

## Analisis Efisiensi Boiler menggunakan Metode Langsung di Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Bantargebang

**Nabila Thifalia Sahda<sup>\*1</sup>, Jayusandi Mulya Sentosa<sup>2</sup>, Lisa Adhani<sup>3</sup>**  
Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Jakarta Raya  
**e-mail : <sup>\*1</sup>nabilathifaliasahda@gmail.com,**  
<sup>2</sup>jayusandims2@gmail.com,<sup>3</sup>lisa.adhani@dsn.ubharajaya.ac.id

### Abstract

*Boiler is a closed vessel that converts chemical energy from burning fuel into heat energy. The boiler in PLTSa Bantargebang functions as a steam generator to turn a turbine so that it can be used to generate electrical energy through an electric generator. This study analysis the efficiency of the waste-fueled boiler in PLTSa Bantargebang using the direct method. The result of the analysis show that the waste-fueled boiler has the highest boiler efficiency value achieved at 56,5%, while the lowest boiler efficiency value is 38,8%. Factors that reduce boiler efficiency in PLTSa Bantargebang are among others due to waste which is the main fuel that still contains water content, cleanliness of the boiler tube surface, and water quality.*

**Keywords:** boiler, efficiency, Direct method, waste

### Abstrak

Boiler adalah *closed vessel* yang mengubah energi kimia dari pembakaran bahan bakar menjadi energi panas. Boiler di PLTSa Bantargebang berfungsi sebagai generator uap untuk memutar turbin sehingga dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik melalui generator listrik. Studi ini menganalisis efisiensi boiler berbahan bakar limbah di PLTSa Bantargebang menggunakan metode langsung. Hasil analisis menunjukkan bahwa boiler berbahan bakar limbah memiliki nilai efisiensi boiler tertinggi yang dicapai sebesar 56,5%, sedangkan nilai efisiensi boiler terendah adalah 38,8%. Faktor yang mengurangi efisiensi boiler di PLTSa Bantargebang antara lain karena limbah yang merupakan bahan bakar utama yang masih mengandung kadar air, kebersihan permukaan tabung boiler, dan kualitas air.

**Kata Kunci:** Bahasa Inggris dan Bahasa Indonesia (5-7kata)

### PENDAHULUAN

Boiler adalah bejana tertutup yang menjadi sarana untuk pembakaran bahan bakar dan mentransfer panas ke air hingga menjadi air panas atau uap (Shah & Adhyaru, 2011). Dalam hal ini menggunakan fluida yaitu air yang biasanya digunakan pada proses temperatur tinggi dan juga perubahan energi kinetik menjadi energi mekanik di dalam turbin uap, dimana air adalah media yang berguna dan murah untuk mentransfer panas ke suatu proses yang nantinya akan digunakan untuk penggerak turbin (Sangputri, 2015). Boiler jenis water tube yang digunakan di PLTSa Bantargebang juga menggunakan fluida berupa air, boiler disini dapat menghasilkan steam dengan berbagai tekanan dan temperatur yang dimana uap yang dihasilkan tersebut akan memutar turbin sehingga dapat menghasilkan energi listrik melalui generator listrik.

Pada PLTSa Bantargebang terdapat ketel uap (boiler) yang harus tetap di evaluasi kinerjanya agar tidak mengalami banyak penurunan nilai efisiensi. Efisiensi boiler adalah persentase unjuk kerja boiler yang didapatkan dari energi yang diserap oleh fluida kerja yaitu air didalam boiler dengan energi masukan dari bahan bakar (Wienese, 2001). Turunnya kinerja operasional boiler dapat mempengaruhi nilai efisiensi boiler yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: jumlah konsumsi bahan bakar, laju aliran uap, temperatur air umpan boiler, serta tekanan dan temperatur uap boiler (Pravitasari et al., 2017). Turunnya kinerja operasional boiler akan berpengaruh terhadap kinerja proses pembangkit listrik dan juga ekonomi pembangkit. Dengan kondisi ini perlu dilakukan pengkajian dan analisis dikenal dengan dua metode pengkajian efisiensi boiler, yaitu metode langsung atau metode input-output dan metode tidak langsung atau metode kehilangan panas (Dhanre et al., 2014). Metode langsung atau metode input-

output, metode ini hanya membandingkan keluaran yang berguna (uap) dan masukan panas (yaitu bahan bakar) untuk mengevaluasi efisiensi. Sedangkan metode tidak langsung, yaitu perbedaan antara kehilangan panas dan kehilangan energi bahan bakar (Chayalakshmi et al., 2013). Metode tidak langsung juga memerlukan fasilitas laboratorium yang lengkap untuk analisis (Winanti et al., 2006).

Pada study ini saya akan melakukan analisis efisiensi boiler berbahan bakar sampah yang terdapat di PLTSa Bantargebang dengan menggunakan metode langsung untuk mengevaluasi efisiensi, dengan sumber data diperoleh dari PLTSa Bantargebang. Kelebihan dari metode langsung efisiensi boiler dapat dievaluasi dengan cepat, hanya membutuhkan sedikit parameter dan tidak memerlukan analisis laboratorium terlalu banyak untuk perhitungan. Oleh karena itu menganalisis efisiensi boiler sangat penting agar dapat dilakukan tindak lanjut untuk meningkatkan kinerja pada boiler.

## METODE PENELITIAN

### Pengambilan Data

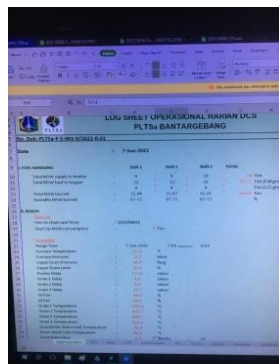
Sumber data yang diperoleh dari data log sheet PLTSa Bantargebang, diambil saat kondisi operasi dalam hari operasional berjalan stabil dan tanpa kendala sama sekali, yaitu pada tanggal 28-29 Mei 2021 dan 07-08 Juni 2021. Data yang didapatkan adalah temperature air umpan, main steam flow, temperatur steam, tekanan steam, jumlah sampah yang digunakan dan nilai kalor bahan bakar sampah dari data internal tim engineering PLTSa Bantargebang. Metode perhitungan efisiensi boiler yang digunakan yaitu dengan menggunakan metode langsung.

#### Tahapan Pengolahan Data

Mengumpulkan data yaitu mengelompokkan data pada saat kondisi operasional normal yaitu pada tanggal (28-29 Mei 2021 & 07-08 Juni 2021) dan berdasarkan pershift (shift 1- shift 3).

Mencari nilai entalpi uap dan entalpi air umpan berdasarkan data yang didapat yang kemudian diolah untuk mendapatkan nilai entalpi.

Melakukan analisis efisiensi boiler dengan menggunakan metode langsung.



Gambar 1 Log Sheet Operasional

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data analisis yang digunakan yaitu pada saat kondisi operasional normal yaitu pada tanggal (28-29 Mei 2021 & 07-08 Juni 2021) dan menggunakan data pershift dari 4 tanggal tersebut (shift 1-shift 3).

Tabel 1 Data Operasional Rata-Rata/Shift

Tgl 28 Mei 2021										
	Temp umpan °C	air	Steam temp °C	Steam (Barg)	pressure	Main steam (kg/jam)	steam	flow	qsampah (kg/jam)	
<b>shift 1</b>	56.8		326.9	37.3		3900			3675	
<b>shift 2</b>	63.4		326.3	36.9		4000			3439	

<b>shift</b>	66.9	320.5	37.4	3200	3071
<b>3</b>					
<b>Tgl 29 Mei 2021</b>					
<b>shift</b>	65.3	324.2	36.9	3000	3570
<b>1</b>					
<b>shift</b>	62.4	324.9	37.0	3600	3544
<b>2</b>					
<b>shift</b>	65.8	321.8	36.9	3100	2809
<b>3</b>					
<b>Tgl 07 Juni 2021</b>					
<b>shift</b>	64.9	322.9	37.5	3300	2730
<b>1</b>					
<b>shift</b>	65.4	323.0	37.5	3300	2704
<b>2</b>					
<b>shift</b>	65.2	324.1	37.5	3200	2651
<b>3</b>					
<b>Tgl 08 Juni 2021</b>					
<b>shift</b>	67.2	321.0	37.5	3300	3203
<b>1</b>					
<b>shift</b>	63.8	317.7	37.4	3600	3491
<b>2</b>					
<b>shift</b>	64.0	316.7	37.4	3700	3098
<b>3</b>					

Tabel 2 Data Operasional Rata-Rata/Tanggal

	Temp umpan °C	air Main steam flow (kg/jam)	Steam temp °C	Steam pressure (Barg)	qsampah (kg/jam)
<b>28 Mei 2021</b>	62.4	3700	324.5	37.2	3395
<b>29 Mei 2021</b>	64.5	3200	323.6	36.9	3308
<b>07 Juni 2021</b>	65.1	3300	323.3	37.5	2695
<b>08 Juni 2021</b>	65.0	3500	318.5	37.5	3264

### Mencari Entalpi Uap dan Air

Entalpi adalah jumlah seluruh energi dalam bentuk kalor yang terdapat dalam suatu sistem dan nilainya ditentukan oleh suhu dan tekanan. Jadi entalpi berhubungan dengan temperatur karna pada Hukum pertama termodinamika menjelaskan bahwa apabila setiap proses diberikan panas untuk sistem dan sistem akan melakukan usaha untuk mengubah energi. Perubahan energi salah satunya ditandai dengan berubahnya temperatur. Dalam proses perhitungan efisiensi boiler adalah data tekanan dan temperature uap yang dihasilkan, serta temperatur air umpan yang masuk. Data tersebut diubah menjadi entalpi panas lanjut (H<sub>g</sub>) dan entalpi air umpan (H<sub>f</sub>) untuk mendapatkan nilai efisiensi boiler pada persamaan (2) yang diperoleh pada steam tabel, maka dilakukan interpolasi untuk mencari entalpi yang belum diketahui agar mendapatkan nilai entalpi sebenarnya dalam kj/kg ditunjukkan pada persamaan (1):

Rumus interpolasi :

$$Y = y_1 + \frac{(x-x_1)}{(x_2-x_1)} x (y_2 - y_1) \dots\dots\dots(1)$$

$V = \text{SPECIFIC VOLUME } \text{cm}^3 \text{g}^{-1}$   
 $U = \text{SPECIFIC INTERNAL ENERGY } \text{kJ kg}^{-1}$   
 $H = \text{SPECIFIC ENTHALPY } \text{kJ kg}^{-1}$   
 $S = \text{SPECIFIC ENTROPY } \text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$

	T K	P kPa	SPECIFIC VOLUME V			INTERNAL ENERGY U			ENTHALPY H			ENTROPY S		
			sat. liq.	evap.	sat. vap.	sat. liq.	evap.	sat. vap.	sat. liq.	evap.	sat. vap.	sat. liq.	evap.	sat. vap.
0	273.15	0.611	1.000	206300.	206300.	-0.04	2375.7	2375.6	-0.04	2501.7	2501.6	0.0000	9.1573	9.1578
0.01	273.16	0.611	1.000	206200.	206200.	0.00	2375.6	2375.6	0.00	2501.6	2501.6	0.0000	9.1575	9.1575
1	274.15	0.557	1.000	132600.	132600.	4.17	2372.7	2378.9	4.17	2499.2	2503.4	0.0153	9.1159	9.1311
2	275.15	0.705	1.000	179900.	179900.	8.39	2369.9	2378.3	8.39	2495.6	2505.2	0.0306	9.0741	9.1047
3	276.15	0.757	1.000	158200.	168200.	12.63	2367.1	2379.7	12.60	2494.5	2507.1	0.0459	9.0329	9.0785
4	277.15	0.810	1.000	157900.	157900.	16.93	2364.9	2381.1	16.90	2492.1	2509.0	0.0611	9.0020	9.0520
5	278.15	0.872	1.000	147200.	147200.	21.01	2361.4	2382.4	21.01	2489.7	2510.7	0.0762	8.9597	9.0269
6	279.15	0.935	1.000	137900.	137900.	25.21	2358.6	2383.8	25.21	2487.4	2512.6	0.0913	8.9102	9.0014
7	280.15	1.001	1.000	129100.	129100.	29.41	2355.8	2386.2	29.41	2485.0	2514.4	0.1063	8.8639	8.9782
8	281.15	1.072	1.000	121000.	121000.	33.83	2353.0	2388.6	33.60	2482.6	2516.2	0.1213	8.8303	8.9513
9	282.15	1.147	1.000	113400.	113400.	37.83	2350.1	2387.9	37.80	2480.3	2518.1	0.1362	8.7903	8.9295
10	283.15	1.227	1.000	105400.	105400.	41.99	2347.3	2389.3	41.99	2477.9	2519.9	0.1510	8.7510	8.9020
11	284.15	1.312	1.000	96900.	96900.	46.18	2344.5	2390.7	46.18	2475.5	2521.7	0.1656	8.7119	8.8776
12	285.15	1.401	1.000	88300.	88300.	50.39	2341.7	2392.1	50.39	2473.2	2523.6	0.1805	8.6731	8.8538
13	286.15	1.497	1.001	80180.	80180.	54.55	2338.8	2393.4	54.57	2470.8	2525.4	0.1962	8.6345	8.8297
14	287.15	1.597	1.001	82900.	82900.	58.75	2336.1	2394.8	58.75	2468.5	2527.2	0.2098	8.5963	8.8060
15	288.15	1.704	1.001	77990.	77990.	62.94	2333.2	2396.2	62.94	2466.1	2529.1	0.2243	8.5592	8.7826
16	289.15	1.817	1.001	73380.	73380.	67.12	2330.4	2397.6	67.13	2463.8	2530.9	0.2386	8.5225	8.7593
17	290.15	1.936	1.001	69090.	69090.	71.31	2327.6	2398.9	71.31	2461.4	2532.7	0.2533	8.4833	8.7368
18	291.15	2.062	1.001	65090.	65090.	75.49	2324.8	2400.3	75.50	2459.0	2534.5	0.2677	8.4454	8.7135
19	292.15	2.196	1.002	61340.	61340.	79.69	2322.0	2401.7	79.68	2456.7	2536.4	0.2820	8.4089	8.6908
20	293.15	2.337	1.002	57840.	57840.	83.89	2319.2	2403.0	83.86	2454.3	2538.2	0.2963	8.3721	8.6684
21	294.15	2.485	1.002	54580.	54580.	88.04	2316.4	2404.4	88.04	2452.0	2540.0	0.3105	8.3355	8.6452
22	295.15	2.642	1.002	51490.	51490.	92.22	2313.6	2405.8	92.23	2449.6	2541.8	0.3247	8.2994	8.6221
23	296.15	2.805	1.002	48620.	48620.	96.40	2310.7	2407.1	96.41	2447.2	2543.6	0.3389	8.2634	8.6023
24	297.15	2.982	1.003	45920.	45920.	100.6	2307.9	2408.5	100.6	2444.9	2545.5	0.3530	8.2277	8.5800
25	298.15	3.195	1.003	43400.	43400.	104.8	2305.1	2409.9	104.8	2442.5	2547.3	0.3670	8.1922	8.5592
26	299.15	3.350	1.003	41030.	41030.	108.9	2302.3	2411.2	108.9	2440.2	2549.1	0.3810	8.1569	8.5379
27	300.15	3.534	1.003	38910.	38910.	113.1	2299.5	2412.6	113.1	2437.8	2550.9	0.3949	8.1213	8.5168
28	301.15	3.773	1.004	36790.	36790.	117.3	2296.7	2414.0	117.3	2435.4	2552.7	0.4088	8.0870	8.4959
29	302.15	4.074	1.004	34770.	34770.	121.5	2293.8	2415.3	121.5	2433.1	2554.5	0.4227	8.0524	8.4751

Gambar 2 Steam Table

Dimana :

Y1 = Entalpi awal dari range nilai yang tersedia di steam table

Y2 = Entalpi akhir dari range nilai yang tersedia di steam table

X1 = Temperatur awal dari nilai yang tersedia di steam table

X2 = Temperatur akhir dari nilai yang tersedia di steam table

X = Temperatur yang akan dicari nilai entalpinya

Y = Nilai entalpi yang dicari

Diketahui data pada tanggal 28 Mei 2021:

Y1 (Entalpi awal di steam table) = 259,5 Kj/Kg

Y2 (Entalpi akhir di steam table) = 263,6 Kj/Kg

X1 (Temperatur awal di steam table) = 62°C

X2 (Temperatur akhir di steam table) = 63°C

X (Temperatur air umpan) = 62,4°C

Dicari Entalpi Air Umpan ?

$$Y = y_1 + \frac{(x-x_1)}{(x_2-x_1)} x (y_2 - y_1)$$

$$Y = 259,5 + \frac{(62,4-62)}{(63-62)} x (263,6 - 259,5)$$

$$Y = 261,14^\circ\text{C}$$

### Nilai Kalor Sampah

Analisis proximat adalah suatu analisis untuk menentukan kandungan utama sampah. Hasil analisis proximate didapatkan dari data internal tim engineering PLTSa Bantargebang. Nilai kalor adalah jumlah energi panas yang dilepaskan oleh bahan bakar pada saat pembakaran sempurna (Santosa, 2012). Nilai kalor bahan bakar dibedakan menjadi dua yaitu nilai kalor atas (High Heating Value) dan nilai kalor bawah (Low Heating Value). Nilai kalor atas (HHV) adalah jumlah panas dimana diasumsikan air dan hidrogen yang dilepaskan dari pembakaran bahan bakar, dalam keadaan terkondensasi (Suárez et al., 2010). Nilai kalor bawah (LHV) adalah jumlah panas pembakaran dimana diasumsikan hidrogen dan air berbentuk uap.

Tabel 3 Analisis Proximate

Proximate Analysis		Nilai
<b>Water Content</b>		
(as received)	%	60,405
<b>Water Content</b>		
(air dried)	%	26,65
<b>Fixed Carbon</b>		
(air dried)	%	3,44
<b>Volatile Matter</b>		
(air dried)	%	49,23
<b>Ash (air dried)</b>	%	20,68
<b>HHV</b>	kal/gr	4418,55
<b>LHV</b>	kal/gr	1431,07

**Menghitung Efisiensi Boiler**

Energi panas yang diserap oleh air sehingga berubah fase menjadi uap (energi output), dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar sampah (energi input). Metode ini dikenal juga sebagai metode input-output karena metode ini hanya memerlukan output (steam) dan panas input (bahan bakar sampah) untuk evaluasi efisiensi. Berdasarkan *USA Standard ASME PTC 4-1 Power Test Code For Steam Generating Units*, efisiensi boiler dapat dievaluasi dengan menggunakan persamaan (2) yaitu :

$$\eta = \frac{Quap (Hg-Hf)}{qsampah \times LHV} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

- $\eta$  = Efisiensi %
- Quap = Laju aliran uap keluar (kg/jam)
- Hg = Entalpi uap keluar boiler (kj/kg)
- Hf = Entalpi air umpan boiler (kj/kg)
- qsampah = Jumlah konsumsi sampah (kg/jam)
- LHV = Nilai Kalor Pembakaran (kj/kg)

Berdasarkan data tanggal 28 Mei 2021 maka diperoleh :

Diketahui :

LHV = 1431,07(Kal/gr) → 5987.59 (kj/kg)

qsampah = 3395 (Kg/jam)

Quap = 3700 (Kg/jam)

Hg (Enthalpy steam) = 3036.17 (kj/kg)

Hf (Enthalpy air umpan) = 261.14 (kj/kg)

Dicari Efisiensi ( $\eta$ ) ?

$$\eta = \frac{Quap (Hg-Hf)}{qsampah \times LHV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{3700 (3036.17 - 261.14)}{3395 \times 5987.59} \times 100\% = 50,5\%$$

Tabel 4 Efisiensi Boiler/Shift 28 Mei 2021

Tanggal 28/05/2021			
	shift 1	shift 2	shift 3
<b>Quap (kg/jam)</b>	3900	4000	3200
<b>qsampah (kg/jam)</b>	3675	3438	3071
<b>Entalpi air umpan (kj/kg)</b>	237.78	265.41	275.78
<b>Entalpi uap (kj/kg)</b>	3043.04	3042.65	3062.22
<b>LHV (kj/kg)</b>	5987.59	5987.59	5987.59
<b>Efisiensi %</b>	49.7%	54.0%	47.9%

Tabel 5 Efisiensi Boiler/Shift 29 Mei 2021

Tanggal 29/05/2021			
	shift 1	shift 2	shift 3
<b>Quap (kg/jam)</b>	3000	3500	3100
<b>qsampah (kg/jam)</b>	3570	3543	2808
<b>Entalpi air umpan (kj/kg)</b>	273.37	261.14	275.46
<b>Entalpi uap (kj/kg)</b>	3037.23	3038.56	3030.36
<b>LHV (kj/kg)</b>	5987.59	5987.59	5987.59
<b>Efisiensi %</b>	38.8%	45.8%	50.8%

Tabel 6 Efisiensi Boiler/Shift 07 Juni 2021

Tanggal 07/06/2021			
	shift 1	shift 2	shift 3
<b>Quap (kg/jam)</b>	3300	3300	3200
<b>qsampah (kg/jam)</b>	2730	2703	2651
<b>Entalpi air umpan (kj/kg)</b>	271.58	273.68	272.84
<b>Entalpi uap (kj/kg)</b>	3030.95	3032.37	3035.33
<b>LHV (kj/kg)</b>	5987.59	5987.59	5987.59
<b>Efisiensi %</b>	55.7%	56.2%	55.7%

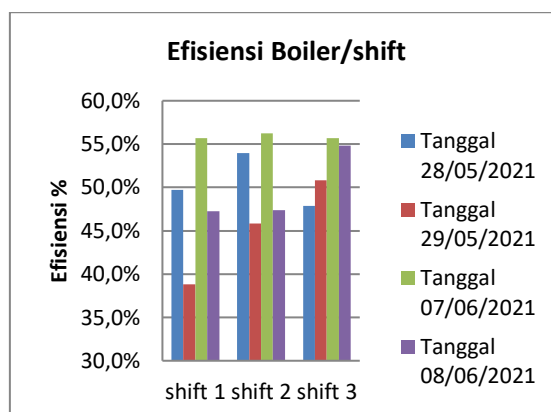
Tabel 7 Efisiensi Boiler/Shift 08 Juni 2021

Tanggal 08/06/2021			
	shift 1	shift 2	shift 3
<b>Quap (kg/jam)</b>	3300	3600	3700
<b>qsampah (kg/jam)</b>	3202	3491	3097
<b>Entalpi air umpan (kj/kg)</b>	281.33	267.09	267.92
<b>Entalpi uap (kj/kg)</b>	3026.04	3017.74	3015.13
<b>LHV (kj/kg)</b>	5987.59	5987.59	5987.59
<b>Efisiensi %</b>	47.3%	47.4%	54.8%

Tabel 8 Efisiensi Boiler Rata-Rata/Hari

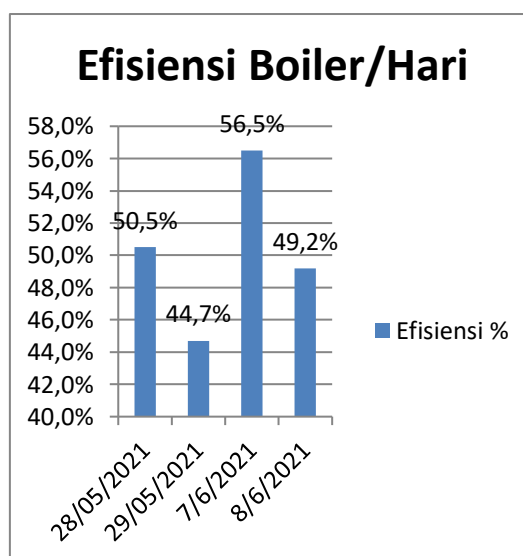
<b>Efisiensi Boiler Rata-Rata/Hari</b>	28/05/2021	29/05/2021	7/6/2021	8/6/2021
<b>Quap (kg/jam)</b>	3700	3200	3300	3500
<b>qsampah (kg/jam)</b>	3394	3394	2694	3263
<b>Entalpi air umpan (kj/kg)</b>	261.14	270.02	272.42	272.11

<b>Entalpi uap (kj/kg)</b>	3036.17	3035.63	3033.18	3019.54
<b>LHV (kj/kg)</b>	5987.59	5987.59	5987.59	5987.59
<b>Efisiensi %</b>	50.5%	44.7%	56.5%	49.2%



Gambar 3 Efisiensi Boiler/Shift

Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai efisiensi setiap shiftnya mengalami perubahan yang berbeda-beda dapat dilihat pada shift 1 sampai shift 3 selama 4 hari pada kondisi operasional. Terlihat nilai efisiensi tertinggi sebesar 56,2% terjadi pada shift 2 tepatnya pada tanggal 07 Juni 2021, hal ini terjadi karena pada shift tersebut produksi steam yang dihasilkan lebih banyak dari pada jumlah sampah yang terbakar sehingga nilai efisiensi boiler meningkat. Sedangkan nilai efisiensi terendah tercapai pada shift 1 tepatnya pada tanggal 29 Mei 2021 sebesar 38,8%, menurunnya efisiensi boiler tersebut dikarenakan produksi steam yang dihasilkan lebih sedikit dari pada jumlah sampah yang terbakar, inilah yang mempengaruhi menurunnya efisiensi boiler.



Gambar 4 Efisiensi Boiler/Hari

Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai efisiensi boiler dari hari pertama kehari lainnya tidak selalu sama, terlihat naik turun walaupun tidak terlalu signifikan perbedaannya. Diketahui dari rata-rata nilai efisiensi boiler pada setiap tanggalnya bahwa pada tanggal 28 Mei 2021 sebesar 50,5%, tanggal 29 Mei 2021 sebesar 44,7%, tanggal 07 Juni 2021 sebesar 56,5%, dan tanggal 08 Juni 2021 sebesar 49,2%. Dapat dilihat nilai efisiensi boiler pada saat kondisi operasional perhari yaitu pada tanggal 07 Juni 2021 sebesar 56,5% lebih besar dari pada efisiensi pada tanggal 29 Mei 2021 yaitu 44,7%. Berdasarkan hasil literatur di pembangkit listrik tenaga sampah di Eropa menghasilkan efisiensi rata-rata 45%-55% (Vakalis, 2019). Jadi dari hasil perhitungan efisiensi boiler di PLTSa Bantargebang menunjukkan bahwa

efisiensi masih cukup baik karena bahan bakar (sampah) yang tidak terlalu banyak mengandung kadar air dapat dilihat pada Tabel 3. meningkatnya nilai kalor sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor selain bahan bakar juga termasuk kadar air.

Berikut analisis pengaruh menurunnya efisiensi boiler yang disebabkan oleh beberapa faktor antara lain:

Kebersihan permukaan pipa pada boiler, berpengaruh terhadap proses perpindahan kalor karena apabila adanya kotoran maupun kerak dan pengendapan (fouling) pada pipa boiler, dapat menghambat proses perpindahan kalor sehingga laju perpindahan kalor pun akan menurun.

Kandungan air yang terdapat pada sampah, berpengaruh terhadap nilai kalor sampah semakin tinggi kadar air di dalam sampah maka semakin rendah nilai kalor pembakaran sampah sehingga dapat menurunkan efisiensi boiler.

Kualitas air yang diduga masih kurang baik sehingga dapat menurunkan efisiensi. Air umpan boiler yang digunakan untuk menghasilkan uap steam yaitu air yang tidak mengandung unsur kalsium dan magnesium yang dapat menyebabkan terjadinya endapan yang dapat membentuk kerak dan korosi pada boiler. Sebagai salah satu upaya untuk meningkatkan efisiensi di PLTSa Bantargebang yaitu menggunakan kualitas air yang baik dengan standar yang telah ditetapkan oleh *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) ditunjukkan pada Tabel 9. standar air boiler menurut ASME agar mencegah terbentuknya kerak dan korosi di dalam boiler yang dapat menghambat proses perpindahan panas.

Tabel 9 Standar Air Boiler Menurut ASME

<b>Air Umpan</b>	
<b>Parameter</b>	<b>Standar</b>
<b>Oksigen terlarut ppm (mg/L)</b>	< 0.007
<b>Total Besi (Fe) ppm (mg/L)</b>	< 0.1
<b>Total Tembaga ppm (mg/L) Cu</b>	< 0.05
<b>Total Kekerasan ppm (mg/L) CaCO<sub>3</sub></b>	< 0.3
<b>pH</b>	8.3 – 10
<b>Bahan Kimia untuk Perlindungan Sistem Preboiler</b>	Tidak dijelaskan
<b>Nonvolatil TOC ppm (mg/L) C</b>	< 1
<b>Bahan Berminyak ppm (mg/L)</b>	< 1
<b>Air Boiler</b>	
<b>Silika ppm (mg/L) SiO<sub>2</sub></b>	< 150
<b>Total Alkalinity ppm (mg/L) CaCO<sub>3</sub></b>	< 700
<b>Hidroksida bebas ppm (mg/L) CaCO<sub>3</sub></b>	Tidak dijelaskan
<b>Konduktivitas Tidak Dinetralkan mhos/cm ( S/cm)</b>	5400 – 1100

(Benisvy, 2002)



Upaya untuk meningkatkan efisiensi boiler perlu dilakukan pengecekan pipa boiler pada saat maintenance untuk mengetahui kondisi pipa di dalam boiler apakah terjadi scalling atau tidak.

Suplai udara yang masuk ke dalam ruang pembakaran diperlukan untuk pembakaran yang sempurna agar efisiensi yang diinginkan bisa meningkat, tetapi jumlah aliran udara harus tetap selalu dikontrol agar tidak mengakibatkan kehilangan panas. Karena ada kemungkinan apabila meningkatnya jumlah panas yang dihasilkan dari proses pembakaran sampah dapat dipengaruhi oleh suplai udara yang masuk ke dalam ruang pembakaran. Panas dari hasil pembakaran akan digunakan untuk memanaskan air yang berada didalam pipa boiler untuk mengubah air menjadi uap agar menghasilkan uap yang lebih banyak.

Pengaruh kadar air sampah, kadar air dari tiap komponen sampah berbeda antara satu dengan yang lainnya karena karakteristik alamiahnya juga adanya pengotor dan kondisi lingkungan lokasi pengambilan sampah. Dari hasil literatur bahwa sampah yang baik untuk digunakan dalam waste to energy mengandung kadar air yang rendah <10% agar nilai kalor pembakaran sampah yang dihasilkan semakin tinggi (Novita & Damanhuri, 2009). Dan untuk kadar air batubara di Indonesia sebesar 9,43% semakin besar kandungan air pada bahan bakar, maka nilai kalornya semakin kecil (Shaha, 1974). Jika dibandingkan dengan kadar air sampah di PLTSa Bantargebang sebesar 26,65% dilihat dari Tabel 3. analisis proximate bahwa diduga tergolong masih ada beberapa % kecil kandungan air pada sampah tersebut, maka dari itu untuk meningkatkan efisiensi dengan mengurangi kadar air melalui pengeringan sampah dengan dengan metode Biodrying atau peuyemisasi (Naryono & Soemarno, 2013)

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

Perhitungan efisiensi boiler telah dilakukan sehingga disimpulkan bahwa dari hasil perhitungan efisiensi boiler di PLTSa Bantargebang dengan menggunakan metode langsung yaitu tertinggi pada shift 2 tepatnya pada tanggal 07 Juni 2021 sebesar 56,2%, serta efisiensi terendah tercapai pada shift 1 tepatnya pada tanggal 29 Mei 2021 sebesar 38,8% dikarenakan produksi steam yang dihasilkan lebih sedikit dari pada jumlah sampah yang terbakar sehingga menyebabkan efisiensi berbeda-beda pada setiap shiftnya. Sedangkan efisiensi/hari tertinggi tercapai pada tanggal 07 Juni 2021 sebesar 56,5%, serta efisiensi/hari terendahnya tercapai pada tanggal 29 Mei 2021 sebesar 44,7% . Hal ini menunjukkan bahwa kinerja di PLTSa Bantargebang masih cukup baik. Faktor penyebab penurunan efisiensi boiler yaitu masih adanya kandungan air pada bahan bakar (sampah), kualitas air yang kurang baik dapat menimbulkan kerak yang dapat menghambat proses perpindahan panas. Beberapa saran yang dapat diambil agar dapat meningkatkan efisiensi boiler dilakukan pengecekan secara berkala sesuai dengan *Standart Operasional Prosedure* agar boiler water tube tidak terjadi kerusakan/kebocoran, dengan mengontrol suplai udara yang masuk ruang pembakaran, mengurangi kadar air sampah dengan cara pengeringan sampah, membersihkan pipa boiler secara rutin dan kontinyu, dan menggunakan kualitas air yang baik

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Benisvy, H. (2002). A primer on protecting idle boilers. *ASHRAE Journal*, 44(12), 30–35.
- Chayalakshmi, C. L., Jangamshetti, D. S., & Sonoli, S. (2013). Design and development of an ARM platform based embedded system for measurement of boiler efficiency. *ISIEA 2013 - 2013 IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications, September 2013*, 39–43. <https://doi.org/10.1109/ISIEA.2013.6738964>
- Dhanre, G. T., Dhanre, U. T., & Mudafale, K. (2014). *Review Paper on Energy Audit of a Boiler in Thermal Power Plant*. 2(6), 283–288.
- Meylisa eka sangputri, a. G. S. (2015). Perhitungan efisiensi boiler pltu unit 20 pt. Pjb ubjom reimbang pada beban 315 mw dengan menggunakan metode langsung ( direct method ). *Jurnal kerja praktek*, 1. [https://www.academia.edu/22935773/perhitungan\\_efisiensi\\_boiler\\_pltu\\_unit\\_20\\_pt\\_pjb\\_ubjom\\_reimbang\\_pada\\_beban\\_315\\_mw\\_dengan\\_menggunakan\\_metode\\_langsung\\_direct\\_method](https://www.academia.edu/22935773/perhitungan_efisiensi_boiler_pltu_unit_20_pt_pjb_ubjom_reimbang_pada_beban_315_mw_dengan_menggunakan_metode_langsung_direct_method)
- Naryono, E., & Soemarno, S. (2013). Pengeringan Sampah Organik Rumah Tangga. *Indonesian Green Technology Journal*, 2(2), 61–69.
- Novita, D. M., & Damanhuri, E. (2009). Perhitungan Nilai Kalor Berdasarkan Komposisi dan Karakteristik Sampah Perkotaan di Indonesia dalam Konsep Waste To Energy. *Jurnal Teknik*

*Lingkungan*, 16(2), 103–114.

Santosa, S. (2012). *Peningkatan Nilai Kalor Produk pada Produk Proses Bio-drying Sampah Organik Improved Calor Value on Biodrying Production of Organic Waste*.

Shah, S., & Adhyaru, D. M. (2011). *Boiler Efficiency Analysis Using Direct Method*. 2.

Shaha, a. K. (1974). *Combustion engineering and fuel technology*.  
[https://policy.asiapacificenergy.org/sites/default/files/fuels and combustion guidebook.pdf](https://policy.asiapacificenergy.org/sites/default/files/fuels%20and%20combustion%20guidebook.pdf)

Suárez, J. A., Luengo, C. A., Felfli, F. F., & Bezzon, G. (2010). *Thermochemical Properties of Cuban Biomass*. *June 2015*, 37–41. <https://doi.org/10.1080/00908310051128156>

Vakalis, S., Moustakas, K., & Loizidou, M. (2019). Energy efficiency of waste-to-energy plants with a focus on the comparison and the constraints of the 3T method and the R1 formula. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 108(April), 323–329. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.004>

Wienese, a. (2001). Boilers, Boiler Fuel and Boiler Efficiency. *Water*, 275–281.

Winanti, W. S., Teguh, D., Peneliti, P., Pusat, D., Lingkungan, T., Pengkajian, B., & Teknologi, P. (2006). *Ling Edisi Khusus Hal*. 58–65.