi Heat Exchanger Type Shell And Tube Dengan Double Segmental Baffle Terhadap Helical Baffle*, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) Surabaya, 2013.
5. *Heat Transfer A Practical Approach Second Edition*, McGraw-Hill, Holman, J.P., 1984.
6. Endress & Hauser, *Steam Handbook*, 2017.
7. Operation Manual, Performance Test "Perfetti 1.096.26 REV A 2022, Gentssesteenweg 224, 8530 Harelbeke, Belgium.
8. Herry Irawansyah, *Mesin Konversi Energi*, Universitas Lambung Mangkurat, 2017.
9. Tole Sutikno dkk, *Konversi Energi: Manajemen, Prinsip dan Aplikasi*, UAD PRESS, 2019.